

# Sommario

## **Parte A** Struttura e funzioni delle cellule procariote

- Capitolo 1 **Alla scoperta del mondo microbico**
- Capitolo 2 **Struttura e funzioni delle cellule procariote**

## **Parte B** Crescita microbica e metabolismo

- Capitolo 3 **Nutrizione e crescita microbica**
- Capitolo 4 **Metabolismo microbico**
- Capitolo 5 **Energia dalle trasformazioni chimiche: chemiotrofia**
- Capitolo 6 **Energia dalla luce: i procarioti fototrofi**
- Capitolo 7 **Assimilazione e biosintesi**

## **Parte C** Genetica batterica e biologia molecolare

- Capitolo 8 **Genoma dei procarioti**
- Capitolo 9 **Trasmissione dell'informazione genetica**
- Capitolo 10 **Plasticità del genoma batterico: trasferimento genico orizzontale**
- Capitolo 11 **Trascrizione e traduzione**
- Capitolo 12 **Regolazione dell'espressione genica**
- Capitolo 13 **Divisione cellulare e differenziamento**
- Capitolo 14 **Eredità infettiva: i virus**
- Capitolo 15 **Analisi globale delle cellule microbiche**
- Capitolo 16 **Tassonomia, sistematica, filogenesi, evoluzione**

## **Parte D** Interazioni tra microrganismi e con altri organismi

- Capitolo 17 **Interazioni tra batteri: strategie di cooperazione e competizione**
- Capitolo 18 **Interazioni con gli animali: il microbiota**
- Capitolo 19 **Interazioni con gli organismi animali: la patogenesi**
- Capitolo 20 **Meccanismi di difesa dell'ospite: immunità innata**
- Capitolo 21 **Meccanismi di difesa dell'ospite: immunità adattativa**
- Capitolo 22 **Interazioni dei microrganismi con gli organismi vegetali**

# Indice

## Parte A

### Struttura e funzioni delle cellule procariote

A cura di Anna Maria Puglia

<b>1</b>	<b>Alla scoperta del mondo microbico</b>	3
	<i>Gianni Dehò e Enrica Galli</i>	
1.1	<b>IL MONDO DEI MICRORGANISMI</b>	3
	Cellula, organismo vivente, microrganismo	3
	Unità e diversità del mondo vivente	5
	Procarioti-eucarioti, <i>Bacteria-Archaea</i>	5
	Organismi modello e diversità microbica	5
1.2	<b>COME SI COSTRUISCE UNA CELLULA</b>	7
	Materia-energia-informazione	7
	Dalle molecole semplici alle strutture sopramolecolari	7
	Accrescimento e divisione	9
1.3	<b>DALLA MICROBIOLOGIA INCONSAPEVOLE ALLA SCOPERTA DEI MICRORGANISMI</b>	9
	Confutazione della teoria della generazione spontanea	10
	Sviluppo delle tecniche di base per lo studio dei microrganismi	12
1.4	<b>DISTRIBUZIONE DEI MICRORGANISMI NELL'AMBIENTE</b>	13
	Microrganismi come agenti di malattie e come produttori di farmaci antibatterici	14
1.5	<b>MICRORGANISMI E TRASFORMAZIONE DELLA SOSTANZA ORGANICA</b>	15
1.6	<b>SVILUPPO DELLA MICROBIOLOGIA COME SCIENZA DI BASE E APPLICATA</b>	16
	● Scheda 1.1 Alcuni eventi fondativi della microbiologia come scienza	17
1.7	<b>AREE SPECIALISTICHE DELLA MICROBIOLOGIA</b>	18
<b>2</b>	<b>Struttura e funzioni delle cellule procariote</b>	19
	<i>A cura di Anna Maria Puglia</i>	
	<b>LA CELLULA</b>	
2.1	<b>LA CELLULA PROCARIOTA</b>	20
	<i>Paola Quatrini</i>	
	Differenze e similitudini tra cellula procariota e cellula eucariota	20
	Differenze e similitudini tra batteri e archei	21
	Morfologia, dimensioni e organizzazione delle cellule procariote	21
	Morfogenesi delle cellule batteriche	22
	<b>MEMBRANE E PARETI</b>	
2.2	<b>RIVESTIMENTO DELLE CELLULE PROCARIOTE</b>	23
	<i>Alessandra Polissi</i>	


**Scheda Web 2.1**

 Biosintesi degli antibiotici  
 Margherita Sosio

	Membrana plasmatica	24
	Funzioni della membrana plasmatica	28
	● <b>Scheda 2.1</b> La colorazione di Gram	24
	● <b>Scheda 2.2</b> Antibiotici che agiscono sulle membrane Stefania Stefani e Margherita Sosio	29
<b>2.3</b>	<b>PARETE BATTERICA</b>	33
	Paola Quatrini	
	Sacculo di mureina	33
	Peptidoglicano	33
	Biosintesi del peptidoglicano e accrescimento della parete mureinica	35
	Biogenesi della parete mureinica	39
	Parete dei batteri Gram positivi	39
	● <b>Scheda 2.3</b> I batteri Gram positivi (monodermi) Anna Maria Sanangelantoni	40
	● <b>Scheda 2.4</b> Antibiotici inibitori della sintesi del peptidoglicano Stefania Stefani e Margherita Sosio	42
<b>2.4</b>	<b>PARETE DEI BATTERI GRAM NEGATIVI</b>	50
	Alessandra Polissi	
	Periplasma	50
	Membrana esterna: struttura, composizione e funzioni	51
	Biogenesi della membrana esterna	52
	Trasporto delle proteine integrali della membrana esterna	53
	Trasporto delle lipoproteine	53
	Trasporto del lipopolisaccaride	54
	● <b>Scheda 2.5</b> I micoplasmii: batteri Gram positivi senza parete Anna Maria Sanangelantoni	55
	● <b>Scheda 2.6</b> Le clamidie: batteri Gram negativi senza parete mureinica Anna Maria Sanangelantoni	56
<b>2.5</b>	<b>ALTRI TIPI DI PARETE NEI BACTERIA</b>	56
	Paola Quatrini	
	● <b>Scheda 2.7</b> I micobatteri Anna Maria Sanangelantoni	57
	● <b>Scheda 2.8</b> La colorazione di Ziehl-Neelsen	58
	● <b>Scheda 2.9</b> Monodermi e didermi Alessandra Polissi	59
<b>2.6</b>	<b>PARETE CELLULARE NEGLI ARCHAEA</b>	58
	Anna Maria Sanangelantoni	
<b>2.7</b>	<b>CAPSULA E ALTRI RIVESTIMENTI ESTERNI</b>	60
	Anna Maria Puglia	
	Strato S	60
	Capsule e polisaccaridi extracellulari	61

---

**BIOGENESI DEI RIVESTIMENTI BATTERICI E SECREZIONE DI MACROMOLECOLE**

Alessandra Polissi

<b>2.8</b>	<b>SISTEMA DI SECREZIONE SEC E SUE DIRAMAZIONI SEC-DIPENDENTI</b>	63
	Indirizzamento delle proteine alla membrana interna	64
	Indirizzamento delle proteine all'ambiente extracellulare	65
<b>2.9</b>	<b>SISTEMI DI SECREZIONE INDIPENDENTI DA SEC</b>	67
	Trasporto attraverso la membrana plasmatica di proteine ripiegate:	
	il sistema Tat	68
	Trasportatori ABC	69
	Sistema di secrezione di tipo III	70
	Sistema di secrezione di tipo IV	72
	Sistema di secrezione di tipo VI	73
	● <b>Scheda 2.10</b> Le vescicole extracellulari	75

---

**APPENDICI ESTERNE**

Anna Maria Puglia

<b>2.10</b>	<b>FLAGELLI</b>	76
	Struttura del flagello	77
	Movimento dei flagelli	77
	Chemiotassi	78
	Biosintesi del flagello	80

	Endoflagelli delle spirochete	80
	Flagelli degli <i>Archaea</i>	81
<b>2.11</b>	<b>PILI (FIMBRIE)</b>	82

**PROTOPLASTO***Paola Quatrini e Anna Maria Puglia*

<b>2.12</b>	<b>CITOPLASMA</b>	84
	Ribosomi	84
	Nucleoide	85
<b>2.13</b>	<b>CORPI DI INCLUSIONE</b>	85
	Granuli di riserva	85
	Microcompartimenti cellulari	86
	Magnetosomi	87
	Vescicole gassose	87

**DIFFERENZIAMENTO CELLULARE NEI BATTERI***Ezio Ricca*

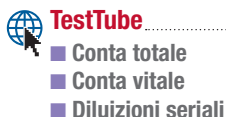
<b>2.14</b>	<b>ENDOSPORE BATTERICHE</b>	88
	Sporulazione	89
	Struttura della spora	92
	● Scheda 2.11 La colorazione delle spore	89
	● Scheda 2.12 Insetticidi e tossine entomopatogene di <i>Bacillus thuringiensis</i> <i>Anna Maria Sanangelantoni ed Ezio Ricca</i>	93
	● Scheda 2.13 Differenziamento e sviluppo batterico <i>Anna Maria Puglia</i>	95

**Parte  
B****CRESCITA MICROBICA E METABOLISMO***A cura di Anna Maria Sanangelantoni***3** **Nutrizione e crescita microbica** 99  
*Ezio Ricca e Loredana Baccigalupi***PRINCIPI DI NUTRIZIONE MICROBICA** 100

<b>3.1</b>	<b>COMPOSIZIONE ELEMENTARE DELLE CELLULE</b>	100
	I sei elementi che costituiscono le macromolecole biologiche	100
<b>3.2</b>	<b>CATEGORIE NUTRIZIONALI</b>	104
	Fattori di crescita: prototrofia e auxotrofia	104
<b>3.3</b>	<b>ASSIMILAZIONE DEI NUTRIENTI: TRASPORTO DI MOLECOLE DALL'AMBIENTE</b>	105
	Trasporto passivo	105
	Trasporto attivo primario e secondario	106
	Trasporto con traslocazione di gruppo	107
	Idrolisi extracellulare di macromolecole e trasporto dei prodotti di degradazione	108
<b>3.4</b>	<b>TERRENI DI COLTURA</b>	109
	Terreni minimi e complessi	109
	Terreni solidi	109
	Uso dei terreni solidi per l'isolamento di colture pure	110
	Terreni arricchiti, selettivi e differenziali	112

**CRESCITA DELLE POPOLAZIONI MICROBICHE**

<b>3.5</b>	<b>COME SI DETERMINA LA CONCENTRAZIONE DI MICRORGANISMI IN UNA COLTURA</b>	114
	Determinazione della biomassa: peso secco	114
	Misurazione della torbidità di una coltura	114
	Conta totale	115
	Conta vitale	115
<b>3.6</b>	<b>ANALISI DELLA CRESCITA MICROBICA</b>	116
	Descrizione matematica della crescita	116
	Rappresentazione grafica della crescita batterica	118



	Analisi della curva di crescita di una popolazione microbica	118
	Crescita diauxica	120
	Crescita continua: il chemostato	121
	● <b>Scheda 3.1</b> Descrizione matematica della crescita esponenziale	119
 <b>TestTube</b>	<b>3.7 FATTORI CHE INFLUENZANO LA CRESCITA MICROBICA</b>	122
■ Curva di crescita	Temperatura	122
	pH	123
	Disponibilità di acqua	124
	Disponibilità di ossigeno	125
	Culture microbiche aerobie e anaerobie	127
	Microorganismi “non (ancora) coltivabili”	127
	<b>CONTROLLO E INIBIZIONE DELLA CRESCITA MICROBICA</b>	
	<b>3.8 METODI FISICI</b>	129
	Calore	129
	Radiazioni	131
	Filtrazione	131
	<b>3.9 METODI CHIMICI</b>	133
	<b>ANTIBIOTICI</b>	
 <b>Scheda Web 3.1</b>	<b>3.10 ANTIBIOTICI</b>	134
■ Vie biosintetiche dei metaboliti secondari	<i>Stefania Stefani e Margherita Sosio</i>	
<i>Margherita Sosio</i>	Effetti degli antibiotici sul microorganismo	134
 <b>Scheda Web 3.2</b>	Saggi di sensibilità agli antibiotici	138
■ Alla ricerca di nuove molecole bioattive da microrganismi	Spettro d'azione, tolleranza intrinseca e resistenza acquisita	139
<i>Margherita Sosio</i>	Meccanismi d'azione dei principali antibiotici	139
	● <b>Scheda 3.2</b> Il metabolismo secondario: ruolo fisiologico e interesse applicativo	135
	<i>Margherita Sosio</i>	
 <b>TestTube</b>	● <b>Scheda 3.3</b> Antibiotici: uso clinico e conseguenze ecologiche	136
■ Antibiogramma	<i>Margherita Sosio</i>	
■ MIC, minima concentrazione inibente		
	<b>4 Metabolismo microbico</b>	142
	<i>Anna Maria Sanangelantoni</i>	
	<b>4.1 PRINCIPALI FORME DI ENERGIA UTILE NELLE REAZIONI BIOLOGICHE</b>	143
	Energia libera e potenziali di ossidoriduzione	143
	<b>4.2 REAZIONI DI OSSIDORIDUZIONE BIOLOGICA</b>	145
	Potenziali di riduzione	145
	Torre degli elettroni	147
	Trasportatori di elettroni	148
	● <b>Scheda 4.1</b> Lo stato di ossidazione di un elemento	146
	● <b>Scheda 4.2</b> Pirofosfato e polifosfati per la produzione di ATP	147
	<b>4.3 ATP E ALTRI COMPOSTI AD ALTA ENERGIA</b>	151
	<b>4.4 SINTESI DI ATP</b>	151
	Fosforilazione a livello del substrato	151
	Fosforilazione a livello di membrana	152
	● <b>Scheda 4.3</b> Energia libera di Gibbs e calcolo del potenziale elettrico	153
	<b>4.5 ATP SINTASI E SINTESI DI ATP A LIVELLO DI MEMBRANA</b>	155
	<b>5 Energia dalle trasformazioni chimiche: chemiotrofia</b>	156
	<i>Anna Maria Sanangelantoni</i>	
	<b>ENERGIA DALLA DEGRADAZIONE DI SOSTANZE ORGANICHE: I BATTERI CHEMIORGANOTROFI</b>	
	<b>5.1 METABOLISMO FERMENTATIVO</b>	158
	Degradazione del glucosio ad acido piruvico	158
	Fermentazione lattica	162
	Fermentazione alcolica (lieviti e batteri)	166

	Fermentazione acido mista e 2,3-butandiolica degli enterobatteri	168
	Fermentazione propionica	171
	Fermentazione butirrica e acetone-butanolica dei clostridi e altre fermentazioni	173
	● Scheda 5.1 I batteri lattici	161
	● Scheda 5.2 I bifidobatteri	164
	● Scheda 5.3 <i>Zymomonas</i> e la fermentazione alcolica	167
	● Scheda 5.4 I batteri enterici	169
	● Scheda 5.5 I clostridi	175
	● Scheda 5.6 La fermentazione acetica: un'ossidazione incompleta	177
<b>5.2</b>	<b>METABOLISMO RESPIRATORIO</b>	176
	Respirazione aerobia dei batteri chemioeterotrofi	176
	Respirazione anaerobia dei batteri chemioeterotrofi	180
	● Scheda 5.7 Metanogenesi e acetogenesi	186
<b>5.3</b>	<b>DIVERSITÀ DELLE FONTI ORGANICHE DI ENERGIA</b>	189
	Catabolismo dei carboidrati	189
	Catabolismo dei lipidi	192
	Catabolismo di proteine e aminoacidi	192
	Energia da composti organici a un atomo di carbonio: metilotrofia	193
	Catabolismo degli idrocarburi e dei composti xenobiotici	196
	● Scheda 5.8 I batteri metofili	198
	● Scheda 5.9 <i>Pseudomonadaceae</i> e <i>Pseudomonas</i>	198

### ENERGIA DA REAZIONI DI OSSIDAZIONE DI COMPOSTI INORGANICI RIDOTTI

<b>5.4</b>	<b>MICROORGANISMI CHEMIOLITOTROFI</b>	200
	<i> Davide Zannoni e Anna Maria Sanangelantoni</i>	
	Ossidazione dell'idrogeno molecolare: batteri H <sub>2</sub> -ossidanti	200
	Ossidazione dei composti ridotti dello zolfo: batteri zolfo-ossidanti o solfobatteri	201
	Ossidazione del ferro (Fe <sup>2+</sup> ): batteri ferro-ossidanti	203
	Ossidazione dell'azoto: batteri nitrificanti	204
	Ossidazione anaerobia dell'azoto: batteri "anammox"	205

## **6** Energia dalla luce: i procarioti fototrofi 207

*Davide Zannoni e Anna Maria Sanangelantoni*

<b>6.1</b>	<b>LUCE E VITA SULLA TERRA</b>	207
<b>6.2</b>	<b>DIVERSITÀ METABOLICA DEGLI ORGANISMI FOTOTROFI</b>	207
<b>6.3</b>	<b>DIVERSITÀ DEI SISTEMI FOTOSINTETICI</b>	208
<b>6.4</b>	<b>PIGMENTI FOTOSINTETICI E MEMBRANE FOTOSINTETICHE</b>	209
<b>6.5</b>	<b>FOTOTROFIA BASATA SU CLOROFILLA E BATTERIOCLOROFILLA: POMPE PROTONICHE "SECONDARIE"</b>	212
<b>6.6</b>	<b>FOTOSINTESI ANOSSIGENICA</b>	214
	Ciclo fotosintetico "secondario", fotofosforilazione e sintesi di NADH	214
<b>6.7</b>	<b>CIANOBATTERI E FOTOSINTESI OSSIGENICA</b>	214
	Flusso di elettroni nella fotosintesi ossigenica	216
	Sintesi di ATP (flusso ciclico e non ciclico)	216
<b>6.8</b>	<b>BATTERI FOTOSINTETICI</b>	217
	Phylum <i>Cyanobacteria</i> (cianobatteri)	218
	Phylum <i>Proteobacteria</i>	223
	"Clade" dei batteri aerobi che contengono batterioclorofille	224
	Phylum <i>Chlorobi</i> (batteri verdi sulfurei)	224
	Phylum <i>Chloroflexi</i> (batteri verdi non sulfurei)	225
	Phylum <i>Firmicutes</i>	225
<b>6.9</b>	<b>FOTOTROFIA BASATA SULLA BATTERIORODOPSINA: POMPE PROTONICHE "PRIMARIE"</b>	226
	Fototrofia negli <i>Archaea</i>	226
	Rodopsine nei procarioti	226

 **Scheda Web 6.1**  
Genetica della fotosintesi anossigenica  
e risposta all'ossigeno e alla luce

<b>7</b>	<b>Assimilazione e biosintesi</b>	228
	<i>Anna Maria Sanangelantoni e Davide Zannoni</i>	
<b>7.1</b>	<b>COME I PROCARIOTI SI PROCURANO IL CARBONIO: ETEROTROFIA</b>	229
	Gluconeogenesi	229
<b>7.2</b>	<b>COME I PROCARIOTI SI PROCURANO IL CARBONIO: AUTOTROFIA</b>	229
	Ciclo di Calvin	229
	Ciclo riduttivo del TCA e ciclo dell'idrossipropionato	232
<b>7.3</b>	<b>ASSIMILAZIONE DELL'AZOTO</b>	234
	Assimilazione dell'ammoniaca	234
	Assimilazione del nitrato	235
	Fissazione dell'azoto	236
	● Scheda 7.1 L'azotofissazione	238
<b>7.4</b>	<b>ASSIMILAZIONE DI ZOLFO E FOSFORO</b>	239
	Zolfo	239
	Fosforo	240
<b>7.5</b>	<b>STRATEGIE DELLE VIE BIOSINTETICHE</b>	240
	Biosintesi degli aminoacidi e dei nucleotidi	240
	Sintesi dei lipidi	241
	Biosintesi delle sostanze di riserva del carbonio	243
	● Scheda 7.2 Sulfamidici e analoghi dell'acido folico	242
	<i>Margherita Sosio</i>	

## Parte C

## GENETICA BATTERICA E BIOLOGIA MOLECOLARE

A cura di Luciano Paolozzi e Gianni Dehò

<b>8</b>	<b>Genoma dei procarioti</b>	247
	<i>Luciano Paolozzi</i>	
<b>8.1</b>	<b>NUCLEOIDE</b>	248
	Struttura fisica del nucleotide	248
	Architettura del cromosoma batterico	251
	● Scheda 8.1 Lo stato topologico del DNA	252
	● Scheda 8.2 Il genoma di <i>Borrelia burgdorferi</i>	255
	● Scheda 8.3 Il repertorio del pool genico, uno specchio che riflette la fisiologia batterica	258
<b>8.2</b>	<b>ELEMENTI GENETICI ACCESSORI</b>	261
	Plasmidi	261
	Elementi genetici trasponibili: sequenze IS e trasposoni	266
	Elementi virali	271
	Integroni	271
	Retroelementi procarioti	272
	Ruolo degli elementi genetici accessori nell'evoluzione batterica	272
	● Scheda 8.4 La scoperta dei plasmidi che conferiscono resistenza ad antibiotici	262
	● Scheda 8.5 Metodi per identificare i plasmidi	263
	● Scheda 8.6 Architetture diverse dei genomi dei procarioti	265
	● Scheda 8.7 Esempi di plasmidi modello	269
	● Scheda 8.8 Un esperimento di trasposizione	270
<b>8.3</b>	<b>MAPPE GENETICHE DEI PROCARIOTI</b>	273
	● Scheda 8.9 La diversificazione dei genomi di <i>Escherichia coli</i> : ruolo degli elementi genetici accessori	274
<b>8.4</b>	<b>GENOMA DEGLI ARCHAEA</b>	274

<b>9</b>	<b>Trasmissione dell'informazione genetica</b>	276
	<i>Luciano Paolozzi</i>	

### REPLICAZIONE DEL DNA

<b>9.1</b>	<b>PROTEINE DELLA REPLICAZIONE</b>	279
	● Scheda 9.1 Le DNA polimerasi	282



#### Scheda Web 8.1

La membrana nucleare del batterio *Gemmata obscuriglobus* e l'origine del nucleo degli eucarioti



#### Scheda Web 9.1

Pol I, l'enzima Eureka e le altre DNA polimerasi







	Significato biologico della competenza	328
	Competenza artificiale	328
	● <b>Scheda 10.2</b> La scoperta della trasformazione: un esempio del carattere imprevedibile del percorso scientifico	329
	● <b>Scheda 10.3</b> La competenza: uno stato fisiologico regolato e transiente delle cellule batteriche	330
<b>10.4</b>	<b>TRASDUZIONE</b>	331
	Trasduzione generalizzata	332
	Trasduzione specializzata	333
<b>10.5</b>	<b>TRASFERIMENTO GENICO ORIZZONTALE IN NATURA</b>	334
	Coniugazione	334
	Trasformazione	334
	Trasduzione	335
	Barriere contro il trasferimento genico orizzontale	335
	Integrazione di DNA estraneo nel genoma batterico	335
	Selezione naturale e destino dei geni trasferiti orizzontalmente	336
	Ruolo del trasferimento genico orizzontale nell'evoluzione	337

## **11** **Trascrizione e traduzione** 338

*Luciano Paolozzi e Marco Bazzicalupo*

<b>11.1</b>	<b>TRASCRIZIONE NEI BATTERI</b>	339
	Fasi della trascrizione	340
	RNA polimerasi batterica	344
	Segnali sul DNA che regolano l'inizio della trascrizione	347
	● <b>Scheda 11.1</b> Associazione dei fattori $\sigma$ alternativi con l'RNA polimerasi nelle risposte adattative	347
<b>11.2</b>	<b>TRASCRIZIONE NEGLI ARCHAEA</b>	349
	RNA polimerasi e apparato di trascrizione	349
	Regolatori della trascrizione	349
	● <b>Scheda 11.2</b> Antibiotici inibitori della trascrizione	350
	<i>Stefania Stefani e Margherita Sosio</i>	
<b>11.3</b>	<b>TRADUZIONE NEI BATTERI</b>	351
	Inizio della traduzione	351
	Fase di elongazione	354
	Terminazione della traduzione	354
<b>11.4</b>	<b>TRADUZIONE IN ARCHAEA ED EUCARIOTI</b>	354
	● <b>Scheda 11.3</b> Antibiotici inibitori della sintesi proteica	355
	<i>Stefania Stefani e Margherita Sosio</i>	

## **12** **Regolazione dell'espressione genica** 360

*Luciano Paolozzi*

<b>12.1</b>	<b>ASPETTI GENERALI DELLA REGOLAZIONE GENICA</b>	361
	Come i batteri "sentono" l'ambiente	361
	Sistemi di regolazione delle funzioni cellulari e livelli di regolazione	362
	Elementi del controllo dell'espressione genica	363
<b>12.2</b>	<b>MODELLI DI REGOLAZIONE IN SISTEMI CATABOLICI</b>	363
	Operone <i>lac</i> per l'utilizzazione del lattosio. Modello classico di regolazione negativa e controllo positivo di cAMP-CRP	364
	Regulone maltosio: esempio di regolazione positiva	367
	Operone arabinosio: regolazione positiva e negativa con una sola proteina (e l'aiuto di CRP)	368
	Utilizzazione del galattosio: un regulone complesso	369
	● <b>Scheda 12.1</b> Il trasporto del lattosio nella cellula: il segnale intracellulare della presenza del lattosio	366
<b>12.3</b>	<b>MODELLI DI REGOLAZIONE IN SISTEMI ANABOLICI: REGOLAZIONE DELLA BIOSINTESI DEGLI AMINOACIDI</b>	372
	Regolazione feedback dell'attività enzimatica	372
	Regolazione della trascrizione di operoni	374
	Regolazione trascrizionale dell'operone <i>trp</i>	375



### Scheda Web 12.1

Storia di una teoria scientifica: l'operone *lac*, il "sistema modello" di regolazione genica



	Diversità dei batteriofagi e modelli di studio	428
	Titolazione dei batteriofagi mediante il metodo delle placche	428
 <b>Scheda Web 14.3</b>	<b>14.5</b> <b>RIPRODUZIONE DEI BATTERIOFAGI</b>	429
	Calcolo dei batteri infettati e molteplicità di infezioni	430
 <b>Scheda Web 14.4</b>	<b>14.6</b> <b>ANALISI GENETICA DEI FAGI</b>	436
	L'adsorbimento del fago alla cellula ospite	436
 <b>Scheda Web 14.5</b>	<b>14.7</b> <b>ALCUNI ESEMPI DI BATTERIOFAGI UTILIZZATI COME MODELLO DI STUDIO</b>	437
	Ciclo litico e ciclo lisogeno del batteriofago $\lambda$ : la scelta tra due destini alternativi	437
 <b>Scheda Web 14.6</b>	Fagi della serie T	439
	Lisare o non lisare? Un problema aperto tra caso, genetica ed epigenetica	440
 <b>Scheda Web 14.7</b>	Fagi a ssDNA filamentosi e isometrici	442
	Il profago-plasmide lineare del batteriofago N15	446
 <b>Scheda Web 14.8</b>	Batteriofagi a RNA	446
	Il batteriofago-trasposone Mu	446
 <b>Scheda Web 14.9</b>	<b>14.8</b> <b>DIFESE BATTERICHE CONTRO L'INFEZIONE DEI BATTERIOFAGI</b>	446
	Sistemi di antirestrizione, una lotta senza fine	447
	● <b>Scheda 14.2</b> Modificazione e restrizione del DNA: il riconoscimento del "self" dal "non-self"	447
	● <b>Scheda 14.3</b> CRISPR-Cas: un sistema adattativo di resistenza ai fagi guidato da piccoli RNA	448
<hr/>		
	<b>VIRUS DEGLI EUCARIOTI</b>	
	<i>Giorgio Gribaudo</i>	
	<b>14.9</b> <b>VIRUS DEGLI ANIMALI</b>	452
	Modalità di studio dei virus animali	452
	Modelli di infezione	454
	Risposta dell'ospite all'infezione	457
	Modelli di virus animali	459
	● <b>Scheda 14.4</b> Il virus Ebola e le caratteristiche di una recente epidemia	470
	<b>14.10</b> <b>VIRUS DEI VEGETALI</b>	475
	Virus del mosaico del tabacco (TMV)	475
	Virus di <i>Chlorella</i>	475
	● <b>Scheda 14.5</b> Grandi virus a DNA nucleocitoplasmatici (NCLDV): un nuovo enigma o una tappa verso nuove conoscenze?	476
	<b>14.11</b> <b>AGENTI SUB-VIRALI E PRIONI</b>	477
	Viroidi	477
	Virus satelliti e virusoidi	478
	Elementi genetici mobili	478
	Prioni	478
	<b>14.12</b> <b>FARMACI ANTIVIRALI</b>	478
	Inibizione dell'adsorbimento e della penetrazione del virus	479
	Inibizione della replicazione del genoma virale	479
	Inibizione dell'assemblaggio virale e della maturazione	480
 <b>Scheda Web 15.1</b>	<b>15</b> <b>Analisi globale delle cellule microbiche</b>	481
	<i>Marco Bazzicalupo e Alessio Mengoni</i>	
	<b>15.1</b> <b>GENOMICA</b>	482
	Sequenziamento di genomi procarioti	482
	Annotazione	483
	● <b>Scheda 15.1</b> Il pangenoma	483
	<b>15.2</b> <b>METAGENOMICA</b>	484
	<b>15.3</b> <b>GENOMICA FUNZIONALE</b>	487
	Trascrittomica	487
	Proteomica	488
	● <b>Scheda 15.2</b> Ibridazione su microgriglie a DNA	488
	● <b>Scheda 15.3</b> L'esempio di <i>Caulobacter crescentus</i>	490
	<b>15.4</b> <b>METABOLOMICA E SCREENING AD ALTA PROCESSIVITÀ DI FENOTIPI</b>	490
	<b>15.5</b> <b>VERSO LA BIOLOGIA DEI SISTEMI</b>	491

<b>16</b>	<b>Tassonomia, sistematica, filogenesi, evoluzione</b>	492
	<i>Anna Maria Sanangelantoni, Giovanna Lucchini, Marco Bazzicalupo</i>	
<b>16.1</b>	<b>TASSONOMIA</b>	493
	Sistemi di classificazione	493
	● Scheda 16.1 Storia della Terra	493
	● Scheda 16.2 Storia della classificazione dei batteri	496
<b>16.2</b>	<b>EVOLUZIONE</b>	495
<b>16.3</b>	<b>FILOGENESI MOLECOLARE DEI MICRORGANISMI</b>	497
	Metodi molecolari	498
	Sequenze usate nella filogenesi molecolare	504
	TGO	509
<b>16.4</b>	<b>GRUPPI TASSONOMICI</b>	512
	<i>Bacteria</i>	512
	<i>Archaea</i>	512
	Microorganismi eucarioti	518

 **Scheda Web 16.1**  
Costruire un albero

## Parte D

## INTERAZIONI TRA MICRORGANISMI E CON ALTRI ORGANISMI

*A cura di Maria Lina Bernardini*

<b>17</b>	<b>Interazioni tra batteri: strategie di cooperazione e competizione</b>	535
	<i>Paolo Landini</i>	
<b>17.1</b>	<b>COMUNICAZIONE INTERCELLULARE: IL "QUORUM SENSING"</b>	536
	Quorum sensing nei batteri Gram negativi	538
	Ruolo del quorum sensing nell'interazione batteri-organismi eucarioti	542
	Quorum sensing in batteri Gram positivi	543
	Quorum sensing e sua relazione con la produzione di agenti antimicrobici	545
	Altre molecole con funzione di autoinduttori	546
	● Scheda 17.1 Esempi di meccanismi di quorum sensing regolati da omoserin-lattoni: <i>Vibrio fischeri</i> e <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	537
	● Scheda 17.2 Quorum sensing: una dimostrazione del valore intrinseco della ricerca di base	538
<b>17.2</b>	<b>ASSOCIAZIONI MICROBICHE: I BIOFILM</b>	546
	Definizione generale	546
	Formazione del biofilm e sua architettura	547
	Macromolecole e strutture cellulari batteriche coinvolte nella formazione del biofilm	548
	Meccanismi di regolazione genica legati al biofilm	550
	Biofilm microbico nella prospettiva ecologica e nel contesto delle malattie infettive	552
	● Scheda 17.3 Di-GMP ciclico e suo ruolo nella produzione della cellulosa e nella formazione del biofilm	551
<b>17.3</b>	<b>ANTIBIOTICI NELL'INTERAZIONE TRA MICRORGANISMI</b>	554
<b>18</b>	<b>Interazioni con gli animali: il microbiota</b>	557
	<i>Maria Lina Bernardini</i>	
<b>18.1</b>	<b>INTRODUZIONE ALLA MICROFLORA ENDOGENA: GLI ESSERI UMANI NON SONO MICROBIOLOGICAMENTE STERILI</b>	558
<b>18.2</b>	<b>MICROBIOTA DELLA PELLE E DEL NASO</b>	559
<b>18.3</b>	<b>MICROBIOTA DELLA CAVITÀ ORALE E DELL'OROFARINGE</b>	559
	● Scheda 18.1 La placca dentale	561
<b>18.4</b>	<b>MICROBIOTA DELLE VIE RESPIRATORIE</b>	560
<b>18.5</b>	<b>MICROBIOTA DELLE VIE UROGENITALI</b>	562

<b>18.6</b>	<b>MICROBIOTA DEL TRATTO GASTROINTESTINALE</b>	563
	Il colon: un incubatore microbico naturale	564
	● Scheda 18.2 I patobionti, una nuova categoria di microrganismi	566
<b>18.7</b>	<b>“MICROBIOMA”: UN CONCETTO INNOVATIVO CHE SVELA ALCUNE DELLE FUNZIONI DEL MICROBIOTA</b>	565
	● Scheda 18.3 Il rapporto tra la flora batterica e l'obesità	567
	● Scheda 18.4 La microflora e il sistema immunitario: il ruolo negativo dell'igiene eccessiva, ovvero una revisione critica del concetto di igiene	568
<b>18.8</b>	<b>BATTERI “BENEFICI” DEL COLON: INTRODUZIONE AI PROBIOTICI</b>	566
<b>18.9</b>	<b>SIMBIOSI MUTUALISTICHE FRA BATTERI E INSETTI</b>	569

## **19** Interazioni con gli organismi animali: la patogenesi

Maria Lina Bernardini

<b>19.1</b>	<b>PATOGENICITÀ E VIRULENZA BATTERICA: DUE CONCETTI DA DEFINIRE</b>	572
<b>19.2</b>	<b>BATTERI PATOGENI, POSTULATI DI KOCH E MISURA DELLA VIRULENZA</b>	574
	● Scheda 19.1 <i>Helicobacter pylori</i> e l'epitelio gastrico	575
<b>19.3</b>	<b>IMPORTANZA DEL DNA ALIENO: DAI COMMENSALI AI PATOGENI</b>	576
	● Scheda 19.2 Le forme patogene di <i>Escherichia coli</i>	578
<b>19.4</b>	<b>FENOTIPO DEI BATTERI PATOGENI: FATTORI DI VIRULENZA</b>	580
<b>19.5</b>	<b>FATTORI DI ADESIONE: MEDIATORI DI MOLTI FENOTIPI DI VIRULENZA</b>	582
<b>19.6</b>	<b>INVASIVITÀ, EFFETTORI BATTERICI E INVASINE</b>	584
	Meccanismi molecolari dell'invasività batterica: trigger e zipper	585
<b>19.7</b>	<b>STILI DI VITA DEI BATTERI INVASIVI</b>	586
<b>19.8</b>	<b>REGOLAZIONE GENICA: ARMA SEGRETA DEI BATTERI PATOGENI</b>	589
	● Scheda 19.3 Come <i>Salmonella</i> divenne un batterio patogeno	592
	● Scheda 19.4: Eventi regolativi nella virulenza di <i>Salmonella enterica</i>	593
<b>19.9</b>	<b>TOSSINE: “FRECCE” MOLECOLARI DEI BATTERI PATOGENI</b>	589
	Tossine che agiscono dall'esterno della cellula	591
	Tossine solubili con bersagli intracellulari	596
	Neurotossine	598

## **20** Meccanismi di difesa dell'ospite: immunità innata

Maria Lina Bernardini

<b>20.1</b>	<b>DIFESE FISICHE CONTRO I PATOGENI</b>	602
	● Scheda 20.1: Le cellule M dell'intestino: il “tallone di Achille” dell'epitelio intestinale	605
<b>20.2</b>	<b>IMMUNITÀ INNATA: UN SISTEMA DI DIFESA ANCESTRALE</b>	606
	PAMP, <i>Pathogen-Associated Molecular Patterns</i> - Strutture batteriche	608
	PRR, <i>Pattern Recognition Receptors</i>	609
	PRR di membrana: i recettori <i>Toll-like</i>	611
	PRR citosolici: le proteine NLR	613
	● Scheda 20.2: Toll vs Imd: le armi molecolari di <i>Drosophila melanogaster</i>	609
	● Scheda 20.3: L'apoptosi o morte cellulare programmata: un suicidio cellulare	610
	● Scheda 20.4: Le malattie infiammatorie dell'intestino e le proteine NLR	615
<b>20.3</b>	<b>CELLULE DEL SISTEMA IMMUNITARIO: LA POPOLAZIONE ETEROGENEA DEI LEUCOCITI</b>	615
<b>20.4</b>	<b>NEUTROFILI, UNA POPOLAZIONE CELLULARE SULLA PRIMA LINEA DI DIFESA</b>	617
<b>20.5</b>	<b>MACROFAGI (FAGOCITI MONONUCLEATI)</b>	620
<b>20.6</b>	<b>CELLULE NATURAL KILLER</b>	620

<b>20.7</b>	<b>SISTEMA DEL COMPLEMENTO</b>	621
<b>20.8</b>	<b>CITOCINE</b>	624
	● <b>Scheda 20.5: Shock settico e reazioni di Schwartzman</b>	625
<b>20.9</b>	<b>CHEMOCHINE</b>	626
<b>20.10</b>	<b>PROCESSO DI “EVASIONE IMMUNE” DEI BATTERI PATOGENI</b>	626
	Difese “strutturali” dei microrganismi	626
	Evasione dalla difesa delle barriere della cellula ospite	626
	“Camuffamento”, strategia per diminuire il riconoscimento da parte del sistema immunitario innato	627
	Cambiamento delle strutture di superficie per imbrogliare il sistema immunitario dell’ospite	628
	Fagosoma: strategia di difesa	629

## **21** Meccanismi di difesa dell’ospite: immunità adattativa 631

*Maria Lina Bernardini*

<b>21.1</b>	<b>EFFETTORI DELL’IMMUNITÀ ADATTATIVA: GLI ANTICORPI</b>	632
<b>21.2</b>	<b>TIPOLOGIA DEGLI ANTICORPI E LORO RUOLO</b>	634
<b>21.3</b>	<b>SELEZIONE E SVILUPPO DEGLI ANTICORPI</b>	636
	Organizzazione dei loci genici delle immunoglobuline	637
	● <b>Scheda 21.1</b> Il sistema immunitario delle mucose	637
<b>21.4</b>	<b>MECCANISMI MOLECOLARI DELLA DIVERSITÀ IMMUNITARIA</b>	638
	Ricombinazione somatica	638
	Altri meccanismi della variabilità anticorpale	639
<b>21.5</b>	<b>LINFOCITI T E RICONOSCIMENTO DEGLI ANTIGENI</b>	641
<b>21.6</b>	<b>ORGANIZZAZIONE DEI LOCI GENICI DEL TcR</b>	642
<b>21.7</b>	<b>SELEZIONE DEI LINFOCITI T</b>	642
<b>21.8</b>	<b>MOLECOLE DEL COMPLESSO MAGGIORE DI ISTOCOMPATIBILITÀ (MHC)</b>	643
	MHC di classe I	644
	MHC di classe I e presentazione degli antigeni	645
	MHC di classe II	645
<b>21.9</b>	<b>CELLULE PRESENTANTI L’ANTIGENE (APC): CELLULE DENDRITICHE</b>	647
	● <b>Scheda 21.2</b> Le cellule dendritiche e la mucosa intestinale	651
<b>21.10</b>	<b>LINFOCITI T EFFETTORI: LINFOCITI T HELPER E CITOTOSSICI (CTL)</b>	650
<b>21.11</b>	<b>LINFOCITI T HELPER E POLARIZZAZIONE DELLA RISPOSTA</b>	653

## **22** Interazioni dei microrganismi con gli organismi vegetali 654

*Pietro Alfano*

<b>22.1</b>	<b>RIZOSFERA E FILLOSFERA</b>	654
	Modificazione della rizosfera da parte di batteri e funghi	655
	Micorrize	656
	Batteri azotofissatori endosimbionti	658
	Rizobi e leguminose	658
	● <b>Scheda 22.1</b> Altri tipi di micorrize	657
<b>22.2</b>	<b>CICLO DELL’AZOTO NEL SUOLO E NELLA RIZOSFERA: NITRIFICAZIONE E DENITRIFICAZIONE</b>	662
<b>22.3</b>	<b>RICONOSCIMENTO DEI BATTERI PATOGENI E MECCANISMI DI DIFESA DELLE PIANTE</b>	664
	Immunità innata primaria: sistema MAMP-PRR nelle piante	664
	Immunità innata secondaria: geni di resistenza (R) delle piante e di avirulenza ( <i>avr</i> ) dei batteri	665
	Resistenza sistemica acquisita (SAR) e resistenza sistemica indotta (ISR)	666

<b>22.4</b>	<b>AGROBACTERIUM E INDUZIONE DI TUMORI NELLE PIANTE</b>	668
	Il genere <i>Agrobacterium</i> e le patologie tumorali vegetali indotte dalle specie virulente	668
	Processo di trasformazione tumorale: il plasmide Ti, il T-DNA e le interazioni batterio-pianta	668
<b>22.5</b>	<b>UTILIZZO DEI MICRORGANISMI DELLA RIZOSFERA E DEI LORO PRODOTTI NELLE NUOVE TECNOLOGIE AGRARIE</b>	669
	<b>Crediti fotografici</b>	673
	<b>Indice analitico</b>	674