

SOMMARIO

Capitolo 1

| | |
|---|----|
| INTRODUZIONE | 1 |
| 1.1 GRANDEZZE FISICHE | 1 |
| 1.2 UNITÀ DI MISURA | 1 |
| 1.2.1 Unità di misura fondamentali | 2 |
| 1.2.2 Unità derivate | 3 |
| 1.2.3 Unità supplementari | 4 |
| 1.3 SISTEMI | 7 |
| 1.4 STATO DI UN SISTEMA | 8 |
| 1.4.1 Proprietà estensive | 9 |
| 1.4.2 Proprietà intensive | 9 |
| 1.5 DENSITÀ | 9 |
| 1.6 CONCENTRAZIONE | 11 |
| 1.7 UMIDITÀ | 12 |
| 1.8 TEMPERATURA | 15 |
| 1.9 PRESSIONE | 16 |
| 1.10 ENTALPIA | 19 |
| 1.11 EQUAZIONE DI STATO E LEGGE DEI GAS PERFETTI | 19 |
| 1.12 DIAGRAMMA DI STATO DELL'ACQUA | 20 |
| 1.13 CONSERVAZIONE DELLA MASSA | 21 |
| 1.13.1 Conservazione della massa in sistemi aperti | 22 |
| 1.13.2 Conservazione della massa in un sistema chiuso | 23 |
| 1.14 BILANCI MATERIALI | 23 |
| 1.15 TERMODINAMICA | 30 |
| 1.16 LEGGI DELLA TERMODINAMICA | 31 |
| 1.16.1 Prima legge della termodinamica | 31 |
| 1.16.2 Seconda legge della termodinamica | 32 |
| 1.17 ENERGIA | 32 |
| 1.18 BILANCI DI ENERGIA | 33 |
| 1.19 BILANCIO DI ENERGIA IN UN SISTEMA CHIUSO | 34 |
| 1.19.1 Calore | 34 |

| | |
|---|----|
| 1.19.2 Lavoro | 34 |
| 1.20 BILANCIO DI ENERGIA PER UN SISTEMA APERTO | 41 |
| 1.20.1 Bilancio di energia per sistemi in stato stazionario | 41 |
| 1.21 BILANCIO TOTALE DELL'ENERGIA | 42 |
| 1.22 POTENZA | 44 |
| 1.23 AREA | 44 |
| PROBLEMI | 45 |
| SIMBOLI | 47 |

A FENOMENI FISICI FONDAMENTALI NELLA PRODUZIONE DEGLI ALIMENTI

| | |
|--|----|
| Capitolo 2 | |
| TRASPORTO DEI FLUIDI | 51 |
| 2.1 SISTEMI PER IL TRASPORTO DEI LIQUIDI | 52 |
| 2.1.1 Condotte per gli impianti di produzione | 52 |
| 2.1.2 Tipi di pompe | 53 |
| 2.2 PROPRIETÀ DEI LIQUIDI | 56 |
| 2.2.1 Terminologia usata per il comportamento di un materiale in risposta a uno sforzo | 56 |
| 2.2.2 Densità | 57 |
| 2.2.3 Viscosità | 57 |
| 2.3 SISTEMI DI MOVIMENTAZIONE PER LIQUIDI NEWTONIANI | 63 |
| 2.3.1 Equazione di continuità | 63 |
| 2.3.2 Numero di Reynolds | 65 |
| 2.3.3 Regione di ingresso e flusso completamente sviluppato | 68 |
| 2.3.4 Profilo di velocità in un liquido che scorre in condizioni di flusso completamente sviluppato | 70 |
| 2.3.5 Forze dovute all'attrito | 75 |
| 2.4 BILANCIO DELLE FORZE SU UN ELEMENTO DI FLUIDO CHE SCORRE IN UNA CONDOTTA – EQUAZIONE DI BERNOULLI | 78 |
| 2.5 BILANCIO DELL'ENERGIA PER FLUIDI IN SCORRIMENTO IN CONDIZIONI STAZIONARIE | 83 |
| 2.5.1 Pressione | 86 |
| 2.5.2 Energia cinetica | 87 |
| 2.5.3 Energia potenziale | 87 |
| 2.5.4 Perdita di energia per attrito (perdita di carico) | 87 |
| 2.5.5 Potenza richiesta alla pompa | 89 |
| 2.6 SCELTA DELLA POMPA E VALUTAZIONE DELLE PRESTAZIONI | 93 |
| 2.6.1 Pompe centrifughe | 93 |
| 2.6.2 Carico o prevalenza | 94 |
| 2.6.3 Prestazioni di una pompa | 96 |
| 2.6.4 Curva caratteristica di una pompa | 98 |

| | |
|--|-----|
| 2.6.5 Cavitazione (NPSH) | 99 |
| 2.6.6 Scelta della pompa per il trasporto di un liquido | 102 |
| 2.6.7 Leggi di affinità | 105 |
| 2.7 MISURA DEL FLUSSO | 106 |
| 2.7.1 Il tubo di Pitot | 109 |
| 2.7.2 Il flussimetro a orifizio tarato/a diaframma | 112 |
| 2.7.3 Il venturimetro | 114 |
| 2.7.4 Flussimetri a sezione variabile | 115 |
| 2.7.5 Altri metodi di misura | 116 |
| 2.8 MISURA DELLA VISCOSITÀ | 116 |
| 2.8.1 Tubo capillare | 116 |
| 2.8.2 Viscosimetro a rotazione | 118 |
| 2.8.3 Influenza della temperatura sulla viscosità | 120 |
| 2.9 CARATTERISTICHE DI FLUSSO DEI FLUIDI NON-NEWTONIANI | 122 |
| 2.9.1 Proprietà dei fluidi non-newtoniani | 122 |
| 2.9.2 Profilo di velocità di un fluido pseudoplastico | 127 |
| 2.9.3 Portata in volume per un fluido pseudoplastico | 127 |
| 2.9.4 Velocità media per un fluido pseudoplastico | 128 |
| 2.9.5 Fattore di attrito e numero di Reynolds per un fluido pseudoplastico | 129 |
| 2.9.6 Calcolo dell'energia necessaria per il pompaggio di liquidi non-newtoniani | 130 |
| 2.10 TRASPORTO DEI PRODOTTI ALIMENTARI SOLIDI | 132 |
| 2.10.1 Proprietà dei materiali granulari e delle polveri | 133 |
| 2.10.2 Flusso degli alimenti granulari | 138 |
| PROBLEMI | 140 |
| SIMBOLI | 143 |
| Capitolo 3 | |
| IL TRASPORTO DI CALORE NEI PROCESSI ALIMENTARI | 145 |
| 3.1 IMPIANTI PER IL RISCALDAMENTO E IL RAFFREDDAMENTO DEI PRODOTTI ALIMENTARI | 145 |
| 3.1.1 Scambiatori di calore a piastre | 146 |
| 3.1.2 Scambiatori di calore tubolari | 149 |
| 3.1.3 Scambiatori di calore a superficie raschiata | 150 |
| 3.1.4 Scambiatore di calore a infusione di vapore | 151 |
| 3.1.5 Conclusione | 152 |
| 3.2 PROPRIETÀ TERMICHE DEGLI ALIMENTI | 152 |
| 3.2.1 Calore specifico | 152 |
| 3.2.2 Conducibilità termica | 155 |
| 3.2.3 Diffusività termica | 156 |
| 3.3 MODALITÀ DI TRASMISSIONE DEL CALORE | 157 |
| 3.3.1 Trasporto di calore per conduzione | 158 |
| 3.3.2 Trasporto di calore per convezione | 160 |
| 3.3.3 Trasporto di calore per irraggiamento | 161 |

| | |
|---|-----|
| 3.4 TRASPORTO DI CALORE IN STATO STAZIONARIO | 162 |
| 3.4.1 Trasporto di calore per conduzione attraverso una parete piana | 163 |
| 3.4.2 Trasporto di calore per conduzione attraverso una parete cilindrica | 165 |
| 3.4.3 Conduzione di calore in sistemi multistrato | 168 |
| 3.4.4 Stima del coefficiente convettivo di scambio termico | 173 |
| 3.4.5 Valutazione del coefficiente globale di scambio termico | 185 |
| 3.4.6 Fouling delle superfici di scambio termico | 189 |
| 3.4.7 Progettazione degli scambiatori di calore tubolari | 193 |
| 3.4.8 Metodo dell'efficacia-NTU per la progettazione degli scambiatori di calore | 199 |
| 3.4.9 Progettazione degli scambiatori di calore a piastre | 203 |
| 3.4.10 Importanza delle caratteristiche di superficie nel trasporto di calore per irraggiamento | 208 |
| 3.4.11 Trasporto di calore per irraggiamento tra due oggetti | 209 |
| 3.5 TRASPORTO DI CALORE NON STAZIONARIO | 212 |
| 3.5.1 Importanza della resistenza esterna al trasporto di calore rispetto a quella interna | 213 |
| 3.5.2 Resistenza interna al trasporto di calore trascurabile ($N_{Bi} < 0.1$) – Analisi di un sistema a parametri concentrati | 214 |
| 3.5.3 Resistenza finita interna e di superficie al trasporto di calore ($0.1 \leq N_{Bi} \leq 40$) | 217 |
| 3.5.4 Resistenza superficiale al trasporto di calore trascurabile ($N_{Bi} \geq 40$) | 219 |
| 3.5.5 Oggetti finiti | 219 |
| 3.5.6 Modalità d'uso dei diagrammi temperatura-tempo | 221 |
| 3.5.7 Uso dei fattori f_h e j nel predire la temperatura nel trasporto di calore non stazionario | 227 |
| 3.6 CONDUCIBILITÀ ELETTRICA DEGLI ALIMENTI | 233 |
| 3.7 RISCALDAMENTO OHMICO | 235 |
| 3.8 RISCALDAMENTO A MICROONDE | 237 |
| 3.8.1 Meccanismi di riscaldamento a microonde | 237 |
| 3.8.2 Proprietà dielettriche | 238 |
| 3.8.3 Conversione dell'energia elettromagnetica in calore | 239 |
| 3.8.4 Profondità di penetrazione delle microonde | 239 |
| 3.8.5 Forni a microonde | 240 |
| 3.8.6 Riscaldamento a microonde degli alimenti | 241 |
| PROBLEMI | 243 |
| SIMBOLI | 254 |
| | |
| Capitolo 4 | |
| TRASPORTO DI MATERIA | 257 |
| 4.1 LA DIFFUSIONE | 258 |
| 4.1.1 Diffusione in condizioni stazionarie di gas (e liquidi) attraverso i solidi | 260 |
| 4.1.2 Trasporto di materia convettivo | 261 |
| 4.1.3 Flusso laminare su una lastra piana | 264 |
| 4.1.4 Moto turbolento su una lastra piana | 267 |
| 4.1.5 Flusso laminare in una condotta | 267 |

| | |
|--|-----|
| 4.1.6 Flusso turbolento in una condotta | 267 |
| 4.1.7 Trasporto di materia per un flusso sopra oggetti sferici | 267 |
| 4.2 TRASPORTO DI MATERIA IN CONDIZIONI NON STAZIONARIE | 268 |
| 4.2.1 Diffusione in condizioni non stazionarie | 269 |
| 4.2.2 Diffusione dei gas | 273 |
| PROBLEMI | 276 |
| SIMBOLI | 276 |

B OPERAZIONI DI CONSERVAZIONE DEGLI ALIMENTI

Capitolo 5

| | |
|---|-----|
| CONGELAMENTO DEGLI ALIMENTI | 281 |
| 5.1 SISTEMI DI CONGELAMENTO | 282 |
| 5.1.1 Sistemi a contatto indiretto | 282 |
| 5.1.2 Sistemi a contatto diretto | 285 |
| 5.2 PROPRIETÀ DEGLI ALIMENTI CONGELATI | 288 |
| 5.2.1 Densità | 288 |
| 5.2.2 Conducibilità termica | 288 |
| 5.2.3 Entalpia | 289 |
| 5.2.4 Calore specifico apparente | 290 |
| 5.2.5 Diffusività termica apparente | 290 |
| 5.3 TEMPO DI CONGELAMENTO | 291 |
| 5.3.1 L'equazione di Plank | 292 |
| 5.3.2 Altri metodi di predizione del tempo di congelamento | 295 |
| 5.3.3 Il metodo di Pham per la predizione dei tempi di congelamento | 296 |
| 5.3.4 Predizione del tempo di congelamento di oggetti di forma finita | 298 |
| 5.3.5 Misurazione sperimentale del tempo di congelamento | 302 |
| 5.3.6 Fattori che influenzano il tempo di congelamento | 302 |
| 5.3.7 Velocità di congelamento | 302 |
| 5.3.8 Tempo di scongelamento | 302 |
| 5.4 LA CONSERVAZIONE DEGLI ALIMENTI CONGELATI | 304 |
| 5.4.1 Modifiche della qualità degli alimenti congelati durante la conservazione | 305 |
| PROBLEMI | 308 |
| SIMBOLI | 311 |

Capitolo 6

| | |
|--|-----|
| PROCESSI TERMICI DI CONSERVAZIONE | 313 |
| 6.1 TECNOLOGIE DI TRATTAMENTO | 313 |
| 6.1.1 Trattamenti di pastorizzazione e blanching | 313 |
| 6.1.2 Trattamenti di sterilizzazione | 315 |
| 6.1.3 Trattamenti ad alta pressione | 318 |

| | |
|--|-----|
| 6.1.4 Trattamenti con campi elettrici pulsati | 319 |
| 6.2 CINETICHE DI INATTIVAZIONE MICROBICA | 320 |
| 6.3 INFLUENZA DI FATTORI ESTERNI | 324 |
| 6.4 TEMPO DI MORTE TERMICA F | 326 |
| 6.5 PROBABILITÀ DI DETERIORAMENTO | 327 |
| 6.6 METODO GENERALE PER IL CALCOLO DI PROCESSO | 328 |
| 6.6.1 Applicazioni alla pastorizzazione | 329 |
| 6.6.2 Sterilizzazione | 332 |
| 6.6.3 Sterilizzazione e confezionamento asettico | 334 |
| 6.6.4 Processi combinati | 340 |
| 6.7 METODI MATEMATICI | 341 |
| 6.7.1 Trattamento di prodotti in busta | 344 |
| PROBLEMI | 346 |
| SIMBOLI | 349 |
| | |
| Capitolo 7 | |
| PSICROMETRIA | 351 |
| 7.1 PROPRIETÀ DELL'ARIA SECCA | 351 |
| 7.1.1 Composizione dell'aria | 351 |
| 7.1.2 Volume specifico dell'aria secca | 351 |
| 7.1.3 Calore specifico dell'aria secca | 352 |
| 7.1.4 Entalpia dell'aria secca | 352 |
| 7.1.5 Temperatura del bulbo secco | 352 |
| 7.2 PROPRIETÀ DEL VAPORE D'ACQUA | 352 |
| 7.2.1 Volume specifico del vapore d'acqua | 353 |
| 7.2.2 Calore specifico del vapore | 353 |
| 7.2.3 Entalpia del vapore | 353 |
| 7.3 PROPRIETÀ DELLE MISCELE ARIA-VAPORE | 353 |
| 7.3.1 Legge di Gibbs-Dalton | 353 |
| 7.3.2 Temperatura del punto di rugiada | 354 |
| 7.3.3 Contenuto di umidità | 354 |
| 7.3.4 Umidità relativa | 355 |
| 7.3.5 Calore specifico di una miscela aria-vapore | 355 |
| 7.3.6 Volume specifico | 356 |
| 7.3.7 Saturazione adiabatica dell'aria | 356 |
| 7.3.8 Temperatura del bulbo umido | 357 |
| 7.4 DIAGRAMMA PSICROMETRICO | 360 |
| 7.4.1 Costruzione del diagramma | 360 |
| 7.4.2 Uso del diagramma psicrometrico per valutare processi complessi di condizionamento dell'aria | 361 |
| PROBLEMI | 366 |
| SIMBOLI | 368 |

Capitolo 8

| | |
|---|-----|
| ESSICCAMENTO | 371 |
| 8.1 FENOMENI FONDAMENTALI DURANTE L'ESSICCAMENTO | 371 |
| 8.1.1 Attività dell'acqua | 371 |
| 8.1.2 Diffusione dell'acqua | 374 |
| 8.1.3 Curve di essiccamento | 374 |
| 8.1.4 Trasporto di massa e di calore | 374 |
| 8.2 IMPIANTI DI ESSICCAMENTO | 376 |
| 8.2.1 Essiccatori a vassoi o ad armadio | 376 |
| 8.2.2 Essiccatori a tunnel | 377 |
| 8.2.3 Soffiatura | 378 |
| 8.2.4 Essiccamento a letto fluido | 378 |
| 8.2.5 Essiccamento spray | 379 |
| 8.2.6 Liofilizzazione | 379 |
| 8.3 PROGETTAZIONE DEGLI IMPIANTI DI ESSICCAMENTO | 380 |
| 8.3.1 Bilanci di massa e di energia | 380 |
| 8.3.2 Previsione del tempo di essiccamento | 383 |
| PROBLEMI | 391 |
| SIMBOLI | 395 |

C OPERAZIONI DI TRASFORMAZIONE DEGLI ALIMENTI

Capitolo 9

| | |
|---|-----|
| EVAPORAZIONE | 399 |
| 9.1 INNALZAMENTO EBULLIOSCOPICO | 401 |
| 9.2 EVAPORATORI | 402 |
| 9.2.1 Evaporatori discontinui a bolla | 402 |
| 9.2.2 Evaporatori a circolazione naturale | 402 |
| 9.2.3 Evaporatori a film ascendente | 403 |
| 9.2.4 Evaporatori a film cadente | 403 |
| 9.2.5 Evaporatori a film ascendente/discendente | 404 |
| 9.2.6 Evaporatori a circolazione forzata | 404 |
| 9.2.7 Evaporatori a film agitato | 405 |
| 9.3 PROGETTAZIONE DI UN EVAPORATORE A SINGOLO EFFETTO | 406 |
| 9.4 PROGETTAZIONE DI UN EVAPORATORE A MULTIPLO EFFETTO | 411 |
| 9.5 SISTEMI DI COMPRESSIONE DEL VAPORE | 416 |
| 9.5.1 Termocompressione del vapore | 416 |
| 9.5.2 Compressione meccanica del vapore | 416 |
| PROBLEMI | 417 |
| SIMBOLI | 419 |

Capitolo 10**OPERAZIONI DI SEPARAZIONE** 421**FILTRAZIONE****10.1 EQUAZIONI DELLA FILTRAZIONE** 421

10.1.1 Filtrazione a portata costante 422

10.1.2 Filtrazione a pressione costante 424

10.2 MECCANISMI DI FILTRAZIONE 425**10.3 PROGETTAZIONE DI UN SISTEMA DI FILTRAZIONE** 426**SEPARAZIONE PER MEMBRANA****10.4 ELETTRODIALISI** 430**10.5 PROCESSI DI OSMOSI INVERSA** 432**10.6 EFFICIENZA DELLE MEMBRANE** 437**10.7 ULTRAFILTRAZIONE** 438**10.8 CONCENTRAZIONE DI POLARIZZAZIONE** 439**10.9 IMPIANTI DI OSMOSI INVERSA E DI ULTRAFILTRAZIONE** 444

10.9.1 A piastra e telaio 444

10.9.2 Tubolari 445

10.9.3 Membrane a spirale 445

10.9.4 Membrane e fibra cava 446

DECANTAZIONE**10.10 VELOCITÀ DI DECANTAZIONE PER SOSPENSIONI
A BASSA CONCENTRAZIONE DI SOLIDI** 447**10.11 DECANTAZIONE IN SOSPENSIONI A ELEVATA CONCENTRAZIONE** 450**CENTRIFUGAZIONE****10.12 EQUAZIONI FONDAMENTALI** 452**10.13 VELOCITÀ DI DECANTAZIONE CENTRIFUGA** 452**10.14 SEPARAZIONE LIQUIDO-LIQUIDO** 453**10.15 SEPARAZIONE SOLIDO-GAS** 455**PROBLEMI** 455**SIMBOLI** 456**Capitolo 11****ESTRAZIONE SOLIDO-LIQUIDO** 459**11.1 FENOMENOLOGIA** 459**11.2 PROGETTAZIONE** 461

11.2.1 Cinetiche di estrazione 461

11.2.2 Bilanci materiali attorno a un estrattore 464

11.3 IMPIANTI DI ESTRAZIONE 476

11.3.1 Estrattori a immersione 477

11.3.2 Estrattori a percolamento 479

11.3.3 Estrattori misti 482

PROBLEMI 483**SIMBOLI** 484

Capitolo 12

| | |
|--|-----|
| MISCELAZIONE | 485 |
| 12.1 IMPIANTI DI MISCELAZIONE | 486 |
| 12.1.1 Miscelatori a elica di tipo marino | 487 |
| 12.1.2 Miscelatori a pale | 487 |
| 12.1.3 Miscelatori a turbina | 488 |
| 12.2 REQUISITI DI POTENZA DEI MISCELATORI | 488 |
| SIMBOLI | 491 |

Capitolo 13

| | |
|--|-----|
| ESTRUSIONE | 493 |
| 13.1 INTRODUZIONE | 493 |
| 13.2 PRINCIPI DEL PROCESSO DI ESTRUSIONE | 494 |
| 13.3 IMPIANTI DI ESTRUSIONE | 499 |
| 13.3.1 Estrusione a freddo | 500 |
| 13.3.2 Estrusione cottura | 500 |
| 13.3.3 Estrusori monovite | 501 |
| 13.3.4 Estrusori bivate | 503 |
| 13.4 PROGETTAZIONE DI UN IMPIANTO DI ESTRUSIONE | 504 |
| 13.5 PROGETTAZIONE DI SISTEMI PIÙ COMPLESSI | 508 |
| PROBLEMI | 509 |
| SIMBOLI | 509 |

D CONFEZIONAMENTO

Capitolo 14

| | |
|---|-----|
| IL PACKAGING DEI PRODOTTI ALIMENTARI | 513 |
| 14.1 INTRODUZIONE | 513 |
| 14.2 PROTEZIONE DELL'ALIMENTO | 514 |
| 14.3 CONTENIMENTO DEL PRODOTTO | 514 |
| 14.4 COMUNICAZIONE DEL PRODOTTO | 515 |
| 14.5 COMODITÀ D'USO DEL PRODOTTO (CONVENIENCE) | 515 |
| 14.6 TRASFERIMENTO DI MASSA NEI MATERIALI DI IMBALLAGGIO | 515 |
| 14.6.1 Permeabilità dei materiali di imballaggio a gas "fissi" | 517 |
| 14.7 INNOVAZIONI NELL'IMBALLAGGIO ALIMENTARE | 520 |
| 14.7.1 Imballaggio passivo | 520 |
| 14.7.2 Imballaggio attivo | 520 |
| 14.7.3 Imballaggio intelligente | 521 |
| 14.8 IMBALLAGGIO ALIMENTARE E SHELF LIFE DEL PRODOTTO | 522 |

| | |
|---|-----|
| 14.8.1 Basi scientifiche per la valutazione della <i>shelf life</i> | 523 |
| PROBLEMI | 528 |
| SIMBOLI | 528 |

E SERVIZI AUSILIARI E CONTROLLO DI PROCESSO

| | |
|--|-----|
| Capitolo 15 | |
| UTILIZZO DELL'ENERGIA NEGLI IMPIANTI | 533 |
| 15.1 LA GENERAZIONE DEL VAPORE | 533 |
| 15.1.1 Sistemi per la generazione del vapore | 534 |
| 15.1.2 Aspetti termodinamici legati al cambiamento di fase | 536 |
| 15.1.3 Le tavole del vapore | 539 |
| 15.1.4 Utilizzazione del vapore | 543 |
| 15.2 UTILIZZAZIONE DEL COMBUSTIBILE | 546 |
| 15.2.1 Sistemi | 546 |
| 15.2.2 Analisi del bilancio di massa ed energia | 547 |
| 15.2.3 Efficienze dei bruciatori | 549 |
| 15.3 UTILIZZO DELL'ENERGIA ELETTRICA | 551 |
| 15.3.1 Grandezze elettriche e unità di misura | 552 |
| 15.3.2 La legge di Ohm | 553 |
| 15.3.3 Circuiti elettrici | 554 |
| 15.3.4 I motori elettrici | 555 |
| 15.3.5 Sistemi di controllo elettrico | 556 |
| 15.3.6 Illuminazione elettrica | 556 |
| PROBLEMI | 558 |
| SIMBOLI | 561 |
| Capitolo 16 | |
| REFRIGERAZIONE | 563 |
| 16.1 LA SELEZIONE DI UN REFRIGERANTE | 564 |
| 16.2 COMPONENTI DEL SISTEMA DI REFRIGERAZIONE | 567 |
| 16.2.1 L'evaporatore | 568 |
| 16.2.2 Il compressore | 569 |
| 16.2.3 Il condensatore | 571 |
| 16.2.4 La valvola di espansione | 573 |
| 16.3 IL DIAGRAMMA PRESSIONE-ENTALPIA | 574 |
| 16.3.1 Tabelle pressione-entalpia | 577 |
| 16.3.2 Impiego di procedure informatiche per la determinazione delle proprietà termodinamiche dei refrigeranti | 579 |
| 16.4 ESPRESSIONI MATEMATICHE UTILI PER L'ANALISI DELLA REFRIGERAZIONE A COMPRESSIONE DI VAPORE | 580 |
| 16.4.1 La potenzialità frigorifera | 580 |

| | |
|--|-----|
| 16.4.2 Compressore | 582 |
| 16.4.3 Condensatore | 582 |
| 16.4.4 Evaporatore | 583 |
| 16.4.5 Coefficiente di prestazione | 583 |
| 16.4.6 Portata del refrigerante | 583 |
| 16.5 UTILIZZO DEI SISTEMI MULTISTADIO | 590 |
| 16.5.1 Sistemi per la rimozione di flash gas | 590 |
| PROBLEMI | 594 |
| SIMBOLI | 596 |
| | |
| Capitolo 17 | |
| PRINCIPI DI CONTROLLO DI PROCESSO | 597 |
| 17.1 CONTROLLI DI PROCESSO NELL'INDUSTRIA ALIMENTARE | 597 |
| 17.1.1 Variabili di processo e indicatori di prestazione | 599 |
| 17.1.2 Segnali di ingresso e uscita per il controllo di processi | 600 |
| 17.1.3 Progettazione di un sistema di controllo | 600 |
| 17.2 SENSORI | 606 |
| 17.2.1 Temperatura | 606 |
| 17.2.2 Livello di un liquido in un serbatoio | 608 |
| 17.2.3 Sensori di pressione | 609 |
| 17.2.4 Sensori di portata | 609 |
| 17.2.5 Glossario dei termini importanti nell'acquisizione dei dati | 610 |
| 17.3 RISPOSTE DINAMICHE DEI SENSORI | 610 |
| SIMBOLI | 613 |

F SOSTENIBILITÀ DELLE RISORSE

| | |
|---|-----|
| Capitolo 18 | |
| SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE | 617 |
| 18.1 ENERGIA, ACQUA E AMBIENTE | 617 |
| 18.1.1 Metodo <i>Life Cycle Assessment</i> (LCA) | 618 |
| 18.1.2 Applicazioni alla filiera agroalimentare | 621 |
| 18.1.3 Indicatori di sostenibilità | 625 |
| SIMBOLI | 627 |
| | |
| Capitolo 19 | |
| ASPETTI ECONOMICI E TECNICI DEGLI IMPIANTI | 629 |
| 19.1 LA DEFINIZIONE DI IMPIANTO | 629 |
| 19.1.1 Classificazione degli impianti | 630 |
| 19.1.2 Gli impianti di servizio | 631 |
| 19.2 LA FUNZIONE DI PRODUZIONE | 631 |

| | |
|--|-----|
| 19.3 PARAMETRI ECONOMICI PER IL DIMENSIONAMENTO DEGLI IMPIANTI | 632 |
| 19.3.1 Costi fissi e costi variabili | 632 |
| 19.3.2 Costi totali, costo medio e costo marginale | 632 |
| 19.3.3 Diagramma di redditività | 637 |
| 19.3.4 Il margine di contribuzione | 639 |
| 19.4 IL DIMENSIONAMENTO ECONOMICO DEGLI IMPIANTI | 640 |
| 19.5 AFFIDABILITÀ E DISPONIBILITÀ DEGLI IMPIANTI | 641 |
| 19.5.1 Affidabilità (R) | 641 |
| 19.5.2 Disponibilità (A) | 643 |
| 19.5.3 Interventi per il miglioramento dell'affidabilità o della disponibilità | 643 |
| 19.6 ECONOMIA DI SCALA | 644 |
| 19.6.1 Unità di riserva | 645 |
| 19.6.2 La centralizzazione del servizio | 646 |
| 19.7 DIMENSIONAMENTO DEGLI ACCUMULATORI-POLMONE | 647 |
| 19.7.1 Integrazione grafica | 647 |
| PROBLEMI | 649 |
| SIMBOLI | 651 |
| APPENDICI | 653 |
| A.1 FATTORI DI CONVERSIONE | 653 |
| A.2 PROPRIETÀ FISICHE DEGLI ALIMENTI | 656 |
| A.3 PROPRIETÀ FISICHE DI MATERIALI NON ALIMENTARI | 666 |
| A.4 PROPRIETÀ FISICHE DI ACQUA E ARIA | 671 |
| A.5 DIAGRAMMI PSICROMETRICI | 676 |
| A.6 DIAGRAMMI E DATI PRESSIONE-ENTALPIA | 678 |
| A.7 SIMBOLI UTILIZZATI PER LA SCHEMATIZZAZIONE DI IMPIANTI E ATTREZZATURE | 692 |
| A.8 VARIE | 697 |
| A.9 ANALISI DIMENSIONALE | 701 |
| A.9.1 Teorema π di Buckingham | 701 |
| BIBLIOGRAFIA | 705 |
| INDICE ANALITICO | 721 |