

*Un particolare ringraziamento
al Prof. Umberto Bagnaresi (Università di Bologna) per la rilettura critica del testo.*

**IL RECUPERO
E LA RIQUALIFICAZIONE AMBIENTALE
DELLE CAVE IN EMILIA - ROMAGNA**

MANUALE TEORICO - PRATICO

Enrico Muzzi

Università di Bologna
Dipartimento di Coltivazioni Arboree

Graziano Rossi

Università di Pavia
Dipartimento di Ecologia del Territorio
e degli Ambienti Terrestri

**HANNO COLLABORATO
ALLA STESURA:**

Giuseppina Dowgiallo
*Università di Roma "La Sapienza",
Dipartimento di Biologia Vegetale*

Carlo Elmi, Matteo Berti, Alessandro
Simoni
*Università di Bologna,
Dipartimento di Scienze della
Terra e Geologico – ambientali*

Francesca Neonato
PN Studio, Milano

Luigi Bertin
*Università di Pavia
Dipartimento di Ecologia del Territorio
e degli Ambienti Terrestri*

Solveig Tosi
*Università di Pavia
Dipartimento di Ecologia del Territorio
e degli Ambienti Terrestri*

Riccardo Groppali
*Università di Pavia
Dipartimento di Ecologia del Territorio
e degli Ambienti Terrestri*

Davide Neri
*Università di Ancona,
Dipartimento di Energetica*

Massimiliano Zurli
EcoGIS, Pavia

Giuseppe Lia
Provincia di Bologna

Daniele Gandolfi
Bologna

**HANNO FORNITO
NOTIZIE E DATI:**

Amministrazioni Provinciali di
Bologna, Ferrara, Forlì – Cesena,
Modena, Parma, Piacenza, Ravenna,
Reggio Emilia e Rimini

Massimiliano Costa,
Provincia di Ravenna

Nevio Agostini,
Parco Nazionale Foreste Casentinesi

Luciano Cavassa,
Riserva Naturale di Alfonsine

Franca Zanichelli,
Parco Fluviale Regionale del Taro

Claudio Cavazza,
Regione Emilia-Romagna

Lamberto Baratozzi,
Regione Emilia-Romagna

Francesco Besio,
Regione Emilia-Romagna

Roberto Montanari,
Regione Emilia-Romagna

Luigi Ciarmatori,
*A.R.P.A. – Servizio Meteorologico
Regionale, Bologna*

Luca Auciello e Valeria Dominione,
Pavia

FOTOGRAFIE DI:

Amministrazione Provinciale
di Modena,

Enrico Muzzi

Graziano Rossi

Franca Ricciardelli

Annarita Rizzati

DISEGNI DI

Renata Caroli

Alessandra Montanari

**COORDINAMENTO
DEL PROGETTO:**

Renata Caroli

Mauro Ceroni

Franca Ricciardelli

Annarita Rizzati

Massimo Romagnoli

Vinicio Ruggeri

PROGETTO GRAFICO:

Studio Gramma - Arketipa
Bologna

Impaginazione:
Arketipa
Bologna

INDICE

PRESENTAZIONE	pag. XVII
PREFAZIONE	pag. XIX
PREMESSA	pag. 1
Alcune definizioni	pag. 1
Il contesto problematico	pag. 6
Scopi del presente manuale	pag. 7
Guida alla lettura e all'uso del manuale	pag. 8
1. ASPETTI TEORICI DEL RECUPERO	pag. 9
1.1 IL RECUPERO E LA RIQUALIFICAZIONE AMBIENTALE COME MOMENTO DI RIAVVIO DI UN PROCESSO ECOLOGICO INTERROTTO	pag. 9
1.2 FATTORI LIMITANTI L'EVOLUZIONE SPONTANEA DELLA VEGETAZIONE	pag. 9
1.2.1 FATTORI CLIMATICI	pag. 9
Luce	pag. 10
Temperatura	pag. 11
Fattore acqua e precipitazioni	pag. 12
Vento	pag. 12
1.2.2 FATTORI OROGRAFICI E DISSESTO IDROGEOLOGICO	pag. 13
1.2.3 FATTORI EDAFICI	pag. 14
Fattori fisici	pag. 15
Profondità del suolo	pag. 15
Scheletro	pag. 15
Tessitura	pag. 16
Struttura	pag. 17
Fattori chimici	pag. 18
Sostanza organica	pag. 18
pH	pag. 19
Carbonato di calcio	pag. 21
Salinità	pag. 21
Elementi nutritivi	pag. 22
Azoto	pag. 23
Fosforo	pag. 24
Macro e microelementi	pag. 24
1.2.4 FERTILITÀ DEL TERRENO	pag. 26
Fertilità come risorsa	pag. 27
Destino della sostanza organica: qualità del substrato	pag. 29
Destino della sostanza organica: fattori ambientali	pag. 30
Umificazione	pag. 31
Mineralizzazione	pag. 32
Altri metabolismi	pag. 33
Gli apporti di sostanza organica	pag. 33
L'apporto di elementi minerali	pag. 35
1.2.5 LE SIMBIOSI MICORRIZICHE COME FATTORE ESSENZIALE PER UN RAPPORTO VANTAGGIOSO TRA PIANTE E SUOLO	pag. 37
Ectomicorizze	pag. 38
Endomicorizze vescicolo-arbuscolari	pag. 39
1.3 BIBLIOGRAFIA	pag. 39

2. GUIDA PRATICA AL RECUPERO	<i>pag.</i> 43
2.1 LINEE GUIDA AGLI INTERVENTI ATTI A SUPERARE	
L'EFFETTO DEI FATTORI AMBIENTALI LIMITANTI	<i>pag.</i> 43
2.1.1 TEMPERATURA	<i>pag.</i> 43
Eccessi di riscaldamento	<i>pag.</i> 43
Carenze di riscaldamento	<i>pag.</i> 44
2.1.2 ACQUA	<i>pag.</i> 44
Precipitazioni	<i>pag.</i> 44
Controllo del deflusso delle acque superficiali e della falda freatica	<i>pag.</i> 45
2.1.3 VENTO	<i>pag.</i> 46
2.1.4 MORFOLOGIA	<i>pag.</i> 47
Controllo della stabilità meccanica delle scarpate a fine scavo	<i>pag.</i> 47
Pendenze eccessive	<i>pag.</i> 48
Esposizione	<i>pag.</i> 49
2.1.5 FATTORI EDAFICI LIMITANTI	<i>pag.</i> 49
2.1.5.1 FATTORI FISICI	<i>pag.</i> 49
Profondità limitata	<i>pag.</i> 49
Scheletro e/o pietrosità in eccesso	<i>pag.</i> 49
Tessitura anomala	<i>pag.</i> 50
Struttura anomala	<i>pag.</i> 50
2.1.5.2 FATTORI CHIMICI	<i>pag.</i> 51
Carenza di sostanza organica	<i>pag.</i> 51
pH anomalo per eccesso di acidità	<i>pag.</i> 52
pH anomalo per eccesso di salinità	<i>pag.</i> 53
pH anomalo per eccesso di sodio	<i>pag.</i> 53
Carenza di elementi nutritivi	<i>pag.</i> 54
Eccesso di microelementi tossici	<i>pag.</i> 55
2.2 LA SCELTA DELLE LINEE PROGETTUALI: PRINCIPI E FINALITÀ	<i>pag.</i> 56
2.2.1 L'OGGETTIVO DA RAGGIUNGERE CON IL RECUPERO AMBIENTALE	<i>pag.</i> 56
2.2.2 SCELTA DEL LIVELLO DI COMPLESSITÀ	<i>pag.</i> 57
2.2.3 SCELTA DELLE UNITÀ DI PAESAGGIO	<i>pag.</i> 57
2.2.4 SCELTA DEGLI INTERVENTI TECNICI E LORO ATTUAZIONE	<i>pag.</i> 57
2.2.5 SCELTA DELLE SPECIE VEGETALI DA IMPIEGARE	<i>pag.</i> 58
2.2.6 LINEE GUIDA PER L'UTILIZZO DELLE MICORRIZE	<i>pag.</i> 64
2.2.7 IL RECUPERO AMBIENTALE E LE RETI ECOLOGICHE	<i>pag.</i> 65
2.3 BIBLIOGRAFIA	<i>pag.</i> 70
3. LE LINEE PROGETTUALI	<i>pag.</i> 73
3.1 QUADRO GENERALE DI RIFERIMENTO	<i>pag.</i> 73
3.1.1 QUADRO DEI FATTORI ECOLOGICI	<i>pag.</i> 73
Inquadramento climatico	<i>pag.</i> 73
Inquadramento morfologico	<i>pag.</i> 76
Inquadramento geologico	<i>pag.</i> 76
Inquadramento idrologico	<i>pag.</i> 77
Inquadramento pedologico	<i>pag.</i> 77
Inquadramento floristico e vegetazionale	<i>pag.</i> 77
Inquadramento paesaggistico	<i>pag.</i> 87
3.1.2 QUADRO DEI FATTORI ANTROPICI	<i>pag.</i> 88
Uso reale del suolo	<i>pag.</i> 88

Piani urbanistici	pag. 88
Vincoli e servitù	pag. 89
Aspetti economici	pag. 89
Coltivazione mineraria del sito: inquadramento ingegneristico	pag. 90
Aspettative sull'uso del sito	pag. 90
Proprietà	pag. 90
Azienda	pag. 91
3.1.2.1 Gestione ed analisi dei dati raccolti (GIS)	pag. 91
3.2 DEFINIZIONE DELL'OBIETTIVO DEL PROGETTO	pag. 92
Destinazione naturalistica (rinaturazione-rinaturalizzazione)	pag. 93
Destinazione agricola	pag. 94
Destinazione forestale	pag. 95
Destinazione paesaggistica	pag. 96
Destinazione ricreativa	pag. 96
Destinazione produttiva o infrastrutturale	pag. 97
Scelta della destinazione	pag. 98
3.3 CARATTERE DEL RECUPERO	pag. 98
Metodo ricostruttivo	pag. 98
Metodo traslativo (" <i>transplanting</i> ")	pag. 100
3.4 PROGETTO	pag. 103
3.5 BIBLIOGRAFIA	pag. 105
4. IL PROGETTO	pag. 107
4.1 INTERVENTI SULLA MORFOLOGIA	pag. 107
4.1.1 FINALITÀ	pag. 107
4.1.2 QUADRO D'INSIEME	pag. 107
4.1.3 DETTAGLI	pag. 108
4.1.3.1 PROGETTAZIONE DEI PROFILI DI ABBANDONO	pag. 108
Profili di abbandono in terra	pag. 108
<i>Terre granulari</i>	pag. 109
<i>Valutazione dei parametri di resistenza al taglio</i>	pag. 109
<i>Angolo di attrito: terreni sabbiosi</i>	pag. 110
<i>Angolo di attrito: terreni ghiaiosi</i>	pag. 111
<i>Coesione drenata e analisi a ritroso</i>	pag. 111
<i>Analisi di stabilità all'equilibrio limite</i>	pag. 112
Terre fini	pag. 114
<i>Valutazione dei parametri di resistenza al taglio</i>	pag. 114
<i>Argille fessurate</i>	pag. 114
<i>Argille intatte</i>	pag. 114
<i>Analisi di stabilità</i>	pag. 115
Profili di abbandono in roccia	pag. 116
<i>Cinematismo di potenziale rottura</i>	pag. 116
Scorrimento rotazionale	pag. 117
<i>Classificazione dell'ammasso roccioso</i>	pag. 118
<i>Determinazione dei parametri di resistenza</i>	pag. 118
<i>Analisi all'equilibrio limite</i>	pag. 119
Fenomeni di instabilità lungo le discontinuità	pag. 120
<i>Determinazione dei parametri di resistenza lungo le discontinuità</i>	pag. 120
Scorrimento traslazionale	pag. 120
<i>Analisi cinematica</i>	pag. 121

	<i>Analisi dell'equilibrio limite</i>	pag. 121
	<i>Scorrimento traslazionale planare</i>	pag. 121
	<i>Scorrimento traslazionale lungo piano singolo e doppio</i>	pag. 122
	Scorrimento di cuneo	pag. 123
	<i>Analisi cinematica</i>	pag. 124
	<i>Analisi dell'equilibrio limite</i>	pag. 124
	Ribaltamento	pag. 125
	<i>Analisi cinematica</i>	pag. 126
	<i>Ribaltamento flessionale e instabilità flessionale</i>	pag. 126
	<i>Ribaltamento diretto</i>	pag. 127
	Controllo fenomeni di crollo	pag. 128
	Modellazione numerica	pag. 128
	Incertezza ed analisi probabilistiche	pag. 129
	Stabilità della coltre di ripristino	pag. 129
	<i>Valutazione dei parametri di resistenza al taglio</i>	pag. 129
	<i>Analisi di stabilità</i>	pag. 131
	Considerazioni progettuali	pag. 134
4.1.3.2	<i>PROGETTAZIONE ECOLOGICO PAESAGGISTICA</i>	pag. 140
	Variabilità morfologica ed ecologica	pag. 140
	Relazioni con il paesaggio circostante	pag. 142
4.1.3.3	<i>RIMODELLAMENTO E GESTIONE DELLE ACQUE</i>	pag. 143
	Regimazione idraulica superficiale	pag. 143
	Presenza di falde	pag. 145
4.1.3.4	<i>ACCESSIBILITÀ E VIABILITÀ</i>	pag. 146
4.1.3.5	<i>SICUREZZA</i>	pag. 148
	Recinzione e segnaletica	pag. 149
	Isolamento idraulico	pag. 149
	Scoronamento del ciglio e disaggancio delle scarpate	pag. 149
	Messa in sicurezza delle pareti	pag. 149
4.2	INTERVENTI SUL SUBSTRATO	pag. 153
4.2.1	FINALITÀ	pag. 153
4.2.2	QUADRO D'INSIEME	pag. 153
4.2.3	DETTAGLI	pag. 154
4.2.3.1	<i>CARATTERE DEL RIPRISTINO</i>	pag. 154
	Metodo traslativo (“ <i>transplanting</i> ”)	pag. 154
	<i>Trapianto di una prateria</i>	pag. 155
	<i>Trapianto di un prato arbustato</i>	pag. 157
	<i>Trapianto di un arboreto</i>	pag. 157
	<i>Problemi del “transplanting”</i>	pag. 157
	Metodo ricostruttivo	pag. 158
	Presenza di materiale pedogenizzato	pag. 158
	<i>Definizione degli orizzonti del profilo da asportare</i>	pag. 158
	<i>Predisposizione dello scotico e del prelievo del materiale</i>	pag. 159
	<i>Asportazione del suolo</i>	pag. 159
	<i>Conservazione differenziata</i>	pag. 159
	Acquisizione di materiale pedogenizzato alloctono	pag. 161
	<i>Conservazione differenziata dei materiali alloctoni</i>	pag. 162
	Ricostruzione della sequenza verticale dei suoli e creazione di eventuali strati tampone	pag. 163
	<i>Variabilità nella ricostruzione del substrato</i>	pag. 165
	<i>Compenetrazione tra gli strati</i>	pag. 166
	Assenza di materiale pedogenizzato	pag. 167
4.2.4	APPENDICE	pag. 169
	Classificazione terreni ricostruiti secondo Fao Unesco	pag. 169

Classificazione terreni ricostruiti secondo la Soil Taxonomy	pag. 169
4.3 INTERVENTI SULLA RETE IDRAULICA	pag. 171
4.3.1 FINALITÀ	pag. 171
4.3.2 QUADRO D'INSIEME	pag. 172
4.3.3 DETTAGLIO DEGLI INTERVENTI	pag. 173
4.3.3.1 REGIMAZIONE SUPERFICIALE	pag. 173
Costruzione dei casi critici	pag. 173
a) Metodo delle curve di possibilità pluviometrica	pag. 173
b) Metodo di probabilità pluviometrica di Gumbel	pag. 175
Scelta del caso critico di riferimento	pag. 178
Calcolo della portata massima in una sezione	pag. 178
Metodo analitico: metodo razionale	pag. 178
Metodo empirico: metodo di Hudson	pag. 180
Posizionamento e distanze tra le affossature	pag. 182
Calcolo delle sezioni	pag. 184
Controllo della velocità	pag. 187
a) Raggio idraulico (R)	pag. 187
b) Scabrezza (γ, m, n)	pag. 188
c) Pendenza della rete (I)	pag. 191
Interventi nel breve periodo	pag. 192
Progetto	pag. 192
Realizzazione	pag. 194
Briglie con tondame e/o tavole	pag. 194
Briglie in sasso	pag. 197
Briglie in legname e sasso e gabbionate	pag. 200
Interventi nel lungo periodo	pag. 200
Progetto	pag. 201
Realizzazione	pag. 202
Rinforzo delle briglie	pag. 202
Rinforzo delle banchine	pag. 202
Rinforzo del fondo del canale	pag. 202
Rinforzo delle aree di rispetto	pag. 202
Costruzione di briglie "vive"	pag. 202
Soluzione integrata	pag. 203
Canalette prefabbricate	pag. 204
4.3.3.2 REGIMAZIONE PROFONDA	pag. 205
Controllo delle acque sotterranee esterne	pag. 205
In piano	pag. 205
In pendio	pag. 206
Controllo delle acque sotterranee locali	pag. 207
In piano	pag. 207
In pendio	pag. 208
Calcolo dei parametri idraulici	pag. 209
Realizzazione	pag. 209
Cunei filtranti	pag. 209
Fosse drenanti	pag. 210
Drenaggio tubolare	pag. 211
Trincee drenanti	pag. 213
4.3.3.3 SISTEMAZIONE DEI BACINI	pag. 214
Bacini con funzione di bonifica	pag. 215
Bacini con funzione irrigua	pag. 218
Bacini con funzione idraulica	pag. 220
Bacini con funzione ricreativa	pag. 221
Bacini con funzione naturalistica	pag. 224

4.4 CONTROLLO DELL'EROSIONE	
E DEI MOVIMENTI DI MASSA SUPERFICIALI	pag. 227
4.4.1 FINALITÀ	pag. 227
4.4.2 QUADRO D'INSIEME	pag. 227
4.4.3 DETTAGLI	pag. 227
4.4.3.1 METODI DI STABILIZZAZIONE SUPERFICIALE	pag. 227
Pacciamatura	pag. 227
Materiali	pag. 228
Messa in opera	pag. 229
Problemi	pag. 229
Nero verde	pag. 230
Geotessili	pag. 231
Messa in opera	pag. 234
Bioreti	pag. 234
Biostuoie	pag. 234
Geostuoie - geocelle	pag. 234
Problemi	pag. 235
Graticciate - viminate	pag. 235
Messa in opera	pag. 235
Problemi	pag. 235
Stecconate - palizzate	pag. 236
Messa in opera	pag. 236
Problemi	pag. 237
Grate	pag. 237
Messa in opera	pag. 239
Problemi	pag. 241
4.4.3.2 METODI DI STABILIZZAZIONE INTERRATI SOTTOSUPERFICIALI	pag. 241
Fascinate	pag. 241
Messa in opera	pag. 242
Problemi	pag. 244
Gradonate	pag. 244
Messa in opera	pag. 245
a) durante la costruzione di un riporto/terrapieno	pag. 245
b) su pendici già esistenti	pag. 245
Problemi	pag. 247
4.4.3.3 SISTEMI DI STABILIZZAZIONE PROFONDA	pag. 247
Muri a secco	pag. 248
Messa in opera	pag. 248
Problemi	pag. 249
Cunei filtranti	pag. 249
Messa in opera	pag. 249
Problemi	pag. 250
Gabbionate	pag. 250
Messa in opera	pag. 250
Problemi	pag. 251
Palificate	pag. 252
Messa in opera	pag. 252
Problemi	pag. 253
4.4.3.4 MANUTENZIONE DEGLI INTERVENTI	pag. 254
Interventi sulla componente vegetale	pag. 255
Interventi sulla componente inerte	pag. 255
4.5 INTERVENTI AGRONOMICI	pag. 257
4.5.1 FINALITÀ	pag. 257
4.5.2 QUADRO D'INSIEME	pag. 257

4.5.3	DETTAGLI	pag. 258
4.5.3.1	INTERVENTI SUGLI ASPETTI FISICI DEL SUBSTRATO	pag. 258
	Interventi sulla tessitura	pag. 258
	Interventi sulla struttura	pag. 258
	Interventi di breve durata sulla struttura	pag. 259
	<i>Lavorazione del substrato</i>	pag. 259
	Interventi di lunga durata sulla struttura	pag. 259
	<i>Integrazione della sostanza organica</i>	pag. 259
	<i>Calcitazione</i>	pag. 264
	<i>Condizionamento</i>	pag. 265
	<i>Controllo della salinità</i>	pag. 265
	<i>Potenziamento dell'attività biologica</i>	pag. 265
	Interventi sul regime termico	pag. 266
	<i>Eccesso di calore</i>	pag. 266
	<i>Insufficienza di calore</i>	pag. 267
4.5.3.2	INTERVENTI SUGLI ASPETTI CHIMICI DEL SUBSTRATO	pag. 267
4.5.3.2.1	DISPONIBILITÀ DI SOSTANZE TROFICHE	pag. 268
	Azoto	pag. 269
	Fosforo	pag. 272
	Potassio	pag. 274
	Concimi composti (binari e ternari)	pag. 274
	Compatibilità tra fertilizzanti minerali	pag. 275
	Mesoelementi (Ca, Mg, S)	pag. 275
	Microelementi	pag. 276
4.5.3.2.2	PRESENZA DI SOSTANZE TOSSICHE	pag. 276
	Controllo del pH	pag. 277
	Controllo delle condizioni di ossidoriduzione	pag. 277
	Ammendamento organico del substrato	pag. 277
	Rapido sviluppo della copertura vegetale	pag. 278
4.5.3.2.3	REAZIONE DELLA SOLUZIONE CIRCOLANTE (PH)	pag. 278
	Eccesso di acidità	pag. 279
	<i>Interventi di controllo diretti</i>	pag. 279
	<i>Interventi di controllo indiretti</i>	pag. 281
	Eccesso di alcalinità	pag. 282
	Interventi sulla salinità	pag. 282
	<i>Interventi di controllo diretti</i>	pag. 282
	<i>Interventi di controllo indiretti</i>	pag. 282
	Interventi sull'eccesso di sodio	pag. 283
	<i>Interventi di controllo diretti</i>	pag. 283
	<i>Interventi di controllo indiretti</i>	pag. 284
4.5.3.3	INTERVENTI SUGLI ASPETTI BIOLOGICI DEL SUBSTRATO	pag. 285
	<i>Interventi di controllo diretti</i>	pag. 285
	<i>Interventi di controllo indiretti</i>	pag. 286
4.5.3.4	STRATEGIE PER POTENZIARE LA FERTILITÀ	pag. 287
	Interventi per potenziare la fertilità	pag. 287
	Applicazioni pratiche	pag. 289
4.5.4	APPENDICE	pag. 290
	Campionamento del terreno	pag. 290
	<i>Analisi dirette</i>	pag. 290
	<i>Analisi fisiche</i>	pag. 291
	<i>Analisi chimiche</i>	pag. 291
4.6	VEGETAZIONE	pag. 293
4.6.1	FINALITÀ	pag. 293

4.6.2 QUADRO D'INSIEME	pag. 293
4.6.3 DETTAGLI	pag. 294
4.6.3.1 SCELTA DELLE SPECIE	pag. 294
Finalità da perseguire	pag. 294
Scelta delle specie	pag. 297
Specie legnose	pag. 297
Specie erbacee e loro miscugli	pag. 307
Scelte su piccola scala	pag. 313
Criteria di scelta delle specie sulla base delle loro caratteristiche di crescita	pag. 313
Piante acquatiche e palustri	pag. 314
Sintesi finale sull'uso delle specie vegetali	pag. 315
Scelta su grande scala	pag. 317
4.6.3.2 TECNICHE DI IMPIANTO	pag. 319
Scelta delle modalità e del materiale di impianto	pag. 319
Reperibilità del materiale	pag. 321
Il mercato	pag. 321
Qualità del materiale	pag. 323
La raccolta diretta	pag. 325
Specie erbacee	pag. 325
Specie arbustive ed arboree	pag. 326
Preparazione e conservazione del materiale	pag. 329
Seme	pag. 329
Talee	pag. 330
Trattamenti al materiale e moltiplicazione controllata	pag. 330
Seme	pag. 330
Talee	pag. 331
Trasporto e acclimatamento	pag. 333
Impianto della vegetazione	pag. 334
Semina	pag. 334
Semina delle essenze erbacee	pag. 334
Semina di specie arboree ed arbustive	pag. 335
Epoca di semina	pag. 336
Protezione del seme	pag. 336
Uso del "topsoil"	pag. 337
Trapianto di essenze arboree e arbustive	pag. 337
Scavo	pag. 337
Epoca del trapianto	pag. 339
Preparazione del materiale da trapiantare	pag. 339
Sistema radicale	pag. 339
Sistema aereo	pag. 340
Pacciamatura dei trapianti	pag. 340
Difesa	pag. 341
Messa a dimora delle talee	pag. 341
4.6.3.3 MANTENIMENTO DELL'IMPIANTO	pag. 342
Interventi sulle specie erbacee	pag. 342
Risemina	pag. 342
Concimazione	pag. 342
Sfalcio	pag. 343
Diserbo	pag. 343
Irrigazione	pag. 343
Interventi sulle piante arboree ed arbustive	pag. 344
Risarcimenti	pag. 344

<i>Lavorazioni/diserbo</i>	pag. 344
<i>Lavorazioni</i>	pag. 344
<i>Diserbo</i>	pag. 344
<i>Irrigazione</i>	pag. 345
<i>Potatura di formazione nei primi anni</i>	pag. 345
4.7 FAUNA	pag. 349
4.7.1 FINALITÀ	pag. 349
4.7.2 QUADRO D'INSIEME	pag. 349
4.7.3 DETTAGLI	pag. 350
Definizione delle liste delle specie animali	pag. 350
Il recupero faunistico di pareti e scarpate	pag. 350
Il recupero faunistico di aree pianeggianti od in pendio	pag. 351
Zone boscate	pag. 352
Prati stabili e fauna invertebrata e ornitica	pag. 354
Il recupero faunistico di cave con bacini idrici permanenti o temporanei	pag. 356
Cave con bacini permanenti e fauna	pag. 356
<i>Sagomatura delle sponde e vegetazione</i>	pag. 356
<i>Profondità dell'acqua e isole</i>	pag. 358
<i>Isole e fauna</i>	pag. 359
<i>Il controllo delle specie esotiche immesse o autoctone invasive</i>	pag. 360
<i>Il recupero faunistico di cave, a scopo di pesca sportiva e allevamento ittico</i>	pag. 361
<i>Caccia in bacini idrici di cava</i>	pag. 362
4.8 GESTIONE	pag. 365
4.8.1 FINALITÀ	pag. 365
4.8.2 QUADRO D'INSIEME	pag. 365
4.8.3 DETTAGLI	pag. 365
4.8.3.1 MONITORAGGIO E CONTROLLO	pag. 366
4.8.3.2 INTERVENTI SULLO STRATO ERBACEO	pag. 367
Sfalci	pag. 367
Diserbo	pag. 368
Concimazioni	pag. 369
Trasemina	pag. 370
Pascolo	pag. 371
Decespugliamento	pag. 372
Risemina	pag. 373
4.8.3.3 INTERVENTI SULLO STRATO ARBUSTIVO ED ARBOREO	pag. 374
Concimazioni	pag. 374
Ripulitura	pag. 374
Diradamenti	pag. 375
Potature	pag. 376
Ceduazioni	pag. 377
Impianto di specie esigenti	pag. 378
4.8.3.4 INTERVENTI SULLE OPERE DI INGEGNERIA NATURALISTICA	pag. 379
Interventi sulla componente vegetale	pag. 379
Sfalci	pag. 379
Recupero fallanze	pag. 379
Potature	pag. 379
Diradamenti/Ripuliture	pag. 379
Trattamenti fitosanitari	pag. 380
Miglioramento delle condizioni stagionali	pag. 380
Interventi sulla componente inerte	pag. 380
Sostituzione elementi	pag. 380

	<i>Ricostruzione</i>	pag. 380
4.9	TEMPI DI RIPRISTINO	pag. 383
4.9.1	FINALITÀ	pag. 383
4.9.2	QUADRO D'INSIEME	pag. 383
4.9.3	DETTAGLI	pag. 383
	Tempo necessario per il raggiungimento dell'obiettivo	pag. 383
	Organizzazione temporale delle fasi del recupero	pag. 384
	<i>Recupero a cadenza continua</i>	pag. 384
	<i>Recupero a cadenza periodica</i>	pag. 385
	<i>Recupero a cadenza unica</i>	pag. 386
	Organizzazione stagionale dei lavori	pag. 387
4.10	I COSTI DI RECUPERO	pag. 391
4.10.1	FINALITÀ	pag. 391
4.10.2	QUADRO D'INSIEME	pag. 391
4.10.3	DETTAGLI	pag. 391
	Il costo	pag. 391
	Il computo metrico estimativo	pag. 391
	I soggetti coinvolti	pag. 392
	Le modalità di retribuzione dei lavori	pag. 393
	La redazione del computo metrico estimativo	pag. 394
	La struttura di un computo metrico estimativo	pag. 397
4.11	INDICAZIONI OPERATIVE GENERALI PER IL RIPRISTINO DEI PRINCIPALI TIPI DI CAVA PRESENTI NELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA	pag. 399
4.11.1	CAVE DI PIANO	pag. 399
4.11.1.1	TERRE GROSSOLANE (GHIAIE E SABBIE)	pag. 399
	Problematiche relative alla stabilità	pag. 399
	Problematiche ambientali	pag. 400
4.11.1.2	TERRE FINI (LIMI E ARGILLE)	pag. 401
	Problematiche relative alla stabilità	pag. 401
	Problematiche ambientali	pag. 403
4.11.2	CAVE DI MONTE	pag. 404
4.11.2.1	TERRE GROSSOLANE	pag. 404
	Problematiche relative alla stabilità	pag. 404
	Problematiche ambientali	pag. 405
4.11.2.2	TERRE FINI (ARGILLE, ARGILLE MARNOSE, ARGILLITI)	pag. 406
	Problematiche relative alla stabilità	pag. 406
	Problematiche ambientali	pag. 406
4.11.2.3	ROCCE TENERE (MARNE, ARENARIE A DEBOLE CEMENTAZIONE, GESSI) ROCCE MASSICCE, STRATIFICATE, FESSURATE	pag. 407
	Problematiche relative alla stabilità	pag. 407
	Problematiche ambientali	pag. 410
4.12	BIBLIOGRAFIA	pag. 411
5.	ESEMPI DI RECUPERO IN EMILIA-ROMAGNA	pag. 423
5.1	CAVA BECCAFAVA CARLINA (BOLOGNA)	pag. 424
5.2	CAVA COLOMBARA (BOLOGNA)	pag. 426
5.3	CAVA SETTEPOLESINI (FERRARA)	pag. 429
5.4	MAGLIANO (FORLÌ)	pag. 431
5.5	CAVA GHIARELLA (MODENA)	pag. 433

5.6 CAVE DI VIA CASTELLARO, VIA GHIAROLE E VIA MACCHIONI (MODENA)	<i>pag. 435</i>
5.7 CASSA DI ESPANSIONE DEL FIUME SECCHIA (MODENA, REGGIO EMILIA)	<i>pag. 436</i>
5.8 CAVA LA ZAVATTONA (MODENA)	<i>pag. 437</i>
5.9 CAVA LE CHIESUOLE (PARMA)	<i>pag. 438</i>
5.10 CAVA ISOLA GIAROLA (PIACENZA)	<i>pag. 439</i>
5.11 CAVA CÀ DI TREBBIA (PIACENZA)	<i>pag. 441</i>
5.12 CAVA DELLA FORNACE VIOLANI (RAVENNA)	<i>pag. 442</i>
5.13 CAVA SASSO MORELLO (REGGIO EMILIA)	<i>pag. 445</i>
5.14 PARCO DELLA CAVA (RIMINI)	<i>pag. 449</i>
5.15 BIBLIOGRAFIA	<i>pag. 452</i>
6. VALUTAZIONE DEL PROGETTO	<i>pag. 453</i>
6.1 CONSIDERAZIONI PRELIMINARI	<i>pag. 453</i>
6.2 VALUTAZIONE ANALITICA DEL PROGETTO DI RECUPERO	<i>pag. 455</i>
6.3 VALUTAZIONE ANALITICA DEGLI INTERVENTI ESEGUITI (COLLAUDO)	<i>pag. 470</i>
GLOSSARIO	<i>pag. 479</i>

Alcune definizioni

Prima di addentrarci nella materia trattata da questo manuale è opportuno, al fine di evitare possibili confusioni, richiamare alcuni termini e darne la definizione. In particolare i termini che intendiamo definire sono: fattore ecologico, fattore limitante, cava, recupero, ripristino, restauro e riqualificazione ambientale.

Per **fattore ecologico** o **fattore ambientale** si intende una qualsiasi variabile fisica, chimica o biologica dell'ambiente che influisce sulla vita di un organismo, almeno in una fase del suo ciclo vitale, producendo come effetto più drastico l'esclusione di questo, in determinati ambienti e comunità biotiche (Odum, 1973; Ubaldi, 1997). In riferimento agli organismi vegetali si può constatare che alcuni fattori ecologici, indispensabili per tutte le piante, sono molto diffusi (es. l'acqua, la luce, i nutrienti, i fattori che presiedono all'impollinazione ed alla dispersione dei semi). Altri, invece, generalmente nocivi per la maggior parte delle piante, si trovano solo in ambienti particolari ed offrono condizioni favorevoli solo per piante altamente specializzate (es. il fuoco, i metalli pesanti, il cloruro di sodio).

Ogni organismo possiede, nei confronti di ciascun fattore ecologico, un **ambito o intervallo di tolleranza** entro il quale esso può svolgere le proprie funzioni vitali, come ad esempio lo sviluppo e la riproduzione, con differenti velocità, intensità ed efficienza. Quando un fattore ecologico assume per un dato organismo valori che si avvicinano o superano i **limiti di tolleranza**, esso diviene **fattore limitante**, impedendone la crescita, la dispersione o la vita stessa, anche se le altre condizioni ambientali sono favorevoli. Secondo la **legge della tolleranza** o legge di Shelford la presenza e il successo ecologico di un organismo è determinato da quel fattore (o complesso di fattori) che più si avvicina ai limiti di tolleranza. Non solo la carenza di un determinato fattore può diventare limitante (es. scarsità di ferro nel suolo), ma anche il suo eccesso (es. l'eccesso di acqua nel suolo può provocare asfissia radicale). Anche un elemento presente normalmente in traccia nel suolo, se indispensabile, può divenire limitante (es. magnesio), anche quando gli altri nutrienti (es. carbonio, azoto, fosforo) sono abbondanti e disponibili.

L'**ampiezza** dell'ambito di tolleranza per i diversi fattori ecologici varia da specie a specie, da popolazione a popolazione, da individuo a individuo. Per indicare l'ampiezza relativa dell'intervallo di tolleranza per i vari fattori ecologici vengono, in genere, usati i prefissi **eur-** (ampio) e **steno-** (ristretto). Si indicheranno così, ad esempio, organismi **euritermi** e **stenotermi** (rispetto al fattore temperatura); organismi **eur-** e **stenoigri** (rispetto al fattore umidità); organismi **eur-** e **stenoalini** (rispetto al fattore salinità), ecc. Le specie che per numerosi fattori ecologici mostrano un ambito di tolleranza ampio sono dette **euriecie** (o ad **ampia valenza ecologica**) mentre quelle "esigenti" rispetto a tali fattori sono dette **stenoecie** (o a **valenza ecologica ristretta**).

Gli organismi possono differire anche per i **valori ottimali** che presentano nei confronti dei diversi fattori ecologici, cioè per quei valori in cui le funzioni vitali si compiono con il massimo successo. Così, ad esempio, rispetto alla temperatura si hanno valori ottimali relativamente elevati negli organismi **termofili** (o **macrotermi**), valori ottimali intermedi in quelli **mesofili** (o **mesotermi**), valori ottimali relativamente bassi in quelli **criofili** (o **microtermi**).

L'ambiente non è costituito da fattori ecologici che agiscono separatamente, ma è il risultato della loro **interazione**. L'interazione fra fattori può influire sull'ampiezza degli intervalli di tolleranza e sulla valenza ecologica degli organismi, ora amplian-

dola ora deprimendola, a seconda delle condizioni risultanti, favorevoli o sfavorevoli. Essa può anche modificare i valori ottimali per i diversi fattori. Si ha così che l'intervallo di tolleranza risulta in genere più ampio quando viene verificato in situazione di coltura pura, cioè in assenza di interferenze con altri individui o anche altri fattori (**ampiezza fisiologica**). In natura, invece, questo intervallo risulta più ristretto (**ampiezza ecologica**). Esempi possono essere desunti dalla consultazione di noti manuali di Botanica e di Ecologia Vegetale (Strasburger, 1995; Pirola, 1970; Ubaldi, 1997; Larcher, 1995). In conclusione, l'ambiente in cui un organismo trova le condizioni ottimali di esistenza in natura, corrisponde all'armonica presenza di un complesso di fattori ecologici e più precisamente alle interazioni tra i fattori ecologici chimico-fisici e biotici.

Molti organismi, nel corso della loro storia evolutiva, hanno sviluppato particolari capacità al fine di **evitare** i danni che derivano dall'azione dei fattori limitanti, oppure addirittura sono in grado di **affrontare** tali situazioni, mediante particolari **adattamenti** a livello morfologico, anatomico o funzionale (es. fotosintesi C4 o CAM). Nel caso del vento, ad esempio, le piante tendono ad essere di piccola taglia (al suolo il vento è meno forte), sviluppano particolarmente gli apparati radicali (funzione ancorante al suolo e garanzia per un efficiente approvvigionamento idrico), proteggono gli stomi delle foglie entro nicchie, spesso dotate di peli, e in generale controllano la traspirazione stomatica, ecc.

Per un approfondimento dei concetti sin qui esposti, si rimanda agli Autori menzionati e a testi di Ecologia Generale o di Ecologia Vegetale.

Passiamo ora da un aspetto teorico ad un aspetto più pratico, di carattere applicativo. In particolare, in base a quanto evidenziato sopra, nell'intento di recuperare un'area soggetta all'azione di forti fattori ambientali limitanti, come un'area di cava, sarà utile ricorrere all'utilizzazione di "specialisti", cioè di organismi vegetali che presentano particolari qualità. Ad esempio, in presenza di suoli ad elevato contenuto salino, si dovrà ricorrere a piante alotolleranti o alofite, in presenza di bacini d'acqua a idrofite, ecc. Pertanto, la ricerca scientifica nel campo dell'Ecologia Vegetale può fornire utili suggerimenti per l'Ecologia Applicata. Questo è il caso appunto del recupero ambientale delle aree di cava, dove l'escavazione in genere elimina la vegetazione ed il suolo preesistenti, mettendo a nudo il substrato minerale. Tale substrato risulta di difficile colonizzazione da parte delle piante, soprattutto se ci si trova in condizioni climatiche sfavorevoli (limitanti), quali scarsità di precipitazioni e presenza di elevate temperature estive.

Foto 1. Cava di monte su substrato sabbioso, in attività (Pavullo, Modena).



Foto 2. Cava di monte su substrato argilloso, in attività, per l'industria ceramica (Carpineti, Reggio Emilia).

Foto 3. Infrastrutture a ridosso delle zone di estrazione, piazzali, strade e magazzini per il temporaneo deposito del materiale estratto (Carpineti, Reggio Emilia).



Foto 4. Cava di monte su substrato gessoso, in attività (Borgo Rivola, Ravenna). Situazione al 1996.





Foto 5. Cava di monte per l'estrazione di sabbia, in attività (Valle del Marecchia, Rimini).



Foto 6. Cava in pianura per l'estrazione di sabbia, in attività (Bondeno, Ferrara).

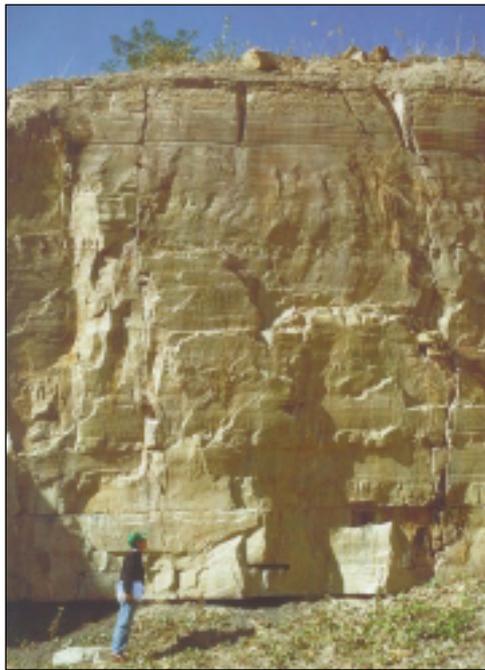


Foto 7. Cava di monte per l'estrazione di arenaria (Serramazzone, Modena).

A questo punto, prima di proseguire sul tema delle applicazioni, è opportuno definire con precisione l'oggetto di questo manuale: le cave. Per **cava** si intende in genere un luogo di estrazione di roccia utilizzabile come materiale per costruzioni edilizie, stradali e ferroviarie, oppure torba e, in senso più esteso, giacimento del predetto materiale. Il termine è di solito seguito dall'indicazione del prodotto estratto (cava di sabbia, ghiaia, marmo, calcare, ecc.; Desio, 1982). A seconda che il materiale utile venga estratto dall'esterno oppure da zone sotterranee, raggiungibili con pozzi e gallerie, le cave si classificano in cave a cielo aperto o in galleria. Le prime (oggetto della presente trattazione) si dividono poi in vari tipi, a seconda del sistema di coltivazione utilizzato, in dipendenza della natura del materiale e delle condizioni di giacitura. In pianura le cave sono, per la maggior parte, a fossa o a imbuto, cioè si approfondiscono man mano che il materiale viene estratto, procedendo eventualmente per gradini, quando la profondità diviene notevole; nelle zone montuose o collinari e per rocce coerenti da usare in blocchi o in lastre, si pratica il così detto "sistema ad anfiteatro", distaccando il materiale dalla zona in pendio, che costituisce il fronte di attacco. Se il pendio è molto ripido si avanza per gradini, mentre se il pendio è dolce, si procede "a varata", cioè con il distacco di grossi blocchi e al loro successivo trasporto a valle con mezzi vari. Per materiali coerenti, da utilizzare in frammenti informi,



Foto 8. Cava di monte per l'estrazione di sabbie feldspatiche (Monzuno, Bologna).

Foto 9. Esempio di recupero di area di cava per pesca sportiva e attività ricreative (Campogalliano, Modena).



Foto 10. Esempio di recupero di area di cava: Cava della ex Fornace Violani (Alfonsine, Ravenna). Situazione all'agosto 1995.



Foto 11. Attività di recupero di un'area di cava di monte per l'estrazione di argille.



Foto 12. Esempio di recupero di un'area di cava a verde urbano (Bologna).



più o meno minuti, si usano mine più potenti, in modo che la roccia frantumata ricada sul piazzale di lavoro della cava. Per materiali incoerenti (sabbie, ghiaia, argilla, ecc.), invece si adoperano mezzi meccanici, quali escavatori a cucchiaio, a benna, ecc. Per poter estrarre il materiale minerale o roccioso, di solito, è necessario preventivamente metterli a nudo, mediante l'eliminazione della vegetazione e del suolo sovrastanti; inoltre, come effetto dell'escavazione, si producono normalmente grandi depressioni oppure pareti rocciose più o meno verticali. Ciò, di conseguenza, porta ad uno sconvolgimento degli equilibri ambientali preesistenti, frutto di un lungo e complesso processo naturale.

Al fine di mitigare i danni arrecati all'ambiente e al paesaggio, sono attualmente previste opere di "risistemazione ambientale", da effettuarsi sia durante che al termine dell'attività estrattiva. A questo proposito si utilizzano molteplici termini specifici, indicanti differenti azioni, quali: recupero, ripristino, restauro, riqualificazione (Blasi e Paoletta, 1992; Blasi, 1993; Blasi et al., 1995; Poldini et al., 2001).

Per **recupero ambientale** si intende quell'insieme di interventi che favoriscono la ripresa della vegetazione caratteristica dell'ambito territoriale dove è inserito il sito (autoctona) e, più in generale, degli equilibri naturali, in precedenza alterati. Il recupero ambientale si ottiene mediante interventi più o meno intensi: si va dal sempli-

ce rimodellamento morfologico delle superfici, fino alla lavorazione del substrato, alla sua regimazione idraulica e concimazione. Anche per quanto riguarda la vegetazione gli interventi possono essere modulati: si possono semplicemente lasciar sviluppare le consociazioni pioniere di specie spontanee, confidando nell'istaurarsi di dinamiche successionali evolutive, oppure cercare di forzare i tempi della ripresa della vegetazione spontanea, saltando gli stadi iniziali. In questo secondo caso saranno maggiori gli input esterni per favorire la vegetazione, come appunto lavorazioni, concimazioni, piantagioni, interventi manutentivi, ecc.

Alla fine dell'intervento, auspicabilmente rapido, si ottiene una risistemazione dell'area dell'ex-cava ed il suo opportuno reinserimento nel paesaggio circostante. E' in questo contesto che si possono individuare due casi particolari di recupero: il ripristino ed il restauro.

Ripristino: si parla di ripristino quando si vuole ottenere una situazione identica a quella presente prima della realizzazione dell'attività estrattiva. E' senza dubbio il termine più utilizzato, anche se si tratta, nella grande maggioranza dei casi, dell'intervento più difficile da realizzare, se non impossibile.

Restauro: si può parlare di restauro solo quando le alterazioni ambientali apportate ad un certo territorio sono localizzate o comunque poco estese. E' necessario che non ci sia un danno diffuso, in modo tale da rendere possibile l'inserimento di specie vegetali, a livello di singole unità o di piccoli gruppi. Nel caso delle cave, questa situazione, praticamente, non si realizza quasi mai.

In generale, quindi, è più opportuno parlare di "recupero ambientale" delle aree di cava in quanto, valorizzando le potenzialità del sistema naturale (opportunamente guidato e favorito con interventi esterni, anche di notevole intensità), si ottengono fitocenosi affini a quelle potenzialmente presenti nell'area di intervento.

Per **riqualificazione ambientale** si intendono quegli interventi effettuati prevalentemente in ambiti urbani, periurbani o comunque fortemente antropizzati. Di frequente, si viene a modificare la destinazione d'uso di un'area, sostituendo le funzioni prevalentemente produttive con funzioni insediative, ricreative o agricole.

Il riutilizzo di una cava avviene spesso nei bacini dove si intende realizzare non tanto un recupero naturalistico, bensì un recupero a fini ricreativi (sport, pesca, aree a verde attrezzato, ecc.). Anche in questo caso va favorita la sistemazione idrogeologica dell'area, nonché la sua sistemazione "a verde", almeno per facilitare il collegamento con il paesaggio circostante.

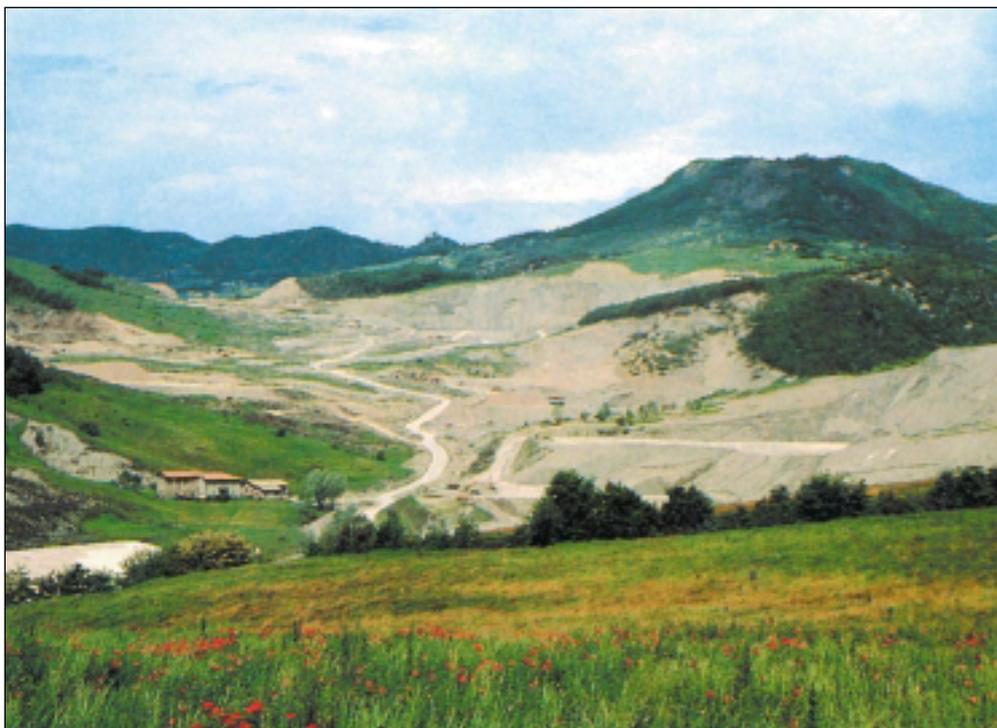


Foto 13. Le cave sono un elemento antropico ad alto impatto sul territorio e sul paesaggio.

Il contesto problematico

In certi casi, le cave rappresentano la forma più aggressiva di degradazione antropica del territorio, che può alterare o rompere le condizioni di equilibrio raggiunte in migliaia d'anni, spesso anche con gran cagione dell'ambiente in generale (Martinis, 1988; Oneto, 1989; Groppali, 1999).

Durante l'attività estrattiva si possono verificare situazioni di disturbo nei confronti delle aree contermini per inquinamento acustico (dovuto all'uso dei mezzi meccanici, impianti e mine), deposizione di polveri, inquinamento chimico (es. dispersione di sostanze pericolose), erosione del suolo, ecc.

Per quanto riguarda la fauna il disturbo dall'attività estrattiva, in particolare, può provenire da alcune modalità di estrazione e preparazione dei materiali. I danni provocati ai popolamenti animali, in massima parte, però sono temporanei: ad esempio l'allontanamento tramite lavaggio dei limi, frequente soprattutto per le ghiaie, può danneggiare le biocenosi acquatiche con l'immissione di materiali fini nell'acqua dei laghi di cava; l'uso di esplosivi e l'eventuale frantumazione meccanica dei materiali estratti causano un rilevante disturbo da rumore, uniti alla ricaduta di polveri nell'ambiente circostante.

Non va poi sottovalutato l'impatto ambientale provocato dal trasporto dei materiali estratti dalle zone di cava: in particolare nuovi percorsi viari possono separare ambienti frequentati da varie specie terrestri e ridurre anche pesantemente le loro popolazioni (es. popolazioni di rospi comuni, testuggini d'acqua o cervidi).

Al termine dell'attività estrattiva, invece, i danni o comunque le alterazioni che si possono riscontrare, sono, di norma, ben più gravi: effetti devastanti sul paesaggio (interruzione della continuità vegetazionale, formazione di zone degradate), soprattutto nel caso di grandi poli estrattivi, dove il paesaggio viene fortemente modificato, tramite l'asportazione del materiale escavato (es. smantellamenti di colline o versanti in montagna), o la creazione di bacini d'acqua, come avviene in pianura; completa compromissione della copertura vegetale originaria, a causa del disboscamento o, comunque, eliminazione del soprassuolo; asportazione del suolo stesso per mettere a nudo la roccia sottostante, oggetto dell'attività estrattiva, mediante estesi movimenti di terra che frequentemente sono spinti in profondità, sino al di sotto della superficie freatica; interferenza con le condizioni naturali di drenaggio, infiltrazione e scorrimento di acque superficiali non incanalate; frequente deposito di ingenti residui rocciosi, derivanti dall'attività estrattiva (discariche); abbandono, in condizioni di instabilità, delle superfici di coltivazione del materiale, con presenza di pareti verticali o quasi (indipendentemente dall'angolo naturale di stabilità del materiale), che

Foto 14. Esempio di forte variazione del paesaggio, a seguito di attività estrattiva.



Foto 15. La cava della ex Fornace Violani ad Alfonsine (Ravenna), attualmente Riserva Naturale. Anno 1985, discarica abusiva, prima del recupero e vincolo ambientale, avvenuto a partire dal 1987.



normalmente crollano o sono comunque soggette ad azione erosiva; processi di erosione generalizzata su tutte le superfici di ex-cava; in certi casi, una volta abbandonate, le cave possono divenire luogo di discarica abusiva di rifiuti, con possibilità di contaminare la falda freatica; ecc.

Il progetto di recupero ambientale di una cava non può tendere al ripristino delle condizioni originarie, impossibili da ricreare, ma può comunque favorire il processo naturale di recupero dell'ambiente, accorciandone notevolmente i tempi. Ciò è possibile grazie ad interventi con elevato apporto energetico esterno (sistemazioni morfologiche ed idrauliche, lavorazioni, concimazioni, piantagioni, ecc.). Questi apporti risultano indispensabili per lo stato in cui si trovano le aree di cava al termine del loro sfruttamento. Infatti, generalmente il substrato su cui si va ad agire non è un suolo, bensì un substrato minerale non pedogenizzato, più o meno incoerente, fortemente legato alle caratteristiche chimiche e fisiche della roccia madre, poverissimo o del tutto assente in sostanza organica e altri nutrienti, quali fosforo, azoto e micronutrienti, con una scarsa o nulla presenza di semi o di altri propaguli di piante, racchiusi entro il suolo stesso.

Il recupero delle aree di cava dismesse, quindi, è un'operazione assai complicata, in cui è necessario possedere buone conoscenze sia di tipo ecologico che agronomico, nonché di ingegneria naturalistica. Per questo motivo gli interventi operati frequentemente falliscono, in quanto non sono adeguati alle condizioni ambientali locali oltre, ovviamente, alla mancanza di volontà politica ed economica.

Scopi del presente manuale

In letteratura sono reperibili numerosi esempi di recupero ambientale di area di cava, sia in Italia (AA. VV., 1999; Avena et al., 1982; Bagnaresi et al., 1990; Bezzi e Preto, 1975; Blasi e Paoletta, 1992; Chiusoli e D'Antuono, 1982; Ravera, 1991; Rossi, 1999; Mondino e Scotta, 1988; Muzzi e Roffi, 1999; Pignatti, 1995), che all'estero (Majer e Nichols, 1998; Redente e Reput, 1988; Jochimsen, 1991; Skaller, 1981; Williamson et al., 1982). La manualistica internazionale offre anche numerose linee guida, a seconda dei diversi casi da affrontare (Cairns Jr., 1995; AA.VV., 2000). Tuttavia, oggi, nel nostro paese o almeno in ambito regionale emiliano-romagnolo, è assente un manuale che in modo piuttosto semplice, ma esaustivo e utile per l'applicazione, affronti la problematica del recupero ambientale delle cave nel suo complesso e in relazione alle condizioni localmente esistenti.

L'obiettivo di questo manuale è appunto questo: fornire indicazioni teoriche e, nel contempo, pratiche per il recupero ambientale delle aree di cava. Purtroppo nel nostro paese sembra ancora difficile l'affermarsi di una cultura del recupero ambien-

tale delle aree degradate ed ancor meno di quello delle aree estrattive. Questa disciplina è stata, fino ad oggi, fortemente trascurata, sia da un punto di vista teorico che operativo, soprattutto se confrontata con altri strumenti di pianificazione ambientale (es. V.I.A.). Il recupero delle cave è stato relegato, in genere, ad un semplicistico intervento di tipo urbanistico ed amministrativo, dove l'approccio tecnico-ingegneristico fornisce, di solito, scarsi risultati sul piano operativo. E' quindi necessario che questa materia rientri, come per altro sembrerebbe ovvio, in un ambito ecologico-naturalistico, dove l'impiego di conoscenze sulla dinamica degli ecosistemi può portare a maggiori successi e ad un reale e sostenibile recupero ambientale e paesaggistico. Ciò, inoltre, può essere raggiunto con interventi a basso costo, ma di successo più probabile, in quanto si ispirano e sfruttano i meccanismi dell'evoluzione spontanea degli ecosistemi.

Il presente manuale intende, pertanto, mettere l'aspetto dinamico della vegetazione al centro delle azioni di recupero ambientale delle aree estrattive. Inoltre, vuole fornire indicazioni tecniche ed operative semplici, facilmente applicabili alle diverse situazioni locali, a basso costo, con elevata probabilità di successo e per tempi medio-lunghi.

Le indicazioni fornite si avvalgono della disponibilità di una lunga serie di dati sperimentali ottenuti in Emilia-Romagna, nell'ambito di collaborazioni tra Università, Pubbliche Amministrazioni e Aziende private, nonché dei risultati di alcuni interventi effettivamente realizzati. Considerata la loro importanza alcuni di questi interventi verranno appositamente illustrati (cfr. Cap. 5). Si invitano comunque i lettori a visitare di persona le località indicate e a trarne delle impressioni dirette.

Guida alla lettura e all'uso del manuale

Il manuale è suddiviso in tre parti. La prima parte è costituita da una introduzione teorica che vuole inquadrare gli interventi di recupero nell'ambito della dinamica degli ecosistemi (naturali e antropizzati). Si analizzano, in particolare, i diversi fattori ambientali che limitano l'instaurarsi e l'evolversi della vegetazione e dell'ecosistema nel suo complesso. Clima, substrato e componente biotica, in particolare la vegetazione, e l'azione dell'uomo sono i protagonisti del controllo di questo processo. Nelle situazioni di cava, appena dopo la conclusione dell'attività estrattiva, infatti agiscono fattori che limitano fortemente o bloccano il processo dinamico evolutivo, che normalmente caratterizza gli ecosistemi. Il manuale a questo livello individua e dettaglia questi fattori.

Nella seconda parte il manuale passa dall'aspetto teorico a quello operativo, individuando ed approfondendo i diversi problemi che un buon progetto di recupero ambientale deve saper affrontare e risolvere. In particolare, illustra come superare l'azione dei diversi fattori limitanti e quindi i relativi interventi migliorativi possibili. Infine, la terza ed ultima parte riporta e commenta esempi concreti di recupero ambientale realizzati in ambito regionale emiliano-romagnolo, visitati dai curatori del manuale durante la fase preparatoria.

Questo manuale può essere utilizzato come uno strumento pratico di lavoro, durante la preparazione e lo svolgimento di progetti di recupero ambientale di cave.

Gli autori del manuale e i funzionari regionali responsabili della sua realizzazione, non considerano questo lavoro un'opera di per sé finita e omnicomprensiva, bensì una messa a punto delle tecniche di recupero disponibili e considerate attualmente le migliori, almeno a scala locale. Nuove conoscenze e strategie operative verranno senz'altro elaborate nei prossimi anni e pertanto si auspica che chi utilizza questo manuale diventi a sua volta sperimentatore ed innovatore.

(G. Rossi)

1.1 IL RECUPERO E LA RIQUALIFICAZIONE AMBIENTALE COME MOMENTO DI RIAVVIO DI UN PROCESSO ECOLOGICO INTERROTTO

L'attività estrattiva determina innanzitutto l'eliminazione della vegetazione originaria e del suolo, a cui fa seguito lo scavo e l'allontanamento del materiale minerale e, infine, prima o poi, l'abbandono dell'area stessa. Le cave abbandonate presentano caratteristiche specifiche diverse: roccia in posto messa a nudo e inalterata, scarti di lavorazione e, a volte, anche depositi alloctoni (scarti di cave limitrofe, materiali derivanti dai territori circostanti per frane o per trasporto solido). La vegetazione spontanea colonizzatrice è quasi sempre assente, salvo la comparsa, in tempi più o meno lunghi, di specie pioniere (*Inula viscosa*=*Dittrichia viscosa*, *Salix* sp.pl., *Phragmites australis*), i cui semi sono trasportati dal vento. In questa situazione permangono molte cave, che solo dopo tempi molto lunghi si ricoprono di vegetazione, almeno nelle condizioni più favorevoli, e ritrovano un nuovo equilibrio, sia dal punto di vista ambientale che paesaggistico.



Foto 1.1. *Inula viscosa*, specie pioniera, molto frugale, che colonizza spontaneamente i terreni di cava, nei primi stadi di evoluzione della vegetazione.

Foto 1.2. Le cave a cielo aperto sono, in genere, caratterizzate da un'abbondante luminosità ambientale.

Per accelerare i processi di re-inserimento delle aree di ex-cava nel territorio è necessario, ove possibile, imitare e favorire i processi evolutivi della vegetazione (successioni), interrotti al momento dell'inizio dell'escavazione. A tal fine, è necessario conoscere in dettaglio la situazione da cui si parte. Infatti, su un'area di cava appena abbandonata agiscono una serie di fattori limitanti la crescita della vegetazione e, più in generale, il suo reinserimento ambientale. Questi sono sia caratteristici del territorio in cui è inserita la cava (es. condizioni macro- e meso climatiche), sia specifici del sito, in quanto legati al tipo di morfologia locale e di substrato (es. condizioni microclimatiche, pH, salinità, ecc.).

1.2 FATTORI LIMITANTI L'EVOLUZIONE SPONTANEA DELLA VEGETAZIONE

1.2.1 FATTORI CLIMATICI

Come è noto, i fattori climatici ed edafici, condizionano fortemente la vita e la distribuzione delle piante nel territorio. Con il variare della latitudine e dell'altitudine cambiano i parametri principali del clima, cioè temperatura e precipitazioni, con conseguenti effetti sulla vegetazione spontanea e anche sulle piante che è possibile colti-

vare. Per quanto riguarda l'Emilia-Romagna l'altitudine del territorio varia tra 0 e 2.165 m s.l.m. (vetta del M. Cimone, nell'Appennino modenese): con l'aumentare dell'altitudine si abbassano le temperature, mentre le precipitazioni, in genere, aumentano e tendono a divenire nevose.

Per il territorio regionale sono attualmente disponibili ampie raccolte di dati climatici, sia a livello di sintesi per l'intera regione o porzioni di essa (Ubaldi et al., 1996; Cacciamani et al., 1988; Rossetti, 1988; Zanella, 1990), sia a livello di singole località, grazie alla rete di rilevamento attualmente gestita dal Servizio Meteorologico Regionale. Recentemente è stata pubblicata, a cura del Servizio Meteorologico Regionale (1995) una sintesi di dati climatici per il territorio regionale, per il periodo compreso tra 1951 e il 1994.

Un quadro generale sulle diverse tipologie climatiche è fornito anche da Walter e Lieth (1960), che riportano anche diversi climogrammi della regione Emilia-Romagna.

I dati climatici possono essere utili durante la fase preliminare di redazione di progetti di restauro ambientale di cave, al fine di stabilire le specie localmente idonee da utilizzare. Particolare attenzione va rivolta, oltre che alle caratteristiche medie del clima, agli estremi, che spesso costituiscono fattori fortemente limitanti per lo sviluppo delle piante.

Altri elementi di ostacolo, legati sempre al clima, possono derivare dalla radiazione luminosa, dal vento o dalle gelate tardive e precoci.

Va anche ricordato come i fattori topografici locali possano variare, amplificando o riducendo, l'effetto delle condizioni climatiche generali dell'area di intervento: pertanto andranno considerate con cura le caratteristiche del rilievo, quali: esposizione, inclinazione e quota. In tal senso, le condizioni locali possono differire anche sensibilmente da quelle della stazione meteorologica più vicina.

In Ubaldi et al. (1996), viene riportata la carta fitoclimatica alla scala 1: 500.000 della Regione Emilia-Romagna (Fig. 3.5). Una carta fitoclimatica mostra la ripartizione di un dato territorio in aree basate sulla distribuzione di quei tipi vegetazionali in cui si ravvisa un prevalente determinismo climatico. A questo scopo si tiene conto dei climax climatici o vegetazione climato-zonale. Dalla consultazione di questa carta (e della relativa memoria descrittiva) sarà possibile dedurre le specie vegetali principali (arboree ed arbustive) da utilizzare nei progetti di recupero ambientale, in funzione delle caratteristiche macroclimatiche della zona di interesse.

Indicazioni sul meso e microclima potranno poi essere desunte dall'analisi di dati climatici ad *hoc*, almeno in parte reperibili dalla stazione meteorologica più prossima al sito di intervento. Indagini più specifiche potranno essere svolte sul sito stesso.

Luce

Gli ambienti di cava in genere sono molto luminosi, in quanto dati da spazi ampi ed aperti, ed è quindi elevata la radiazione che giunge al suolo. Inoltre, le condizioni di luminosità locale dipendono, come detto, dalla morfologia del rilievo e dalla natura del materiale: esposizioni sud assumono maggior quantità di radiazione diretta (e viceversa); substrati chiari (certe argille o calcari), hanno anche una forte azione riflettente della luce, aumentando così la luminosità ambientale. Altri tipi di roccia, come le ofioliti, per il loro colore scuro, tenderanno invece ad assorbire la radiazione in arrivo e di conseguenza si riscalderanno molto. Le specie vegetali, a seconda delle loro esigenze rispetto alla quantità di luce necessaria per vivere, si dividono in sciafile (o di ombra) ed eliofile (o di sole). Esempi della prima categoria sono le specie erbacee del sottobosco di latifoglie mesofile, come *Prenanthes purpurea* o *Geranium nodosum*; esempi della seconda categoria sono gli arbusti del mantello dei boschi o delle siepi, come *Prunus spinosa* e *Crataegus monogyna*, oppure le specie di prato come le Poacee (*Festuca*) o alberi come *Pinus sylvestris*.

Per avere indicazioni sulle esigenze di luce delle diverse specie vegetali, possono essere consultati alcuni lavori (AA.VV., 1983; Landolt, 1977; Grime et al., 1998).



Temperatura

Il fattore temperatura può divenire limitante per le piante soprattutto in presenza di forte escursione termica (tra giorno e notte, tra una stagione e l'altra), di gelate ricorrenti precoci e tardive, in dipendenza di diversi fattori locali, quali l'esposizione, la natura del substrato ed il suo contenuto idrico. Come nel caso precedente, la possibilità di sopravvivenza o meno di una specie che si intende introdurre va quindi valutata di caso in caso. In natura, il limite degli areali distributivi di molte specie spesso coincide con l'andamento di determinati valori medi o di estremi di temperatura.

Le piante non sono solo sensibili alla temperatura dell'aria, ma anche a quella del suolo, che ha caratteristiche peculiari e dipendenti da vari fattori (esposizione, inclinazione, colore e natura del substrato, contenuto idrico, ecc.).

Quindi per la scelta delle specie da utilizzare negli interventi di recupero sarà necessario valutare in particolare:

- numero di giorni all'anno senza gelo;
- cicli di gelo-disgelo;
- ricorrenza di fenomeni estremi di temperatura (gelate occasionali);
- durata della stagione vegetativa;
- durata della copertura nevosa;
- condizioni locali di temperatura, in base all'andamento del rilievo e alla natura del substrato.

Nel territorio emiliano-romagnolo, le caratteristiche termiche risultano assai diversificate, con valori medi annui che variano circa tra 5°C nell'alto Appennino tosco-emiliano e 14°C nelle zone verso la costa adriatica (Servizio Meteorologico Regionale, 1995). Interessante è anche la consultazione delle carte climatiche di sintesi relative alla distribuzione sul territorio regionale della temperatura minima media del mese di gennaio, nonché quella della temperatura minima media del mese di aprile.

Quindi a seconda delle condizioni climatiche locali e, nel caso specifico, del fattore temperatura, verranno scelte le specie più adatte. Infatti si hanno diverse categorie di specie quali: piante sensibili al freddo, piante sensibili al gelo, piante al contrario resistenti a freddo e/o gelo, piante termofile (Larcher, 1995; Pignatti, 1997; Strasburger, 1995; Ubaldi, 1997). Esempi di specie sensibili al gelo, sono tutte le piante tropicali o la maggior parte delle specie mediterranee (es. olivo, *Olea europaea*, alloro, *Laurus nobilis*, oleandro, *Nerium oleander*); specie resistenti al gelo invece si possono trovare tra le specie arbustive ed arboree a foglie caduche, cioè con periodo di riposo invernale, come biancospino (*Crataegus monogyna*), prugnolo (*Prunus spinosa*), acero campestre

(*Acer campestre*), ecc. Tra le specie termofile, invece si possono citare ad esempio il ginepro (*Juniperus communis*) e la ginestra odorosa o di Spagna (*Spartium junceum*). Indicazioni utili sulle esigenze termiche delle diverse specie, possono essere desunte da alcuni testi specifici (AA.VV., 1983; Landolt, 1977; Grime et al., 1998).

Fattore acqua e precipitazioni

Come è noto, l'acqua è un elemento indispensabile per la vita di tutti gli organismi e costituisce fino al 95% del corpo delle piante. Permette lo svolgimento delle principali funzioni vitali della pianta, quali l'assorbimento e il trasporto dei sali minerali dall'ambiente di vita (acquatico o terrestre), la distribuzione entro la pianta stessa delle sostanze elaborate, la fotosintesi, la traspirazione, ecc. Una pianta terricola viene attraversata nel corso di una stagione vegetativa da una quantità di acqua diverse volte superiore al proprio peso. L'acqua perduta attraverso la traspirazione deve essere rimpiazzata da nuova acqua assunta dall'ambiente. Perciò se in un sito non esiste un rifornimento adeguato, la scarsità d'acqua può agire da fattore limitante. All'opposto anche un'eccessiva quantità d'acqua, come succede negli ambienti acquatici, è limitante per le piante che non sono fornite dei necessari adattamenti strutturali e fisiologici indispensabili per vivere in questa condizione particolare. Le piante, a seconda delle esigenze di acqua nell'ambiente, si distinguono in: idrofite, igrofite, mesofite, xerofite (Ubaldi, 1997; Strasburger, 1995; Salleo, 1995). Tra le idrofite, o vere piante d'acqua, possiamo citare la ninfea bianca (*Nymphaea alba*); tra le igrofite, o piante amanti dell'umidità a livello di suolo, possiamo ricordare i salici (es. *Salix alba*) e i pioppi (es. *Populus alba*); tra le mesofite, o piante amanti di condizioni medie di umidità, possiamo citare il faggio (*Fagus sylvatica*); infine tra le xerofite, o piante di ambienti aridi, possiamo ricordare i ginepri (*Juniperus communis*, *Juniperus nana*).

E' noto anche che l'acqua disponibile per le piante dipende essenzialmente dall'approvvigionamento derivato dalle precipitazioni, che a loro volta rientrano nel ciclo dell'acqua all'interno dell'ecosistema (Odum, 1973). Per quanto riguarda le precipitazioni in ambito emiliano-romagnolo, come nel caso già esaminato delle temperature, esistono variazioni assai rilevanti (Servizio Meteorologico Regionale, 1995). Infatti, si va da circa 500 mm di precipitazioni medie annue nelle zone poste verso la costa adriatica, fino agli oltre 2000 mm nell'alto Appennino tosco-emiliano.

Inoltre, le situazioni critiche a livello di bilancio idrico dipendono anche dal regime termico a cui è sottoposta l'area, nonché dai fattori orografici già menzionati precedentemente. Anche la natura fisica del suolo influisce molto sulle condizioni di disponibilità idrica per le piante e verrà trattata nel paragrafo relativo.

Le aree di cava, al termine dell'attività estrattiva, soprattutto nelle zone di bassa e media montagna, presentano in genere condizioni di aridità del suolo, almeno nel periodo estivo. L'inserimento artificiale della vegetazione implica la conoscenza dei meccanismi adattativi delle piante allo stress idrico, allo scopo di introdurre in questi ambienti degradati specie idonee. Indicazioni utili in tal senso possono essere desunte dalla consultazione di vari lavori a cui si rimanda (AA.VV., 1983; Landolt, 1977; Grime et al., 1998; Martini e Paiero, 1988).

Vento

L'effetto del vento sulle piante può manifestarsi sia in modo diretto che indiretto. L'azione diretta è dovuta al potere erosivo del vento, soprattutto quando esso è in grado di trasportare particelle solide con capacità abrasiva, come granuli di sabbia o cristalli di ghiaccio o di sali. Se i venti sono forti e costanti e ad alto potere erosivo, possono creare danni evidenti e permanenti alle piante (foglie, germogli, ecc.), soprattutto a quelle di taglia elevata. Un'azione indiretta del vento, di notevole importanza a livello biologico, è invece il forte incremento dell'evaporazione del suolo e della traspirazione delle piante. In caso di eccesso di traspirazione e di insufficiente apporto idrico le piante in

breve si trovano in deficit idrico e quindi appassiscono, in modo più o meno permanente, sino a giungere, nei casi estremi, alla morte per appassimento irreversibile.

1.2.2 FATTORI OROGRAFICI E DISSESTO IDROGEOLOGICO (L. Bertin)

Soprattutto in montagna le aree di cava sono zone ad elevato rischio di dissesto idrogeologico, per erosione superficiale e profonda, nonché per fenomeni gravitativi. Ciò è particolarmente accentuato su substrati incoerenti, con forte inclinazione, su pendii lunghi e in climi molto piovosi e ventosi. Infatti, nelle cave la vegetazione spontanea ed il suolo sono stati asportati già all'inizio dell'escavazione e, pertanto, ambedue non garantiscono più una protezione nei confronti delle normali cause di dissesto. Inoltre, spesso non viene creata e mantenuta adeguatamente una rete scolante superficiale. Si possono così manifestare problemi di instabilità, sia superficiale (con erosione dei primi strati o scivolamenti), che profonda (a cui fanno seguito movimenti di assestamento e riequilibrio statico). Inoltre, l'asporto continuo dei primi strati pedogenizzati (o in via di pedogenizzazione) o del semplice materiale organico qui depositato, influenza tutto il processo evolutivo del soprassuolo, ritardandolo o impedendolo. Infine, localmente, possono anche verificarsi crolli o frane, spesso favoriti indirettamente anche da ristagni locali di acque superficiali o da infiltrazioni in profondità.



Foto 1.4. Le cave sono zone ad alto rischio di dissesto idrogeologico, soprattutto quando i materiali di estrazione sono incoerenti (sabbie, argille) e le pareti sono abbandonate con forte inclinazione.

Sempre in ambiente di montagna, può presentarsi anche il problema dei depositi di materiale vario che, localmente, possono costituire accumuli detritici a forte pendenza. Tali ambienti di neoformazione, oltre a presentare problemi di instabilità, sono anche assai difficili da colonizzare da parte della vegetazione (danni meccanici alle piante per movimento dei clasti, scarsità di acqua disponibile, ecc.).

In ambiente di pianura, come ad esempio per cave di argilla, ghiaia o sabbia, possono verificarsi altri problemi. Durante lo scavo viene spesso raggiunta la falda freatica e quindi la depressione, derivata dall'estrazione di materiale minerale, si colma d'acqua, formando corpi idrici, che possono raggiungere notevole estensioni superficiali e di considerevole profondità (Figg. 1.5-1.8). In genere poi, le sponde di questi bacini presentano inclinazioni molto accentuate per cui, oltre ad essere instabili, risultano di difficile colonizzazione da parte della vegetazione. In questo contesto risultano di primaria importanza i cosiddetti fattori orografici ed, in particolare, l'inclinazione, l'esposizione e la quota dell'area in cui è situata la cava. Questi fattori influiscono notevolmente su molteplici condizioni ambientali, quali la disponibilità in luce, acqua e calore, e l'energia dei processi erosivi. Nelle situazioni estreme (quote e acclività elevate, esposizioni sfavorevoli) i fattori orografici possono divenire limitanti per gli organismi vegetali. Con l'incremento della quota, infatti, si osserva una diminuzione della temperatura

media annua (gradiente termico) di circa 0.6 °C per ogni 100 m, causa principale dell'esistenza delle fasce di vegetazione sui rilievi. Si hanno così, in corrispondenza delle sommità dei rilievi, come ben noto, temperature anche molto basse, con rischi di danni da freddo o da gelo per le piante. Sempre all'aumentare della quota, si osserva anche un generale, ma irregolare, incremento delle precipitazioni ("precipitazioni orografiche") ed un aumento del coefficiente di nevosità (cioè della proporzione delle precipitazioni annue solide). La diversa esposizione dei versanti si traduce in differenze di temperatura sia dell'aria che del suolo, con un versante esposto a Sud più

Foto 1.5. Cava di argilla in pianura a contatto con la falda freatica: formazione di un bacino permanente (Cava della ex Fornace Violani, Alfonsine, Ravenna).

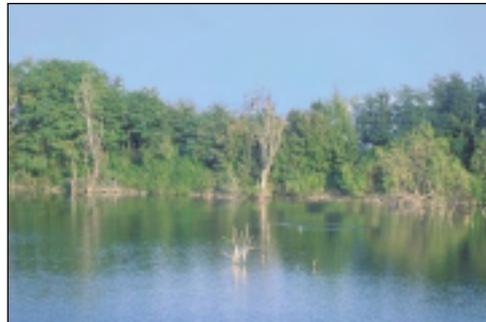


Foto 1.6. Cava di sabbia in pianura a contatto con la falda freatica: formazione di un bacino permanente (nei pressi del fiume Po, Piacenza).



Foto 1.7. Cava di ghiaia in pianura, a contatto con la falda freatica: formazione di un bacino permanente (nei pressi del fiume Taro, Parma).

Foto 1.8. Cava di ghiaia in pianura, a contatto con la falda freatica: formazione di un bacino permanente (nei pressi del fiume Ronco, Forlì).

caldo rispetto a quello rivolto a Nord. Sempre in relazione all'esposizione si osservano anche delle differenze di umidità, i versanti sottovento presentano precipitazioni maggiori rispetto a quelli sopravvento. La maggior parte delle montagne, se non tutte, presentano una netta asimmetria da questo punto di vista. Infine, va ricordato che l'energia dei processi di erosione idrica sui versanti e dei fenomeni gravitativi dipende strettamente dall'angolo del pendio. Così, sui versanti ripidi (acclività pari al 30-70 %) si avranno processi di denudazione di diverso tipo con il pericolo estremo di erosione del suolo ed evidenti effetti sulla vegetazione.

1.2.3 FATTORI EDAFICI (G. Dowgiallo)

Accanto ai fattori climatici e orografici, anche quelli edafici giocano un ruolo importante nei processi di recupero ambientale delle aree che sono state interessate nel passato da attività estrattive (Avena e Dowgiallo, 1995; Dowgiallo, 1998). Bisogna tenere presente innanzitutto che nella gran parte dei casi, in seguito alle attività di sfruttamento della cava, il suolo originario è stato completamente asportato e che la formazione di un nuovo suolo sul quale sia possibile un reimpianto della vegetazione è un processo sempre molto lento e difficoltoso, sia nel caso di cave abbandonate in cui non è stato effettuato alcun intervento di recupero, sia in quello di cave che sono state sottoposte ad un recupero guidato.

Nel primo caso la ripresa del processo pedogenetico avviene di nuovo a partire dal substrato originario e, soprattutto quando questo è costituito da materiali lapidei (ad es. calcari), in due situazioni estreme di morfologia: da un lato la parete rocciosa a taglio pressochè verticale, soggetta all'azione disagregatrice degli agenti atmosferici e al distacco di frammenti più o meno grossolani, dall'altro il deposito di detriti accumulati per frana o colluvionamento alla base dei fronti di cava.

Nelle cave sottoposte a recupero ambientale la formazione del suolo in genere è a spese del materiale detritico utilizzato per il riempimento della zona di scavo, che è per lo più costituito dai residui dell'attività estrattiva e la cui composizione dipende dalla natura dei materiali oggetto di sfruttamento, dal tipo di operazioni effettuate, dalla percentuale di materiali utilizzati, ecc. Molto spesso, dunque, il punto di partenza di questa nuova pedogenesi è rappresentato da un substrato che ha caratteristiche fisiche, chimiche e biologiche del tutto diverse da quelle del substrato originario. In un caso e nell'altro la creazione di un ambiente adatto al ritorno della vita vegetale, dopo l'abbandono della cava, viene resa difficoltosa da una serie di fattori limitanti tra cui si possono citare: le condizioni di aridità, spesso elevata di questi ambienti, le forti pendenze, l'instabilità del substrato pedogenetico, l'eccessiva permeabilità del substrato (soprattutto nel caso dei detriti), l'assenza di un'attività biologica a causa delle condizioni microclimatiche estreme, nonché di una copertura vegetale (tranne al più poche specie pioniere). Per di più, anche nel nuovo suolo che ha appena iniziato a formarsi possono esserci dei fattori intrinseci di ordine fisico, chimico o biologico che sono limitanti per la ripresa del processo evolutivo.

In Emilia-Romagna per conoscere le caratteristiche pedologiche dei territori in cui sono inserite le diverse cave, è possibile consultare le diverse pubblicazioni prodotte dal Servizio Cartografico, Ufficio Pedologico regionale (AA.VV., 1979; Filippi e Sbarbati, 1994).

Indicazioni utili per conoscere le esigenze edafiche delle diverse specie, possono essere desunte dalla consultazione di vari lavori già citati (AA.VV., 1983; Landolt, 1977; Grime et al., 1998; Martini e Paiero, 1988;).

Fattori fisici

Profondità del suolo

Lo spessore della coltre pedologica fino al limite con la roccia madre o con un orizzonte cementato è uno dei parametri che più influisce sulla potenzialità produttiva dei suoli: infatti quanto più grande è il volume di suolo che può essere esplorato dalle radici, tanto maggiore è la disponibilità di acqua e di nutrienti che esso offre alle piante.

Nei suoli ai primi stadi di sviluppo (*Leptosols*, *Regosols*) lo scarso spessore del *solum* può costituire perciò un fattore limitante per le specie vegetali, soprattutto per quelle arboree. Nel caso particolare degli ambienti di cava, il processo con cui da un substrato affiorante si giunge ad un suolo di sufficiente spessore è in genere estremamente lento. Per questa ragione, nei primi stadi del restauro di una cava, l'insediamento e l'attecchimento delle piante è sempre molto precario e, nella scelta delle specie vegetali da utilizzare, è bene tener conto dello scarso volume di suolo utilizzabile dalle radici.

Nella Tab. 1.1. è riportato un esempio di valutazione dei suoli in base alla profondità, secondo Fierotti (1997), ma i limiti fissati tra una classe di profondità e l'altra dai diversi sistemi di rilevamento pedologico (*Soil Survey Staff* U.S.D.A., FAO, ecc.) sono piuttosto variabili, in funzione principalmente del tipo di utilizzazione del suolo.

Suolo	Profondità (cm)
Superficiale	< 15
Poco profondo	15 - 25
Mediamente profondo	25 - 80
Profondo	80 - 120
Molto profondo	> 120

Tab. 1.1. Valutazione dei suoli in base alla profondità (Fierotti, 1997).

Scheletro

Un terreno ai primi stadi di sviluppo è comunemente contraddistinto da alte percentuali di frammenti rocciosi, prodotti dalla disgregazione fisica del substrato pedogenetico. Nelle cave, in particolare, i suoli iniziali sono in genere molto ricchi di scheletro, tanto più se si formano a spese dei materiali detritici utilizzati per il riempimen-

to della zona di scavo. Sono pure dei suoli “scheletrici” quelli che si originano sulle coltri detritiche che, nel caso delle cave di materiali lapidei (ad es. calcare), si sono accumulate per gravità o trasporto idrico al piede della parete rocciosa verticale. Un contenuto eccessivo di clasti nel terreno costituisce indubbiamente un fattore limitante, in quanto riduce proporzionalmente il volume di acqua disponibile per le piante, nonché il contenuto di nutrienti. Inoltre la presenza di frammenti rocciosi di diametro > 2 mm nell’interno degli orizzonti pedologici influisce sulle loro caratteristiche funzionali, in particolare sul drenaggio interno, che è tanto più rapido quanto più essi sono abbondanti. Un suolo ricco di scheletro, dunque, ha una scarsa capacità di ritenzione idrica e tende a disseccarsi rapidamente.

Nella Tab. 1.2 è riportata una valutazione dello scheletro in base alle dimensioni, all’abbondanza e alla forma dei frammenti rocciosi secondo le linee guida della FAO (1990).

Tab.1.2. Stima della quantità, dimensioni e forma dello scheletro (FAO, 1990).

DIMENSIONI	(cm)	QUANTITÀ	(%)	FORMA
Ghiaia fine	0,2 – 0,6	Molto scarso	0 – 2	piatto
Ghiaia media	0,6 – 2	Scarso	2 – 5	angolare
Ghiaia grossa	2 - 6	Comune	5 – 15	subarrotondato
Pietre	6 - 20	Molto	15 – 40	arrotondato
Massi	20 - 60	Abbondante	40 - 80	
Massi grossi	> 60	Molto abbondante	> 80	

Tessitura

La % relativa delle particelle minerali elementari (sabbia, limo, argilla) è una delle caratteristiche che maggiormente condiziona la fertilità dei suoli, in quanto ne influenza le proprietà fisiche e idrologiche.

I limiti dimensionali per le particelle elementari variano a seconda del sistema di classificazione utilizzato, come riportato in Tab. 1.3.

Tab.1.3. Classificazione delle particelle minerali in base al diametro.

	ISSS	USDA	BSI	
mm 2				2 mm
1	SABBIA GROSSA	SABBIA MOLTO GROSSA	SABBIA GROSSA	
0,50		SABBIA GROSSA		0,60
0,25		SABBIA MEDIA	SABBIA MEDIA	
0,20	SABBIA FINE	SABBIA FINE	SABBIA FINE	0,20
0,10		SABBIA MOLTO FINE		
0,05		LIMO	LIMO GROSSO	0,06
0,02	LIMO	LIMO	LIMO MEDIO	0,02
			LIMO FINE	0,006
0,002			ARGILLA	ARGILLA
	ARGILLA MEDIA	0,0006		
	ARGILLA FINE	0,0002		

I suoli più favorevoli per le piante sono quelli che hanno una tessitura equilibrata o “franca”, data dalle seguenti proporzioni (Belsito et al., 1988):

sabbia 30 – 50 %

limo 30 – 50 %

argilla < 20%

In essi infatti vi è un buon equilibrio tra micro- e macropori, quindi un rapporto ottimale tra aria, acqua e particelle solide (Fig 1.1).

Quando invece nel terreno c'è una proporzione eccessiva di una delle classi granulometriche, si determinano sempre delle condizioni limitanti per la crescita delle piante. I suoli sabbiosi (“leggeri”) ad es., con una elevata proporzione di macropori rispetto ai micropori, hanno un drenaggio interno troppo rapido con una bassa capacità di ritenzione idrica, per cui restano facilmente asciutti. Oltretutto l'eccessivo contenuto di aria favorisce l'ossidazione dei materiali organici, per cui i suoli sabbiosi sono normalmente poveri di humus e di nutrienti.

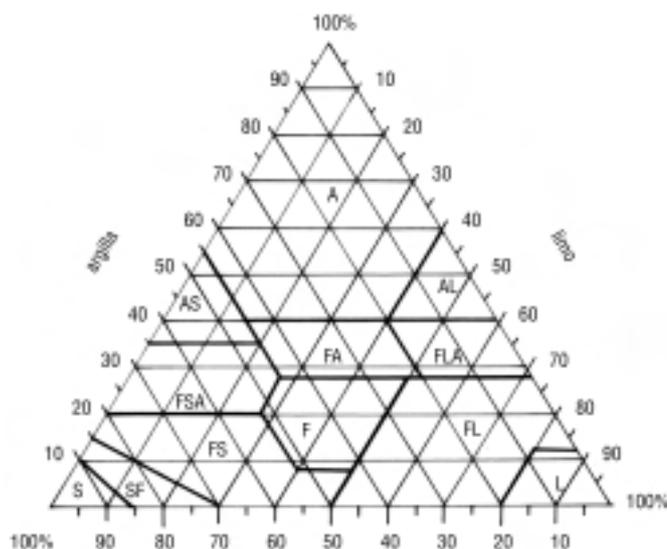


Fig.1.1. Triangolo delle tessiture con relative classi (USDA).

I suoli limosi, a loro volta, quando non contengono quantità sufficienti di colloid minerali (argille) o organici per permettere la formazione di aggregati, sono sfavorevoli, in quanto le particelle limose, essendo molto fini, diminuiscono sensibilmente la permeabilità all'aria e all'acqua limitando la respirazione delle radici e l'assorbimento dei nutrienti. I suoli eccessivamente argillosi (“pesanti”), invece, nei quali la porosità capillare è di gran lunga dominante sulla macroporosità, hanno una scarsa capacità per l'aria ed una forte ritenzione idrica, ma la disponibilità di acqua per le piante può essere comunque limitata, a causa delle elevate forze di coesione e di adesione tra acqua e matrice solida.

Pertanto, dopo l'abbandono di una zona degradata da attività estrattiva, soprattutto nel caso di una cava di materiali incoerenti (sabbia, ghiaia, argilla, ecc.), il suolo che inizia a ricostituirsi può avere una tessitura eccessivamente grossolana o, viceversa, eccessivamente fine; ciò costituisce un fattore limitante per le piante, almeno negli stadi iniziali della pedogenesi, quando non c'è ancora sufficiente sostanza organica umificata da favorire la formazione di una struttura, che garantisca migliori disponibilità di acqua e di aria.

Struttura

Oltre alla tessitura, anche l'aggregazione tra le particelle primarie del suolo favorisce gli scambi idrici e gassosi necessari alla crescita delle piante, in quanto consente la formazione di una rete fittissima di pori e di canali.

In un terreno ben strutturato le radici penetrano facilmente, l'aria e l'acqua circolano liberamente e la nutrizione idrica e minerale delle piante è dunque favorita. La pre-

senza di aggregati inoltre aumenta la resistenza che un terreno offre all'erosione, impedendo l'asportazione dei costituenti argillosi ed organici di questo.

Nel corso della pedogenesi, in genere si assiste ad una progressiva scomparsa della struttura "litologica" (ereditata dalla roccia madre) per azione dell'alterazione geochimica, dell'attività biologica, dei cicli di inumidimento/ disseccamento, mentre va man mano formandosi una struttura "pedologica", in quanto i costituenti del suolo acquisiscono una nuova organizzazione che è in grado di soddisfare meglio le esigenze delle piante per quanto riguarda sviluppo radicale, disponibilità di acqua, aria e nutrienti. Vari componenti del suolo svolgono il ruolo di sostanze cementanti, responsabili dell'aggregazione delle particelle primarie: i colloidali umici, i minerali argillosi, i sesquiossidi di Fe e Al, il CaCO_3 , il Ca^{++} legato al complesso di scambio del suolo, le sostanze mucillaginose elaborate dai microrganismi edafici o secrete dalle radici.

Tuttavia vi possono essere anche suoli privi di "struttura" o solo debolmente strutturati, soprattutto negli stadi iniziali della loro formazione. La mancanza di un assetto strutturale può dipendere da varie cause, tra cui:

- sostanze umiche presenti in quantità insufficiente o troppo rapidamente mineralizzate in un ambiente fortemente ossidante;
- una composizione granulometrica eccessivamente sabbiosa che dà luogo alla formazione di suoli "sciolti" per mancanza di coesione tra le particelle (suoli derivati da sabbie o da arenarie);
- una tessitura eccessivamente fine, con formazione di orizzonti "massivi" a causa della troppo forte coesione tra le particelle (ad es. suoli su argille);
- la presenza di quantità elevate di Na, che ha un effetto disperdente sulle argille e solubilizzante sull'humus, come può verificarsi nei terreni derivati dalle argille plioceniche o in suoli che sono interessati dalla risalita di una falda salata superficiale o da aerosol marino;
- una carenza di Ca, elemento che ha un'azione flocculante sulle particelle argillose, come nel caso di suoli che si evolvono su substrati acidi (ad es. arenarie) o di suoli fortemente acidificati che hanno subito una degradazione della struttura in seguito ad una eccessiva decalcificazione (ad es. suoli bruni acidi);
- errate pratiche colturali, come il mescolamento di strati profondi a composizione granulometrica difettosa con strati superficiali, oppure l'utilizzo di mezzi meccanici che sminuzzano e costipano eccessivamente gli aggregati.

Negli ambienti di cava, l'una o l'altra di queste condizioni possono verificarsi e pertanto, almeno all'inizio del processo evolutivo, i suoli hanno aggregati scarsamente formati e sono perciò facilmente soggetti ad erosione. Questa situazione può essere ulteriormente peggiorata, in mancanza o scarsità di una copertura vegetale, dall'azione battente della pioggia, molto efficace nel distruggere i grumi e disperdere le argille, formando una crosta superficiale impermeabile all'aria e all'acqua. La formazione di aggregati stabili e ben definiti è un processo piuttosto lento, che va di pari passo con la colonizzazione da parte di specie vegetali. Indagini geobotaniche e pedologiche in alcune cave abbandonate (Cagiotti et al., 1991) hanno dimostrato infatti che la coltre di suolo che si è formata nello spazio di dieci anni ha sviluppato una struttura, sia per un apporto di sostanza organica, sia per un incremento della frazione argillosa in seguito ai processi di alterazione.

Fattori chimici

Sostanza organica

La presenza della componente organica in un terreno ha degli effetti positivi sulle proprietà fisiche, chimiche e biologiche di questo. Essa infatti è fonte di elementi nutritivi per le piante (N, P, S, basi, ecc.), stimola l'attività della microflora e della microfauna edafica ed inoltre favorisce la formazione di aggregati stabili, aumentando la capacità di ritenzione idrica e la disponibilità di aria del terreno.

La quantità di materia organica varia in funzione delle condizioni climatiche e morfologiche, del tipo e grado di copertura vegetale, dell'uso del suolo, ecc., ragion per cui è difficile fare una valutazione dei suoli in base al loro contenuto di sostanza organica. Per un terreno agricolo, secondo la classificazione di Landi (1999), si può considerare un contenuto di sostanza organica del 3 % come valore medio di tutto lo strato alterato, valore che può aumentare fino al 6 -10 % in condizioni microclimatiche più fredde (Tab. 1.4).

SUOLI	SOSTANZA ORGANICA %
Molto poveri	< 1
Poveri	1 - 2
Mediamente dotati	2 - 3
Ricchi	3 - 10
Umiferi	10 - 20
Torbosi	20 - 50
Torbe	> 50

Tab. 1.4. Classificazione dei terreni agrari in relazione al contenuto di sostanza organica (Landi, 1999).

Negli stadi iniziali del processo evolutivo il suolo è in genere povero di humus, e ciò costituisce una limitazione alle funzioni nutrizionali, biologiche e fisiche da esso svolte. Le cause degli scarsi tenori di sostanze umiche sono da attribuirsi essenzialmente ad un apporto ancora insufficiente di resti organici da parte della vegetazione "pioniera", come pure all'assenza o all'insufficienza di un'attività microbiologica dovute a condizioni ambientali estreme. Solo quando sul terreno si instaura una copertura vegetale in grado di apportare una quantità consistente di residui, le sue riserve organiche raggiungono livelli tali da garantire un buon grado di fertilità.

pH

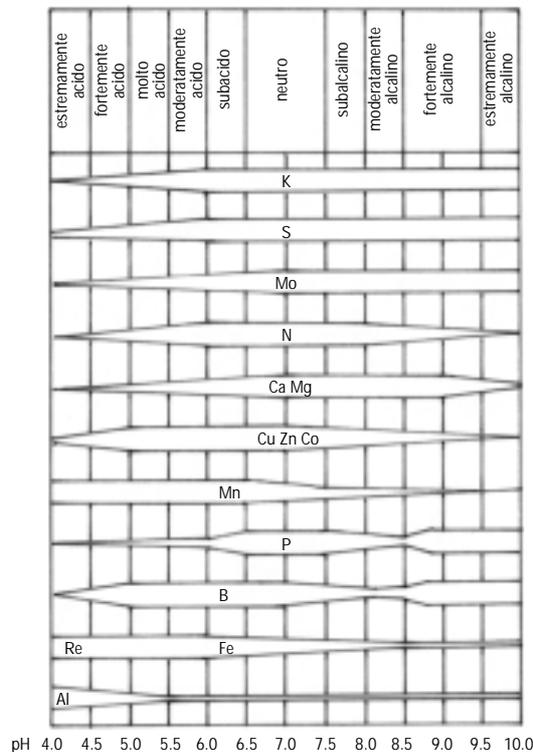
La reazione del terreno costituisce un parametro estremamente selettivo nei confronti sia delle specie vegetali che dei microrganismi edafici. Il pH infatti gioca un ruolo importante nel chimismo del suolo, in quanto regola la solubilità dei diversi elementi, rendendoli più o meno assimilabili da parte delle piante.

Come illustrato nello schema in Fig.1.2, nei suoli eccessivamente acidi la disponibilità dei macroelementi (Ca, Mg, P, N, K, ecc.) è molto scarsa, mentre quella dei microelementi è buona; inoltre a pH molto bassi diventano altamente solubili i composti del Mn e dell'Al, che in dosi elevate sono tossici. Viceversa, a pH eccessivamente alcalini vengono insolubilizzati sia i microelementi, sia altri elementi essenziali come il Fe e il P. Dunque il pH ottimale, che garantisce una disponibilità equilibrata di tutti gli elementi della fertilità, si può considerare compreso nel range 5,5 - 7,0.

Considerando che ogni pianta ha esigenze ben precise per determinati nutrienti, si può comprendere che per ciascuna specie l'intervallo ottimale di pH è quello in cui tutti gli elementi di cui essa ha bisogno si trovano nelle migliori condizioni di disponibilità. In base alle loro esigenze in fatto di reazione del suolo, queste vengono generalmente distinte in tre grandi gruppi:

- SPECIE ACIDOFILE, che prediligono i terreni acidi (pH < 6,3). Tra esse si possono ricordare: *Castanea sativa*, *Picea abies*, *Abies alba*, *Arbutus unedo*, *Erica arborea*, *Vaccinium myrtillus*, *Calluna vulgaris*, *Nardus stricta*.
- SPECIE NEUTROFILE, che trovano condizioni ottimali per la crescita su terreni neutri (pH 6,5-7,5). In questo gruppo rientrano: *Fagus sylvatica*, *Juglans regia*, *Acer campestre*, *Fraxinus ornus*, *Ostrya carpinifolia*, *Ulmus campestris* e diverse specie del gen. *Quercus*.
- SPECIE BASOFILE, che vivono preferenzialmente su suoli alcalini. Tra esse si possono citare: *Spartium junceum*, *Juniperus ssp.div.*, *Origanum vulgare*, tanto per fare qualche esempio.

Fig.1.2. Influenza del pH sulla disponibilità dei principali elementi del suolo
(da Landon, 1991, modificata).



I suoli all'inizio della loro evoluzione possono avere valori estremamente acidi o eccessivamente basici del pH, in quanto ancora risentono dell'influenza della roccia madre. Ad es. su substrati acidi, scarsamente dotati di elementi minerali (arenarie, rocce eruttive acide, ecc.), soprattutto quando sono molto permeabili, si possono formare suoli fortemente acidi, almeno finché la copertura vegetale non è in grado di apportare un quantitativo di materiali organici tale da arricchire in basi il terreno, temperando le condizioni di eccessiva acidità. Un'acidificazione spinta dei suoli può essere anche causata da:

- fattori legati al clima: una elevata piovosità può essere la premessa di una intensa lisciviazione dei cationi nei primi strati del terreno, così come un clima freddo può portare ad accumuli di sostanza organica scarsamente decomposta, con produzione di molti acidi organici;
- fattori legati all'uso: terreni agricoli possono presentare una concentrazione di cationi limitata, a causa dell'asporto dovuto alle colture e della lisciviazione profonda.

Viceversa, i suoli iniziali su rocce calcaree hanno pH intorno a 8, mentre valori ancora più elevati (fino a 9 – 9,5) si hanno nei terreni ricchi di ioni Na^+ , come quelli derivati dalle argille plioceniche. Questa situazione può verificarsi frequentemente in ambito estrattivo, dove vengono portati alla luce degli orizzonti profondi mai interessati da processi pedogenetici e quindi potenzialmente pericolosi. Anche in questo caso, con l'apporto di sostanze umiche, con la progressiva alterazione dei minerali della roccia e l'azione dilavante delle acque meteoriche, questi valori estremi tendono ad attenuarsi, trasformando gradualmente il suolo in un ambiente più adatto a soddisfare le esigenze delle piante.

Oltre alla natura del substrato minerale, altri fattori che possono causare un eccesso di alcalinità nel suolo sono:

- fattori legati al clima: in climi aridi si può avere una forte risalita di acqua capillare dalla falda sottostante, con l'accumulo superficiale di composti salini;
- fattori legati alla giacitura: profondità della falda, presenza di strati compatti, arrivi di acque di scolo ricche in sali da quote superiori sono tutti fattori che possono limitare la lisciviazione e favorire concentrazioni anomale di sali;
- fattori legati all'uso: errate pratiche agricole, concimazioni, irrigazioni, possono causare una elevata concentrazione di sali negli strati superficiali.

Carbonato di calcio

Il carbonato di calcio è una componente del suolo di origine pedogenetica che, se in modeste quantità, ha effetti positivi sul terreno in quanto favorisce la formazione di aggregati stabili, aumentando la permeabilità e l'aerazione degli orizzonti e garantendo una maggiore resistenza contro l'erosione. Tuttavia, quando è in quantità eccessive, questo composto può costituire un fattore limitante per lo sviluppo di molte specie, tant'è che sui terreni calcarei viene a selezionarsi una flora speciale (calcifila) in grado di tollerare alte concentrazioni di CaCO_3 .

CaCO_3 TOTALE (%)	CLASSI FONDAMENTALI	CLASSI GENERALI
< 0.5	non calcareo	non calcareo
0.5-1	molto scarsamente calcareo	
1-5	scarsamente calcareo	
5-10	moderatamente calcareo	calcareo
10-25	molto calcareo	
25-40	fortemente calcareo	
> 40	estremamente calcareo	estremamente calcareo

Tab.1.5. Contenuto in calcare totale dei suoli e loro classificazione (Filippi e Sbarbati, 1994).

In genere tutte le specie indicate come “basofile” sono anche calcifile. Vi sono invece altre piante che, se vivono sui terreni troppo ricchi di calcare, manifestano sintomi di sofferenza (clorosi), dovuti più che altro all'impossibilità di assimilare i composti del Fe, che sono insolubili a pH alcalini. Tra queste specie “calcifughe” si possono ricordare: *Vaccinium myrtillus*, *Calluna vulgaris*, *Erica scoparia*, *Pteridium aquilinum*, *Castanea sativa*, *Pinus pinaster*.

Anche nei confronti dell'evoluzione pedologica il carbonato di calcio può giocare il ruolo di fattore limitante: infatti, quando è abbondante, esso, nella sua forma “attiva”, rallenta i processi di alterazione minerale e blocca l'umificazione ad uno stadio iniziale stabilizzando i composti umici in forme poco evolute e proteggendoli dalla biodegradazione. I suoli iniziali su calcari (protorendzina, rendzina) tendono quindi a restare ai primi stadi dell'evoluzione per tempi lunghissimi, almeno finché non si hanno sufficienti apporti di materia organica da causare la solubilizzazione del CaCO_3 da parte degli acidi organici e del CO_2 che si liberano dalla sua decomposizione. Solo quando la copertura vegetale diventa più densa, fino a produrre una quantità consistente di materia organica, la solubilizzazione del calcare può procedere ad un ritmo più rapido ed è così possibile un'ulteriore evoluzione del suolo verso tipi “brunificati”.

Salinità

In particolari situazioni si sviluppano suoli che sono caratterizzati da alti gradi di salinità; questa tende con il tempo ad attenuarsi per lisciviazione dei sali da parte delle acque meteoriche. La presenza di sali solubili può derivare da rocce *in situ* (salinità “autoctona”) oppure può essere causata da inondazioni di acqua salmastra o dalla risalita in superficie di una falda salata (es. nelle zone prossime al mare) oppure da irrigazioni con acque salate (salinità “alloctona”).

In diversi settori dell'Emilia-Romagna affiorano substrati dai quali si originano suoli con elevati contenuti di sali, come illustrato da vari studi: ad es. sulle argille plioceniche dell'Appennino Emiliano sono stati descritti suoli che, almeno negli stadi iniziali della loro evoluzione, sono ricchi non solo di carbonati, ma anche di NaCl e di solfati di Ca, Mg e Na (Ferrari e D'Antuono, 1983; Ferrari, 1971; Zangheri, 1942); e così pure sui complessi sedimentari gessiferi vi sono terreni contenenti prevalentemente solfati e secondariamente anche cloruri (Comel, 1972; Zangheri, 1959). Inoltre nella zona litoranea emiliano-romagnola spesso le cave entrano in contatto con la falda freatica, che può essere ricca di sali, per la relativa vicinanza del mare (Zavatti, 2000).

I terreni ricchi di sali solubili hanno un pH > 8 e rappresentano proprio i substrati con i maggiori problemi di abitabilità per le specie vegetali: infatti l'elevata concentrazione di sali determina delle pressioni osmotiche elevatissime che rendono molto difficoltoso l'assorbimento dell'acqua e dei nutrienti da parte delle radici delle piante. Pertanto in questi ambienti la vita vegetale è limitata a particolari specie capaci di adattarsi alle elevate pressioni osmotiche aumentando la concentrazione dei loro succhi cellulari (alofite). Tra le specie alofile più comuni si possono ricordare: *Cakile maritima*, *Ammophila littoralis*, *Agropyron junceum*, che colonizzano le dune costiere dove ancora si risente l'effetto della salsedine; *Artemisia cretacea*, *Agropyron pungens*, *Atriplex patula*, *Puccinellia borreri* e altre, che sono piante tipiche dei calanchi, tanto per citare qualche esempio.

Un altro problema causato da un eccesso di Na è quello della destrutturazione del suolo, in relazione all'azione disperdente esercitata dallo ione Na⁺ sugli aggregati del terreno.

In base ai valori di conducibilità elettrica (che misura la quantità totale di sali presenti), di ESP (percentuale di Na scambiabile rispetto alla C.S.C.) e di pH, l' U.S. *Salinity Laboratory Staff* ha proposto una classificazione dei terreni salini e alcalini, che è diventata di uso comune in campo agronomico (Tab. 1.6).

Tab.1.6. Classificazione dei terreni secondo l'U.S. Salinity Laboratory Staff (1969).

TERRENO	CONDUCIBILITÀ (mmhos/cm)	ESP	pH
Salino	> 4	< 15	< 8,5
Alcalino	< 4	> 15	> 8,5
Salso-alcalino	> 4	> 15	< 8,5

- SUOLI SALINI

Sono ricchi in sali ma non in sodio: hanno un pH compreso tra 7.1 e 8.5 quindi non troppo anomalo. Sono in genere ricchi in Ca e Mg; quindi sono ben strutturati, ma presentano una pressione osmotica molto forte, uno squilibrio tra gli ioni (rapporti squilibrati tra Ca, Mg, K e Na) ed anche una possibile tossicità di singoli ioni presenti (B, Cl e Na).

- SUOLI ALCALINI

Sono ricchi solo in sodio, quindi non eccessivamente salini, ma sodici: hanno un pH > 8.5 e risultano essere tossici per alcune specie; presentano un forte squilibrio minerale ed una completa deflocculazione dei colloidali che li rendono asfittici, impermeabili e fessurati in estate. Accanto al catione di sodio si ritrovano anche altri anioni come Cl⁻, HCO₃⁻, CO₃⁼, SO₄⁼.

- SUOLI SALSO-ALCALINI

Sono suoli ricchi in sali, tra cui frequente è il sodio: presentano un pH < 8,5 e in generale si comportano come substrati salini fino a che la salinità rimane elevata. Se si dilavano i sali solubili si modifica radicalmente l'ambiente: il sodio diviene predominante con deflocculazione, destrutturazione ed aumento del pH a valori superiori a 8.5, peggiorando le condizioni di abitabilità. E' quindi necessario concentrarsi sul problema del sodio e poi sulla salinità.

Elementi nutritivi

Per una ripresa del ciclo della fertilità è necessario che un suolo abbia un contenuto adeguato di macro- e di microelementi. Tuttavia, ai fini della nutrizione vegetale, è importante non tanto la concentrazione totale di questi elementi, quanto la frazione "assimilabile", cioè quella che le piante sono in grado di assorbire e utilizzare.

Per ogni elemento minerale è difficile stabilire con precisione le quantità ottimali necessarie, in quanto funzione dei parametri ecologici della stazione. Tuttavia per i

nutrienti più importanti sono stati definiti dei valori minimi e massimi di riferimento relativamente agli ambienti temperati (Tab. 1.7).

	N tot.	NO ₃	NH ₄	P ass.	K ass.	Ca	Mg	Fe	CSC
Livello:	(%)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(me/100g)
basso	0.1	2	2	5	100	500	50	5	10
alto	1.0	20	20	20	300	2000	300	200	30

Tab.1.7. Valori di riferimento degli elementi minerali necessari per una normale crescita della vegetazione in climi temperati (Bradshaw, 1980).

Le necessità di sostanze nutritive variano in funzione delle finalità, del tipo di intervento e di tutti gli aspetti tecnico-biologici disponibili per l'intervento, già analizzati in precedenza. Importante è definire e progettare una strategia di intervento, applicarla e verificare nel tempo l'azione dei diversi elementi nell'ecosistema ricostruito, per eventualmente operare con integrazioni e/o aggiustamenti.

Consideriamo gli elementi minerali principali.

Azoto

Nella maggior parte dei suoli i processi di decomposizione e di umificazione della materia organica sono la principale fonte di azoto. La disponibilità di questo elemento è dunque legata al ciclo della sostanza organica, oltre che al pH che, se eccessivamente acido o eccessivamente alcalino, costituisce, come si è detto, un fattore limitante.

Spesso i suoli sono carenti in azoto più che ogni altro elemento, perché esso viene facilmente perduto per dilavamento (specie sotto forma nitrica) o per conversione in N₂ gassoso ad opera di microrganismi. Inoltre, anche se un terreno è dotato di riserve azotate a seguito di apporti naturali o fissazione microbiologica, è necessario che l'N venga trasformato in nitrati o in sali ammoniacali per essere utilizzato dalle piante e la concentrazione di queste forme assimilabili è strettamente correlata all'attività biologica (ossidazione, umificazione, mineralizzazione).

Il contenuto di azoto di un terreno risulta essere molto vario, in funzione delle condizioni ecologiche. Esso oltretutto tende a cambiare nel corso dell'evoluzione pedologica, come descritto da Duchaufour (1965): nei suoli iniziali il tenore di N è estremamente basso; quindi, con la progressiva colonizzazione da parte della vegetazione, esso aumenta gradualmente, finché raggiunge uno stato di equilibrio tra la quantità apportata e quella mineralizzata. Ciò avviene in un tempo più o meno breve a seconda delle condizioni ambientali e vegetazionali. Per fare qualche esempio, si riportano alcuni dati di Laatsch (1963) sulla velocità di accumulo dell'N nei suoli minerali iniziali: secondo questo Autore, su sabbie dunali, sotto una pineta, lo stato di equilibrio viene raggiunto in un tempo di 1000-1500 anni e corrisponde ad un livello di N piuttosto basso (1900 kg/ha), mentre su altri substrati (ad es. tufo vulcanico), un tempo molto più breve (circa 600 anni) è sufficiente per raggiungere l'equilibrio, che corrisponde ad un tenore molto più alto di N (6000 kg/ha). Inoltre sotto una vegetazione pioniera fissatrice di N (es. *Alnus*, ontano), il ritmo di accumulo di questo elemento risulta molto rapido, pari a circa 60 kg/ha/anno, per cui dopo 100 anni i suoli colonizzati da questo tipo di vegetazione contengono già una riserva di N pari a 2700 kg/ha.

E' difficile pertanto definire dei valori di riferimento generali per poter valutare il contenuto di azoto nel terreno; si è stimato però che nei nostri climi la concentrazione di azoto totale nei suoli naturali varia mediamente tra 0.1 ed 1 % (Bradshaw, 1980); nei terreni torbosi si può raggiungere anche il 2,5% di N (Sequi, 1989).

Nel recupero agricolo si può fare riferimento alla Tab.1.8 per classificare i suoli in base al contenuto di N.

Tab.1.8. Valori di riferimento per l'azoto in ambito agricolo.

TERRENI	N TOTALE (%)	
	(GIARDINI, 1977)	(LANDI, 1999)
Poveri	< 0.1	< 0.025
Mediamente dotati	0.1 - 0.15	0.025 - 0.06
Ben dotati	0.15 - 0.22	0.06 - 0.1
Ricchi	0.22 - 0.5	0.1 - 0.17
Eccessivamente dotati	> 0.5	> 0.17

Fosforo

Dopo l'N, è l'elemento che più frequentemente costituisce un fattore limitante nei suoli. La quantità di P totale nei suoli oscilla tra 0,05 e 0,4%, con quantitativi medi di 0,1-0,2% (Belsito et al., 1988), provenendo in parte dai processi di alterazione delle rocce (quelle ignee ne sono particolarmente ricche) ed in parte dalla decomposizione della materia organica. Spesso però la disponibilità di P per le piante è scarsa, essendo condizionata dalla reazione del terreno: in ambiente fortemente acido, infatti, questo elemento forma complessi stabili con il Fe e con l'Al, mentre in ambiente alcalino viene fissato dal Ca sotto forma di fosfato bi- e tricalcico insolubile. Esso inoltre può fissarsi in maniera stabile sui minerali argillosi in una forma non assimilabile dalle piante.

Ad eccezione dei suoli agrari e dei siti dove forte è l'erosione superficiale, gli asporti e le perdite di fosforo sono minime, mentre molto comuni sono le sue trasformazioni chimiche in prodotti a diversa assimilabilità.

I valori di riferimento per il fosforo (espresso sia come P che come P₂O₅) in suoli agrari sono presentati nella Tab. 1.9.

Tab.1.9. Valori di riferimento per il fosforo in ambito agricolo (Landi, 1988).

TERRENI	TOTALE		ASSIMILABILE (BRAY)		ASSIMILABILE (OLSEN)	
	P (‰)	P ₂ O ₅ (‰)	P (ppm)	P ₂ O ₅ (ppm)	P (ppm)	P ₂ O ₅ (ppm)
Poveri	< 0.10	< 0.25	< 5	< 11	< 3	< 6
Scarsam.dot.	0.10 - 0.20	0.25 - 0.45	5 - 15	11 - 35	3 - 6	6 - 13
Ben dotati	0.20 - 0.35	0.45 - 0.80	15 - 30	35 - 69	6 - 10	13 - 25
Molto dotati	0.35 - 0.60	0.80 - 1.4	30 - 40	69 - 90	10 - 17	25 - 40
Ricchi	> 0.60	> 1.4	> 40	> 90	> 17	> 40

Macro- e microelementi

In genere nella gran parte dei suoli naturali vi sono sempre contenuti sufficienti di minerali primari e secondari, di origine pedogenetica, da garantire un adeguato apporto di macro- e di microelementi attraverso i normali processi di alterazione. Inoltre la sostanza organica costituisce una riserva importante di nutrienti che, attraverso i processi di decomposizione e di umificazione, vengono rimessi in circolazione, controilanciando le eventuali perdite.

Dunque, spesso le limitazioni alla nutrizione minerale delle piante sono dovute non tanto ad una troppo bassa concentrazione di un determinato elemento, quanto ad un pH che ne diminuisce considerevolmente la disponibilità, oppure ad una situazione di squilibrio nei rapporti tra le forme assimilabili dei vari ioni.

Ad es. l'eccesso di uno dei tre principali cationi scambiabili – Ca, Mg, K – riduce o addirittura annulla l'assorbimento degli altri due per un fenomeno di antagonismo. Il rapporto Ca/Mg ottimale, che garantisce una buona disponibilità di entrambe gli elementi, è compreso tra 3:1 e 5:1 (Landon, 1991); per valori più alti si ha una insufficiente disponibilità di Mg e, viceversa, quando i valori di questo rapporto si abbassano molto, è il Ca ad essere carente e la struttura del suolo diventa più debole per

deflocculazione dell'argilla. Un rapporto Ca/Mg particolarmente basso (<1) si riscontra ad es. nei suoli sulle ofioliti, rocce molto ricche di Mg, anche se è stato dimostrato che, con l'evoluzione pedologica, questo rapporto tende gradualmente ad invertirsi a favore del Ca (Bini et al., 1984). Viceversa, su rocce calcaree, gli stadi iniziali della pedogenesi sono dei suoli con un complesso assorbente saturato dal Ca, e ciò può determinare fenomeni di carenza nei riguardi degli altri ioni della fertilità.

Anche il rapporto Mg/K può costituire un fattore limitante quando si allontana dal valore normale 2:1 (Landon, 1991), in quanto per valori troppo alti o troppo bassi, l'assunzione dell'uno o dell'altro elemento può venire seriamente compromessa; e così pure, se il rapporto K/Ca è maggiore di 1:1, la nutrizione in Ca diventa deficitaria.

Per quanto riguarda i microelementi, la loro concentrazione nel suolo deve oscillare entro un intervallo piuttosto ristretto per garantire che essi possano svolgere la loro azione metabolica nei riguardi delle piante e dei microrganismi edafici, senza procurare effetti tossici dovuti a dosi eccessive. Tuttavia, ai fini della nutrizione vegetale, ciò che conta è la frazione "assimilabile" di ciascun elemento - quella chelata con la sostanza organica o legata al complesso assorbente del suolo in una forma "scambiabile" - che è strettamente correlata con il pH: la disponibilità della gran parte dei microelementi infatti cresce all'aumentare dell'acidità del suolo, talvolta in modo esponenziale.

Nella Tab. 1.10 si riportano per i principali microelementi i *ranges* di concentrazione che normalmente si ritrovano nei suoli e la loro concentrazione "critica", al di sopra della quale essi possono diventare tossici.

METALLO	RANGE NORMALE (ppm)	ORIZZ. MINERALE CONC. CRITICA	ORIZZ. ORGANICO CONC. CRITICA
Fe	200 - 100.000		
Cr	10 - 100	75 - 100	30
Ni	10 - 100	95	
Mn	20 - 3.000	1.500 - 3.000	
Zn	10 - 300	170	300
Cu	1 - 50	60	20
Pb	10 - 100	100 - 400	500
Cd	< 1	3 - 8	3,5

Tab. 1.10. Concentrazioni normali e critiche di alcuni microelementi nei suoli (Vanmechelen et al., 1997).

Le quantità normalmente presenti nel terreno dipendono dalla natura della roccia madre e dal grado di alterabilità dei minerali che la compongono: i suoli su sabbie silicee e su arenarie sono fra i più poveri di microelementi, mentre quelli derivati da rocce eruttive basiche sono ben provvisti di Cu, Mn e Zn; nel caso particolare dei substrati ofiolitici, i suoli ereditano dalla roccia concentrazioni di alcuni microelementi (Ni, Cr e Co) che possono essere così elevate da costituire degli ambienti altamente selettivi per le specie vegetali (Bini et al., 1984; Carter et al., 1987; Vianello, 1993). Su calcari si formano suoli che sono ben dotati di microelementi, anche se spesso, a causa della reazione alcalina, questi non sono in una forma assimilabile per la vegetazione.

Quindi, con l'eccezione dei suoli derivati dai serpentini e da rocce ultrabasiche in genere, i terreni naturali non hanno in genere delle limitazioni dovute a concentrazioni eccessive di ioni, sali o metalli fitotossici. Nel caso delle cave, però, la presenza di dosi talvolta elevate di uno o più microelementi in accumuli o strati residui dell'attività estrattiva, può creare grossi problemi di inquinamento ambientale e di sviluppo vegetale.

Foto 1.9. Suolo di pianura: suolo in aree morfologicamente rilevate della pianura alluvionale: Gruppo 3 della classificazione regionale (Regione Emilia-Romagna, 1994).

Foto 1.10 Suolo di collina: suolo poco evoluto per erosione da ruscellamento: Gruppo 5 della classificazione regionale (Regione Emilia-Romagna, 1994).



1.2.4 FERTILITÀ DEL TERRENO (D. Neri)

Prima di descrivere le strategie e le tecniche volte alla creazione di fertilità in substrati minerali inerti, è necessario definire il concetto di “fertilità” di un terreno. In prima approssimazione, la fertilità è la “capacità di un suolo di fornire nutrienti essenziali per la crescita dei vegetali” (SSSA, 1996). Questa definizione non assegna al suolo una funzione autonoma se non quella di fornire nutrienti. In una definizione più articolata la fertilità è la “capacità di un suolo di sostenere la crescita delle piante da ogni punto di vista; le componenti della fertilità sono chimiche, fisiche, microbiologiche ed altre” (Sequi e Chérourx, 1998). Il suolo è parte attiva della produzione perché sostiene non solo la crescita ma anche qualcos'altro di positivo: si può pensare che sia sottintesa la qualità o l'efficienza del processo produttivo. Inoltre, la specifica descrizione delle componenti non si ferma a quelle dell'agronomia classica, ma va oltre e considera altri elementi, anche le allelopatie ovvero il comportamento di relazione tra organismi, basato sullo scambio di segnali chimici diretti e residui nel terreno.

Quest'ultimo aspetto è incluso in modo esplicito nella definizione di fertilità di Zucconi (1996): “capacità dell'ecosistema suolo di creare condizioni di vivibilità per le piante, che non può essere adeguatamente espressa dalle sole analisi fisico-chimiche, ma dovrebbe essere corredata anche da analisi allelopatiche e colturali; è quindi una proprietà intrinseca del suolo in grado di contribuire alla crescita delle piante e, in agricoltura, alla loro produttività”.

Infine, in una definizione accettata dal “movimento organico” internazionale per cui la fertilità è “la condizione di un suolo ricco di humus in cui la crescita procede rapidamente, senza ostacoli ed efficientemente”, il termine implica abbondanza, alta qualità e resistenza alle malattie. Si mette in evidenza come in un terreno fertile non ci sia contrapposizione fra produttività e qualità, cosa quest'ultima dimostratasi tristemente vera nell'agricoltura convenzionale che si è dimenticata del terreno come fattore della produzione. La fertilità permette crescite rapide, efficienti e con piante

sane, ovvero in un ambiente in grado di ridurre l'incidenza delle malattie su piante meno suscettibili, perché equilibrate. Questo tipo di fertilità dovrebbe essere l'obiettivo da perseguire in tutte le attività agricole e nel recupero ambientale. Il fattore intrinseco che determina la fertilità nella sua accezione più ampia è l'humus. Quest'ultimo può essere solo superficialmente scambiato con il contenuto di sostanza organica, ovviamente la paglia non è humus e così pure una larva d'insetto. Esso è il prodotto stabile della degradazione della sostanza organica, ottenuto attraverso processi di polimerizzazione dei cataboliti e dei residui della decomposizione (Zucconi, 1996).

Le proprietà, che l'humus concorre a conferire al terreno, sono chimiche (è un colloide con grande superficie specifica, elevata capacità di assorbire acqua, di chelare microelementi, di scambiare macroelementi, ecc.), fisiche (struttura, micro e macroporosità, capacità di trattenere acqua, ecc.) ed ecofisiologiche (in quanto il processo di umificazione stabilizza i residui organici (Fig. 1.3). Va comunque ricordato che una grande presenza di attività biologica da sola è fonte di miglioramento delle condizioni di vivibilità e della disponibilità di elementi per la crescita dei vegetali (Fig. 1.4). La sostanza organica interagisce con la disponibilità di tutti gli elementi minerali regolandone solubilità e assorbibilità.

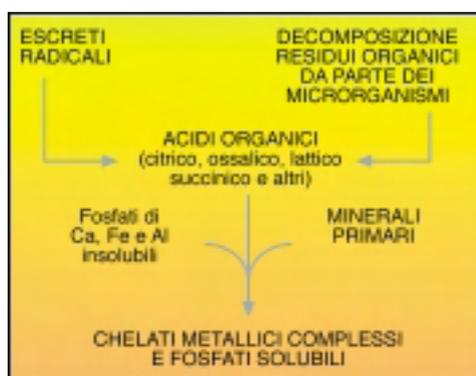
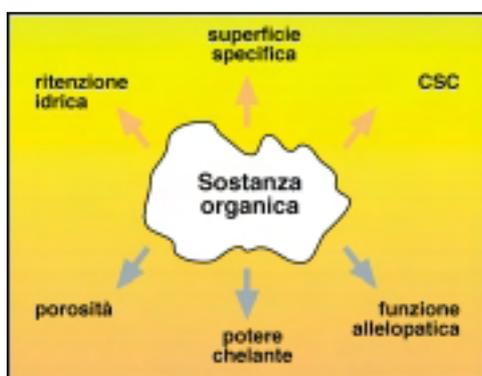


Fig.1.3. Colloide organico in grado di modificare le principali proprietà chimico-fisiche del terreno e al tempo stesso, attraverso la funzione allelopatica, di influenzare i rapporti fra specie vegetali. In grigio sono riportate le funzioni che nei colloidi argillosi sono generalmente carenti.

Fig.1.4. Schema del rilascio del fosforo da forma insolubile a forma solubile attraverso l'azione di acidi organici e di altri chelanti naturali. L'assorbimento del fosforo è quindi fortemente controllato dalla vegetazione e dalle popolazioni microbiche presenti nel suolo.

Fertilità come risorsa

La sostanza organica è quindi una risorsa importante del terreno. In effetti, la fertilità organica può anche essere espressa come capacità di rifornire la copertura vegetale in crescita dei principali elementi minerali. In un terreno al 2% di sostanza organica (equivalente a 72 t_{SS} /ha in 30 cm con densità del terreno pari a 1,2) con mineralizzazione al 2% annuo (K_2) si ossidano 1,4 t/ha di humus che liberano circa 70 kg/ha di N (5%) (Fig. 1.5). Questa quantità di azoto è in grado di sostenere la crescita di una biomassa vegetale di alcune tonnellate per ettaro.

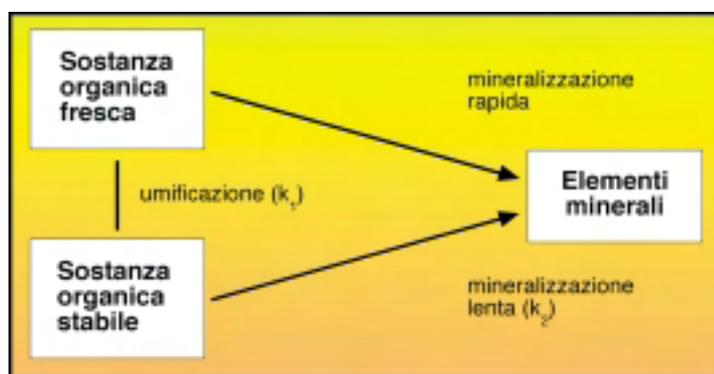


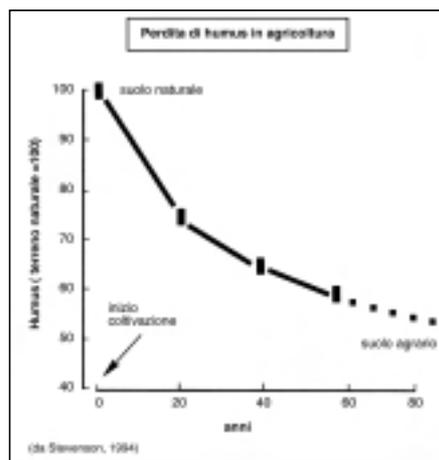
Fig.1.5. La sostanza organica stabile nel terreno è, per gran parte, humus: questa, lentamente, si mineralizza (k_2), ma si rifornisce continuamente a partire dagli apporti organici esterni (k_1). Se il reintegro della frazione stabile non compensa la mineralizzazione si ha un impoverimento del sistema, anche se temporaneamente la produzione può risultare aumentata, per la maggiore presenza di nutrienti disponibili. Il processo è in questo caso insostenibile e ben presto richiederà aiuti esterni alla produzione sempre più elevati.

Un ambiente in equilibrio, in grado di mantenere costante la propria fertilità, dovrebbe restituire al terreno almeno una quantità di residui organici tale da ricostituire l'humus mineralizzato (sostenibilità del processo). Nel caso sopra descritto occorrono 5 t_{SS} di residui ogni anno, se l'umificazione (K_1) è al 30 %, per mantene-

re il livello di fertilità costante. Se l'umificazione prevista è più bassa, l'apporto organico dovrebbe essere proporzionalmente maggiore. La soglia di 70 t/ha di humus nei primi 30 cm di suolo può essere considerata come un valore limite per un ripristino stabile di una copertura erbacea di tipo naturale.

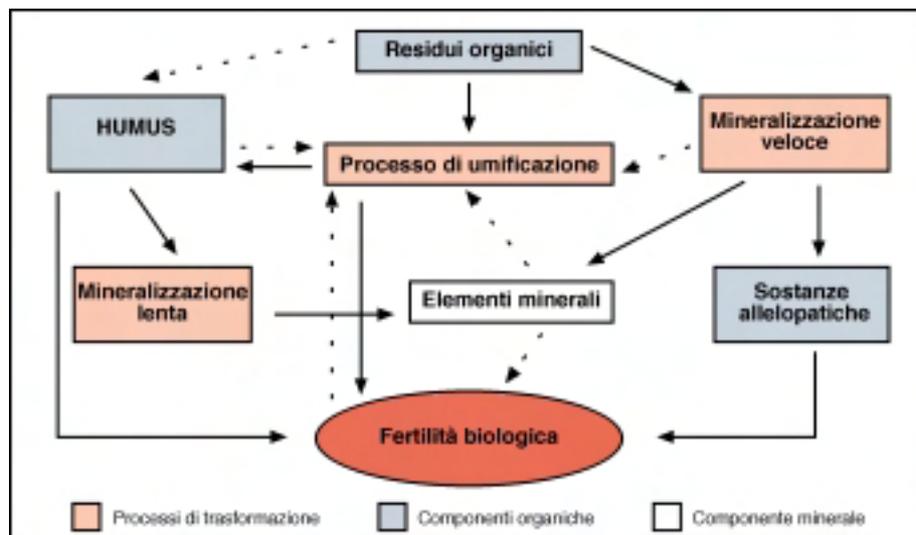
Va sottolineato che l'attività agricola tende a ridurre la risorsa fertilità nel momento in cui si mette a coltura un terreno. La messa a coltura, infatti, riduce la diversità e quindi il processo di umificazione e d'altra parte, in modo più o meno consapevole, sfrutta il momentaneo vantaggio dovuto alla maggiore mineralizzazione indotta dalle lavorazioni e quindi a più elevata disponibilità di elementi (Fig. 1.6). Questo ha una grande importanza nel recupero di terreni ex-agricoli che comunque presentano sempre percentuali di sostanza organica ed indici di attività microbiche limitate.

Fig. 1.6. La messa a coltura di terreni ricchi di sostanza organica, come nel caso di alcune praterie, comporta un calo fisiologico del contenuto in humus, che può essere anche del 50 % in pochi anni. L'abilità dell'agricoltore può ridurre l'impovertimento ulteriore del terreno e mantenere la fertilità ad un livello che, seppure inferiore a quello naturale, sia ancora compatibile con una buona autonomia delle coltivazioni (Stevenson, 1994).



La presenza di quantitativi elevati di sostanza organica nel terreno conferisce quindi migliori condizioni di fertilità al terreno e maggiore autonomia alle piante. Il ripristino di un ciclo "virtuoso" della sostanza organica è sempre legato alla conoscenza di come questa evolve ed umifica e dell'impatto che le diverse fasi evolutive dei residui organici nel terreno hanno sulla radice e sulla nutrizione (Fig. 1.7).

Fig. 1.7. Formazione della fertilità biologica a partire dai residui colturali e organici vari. Le linee intere rappresentano le connessioni principali, quelle tratteggiate le relazioni significative solo in alcune situazioni specifiche e quindi non generalizzabili o quantitativamente trascurabili (modificato da autori vari).



E' evidente il ruolo importantissimo del processo di umificazione e dell'humus in qualsiasi processo di ricolonizzazione, i cui tempi di recupero saranno scanditi dalla capacità dell'ecosistema di ripristinare un tenore adeguato di sostanza organica stabile nel profilo del suolo.

Un ulteriore elemento da considerare è la durata delle diverse frazioni organiche presenti nel e sul terreno (Tab. 1.11). L'ottenimento di frazioni stabili rappresenta un obiettivo fondamentale per garantire l'effetto nel tempo di ogni processo di recupero.

FRAZIONE	DESCRIZIONE	TEMPO DI DIMEZZAMENTO
Materiale vegetale decomponibile	Facilmente decomponibile (sovesci)	1-2 mesi
Materiale vegetale resistente	Resistente (lignificato)	2-3 anni
Biomassa del terreno	Vivente	1-2 anni
Sostanza organica stabilizzata	Fisicamente protetta, decomponibile (humus, compost)	40-50 anni
Sostanza organica chimicamente stabilizzata	Sostanza organica libera, resistente all'attacco biologico (plastiche)	2000 anni

Tab. 1.11. Tempo di dimezzamento delle principali frazioni della sostanza organica, secondo un'esperienza decennale (Jenkinson et al., 1977, modificato: Cozzolino, 1999).

La difficoltà di migliorare le caratteristiche del terreno in modo naturale sono ben esemplificate dal tempo necessario a migliorare attraverso una coltura prativa il contenuto di N negli strati più superficiali del profilo (Fig. 1.8). La quantità di N presente è generalmente proporzionale alla quantità di carbonio.

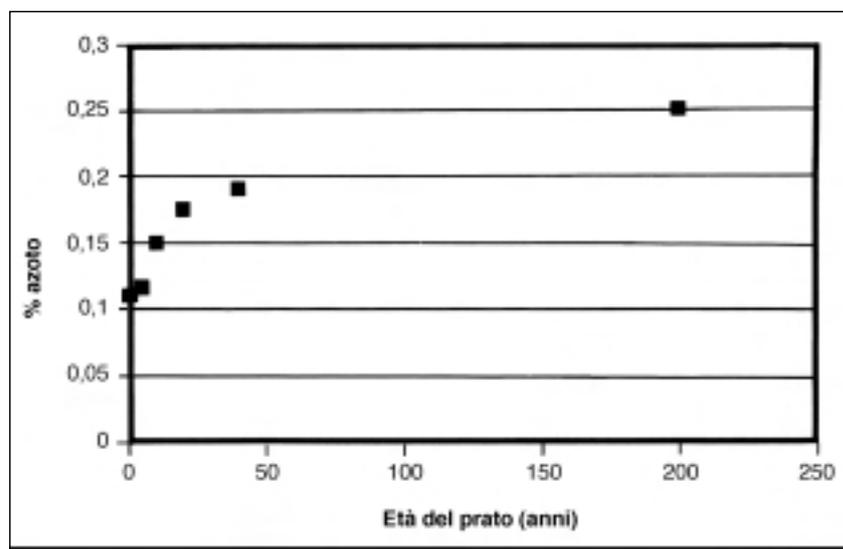


Fig. 1.8. Accumulo di azoto negli anni nello strato superficiale del terreno (22 cm), in seguito alla realizzazione di un prato su di un terreno arativo (Russel, 1986, modificato).

Il destino della sostanza organica: qualità del substrato

Il materiale organico, di origine animale o vegetale, viene ossidato e idrolizzato in funzione dell'attività della popolazione microbica presente nel terreno. La velocità di decomposizione è condizionata dalla qualità del substrato e da fattori ambientali.

Considerando un substrato vegetale, le caratteristiche importanti al fine della decomposizione sono: quantità e qualità del carbonio organico e dell'azoto ed il loro rapporto (C/N). La qualità dei residui vegetali può essere estremamente varia. Ad esempio, i residui legnosi e i tessuti maturi sono ricchi in lignina, mentre i residui erbacei e i tessuti giovani sono più ricchi in cellulosa; i residui di leguminose sono più ricchi di azoto rispetto a quelli delle graminacee.

La decomposizione inizia con l'attacco a sostanze solubili e alle emicellulose che incrostano le fibre di cellulosa, poi, con il proseguire della degradazione, aumenta l'attacco alla cellulosa. Tutto questo è accompagnato da un considerevole sviluppo di anidride carbonica ed acqua. Al contrario, la lignina è più resistente alla decomposizione microbica e relativamente poche sono le specie capaci di decomporla. Poiché essa incrosta le fibre di cellulosa influenza fortemente la velocità di decomposizione dei residui, rendendoli complessivamente meno accessibili alla microflora.

Infatti, una presenza del 15% di lignina rallenta già in modo significativo la velocità di decomposizione del substrato; il 20-30%, come si riscontra nel legno, rallenta a tal punto la decomposizione che questo materiale non ha più valore come fonte di humus; un 40% rende la fibra praticamente inattaccabile (Russell, 1982). Di conseguenza anche se in alcune teorie la lignina è considerata indispensabile nella formazione dell'humus, l'eccesso non sembra offrire vantaggi.

Anche il contenuto d'azoto è importante per la decomposizione della S.O.. Come descritto in precedenza, i microrganismi hanno bisogno dell'azoto per completare il loro ciclo vitale.

Al contrario, materia organica ricca in azoto ne libera grandi quantità, in tempi molto brevi, tali da non poter essere sfruttate fino in fondo dalle piante e dall'ecosistema, e l'eccesso di azoto, se non è bloccato dalla vegetazione in atto o dal substrato, viene perso per dilavamento, dopo essere stato mineralizzato. La quantità di azoto richiesta durante la decomposizione di un materiale organico viene definita col nome di "fattore azoto" ed esprime i grammi di azoto ammoniacale immobilizzati da 100 grammi di sostanza organica in decomposizione. I valori che si possono ritrovare in letteratura sono indicativi poiché il fattore azoto è fortemente influenzato dalle condizioni climatiche.

Ne deriva che il rapporto C/N è un buon indicatore della qualità del materiale ammendante o fertilizzante. A differenza di quanto generalmente ritenuto, il rapporto C/N degli ammendanti e dei residui colturali deve restare relativamente elevato per favorire l'avvento di trasformazioni umigene nel terreno. Il consumo di carbonio della microflora tellurica equivale all'incirca a due volte quello utilizzato plasticamente nella costituzione della loro biomassa, con il risultato che valori ideali di C/N per apporti esogeni sono intorno a 40-50 per materiali instabili, destinati comunque a provocare fame azotata, e 25-35 per quelli parzialmente stabili (umificati solo in parte e ad elevato coefficiente isoumico) (Zucconi, 1996). L'humus, nei suoli di aree a clima temperato, presenta un rapporto C/N vicino a 10 o leggermente superiore.

Destino della sostanza organica: fattori ambientali

I substrati organici hanno un'azione trofica diretta sull'attività microbica, mentre i fattori ambientali definiscono le condizioni di sviluppo della microflora stessa. Tra questi fattori si possono considerare: le caratteristiche del terreno, il clima e le pratiche agronomiche. Temperatura ed umidità sono le condizioni più evidenti di questa interazione. La temperatura è sicuramente uno tra i fattori più importanti che determinano la rapida metabolizzazione di materie organiche. Tenzialmente l'attività microbica aumenta con l'aumentare della temperatura, fino ad un massimo compreso tra i 30-40°C, in funzione della specie microbica presa in considerazione. E' stato dimostrato che aree caratterizzate da un clima più caldo, presentano mediamente un contenuto di sostanza organica più basso rispetto ad aree più fredde. L'umidità è d'altronde necessaria per lo sviluppo della microflora, favorendo anche la mobilitazione all'interno del terreno. Valori troppo elevati d'umidità impediscono però la diffusione dell'aria e quindi riducono la disponibilità di ossigeno. Generalmente, l'attività respiratoria massima dei microrganismi avviene a valori compresi tra il 60 e l' 80% della capacità di campo (Casella, 1993).

In ambiente asfittico prevalgono attività fermentative e l'accumulo di metaboliti intermedi. Infatti, mentre in ambiente aerobico si ottiene la mineralizzazione o l'umificazione della sostanza organica, in ambiente anaerobico, la demolizione dei tessuti è parziale.

Le caratteristiche chimiche del terreno, ed in particolare il pH, favoriscono lo sviluppo solo di alcuni gruppi di microrganismi (acidofili, neutrofilo o basofili) e questo si ripercuote anche sull'evoluzione dei residui organici.

Per quanto riguarda l'intervento dell'uomo con le pratiche agricole, non è da sottovalutare l'influenza che esso ha avuto nell'alterazione degli equilibri del suolo verso una condizione generale di desertificazione. Quantità e qualità delle lavorazioni, monocolture e avvicendamenti stretti, fumigazioni, trattamenti antiparassitari indiscriminati e concimazioni minerali sono considerate le pratiche che più influiscono sul ciclo della sostanza organica, favorendo la mineralizzazione e/o alterando il processo umificativo.

Le lavorazioni, quando vengono fatte in maniera indiscriminata, influenzano il ciclo della sostanza organica abbassandone il contenuto nel terreno. Più precisamente la profondità e la frequenza delle lavorazioni sono i fattori principali che influenzano maggiormente l'ossidazione della sostanza organica. Gli interventi con i mezzi meccanici, rivoltando e/o disgregando il terreno, aumentano la superficie di contatto tra aria e suolo, favorendo la mineralizzazione non solo dei residui organici, ma anche delle particelle più stabili come l'humus. Ne deriva che per una migliore gestione della fertilità del terreno, sono da preferire quegli interventi dissodativi che riducono al minimo il contatto tra aria e suolo. Le lavorazioni minime "minimum tillage", la semina su sodo e la rippatura piuttosto che un'aratura profonda, sono delle valide alternative per il mantenimento della sostanza organica.

Una situazione analoga, seppure con modalità di comparsa più lenta e meno accentuata come manifestazione dei sintomi, deriva dalla monocoltura. Infatti, mentre in un prato polifita, quantità e qualità dei residui radicali sono estremamente diversificati, e ciò favorisce lo sviluppo di cenosi microbiche saprofitiche (Zucconi, 1996), le colture agrarie, normalmente, apportano un solo (o al limite pochi) tipi di residui. Quest'ultima condizione favorisce, a sua volta, lo sviluppo di popolazioni microbiche poco differenziate. Tale fenomeno è tanto più accentuato tanto più la rotazione colturale è stretta, con evidenti ripercussioni sulla possibilità di accumulare sostanza organica umificata; mentre è meno evidente per rotazioni lunghe (Fig. 1.9).

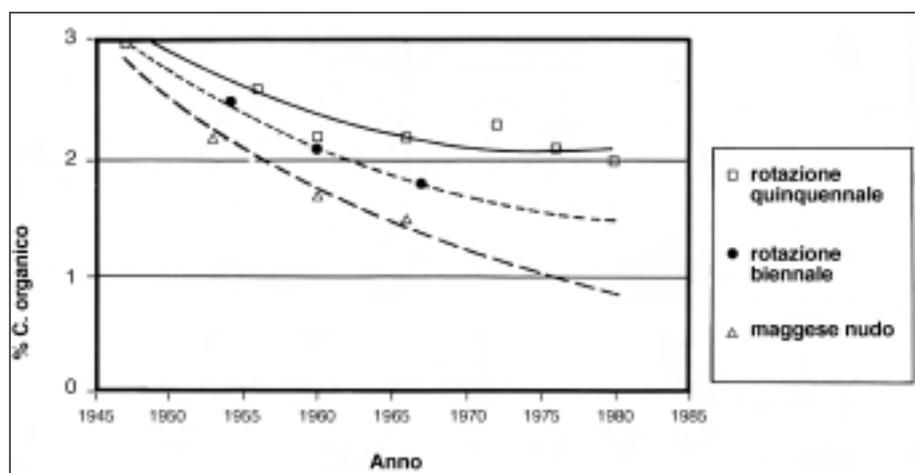


Fig.1.9. Le rotazioni lunghe simulano, su scala ridotta, un apporto diversificato di sostanza organica, favorendo i processi umificativi e limitando le perdite complessive (modificato da Russel, 1988).

Infine, le quantità di sostanza organica e di humus presenti nel terreno dipendono non solo dalle quantità e qualità dei residui e dei concimi ed ammendanti (organici e minerali) che pervengono al suolo, ma anche dal particolare orientamento e dalla velocità relativa dei processi di umificazione e di mineralizzazione a cui tali residui sono sottoposti in rapporto al clima e ad alcune caratteristiche fisiche e chimiche dei suoli in quanto regolanti l'attività dei microrganismi e della fauna terricola.

Umificazione

È un processo non ancora ben chiarito, su cui esistono diverse teorie e numerosi studi sulle principali vie biosintetiche che portano alla formazione del colloide umico. Da un punto di vista tecnico agronomico, è però centrale non tanto il processo tal quale ma soprattutto le condizioni ed i fattori che lo regolano. È esaustiva da questo punto di vista la definizione data da Zucconi (1996) "è un processo di stabilizzazione della sostanza organica caratterizzato dalla polimerizzazione dei residui della decomposizione in polimeri tridimensionali. L'umificazione costituisce pertanto il secondo stadio stabilizzativo della degradazione della sostanza organica, dove e quando il suo metabolismo segue questa via. Rappresenta un processo di accumulo di energia organica in composti ad alto peso molecolare e poco degradabili".

Assume un valore applicativo fondamentale la descrizione dei fattori che regolano tale processo: biotici ed abiotici.

Fattori biotici: per l'umificazione è necessaria la presenza di una microflora varia e diversificata. La specializzazione delle attività metaboliche fa sì che lo sfruttamento completo di un substrato organico richieda la cooperazione di organismi diversi capaci di utilizzarne tutte le frazioni, inclusi i metaboliti e le spoglie degli organismi che si succedono su di esso. Non si tratta tuttavia di un uso sequenziale del substrato, ma di un'aggressione congiunta o *cenotrofismo* (Zucconi, 1996). Indispensabile per creare questa condizione è la presenza di un substrato organico differenziato in rapporto alla propria origine, definito *substrato poligenico*. La ragione è che la composizione del materiale organico esercita un ruolo primario sulla selezione delle popolazioni microbiche che possono insediarsi, e sui processi metabolici ed i prodotti che ne derivano (Zucconi, 1996).

Fattori abiotici: perché avvenga una buona umificazione del substrato organico è necessario che siano mantenute condizioni di aerobiosi, ma allo stesso tempo che la velocità di decomposizione della sostanza organica non sia troppo elevata (microaerobiosi). Ne deriva che tutti i fattori in grado di rallentare l'attività microbica globale, pur mantenendo condizioni di aerobiosi ottimali, sono da considerarsi ideali per la formazione di humus.

Anche la tessitura del terreno presenta un ruolo importante: terreni tendenzialmente argillosi hanno un contenuto d'humus superiore a quelli sabbiosi, per i minori scambi gassosi. Così anche i terreni di aree con climi piovosi hanno un contenuto superiore di humus (Dell'Agnola et al., 1993). Ristagni idrici prolungati hanno però un effetto contrario, favorendo metabolismi anomali, con liberazione di molecole solubili, tossiche per le piante.

La presenza di lignina nel substrato è considerato un fattore primario per l'umificazione, anche se come già scritto, solo in quantità limitate.

Ovviamente anche le pratiche agricole hanno effetti non trascurabili sui metabolismi del suolo, alterandone gli equilibri quasi sempre con effetto negativo.

Mineralizzazione

Si indica con tale termine la conversione delle forme organiche di nutrienti quali azoto, fosforo, potassio in quelle inorganiche, rispettive (Varanini e Nannipieri, 1993). Il processo è tipicamente aerobico.

Avviene in condizioni simili a quelle che favoriscono l'umificazione; è infatti impossibile che in presenza di umificazione non ci sia anche una quota di mineralizzazione della sostanza organica, anche se in misura ridotta. In realtà può avvenire una totale mineralizzazione della sostanza organica senza umificazione. In questo caso, le condizioni che regolano il processo, devono essere di elevata aerobiosi, con notevole sviluppo di biomassa microbica e con conseguente elevata velocità di degradazione del substrato.

Ad esempio, residui di erbai giovani con basso tenore di lignina, in terreni sabbiosi, con temperature elevate e ripetute lavorazioni del suolo che innalzano gli scambi gassosi, dopo l'interramento sono più soggetti a mineralizzazione e meno a umificazione. È stato riportato che sovesci giovani, poco o affatto lignificati, in alcuni casi, possono anche ridurre il tenore di humus del suolo, ovvero, presentano un indice di umificazione negativo (Zucconi, 1996).

La decomposizione rapida iniziale che accompagna la mineralizzazione ha come effetto accessorio la produzione di un numero elevato di metaboliti secondari intermedi dotati di forte fitotossicità. Questo processo è particolarmente evidente nel compostaggio industriale, che se non correttamente eseguito può mantenere metabolismi latenti molto pericolosi per un utilizzo diretto del compost in presenza di una vegetazione in crescita.

Altri metabolismi

Oltre alla mineralizzazione ed all'umificazione esistono altri metabolismi, non sempre spiegati ed identificati, con effetti tossici per lo sviluppo delle piante. E' da sottolineare però che alcuni di questi avvengono in condizioni particolari, e che quindi sono poco frequenti; tra questi è da ricordare la "stanchezza del terreno", in condivisioni di monosuccessione.

Altri fenomeni allelopatici, legati all'alterazione del metabolismo della sostanza organica possono verificarsi in condizioni di anaerobiosi, dovuta a ristagni idrici o ad un collasso della struttura del terreno. La conseguenza è la produzione di molecole solubili tossiche alle radici, già in difficoltà per la carenza di ossigeno.

Anche l'aggiunta in eccesso al terreno di sostanze particolari, come tannini o acque di vegetazione delle olive, può determinare fenomeni temporanei di fitotossicità e, in alcuni casi, danni permanenti alle caratteristiche fisiche, chimiche e biologiche del terreno (Zucconi, 1996). I fattori per un uso ottimale di substrati organici diversi sono quelli coinvolti nel processo naturale di umificazione, cui dobbiamo fare riferimento per recuperare sostenibilità alle produzioni e ridurre l'uso di input esterni.

Gli apporti di sostanza organica

Il sovescio e il prato, anche se con intensità differenti, hanno la capacità di arricchire la dotazione di sostanza organica. Il problema è però stimare quanta sostanza organica stabile o humus realmente apportano. Tutti gli studi fatti su questo argomento, hanno evidenziato la difficoltà di effettuare una previsione esatta della variazione del contenuto in humus del terreno, poiché i fattori che influenzano la degradazione della sostanza organica sono molteplici. Ne deriva che la stima dei quantitativi della variazione della sostanza organica apportata viene fatta in forma molto semplificata.

Nel caso del sovescio, il primo passo da compiere è quello di calcolare la biomassa vegetale che sarà interrata nel terreno. Qui sorgono le prime difficoltà, perché mentre il calcolo della massa fogliare può essere fatto semplicemente campionando la vegetazione, per le radici la stima è più difficile da fare. Si può procedere ad una stima dell'apparato radicale, estraendo a campione le piante. Relativamente facile per la monocoltura, ma quasi impossibile per miscugli e sovesci di flora spontanea. In effetti, generalmente si considera soltanto la parte aerea, in questo caso una stima per difetto è migliore di una per eccesso.

Bisogna in seguito calcolare il quantitativo di sostanza secca prodotta. Il materiale di origine organica interrato subisce poi processi di umificazione e di mineralizzazione. Questi dipendono a loro volta dalle caratteristiche del terreno (tessitura, umidità, ecc.) e dalla qualità stessa del materiale sovesciato. Ne deriva che ciascuna matrice organica ha una propria potenzialità di essere trasformata in humus.

Studi condotti su questo argomento hanno portato alla stima media della resa in humus di prodotti organici. Questa resa viene indicata con il termine di coefficiente isoumico il cui simbolo è " K_1 ", ovvero la quantità di sostanza organica rimasta nel terreno dopo un anno dall'interramento in percentuale rispetto al valore iniziale. Così, un sovescio maturo può avere un coefficiente isoumico pari a 0,2 mentre un sovescio fresco scende a 0,04 (Cozzolino, 1998). Dal prodotto della sostanza secca interrata per il coefficiente isoumico, si ottiene una stima di quanto humus possiamo apportare con il sovescio (Tab. 1.12). E' da ricordare che questa però resta una stima e che, i coefficienti isoumici, in realtà, possono cambiare, in base alla tecnica di sovescio, al tipo di terreno ed alle condizioni pedo-climatiche.

Tab.1.12. La tabella indica le caratteristiche principali per il calcolo del quantitativo di humus prodotto da alcune matrici organiche (Costantini, 1994, modificato).

PRODOTTO	% SOSTANZA SECCA (S.S.)	C/N	COEFFICIENTE ISOUIMICO(K ₁)%	HUMUS STABILE IN KG PER T DI NECROMASSE TAL QUALE (S.S. * K ₁)
<i>Residui vegetali</i>				
Residui di mais	84	52	20	168
Paglia di avena	87	100	15	130,5
Paglia orzo	86	87	15	129
Paglia segale	88	63	15	132
Piante girasole	85	30	20	170
Piante sorgo secco	85	95	20	170
<i>Ammendanti organici</i>				
Letame bovino	22	29	30	66
Letame equino	30	23	30	90
Letame suino	28	31	30	84
Letame ovino	35	22	30	105
<i>Materiali verdi</i>				
Erba medica	20	16	25	50
Prato stabile	17	19	20	34
Erbaio di avena	14	22	20	28
Erbaio colza	8	12	25	20
Erbaio loietto	19	30	20	38
Erbaio giovane di mais	13	37	20	26
Erbaio orzo	14	22	20	28
Erbaio pisello	13	15	25	19,5
Erbaio segale	14	18	20	28
Erbaio sorgo	18	61	20	36
Erbaio vecchia	14	15	25	35
Erbaio trifoglio incarnato	11	16	25	27,5
Erbaio vigna sinensis	11	15	25	27,5

Oltre a calcolare gli apporti di humus è necessario anche calcolare le perdite, poiché la sostanza organica presente nel terreno, per quanto possa essere stabile, va incontro a sua volta a degradazione o meglio a mineralizzazione lenta. Anche in questo caso il calcolo delle perdite si basa su una stima. Un fattore che incide sulla perdita di humus è il tipo di terreno stesso. In questo caso sono stati stimati coefficienti di mineralizzazione dell'humus indicati col simbolo K₂ che indicano appunto la percentuale di humus persa per mineralizzazione, ogni anno senza che il terreno venga disturbato (Tab. 1.13).

Tab.1.13. Coefficiente di distruzione dell'humus, in base alla tipologia di terreno (Perelli, 1987, modificato; Cozzolino, 1998).

SUOLO	ARGILLA (%)	CALCARE (%)	pH	K ₂
Sabbioso	5	1	7	2
Sabbioso acido	5	1	5	1
Sabbioso calcareo	5	10	8	1,7
Medio impasto	15	1	7,5	1,6
Limoso argilloso	22	1	7,5	1,3
Limoso calcareo	10	30	8,1	0,9
Argilloso	38	1	7,5	1
Argilloso calcareo	30	15	8	0,7

Per la stima di questo coefficiente è stata proposta la formula che di seguito riportiamo. Questo coefficiente andrebbe però corretto, secondo il tipo di coltura e la zona climatica. Così, per la Francia hanno stimato che in orticoltura di pieno campo, il K₂ varia da 2, per il nord della Francia, a 3 per le zone meridionali; mentre ha valore 4 per le colture protette (Costantini, 1994). Inoltre, la % di distruzione dell'hu-

mus, non è costante, cioè non ha un andamento lineare nel tempo, ma cambia in funzione della qualità della sostanza organica contenuta nel suolo. Perciò, terreni sottoposti a continue lavorazioni hanno un contenuto di sostanza organica basso, ma anche un K_2 ridotto, poiché nel suolo resta la sostanza organica più stabile (humus fossile) che ha tempi di degradazione molto lenti.

$$K_2 = \frac{1200}{(A + 20) * (C \text{ tot.} + 20)}$$

A = percentuale di argilla del terreno. $C \text{ tot.}$ = Percentuale di carbonati totali del terreno.

Formula per il calcolo del coefficiente di mineralizzazione (da Rémy et al., 1975; in Cozzolino, 1998).

Per il calcolo delle perdite totali di humus per ettaro è necessario conoscere per una profondità di almeno 30 cm la tessitura, il quantitativo di humus iniziale e la densità apparente del terreno. Dalla tessitura possiamo risalire al coefficiente di mineralizzazione, mentre dalla densità e dalla percentuale di humus è possibile calcolare l'effettivo contenuto in kg di humus.

Supponendo di avere un terreno argilloso al 2% di humus, con una densità apparente di $1,2 \text{ kg/dm}^3$ ed uno spessore di 30 cm interessato dalla coltivazione, il contenuto di humus in un ettaro di terreno è pari a $(3 \text{ dm} * 1000000 \text{ dm}^2 * 1,42 \text{ kg/dm}^3 * 0,02)$ ovvero 85200 kg. Per un terreno argilloso, essendo il K_2 pari 1%, ne deriva una perdita annua di humus pari a 852 kg.

A questo punto si possono fare due tipi di calcolo: il primo serve per fare un bilancio della sostanza organica stabile presente alla fine di ogni ciclo, dopo avere calcolato apporti e perdite. Il secondo serve per calcolare la massa di materia organica da introdurre nel suolo, per mantenere il tenore di humus costante nel tempo.

Ne deriva una formula semplice per il calcolo degli apporti di sostanza organica; dalla formula si evince la quantità di sostanza secca da apportare, per bilanciare le perdite di humus. Infatti, conoscendo la % di sostanza secca della biomassa da sovescio o di un altro ammendante organico, si ottiene la quantità complessiva da aggiungere.

$$Q = H \cdot \frac{K_2}{K_1}$$

Q = quantità di materia organica da apportare in Kg di sostanza secca. H = quantità di humus iniziale in Kg.
(da Costantini, 1994)

Questo calcolo è facilmente applicabile ad un sovescio, considerando il fatto che è costituito da una o poche specie vegetali, e comunque abbastanza omogeneo. Per un prato polifita, lo stesso calcolo trova seri limiti nell'applicazione. Anzitutto, non si esegue l'interramento, ma lo sfalcio della vegetazione, per cui la biomassa si trova più esposta all'aria, e meno ai microrganismi terricoli. Inoltre, i tagli del cotico vengono eseguiti periodicamente, ne deriva che ogni taglio avviene in condizioni climatiche diverse (più caldo o più freddo), e ciò incide sul coefficiente di isoumificazione; per la vegetazione spontanea, la stima (già di per se approssimativa) della sostanza secca prodotta è ancor più difficile sia per la parte aerea ma soprattutto per quella radicale; lo stesso prato polifita, assicura però un certo grado di biodiversità e di cenosi microbica, influenzando favorevolmente l'umificazione. Anche per il prato si possono trovare dei valori tabulati di K_1 ma sono di difficile applicabilità.

L'apporto di elementi minerali

La "cover crop" può arricchire un terreno di sostanza organica, attraverso l'introduzione di biomassa prodotta per fotosintesi, ma non può arricchire il terreno di elementi minerali, fatta eccezione per l'azoto. Come precedentemente ricordato, le leguminose sono una famiglia di piante che hanno la capacità di fissare l'azoto atmosferico, grazie alla simbiosi con alcuni microrganismi azotofissatori. Ne deriva che

la capacità di apportare azoto senza concimare diviene una realtà tecnicamente applicabile, grazie a questa simbiosi pianta – microrganismo.

Le quantità di azoto che possono essere fissate da una leguminosa sono estremamente variabili (Tab. 1.14) e dipendono soprattutto dal terreno. In particolare è necessario che siano presenti i batteri azotofissatori simbiotici per la specie coltivata. Così, condizione favorevole allo sviluppo di tali simbiosi è la presenza di sostanza organica, poiché influenza positivamente lo sviluppo della microflora, mentre è sfavorevole una presenza troppo elevata di azoto nitrico nel terreno, che inibisce la simbiosi.

Tab. 1.14. Valori di azoto fissato dalle principali specie di leguminose. Da notare l'estrema variabilità del valore
(Costantini, 1994, modificato).

SPECIE	N FISSATO (kg/ha)	SPECIE	N FISSATO (kg/ha)
Medica	78 – 222	Lenticchia	167 – 188
Medica/Erba marzolina	15 – 135	Trifoglio pratense	68 – 128
Ginestrino	49 – 112	Soia	22 – 309
Cece	23 – 84	Trifoglio sotterraneo	58 – 182
Fagiolo	2 – 215	Meliloto	4 – 133
Trifoglio incarnato	64	Trifoglio bianco	115 – 128
Favino	177 – 250	Fagiolo dall'occhio	100
Pisello	72 – 195	Pisello da foraggio	56
Veccia vellutata	111	Trifoglio ladino	163 – 200

Data l'estrema variabilità dell'azoto fissato, pur conoscendo l'azoto contenuto nelle piante, risulta molto difficile poter distinguere l'azoto proveniente dal terreno e quello di provenienza atmosferica, effettivamente fissato.

Un ulteriore dubbio riguarda la disponibilità degli elementi. Il sovescio e tutti i residui vegetali che finiscono nel terreno subiscono dei processi di decomposizione che danno origine all'humus e che liberano elementi minerali. Dalle formule descritte è possibile fare sia una stima della sostanza organica che viene trasformata in humus, sia una stima delle quantità di elementi minerali liberati.

Consideriamo per esempio di eseguire un sovescio con del favino. Supponiamo che la biomassa interrata sia di 5500 kg di sostanza secca e che il K_1 sia di 0,2. Vuol dire che al termine dei processi metabolici della microflora terricola si saranno formati 1100 kg di humus e 4400 kg saranno stati mineralizzati.

Se si considera che il tasso d'azoto in una leguminosa è di circa il 3%, ne deriva che dalla mineralizzazione dei 4400 kg sono stati liberati 132 kg di azoto. Un problema ulteriore è che non sono prevedibili indici sicuri di mineralizzazione e umificazione. E qui, anche la bibliografia non offre dati generalizzabili. I tempi dipendono fortemente dalle condizioni pedo-climatiche, ma dal 30 al 50% dell'azoto assorbito viene restituito entro un anno dal sovesciamento.

Un parametro per valutare l'attività dei microrganismi terricoli, ma non l'effettiva disponibilità di elementi, è il rapporto C/N. In particolare, da questo parametro ottenibile dalle analisi di laboratorio, è possibile intuire quali attività biologiche prevalgono nel terreno. Consideriamo l'humus come punto di riferimento, il quale ha, nei nostri climi, un rapporto C/N pari a 10. Se anche il terreno ha un rapporto C/N pari a 10, l'umificazione e la mineralizzazione sono in equilibrio. Se è al di fuori di tale valore, il terreno non è in condizione di stabilità. In particolare, se il valore è inferiore il processo di mineralizzazione prevale su quello di umificazione, aumentando la possibilità che gli elementi liberati vadano incontro a lisciviazione. Se il C/N è superiore a 10, significa che la matrice organica non ha raggiunto il giusto grado di maturazione e che parte dell'azoto disponibile per le piante può essere bloccato dai microrganismi all'attacco della stessa frazione organica.

Infine, la presenza di una copertura vegetale, influenzando il contenuto di sostanza organica e determinando un aumento dell'attività biologica del suolo, microbica ed enzimatica, rende maggiormente disponibili anche gli elementi difficili da assimilare (si pensi al fosforo in forma di fosfato tricalcico), con un positivo effetto sulla fertilità minerale del terreno, difficilmente stimabile (ma certamente non trascurabile).

1.2.5 LE SIMBIOSI MICORRIZICHE COME FATTORE ESSENZIALE PER UN RAPPORTO VANTAGGIOSO TRA PIANTE E SUOLO (S. Tosi)

I funghi giocano un ruolo fondamentale nella biosfera, essendo coinvolti in modo cruciale in numerosi processi ecologici per la loro funzione di decompositori. La diversità di questi organismi è estesissima e la rizosfera delle piante è uno degli ambienti più ricchi di specie (Vandenkoornhuysse et al., 2002). Proprio nell'ambito della rizosfera si realizzano rapporti tra i funghi del suolo e le radici delle piante. Quando tale rapporto diviene molto stretto anatomicamente e funzionalmente ci troviamo di fronte alla simbiosi micorrizica che è quindi l'associazione mutualistica simbiotica che si stabilisce tra i funghi del suolo (eterobionti) e le radici delle piante (autobionti). In natura più del 90 % delle piante, vive in simbiosi mutualistica con i funghi. La simbiosi micorrizica rappresenta un fenomeno ubiquitario che è già presente nei gametofiti delle briofite e negli sporofiti delle pteridofite. Le eccezioni alla micorriziazione sono molto limitate. Le piante acquatiche non presentano questa associazione e famiglie di Angiosperme quali *Chenopodiaceae*, *Brassicaceae*, *Caryophyllaceae*, *Polygonaceae* raramente formano simbiosi micorriziche (Tester et al., 1987).

Le micorrize sono i principali organi coinvolti nell'assunzione di nutrienti della maggioranza delle piante terrestri. Il fungo, influenza in modo altamente significativo l'assorbimento delle sostanze del suolo da parte dell'ospite vegetale. I partners dipendono l'uno dall'altro e si realizzano scambi di materiale tra le cellule vive di ambedue.

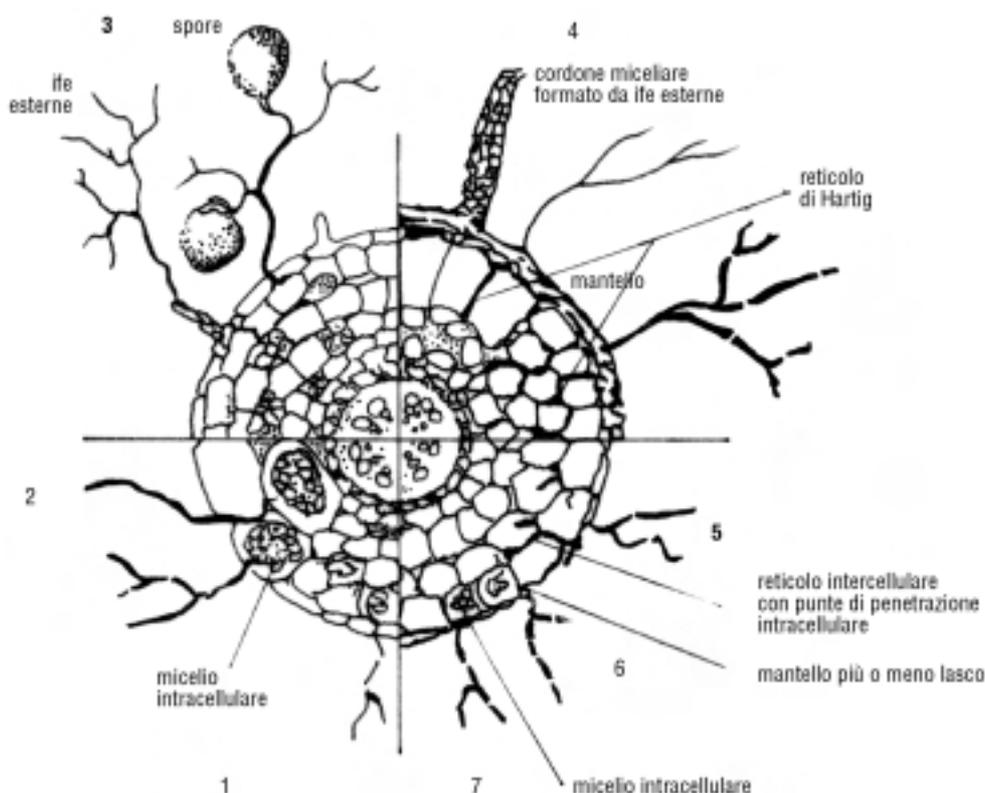


Fig. 1.10. Schema riassuntivo delle micorrize:
 in senso antiorario dal basso:
 1) delle Orchidacee;
 2) delle Ericacee;
 3) endomicorrize arbuscolari;
 4) ectomicorrize;
 5) ectomicorrize dei pini;
 6) ectoendomicorrize di *Monotropa*;
 7) ectoendomicorrize di *Arbutus*.

I vantaggi ecofisiologici della micorriziazione sono molteplici e complessi. Grazie all'interazione micorrizica la pianta riesce ad aumentare l'assunzione di fosforo, potassio, ferro, rame anche di 3-4 volte rispetto ad una pianta non micorrizata. Anche l'assunzione di acqua risulta facilitata. Questo determina un aumento in biomassa, in longevità e nella resistenza alle malattie della pianta interessata. Viene inoltre favorita la capacità di colonizzare ambienti aridi e poveri, aspetto questo molto importante per gli scopi di questo manuale. Dal punto di vista ecologico la presenza di micorrize favorisce la biodiversità e quindi la stabilità di un ecosistema e grazie ad esse si instaurano assetti vegetazionali più stabili con assi preferenziali di trasferimento dei nutrienti.

Le ife fungine, a seconda del tipo di infezione, possono penetrare nella cellula ospite (endomicrorrize) o svilupparsi principalmente esternamente alla radice, circondandola (ectomicrorrize). La maggior parte degli autori oggi distingue sette tipi di micorrize (Fig.1.10): ectomicrorrize, ectomicrorrize dei pini, endomicrorrize vescicolo arbuscolari, endomicrorrize delle orchidee, delle ericaceae, ectoendomicrorrize di *Monotropia* e di *Arbutus*. Per una panoramica chiara ed esauriente sull'organizzazione morfologica e gli aspetti fisiologici dei tipi principali di micorrize si consiglia la lettura della pubblicazione di Bonfante e Giovannetti (1982), il testo di Harley e Smith (1983) e la trattazione di Linderman (1997). Di seguito vengono sintetizzate le caratteristiche principali delle micorrize più diffuse: le ectomicrorrize e le endomicrorrize vescicolari-arbuscolari (VA).

Ectomicrorrize

Le ectomicrorrize sono tipiche delle piante ad alto fusto anche se si possono trovare in alcune piante erbacee dei pascoli alpini come il *Polygonum viviparum* e in alcune piante suffruticose (es. *Helianthemum*) o arbustive (*Cystus*). Il 3% delle fanerogame porta ectomicrorrize. Sono distribuite nelle regioni fredde temperate, nelle aree subalpine, in area mediterranea, in Cile, Nuova Zelanda ed Australia. Diverse famiglie presentano ectomicrorrize come *Betulaceae*, *Salicaceae*, *Fagaceae* e *Pinaceae* nell'emisfero boreale e *Myrtaceae* e *Nothofagus* (*Fagaceae*) nell'emisfero australe. L'eterobionte può essere rappresentato da svariati generi di Basidiomiceti (amanite, boleti, cortinari, lattari, russule) ed Ascomiceti (tra i quali i famosi tartufi bianchi e neri). Nelle ectomicrorrize il fungo si organizza in un manicotto di ife (micoclena) intorno alle radichette terminali della pianta. Dalla micoclena si dipartono lunghi filamenti miceliari che penetrano il terreno circostante anche per parecchie centinaia di metri (ife trofiche, dedicate all'assorbimento). Dal mantello fungino, inoltre, ife si sviluppano all'interno delle radichette, negli spazi intercellulari del primo strato del tessuto corticale, a formare un reticolo chiamato reticolo di Hartig.

Il partner fungino è un micorrizogeno obbligato, cioè necessita della pianta per completare il ciclo vitale. La specificità, nei confronti della pianta ospite, varia. Il meno specifico è il *Cenococcum graniforme* che può associarsi a 200 specie vegetali diverse; il più specifico è il *Boletus elegans*, che deve stabilire la simbiosi obbligatoriamente con il larice. Di seguito sono riportate le associazioni più comuni:

Amanita caesarea: *Fagus sylvatica*, *Castanea sativa*, *Quercus* spp.

A.citrina: *Abies alba*, *Fagus sylvatica*, *Castanea sativa*, *Picea* spp.

A. muscaria: *Abies alba*, *Castanea sativa*, *Betula*, *Fagus sylvatica*, *Picea*, *Pinus* spp., *Quercus* spp.

Phalloides: *Abies* spp., *Castanea sativa*, *Fagus sylvatica*, *Picea*, *Pinus sylvestris*, *Quercus* spp.

Boletus edulis: *Abies* spp., *Castanea sativa*, *Betula*, *Fagus sylvatica*, *Picea*, *Quercus* spp., *Tilia*

B. elegans: *Larix decidua*

B. luteus: *Pinus* spp.

B. granulatus: *Pinus* spp.

B. satanas: *Carpinus betulus*, *Castanea sativa*, *Corylus avellana*, *Fagus sylvatica*, *Quercus* spp., *Tilia*

Hebeloma hiemale: *Abies*, *Carpinus*, *Castanea sativa*, *Fagus sylvatica*, *Pinus*, *Populus* spp., *Quercus* spp., *Salix* spp.

Lactarius deliciosus: *Picea*, *Pinus* spp.

Russula cyanoxantha; *Carpinus betulus*, *Castanea sativa*, *Fagus sylvatica*, *Pinus* spp., *Quercus* spp.

Pisolithus tinctorius: *Abies*, *Betula*, *Eucalyptus*, *Pinus*, *Quercus*

Tuber melanosporum: *Corylus avellana*, *Cystus incanus*, *Pinus nigra*, *Populus* spp., *Quercus* spp., *Tilia*

T. magnatum: *Populus* spp., *Quercus* spp., *Salix* spp., *Tilia*

T. brumale: *Corylus avellana*, *Pinus nigra*, *Populus* spp., *Quercus* spp., *Tilia*.

Endomicorrize vescicolo-arbuscolari (VA)

Sono sicuramente le più diffuse coinvolgendo circa 80% delle piante erbacee e molti rappresentanti delle piante arboree e da frutto. Sono coinvolti anche felci (Cooper, 1976), muschi (Parke e Linderman, 1980) ed epifite (Janos, 1993). I micobionti delle micorrize vescicolo arbuscolari sono rappresentati da un'unica famiglia di Zigomiceti, le Glomaceae, che comprendono tre o quattro generi (*Glomus*, *Acaulospora*, *Gigaspora*) difficilmente differenziabili, ubiquitari. La VA è costituita da due tipi di micelio: un micelio esterno, più o meno sviluppato, che si estende nel suolo circostante ed un micelio interno che si sviluppa nel tessuto corticale della radice micorrizzata e penetra le cellule vegetali formando strutture caratteristiche dette arbuscoli e vescicole, a livello delle quali avvengono gli scambi nutritivi tra i due organismi. L'infezione di un sistema radicale non colonizzato si realizza grazie a propaguli del fungo micorrizogeno dispersi nel suolo o da ife che si dipartono da una radice micorrizzata di una pianta vicina. Per una trattazione aggiornata delle micorrize vescicolari-arbuscolari si consiglia la lettura di Linderman (1997).

1.3 BIBLIOGRAFIA

- AA.VV., 1979. - *Carta pedologica: fattori pedogenetici e associazioni di suoli in Emilia-Romagna. Carta dei suoli alla scala 1: 200.000.* Regione Emilia-Romagna. Pitagora Editrice, Bologna.
- Allen E.B. e Allen M.F., 1984. *Competition between plants of different successional stages: mycorrhizae as regulators.* Can. J. of Bot., 62: 2625-2629.
- Avena G., Burragato F., Camponeschi B. e Gianotti U., 1982. *Proposta per la restituzione di aree abbandonate, già soggette ad attività estrattiva, in territorio di Tolfa e Al lumiere (Roma).* Quarry and Constr., Parma.
- Bagnaresi U., Ferrari C., Muzzi E. e Rossi G., 1990. *Revegetation by minimal intervention of a clay quarry in the northern Apennines (Italy): preliminary results.* In: (Ravera O. ed.) *Terrestrial and aquatic ecosystems. Perturbation and recovery:* 410-416. Ellis Horwood, New York.
- Barnhisel R.I., Darmody R.G. e W Daniels W.L. (eds.), 2000. *Reclamation of disturbed lands.* American Society of Agronomy and Academic Press, Madison (WI).
- Benedetti A. Sequi P. (eds.), 1998. *I fertilizzanti organici.* Ed. Informatore Agrario, Verona.
- Bezzi A. e Preto G., 1975. *Il restauro delle cave: considerazioni generali e suggerimenti applicativi per il tratto della Val d'Adige fra Trento e Bolzano.* Ann. Ist. Sper. Selvic. Arezzo, 6: 151-201.
- Blasi C., 1993. *Fitosociologia del paesaggio e progettazione ambientale.* Coll. Phytosoc. 21: 311-318.
- Bini C., Gragnani R. e Ristori G., 1984. *Soil genesis and evolution from mafic and ultramafic rocks in the Northern Apennines.* Ofioliti, 9 (3): 337-352.
- Bonfante P. e Giovannetti M., 1982. *Le micorrize.* Quaderni di Biologia 8, Piccin Editore Padova.
- Cacciamani C., Galliani G., Nanni S. e Paccagnella T., 1980. *Studio climatologico.* ERSA, Servizio Meteorologico Regionale, Bologna.
- Californian Fertilizer Association, 1998. *Western Fertilizer Handbook.* Interstate Publisher Inc., Danville (IL).
- Cagiotti M.R., Calandra R. e Massucci M., 1991. *Indagine geobotanica in alcune cave dell'area M. Tezio - M. Malbe (Perugia).* Ann. Fac. Agraria Perugia, 45: 475-522.
- Cairns J. Jr (ed.), 1995. *Rehabilitating damaged ecosystems.* Lewis Publishers, Boca Raton (FL).
- Carter S.P., Proctor J. e Slingsby D.R., 1987. *Soil and vegetation of the Keen of Hama serpentine, Shetland.* Journ. of Ecol., 75: 21-42.
- Casella S., 1993. *Ruolo dei microrganismi nell'evoluzione della sostanza organica.* In Nannipieri P. (ed.), *Ciclo della sostanza organica nel suolo:* 113-138. Patron Editore, Bologna.
- Centro Ricerche Produzioni Vegetali, 1998. *Linee guida per l'agricoltura biologica.* Edagricole, Bologna.
- Chiusoli A. e D'Antuono F., 1982. *Il ripristino vegetazionale e paesaggistico delle cave.* Genio Rurale 45: 19-30.
- Cooper K.M., 1976. *A field survey of mycorrhizas in New Zealand ferns.* New Zealand J. of Bot. 14: 169-181.

- Corticelli S., Ciardi G., Poggi G. e Pullega S., 1995. *Il progetto di cartografia della vegetazione della Regione Emilia-Romagna*. Giorn. Bot. Ital., 129 (2): 268.
- Costantini E., 1995. *Sostanza organica: conti e bilanci*. Agricoltura biologica, 5: 3-28.
- Cozzolino 1998. *Linee Guida per l'agricoltura biologica*. CRPVI. Edagricole, Bologna.
- Dell'Agnola G., Nannipieri P. e Nardi S., 1993. *Sostanza organica e molecole umiche*. in Nannipieri P. (ed.), *Ciclo della sostanza organica nel suolo*: 21-29. Patron Editore, Bologna.
- Ferrari C., 1971. *La vegetazione dei calanchi nelle argille scagliose del Monte Paderno*. Not. Fitosoc., 6: 31-69.
- Ferrari C. e D'Antuono L.F., 1983. *Specie ed associazioni mioalofile in suoli argillosi dell'Appennino Emiliano: contributo alla caratterizzazione ecologica*. In: *Le comunità vegetali come indicatori ambientali*: 57 – 76. Regione Emilia-Romagna e Soc. Ital. Fitosoc.
- Ferrari C. e Rossi G., 1990. *La cartografia della vegetazione con il metodo fitosociologico in Italia*. AIC, Bollettino della Associazione Italiana di Cartografia, 78-79: 109-120.
- Fierotti G., 1997. *I suoli della Sicilia*. Dario Flaccovio edit., Palermo.
- Filippi N. e Sbarbati L., 1994. *I suoli dell'Emilia-Romagna. Note illustrative e Carta dei suoli alla scala 1: 250.000*. Regione Emilia-Romagna, Servizio Cartografico, Ufficio Pedologico, Bologna.
- Gemmell R.P., 1977. *Reclamation and planting of spoiled land*. In Clouston B. (ed.), *Landscape design with plants*, Heinemann: 179 - 208.
- Groppali R., 1999. *Cave, discariche e aree dismesse: problematiche ambientali e prospettive di recupero*. *Biologia Ambientale*, 13 (suppl. 1): 171-181.
- Haigh M.J (eds.), 2000. *Reclaimed land. Erosion control, soils and ecology*. A.A. Balkema, Rotterdam.
- Harley J.L., FRS e Smith S.E., 1983. *Mycorrhizal Symbiosis*. Academic Press, London.
- Janos D.P., 1993. *Vesicular-arbuscular mycorrhizae of epiphytes*. *Mycorrhiza* 4: 1-4.
- Jochimsen M.E., 1991. *Recultivation of raw soils according to natural succession*. In: (Ravera O. ed.) *Terrestrial and aquatic ecosystems. Perturbation and recovery*: 396-401. Ellis Horwood, New York.
- Laatsch W., 1963. *Bodenfruchtbarkeit und Nadelholzanbau*. BVL Verlagsgesellschaft, München Basel Wien.
- Lal R. (eds.), 1999. *Soil quality and soil erosion*. CRC Press, Boca Raton (FL).
- Linderman R.G., 1997. *Vesicular-arbuscular mycorrhizal (VAM) fungi*. In "The Mycota". Part B. *Plant relationships*, Carroll G.C. & Tudzynski P. (Eds.), Springer-Verlag, Berlin Heidelberg: 118-127.
- Majer J.D. e Nichols O.G., 1998. *Long-term recolonization pattern of ants in Western Australia rehabilitated bauxite mines with reference to their use as indicators of restoration success*. *J. Appl. Ecology*: 1611-182.
- Mondino G.P. e Scotta M., 1988. *L'evoluzione della vegetazione nelle discariche di cava della Valle Ossola*. *Riv. Piem. St. Nat.* 9: 69-76.
- Muzzi E. e Roffi F., 1999. *Risultati e problematiche del recupero ambientale su substrati minerali argillosi*. Atti del Convegno "Recupero ambientale delle aree di cava nel quadro normativo e pianificatorio regionale": 79-82. Ferrara, 6 aprile 1998. Regione Emilia-Romagna, Bologna.
- Oneto G., 1989. *Cave e paesaggio*. *Acer*, 5 (3): 25-27.
- Parker J.L. Linderman R.G., 1980. *Association of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi with moss *Funaria hygometrica**. *Can. J. Bot.* 58: 1898-1904.
- Piccoli F., Corticelli S., Dell'Aquila L., Merloni N. e Pellizzari M., 1996. *Vegetation map of the Regional Park of the Po Delta (Emilia-Romagna Region)*. *Allionia* 34: 325-331.
- Poldini L., Oriolo G., Vidali M. e Magliola C., 2001. *Dinamismo evolutivo della vegetazione quale presupposto per ripristini ambientali. Primi risultati dal Carso triestino Goriziano*. *Inf. Bot. Ital.* 33 (1) 231-233.
- Pignatti S., 1995. *Relazioni tra clima e vegetazione*. In: (Pignatti S., ed.) *Ecologia vegetale*: 123-135. Utet, Torino.
- Pignatti S., 1995. *Successioni*. In (Pignatti S., ed.): *Ecologia vegetale*: 231-251. Utet, Torino.
- Redente E.F. e Deputi E.J., 1988. *Reclamation of drastically disturbed rangelands*. In: Tueller P.T. (ed.) *Vegetation science applications for rangelands analysis and management*: 561-584. Kluwer, Dordrecht (NL).
- Rogo R., 1995. *La concimazione organica e le tecniche di compostaggio*. Demetra, Verona.
- Roose E., 1994. *Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES)*. Ed. FAO, Roma.

- Rossetti R., 1988. *Condizioni termo-pluviometriche del versante padano della fascia appenninica tra la valle del torrente Scrivia e quella del torrente Reno*. In: Il paesaggio fisico dell'alto Appennino emiliano: 19-29. IBAC Regione Emilia-Romagna, Grafis edizioni, Bologna.
- Rossi G., 1999. *La cava di argilla di Alfonsine (Ravenna): dal recupero al vincolo ambientale*. Atti del Convegno "Recupero ambientale delle aree di cava nel quadro normativo e pianificatorio regionale": 71-78. Ferrara, 6 aprile 1998. Regione Emilia-Romagna, Bologna.
- Santoni I., 1981. *Conoscere il terreno*. REDA, Roma.
- Sequi P. e Chéroux, 1998. *I fertilizzanti organici*. Ed. Informatore Agrario, Verona.
- Servizio Meteorologico Regionale, 1995. *I numeri del clima*. Regione Emilia-Romagna, Bologna.
- Skaller P.M., 1981. *Vegetation management by minimal intervention: working with succession*. Landscape Planning 8: 149-174.
- Soil Survey Division Staff U.S.D.A., 1993. *Soil Survey Manual*. USDA Handbook n° 18., Washington D.C.
- SSSA, 1996. *Glossary of soil science terms*. Soil Science Society of America, Madison.
- Tate R.L. III e Klein D.A., 1985. *Soil reclamation processes. Microbiological analyses and applications*. Marcel Dekker Inc., New York.
- Tester M.A., Smith E.E. & Smith F.A., 1987. *The phenomenon of 'non-mycorrhizal' plants*. Can. J. of Bot. 65: 419-431.
- Tueller P.T. (ed.), 1988. *Vegetation science applications for rangeland analysis and management*. Kluwer Acc.Press, Dordrecht, (NL).
- Ubaldi D., Puppi G. e Zanotti A.L., 1996. *Cartografia fitoclimatica dell'Emilia-Romagna. Carta scala 1: 500.000*. Regione Emilia-Romagna Bologna.
- U.S. Salinity Laboratory Staff, 1969. *Diagnosis and improvement of Saline and Alkali Soils*. Agriculture Handbook n°60, Washington D.C.
- Vanmechelen L., Groenemans R., Van Ranst E., 199. *Forest soil conditions in Europe. Results of a large-scale soil survey*. Technical Report. EC, UN/ECE, Ministry of the Flemish Community. Brussels – Geneva.
- Vandenkoornhuyse P., Baldauf S.L., Leyval C., Straczek J. e Young J.P.W., 2002. *Extensive fungal diversity in plant roots*. Science 295: 2051.
- Venanzoni R. e Pedrotti F., 1995. *Il clima*. In: (Pignatti S., ed.) *Ecologia vegetale*: 7-24. Utet, Torino.
- Vianello G., 1993. *Distribuzione di metalli pesanti nei suoli e nei vegetali delle aree ofiolitiche*. In: *Le ofioliti dell'Appennino Emiliano*: 130-139. Ferrari C. e Vianello G. Regione Emilia-Romagna, Bologna.
- Zanella G., 1990. *Il clima della pianura emiliano-romagnola*. In: *Il mondo della natura in Emilia-Romagna. La pianura e la costa*: 119-142. Federazione delle Casse di Risparmio e delle Banche del Monte dell'Emilia-Romagna.
- Zangheri P., 1942. *Romagna fitogeografia. Flora e vegetazione dei calanchi argillosi pliocenici della Romagna e della zona di argille in cui sono distribuiti*. Lega, Faenza.
- Zangheri P., 1959. *Romagna fitogeografia (IV). Flora e vegetazione della fascia gessoso-calcareo del basso Appennino romagnolo*. Forlì.
- Zavatti A., 2000. *Indagini sulla vegetazione delle cave per l'estrazione di materiali inerti del ferrarese finalizzate alla gestione e al recupero ambientale*. Tesi di dottorato di ricerca in Botanica Ambientale. XII ciclo. Università degli Studi di Ferrara, Dipartimento di Biologia, Sezione di Botanica, Ferrara.
- Zucconi F., 1996. *Declino del suolo e stanchezza del terreno*. Spazio Verde, Padova.
- AA.VV., 1983.- *Alberi e arbusti dell'Emilia-Romagna*.

MANUALI E ALTRI TESTI DI BASE CONSIGLIATI PER APPROFONDIMENTI

- Regione Emilia-Romagna, Azienda Regionale delle Foreste, Bologna.
2000. *Reclamation of drastically disturbed lands*. Agronomy. American Society of Agronomy and Accademic Press, Madison (WI).
- AA.VV., 1993. *Manuale tecnico di ingegneria naturalistica*. Regione Emilia-Romagna, Regione Veneto, Bologna.
- Avena G. e Dowgiallo G., 1995. *Substrato*. In: Pignatti S. (Ed.) "Ecologia vegetale": 25 – 45, UTET, Torino.
- AA.VV., 1999. *Atti del Convegno "Recupero ambientale delle aree di cava nel quadro normativo e pianificatorio regionale"*. Ferrara, 6 aprile 1998. Regione Emilia-Romagna, Bologna.
- Belsito A., Fraticelli A., Salisbury F. e Ross C., 1988. *Chimica agraria*. Zanichelli, Bologna.
- Barnhisel R.I., Darmody R.G., Daniel W.L. (ed.), Blasi C. e Paoletta A., 1992. *Progettazione*

- ambientale*. Cave, fiumi, strade, parchi, insediamenti. NIS, Firenze.
- Blasi C., Nimis P., Paoletta A. e S. Pignatti. 1995. *Ecosistema urbano e tecnologico*. In: Pignatti S. (Ed.) "Ecologia Vegetale": 435-466, UTET, Torino.
- Bradshaw A.D. e Chadwick M.J., 1980. *The restoration of the land*. University of California press, Los Angeles.
- Buckley G.P. (ed.), 1995. *Biological and habitat reconstruction*. J. Wiley and Son, Chichester (UK).
- Cairns J. Jr., 1995. *Rehabilitating damaged ecosystems*. Lewis, Boce Raton (FL).
- Casalicchio G. e Graziano P.L., 1980. *Chimica agraria. I fertilizzanti*. CLUEB, Bologna.
- Chiusoli A., 1985. *Elementi di paesaggistica*. CLUEB, Bologna.
- Comel A., 1972. *Il terreno*. Manuale di pedologia per agricoltori. Edagricole, Bologna.
- Cristofolini G. e Galloni M., 2001. *Guida alle piante legnose dell'Emilia-Romagna. Regione Emilia-Romagna*, Bologna.
- Desio A., 1985. *Geologia applicata all'ingegneria*. III ed. Hoepli, Milano.
- Dowgiallo G., 1998. *I suoli forestali*. In: Pignatti S. (Ed.) "I boschi d'Italia": 73 – 103 Utet, Torino.
- Duchauffour Ph., 1965. *Précis de pédologie*. Masson & Cie Edit., Paris.
- FAO, 1990. *Guidelines for soil description*. 3rd Edit., Rome.
- Giardini L., 1977. *Agronomia generale*. Patron, Bologna.
- Grime J.P., Hodgson J.G. e Hunt R., 1998. *Comparative plant ecology. A functional approach to common British species*. Unwin Hyman, London.
- Ingegnoli V., 1993. *Fondamenti di ecologia del paesaggio*. Città Studi Edizioni, Milano.
- Jordan W.R. III e Gilpin M.E., Aber J.D., 1987. *Restoration ecology. A synthetic approach to ecological research*. Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- Landi R., 1999. *Agronomia e ambiente*. Edagricole, Bologna.
- Landolt E., 1977. *Oekologische Zeigerwerte zur Schweizer Flora*. Ver. Des Geobot. Inst. Der Eidg. Techn. Hochschule, Stiftung Rubel, Zurig. Helf 64.
- Landon J.R., 1991. *Booker Tropical Soil Manual*. A handbook for soil survey and agricultural land evaluation in the tropics and subtropics. Longman Publ.
- Larcher W., 1995. *Physiological plant ecology*. Springer, Berlino.
- Martini F. e Paiero P., 1988. *I salici d'Italia*. Guida al riconoscimento e all'utilizzazione pratica. Ed. Lint, Trieste.
- Martinis B., 1988. *Geologia ambientale*, UTET.
- Odum E.P., 1973. *Basi di ecologia*. Piccin, Padova.
- Pignatti S., 1995. *Ecologia vegetale*. Utet, Torino.
- Pignatti S., 1997. *Ecologia del paesaggio*. Utet, Torino.
- Pirola A., 1970. *Elementi di fitosociologia*. Clueb, Bologna.
- Ravera O., 1991. *Terrestrial and aquatic ecosystems. Perturbation and recovery*. Ellis Horwood, New York.
- Russell E.W., 1982. *Il terreno e la pianta. Fondamenti di agronomia*. Edagricole, Bologna.
- Salleo S., 1995. *Ecologia dell'acqua*. In (Pignatti S., ed.): *Ecologia vegetale*: 137-161. Utet, Torino.
- Schiechtel H. M., 1973. *Bioingegneria forestale*. Basi, materiali da costruzione vivi, metodi. Edizioni Castaldi, Feltre (BR).
- Sequi P. (eds.), 1989. *Chimica del suolo*. Patron Editore, Bologna.
- Soil Survey Division Staff U.S.D.A., 1993. *Soil Survey Manual*. USDA Handbook n° 18, Washington, D.C.
- Strasburger E., 1995. *Trattato di botanica*. 2 Voll., Delfino, Roma.
- Ubaldo D., 1997. *Geobotanica e Fitosociologia*. Clueb, Bologna.
- Varanini Z. e Nannipieri P., 1993. *Mineralizzazione della sostanza organica e assorbimento dei nutrienti da parte delle piante*. In Nannipieri P. (eds.) *Ciclo della sostanza organica nel suolo*: 79-84. Patron, Bologna.
- Vismara R., 1988. *Ecologia applicata*. Hoepli, Milano.
- Walther H. e Lieth H., 1960. *Atlas of climate diagram*. Fisher, Jena.
- Williamson N.A., Johnson M.S. e Bradshaw A.D., 1982. *Mine waste reclamation. The establishment of vegetation on metal mine wastes*. Mining Journal Books, Londra.