

Gabriella Pasqua • Cinzia Forni

Biotechnologie Vegetali

Autori

G. Berta, E. Brasili, G.P. Di Sansebastiano,
C. Forni, E. Gamalero, F. Guzzo, M. Labra,
L. Lanfranco, G. Lingua, A. Miccheli,
G. Pasqua, L. Trainotti, A. Valletta, S. Visconti

PICCIN

Opera coperta dal diritto d'autore – tutti i diritti sono riservati.

Questo testo contiene materiale, testi ed immagini, coperto da copyright e non può essere copiato, riprodotto, distribuito, trasferito, noleggiato, licenziato o trasmesso in pubblico, venduto, prestato a terzi, in tutto o in parte, o utilizzato in alcun altro modo o altrimenti diffuso, se non previa espressa autorizzazione dell'editore. Qualsiasi distribuzione o fruizione non autorizzata del presente testo, così come l'alterazione delle informazioni elettroniche, costituisce una violazione dei diritti dell'editore e dell'autore e sarà sanzionata civilmente e penalmente secondo quanto previsto dalla L. 633/1941 e ss.mm.

ISBN 978-88-299-3284-9

Stampato in Italia

© 2022 by Piccin Nuova Libreria S.p.A., Padova
www.piccin.it

Autori

Graziella Berta

Già del Dipartimento di Scienze e Innovazione Tecnologica, Università del Piemonte Orientale "Amedeo Avogadro"

Elisa Brasili

Dipartimento di Biologia Ambientale, Università di Roma "Sapienza"

Gian Pietro Di Sansebastiano

Dipartimento di Scienze e Tecnologie Biologiche e Ambientali, Università del Salento

Cinzia Forni

Dipartimento di Biologia, Università di Roma "Tor Vergata"

Elisa Gamalero

Dipartimento di Scienze e Innovazione Tecnologica, Università del Piemonte Orientale "Amedeo Avogadro"

Flavia Guzzo

Dipartimento di Biotecnologie, Università di Verona

Massimo Labra

Dipartimento di Biotecnologie e Bioscienze, Università di Milano-Bicocca

Luisa Lanfranco

Dipartimento di Biologia Vegetale, Università di Torino

Guido Lingua

Dipartimento di Scienze e Innovazione Tecnologica, Università del Piemonte Orientale "Amedeo Avogadro"

Alfredo Miccheli

Già del Dipartimento di Biologia Ambientale, Università di Roma "Sapienza"

Gabriella Pasqua

Dipartimento di Biologia Ambientale, Università di Roma "Sapienza"

Livio Trainotti

Dipartimento di Biologia, Università di Padova

Alessio Valletta

Dipartimento di Biologia Ambientale, Università di Roma "Sapienza"

Sabina Visconti

Dipartimento di Biologia, Università di Roma "Tor Vergata"

Prefazione

Le biotecnologie vegetali, negli ultimi anni, hanno visto un grande incremento grazie allo sviluppo e all'applicazione di nuove metodologie. Questo libro offre una panoramica sulle biotecnologie vegetali e i vari aspetti del loro impatto sulla società odierna e futura. È stato dato ampio spazio ad approfondimenti molecolari e alle applicazioni delle biotecnologie in campo agroalimentare, ambientale, energetico, farmaceutico, medico e industriale, integrando le diverse aree tematiche con un approccio trasversale.

La stesura del presente volume ha coinvolto docenti di varie sedi universitarie sul territorio nazionale, in particolare giovani entusiasti del loro lavoro che hanno portato nuove competenze sulla base delle più recenti acquisizioni scientifiche.

Il testo è rivolto agli studenti di lauree triennali e magistrali delle classi della Biologia e Biotecnologie, con argomenti adatti alle esigenze dei nuovi ordinamenti didattici con la finalità non solo di fornire gli strumenti utili a superare gli esami, ma anche per stimolare la curiosità in campi in rapida e costante evoluzione. Il testo è anche corredato da un'ampia iconografia a colori, immagini e schemi originali che possono rendere lo studio più vivo e più attraente. Inoltre, al termine di ogni capitolo sono stati inseriti alcuni quesiti per la verifica da parte dello studente delle conoscenze acquisite.

Gli organismi vegetali stanno acquisendo sempre più importanza non solo come fonte di alimenti, ma anche come biomasse per la produzione di energie rinnovabili, per la depurazione dell'ambiente e come fonte di molecole bioattive per prodotti nutraceutici, cosmetici e farmaceutici. Inoltre, le interazioni delle piante con microrganismi del suolo, promotori della crescita, risultano di fondamentale importanza per un'agricoltura sostenibile compatibile con l'ambiente e con la salute umana. In questa prospettiva l'applicazione delle nanotecnologie in agricoltura offre un nuovo strumento per abbattere l'uso di pesticidi e fertilizzanti minimizzando ulteriormente gli effetti negativi sull'ambiente e sugli organismi non bersaglio. Un capitolo è dedicato

ai temi della sicurezza alimentare in termini di possibile presenza di contaminanti chimici, fisici e microbiologici nei cibi e il ruolo delle biotecnologie nel fornire soluzioni.

Il rischio di perdita della biodiversità vegetale può essere affrontato mediante applicazioni biotecnologiche che prevedono la conservazione *ex situ* del germoplasma delle specie vegetali negli Orti Botanici e nelle banche del germoplasma. Per prevenire l'estinzione di alcune specie, i semi di piante minacciate possono essere crioconservati per lunghi periodi e poi le piante ottenute *ex situ* possono essere reintrodotte nel loro ambiente naturale.

Alcuni capitoli del testo sono dedicati alle metodiche più innovative dell'ingegneria genetica delle piante, incluso il "genome editing". Ricordiamo che le piante hanno tre genomi, nucleare, plastidiale e mitocondriale, e tutti possono essere trasformati. Nel testo è stato affrontato il tema della percezione del rischio delle biotecnologie applicate alle piante. L'argomento è delicato e non si può prescindere dall'attenta valutazione dei rischi che però deve essere su base scientifica e non dibattuta solo al livello di percezione. L'approccio biotecnologico appare la strada più percorribile per aumentare la resa delle colture, per migliorare la tolleranza agli stress biotici e abiotici, per modificare i tratti della pianta. Le scoperte devono essere tutelate, si parla quindi nell'ultimo capitolo di "privativa di nuove varietà vegetali" e di "denominazioni protette", un'esigenza molto sentita in Italia per proteggere i nostri prodotti di alta qualità.

Ringraziamo le molte persone che hanno reso possibile questo testo, in particolare gli autori. Un particolare ringraziamento è rivolto all'Editore Piccin che ci ha sempre mostrato la sua stima stimolandoci a scrivere nuovi testi. Siamo particolarmente grate alla Dr.ssa Carla Criconia e all'illustratore Marco Marzola che con grande professionalità ci hanno accompagnate nell'allestimento editoriale del volume.

Indice generale

1 Introduzione alle biotecnologie vegetali 1

G. Pasqua

1.1 ORIGINE DELLE BIOTECNOLOGIE	1
1.2 LE BIOTECNOLOGIE VEGETALI	4
1.3 CONCETTO DI TOTIPOTENZA NELLE CELLULE VEGETALI. PARALLELISMI E DIFFERENZE TRA CELLULE STAMINALI VEGETALI E ANIMALI	5
1.4 TECNOLOGIE INNOVATIVE IN CAMPO AGRONOMICO: COLTIVARE LE PIANTE IN IDROPONICA E AEROPONICA	6
1.5 LE NUOVE SFIDE NELL'UTILIZZO DELLE PIANTE.	10
1.6 IMPATTO DELLE BIOTECNOLOGIE SU UOMO/ ANIMALE/AMBIENTE	10
LETTURE DI APPROFONDIMENTO	11
DOMANDE DI VERIFICA	11

2 Coltura *in vitro* di cellule e tessuti . 13

A. Valletta

2.1 SELEZIONE, STERILIZZAZIONE E MESSA IN CULTURA DEGLI ESPIANTI	13
2.2 MEZZI CULTURALI	15
Macroelementi (o macronutrienti)	15
Microelementi (o micronutrienti)	16
Fonti di carbonio.	16
Vitamine	16
Aminoacidi e altre fonti di azoto	17
Estratti organici a composizione indefinita	17
Carbone attivo	17
Agenti gelificanti.	17
pH.	17
2.3 L'UTILIZZO DI REGOLATORI DI CRESCITA NELLE COLTURE <i>IN VITRO</i>	18
Auxine	18
Citochinine	19
Gibberelline e acido abscissico.	19
2.4 PRINCIPALI TIPI DI COLTURE <i>IN VITRO</i>	19
2.4.1 Colture di cellule indifferenziate	19
Callo.	19
Sospensioni cellulari.	20
Colture di protoplasti	21
Misurazione della crescita delle colture cellulari	22
2.4.2 Colture di organi	22
Colture di radici	23
Colture di <i>hairy roots</i>	25
Colture di germogli	26

2.4.3 Saggi di vitalità cellulare.	26
2.5 VARIABILITÀ SOMACLONALE	27
2.5.1 Origine della variabilità somaclonale	28
2.5.2 Selezione di varianti somaclonali	29
LETTURE DI APPROFONDIMENTO	29
DOMANDE DI VERIFICA	31

3 Propagazione *in vitro* delle piante . 33

G. Pasqua

3.1 MICROPROPAGAZIONE	34
3.2 CULTURA DI APICI VEGETATIVI PER RISANAMENTO DELLE PIANTE DA VIRUS	36
3.3 ORGANOGENESI <i>IN VITRO</i> (CAULOGENESI, RIZOGENESI)	36
LETTURE DI APPROFONDIMENTO	38
DOMANDE DI VERIFICA	38

4 Embriogenesi somatica e da polline, semi sintetici 39

G. Pasqua

4.1 EMBRIOGENESI SOMATICA	39
4.2 CONFRONTO TRA EMBRIOGENESI ZIGOTICA E SOMATICA	40
4.3 EMBRIOGENESI SOMATICA DIRETTA E INDIRETTA	41
4.4 FATTORI INDUTTIVI E RUOLO DEGLI ORMONI	41
4.5 CONTROLLO GENICO E REGOLAZIONE EPIGENETICA DELL'EMBRIOGENESI.	43
4.6 FECONDAZIONE <i>IN VITRO</i>	45
4.7 SEMI ARTIFICIALI O SINTETICI	46
4.8 EMBRIOGENESI DA POLLINE, PRODUZIONE DI PIANTE APLOIDI E DIPLOIDI OMOZIGOTI	47
4.9 MANIPOLAZIONE GENETICA DEL POLLINE E PRODUZIONE DI EMBRIONI TRANSGENICI	49
LETTURE DI APPROFONDIMENTO	50
DOMANDE DI VERIFICA	51

5 Conservazione *ex situ* del germoplasma. 53

C. Forni

5.1 BIODIVERSITÀ	53
5.2 STRATEGIE PER LA CONSERVAZIONE DEL GERMOPLASMA	53

5.3 METODI DI CONSERVAZIONE DEL GERMOPLASMA <i>EX SITU</i>	54
5.3.1 Conservazione negli Orti Botanici	54
5.3.2 Banche del seme	54
Conservazione per seme	56
5.3.3 Conservazione <i>in vitro</i> e crioconservazione.	57
Incapsulazione-disidratazione	58
Vitrificazione	59
Incapsulazione-vitrificazione	59
Disidratazione	59
Precoltura	59
Precoltura-disidratazione	59
<i>Droplet freezing</i>	59
LETTURE DI APPROFONDIMENTO	60
DOMANDE DI VERIFICA	60

6 Cellule vegetali come biofabbriche di prodotti chimici, nutraceutici, farmaceutici - "Metabolic engineering" 61

E. Brasili, F. Guzzo, G. Pasqua

6.1 METABOLITI SECONDARI E LORO RUOLO NELLE PIANTE	61
6.2 USO DEI METABOLITI SECONDARI IN CAMPO FARMACEUTICO, COSMETICO E NUTRACEUTICO	64
6.3 METABOLITI SECONDARI DA COLTURE DI CELLULE E ORGANI <i>IN VITRO</i>	67
6.4 STRATEGIE PER INCREMENTARE LA PRODUZIONE DI METABOLITI SECONDARI IN SISTEMI <i>IN VITRO</i>	69
6.4.1 Ottimizzazione delle condizioni colturali per aumentare la resa	69
6.4.2 Selezione delle linee cellulari, trasformazioni geniche e <i>metabolic engineering</i> per aumentare la produttività di metaboliti secondari	70
6.4.3 Permeabilizzazione di membrane per il recupero dei metaboliti.	72
6.4.4 Immobilizzazione cellulare	72
6.4.5 Elicitazione	73
6.4.6 Produzione di metaboliti in bioreattore	74
6.5 BIOTRASFORMAZIONE DI SUBSTRATI PER PRODURRE MOLECOLE DI INTERESSE INDUSTRIALE.	74
6.6 ESTRAZIONE DEI METABOLITI SECONDARI	75
LETTURE DI APPROFONDIMENTO	76
DOMANDE DI VERIFICA	76

7 Dalla scala di laboratorio alla scala industriale: sistemi cellulari 77

G. Pasqua, E. Brasili, A. Miccheli

7.1 MODELLI CINETICI DI CRESCITA CELLULARE.	78
7.2 DALLE CELLULE IN SOSPENSIONE ALLE CELLULE IMMOBILIZZATE	79
7.3 IDROGELI E TECNOLOGIE PER L'IMMOBILIZZAZIONE IN GEL	81
7.3.1 Sodio alginato	82

7.3.2 Preparazione delle sfere di alginato.	83
7.4 SISTEMI CELLULARI IMMOBILIZZATI: ASPETTI DIFFUSIVI E RELATIVI MODELLI.	84
7.4.1 Diffusione in gel	85
7.4.2 Diffusione in gel contenente cellule	85
LETTURE DI APPROFONDIMENTO	86
DOMANDE DI VERIFICA	86

8 Dalla scala di laboratorio alla scala industriale: i bioreattori 87

G. Pasqua, F. Guzzo, A. Miccheli

8.1 LA COLTIVAZIONE IN TERRENO LIQUIDO È NECESSARIA PER LA RAPIDA PRODUZIONE DI BIOMASSA.	87
8.2 L'ACCRESIMENTO DI SCALA RICHIEDE L'OTTIMIZZAZIONE DEGLI SCAMBI GASSOSI	88
8.3 IL COMPROMESSO AGITAZIONE/SCAMBI GASSOSI.	88
8.4 IL CICLO DI COLTURA PUÒ AVVENIRE IN CONTINUO O DISCONTINUO "BATCH".	89
8.5 BIOREATTORI PER SOSPENSIONI CELLULARI	90
8.5.1 Bioreattori agitati esternamente	90
8.5.2 Bioreattori con mescolatori interni (<i>stirred tank reactors</i>).	92
8.5.3 Bioreattori pneumatici a colonna e "airlift"	92
8.5.4 Bioreattori a letto fisso	93
8.6 BIOREATTORI PER ORGANI.	94
8.7 PROBLEMATICHE NELLA CRESCITA IN BIOREATTORE	95
LETTURE DI APPROFONDIMENTO	96
DOMANDE DI VERIFICA	96

9 Biomasse e bioproduzioni 97

C. Forni, G.P. Di Sansebastiano

9.1 BIOMASSA	97
9.2 USO ENERGETICO DELLE BIOMASSE.	98
9.3 I BIOCARBURANTI	100
9.3.1 Produzione di bioetanolo	100
9.3.2 Produzione di olio vegetale puro e biodiesel.	102
9.3.3 Produzione di biogas	103
9.4 BIOCARBURANTI DI TERZA E QUARTA GENERAZIONE.	104
Soluzioni tecnologiche per una produzione sostenibile di biocarburanti da biomasse algali	104
9.5 VALUTAZIONE DELLE BIOMASSE PER LA SOSTITUZIONE DEI COMBUSTIBILI FOSSILI	105
9.6 BIOPRODUZIONE DI POLIMERI	106
9.6.1 "Biotecnologie bianche".	107
Polimeri termoindurenti	107
Modificazioni della lignina	108
9.6.2 "Biotecnologie rosse"	109
Proteine terapeutiche	109
Materie prime per l'industria alimentare	110
9.7 UTILIZZO DI BIOMASSE VEGETALI PER LA PRODUZIONE DI NUTRACEUTICI E COSMETICI	111

9.8 BIOMASSE E AMBIENTE: UTILIZZO DELLE BIOMASSE PER LA DEPURAZIONE	112
LETTURE DI APPROFONDIMENTO	114
DOMANDE DI VERIFICA	115

10 Nanotecnologie in agricoltura. 117

G. Pasqua

10.1 INTRODUZIONE	117
10.2 NANOPESTICIDI	118
10.3 NANOFERTILIZZANTI	120
10.4 TIPOLOGIE DI NANOMATERIALI	120
10.4.1 Nanomateriali inerti	120
10.4.2 Nanoparticelle metalliche	121
10.4.3 Nanoemulsioni e nanodispersioni	121
10.4.4 Nanovettori a base di polimeri	122
10.5 ASSORBIMENTO E MOVIMENTO DELLE NANOPARTICELLE NELLE PIANTE	123
10.6 TOSSICITÀ E RISCHIO DELLE NANOTECNOLOGIE IN AGRICOLTURA	125
LETTURE DI APPROFONDIMENTO	126
DOMANDE DI VERIFICA	127

11 Le interazioni tra piante e microrganismi promotori della crescita in agricoltura 129

E. Gamalero, G. Lingua, G. Berta

11.1 INTRODUZIONE	129
11.2 I BATTERI CHE PROMUOVONO LA CRESCITA DELLE PIANTE (<i>PLANT GROWTH-PROMOTING BACTERIA</i> , PGPB)	129
11.2.1 Meccanismi d'azione dei PGPB	131
Miglioramento della nutrizione	131
Biocontrollo di organismi fitopatogeni	135
Aumento della tolleranza agli stress biotici e abiotici attraverso la modulazione dei livelli di etilene	136
11.3 I FUNGHI MICORRIZICI ARBUSCOLARI (AMF)	136
11.3.1 Descrizione e tassonomia	136
11.3.2 Effetti degli AMF sulla salute e crescita delle piante e sulla qualità dei prodotti agricoli	138
11.3.3 AMF e agroecosistemi	139
11.4 PRODUZIONE DI INOCULI	140
LETTURE DI APPROFONDIMENTO	141
DOMANDE DI VERIFICA	141

12 Ingegneria genetica nelle piante. 143

L. Trainotti, S. Visconti

12.1 TECNICHE DI TRASFORMAZIONE GENICA	144
12.1.1 Metodi chimico-fisici	145
12.1.2 Metodi biologici	147
<i>Agrobacterium tumefaciens</i>	147
Il plasmide pTi e il T-DNA	148
Il trasferimento del T-DNA	149
L'integrazione del T-DNA nel genoma	151

<i>Agrobacterium</i> e le biotecnologie vegetali	153
Trasformazione mediata da virus	154
Altri microrganismi	155
12.2 "STRUMENTI MOLECOLARI" DELL'INGEGNERIA GENICA	155
12.2.1 Vettori	155
12.2.2 Sistemi di selezione	156
12.2.3 Promotori per le biotecnologie vegetali	159
12.2.4 I geni reporter	161
12.3 TRASFORMAZIONE DEI CLOROPLASTI	163
12.3.1 Metodi di trasformazione	163
12.3.2 Vettori per la trasformazione dei cloroplasti	165
LETTURE DI APPROFONDIMENTO	166
DOMANDE DI VERIFICA	167

13 Genome editing. 169

S. Visconti

13.1 NUCLEASI ZFN	170
13.2 NUCLEASI TALEN	170
13.3 CRISPR/CAS9	172
13.4 INTRODUZIONE IN PIANTA DEI COSTRUTTI PER L'EDITING DEL GENOMA	174
13.4 APPLICAZIONI DEL <i>GENOME EDITING</i> PER IL MIGLIORAMENTO GENETICO DELLE PIANTE	176
13.4.1 Aumento della produttività	176
13.4.2 Miglioramento delle qualità nutrizionali	176
13.4.3 Resistenza agli stress biotici e abiotici	178
13.4.4 Altre applicazioni del <i>genome editing</i>	179
LETTURE DI APPROFONDIMENTO	180
DOMANDE DI VERIFICA	180

14 Il silenziamento genico mediato da piccoli RNA 181

L. Lanfranco

14.1 LE BASI MOLECOLARI DEI MECCANISMI DI SILENZIAMENTO MEDIATO DA PICCOLI RNA	181
14.1.1 I microRNA (miRNA)	184
14.1.2 I <i>trans-acting</i> siRNA (ta-siRNA)	186
14.1.3 I <i>natural antisense transcript</i> siRNA (nat-siRNA)	187
14.2 IL SILENZIAMENTO GENICO MEDIATO DAI PICCOLI RNA PUÒ AVERE EFFETTI SULLA CROMATINA	187
14.3 IL <i>CROSS-KINGDOM</i> RNAi	188
14.4 APPLICAZIONI DEL SILENZIAMENTO GENICO MEDIATO DA PICCOLI RNA PER LA MANIPOLAZIONE GENETICA	189
14.4.1 <i>Hairpin</i> RNAi	190
14.4.2 VIGS (<i>Virus-Induced Gene Silencing</i>)	190
14.4.3 microRNA artificiali (amiRNA)	191
14.4.4 HIGS e SIGS	191
LETTURE DI APPROFONDIMENTO	192
DOMANDE DI VERIFICA	192

15 Piattaforme per l'espressione di proteine eterologhe 193

L. Trainotti

15.1 ASPETTI GENERALI PER L'ESPRESSIONE DI PROTEINE ETEROLOGHE IN CELLULE VEGETALI	194
Elementi genici per la preparazione di un costrutto efficace	194
15.2 SCELTA E OTTIMIZZAZIONE DELL'OSPITE PER MIGLIORARE L'ESPRESSIONE DI PROTEINE ETEROLOGHE IN CELLULE VEGETALI	196
15.2.1 Le specie ospite più usate	196
15.2.2 Compartimentazione cellulare dei prodotti che si vogliono esprimere	197
15.2.3 Modifiche post-traduzionali	198
15.3 SISTEMI TRANSIENTI PER L'ESPRESSIONE DI PROTEINE ETEROLOGHE IN CELLULE VEGETALI	199
15.3.1 Espressione transiente mediante agroinfiltrazione	199
15.3.2 Espressione transiente mediante vettori virali	201
Ingegnerizzazione dei vettori virali	203
Veicolazione dei vettori virali	204
15.3.3 Espressione transiente mediante vettori virali veicolati da <i>Agrobacterium</i>	204
LETTURE DI APPROFONDIMENTO	207
DOMANDE DI VERIFICA	208

16 Aspetti applicativi della transgenesi nei sistemi vegetali . 209

S. Visconti, G.P. Di Sansebastiano

16.1 I SISTEMI SPERIMENTALI VEGETALI	210
16.1.1 Specie modello	210
16.1.2 Dicotiledoni: <i>Arabidopsis</i> , Solanaceae, Pioppo, Fabaceae	210
<i>Arabidopsis thaliana</i>	210
Solanaceae	211
<i>Populus trichocarpa</i>	212
Fabaceae: <i>Lotus japonicus</i> e <i>Medicago truncatula</i>	213
16.1.3 Monocotiledoni: riso, mais	213
16.1.4 La briofita <i>Physcomitrella patens</i>	214
16.2 I CARATTERI INGEGNERIZZABILI	214
16.2.1 Piante transgeniche di prima generazione: resistenza agli insetti, agli erbicidi e ai virus	215
16.2.2 Piante transgeniche tolleranti agli stress abiotici	218
16.2.3 Piante transgeniche per il miglioramento degli aspetti nutrizionali	219
16.2.4 Piante transgeniche come bioreattori per la produzione di proteine eterologhe	223
16.2.5 Piante transgeniche per la produzione di biocombustibili	225
LETTURE DI APPROFONDIMENTO	226
DOMANDE DI VERIFICA	227

17 Sicurezza alimentare e biotecnologie 229

M. Labra

17.1 FOOD SECURITY E FOOD SAFETY	230
17.1.1 Food Security e Food Safety: due facce della stessa medaglia	230
17.2 I CONTAMINANTI ALIMENTARI	231
17.2.1 I contaminanti chimici	231
17.2.2 I contaminanti microbiologici	231
17.2.3 I contaminanti fisici	231
17.3 I CONTAMINANTI EMERGENTI E IL RUOLO DELLE BIOTECNOLOGIE	233
17.3.1 Le micotossine	233
17.3.2 Resistenza agli antibiotici	235
17.3.3 Gli allergeni	236
17.3.4 I nanomateriali	237
17.4 BIOTECNOLOGIE PER LA FOOD SECURITY	237
17.4.1 La biodiversità come risorsa per l'agricoltura locale	237
17.4.2 La trasformazione genetica in agricoltura: un problema sociale	238
17.4.3 Le colture OGM nel mondo	239
17.4.4 L'editing genomico: l'era della modificazione chirurgica	240
17.4.5 L'epoca del microbiota	241
LETTURE DI APPROFONDIMENTO	242
DOMANDE DI VERIFICA	242

18 Impatto delle biotecnologie vegetali e valorizzazione della proprietà intellettuale in ambito vegetale 243

G.P. Di Sansebastiano

18.1 L'IMPORTANZA DEL CORRETTO INQUADRAMENTO DEI PROBLEMI	243
18.2 PERCEZIONE DEL RISCHIO DEGLI OGM	244
18.3 IMPATTO DELLE PIANTE COME FATTORIE MOLECOLARI	246
18.4 L'ADATTAMENTO DELLE COLTURE AGLI STRESS	247
18.5 LA PROPRIETÀ INTELLETTUALE	247
18.5.1 Privativa di nuova varietà vegetale	247
18.5.2 Strumenti di tutela a confronto	248
LETTURE DI APPROFONDIMENTO	249
DOMANDE DI VERIFICA	249

Indice analitico 251