CHIMICA DEL SUOLO

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRENTO
BIBLIOTECA

Coordinatore

Paolo Sequi

Testi di:

Enza Arduino, Mario Businelli, Luciano Carloni, Paolo Fontana, Linda Federico Goldberg, Carlo Gessa, Renato Levi-Minzi, Paolo Nannipieri, Clara Petronici, Luciano Radaelli, Riccardo Riffaldi, Paolo Sequi, Sandro Silva, Ciro Testini, Antonio Violante, Pietro Violante e Ermanno Zanini.

P. SEQUI
CHIMICA DEL SUOLO
PATRON EDITORE
0005484

PÀTRON EDITORE
BOLOGNA 1989

Indice della materia

Presentazione ..... pag. 5

Parte prima

ASPETTI CHIMICI DELLA PEDOGENESI

1. I fattori di formazione del suolo
(P. VIOLANTE) ..... » 19
1.1. La matrice litologica ..... » 24
1.1.1. La composizione della crosta terrestre ..... » 24
1.1.2. Le rocce ignee ..... » 26
1.1.3. Le rocce metamorfiche ..... » 31
1.1.4. Le rocce sedimentarie ..... » 32
1.1.5. I minerali che costituiscono le rocce ..... » 36
1.1.6. La stabilità dei minerali ..... » 38
1.2. Il clima ..... » 42
1.3. Entità biotiche ..... » 49
1.3.1. La vegetazione ..... » 50
1.3.2. Entità microbiotiche, micro e macrofauna ..... » 53
1.4. Il rilievo ..... » 53
1.5. Il tempo ..... » 54
1.6. L'uomo ..... » 57

2. I processi di alterazione (*«weathering»*)
(P. VIOLANTE) ..... » 61
2.1. Disgregazione delle rocce ..... » 63
2.1.1. L'azione dell'energia raggiante solare ..... » 63
2.1.2. L'azione dell'acqua ..... » 64
2.1.3. La cristallizzazione ..... » 64
2.1.4. L'azione del vento ..... » 64
2.1.5. Le attività biotiche ..... » 65
2.2. Decomposizione delle rocce ..... » 65
2.2.1. Idratazione e disidratazione ..... » 65

2.2.2. Idrolisi ... pag. 66
2.2.3. Ossidazione ... » 70
2.2.4. Chelazione ... » 71
2.2.5. Scambio ionico ... » 72
2.2.6. Solubilizzazione ... » 73
2.3. I prodotti dell'alterazione ... » 74
2.3.1. La mobilità degli ioni ... » 75
2.3.2. Il potenziale ionico ... » 79
2.3.3. La composizione chimica delle acque superficiali ... » 80
2.3.4. I minerali argillosi ... » 81
2.3.5. Gli ossidi ... » 83
2.3.6. Allofani e imogolite ... » 87
2.3.7. Altri minerali ... » 89

3. I processi di pedogenesi
(P. Violante) ... » 91
3.1. Meccanismi e reazioni che caratterizzano i processi di pedogenesi ... » 93

4. Classificazione dei suoli
(E. Arduino, E. Zanini) ... » 99
4.1. Introduzione ... » 100
4.2. La moderna sistematica genetica dei suoli ... » 101
4.2.1. Classificazione dei suoli dell'URSS ... » 101
4.2.2. Classificazione dell'Europa occidentale ... » 101
4.2.3. Classificazione dell'U.S.D.A. e Soil Map of the World (F.A.O. - U.N.E.S.C.O.) ... » 102
4.2.4. Altri sistemi di classificazione ... » 102
4.3. Criteri generalmente impiegati nelle classificazioni di tipo genetico ... » 103
4.4. Designazione internazionale degli orizzonti ... » 103
4.5. Strutture delle maggiori classificazioni sistematiche ... » 105
4.5.1. Classificazioni di tipo genetico-ecologico ... » 105
4.5.2. Classificazioni basate sull'analisi del pedon ... » 106

Parte seconda
I costituenti del suolo e le loro proprietà chimico-fisiche

5. Le fasi solide
(C. Testini, C. Gessa) ... » 117
5.1. Il suolo e la pianta ... » 118
5.2. Tessitura e caratteristiche generali delle diverse frazioni granulometriche ... » 119
5.3. I costituenti inorganici: minerali cristallini e amorfi ... » 120
5.3.1. I silicati ... » 122
5.3.2. Gli ossidi ed idrossidi di Fe, Al, Ti, Mn e Si ... » 137
5.4. Cariche permanenti e variabili, o pH-dipendenti ... » 138
5.5. I costituenti organici ... » 141
5.5.1. I costituenti della frazione organica del suolo ... » 141
5.5.2. Estrazione e frazionamento dei composti umici ... » 144
5.5.3. Caratteristiche chimiche e chimico-fisiche dei composti umici ... » 146

6. Lo scambio cationico
(G. Gessa, C. Testini) ... pag. 151
6.1. Premessa ... » 152
6.1.1. Capacità di scambio cationico ... » 153
6.1.2. Basi di scambio e grado di saturazione ... » 153
6.1.3. Il doppio strato elettrico ... » 154
6.1.4. Lo spessore del doppio strato elettrico ... » 157
6.2. La reazione di scambio e i fattori che ne condizionano l'equilibrio ... » 158
6.2.1. Proprietà dei cationi ... » 159
6.2.2. Proprietà dello scambiatore ... » 165
6.3. Aspetti quantitativi dei processi di scambio cationico ... » 166
6.3.1. Isoterme di scambio ... » 166
6.3.2. Alcune considerazioni termodinamiche sulle reazioni di scambio cationico ... » 169
6.3.3. Le equazioni dello scambio cationico e loro significato ... » 171

7. Adsorbimento anionico
(C. Gessa, C. Testini) ... » 173
7.1. Considerazioni generali ... » 174
7.2. Adsorbimento negativo ... » 174
7.3. Adsorbimento positivo non specifico ... » 175
7.4. Adsorbimento specifico ... » 176
7.5. Adsorbimento dei fosfati ... » 178
7.6. Aspetti agronomici del fosforo nel suolo ... » 184

8. Il pH del suolo e la sua regolazione
(C. Gessa, C. Testini) ... » 187
8.1. Il pH del suolo ... » 188
8.1.1. Determinazione del pH ... » 189
8.2. Il suolo come sistema tampone ... » 190
8.3. Meccanismi di regolazione del pH nei suoli ... » 192
8.3.2. Meccanismo di regolazione del pH nei suoli calcarei, salini ed alcalini ... » 194

9. I rapporti acqua-terreno
(C. Testini) ... » 197
9.1. I fattori che condizionano le interazioni fra acqua e terreno ... » 198
9.2. Lo stato energetico e le condizioni dell'acqua nel sistema acqua-terreno ... » 199
9.3. Il potenziale totale acqua-terreno ... » 200
9.3.1. Potenziale di matrice ... » 200
9.3.2. Potenziale di soluto ... » 200
9.3.3. Potenziale gravitazionale ... » 201
9.3.4. Altri potenziali ... » 201
9.4. Contenuto in acqua e potenziale dell'acqua nel terreno ... » 201
9.5. Le caratteristiche del terreno che condizionano l'infiltrazione, la ritenzione e la cessione dell'acqua ... » 205
9.5.1. Processi di infiltrazione ... » 205
9.5.2. Disponibilità dell'acqua presente nel terreno ... » 208
9.5.3. Costruzione delle curve tensiometriche ... » 210
9.6. La valutazione del contenuto in acqua del terreno ... » 211

10. La fase gassosa
(P. Sequi) ... pag. 215
10.1. Composizione ... » 216
10.2. Ricambio dell'aria tellurica ... » 217
10.2.1. Processi di diffusione ... » 217
10.2.2. Processi per flusso di massa ... » 218

Parte terza
Biochimica del suolo

11. Il suolo come sistema biologico
(P. Sequi, P. Nannipieri) ... » 223
11.1. Gli organismi del suolo ... » 224
11.1.1. Mesofauna ... » 224
11.1.2. Microfauna ... » 225
11.1.3. Microflora ... » 226
11.2. Peculiarità di espressione delle funzioni vitali nel suolo ... » 227
11.2.1. Associazioni e successioni microbiche ... » 228
11.2.2. Catene alimentari ... » 230
11.2.3. Adattamento a condizioni di carenza alimentare ... » 232
11.2.4. Influenze specifiche del sistema suolo ... » 232
11.3. Influenza degli organismi viventi sulle proprietà del suolo ... » 234
11.3.1. Azioni fisiche ... » 234
11.3.2. Azioni chimiche ... » 235
11.3.3. I *pool*, o comparti degli elementi nutritivi ... » 235
11.3.4. Le reazioni vettoriali ... » 236
11.4. Il tessuto enzimatico del suolo ... » 237
11.4.1. Genesi e categorie di enzimi del suolo ... » 238
11.4.2. Proprietà degli enzimi accumulati ... » 240
11.4.3. Stabilizzazione degli enzimi accumulati ... » 241
11.5. Concezione biochimica delle popolazioni viventi ... » 242
11.5.1. Determinazione quantitativa della biomassa microbica ... » 243
11.5.2. L'*edaphon* come parte vivente della sostanza organica ... » 244

12. Sostanza organica e ciclo del carbonio
(P. Sequi) ... » 247
12.1. Eterogeneità della sostanza organica ... » 248
12.1.1. I tipi ... » 248
12.1.2. Le classi ... » 249
12.1.3. I costituenti ... » 250
12.2. I processi collegati all'umificazione ... » 251
12.2.1. Gli apporti organici ... » 252
12.2.2. La degradazione ... » 254
12.2.3. Resintesi e polimerizzazioni ... » 266
12.2.4. Le principali teorie sull'umificazione ... » 259
12.2.5. La mineralizzazione della sostanza organica umificata ... » 268
12.2.6. Il *turnover* della sostanza organica ... » 269
12.3. Il significato ambientale ed energetico ... » 273

13. Le funzioni agronomiche della sostanza organica
(P. Sequi) ... pag. 279
13.1. Influenza sulle proprietà fisiche ... » 281
13.1.1. I meccanismi di azione ... » 281
13.1.2. Influenza in diversi tipi di suolo ... » 283
13.2. Interazioni con i prodotti organici di sintesi ... » 284
13.3. Funzioni nutrizionali ... » 286
13.3.1. La riserva di elementi nutritivi ... » 286
13.3.2. Proprietà chelanti e loro conseguenze ... » 286
13.3.3. Altri meccanismi ... » 288
13.4. Funzioni derivanti dalle attività enzimatiche ... » 289
13.5. Attività fisiologiche ... » 290

14. I cicli biogeochimici dei principali elementi nutritivi
(L. Federico Goldberg, P. Nannipieri) ... » 293
14.1. Generalità ... » 294
14.2. Il ciclo dell'azoto ... » 296
14.2.1. Le principali riserve ed i più importanti scambi tra i diversi comparti ambientali ... » 296
14.2.2. Il ciclo pedologico dell'azoto ed i sottocicli che lo compongono ... » 300
14.3. Il ciclo del fosforo ... » 313
14.3.1. Le principali riserve e i più importanti scambi tra i diversi comparti ambientali ... » 313
14.3.2. I sottocicli che compongono il ciclo del fosforo ... » 315
14.4. Il ciclo dello zolfo ... » 320
14.4.1. Le principali riserve e i più importanti scambi tra i diversi comparti ambientali ... » 320
14.4.2. Il ciclo pedologico dello zolfo ... » 321
14.5. Interazioni tra i cicli degli elementi nutritivi ... » 327

Parte quarta
La chimica del suolo e la fertilità

a) I fattori della fertilità

15. La fertilità
(P. Sequi) ... » 331
15.1. Il concetto di fertilità ... » 332
15.2. Interdipendenza dei fattori della fertilità ... » 334

16. Le proprietà fisiche
(L. Radaelli) ... » 335
16.1. La tessitura ... » 336
16.1.1. Introduzione ... » 336
16.1.2. Classificazione granulometrica delle particelle ... » 337
16.1.3. Tessitura apparente e tessitura reale ... » 338
16.1.4. Determinazione della tessitura ... » 339
16.1.5. Caratteristiche delle frazioni granulometriche ... » 340

16.2. La porosità ... pag. 340
16.2.1. Introduzione ... » 340
16.2.2. Misura della porosità ... » 342
16.2.3. Caratteristiche dei terreni in funzione della porosità ... » 343
16.3. La struttura ... » 343
16.3.1. Introduzione ... » 343
16.3.2. Composizione e morfologia degli aggregati ... » 345
16.3.3. Genesi della struttura ... » 348
16.3.4. Fattori di degradazione della struttura ... » 351
16.3.5. Conclusioni circa la dinamica di formazione della struttura ... » 352
16.3.6. Determinazioni della struttura e della stabilità di struttura ... » 352
16.4. Il colore del suolo ... » 353
16.5. La temperatura del terreno ... » 354

17. Gli elementi nutritivi
(C. Petronici) ... » 357
17.1. Importanza dei diversi elementi per la nutrizione delle piante ... » 358
17.2. La nutrizione delle piante ... » 359
17.2.1. Assorbimento radicale ... » 359
17.2.2. Assorbimento fogliare ... » 362
17.3. Azoto ... » 363
17.3.1. Riserve e forme di azoto nel suolo ... » 363
17.3.2. Apporti ... » 364
17.3.3. Asportazioni ... » 364
17.4. Fosforo ... » 366
17.4.1. Riserve e forme di fosforo nel suolo ... » 366
17.4.2. Apporti ... » 367
17.4.3. Asportazioni ... » 367
17.5. Zolfo ... » 368
17.5.1. Riserve e forme di zolfo nel suolo ... » 368
17.5.2. Apporti ... » 368
17.5.3. Asportazioni ... » 369
17.6. Potassio ... » 369
17.6.1. Riserve e forme di potassio nel suolo ... » 370
17.6.2. Apporti ... » 371
17.6.3. Asportazioni ... » 371
17.7. Calcio ... » 371
17.7.1. Riserve e forme di combinazione nel suolo ... » 371
17.7.2. Apporti ... » 372
17.7.3. Asportazioni ... » 372
17.8. Magnesio ... » 372
17.8.1. Riserve e forme di combinazione nel suolo ... » 373
17.8.2. Apporti ... » 373
17.8.3. Asportazioni ... » 373
17.9. Microelementi ... » 379
17.9.1. Riserve e disponibilità nei suoli ... » 374
17.9.2. Carenze e limiti di tolleranza ... » 375
17.9.3. Microelementi assorbiti in forma cationica ... » 375
17.9.4. Microelementi assorbiti in forma anionica ... » 378
17.9.5. Apporti di microelementi ... » 380
17.9.6. Asportazioni ... » 380

18. Anomalie di composizione e processi di degradazione di origine naturale
(P. Sequi) ... pag. 381
18.1. Anomalie di composizione del suolo ... » 383
18.2. La desertificazione ... » 384
18.3. L'erosione ... » 385
18.4. Gli scompensi negli equilibri delle popolazioni vegetali ... » 385

b) I suoli anomali

19. I suoli acidi e la loro correzione
(A. Violante) ... » 387
19.1. Perché i suoli sono acidi ... » 388
19.2. Cause di acidificazione dei suoli ... » 388
19.3. Natura dell'acidità dei suoli ... » 390
19.4. Chimica dell'alluminio ... » 391
19.5. Acidità attuale e acidità potenziale; grado di saturazione basica ... » 395
19.6. Fattori che influenzano la crescita delle piante nei suoli acidi ... » 397
19.6.1. Disponibilità dei fosfati e di altri elementi nutritivi ... » 399
19.7. Correzione dei suoli acidi ... » 400
19.7.1. Fabbisogno in calce ... » 401

20. I terreni salini ed alcalini
(L. Carloni) ... » 405
20.1. Origine dei sali ... » 406
20.2. Determinazione ed espressione della salinità e dell'alcalinità ... » 406
20.3. I terreni salini ... » 409
20.3.1. Formazione dei terreni salini ... » 409
20.3.2. Caratteristiche chimiche e fisiche dei terreni salini ... » 410
20.3.3. Influenza dei sali sulle colture ... » 411
20.3.4. La bonifica dei terreni salini ... » 412
20.4. I terreni alcalini ... » 413
20.4.1. Processi di alcalinizzazione ... » 413
20.4.2. Caratteristiche chimiche e fisiche dei terreni alcalini ... » 415
20.4.3. Sviluppo delle colture nei terreni alcalini ... » 416
20.4.4. Correzione dei terreni alcalini ... » 416
20.4.5. Criteri generali per l'utilizzazione agricola di terreni salini ed alcalini ... » 418

21. I suoli sommersi e il potenziale redox
(P. Sequi) ... » 419
21.1. Caratteristiche e tipi di suoli sommersi ... » 420
21.2. Le ossidoriduzioni e il loro significato nel suolo ... » 421
21.2.1. Accettori di elettroni ... » 422
21.2.2. Donatori di elettroni ... » 423
21.2.3. Il potenziale di ossidoriduzione ... » 424
21.2.4. Significato pratico del potenziale redox nel suolo ... » 427
21.3. Trasformazioni chimiche nei suoli sommersi ... » 428
21.3.1. Azoto ... » 428
21.3.2. Ferro ... » 429
21.3.3. Manganese ... » 430
21.3.4. Zolfo ... » 430
21.4. Cenni sui terreni di risaia ... » 432

16.2. La porosità ... pag. 340
16.2.1. Introduzione ... » 340
16.2.2. Misura della porosità ... » 342
16.2.3. Caratteristiche dei terreni in funzione della porosità ... » 343
16.3. La struttura ... » 343
16.3.1. Introduzione ... » 343
16.3.2. Composizione e morfologia degli aggregati ... » 345
16.3.3. Genesi della struttura ... » 348
16.3.4. Fattori di degradazione della struttura ... » 351
16.3.5. Conclusioni circa la dinamica di formazione della struttura ... » 352
16.3.6. Determinazioni della struttura e della stabilità di struttura ... » 352
16.4. Il colore del suolo ... » 353
16.5. La temperatura del terreno ... » 354

17. Gli elementi nutritivi
(C. Petronici) ... » 357
17.1. Importanza dei diversi elementi per la nutrizione delle piante ... » 358
17.2. La nutrizione delle piante ... » 359
17.2.1. Assorbimento radicale ... » 359
17.2.2. Assorbimento fogliare ... » 362
17.3. Azoto ... » 363
17.3.1. Riserve e forme di azoto nel suolo ... » 363
17.3.2. Apporti ... » 364
17.3.3. Asportazioni ... » 364
17.4. Fosforo ... » 366
17.4.1. Riserve e forme di fosforo nel suolo ... » 366
17.4.2. Apporti ... » 367
17.4.3. Asportazioni ... » 367
17.5. Zolfo ... » 368
17.5.1. Riserve e forme di zolfo nel suolo ... » 368
17.5.2. Apporti ... » 368
17.5.3. Asportazioni ... » 369
17.6. Potassio ... » 369
17.6.1. Riserve e forme di potassio nel suolo ... » 370
17.6.2. Apporti ... » 371
17.6.3. Asportazioni ... » 371
17.7. Calcio ... » 371
17.7.1. Riserve e forme di combinazione nel suolo ... » 371
17.7.2. Apporti ... » 372
17.7.3. Asportazioni ... » 372
17.8. Magnesio ... » 372
17.8.1. Riserve e forme di combinazione nel suolo ... » 373
17.8.2. Apporti ... » 373
17.8.3. Asportazioni ... » 373
17.9. Microelementi ... » 379
17.9.1. Riserve e disponibilità nei suoli ... » 374
17.9.2. Carenze e limiti di tolleranza ... » 375
17.9.3. Microelementi assorbiti in forma cationica ... » 375
17.9.4. Microelementi assorbiti in forma anionica ... » 378
17.9.5. Apporti di microelementi ... » 380
17.9.6. Asportazioni ... » 380

18. Anomalie di composizione e processi di degradazione di origine naturale
(P. Sequi) ... pag. 381
18.1. Anomalie di composizione del suolo ... » 383
18.2. La desertificazione ... » 384
18.3. L'erosione ... » 385
18.4. Gli scompensi negli equilibri delle popolazioni vegetali ... » 385

b) I suoli anomali

19. I suoli acidi e la loro correzione
(A. Violante) ... » 387
19.1. Perché i suoli sono acidi ... » 388
19.2. Cause di acidificazione dei suoli ... » 388
19.3. Natura dell'acidità dei suoli ... » 390
19.4. Chimica dell'alluminio ... » 391
19.5. Acidità attuale e acidità potenziale; grado di saturazione basica ... » 395
19.6. Fattori che influenzano la crescita delle piante nei suoli acidi ... » 397
19.6.1. Disponibilità dei fosfati e di altri elementi nutritivi ... » 399
19.7. Correzione dei suoli acidi ... » 400
19.7.1. Fabbisogno in calce ... » 401

20. I terreni salini ed alcalini
(L. Carloni) ... » 405
20.1. Origine dei sali ... » 406
20.2. Determinazione ed espressione della salinità e dell'alcalinità ... » 406
20.3. I terreni salini ... » 409
20.3.1. Formazione dei terreni salini ... » 409
20.3.2. Caratteristiche chimiche e fisiche dei terreni salini ... » 410
20.3.3. Influenza dei sali sulle colture ... » 411
20.3.4. La bonifica dei terreni salini ... » 412
20.4. I terreni alcalini ... » 413
20.4.1. Processi di alcalinizzazione ... » 413
20.4.2. Caratteristiche chimiche e fisiche dei terreni alcalini ... » 415
20.4.3. Sviluppo delle colture nei terreni alcalini ... » 416
20.4.4. Correzione dei terreni alcalini ... » 416
20.4.5. Criteri generali per l'utilizzazione agricola di terreni salini ed alcalini ... » 418

21. I suoli sommersi e il potenziale redox
(P. Sequi) ... » 419
21.1. Caratteristiche e tipi di suoli sommersi ... » 420
21.2. Le ossidoriduzioni e il loro significato nel suolo ... » 421
21.2.1. Accettori di elettroni ... » 422
21.2.2. Donatori di elettroni ... » 423
21.2.3. Il potenziale di ossidoriduzione ... » 424
21.2.4. Significato pratico del potenziale redox nel suolo ... » 427
21.3. Trasformazioni chimiche nei suoli sommersi ... » 428
21.3.1. Azoto ... » 428
21.3.2. Ferro ... » 429
21.3.3. Manganese ... » 430
21.3.4. Zolfo ... » 430
21.4. Cenni sui terreni di risaia ... » 432

27.3. Residui urbani ..... pag. 550
27.3.1. Fanghi di depurazione delle acque ..... » 550
27.3.2. Residui solidi urbani ..... » 557
27.4. Residui industriali ..... » 561
27.4.1. Residui agro-alimentari ..... » 561
27.4.2. Residui di altre industrie ..... » 562
27.5. Residui agricoli ..... » 563
27.5.1. Residui di colture erbacee ..... » 563
27.5.2. Residui di colture arboree ..... » 566

28. Il controllo degli inquinamenti in agricoltura: gli inquinanti inorganici (R. Riffaldi, R. Levi-Minzi) ..... » 567
28.1. Introduzione ..... » 568
28.2. Inquinamento del terreno da metalli pesanti ..... » 569
28.2.1. Origine dei metalli pesanti nel terreno ..... » 570
28.3. Contenuto e proprietà dei metalli pesanti nel terreno ..... » 573
28.3.1. Contenuto ..... » 573
28.3.2. Proprietà chimico-fisiche ..... » 573
28.4. Forme e reazioni dei metalli pesanti nel terreno ..... » 574
28.5. Trasformazioni biologiche ..... » 576
28.6. Fattori di controllo dei metalli pesanti ..... » 576
28.6.1. Controllo nel terreno ..... » 576
28.6.2. Scelta delle piante ..... » 577

29. Il controllo degli inquinamenti in agricoltura: gli inquinanti organici (M. Businelli) ..... » 579
29.1. Fitofarmaci ..... » 580
29.1.1. Introduzione ..... » 580
29.1.2. Adsorbimento ..... » 585
29.1.3. Movimento nel suolo ..... » 593
29.1.4. Decomposizione ..... » 594
29.1.5. Persistenza ..... » 601
29.2. Inquinanti organici da impiego non agricolo: i bifenili policlorurati (PCB) ..... » 605
29.2.1. Introduzione ..... » 605
29.2.2. Interazione col suolo ..... » 606

Indice analitico ..... » 609