

Patrizia Cappelli Vanna Vannucchi

Principi di chimica degli alimenti

Conservazione • Trasformazioni • Normativa

Seconda edizione



CHIMICA

ZANICHELLI

Patrizia Cappelli Vanna Vannucchi

Principi di chimica degli alimenti

Conservazione • Trasformazioni • Normativa

Seconda edizione

Se vuoi accedere alle risorse online riservate

1. Vai su **my.zanichelli.it**
2. Clicca su *Registrati*.
3. Scegli *Studente*.
4. Segui i passaggi richiesti per la registrazione.
5. Riceverai un'email: clicca sul link per completare la registrazione.
6. Cerca il tuo codice di attivazione stampato in verticale sul bollino argentato in questa pagina.
7. Inseriscilo nella tua area personale su **my.zanichelli.it**

Se hai già effettuato la registrazione, per accedere ai contenuti riservati ti serve solo il codice di attivazione.

Diritti riservati

I diritti di pubblicazione, riproduzione, comunicazione, distribuzione, trascrizione, traduzione, noleggio, prestito, esecuzione, elaborazione in qualsiasi forma o opera, di memorizzazione anche digitale e di adattamento totale o parziale su supporti di qualsiasi tipo e con qualsiasi mezzo (comprese le copie digitali e fotostatiche), sono riservati per tutti i paesi. L'acquisto della presente copia dell'opera non implica il trasferimento dei suddetti diritti né li esaurisce.

Fotocopie e permessi di riproduzione

Le fotocopie per uso personale (cioè privato e individuale, con esclusione quindi di strumenti di uso collettivo) possono essere effettuate, nei limiti del 15% di ciascun volume, dietro pagamento alla S.I.A.E. del compenso previsto dall'art. 68, commi 4 e 5, della legge 22 aprile 1941 n. 633. Tali fotocopie possono essere effettuate negli esercizi commerciali convenzionati S.I.A.E. o con altre modalità indicate da S.I.A.E.

Per le riproduzioni ad uso non personale (ad esempio: professionale, economico, commerciale, strumenti di studio collettivi, come dispense e simili) l'editore potrà concedere a pagamento l'autorizzazione a riprodurre un numero di pagine non superiore al 15% delle pagine del presente volume.

Le richieste vanno inoltrate a:
Centro Licenze e Autorizzazioni per le Riproduzioni Editoriali (CLEARedi),
Corso di Porta Romana 108, 20122 Milano
e-mail: autorizzazioni@clearedi.org e sito web: www.clearedi.org

L'autorizzazione non è concessa per un limitato numero di opere di carattere didattico riprodotte nell'elenco che si trova all'indirizzo www.zanichelli.it/chi-siamo/fotocopie-e-permessi

L'editore, per quanto di propria spettanza, considera rare le opere fuori del proprio catalogo editoriale. La loro fotocopia per i soli esemplari esistenti nelle biblioteche è consentita, anche oltre il limite del 15%, non essendo concorrenziale all'opera. Non possono considerarsi rare le opere di cui esiste, nel catalogo dell'editore, una successiva edizione, né le opere presenti in cataloghi di altri editori o le opere antologiche. Nei contratti di cessione è esclusa, per biblioteche, istituti di istruzione, musei e archivi, la facoltà di cui all'art. 71-ter legge diritto d'autore. Per permessi di riproduzione, diversi dalle fotocopie, rivolgersi a ufficiocontratti@zanichelli.it

Licenze per riassunto, citazione e riproduzione parziale a uso didattico con mezzi digitali

La citazione, la riproduzione e il riassunto, se fatti con mezzi digitali, sono consentiti (art. 70 bis legge sul diritto d'autore), limitatamente a brani o parti di opera, a) esclusivamente per finalità illustrative a uso didattico, nei limiti di quanto giustificato dallo scopo non commerciale perseguito. (La finalità illustrativa si consegue con esempi, chiarimenti, commenti, spiegazioni, domande, nel corso di una lezione); b) sotto la responsabilità di un istituto di istruzione, nei suoi locali o in altro luogo o in un ambiente elettronico sicuro, accessibili solo al personale docente di tale istituto e agli alunni o studenti iscritti al corso di studi in cui le parti di opere sono utilizzate; c) a condizione che, per i materiali educativi, non siano disponibili sul mercato licenze volontarie che autorizzano tali usi. Zanichelli offre al mercato due tipi di licenze di durata limitata all'anno accademico in cui le licenze sono concesse:
A) licenze gratuite per la riproduzione, citazione o riassunto di una parte di opera non superiore al 5%. Non è consentito superare tale limite del 5% attraverso una pluralità di licenze gratuite,
B) licenze a pagamento per la riproduzione, citazione, riassunto parziale ma superiore al 5% e comunque inferiore al 40% dell'opera.
Per usufruire di tali licenze occorre seguire le istruzioni su www.zanichelli.it/licenzeeducative
L'autorizzazione è strettamente riservata all'istituto educativo licenziatario e non è trasferibile in alcun modo e a qualsiasi titolo.

Garanzie relative alle risorse digitali

Le risorse digitali di questo volume sono riservate a chi acquista un volume nuovo: vedi anche al sito www.zanichelli.it/contatti/acquisti-e-recesso le voci *Informazioni generali su risorse collegate a libri cartacei e Risorse digitali e libri non nuovi*. Zanichelli garantisce direttamente all'acquirente la piena funzionalità di tali risorse. In caso di malfunzionamento rivolgersi a assistenza@zanichelli.it. La garanzia di aggiornamento è limitata alla correzione degli errori e all'eliminazione di malfunzionamenti presenti al momento della creazione dell'opera. Zanichelli garantisce inoltre che le risorse digitali di questo volume sotto il suo controllo saranno accessibili, a partire dall'acquisto, per tutta la durata della normale utilizzazione didattica dell'opera. Passato questo periodo, alcune o tutte le risorse potrebbero non essere più accessibili o disponibili: per maggiori informazioni, leggi: my.zanichelli.it/fuoricatalogo

Soluzioni degli esercizi e altri svolgimenti di compiti assegnati

Le soluzioni degli esercizi, compresi i passaggi che portano ai risultati e gli altri svolgimenti di compiti assegnati, sono tutelate dalla legge sul diritto d'autore in quanto elaborazioni di esercizi a loro volta considerati opere creative tutelate, e pertanto non possono essere diffuse, comunicate a terzi e/o utilizzate economicamente, se non a fini esclusivi di attività didattica.

Diritto di TDM

L'estrazione di dati da questa opera o da parti di essa e le attività connesse non sono consentite, salvi i casi di utilizzazioni libere ammessi dalla legge. L'editore può concedere una licenza. La richiesta va indirizzata a tdm@zanichelli.it

Realizzazione editoriale e indice analitico: Epitesto, Milano
Disegni: Daniele Gianni

Copertina:

– *Progetto grafico:* Falcinelli & Co., Roma
– *Immagine di copertina:* © UliU/iStockphoto

Prima edizione: maggio 2024

Ristampa: prima tiratura

5	4	3	2	1	2024	2025	2026	2027	2028
---	---	---	---	---	------	------	------	------	------

Realizzare un libro è un'operazione complessa, che richiede numerosi controlli: sul testo, sulle immagini e sulle relazioni che si stabiliscono tra essi. L'esperienza suggerisce che è praticamente impossibile pubblicare un libro privo di errori. Saremo quindi grati ai lettori che vorranno segnalarceli. Per segnalazioni o suggerimenti relativi a questo libro scrivere al seguente indirizzo:

Zanichelli editore S.p.A.
Via Innerio 34
40126 Bologna
fax 051293322
e-mail: linea_universitaria@zanichelli.it
sito web: www.zanichelli.it

Prima di effettuare una segnalazione è possibile verificare se questa sia già stata inviata in precedenza, identificando il libro interessato all'interno del nostro catalogo online per l'Università.

Per comunicazioni di tipo commerciale: universita@zanichelli.it

Stampa:

INDICE GENERALE

Prefazione

XV

PARTE A

PRINCIPI NUTRITIVI CHE APPORTANO ENERGIA

CAPITOLO 1

Lipidi

1

1.1 Alimenti, principi nutritivi e nutrizione

1

1.2 Lipidi: introduzione e classificazione

1

FINESTRA 1.1 ■ Le otto categorie principali dei lipidi biologici

2

1.3 Acidi grassi

2

1.4 Acidi grassi essenziali

5

1.5 Acilgliceroli

5

1.6 Fosfolipidi

6

■ Fosfogliceridi o glicerofosfolipidi

6

■ Sfingolipidi

8

1.7 Glicolipidi

8

1.8 Cere

9

1.9 Steridi

9

1.10 Terpeni o lipidi prenolici

10

1.11 Steroidi

11

1.12 Eicosanoidi

13

1.13 Lipoproteine

15

FINESTRA 1.2 ■ Colesterolo e patologie cardiovascolari

16

1.14 Proprietà nutrizionali dei lipidi

16

■ Lipidi alimentari: funzioni e fabbisogni

16

■ Digestione, assorbimento e metabolismo lipidico

18

CAPITOLO 2

Carboidrati

20

2.1 Introduzione e classificazione

20

2.2 Monosaccaridi

20

■ Principali monosaccaridi presenti negli alimenti

24

2.3 Derivati dei monosaccaridi

25

■ Composti ossidati

25

■ Polialcoli o polioli

25

■ Esteri

26

■ Acetali o glicosidi

26

■ Amminozuccheri

26

■ Deossizuccheri

26

2.4 Oligosaccaridi

26

■ Disaccaridi

26

■ Trisaccaridi

28

2.5 Polisaccaridi o glicani

28

■ Amido

28

■ Glicogeno

29

■ Cellulosa

30

■ Glicosamminoglicani (mucopolisaccaridi)

30

2.6 Glicoconjugati

31

2.7 Proprietà nutrizionali dei carboidrati

33

■ Glucidi alimentari: funzione e fabbisogno

33

■ Digestione, assorbimento e metabolismo glucidico

34

FINESTRA 2.1 ■ Indice glicemico

35

2.8 Fibra

37

■ Definizione e composizione chimica

37

■ Importanza della fibra nell'alimentazione

39

CAPITOLO 3

Protidi

41

3.1 Introduzione e funzioni

41

FINESTRA 3.1 ■ Peptidi non proteici

41

3.2 Amminoacidi

42

3.3 Struttura delle proteine

45

■ Struttura primaria

45

■ Struttura secondaria

47

■ Struttura terziaria

51

■ Struttura quaternaria

52

3.4 Classificazione delle proteine

52

FINESTRA 3.2 ■ Nucleoproteine

53

3.5 Proprietà nutrizionali delle proteine

55

■ Digestione, assorbimento e metabolismo azotato

55

■ Qualità delle proteine	56
■ Valore proteico degli alimenti	57
■ Fabbisogno proteico e livelli di assunzione di riferimento	58
3.6 Proprietà funzionali delle proteine	59
■ Interazioni proteine-acqua	59
■ Interazioni proteina-proteina	59
■ Proprietà di superficie	59

PARTE B

PRINCIPI NUTRITIVI CHE NON APPORTANO ENERGIA

CAPITOLO 4

Acqua 61

4.1 Introduzione e caratteristiche chimico-fisiche	61
4.2 L'acqua negli alimenti	63
4.3 L'acqua nell'organismo umano	64
■ Bilancio idrico	65
■ Funzioni e fabbisogno	65
4.4 Acqua potabile	65
■ Fonti idriche e loro inquinamento	65

FINESTRA 4.1 ■ Consumi idrici nella filiera agroalimentare 66

FINESTRA 4.2 ■ Cause dell'inquinamento idrico 67

■ Requisiti delle acque destinate al consumo umano	68
■ Controlli sulle acque destinate al consumo umano	70

4.5 Potabilizzazione dell'acqua	70
4.6 Principali analisi chimiche dell'acqua	72

FINESTRA 4.3 ■ Spettrofotometria ad assorbimento molecolare 73

FINESTRA 4.4 ■ Cromatografia 73

4.7 Acqua minerale	74
■ Normativa	74
■ Parametri chimico-fisici e microbiologici	74
■ Etichettatura	75
■ Acqua di sorgente e acqua da tavola	75

CAPITOLO 5

Sali minerali 76

5.1 Introduzione e classificazione	76
5.2 Calcio	76

FINESTRA 5.1 ■ Alimenti fortificati 77

5.3 Fosforo	80
5.4 Magnesio	81
5.5 Sodio	81
5.6 Potassio	83
5.7 Cloro	83
5.8 Zolfo	84
5.9 Ferro	85
5.10 Zinco	87
5.11 Rame	88
5.12 Cromo	89
5.13 Manganese	89
5.14 Cobalto	90
5.15 Selenio	90
5.16 Iodio	91
5.17 Fluoro	92
5.18 Molibdeno	92
5.19 Elementi in ultratraccia	92
■ Silicio	92
■ Nichel	93
■ Cadmio	93
■ Vanadio	93
■ Boro	93
■ Alluminio	93
■ Arsenico	94
■ Bromo	94
■ Germanio	94
■ Litio	94
■ Piombo	95
■ Rubidio	95
■ Stagno	95

CAPITOLO 6

Vitamine 96

6.1 Introduzione e classificazione	96
6.2 Vitamina A	96
6.3 Vitamina D	99
6.4 Vitamina E	100

FINESTRA 6.1 ■ Radicali liberi e antiossidanti 101

6.5 Vitamina K	103
6.6 Tiammina	104

FINESTRA 6.2 ■ Acido α -lipoico: un potente antiossidante 106

6.7 Riboflavina	106
6.8 Niacina	108
6.9 Vitamina B ₆	110
6.10 Acido pantotenico	111
6.11 Biotina	112
6.12 Folati	114
6.13 Vitamina B ₁₂	116
6.14 Vitamina C	118

PARTE C**SOSTANZE PRESENTI NEGLI ALIMENTI DIVERSE DAI PRINCIPI NUTRITIVI****CAPITOLO 7****Sostanze che derivano dalle trasformazioni dei principi nutritivi** 122

7.1	Introduzione	122
7.2	Modifiche a carico dei lipidi	122
	■ Idrolisi o inacidimento	122
	■ Irrancidimento chetonico	123
	■ Irrancidimento ossidativo	123
	FINESTRA 7.1 ■ Forme molecolari dell'ossigeno	123
	FINESTRA 7.2 ■ Malonildialdeide: un marker dello stress ossidativo	126
	■ Modifiche dei lipidi con la cottura (termodegradazione)	127
7.3	Modifiche a carico dei glucidi	128
	■ Fermentazioni	128
	■ Modifiche dei glucidi con la cottura	131
7.4	Modifiche delle proteine e degli amminoacidi	133
	■ Denaturazione	133
	■ Modifiche della catena laterale degli amminoacidi	134
	■ Reazione di Maillard	135
	■ Modifiche delle proteine con la cottura	137
	■ Putrefazione	138
7.5	Modifiche delle vitamine e dei sali minerali	138
7.6	Imbrunimenti	139
	■ Imbrunimento da acido ascorbico	139
	■ Imbrunimento enzimatico	139

CAPITOLO 8**Sostanze responsabili dei caratteri sensoriali degli alimenti** 140

8.1	Introduzione	140
8.2	Colore	140
	■ Meccanismo della visione	141
	■ Colore degli alimenti	143
	■ Polieni	144
	■ Chinoni	145
	■ Eterocicli ossigenati o flavonoidi	146
	■ Pigmenti pirrolici	147
	FINESTRA 8.1 ■ Proprietà bioattive degli eterocicli ossigenati	149
	■ Derivati indolici	152
	■ Flavine	152
8.3	Aroma	152
	■ Sapore	153
	■ Odore	155

8.4	Valutazione delle qualità sensoriali degli alimenti	159
-----	---	-----

CAPITOLO 9**Contaminazione chimica degli alimenti** 161

9.1	Introduzione	161
9.2	Contaminazione da agrofarmaci	161
	■ Classificazione degli agrofarmaci	162
	FINESTRA 9.1 ■ Agrofarmaci: terminologia specifica	163
	■ Composti organoclorurati	165
	■ Composti organofosforati	165
	■ Carbammati e ditiocarbammati	166
	■ Piretrine e piretroidi	166
	■ Controllo e ricerca analitica dei residui di pesticidi negli alimenti	166
9.3	Contaminazione da fertilizzanti	167
	FINESTRA 9.2 ■ Prodotti biologici	167
9.4	Contaminazione da farmaci veterinari e anabolizzanti	167
9.5	Contaminazione da contenitori	168
	■ Requisiti dei MOCA	168
	■ ECONOMIA CIRCOLARE Metalli	169
	■ Ceramica	170
	■ ECONOMIA CIRCOLARE Vetro	171
	■ ECONOMIA CIRCOLARE Carta e cartoni	171
	■ ECONOMIA CIRCOLARE Plastica	172
	■ ECONOMIA CIRCOLARE Imballaggi innovativi	176
9.6	Contaminanti ambientali	177
	■ Inquinanti organici persistenti o POPs	177
	■ Metalli pesanti	178
	■ Radionuclidi	180
9.7	Contaminanti da processo	182

CAPITOLO 10**Additivi alimentari** 183

10.1	Introduzione	183
10.2	Requisiti legali e sicurezza	183
	FINESTRA 10.1 ■ Vari aspetti del problema "additivi"	184
10.3	Categorie funzionali di additivi	184
10.4	Conservanti	185
	■ Conservanti con esclusiva azione antimicrobica	185
	■ Conservanti utilizzati per scopi particolari	186
	■ Sostanze destinate principalmente ad altri usi ma con effetto conservativo secondario	187

10.5	Antiossidanti	189
10.6	Additivi ad azione fisica	191
	■ Stabilizzanti, addensanti, gelificanti	191
	■ Amidi modificati	192
	■ Emulsionanti	192
10.7	Esaltatori di sapidità	193
10.8	Agenti di rivestimento	194
10.9	Acidificanti	194
10.10	Antiagglomeranti	194
10.11	Agenti lievitanti	194
10.12	Agenti schiumogeni e antischiumogeni	194
10.13	Sali di fusione	195
10.14	Agenti di trattamento delle farine	195
10.15	Gas di imballaggio	195
10.16	Coloranti	195
10.17	Edulcoranti	197
	■ Edulcoranti naturali o natural-derivati	198
	■ Edulcoranti sintetici	199
10.18	Aromatizzanti	200
10.19	Enzimi	202
10.20	Coadiuvanti tecnologici	203
10.21	Etichettatura degli alimenti: norme legislative	205
FINESTRA 10.2	Prodotti tipici	209

PARTE D

CONSERVAZIONE DEGLI ALIMENTI

CAPITOLO 11

Alterazioni e tutela igienico-sanitaria degli alimenti

11.1	Introduzione	211
11.2	Cause di alterazione e trasformazione delle sostanze alimentari	211
	■ Cause biologiche	211
	■ Cause fisico-chimiche	215
11.3	Microrganismi responsabili di alterazioni e trasformazioni degli alimenti	215
	■ Batteri	215
FINESTRA 11.1	Principali microrganismi alla base della microbiologia degli alimenti	216
	■ Funghi	220
11.4	Fattori ecofisiologici e crescita microbica	222
	■ Fattori intrinseci	222
	■ Fattori estrinseci	224
	■ Fattori impliciti	225
11.5	Fonti di contaminazione	225
11.6	Tutela igienico-sanitaria degli alimenti	226
	■ Normativa, organi di controllo, sistema di allerta	226

FINESTRA 11.2	Rintracciabilità e tracciabilità	226
	■ Sistema HACCP	228
	■ Certificazione di qualità	230

CAPITOLO 12

Conservazione con il calore

12.1	Classificazione dei metodi di conservazione	231
12.2	Azione delle alte temperature su microrganismi ed enzimi	231
FINESTRA 12.1	Penetrazione del calore	234
12.3	Scambiatori di calore	234
12.4	Pastorizzazione	236
12.5	Sterilizzazione	236
12.6	Tecnologia dei prodotti inscatolati	238
	■ Appertizzazione	238
	■ Confezionamento asettico	240
12.7	Valore nutritivo degli alimenti conservati con il calore	241

CAPITOLO 13

Conservazione con il freddo

13.1	Azione delle basse temperature su microrganismi ed enzimi	244
13.2	Refrigerazione	244
13.3	Refrigerazione con modifica dell'atmosfera	246
FINESTRA 13.1	Gamme di prodotti	247
	■ Modifica di atmosfera senza aggiunta di gas	250
13.4	Conservazione in <i>cryovac</i>	250
13.5	Congelamento	251
	■ Principali sistemi di congelamento rapido e ultrarapido	252
13.6	Surgelati	254
	■ Preparazione	254
	■ Congelamento	255
	■ Confezionamento (obbligatorio per i prodotti destinati al consumo diretto)	255
	■ Conservazione	255
	■ Scongellamento di surgelati e congelati	255
13.7	Valore nutritivo degli alimenti congelati e dei "surgelati"	256

CAPITOLO 14

Conservazione per disidratazione

14.1	Azione della disidratazione su microrganismi ed enzimi	257
14.2	Concentrazione degli alimenti liquidi	258
	■ Concentrazione per evaporazione	258

FINESTRA 14.1 ■ Pressione atmosferica ed ebollizione dell'acqua

■ Crioconcentrazione	259
■ Concentrazione tramite processi a membrana	260
14.3 Essiccamento	262
■ Essiccamento con aria calda	265
■ Essiccamento mediante radiazioni	266
■ Essiccamento per contatto diretto con una superficie riscaldata	267
■ Lavorazione dei prodotti essiccati	267
14.4 Tecniche innovative per l'essiccamento degli alimenti	269
■ HPU: ultrasuoni ad alta potenza (sonicazione)	269
■ RWD: finestra di rifrazione	269
■ EHD: metodo elettroidrodinamico	270
14.5 Liofilizzazione	270
14.6 Valore nutritivo degli alimenti disidratati	272

CAPITOLO 15**Irraggiamento e altri metodi fisici di conservazione innovativi**

15.1 Introduzione	274
15.2 Radiazioni elettromagnetiche	274
15.3 Microonde	275
15.4 Radiofrequenze	276
15.5 Radiazioni ultraviolette	276
15.6 Luce pulsata	277
15.7 Radiazioni ionizzanti	278
■ Raggi X, γ e β	278
■ Azione delle radiazioni ionizzanti sui microrganismi	278
■ Trattamenti e normativa	279
■ Valore nutritivo degli alimenti irradiati	280
15.8 Ultrasuoni	281
15.9 Alte pressioni idrostatiche (pascalizzazione)	282
15.10 Campi elettrici pulsati	283
15.11 Riscaldamento ohmico	284
15.12 Gas plasma	284
FINESTRA 15.1 ■ Progetto pilota per l'uso del gas plasma per decontaminare le superfici	285
15.13 Uso della "CO ₂ supercritica"	286

CAPITOLO 16**Mezzi chimici e chimico-fisici di conservazione**

16.1 Introduzione e classificazione	287
16.2 Conservanti artificiali	287

16.3 Conservanti naturali	288
■ Cloruro di sodio	288
■ Saccarosio	290
■ Alcol etilico	291
■ Olio	291
■ Aceto	291
16.4 Spezie ed erbe aromatiche	292
16.5 Affumicamento	292
FINESTRA 16.1 ■ Principali spezie ed erbe aromatiche e loro caratteristiche	293
■ Idrocarburi policiclici aromatici	294
■ Generatori di fumo e penetrazione del fumo negli alimenti	294
■ Affumicatori	294
■ Metodi alternativi di affumicamento	295
16.6 Valore nutritivo degli alimenti conservati con sostanze chimiche	296

PARTE E**LATTE E LATTICINI****CAPITOLO 17****Latte e yogurt**

17.1 Introduzione	297
17.2 Caratteristiche fisico-chimiche del latte	297
17.3 Composizione chimica del latte	297
■ Acqua	297
■ Proteine	298
■ Lipidi	300
■ Glucidi	301
■ Vitamine	302
■ Sali minerali	302
■ Altri costituenti	302
17.4 Risanamento e conservazione del latte	303
■ Latte crudo	303
■ Latte risanato	303
17.5 Latti speciali	308
■ Latte scremato e parzialmente scremato	308
■ Latti arricchiti	308
■ Latte prebiotico, probiotico e simbiotico	308
■ Latte senza lattosio e a ridotto contenuto di lattosio	308
■ Latte parzialmente e totalmente disidratato	309
■ Latti fermentati – yogurt	311
17.6 Analisi del latte	312
FINESTRA 17.1 ■ NMR e fingerprint metabolomico degli alimenti	314
FINESTRA 17.2 ■ Spettrofotometria IR e FTIR	315

FINESTRA 17.3 ■ Spettroscopia NIRS	316
FINESTRA 17.4 ■ Tecniche elettroforetiche	318
FINESTRA 17.5 ■ Saggio ELISA	320
FINESTRA 17.6 ■ Test lateral flow	320

CAPITOLO 18

Burro 321

18.1 Introduzione	321
18.2 Estrazione della crema	321
18.3 Burrificazione con il metodo discontinuo	322
■ Pastorizzazione della crema	322
■ Cristallizzazione	323
■ Addizione delle colture e maturazione	323
■ Zangolatura	323
■ Lavaggio	324
■ Impastamento-formatura-confezionamento	324
18.4 Burrificazione continua	324
18.5 Composizione chimica	325
FINESTRA 18.1 ■ Alterazioni del burro	326
18.6 Burro anidro e burro chiarificato	326
18.7 Principali analisi chimiche del burro	327
FINESTRA 18.2 ■ Gascromatografia	328
FINESTRA 18.3 ■ Cromatografia su strato sottile	329

CAPITOLO 19

Formaggio 330

19.1 Introduzione	330
19.2 Fabbricazione del formaggio	330
■ Preparazione del latte	330
■ Coagulazione	332
■ Rottura della cagliata	333
■ Cottura	333
■ Estrazione-messa in forma	333
■ Salagione	334
■ Maturazione	334
19.3 Classificazione dei formaggi	336
FINESTRA 19.1 ■ Alterazioni e difetti dei formaggi	338
19.4 Principali analisi chimiche dei formaggi	338
FINESTRA 19.2 ■ HPLC in fase inversa	340
FINESTRA 19.3 ■ Cromatografia a coppia ionica	340
19.5 ECONOMIA CIRCOLARE Reflui e sottoprodotti dell'industria agroalimentare	340
■ Acque reflue, depurazione e smaltimento	342
19.6 ECONOMIA CIRCOLARE Reflui, sottoprodotti e MPS dell'industria lattiero-casearia	342

PARTE F

UOVA, CARNE E PESCE

CAPITOLO 20

Uova e prodotti d'uovo 344

20.1 Introduzione	344
FINESTRA 20.1 ■ Uova polifunzionali	344
20.2 Struttura e composizione chimica	344
20.3 Classificazione e conservazione	347
20.4 Prodotti d'uovo	348
20.5 Principali analisi chimiche delle uova	350

CAPITOLO 21

Carne e salumi 351

21.1 Introduzione	351
21.2 Struttura e composizione chimica	351
■ Acqua	351
■ Proteine	352
■ Lipidi	357
■ Glucidi	357
■ Vitamine e sali minerali	357
21.3 Modificazione delle carni dopo la macellazione	357
FINESTRA 21.1 ■ Nuove tecniche di frollatura	358
21.4 Classificazione e commercializzazione delle carni	360
21.5 Carni alternative	362
■ Pollame-tacchino	362
■ Coniglio (<i>Oryctolagus cuniculus</i>)	363
21.6 Conservazione della carne	364
21.7 Trasformazione delle carni: i salumi	365
■ Insaccati	366
■ Non insaccati	367
21.8 Principali analisi delle carni fresche (muscolo)	369
FINESTRA 21.2 ■ Spettrometria di massa	370
FINESTRA 21.3 ■ Analisi dei residui di steroidi anabolizzanti con metabolomica non mirata	371
21.9 ECONOMIA CIRCOLARE Scarti, sottoprodotti e MPS della lavorazione della carne	371
■ Reflui nei macelli e negli stabilimenti della lavorazione della carne	373

CAPITOLO 22

Pesce e conserve ittiche 374

22.1 Introduzione	374
22.2 Classificazione	374

FINESTRA 22.1 ■ Acquacoltura

22.3	Composizione chimica	375
22.4	Modificazioni <i>post mortem</i> : valutazione della freschezza	377
22.5	Sostanze tossiche nei prodotti ittici e igiene del pesce	379
22.6	Commercializzazione del pesce	383
22.7	Conservazione e trasformazione dei prodotti ittici	383
	■ Conservazione per mezzo del freddo	383
	■ Essiccazione, salagione, affumicamento	384
	■ Conserve e semiconserve	385
22.8	Principali analisi chimiche del pesce	386
	FINESTRA 22.2 ■ Elettroforesi	389
	FINESTRA 22.3 ■ Amplificazione degli acidi nucleici (PCR)	389
22.9	ECONOMIA CIRCOLARE Scarti, sottoprodotti e MPS ittici	389
	FINESTRA 22.4 ■ Produzione della farina e dell'olio di pesce	390

PARTE G**OLI E GRASSI VEGETALI****CAPITOLO 23**

Olio d'oliva		391
23.1	Introduzione	391
23.2	Struttura e composizione dell'oliva	391
23.3	Tecniche di estrazione	392
	■ Estrazione dell'olio per pressione	392
	■ Estrazione dell'olio per centrifugazione	395
	■ Estrazione dell'olio mediante filtrazione selettiva	395
FINESTRA 23.1 ■ Tecnologie emergenti nell'industria olearia		396
23.4	Composizione chimica dell'olio di oliva	396
23.5	Olio dalle sanse	398
23.6	Rettifica degli oli	398
23.7	Classificazione ed etichettatura	400
23.8	Analisi sensoriale dell'olio	401
FINESTRA 23.2 ■ Olio di oliva extravergine denocciolato		402
23.9	Principali analisi chimiche dell'olio di oliva	403
23.10	ECONOMIA CIRCOLARE Reflui e sottoprodotti dell'industria olearia	406
	■ Sottoprodotti solidi e materie prime secondarie	406
	■ Acque reflue, depurazione e smaltimento	407

CAPITOLO 24

Olio di semi e margarina		409
24.1	Introduzione	409
24.2	Estrazione dell'olio	409
24.3	Principali oli di semi	412
	■ Olio di arachide	412
	■ Olio di girasole	412
	■ Olio di mais	413
	■ Olio di soia	413
	■ Olio di vinaccioli	414
	■ Olio di colza	414
24.4	Principali analisi chimiche degli oli di semi	415
24.5	Margarina	415
	■ Definizione e caratteristiche legali	415
	■ Composizione	415
	■ Idrogenazione degli oli	416
FINESTRA 24.1 ■ Oleogel		418
	■ Preparazione e classificazione	418
	■ Principali analisi chimiche della margarina	419
24.6	ECONOMIA CIRCOLARE Sottoprodotti dell'industria olearia di semi	419

PARTE H**CEREALI, ORTAGGI, FRUTTA, BEVANDE FERMENTATE E NERVINE****CAPITOLO 25**

Cereali, sfarinati, prodotti da forno e pasta	420	
25.1	Introduzione	420
25.2	Frumento	420
FINESTRA 25.1 ■ OGM e CRISPR		421
■	Struttura della cariosside di frumento	422
■	Composizione chimica	422
FINESTRA 25.2 ■ Celiachia		424
■	Molitura del frumento	425
■	Principali analisi degli sfarinati di frumento	427
FINESTRA 25.3 ■ Tecnica molecolare PCR		429
■	ECONOMIA CIRCOLARE Sottoprodotti e materie prime secondarie della lavorazione dei cereali	429
25.3	Pane	430
■	Impastamento	433
■	Fermentazione	434
■	Cottura	434
■	Tipi di pane e pani speciali	435
■	Altri prodotti da forno ed estrusi	435
■	Principali analisi chimiche del pane	437

25.4	Pasta	437
	■ Ingredienti e preparazione	438
	■ Classificazione	440
	■ Principali analisi chimiche della pasta	441
25.5	Riso	441
	■ Lavorazione del riso	443
	■ Classificazione e prodotti derivati	443
	■ ECONOMIA CIRCOLARE Sottoprodotti e materie prime secondarie della lavorazione del riso	445
25.6	Mais	445
25.7	Orzo	445
25.8	Avena	446
25.9	Segale	446

CAPITOLO 26

Ortaggi, legumi, frutta, conserve vegetali e novel food

447

26.1	Introduzione	447
26.2	Ortaggi: composizione chimica	448
26.3	Ortaggi più importanti	448
	■ Ortaggi da frutto	448
	■ Ortaggi da fiore	449
	■ Ortaggi da foglia	449
	■ Ortaggi da fusto	449
	■ Ortaggi da radice	451
	■ Ortaggi da bulbo	451
	■ Ortaggi da tubero	451
26.4	Legumi	451
	FINESTRA 26.1 ■ Favismo	454
26.5	Funghi e tartufi	455
26.6	Frutta	457
26.7	Frutti più importanti	458
	■ Frutta acidulo-zuccherina	458
	■ Frutta acidula	458
	■ Frutta zuccherina	459
	■ Frutta farinosa	459
	■ Frutti esotici	459
	■ Frutta secca (oleosa) e frutta essiccata	459
26.8	Conservazione di verdura e frutta	459
26.9	Conservazione e trasformazione del pomodoro	461
26.10	Trasformazione della frutta	463
	■ Confetture e marmellate	463

FINESTRA 26.2 ■ Pectine e processo di gelificazione

	■ Frutta sciroppata	464
	■ Succhi di frutta	465
26.11	Principali analisi delle conserve vegetali	465
26.12	ECONOMIA CIRCOLARE Scarti, sottoprodotti e MPS dell'industria conserviera	468
	■ Sottoprodotti della lavorazione del pomodoro	468

	■ Sottoprodotti della lavorazione delle mele e degli agrumi	469
	■ Reflui nell'industria conserviera	469
26.13	Novel food	470
	■ Microalghe	471
	■ Insetti	472
	■ Carne artificiale, coltivata o a base cellulare	472

CAPITOLO 27

Vino, birra e aceto

473

27.1	Introduzione	473
27.2	Vino	473
	■ Uva	473

FINESTRA 27.1 ■ Metabolismo dell'alcol e unità alcolica

474

	■ Mosto	476
	■ Analisi del mosto	480
	■ Correzioni del mosto	481
	■ Uso del diossido di zolfo in enologia	482
	■ Vinificazione	483
	■ Agenti della fermentazione alcolica: lieviti	486
	■ Composizione chimica del vino	487
	■ Cure e correzioni al vino nuovo	490
	■ Chiarificazione e stabilizzazione del vino	492
	■ Invecchiamento	493
	■ Classificazione dei vini	493
	■ Vini speciali	494
27.3	Principali analisi del vino	495
	FINESTRA 27.2 ■ Densitometria elettronica	496

27.4	ECONOMIA CIRCOLARE Reflui e sottoprodotti dell'industria vinaria	500
	■ Acque reflue, depurazione e smaltimento	500
27.5	Birra	501
27.6	ECONOMIA CIRCOLARE Reflui e sottoprodotti della lavorazione della birra	502
	■ Acque reflue e loro depurazione	503
27.7	Bevande alcoliche fermentate e distillate e bevande liquorose	503
27.8	Aceto di vino	503

CAPITOLO 28

Bevande e alimenti nervini

505

28.1	Introduzione	505
28.2	Caffè	505
	■ Lavorazione del caffè	506
	■ Composizione chimica dei chicchi verdi e tostati	508
	■ Caffè decaffeinato e solubile	510
	■ ECONOMIA CIRCOLARE Fondi di caffè come MPS	510

28.3	Tè	510	FINESTRA 28.1 ■ Con gli scarti del cacao si può costruire anche un villaggio	519
	■ Composizione chimica delle foglie	510		
	■ Lavorazione del tè	513		
	■ Classificazione del tè	513		
	■ ECONOMIA CIRCOLARE Scarti e MPS della lavorazione del tè	515		
28.4	Cacao	515		
	■ Composizione chimica dei semi di cacao	515		
	■ Lavorazione del cacao	516		
	■ Prodotti derivati dalla lavorazione del cacao	518		
	■ ECONOMIA CIRCOLARE Scarti e MPS della lavorazione del cacao	519		
			Fonti delle illustrazioni	522
			Indice analitico	523

LE RISORSE DIGITALI

A questo indirizzo sono disponibili le risorse digitali di complemento al libro:

universita.zanichelli.it/cappelli2e

Per accedere alle risorse protette è necessario registrarsi su **my.zanichelli.it** e inserire il codice di attivazione personale che si trova sul bollino argentato nella prima pagina del libro.

Dal sito del libro è possibile:

- accedere ad alcune **tabelle**, tra cui quelle riassuntive su sali minerali e vitamine;
- leggere alcuni **approfondimenti**, come quelli su difetti e malattie del vino;

- consultare **aggiornamenti legislativi** importanti, come quelli relativi all'eventuale evoluzione dei LARN;
- trovare il link per i **test interattivi di autovalutazione**;
- accedere a **domande aperte di verifica** per ogni capitolo;
- consultare la **Tavola periodica interattiva**;
- accedere direttamente alla versione Ebook.

L'accesso all'Ebook e alle risorse digitali protette è personale, non condivisibile e non cedibile, né autonomamente né con la cessione del libro cartaceo.

PREFAZIONE

Principi di chimica degli alimenti tratta globalmente i molteplici aspetti della chimica degli alimenti, i processi industriali a cui i prodotti alimentari vengono sottoposti in fase di trasformazione e conservazione, la classificazione merceologica e le complesse norme legislative italiane ed europee in materia.

Il volume è suddiviso in otto parti:

- nelle Parti A–C (Capitoli 1–10) si analizzano i principi nutritivi organici e inorganici presenti negli alimenti dal punto di vista chimico, biochimico e nutrizionale, le sostanze che derivano dalle loro trasformazioni, quelle responsabili dei caratteri organolettici, i contaminanti, gli additivi e l'etichettatura degli alimenti;
- nella Parte D (Capitoli 11–16) si esaminano la sicurezza e la qualità alimentare, la tutela igienico-sanitaria degli alimenti, le cause della loro alterazione e i metodi di conservazione tradizionali e innovativi;
- nelle Parti E–H (Capitoli 17–28) si trattano in modo sistematico i vari gruppi di alimenti dal punto di vista bromatologico e merceologico, i processi industriali a cui vengono sottoposti o da cui derivano, le innovazioni nella filiera agroalimentare, i principali metodi di analisi, i sottoprodotti e le materie prime secondarie che si ottengono dagli scarti.

Le principali novità di questa edizione sono:

- l'**aggiornamento dei contenuti** secondo le più recenti ricerche in campo scientifico e tecnologico, con alcuni approfondimenti, tra cui la **risonanza magnetica nucleare** applicata alle analisi degli alimenti;
- l'**adeguamento di tutta la normativa** in base agli attuali regolamenti europei e alle leggi nazionali;
- i **principi di economia circolare**, con impiego degli scarti di produzione come sottoprodotti e/o materie prime secondarie, dei reflui per estrarre molecole ad alto valore aggiunto e loro successiva bonifica e smaltimento;
- **novel food** e relativa legislazione;
- **ampliamento della tutela igienico-sanitaria degli alimenti**, in particolare l'**HACCP**.

Inoltre, rispetto alla precedente edizione, ogni capitolo è corredato da almeno una scheda (*Finestra*) in cui si sottolineano o approfondiscono argomenti collegati al contenuto del testo. Anche i metodi di analisi presentano *Finestre* in cui si evidenziano le tecniche strumentali utilizzate.

2 maggio 2024

Patrizia Cappelli e Vanna Vannucchi

IRRAGGIAMENTO E ALTRI METODI FISICI DI CONSERVAZIONE INNOVATIVI

15.1 Introduzione

In questo capitolo sono esaminati alcuni metodi di impiego ormai comune, come le microonde, altri sperimentati da tempo anche se non molto diffusi, come le radiazioni ionizzanti, altri ancora emergenti ma già in uso, come le radiofrequenze e le alte pressioni, e infine quelli più innovativi tuttora in fase sperimentale.

Le tendenze attuali vanno nella direzione di ricerca di metodi “non termici” che conducano a un risanamento microbiologico dei cibi senza alterare la loro composizione e i loro caratteri sensoriali e con risparmio di energia.

Un primo gruppo di tecniche fisiche utilizza le radiazioni elettromagnetiche: microonde, radiofrequenze, luce pulsata e radiazioni ionizzanti; un secondo gruppo è basato su fenomeni meccanici (onde sonore, alte pressioni idrostatiche); un terzo su quelli elettrici (campi elettrici pulsati, sterilizzazione ohmica). L'uso di gas plasma, invece, si può considerare un metodo chimico-fisico.

15.2 Radiazioni elettromagnetiche

In generale, le **radiazioni** sono un'emissione e propagazione di energia sotto forma di onde, elettromagnetiche o sonore, o di particelle subatomiche. In particolare, le radiazioni elettromagnetiche (EMR, *ElectroMagnetic Radiation*) sono emissione e propagazione di energia attraverso lo spazio, con andamento ondulatorio. La differenza tra le radiazioni di natura ondulatoria e quelle corpuscolate non è così netta perché, secondo la meccanica quantistica, le particelle subatomiche presentano a volte un comportamento ondulatorio e viceversa.

Ogni radiazione elettromagnetica è caratterizzata da una determinata lunghezza d'onda λ e una corrispondente frequenza ν (ni); a valori elevati di lunghezza d'onda corrispondono basse frequenze e viceversa.

Inoltre, al variare della lunghezza d'onda cambiano le caratteristiche e gli effetti prodotti dalle radiazioni (Figura 15.1).

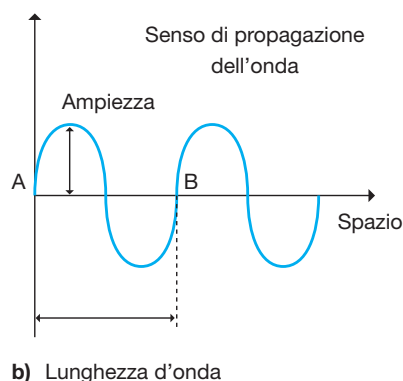
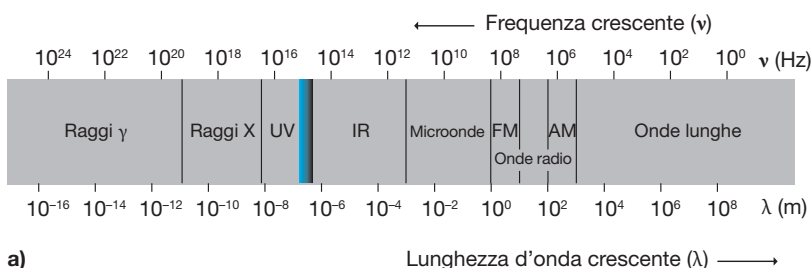


Figura 15.1 a) Spettro delle EMR. **b)** Caratteristiche dell'onda elettromagnetica: la distanza tra A e B si chiama lunghezza d'onda (λ) e viene misurata con sottomultipli o multipli del metro. Per frequenza o ν (ni) si intende il numero di onde che passano nell'unità di tempo. Si ricava dividendo la velocità di propagazione delle EMR nel vuoto (che è sempre costante e uguale a 3×10^{10} cm/s) per la lunghezza d'onda. L'ampiezza è l'altezza dell'onda rispetto all'asse orizzontale centrale.

15.3 Microonde

Le microonde (MW, *MicroWaves*) costituiscono una forma di energia di impiego più recente, diversa da quelle tradizionali, che offre vaste possibilità di applicazione e innumerevoli vantaggi. La loro efficacia nella cottura dei cibi fu scoperta casualmente dallo statunitense Percy Spencer nel 1945, mentre metteva a punto un impianto radar.

Le microonde sono radiazioni dello stesso tipo delle onde radio; si possono suddividere in tre categorie (**Tabella 15.1**) e si collocano tra le onde radio propriamente dette e i raggi infrarossi (IR).

Questa forma di energia è utilizzata in molti settori: sistemi di controllo del traffico aereo, radar militari, trasmissioni via satellite ecc. Quelle impiegate nell'industria alimentare e a livello domestico hanno di solito frequenze di 915 MHz ($\lambda = 33$ cm) e di 2450 MHz ($\lambda = 12$ cm) e vengono assorbite dalle sostanze organiche. La velocità di penetrazione dipende da molti fattori, tra cui il contenuto idrico, il tenore salino, la temperatura, la forma e lo spessore del corpo irradiato, l'intensità del campo elettromagnetico.

Con i metodi tradizionali di riscaldamento il calore, che arriva alla superficie del corpo attraverso vari mezzi (irraggiamento, contatto con fluidi o con solidi), deve poi essere trasmesso all'interno.

Nel caso del **riscaldamento dielettrico** (**Figura 15.2**), come appunto quello a microonde, la radiazione, che penetra nel corpo, sollecita le molecole polari, particolarmente quelle dell'acqua, che si orientano nel senso del campo magnetico, e poiché questo si inverte milioni di volte al secondo in relazione alla frequenza impiegata, ciò provoca una violenta agitazione delle molecole stesse (**oscillazione di dipoli**), con notevole aumento della loro energia cinetica; queste si scontrano anche con molecole e atomi vicini.

Sotto l'influenza dell'inversione del campo magnetico si ha anche il movimento degli ioni, che si spostano seguendo l'oscillazione dell'onda (**conduzione ionica**). Il tutto si traduce in calore intenso all'interno del corpo, indipendentemente dalla conduttività termica, dalla densità e dalle dimensioni, abbreviando di molto i tempi di trattamento (**Figura 15.3**).

Un **impianto a microonde** è costituito essenzialmente da tre elementi: il **generatore** con il magnetron, una **guida d'onda** (*waveguide*), vale a dire una condotta che

trasporta le onde generate, e una **camera** o un tunnel in cui si collocano gli alimenti, rivestita di materiale riflettente in modo che la radiazione risulti uniformemente distribuita.

Le microonde vengono respinte dai metalli, mentre attraversano, senza essere assorbite, il vetro, il cartone e la plastica; pertanto, gli alimenti possono essere trattati all'interno dei loro involucri, che sono riscaldati indirettamente dal cibo.

L'azione delle microonde sui microrganismi, influenzata notevolmente dalla composizione dell'alimento, è dovuta all'aumento della temperatura e anche a un effetto non termico che causa cambiamenti nelle molecole biologiche, alterando i componenti intracellulari.

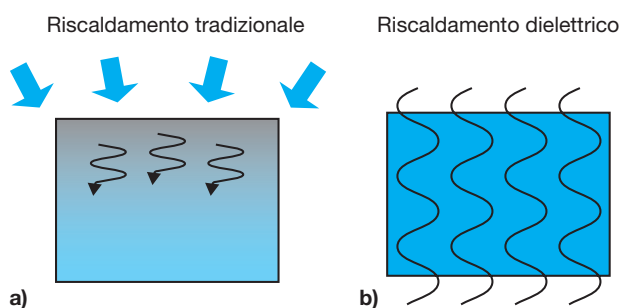


Figura 15.2 a) Riscaldamento tradizionale: il calore è trasferito da una sorgente esterna mediante conduzione, convezione, irraggiamento; si propaga lentamente dalla superficie fino al centro dell'alimento per conduzione. **b)** Riscaldamento dielettrico: il calore è generato immediatamente e in qualsiasi punto all'interno dell'alimento.

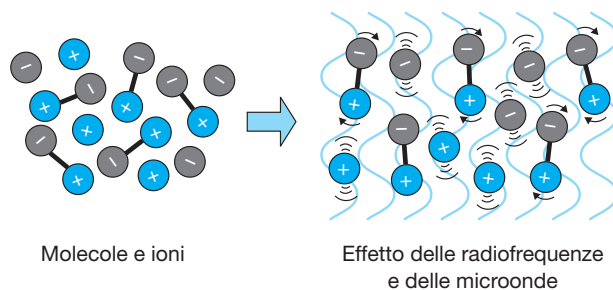


Figura 15.3 Effetto del riscaldamento con microonde su molecole polari e ioni. Le molecole vibrano e ruotano, gli ioni si spostano seguendo l'oscillazione del campo magnetico.

Tabella 15.1 Classificazione delle microonde in base alla frequenza e alla lunghezza d'onda.

Denominazione	Frequenza (ν)	Lunghezza d'onda (λ)	
UHF (<i>Ultra High Frequency</i>)	300 Mhz–3 Ghz	1 m–100 mm	onde decimetriche
SHF (<i>Super High Frequency</i>)	3–30 Ghz	100 mm–10 mm	onde centimetriche
EHF (<i>Extreme High Frequency</i>)	30–300 Ghz	10 mm–1 mm	onde millimetriche

Le applicazioni in campo alimentare sono svariate e richiedono energie diverse: scongelamento, scottatura, riscaldamento, cottura e, per quanto riguarda la conservazione, pastorizzazione, sterilizzazione ed essiccazione.

Nella **pastorizzazione** e nella **sterilizzazione**, le temperature di riscaldamento sono rispettivamente di circa 75 e 121 °C per alcuni minuti. I principali vantaggi rispetto ai sistemi tradizionali consistono nella possibilità di trattare i prodotti all'interno dei propri involucri sigillati, con maggiori garanzie di igienicità, in tempi ridotti e, quindi, con risparmio energetico. Le microonde hanno, inoltre, un effetto sterilizzante nettamente superiore e un effetto cottura inferiore.

Anche nel caso dell'**essiccamento** e della **liofilizzazione**, i tempi di trattamento sono più brevi grazie alla penetrazione istantanea e uniforme della radiazione nella materia; gli alimenti essiccati, specialmente se il procedimento è condotto sottovuoto, mantengono meglio il gusto originale e presentano una maggiore predisposizione alla reidratazione.

Nel caso dei liofilizzati il vantaggio più evidente è che, durante l'essiccamento secondario, lo spessore non costituisce più un fattore strettamente limitante, come avviene con il riscaldamento tradizionale, in cui gli strati superficiali, che seccano per primi, formano una barriera per la fuoriuscita di vapore acqueo da quelli più interni.

15.4 Radiofrequenze

L'utilizzo delle radiofrequenze (RF) per il riscaldamento e il risanamento dei cibi è una tecnologia emergente ma che inizia a diffondersi a livello industriale. Le radiofrequenze si trovano nello spettro elettromagnetico accanto alle microonde e sono caratterizzate da una frequenza ancora minore, che va da 3 Hz a 3 kHz per le ELF (*Extreme Low Frequency*) e da 30 a 300 MHz per le VHF (*Very High Frequency*). Come per le microonde, il riscaldamento è endogeno o dielettrico e avviene per mezzo di campi elettromagnetici oscillanti molto intensi, con frequenze che possono essere di circa 13,56 MHz, 27,12 MHz o 40,68 MHz. Anche le onde radio determinano, nelle sostanze che attraversano, una rapida oscillazione e rotazione dei dipoli e una traslazione degli ioni, con conseguenti urti e attriti tra le particelle e liberazione di calore.

Le radiofrequenze devono la loro azione antimicrobica prevalentemente all'effetto del rialzo termico; tra i fattori che più incidono nel processo vi sono, oltre alla frequenza utilizzata, la composizione dell'alimento (tenore idrico e presenza di composti ionici), la sua densità e la forma.

Gli impianti di riscaldamento a RF sono costituiti da un **generatore**, ovvero elettrodi che convertono

l'elettricità in onde radio, e dall'**applicatore**, che può essere verticale, per il riscaldamento in massa di prodotti voluminosi, oppure orizzontale o inclinato, per il riscaldamento di prodotti sottili, rispettivamente in superficie o in massa.

La **pastorizzazione** con radiofrequenze, come quella a microonde, risulta efficace soprattutto su alimenti solidi e semisolidi, in cui la diffusione del calore con il riscaldamento convenzionale è più lenta; inoltre, il trattamento può essere attuato su alimenti già confezionati. In questo caso si effettua un preriscaldamento con aria calda per portare l'involucro alla temperatura di pastorizzazione; l'alimento viene poi irraggiato con le radiofrequenze, raggiungendo velocemente i 76–82 °C, e passa infine in un settore di mantenimento della temperatura scaldato convenzionalmente. L'intero ciclo può durare da 10 a 20 minuti a seconda del tipo di alimento e degli effetti microbiostatici più o meno spinti che si vogliono ottenere.

Per alimenti liquidi o fluidi, e anche con solidi in sospensione (polpe, succhi ecc.), si può utilizzare la **pastorizzazione/sterilizzazione** in continuo usando uno o più tubi di teflon trasparenti posizionati direttamente tra gli elettrodi. La temperatura che si vuole ottenere dipende dalla potenza delle radiofrequenze e dalla velocità con cui il materiale fluisce nel tubo. Per la pastorizzazione si arriva a 80–100 °C (*standard* o *high*), mentre si superano i 120 °C per la sterilizzazione.

Gli impianti a RF, come quelli a MW, risultano più efficienti in termini di consumo di energia, poiché l'ambiente che circonda il prodotto non viene coinvolto. La carica batterica è abbattuta in tempi brevi, l'alimento mantiene inalterate le sue caratteristiche, i macchinari sono di facile gestione e pulizia e non vi è liberazione di fumi né di vapori.

Le applicazioni delle radiofrequenze in campo alimentare, oltre alla pastorizzazione e alla sterilizzazione, riguardano la deumidificazione/essiccazione di prodotti da forno, poiché le RF si sono dimostrate particolarmente efficienti nel far evaporare rapidamente l'acqua degli alimenti; vengono inoltre utilizzate per lo scongelamento rapido di carne e pesce e per l'essiccazione/pastorizzazione della pasta fresca (**Figura 15.4**).

15.5 Radiazioni ultraviolette

Il fatto che la luce del sole espliciti, seppure limitatamente, un'azione microbica è dovuto alla presenza, nei raggi solari che giungono sulla superficie terrestre, di una piccola quantità di ultravioletti costituiti per il 95% da UVA (**Tabella 15.2**); la maggior parte degli UVB e tutti gli UVC vengono infatti trattenuti dall'ozonosfera. Tra le radiazioni UV (λ compresa tra 10 e 400 nm), quelle maggiormente efficaci nei confronti dei microrganismi hanno una lunghezza d'onda compresa tra i 250 e i 280 nm.

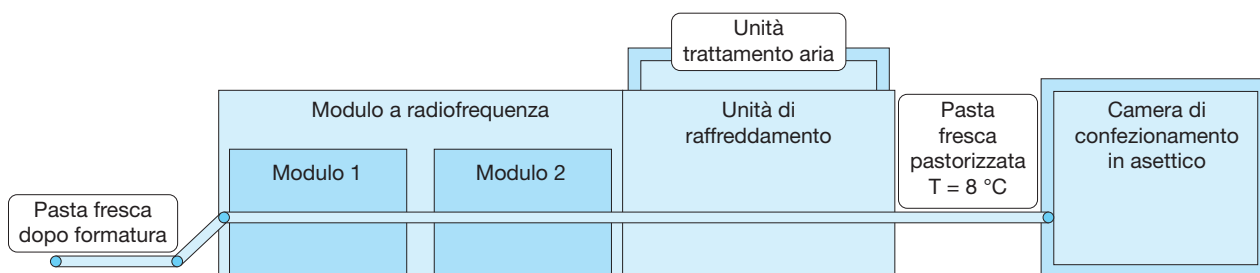


Figura 15.4 Schema di impianto a radiofrequenze per la pastorizzazione/essiccazione della pasta fresca. Le fasi di trattamento sono tre: pastorizzazione (e simultanea essiccazione mediante trattamento elettromagnetico), raffreddamento e confezionamento asettico. La prima fase viene effettuata in un unico tunnel, costituito generalmente da due moduli sequenziali, entro cui la pasta sfusa viene trasportata mediante un nastro di movimentazione. Gli elettrodi che erogano le radiofrequenze (a 27,12 MHz) sono disposti sia nella parte superiore sia in quella inferiore del nastro trasportatore.

Tabella 15.2 Classificazione delle radiazioni ultraviolette in base alla lunghezza d'onda.

Acronimo	Denominazione	λ (nm)	Energia/fotone (eV)
UVA	ultravioletto A (onde lunghe)	315–400	3,10–3,94
UVB	ultravioletto B (onde medie)	280–315	3,94–4,43
UVC	ultravioletto C (onde corte o germicide)	200–280	4,43–12,4
UVV	<i>vacuum</i> ultravioletto	10–200	6,20–124

Radiazioni di tale lunghezza d'onda vengono anche emesse da lampade di quarzo a vapori di mercurio.

Il meccanismo su cui si basa l'azione microbica delle radiazioni UV consiste in un'eccitazione degli atomi che incontrano; spostano, cioè, gli elettroni più esterni in orbitali a maggiore energia. Questi eventi coinvolgono molecole di grande importanza biologica come il DNA, soprattutto a livello delle basi pirimidiniche timina e citosina, particolarmente sensibili alla lunghezza d'onda di 260 nm, con formazione di dimeri (timina-timina e, in misura minore, citosina-citosina e timina-citosina); ciò determina una deformazione del DNA con conseguenti mutazioni al momento della replicazione.

I microrganismi hanno comunque la possibilità di riparare il danno in due modi diversi: con la **fotoriattivazione**, in cui un enzima, la fotoliasi, attivato dalla luce, scinde il dimero neoformato, oppure con enzimi, come endonucleasi e ligasi, che staccano il pezzo di filamento contenente il dimero e lo sostituiscono con uno non alterato (**riattivazione al buio**).

La capacità dei microrganismi di tollerare le radiazioni UV è strettamente collegata a vari fattori, alcuni relativi al tipo stesso di microrganismo e alla fase di crescita in cui si trova, altri invece esterni, come l'intensità di irraggiamento e la percentuale di acqua.

L'utilizzazione delle radiazioni ultraviolette è limitata, a causa del loro scarso potere di penetrazione, ad alcuni impieghi, come la disinfezione dell'aria nelle sale operatorie, in negozi e magazzini di prodotti alimentari, in stanze usate per riempimenti asettici, in laboratori e industrie farmaceutiche, nonché a trattamenti particolari,

nei Paesi in cui sono consentiti dalla legge, come la bonifica dell'acqua, la stagionatura delle carni, la conservazione di salumi e formaggi e la pastorizzazione del latte.

15.6 Luce pulsata

La luce pulsata (HILP, *High Intensity Light Pulse*) è una nuova tecnologia non termica basata sull'uso di impulsi di luce bianca di un ampio spettro di lunghezza d'onda, dall'ultravioletto al vicino infrarosso (200–1100 nm), di elevata intensità e di breve durata.

La HILP è utilizzata prevalentemente per abbattere la contaminazione microbica esterna degli alimenti o delle superfici a contatto, come contenitori, tappi, vasi e barattoli di metallo o plastica, riducendo l'uso di disinfettanti chimici, oltre a prolungare la *shelf-life* dei prodotti.

Gli impulsi, da 1 μ s a 100 ms ciascuno, sono di intensità e numero diversi a seconda delle finalità del trattamento, del tipo di materiale e del grado di contaminazione, e si producono rilasciando a intervalli regolari l'energia elettrica accumulata in un condensatore ad alta potenza, attraverso una lampada allo xeno. La loro caratteristica è di avere un'elevata energia emanata in brevissimo tempo e una notevole produzione di luce dotata di attività microbica; il trattamento risulta quindi più veloce ed efficace di quello con le sole radiazioni UV.

La letalità della luce pulsata varia in relazione alla lunghezza d'onda; le radiazioni con λ più corta sono più efficaci di quelle con λ più lunga, in quanto hanno livelli di energia più alti. Altre, che possono causare effetti indesiderati, vengono eliminate mediante l'uso di filtri. Gli

impulsi di luce determinano **reazioni fotochimiche** (raggi UV) o **fototermiche** (luce visibile e IR) negli alimenti. Nel primo caso l'azione antimicrobica è dovuta all'assorbimento dell'energia dei raggi UV da parte di doppi legami coniugati carbonio-carbonio delle proteine e degli acidi nucleici, con conseguente rottura e danni strutturali: uno dei bersagli principali è il DNA con formazione di dimeri di basi pirimidiniche. Nel secondo caso l'energia della luce pulsata è dissipata sotto forma di calore, causando un aumento di temperatura che è letale per i microrganismi. A questi effetti si aggiungono lesioni alle membrane cellulari dovute all'elevata intensità degli impulsi (**effetto fotofisico**).

A differenza dei danni causati dalle radiazioni UV, quelli dovuti alla luce pulsata non possono essere riparati perché troppo gravi o perché il sistema di riparazione è inattivato come altre funzioni enzimatiche. La luce pulsata è efficace contro batteri, spore, lieviti e muffe che si trovino su superfici solide o in liquidi trasparenti.

Le caratteristiche della luce (percentuali delle varie lunghezze d'onda, intensità, durata e numero di impulsi), il tipo di imballaggio e la tipologia dell'alimento, in particolare trasparenza, colore, tenore in solidi disciolti, sono i fattori che influenzano il processo.

Tra i vantaggi di questa tecnica vi sono il basso consumo energetico e l'assenza di acqua e di sostanze chimiche.

15.7 Radiazioni ionizzanti

Gli studi sull'utilizzo delle radiazioni ionizzanti nella conservazione degli alimenti risalgono all'inizio del secolo scorso, anche se le prime applicazioni hanno avuto luogo negli Stati Uniti, in ambito militare, negli anni '40 del Novecento, destando notevole interesse; tuttavia il loro impiego era limitato anche a causa di perplessità sulla sicurezza degli impianti e dei prodotti trattati.

Un importante passo avanti è stato compiuto nel 1981 con la pubblicazione dei risultati di studi ed esami, protrattisi per una decina di anni, da parte di un comitato congiunto di esperti FAO/IAEA/WHO (*Food and Agriculture Organization/International Atomic Energy Agency/World Health Organization*), in cui si asseriva che gli alimenti trattati a dosi inferiori a 10 kGy (il Gray è, secondo il Sistema Internazionale, l'unità di misura della dose di radiazioni assorbita) non causano problemi di ordine tossicologico, nutrizionale e microbiologico, consigliando perfino di preferire questo sistema di conservazione all'uso di alcuni additivi chimici. Al giorno d'oggi questa tecnologia è suggerita, supportata e regolamentata dalle suddette organizzazioni mondiali del settore e anche l'EFSA concorda sulla sicurezza e innocuità degli alimenti irradiati alle dosi previste.

Tra le radiazioni elettromagnetiche, quelle ionizzanti sono rappresentate dai **raggi X** e **γ**, oltre che dai raggi **β**, corpuscolati (elettroni).

Raggi X, γ e β

I **raggi X**, dotati di un buon potere di penetrazione, vengono attualmente impiegati per il fatto che i loro potenti fasci, in spettro continuo, ottenuti con i moderni acceleratori lineari, possono essere controllati nella direzione e selezionati in base alla banda di energia più conveniente per il trattamento degli alimenti (fino a 5 MeV).

I **raggi γ** vengono liberati durante la disintegrazione nucleare di alcuni isotopi, in particolare il ^{137}Cs (energia di 662 keV) e il ^{60}Co (energia media di 1,25 MeV); sono dotati di buon potere di penetrazione e microbica, senza peraltro, alle dosi normalmente usate, rendere radioattivo l'alimento. Possono essere utilizzati per trattare prodotti già confezionati, anche in banda stagnata, o di notevoli dimensioni.

I **raggi β**, corpuscolati, sono elettroni "sparati" da acceleratori sotto l'azione di potenti campi elettrici (con energie fino a 10 MeV). Hanno scarso potere di penetrazione (alcuni centimetri), ma attraversano i contenitori consentendo la sterilizzazione degli alimenti nei loro involucri; inoltre, non essendo generati da isotopi radioattivi come i raggi γ, sono di impiego più semplice e sicuro.

Azione delle radiazioni ionizzanti sui microrganismi

Queste radiazioni hanno energia sufficiente per ionizzare, in modo diretto o indiretto, gli atomi del materiale che incontrano, impartendo agli elettroni un'energia cinetica sufficiente a farli allontanare e trasformando gli atomi in ioni e radicali. Le radiazioni ionizzanti determinano anche fenomeni di eccitazione analoghi a quelli già esaminati per le radiazioni UV. Esse si suddividono in radiazioni a **bassa densità di ionizzazione** (raggi X e γ) e a **elevata densità di ionizzazione** (raggi β).

Gli effetti dannosi delle radiazioni ionizzanti sono noti da tempo. Possiamo evidenziare, nell'interazione con la materia vivente, tre fasi: fisica, chimica e biologica. Nella **fase fisica** si ha il vero e proprio processo di ionizzazione ed eccitazione con formazione di ioni e radicali liberi: questi, per la presenza di un elettrone spaiato, sono estremamente reattivi poiché tendono ad assumere un assetto elettronico stabile, alterando in modo più o meno marcato le molecole vicine (**fase chimica**) e, di conseguenza, i processi in cui queste sono coinvolte (**fase biologica**).

Le modifiche indotte si possono manifestare sia direttamente sulle molecole biologiche, sia indirettamente tramite **radiolisi dell'acqua**, evento più frequente, con ionizzazione e successiva formazione di radicali (**Figura 15.5**).

Quando una molecola di acqua assorbe energia da radiazioni, può divenire eccitata (H_2O^*) oppure ionizzata ($\text{H}_2\text{O}^+ + \text{e}^-$) con formazione di uno ione positivo e liberazione di un elettrone. Questo attrae a sé il polo positivo delle molecole di H_2O , che lo circondano e lo idratano

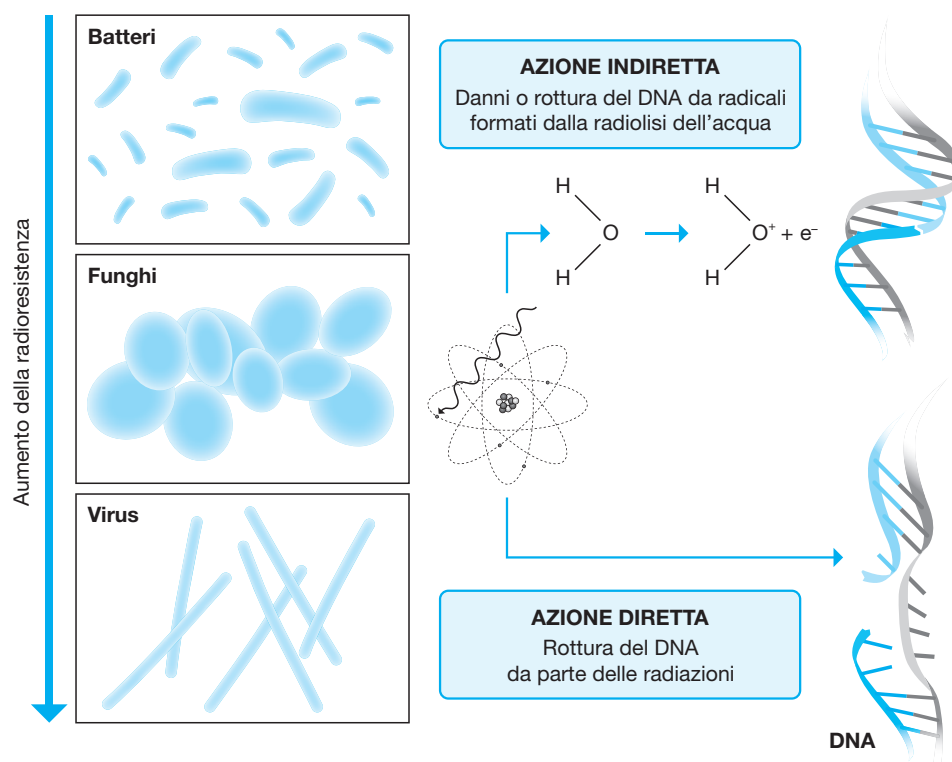
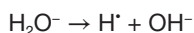
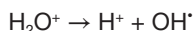


Figura 15.5 Effetti biologici delle radiazioni ionizzanti sul DNA dei microrganismi. I virus sono più resistenti dei funghi e dei batteri.

rendendolo così più stabile: $e \rightarrow e_{aq}^-$; in alternativa, può legarsi a un'altra molecola di H_2O formando H_2O_2 .

A differenza di e_{aq}^- , H_2O^+ e H_2O^- sono instabili e si decompongono:



I radicali H^* e OH^* possono reagire tra loro formando H_2 , H_2O_2 o H_2O , oppure con altre molecole di acqua o con i prodotti delle loro reazioni, dando luogo a nuovi radicali H^* , OH^* e HO_2^* , che possono a loro volta reagire con i composti organici staccando H^* e dando luogo a R^* . Tutti i radicali, inoltre, sono in grado di danneggiare molecole biologicamente importanti come il DNA, causando mutazioni e morte cellulare.

Numerosi fattori influenzano la **radiosensibilità cellulare**. Tra i più importanti **fattori interni** vi sono:

- **specie cellulare**: i Gram negativi sono più sensibili dei Gram positivi. Molto resistente è invece *Clostridium botulinum*, per la cui inattivazione occorrono dosi di 48–50 kGy. Le muffe sono sensibili quanto i Gram positivi, i lieviti resistono meglio e ancor più i virus e le spore. I parassiti, larve e adulti, sono poco resistenti, e infatti bastano da 1 a 10 kGy a ucciderli. In genere, 50 kGy (dose comunque vietata per il trattamento dei cibi, in cui si possono utilizzare al massimo 10 kGy)

provocano la morte dei parassiti e di tutti i microrganismi presenti nell'alimento, comprese le spore;

- **fase di crescita** in cui si trovano i batteri: quella più sensibile è la fase di latenza.

Tra i **fattori esterni** meritano un cenno:

- **ossigeno**, la più attiva tra le sostanze radiosensibilizzanti;
- **disidratazione**, che protegge i microrganismi dalla ionizzazione;
- **temperatura**, difatti il congelamento svolge azione protettiva per la scarsa produzione di radicali e per il loro libero movimento nella cellula.

L'azione delle radiazioni ionizzanti risulta meno efficace sugli **enzimi** rispetto ai microrganismi, tanto che le dosi per inattivarli sono talmente elevate da determinare gravi alterazioni al prodotto. È consigliabile quindi per i vegetali, che subiscono imbrunimenti di origine enzimatica, abbinare all'irradiazione un trattamento termico sufficiente a inattivare gli enzimi.

Trattamenti e normativa

Le radiazioni ionizzanti sono utilizzate con finalità diverse, in relazione al tipo di alimento e alle dosi impiegate; il metodo può essere abbinato ad altre tecniche di conservazione, come le basse temperature e il confezionamento in atmosfera modificata.

In base alla dose assorbita, si possono avere:

- **radurizzazione:** dosi inferiori a 1 kGy. Determina una diminuzione della carica batterica totale, con un effetto equivalente alla pastorizzazione;
- **radicizzazione:** dosi tra 1 e 10 kGy. Riduce drasticamente il numero dei microrganismi patogeni non sporigeni, senza rendere sterile il prodotto;
- **radappertizzazione:** dosi superiori a 10 kGy. Ha effetto sterilizzante, ma non è consentita dalla normativa vigente, che pone un limite massimo di 10 kGy.

Secondo le direttive europee (CE 2/1999, CE 3/1999 e successive modifiche) emanate allo scopo di armonizzare le normative dei Paesi membri, il trattamento con radiazioni ionizzanti deve essere finalizzato solo a evitare il deterioramento degli alimenti, a eliminare in tutto o in parte i microrganismi patogeni, a evitare le perdite di raccolti per maturazione, crescita e germinazione precoci e a disinfeettare i vegetali dai parassiti.

In Italia già il DM 30/08/1973 consentiva il trattamento di patate, aglio e cipolle a scopo antigerminativo; successivamente con il DLgs 94/2001, che recepiva le suddette direttive europee, l'irradiazione è stata estesa anche a erbe aromatiche essiccate, spezie e condimenti vegetali. Più lungo è l'elenco degli alimenti consentiti in altri Paesi europei, come Francia, Belgio, Olanda, Spagna e Repubblica Ceca.

La normativa italiana permette l'importazione di prodotti irradiati da altri Paesi; a tale scopo sono stati autorizzati dal Ministero della Salute numerosi laboratori per verificare il corretto trattamento mediante l'utilizzo di specifiche tecniche analitiche.

In Italia l'irradiazione degli alimenti viene effettuata da un solo impianto situato in Emilia-Romagna, con raggi γ , più che altro per prodotti sanitari, farmaceutici e *packaging* farmaceutico e cosmetico, oltre a quello alimentare, che è marginale (Figura 15.6a).

I prodotti trattati devono riportare la dicitura "irradiato" o "trattato con radiazioni ionizzanti" sulla confezione o su un cartello vicino se venduti sfusi. Ciò va specificato anche se si tratta di un ingrediente. Può essere applicato anche il simbolo internazionale "radura" (Figura 15.6b), oltre alla denominazione e all'indirizzo dell'impianto, o al suo numero di riferimento.

Non è possibile abbinare le radiazioni all'uso di conservanti chimici.

Valore nutritivo degli alimenti irradiati

Il tenore in nutrienti di alimenti irradiati entro i limiti legalmente previsti (≤ 10 kGy) non subisce diminuzioni di rilievo, tanto che è difficile distinguere un alimento trattato con radiazioni da uno conservato con una tecnica tradizionale. A dosi elevate (≥ 20 kGy) non consentite, invece, si osservano le seguenti modifiche:

- le **proteine** subiscono denaturazione, ossidazioni, rotture delle catene laterali, mentre a carico degli amminoacidi liberi si possono avere deaminazione con liberazione di ammoniaca e anche decarbossilazione con formazione di ammine, caratterizzate da odori intensi e sgradevoli;
- i **lipidi** vanno incontro a ossidazione, reazione avviata e condotta dai radicali liberi, presenti in numero elevato;

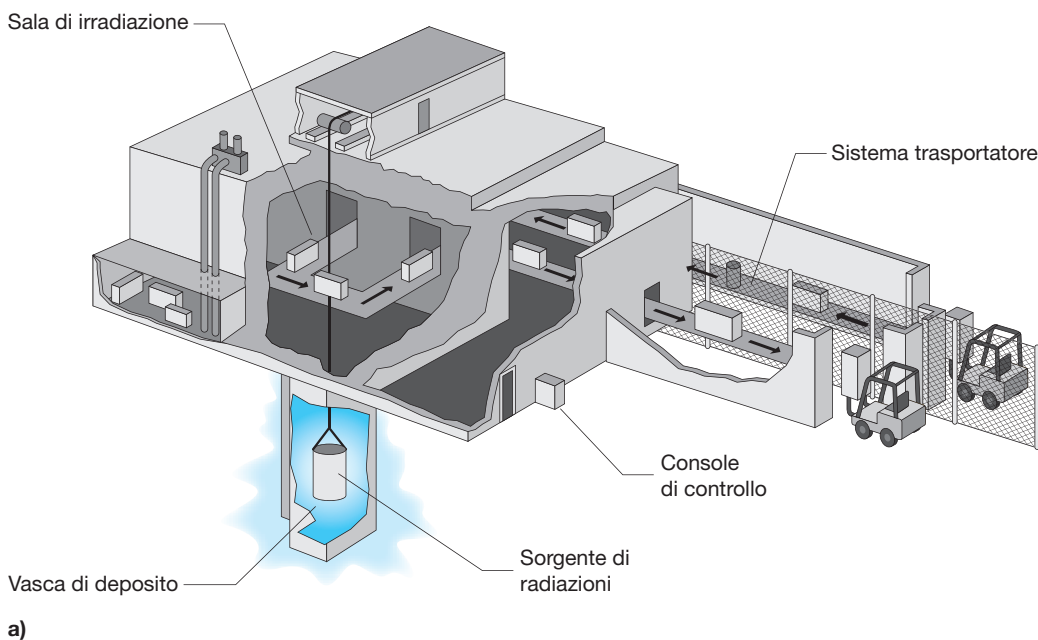


Figura 15.6 a) Impianto industriale per l'irradiazione degli alimenti. **b)** Simbolo "radura" che contraddistingue gli alimenti irradiati.

- i **glucidi** possono subire processi ossidativi e idrolitici, i primi a carico dei monosi, con formazione di acidi uronici e aldonici, i secondi dei polisaccaridi, che passano a monosi e che in seguito possono andare incontro a reazioni di imbrunimento. Anche le pectine vengono idrolizzate a prodotti solubili in acqua, determinando rammollimenti;
- il **patrimonio vitaminico** è più o meno ridotto in relazione al tenore idrico, al tipo di alimento e al successivo confezionamento;
- i **caratteri sensoriali**, in particolare colore, odore, sapore e consistenza, possono variare in conseguenza di ossidazioni, riduzioni e polimerizzazioni.

Uno dei motivi per cui i trattamenti non possono essere effettuati a dosi superiori a quelle stabilite dalla normativa europea consiste proprio nelle notevoli alterazioni a carico dei nutrienti al di sopra di questo limite.

15.8 Ultrasuoni

Gli ultrasuoni (US) sono utilizzati nell'industria alimentare, oltre che nella disidratazione (vedi Paragrafo 14.4), in numerose altre applicazioni.

L'apparecchio per la loro produzione è costituito da un generatore di corrente, da un trasduttore che trasforma l'energia elettrica in vibrazioni meccaniche e da una sonda che amplifica e trasmette il segnale al fluido con cui è a contatto.

L'**azione degli ultrasuoni** con elevata intensità acustica (HIUS, *High Intensity UltraSound*) nei fluidi si basa sul fenomeno della **cavitazione**: le onde sonore attraversano una soluzione inducendo movimenti molecolari tramite una serie di cicli di compressione e rarefazione. Il

ciclo di rarefazione è in grado di far allontanare le molecole le une dalle altre creando vuoti (bolle) contenenti piccole quantità di solvente allo stato di vapore. Nella fase di compressione le bolle non vengono svuotate del tutto: pertanto, a ogni ciclo aumentano di volume, fino a diventare instabili e collassare liberando, in relazione alla frequenza utilizzata, un'elevata pressione con alta temperatura. Si creano degli *hotspots* di breve durata nel resto del liquido freddo, con pronta estinzione dell'aumento di temperatura (**Figura 15.7**). L'azione antibatterica è dovuta al riscaldamento localizzato con conseguente formazione di radicali liberi e danneggiamento o rottura delle membrane cellulari.

Se l'implosione avviene vicino a una superficie solida, questa impedisce la fuoriuscita del solvente portando a un collasso asimmetrico delle bolle, con formazione di microgetti diretti verso la superficie stessa che, rimuovendo sporco e contaminanti, svolgono un'azione sanitizzante.

La necessità di utilizzare ultrasuoni a una potenza troppo elevata ne limita l'applicazione da soli nel risanamento degli alimenti; pertanto, vengono abbinati ad altre tecniche come il calore (**termosonicazione**), la pressione (**manosonicazione**) o entrambi (**manotermosonicazione**), con risparmio di energia e mantenimento delle caratteristiche fisiche e sensoriali del prodotto. L'efficacia del trattamento dipende dal tipo di microorganismo, dalla frequenza e intensità dell'onda, dal tempo di esposizione, dalle temperature di esercizio, dalle dimensioni e dalla composizione del cibo.

Gli ultrasuoni, da soli, sono invece utilizzati nell'industria alimentare con numerose altre finalità:

- sanitizzare superfici, per esempio nel caso della disinfezione delle *barriques* nell'industria enologica;

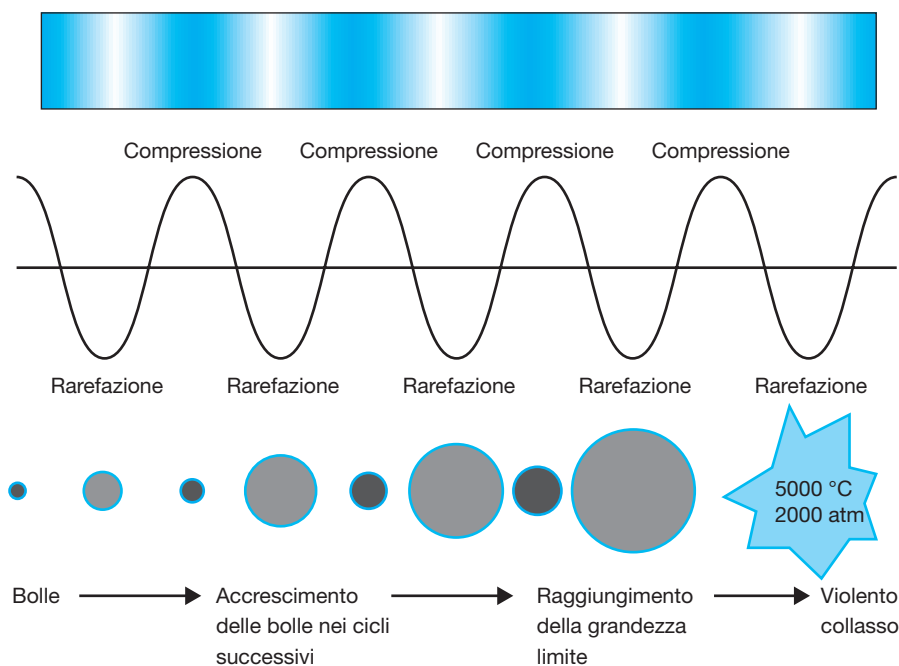


Figura 15.7 Fenomeno della cavitazione provocato dagli ultrasuoni a elevata intensità nei fluidi.

- emulsionare liquidi immiscibili;
- favorire la formazione o l'eliminazione di schiume;
- estrarre componenti naturali come aromi, polifenoli, oli ecc.;
- sciogliere sostanze poco solubili nei liquidi;
- tagliare e porzionare alimenti;
- regolare la cristallizzazione, ossia la nucleazione e lo sviluppo di microcristalli di ghiaccio nel congelamento;
- diminuire la viscosità.

15.9 Alte pressioni idrostatiche (pascalizzazione)

L'applicazione delle alte pressioni idrostatiche (HHP, *High Hydrostatic Pressure*, o UHP, *Ultra High Pressure*) alla conservazione degli alimenti è un'acquisizione recente, anche se i primi studi risalgono alla fine del XIX secolo, quando lo statunitense Bert Hite propose di sottoporre il latte a pressioni di 450 MPa per aumentarne la conservabilità e mantenerne la qualità. All'epoca la mancanza di idonei macchinari fece accantonare l'idea, ripresa poi quando è stato possibile produrre apparecchiature in grado di effettuare il trattamento a livello industriale. L'uso delle alte pressioni si basa su:

- **principio di Pascal:** se si esercita una determinata pressione in un punto su un fluido incompressibile, questa si trasmette uniformemente e con la stessa forza in tutte le direzioni, per cui il trattamento è indipendente dalla forma e dallo spessore degli alimenti;
- **principio di Le Châtelier:** applicando una pressione a un sistema in equilibrio, sono favorite le reazioni e i fenomeni che portano a una riduzione di volume, per limitare al minimo indispensabile gli effetti della pressione. Da questo principio dipende in gran parte l'azione inattivante sulla flora microbica vegetativa: si perdono le strutture secondarie e terziarie delle proteine, si denaturano molti enzimi (per esempio, le polifenolossidasi resistono e vanno inattivate con altri metodi, con danni ai processi vitali della cellula), le membrane si deteriorano e si staccano dalla parete; tuttavia, i legami covalenti sono poco coinvolti perché la loro rottura richiede temperature più elevate. Il principio di Le Châtelier ha effetti anche sul congelamento: infatti, la pressione si oppone all'aumento di volume del ghiaccio rispetto all'acqua, e pertanto questa, con pressioni di circa 200 MPa, può rimanere allo stato liquido anche a $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$ e quando la pressione viene istantaneamente rilasciata si formano microcristalli, desiderabili per mantenere la tessitura originale degli alimenti;
- **riscaldamento adiabatico:** l'aumento di pressione determina un incremento uniforme della temperatura, tipico per ogni sostanza (per esempio, per l'acqua è di circa $3\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ MPa}$), in relazione alla temperatura iniziale e all'aumento della pressione. Quando questa cala, diminuisce anche la temperatura; il rialzo è comunque ininfluente per gli scambi termici tra l'acqua, l'alimento e il supporto metallico;
- **fenomeno di elettrostrizione** ossia deformazione elastica di un mezzo dielettrico: le proprietà fisiche dell'acqua, e quindi anche degli alimenti acquosi, sono influenzate dalle alte pressioni in modo reversibile; per esempio, a 100 MPa l'acqua si riduce del 4% in volume, mentre il suo prodotto ionico aumenta del 10%, fenomeno che è correlato anche alla temperatura. La rottura di molecole neutre con formazione di ioni porta a un avvicinamento dei dipoli attorno agli ioni neoformati: le molecole dell'acqua si compattano maggiormente con modesta contrazione del volume del mezzo. Con l'aumento della pressione si ha anche un leggero decremento del pH e, sebbene questo fenomeno sia reversibile, può portare a cambiamenti nelle molecole proteiche, come denaturazioni e precipitazioni;
- **energia di compressione:** questa è minore rispetto a quella che entra in gioco durante i trattamenti termici ed è insufficiente a rompere i legami covalenti e a formare composti responsabili di odori e sapori sgradevoli. L'HHP è difatti un procedimento atermico con cui, a meno che non venga abbinato al riscaldamento, si raggiungono temperature massime di $40\text{--}45\text{ }^{\circ}\text{C}$.

In pratica, la tecnica consiste nell'applicazione di una pressione istantanea e uniforme da 100 a 1000 MPa, ottenuta con pompe oscillanti, per tempi di esposizione fino a un massimo di 20 minuti. Possono essere trattati prodotti liquidi sfusi, esercitando la pressione direttamente sull'alimento, o solidi, confezionati in pellicola di plastica sottovuoto e immersi poi nell'acqua contenuta in un recipiente metallico, con pareti particolarmente spesse in impianti discontinui o continui (**Figura 15.8**).

Il trattamento determina gelatinizzazione dell'amido, intenerimento delle proteine per denaturazione proteica, inattivazione di alcuni enzimi. Le basse temperature evitano alterazioni e mantengono pressoché intatti il patrimonio vitaminico e le proprietà sensoriali.

Si ottengono la riduzione della carica microbica totale e l'eliminazione dei patogeni. L'azione microbica è dovuta ad alterazioni strutturali e funzionali della membrana e al danneggiamento di enzimi chiave per il metabolismo. I lieviti e, in misura minore, le muffe sono molto sensibili alle alte pressioni, i Gram negativi lo sono di più dei Gram positivi, i virus vengono in genere inattivati, mentre le spore sono le più resistenti, sebbene le pressioni non molto alte possano favorirne la germinazione rendendole così sensibili a successivi trattamenti con pressioni più alte e calore. L'azione microbica è potenziata anche dall'ambiente acido e da alcuni additivi, come i sorbati e la nisina (batteriocina).

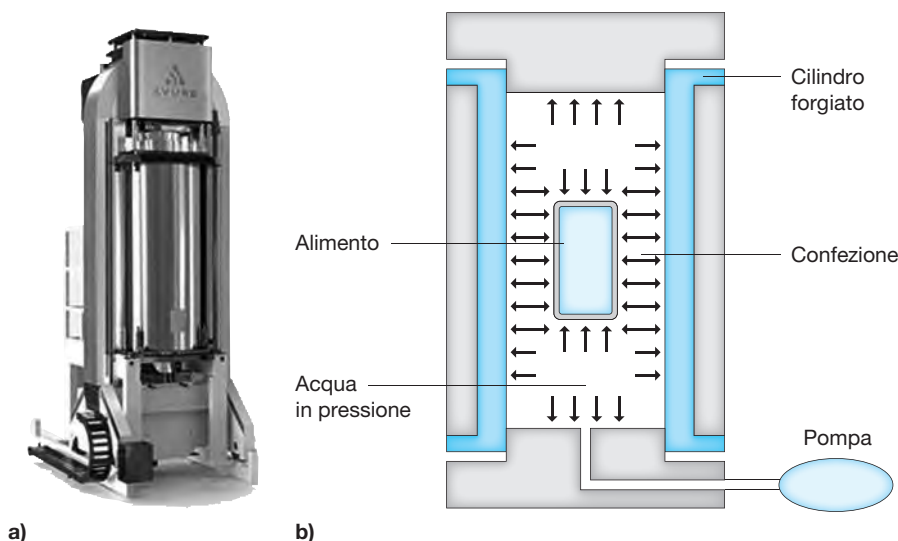


Figura 15.8 a) Apparecchio per l'applicazione delle alte pressioni idrostatiche. **b)** Schema illustrativo della camera di trattamento: questa consiste in un cilindro multistrato in acciaio il cui volume viene totalmente riempito di acqua. Comprime l'acqua in cui è immerso l'alimento, già confezionato, la pressione idrostatica si trasferisce uniformemente sulla confezione e al suo interno, esercitando l'azione di sanificazione in tempi brevi.

La pascalizzazione consente di:

- pastorizzare a freddo alimenti termosensibili (HPP, *High Pressure Pasteurization*), con pressioni inferiori a 600 MPa, o sterilizzare con pressioni di circa 1000 MPa, ridotte a 500–600 MPa se abbinate a un leggero riscaldamento (50–60 °C);
- congelare, ottenendo un'omogenea microcristallizzazione dell'acqua;
- testurizzare proteine, ossia trasformarle da solubili a fibrose per renderle masticabili e più facilmente idratibili e resistenti al calore

15.10 Campi elettrici pulsati

Con la tecnica non termica dei campi elettrici pulsati (HIPEF, *High-Intensity Pulsed Electric Fields*, o PEF), si sottopongono gli alimenti a brevi impulsi ad altissima tensione. Nonostante gli studi siano precedenti, l'impiego dei PEF su alimenti fluidi risale agli anni '60 del Novecento.

L'applicazione, prima limitata a prodotti liquidi omogenei, come succhi di frutta e verdura, bevande a base di latte e yogurt, birra, ovoprodotti, adesso può essere estesa anche ad alimenti solidi come carne e pesce; il trattamento consente di ridurre la carica microbica e inattivare alcuni enzimi. Le temperature massime raggiunte sono di 30–40 °C, pertanto i caratteri fisici e sensoriali dell'alimento vengono mantenuti.

L'effetto microbicida è dovuto al fenomeno dell'**elettroporazione** (Figura 15.9): sotto l'azione del campo elettrico, ai lati delle membrane cellulari, si addensano cariche di segno opposto, che comprimono le membrane stesse e formano pori. Questo ne fa aumentare, prima reversibilmente (i pori si richiudono) e poi irreversibilmente, la permeabilità, con fuoriuscita del citosol e morte delle forme vegetative.

L'azione antimicrobica dipende anche dal tenore in sostanze ioniche, dal pH, dalla temperatura dell'alimento, dalla carica microbica totale e dal tipo di microorganismo.

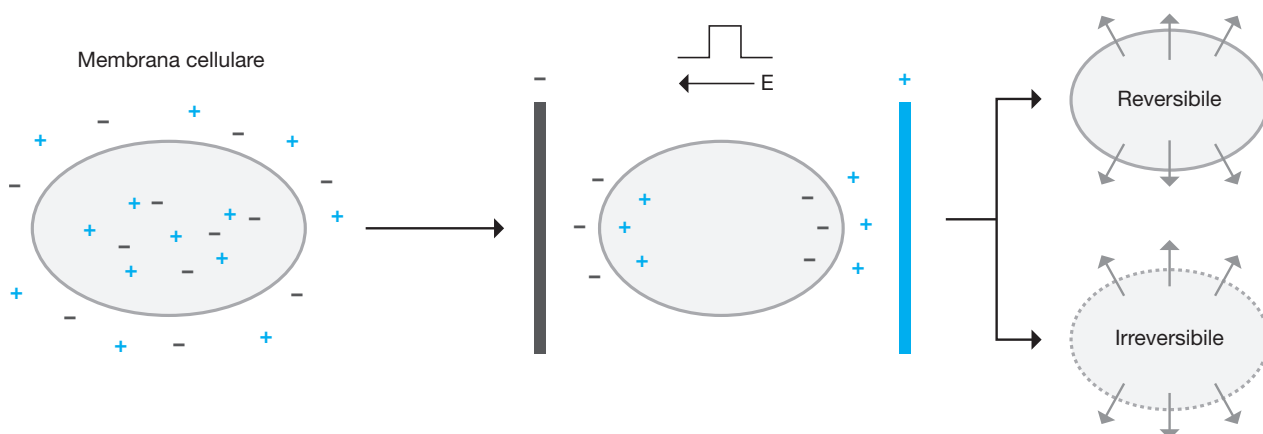


Figura 15.9 Elettroporazione: le cariche di segno opposto si aggregano ai lati delle membrane cellulari con formazione di pori; il fenomeno, dapprima reversibile, diviene poi irreversibile quando l'energia del campo elettrico supera quella critica.

In generale, lieviti e muffe sono molto sensibili; i batteri Gram negativi lo sono più dei Gram positivi, così come le popolazioni in fase log sono più sensibili rispetto a quelle nelle altre fasi di crescita; le spore sono resistenti al trattamento.

I PEF sono utilizzati anche come preliminari all'essiccamento, a processi di estrazione dello zucchero dalle barbabietole e dell'olio da frutti e semi (*vedi* Finestra 23.1), per l'intenerimento degli alimenti (carne, patate ecc.) e per l'estrazione dagli scarti di sostanze ad alto valore aggiunto.

Il trattamento dei tuberi di patata provoca tra l'altro un rilascio di alcuni composti cellulari come zuccheri riducenti e amminoacidi, che costituiscono i substrati per la reazione di Maillard e per la formazione dell'acrilammide (*vedi* Paragrafo 7.2), che quindi vengono attenuate.

Gli alimenti vengono trattati in un impianto composto da un generatore di impulsi ad alto voltaggio, una camera di trattamento (**Figura 15.10**), con apparato di controllo per monitorare l'andamento del processo, un sistema di trasporto del fluido, qualora si tratti di alimenti liquidi, e una serpentina di raffreddamento del prodotto trattato.

Il numero di impulsi, da 10 a 70, la loro durata, da μ s a ms, e l'intensità dei campi elettrici, da 10 a 90 kV/cm, variano in relazione alla finalità del trattamento; secondo quest'ultimo parametro i PEF possono essere:

- a elevata intensità (20–50 kV/cm), con effetti risananti sugli alimenti (pastorizzazione);
- a moderata intensità (1–10 kV/cm), con effetti permeabilizzanti per favorire i processi di estrazione.

15.11 Riscaldamento ohmico

Il riscaldamento ohmico è un procedimento termico basato sul passaggio di corrente elettrica alternata, per 30–90 secondi, attraverso un alimento fluido che scorre tra due elettrodi. Si basa sul fenomeno dell'effetto Joule:

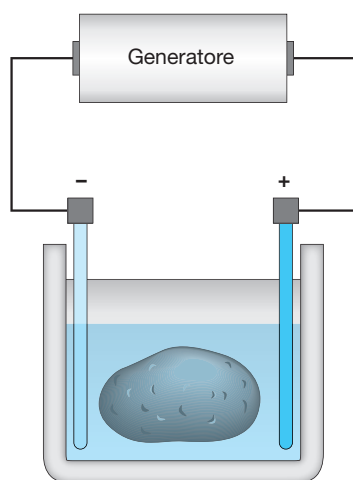


Figura 15.10 Camera di trattamento a elettrodi paralleli per alimenti solidi.

in pratica si utilizza la resistività degli alimenti per convertire in modo rapido, continuo e uniforme l'energia elettrica in calore interno, raggiungendo temperature di 90–95 °C che, se abbinate all'acidità dei cibi ($\text{pH} < 4,5$), riescono a eliminare la quasi totalità dei microrganismi nocivi. La tecnica consente il trattamento di prodotti semisolidi o, in modo più efficiente del riscaldamento tradizionale, con pezzi solidi in un liquido, che vengono lavorati in continuo e successivamente confezionati a caldo o a freddo in ambiente asettico, in buste flessibili.

La velocità con cui è prodotto il calore dipende dall'intensità del campo elettrico, dalla conducibilità elettrica e dalla composizione dell'alimento: aumenta in presenza di sali, acidi e acqua, e diminuisce con lipidi e alcol. Difatti gli alimenti, a seconda della loro conduttività, possono essere divisi in:

- buoni conduttori (per esempio succhi di frutta e passata di pomodoro);
- medi conduttori (quali le marmellate);
- cattivi conduttori (come i grassi).

Anche la viscosità, la densità e il calore specifico influenzano la rapidità del trattamento. A differenza del riscaldamento termico tradizionale, in cui la lenta trasmissione di calore, per conduzione o convezione, può danneggiare la qualità dei cibi con cotture disuniformi e bruciature, in quello ohmico tutta la massa è scaldata contemporaneamente, comprese le parti solide sospese, preservando l'alimento nelle sue qualità chimico-fisiche e nutritive.

L'azione microbiostatica e microbica è dovuta quasi totalmente al calore, anche se non si esclude, per trattamenti a temperature più basse, un effetto della corrente stessa sulle membrane cellulari, che possono essere danneggiate.

Il sistema viene tarato in modo diverso in relazione al risultato voluto: un alimento può essere minimamente trattato oppure pastorizzato o sterilizzato (alimenti acidi), ottenendo una *shelf-life* più lunga; difatti, la passata di pomodoro e la frutta a pezzi sono attualmente gli alimenti che più si prestano a questa tecnica.

I vantaggi rispetto ai trattamenti convenzionali consistono in tempi più brevi di lavorazione, rendimenti più elevati, alta efficienza di conversione energetica e, a parità di temperature raggiunte, maggiore sicurezza microbiologica; tra gli svantaggi vi sono il consumo notevole di energia elettrica, l'esigenza di adattare la tecnica all'alimento e la necessità del confezionamento asettico per meglio preservare nel tempo la qualità del prodotto.

15.12 Gas plasma

Questo metodo impiega plasma, cioè un gas ionizzato a freddo con corrente continua o alternata, o con luce, oppure con energia termica, conosciuto anche come **quarto stato della materia**, nel quale in alcuni secondi gli atomi

vengono rotti con formazione di una miscela altamente reattiva costituita, oltre che da molecole e atomi neutri, da elettroni, ioni (positivi e negativi), specie metastabili, radicali liberi, fotoni a effetto sterilizzante in superficie e campi elettromagnetici (Figura 15.11).

Il plasma, che può esistere in un ampio intervallo di pressioni e temperature, viene generato sia da sostanze allo stato gassoso di per sé biocide (come l'acido peracetico e alcune aldeidi, che così divengono più efficienti), sia da gas (idrogeno, ossigeno, azoto, argo ed elio) o da una miscela come quella atmosferica; la disgregazione delle molecole gassose porta anche alla formazione di composti a effetto battericida, come ozono, ossidi, perossidi e monossidi.

L'esposizione al plasma delle cellule microbiche causa degradazione della parete cellulare e danni alle membrane, con fuoriuscita dei liquidi intracellulari e del DNA; più incerta è invece l'azione del plasma sugli enzimi. Esso inattiva invece le muffe presenti sulla superficie degli alimenti e le loro tossine.

La tecnica trova svariati impieghi, per esempio nella sterilizzazione di dispositivi sanitari particolarmente delicati come le sonde endoscopiche, oppure per disinfettare l'aria dei condizionatori.

In campo alimentare viene utilizzato il plasma freddo (NTP, *Non Thermal Plasma*) ottenuto dall'aria, generato a pressione e temperatura atmosferiche, a diretto contatto per decontaminare in superficie carne, pollame, uova, frutta e verdura di IV gamma, prodotti con trend commerciale in crescita. In quest'ultimo caso il plasma è generato all'interno della confezione sigillata a partire dall'aria in essa contenuta, e, cessato il trattamento, l'aria ritorna allo stato normale. Inoltre, essendo l'alimento nella sua confezione, si evitano le contaminazioni post-lavorazione.

A oggi l'uso di questa tecnologia, applicata nell'industria alimentare, è ancora a livello sperimentale, con realizzazione di impianti pilota (Finestra 15.1); manca, inoltre, l'autorizzazione da parte dell'EFSA che ne certifichi la sicurezza.

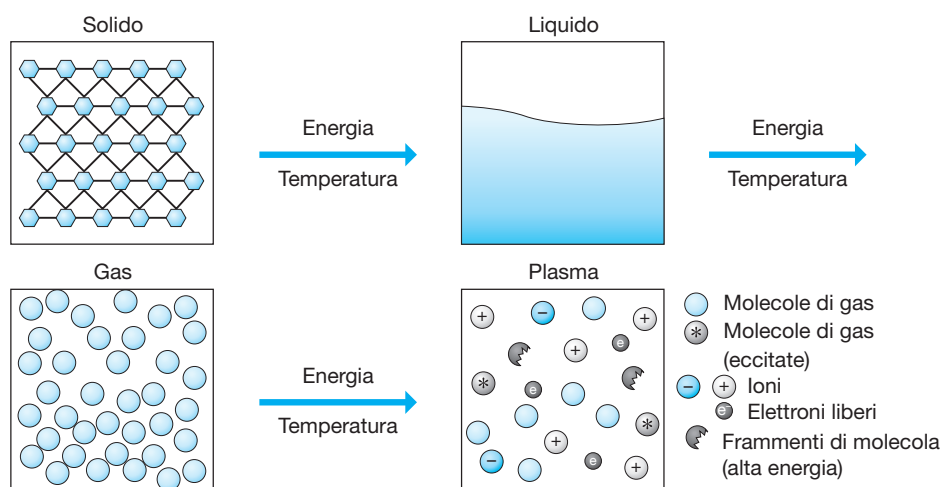


Figura 15.11 Il plasma si può considerare il quarto stato della materia che si ottiene applicando energia a una sostanza allo stato gassoso; si tratta di gas in forma ionizzata in cui coesistono altre specie reattive, come elettroni liberi, radicali liberi, fotoni UV e luce visibile, molecole, frammenti di molecole.

FINESTRA 15.1 Progetto pilota per l'uso del gas plasma per decontaminare le superfici

Il plasma freddo consente di disinfettare in modo innovativo, rispettoso dell'ambiente e senza sostanze chimiche, le superfici degli alimenti non trattati termicamente e dei materiali a contatto quali attrezzature, contenitori ecc. Il progetto PASS (*Plasma Assisted Sanitation System*), prototipo pilota di nuova concezione, è stato finanziato dalla Regione Emilia-Romagna e finalizzato soprattutto a verificare l'efficacia di questo metodo contro il SARS-CoV-2. Da diversi studi scientifici, infatti, è emersa la persistenza dei coronavirus umani sui materiali da imballaggio, che risultavano ancora vitali fino a diversi giorni di stoccaggio.

Il progetto ha utilizzato una camera di trattamento che ha previsto l'esposizione indiretta del prodotto al plasma e una gamma di alimenti di diverse categorie: frutta, ortaggi, formaggi freschi e pesce crudo e, per quanto riguarda i materiali

d'imballaggio, PP, PE, PET, cartoncino. Oltre all'efficacia sul coronavirus, è stata valutata anche quella nei confronti dei microrganismi degradativi e patogeni, nonché l'azione sulle proprietà qualitative e sulla stabilità dei prodotti alimentari e dei contenitori (proprietà meccaniche, permeabilità ai gas, migrazione dei componenti degli imballaggi stessi ecc.).

Dai risultati è emerso che il plasma freddo, con tempi di trattamento molto ridotti, è in grado di indurre danni significativi ai virus, sia quelli con RNA nudo sia quelli con capsidi, con una riduzione sensibile della contaminazione microbica. Non sono state evidenziate modifiche rilevanti sulla qualità degli alimenti, tranne un minimo aumento dei processi ossidativi a carico dei lipidi in formaggi e pesce crudo, che, comunque, non hanno influito negativamente sulle qualità sensoriali.

La soluzione ideale è quella di riciclarle, una volta depurate, all'interno dell'industria stessa, come prevedono i principi dell'economia circolare.

26.13 Novel food

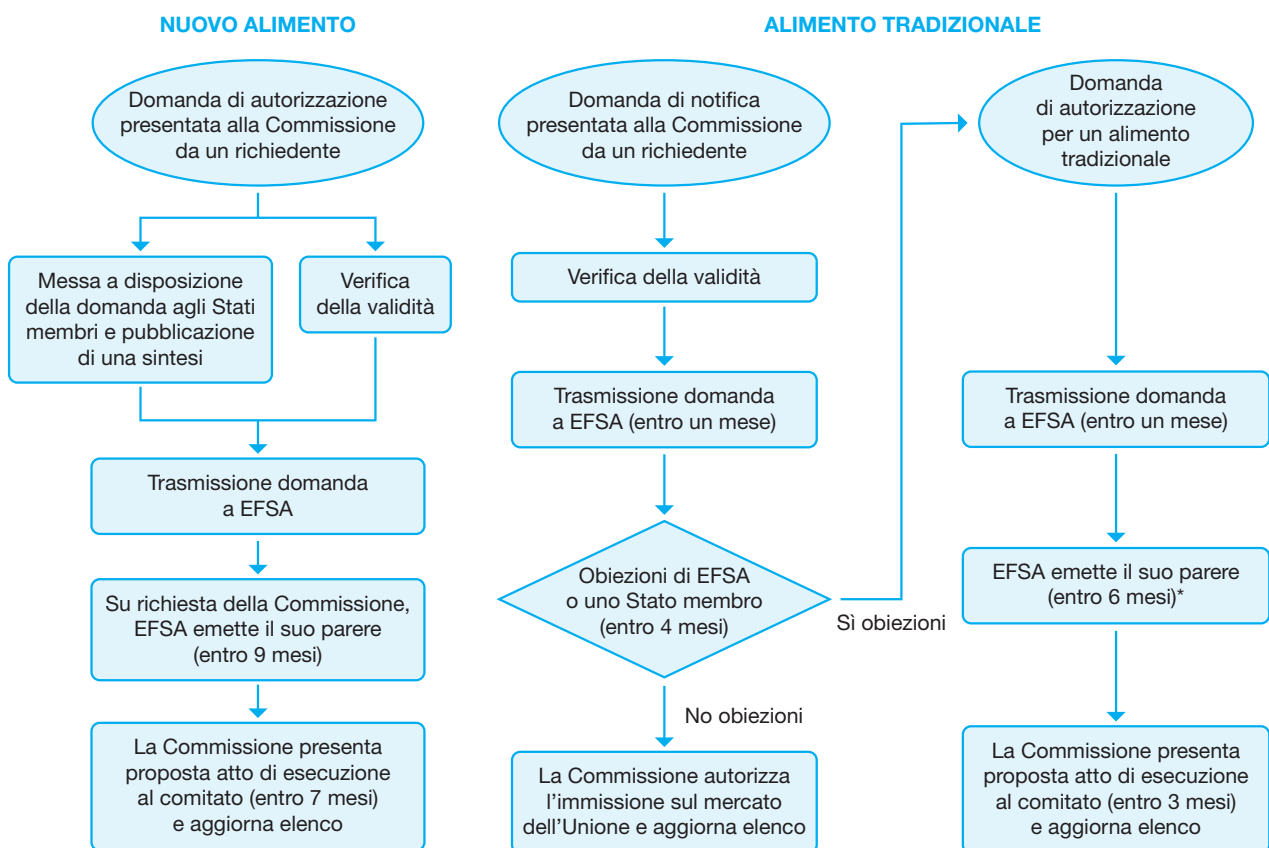
Nel corso dei secoli, nuovi alimenti, con le loro modalità di produzione e i loro ingredienti innovativi, sono arrivati in Europa da tutte le parti del mondo: patata, pomodoro, tacchino, caffè, cacao, frutti tropicali, mais, spezie ecc.; negli ultimi anni, hanno fatto la loro comparsa alimenti a base di alghe, frutti come il litchi o quello del baobab, alchechengi peruviano (*Physalis peruviana*) ecc. I novel food (NF) sono conseguenza della globalizzazione, ma anche di una ricerca di modelli alimentari più sostenibili in seguito all'aumento della popolazione mondiale. La normativa europea (reg. UE 2283/2015) definisce novel food «gli alimenti o gli ingredienti che non sono stati usati in modo significativo in Europa prima del 15 maggio 1997». Questi possono tuttavia essere «alimenti tradizionali» in diverse parti del mondo.

In altre parole, occorre fare una distinzione tra alimenti totalmente nuovi e alimenti inusuali per il consumatore

europeo ma non per gli abitanti di almeno un Paese terzo. Il nuovo regolamento prevede quindi, per la loro autorizzazione, due procedure distinte: una ordinaria da seguire per i NF, in particolare per quelli da innovazione tecnologica, e un'altra diversa da applicare ai prodotti già in uso in Paesi terzi (Figura 26.19). La Commissione europea decide, in base a una valutazione scientifica dell'EFSA, la quale verifica soprattutto che la composizione e le condizioni d'uso del nuovo alimento non comportino rischi per la salute umana, se introdurre l'alimento o l'ingrediente nell'elenco delle dieci categorie dei prodotti autorizzati. Infatti, nel sistema europeo di sicurezza alimentare il potere di valutazione del rischio da parte dell'EFSA e il potere decisionale della Commissione europea sono nettamente separati.

Le **dieci categorie dei nuovi alimenti** sono le seguenti:

- alimenti con una struttura molecolare nuova o volutamente modificata che non era utilizzata nell'Unione prima del 15 maggio 1997;
- alimenti costituiti, isolati o prodotti da microrganismi, funghi o alghe;
- alimenti costituiti, isolati o prodotti da materiali di origine minerale;



* Termine che può essere esteso qualora EFSA domandi al richiedente informazioni aggiuntive.

Figura 26.19 Processo di autorizzazione di alimenti completamente nuovi e di alimenti tradizionali provenienti da Paesi terzi (reg. UE 2283/2015).

Tabella 26.3 Caratteristiche delle specie di insetti per nutrizione umana e del tipo di allevamento a livello industriale.

- sostenibilità ambientale dell'allevamento
- forme di controllo della biosicurezza
- strategie per impedire l'accesso o la fuga di esemplari
- mantenimento del benessere della specie
- specie e stadio di crescita adeguati
- breve ciclo di sviluppo
- elevato tasso di conversione alimentazione/peso corporeo
- struttura sociale gregaria
- presenza dei due sessi in un territorio limitato
- basso tasso di mortalità degli stadi giovanili
- crescita ad alta densità di individui con basso livello di competizione intraspecifico
- assenza di fenomeni di cannibalismo
- ridotta vulnerabilità alle malattie e parassitosi
- elevati valori nutrizionali

Fonte: Scenari e nuove prospettive alla luce del Reg. (UE) 2283/2015, *Argomenti* n. 1, 2019, SIMeVeP.

Si riportano alcuni esempi di prodotti alimentari con microalghe:

- biscotti addizionati di *Spirulina platensis*, che ne migliora il valore nutrizionale e le qualità sensoriali, e di *Haematococcus pluvialis*, che ne incrementa le sostanze bioattive;
- pane con *Spirulina* spp., che, oltre ad aumentare il contenuto proteico, influisce positivamente sulle caratteristiche sensoriali;
- pasta con *Isochrysis galbana*, che arricchisce il prodotto di $\omega 3$;
- formaggio con *Clorella* spp. per migliorarne le qualità sensoriali;
- gelatina vegetale addizionata di *Spirulina maxima* e *Diacronema vlkianum* per aumentare gli $\omega 3$ e migliorarne la tessitura.

Insetti

Gli insetti, tradizionalmente utilizzati nell'alimentazione in diversi Paesi del mondo e ancora visti con diffidenza dagli europei poiché del tutto estranei alle loro abitudini alimentari, sono particolarmente ricchi di proteine, che rappresentano in media il 40–45%, di lipidi, soprattutto insaturi (25–30%), fibra (6–12%), principalmente chitina proveniente dall'esoscheletro di molte specie, minerali e vitamine. Fanno eccezione gli ortoteri, che hanno un contenuto maggiore in proteine (circa 60%) e minore in grassi (circa 13%). Apportano circa 500 kcal/100 g, ma presentano anche alcuni rischi per il possibile contenuto di sostanze allergeniche e tossiche e di contaminanti.

Hanno un buon indice di conversione: con 1 kg di sostanze vegetali si ottiene 1 kg di insetti, 2 volte quello del pollo, 4 volte quello del maiale e 12 volte quello dei bovini.

Inoltre, l'allevamento è biosostenibile con un ridotto consumo di acqua. Le specie che si possono utilizzare devono avere particolari caratteristiche (**Tabella 26.3**).

Per incoraggiare il consumo di insetti nel mondo occidentale e abituare gradualmente il consumatore, occorre seguire alcune strategie come la trasformazione in farine e il loro utilizzo, mescolate a quelle di cereali, nella preparazione di snack, biscotti ecc.

Attualmente in Europa sono autorizzate le seguenti specie: *Tenebrio molitor*, verme o tarma della farina (reg. UE 882/2021), *Locusta migratoria* (reg. UE 1975/2021), *Acheta domesticus*, grillo domestico, di cui è consentita la vendita di farina per la produzione di pane, birra, cioccolato, pizza e altri alimenti (reg. UE 5/2023), e *Alphitobius diaperinus* o verme della farina minore (reg. UE 58/2023).

Carne artificiale, coltivata o a base cellulare

La carne artificiale è prodotta a partire da cellule staminali, provenienti da tessuti di animali terrestri o marini, che hanno la capacità di riprodursi abbastanza rapidamente e di differenziarsi in cellule muscolari e di altro tipo. Le cellule staminali vengono fatte riprodurre in bioreattori, in condizioni microclimatiche rigidamente controllate, in presenza di siero fetale bovino o di altre specie arricchito con fattori di crescita (amminoacidi, carboidrati, minerali, vitamine ecc.) e di altre sostanze, grazie anche a stimoli elettrici e meccanici. La fase successiva è l'organizzazione delle cellule in tessuti maturi (muscolare, adiposo e connettivo). Questi vengono raccolti per farne una biomassa, in seguito lavorata e trasformata in vari prodotti.

I processi di produzione si differenziano a seconda della provenienza delle cellule prelevate (ovini, bovini, suini, pollame, prodotti della pesca) e del tipo di alimento che si vuole ottenere (polpette, hamburger, briciole ecc.). È necessario aggiungere additivi e altri ingredienti per conferire al prodotto caratteristiche sensoriali che lo rendano il più possibile simile alla carne.

Riassumendo, il processo prevede 4 fasi principali che possono avere diversi passaggi secondari:

- **selezione cellulare:** prelievo, isolamento, preparazione, stoccaggio;
- **produzione:** proliferazione, differenziazione;
- **raccolta;**
- **formulazione e lavorazione dei prodotti.**

La necessità di individuare soluzioni alternative, in particolare riguardo alla produzione della carne, è dettata dal fatto che il modello attuale di allevamento diviene sempre meno sostenibile. A livello mondiale la carne coltivata è già prodotta in alcuni Paesi (Israele, Stati Uniti, Corea del Sud, Sudafrica, Cina, Singapore); l'Unione europea non si è ancora pronunciata.

FINESTRA 17.1 NMR e fingerprint metabolomico degli alimenti

La **risonanza magnetica nucleare** (RMN o NMR, *Nuclear Magnetic Resonance*) è una tecnica spettroscopica che trova numerose applicazioni anche nel campo dell'analisi degli alimenti; infatti, si è rivelata un mezzo efficace per verificarne la composizione bromatologica, la tracciabilità, la genuinità, l'origine geografica, la conformità ai disciplinari di produzione e l'eventuale presenza di inquinanti.

Attraverso questa analisi qualitativa e quantitativa, non specifica e di facile applicabilità, si possono analizzare diverse classi di composti contemporaneamente e in tempi rapidi.

La tecnica si basa sul fatto che i composti organici contengono isotopi a numero dispari di protoni e/o neutroni con uno spin nucleare e quindi visibili all'NMR (^1H , ^{13}C , ^{15}N , ^{31}P ecc.). Questi isotopi si comportano come piccoli magneti in rotazione e possono reagire con un campo magnetico esterno, orientando i nuclei lungo la sua direzione; quello più comunemente analizzato è il protone (^1H). Qualora poi vengano irradiati con onde a radiofrequenza, modificano l'orientamento dei nuclei; al cessare degli impulsi, questi tornano a disporsi secondo l'asse del campo magnetico, emettendo un debolissimo segnale detto "risonanza", captato da un radoricevitore. Si può ottenere la risonanza sintonizzando sia la frequenza dei nuclei con quella della radiofrequenza esterna fissa, sia la frequenza delle onde radio con quella dei nuclei. Il segnale, amplificato e convertito attraverso la trasformata di Fourier, dà uno spettro caratterizzato da picchi di intensità e frequenza specifici.

L'analisi non richiede alcuna preparazione per i campioni di alimenti liquidi, mentre per quelli solidi bastano semplici tecniche di estrazione, utilizzando solventi adeguati per composti con polarità molto diverse. Dopo l'estrazione, la miscela viene diluita in un appropriato solvente deuterato, ossia con tutti i protoni sostituiti da deuterio (necessario anche per alimenti liquidi), per evitare che la risposta dei nuclei di idrogeno del solvente sovrasti quella del campione e anche per mantenere la stabilità del campo magnetico durante il test.

Riassumendo, un'analisi NMR comprende tre step:

- il campione viene posto in un campo magnetico statico;
- i nuclei sono eccitati con un impulso di radiofrequenza;
- la frequenza dei segnali viene infine misurata.

Per facilitare l'identificazione dei composti nel campione si può ricorrere anche al confronto tra lo spettro ottenuto dall'analisi e quelli dei composti puri conservati in una banca dati.

Lo **spettrometro NMR** è costituito da un magnete che crea un campo magnetico e da sorgenti di radiazioni elettromagnetiche a radiofrequenze. Le onde radio sono inviate per tempi molto brevi (impulsi) sul campione posto in una sonda all'interno del campo magnetico. Il segnale di uscita amplificato andrà al ricevitore e al rilevatore.

L'NMR consente di risalire al fingerprint (impronta digitale) metabolomico del campione (la **metabolomica** è la disciplina che studia il metaboloma, ovvero l'insieme di tutti i metaboliti di un organismo) e permette, tra l'altro, di evidenziarne la provenienza, anche in una ristretta area geografica (**Figura 1**).

Questo è possibile perché l'insieme di fattori pedoclimatici e agronomici costituisce una firma unica per ogni alimento, impossibile da modificare. Con lo studio metabolomico si possono valutare anche i cambiamenti durante la lavorazione di un alimento, come la trasformazione dei nutrienti, la degradazione delle vitamine o la formazione di sostanze tossiche.

Avere informazioni su un prodotto agroalimentare direttamente dal suo profilo metabolomico rende attuabile l'impiego di questi metodi per affiancarli al sistema di certificazione, sfruttando anche le tecnologie informatiche basate sulla *blockchain* (vedi Finestra 11.2), e implementare così la possibilità di individuare le frodi.

Per quanto riguarda il latte, vengono valutate anche le variazioni stagionali nella composizione in relazione al tipo di alimentazione delle bovine, in particolare all'utilizzo di insilati, esclusi nel caso di latte destinato, per esempio, alla produzione del Parmigiano Reggiano.

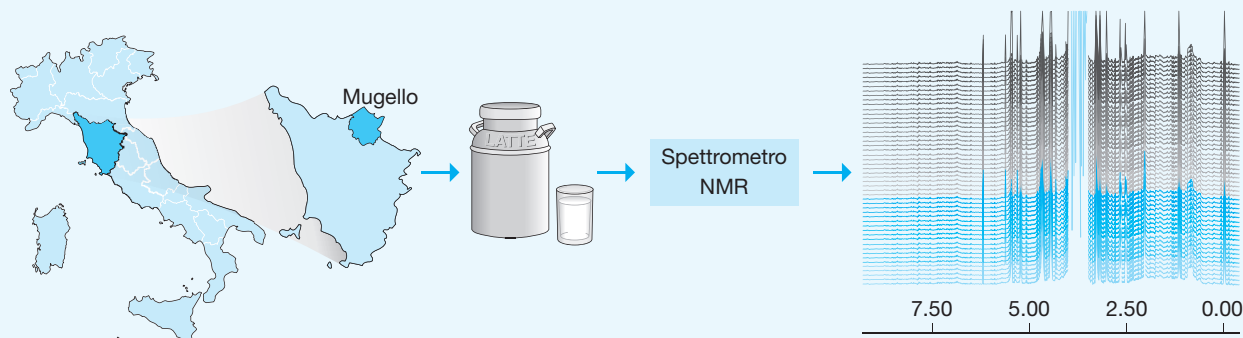


Figura 1 È stato sviluppato un protocollo veloce e riproducibile per il fingerprint metabolomico del latte mediante risonanza magnetica nucleare (NMR) che consente un'accurata discriminazione tra campioni di latte provenienti dalla grande distribuzione, nonché da diversi allevamenti situati nella stessa area geografica.

Patrizia Cappelli, Vanna Vannucchi

Principi di chimica degli alimenti

Conservazione • Trasformazioni • Normativa

Seconda edizione



Inquadra e scopri
i contenuti

I molteplici aspetti della chimica degli alimenti, i processi industriali a cui i prodotti alimentari vengono sottoposti in fase di trasformazione e conservazione, la classificazione merceologica e le complesse norme legislative italiane ed europee in materia sono gli argomenti al centro di *Principi di chimica degli alimenti*.

L'opera è divisa in otto parti: dalla prima alla terza (capitoli 1-10) si analizzano i principi nutritivi organici e inorganici presenti negli alimenti dal punto di vista chimico, biochimico e nutrizionale, le sostanze che derivano dalle loro trasformazioni, quelle responsabili dei caratteri organolettici, i contaminanti, gli additivi e l'etichettatura degli alimenti; nella quarta (capitoli 11-16) si esaminano la sicurezza e la qualità alimentare, la tutela igienico-sanitaria degli alimenti, le cause della loro alterazione e i metodi di conservazione tradizionali e innovativi; dalla quinta all'ottava (capitoli 17-28) si trattano in modo sistematico i vari gruppi di alimenti dal punto di vista bromatologico e merceologico, i processi indu-

striali a cui vengono sottoposti o da cui derivano, le innovazioni nella filiera agroalimentare, i principali metodi di analisi, i sottoprodotti e le materie prime secondarie che si ottengono dagli scarti.

La seconda edizione segue di quasi dieci anni la precedente e vede l'introduzione di importanti aggiornamenti tecnico-scientifici – con specifici approfondimenti, tra cui l'uso della risonanza magnetica nucleare applicata alle analisi degli alimenti – e legislativi, con l'adeguamento di tutta la normativa in base agli attuali regolamenti europei e alle leggi nazionali, con più attenzione a ruolo, studi e indicazioni dell'EFSA (*European Food Safe Authority*). Maggior risalto è dato alla sostenibilità ambientale e all'economia circolare, sono introdotti nuovi argomenti, come i novel food (con relativa legislazione), e ampliati altri, come quelli relativi alla tutela igienico-sanitaria, in particolare l'HACCP.

Le nuove schede *Finestra* approfondiscono argomenti collegati al contenuto del testo.

Patrizia Cappelli e **Vanna Vannucchi**, laureate rispettivamente in Farmacia e in Scienze biologiche, hanno una lunga esperienza di insegnamento della Chimica degli alimenti e della Scienza dell'alimentazione.

Per Zanichelli hanno pubblicato anche: *Chimica degli alimenti. Conservazione e trasformazioni* (terza edizione, 2005), *Complementi di scienza dell'alimentazione* (1997), *Principi di scienza dell'alimentazione* (terza edizione, 2008), *Scienza e cultura dell'alimentazione* (2012), *Enologia* (2014) e, con Valerio Antolini e Beatrice Fabbri, *Trasformazioni e produzioni agroalimentari* (seconda edizione, 2022).

Le risorse digitali

universita.zanichelli.it/cappellize

A questo indirizzo sono disponibili le risorse digitali di complemento al libro.

Per accedere alle risorse protette è necessario registrarsi su **my.zanichelli.it** inserendo il codice di attivazione personale contenuto nel libro.

Libro con Ebook

Chi acquista il libro nuovo può accedere gratuitamente all'Ebook, seguendo le istruzioni presenti nel sito.

L'accesso all'Ebook e alle risorse digitali protette è personale, non condivisibile e non cedibile, né autonomamente né con la cessione del libro cartaceo.

CAPPELLI*PRINC CHIMICA ALIM 2ED LUMK

ISBN 978-88-08-49969-1



9 788808 499691

5 6 7 8 9 0 1 2 3 (60G)