

POTABILIZZAZIONE DELLE ACQUE

PROCESSI E TECNOLOGIE

TEORIA – APPLICAZIONI – ESEMPI DI CALCOLO

a cura di

Carlo Collivignarelli

Sabrina Sorlini



SERVIZI GRATUITI ON LINE

Questo libro dispone dei seguenti servizi gratuiti disponibili on line:

- files di aggiornamento al testo
- possibilità di inserire il proprio commento al libro.

L'indirizzo per accedere ai servizi è: www.darioflaccovio.it/scheda/?codice=DF8562

INDICE

<i>Premessa</i>	pag.	17
<i>Abbreviazioni e simboli</i>	»	20
1 · QUALITÀ DELL'ACQUA		
1.1. Acque naturali	»	21
1.1.1. Processi geochimici e geobiologici di alterazione delle rocce ..	»	21
1.1.2. Mineralizzazione delle acque	»	23
1.1.2.1. Dissoluzione	»	23
1.1.2.2. Attacco chimico	»	23
1.1.2.3. Reazioni di ossido-riduzione	»	26
1.1.2.4. Scambio ionico	»	28
1.1.2.5. Adsorbimento	»	28
1.1.3. Specie presenti nell'acqua	»	29
1.1.3.1. Gas	»	30
1.1.3.2. Sostanze in sospensione	»	31
1.1.3.3. Composti inorganici	»	32
1.1.3.4. Metalli tossici	»	33
1.1.3.5. Sostanze organiche.....	»	34
1.1.3.5.1. Sostanze organiche naturali	»	34
1.1.3.5.2. Composti organici di sintesi	»	36
1.1.4. Composizione chimica delle acque	»	42
1.1.4.1. Acqua di pioggia	»	42
1.1.4.2. Acque superficiali e sotterranee.....	»	44
1.1.5. Alterazione della composizione ed evoluzione in falda	»	46
1.1.6. Classificazione delle acque naturali	»	48
1.2. Fonti di approvvigionamento	»	49
1.2.1. Acque sotterranee	»	50
1.2.1.1. Acque di pozzo profonde	»	50
1.2.1.2. Acque di pozzo superficiali	»	50
1.2.2. Acque superficiali	»	50
1.2.2.1. Laghi e serbatoi artificiali	»	52
1.3. Significato e importanza dei parametri di qualità	»	53
1.3.1. Parametri inorganici.....	»	53
1.3.1.1. Attività degli ioni idrogeno (pH).....	»	53
1.3.1.2. Durezza	»	54
1.3.1.3. Alcalinità ed equilibrio dell'acido carbonico	»	54
1.3.1.4. Residuo e conduttività.....	»	55
1.3.1.5. Indice di SAR	»	56
1.3.1.6. Aggressività	»	56
1.3.1.7. Corrosione	»	59

1.3.2.	Parametri organici	pag.	60
1.3.3.	Parametri microbiologici	»	62
1.3.3.1.	Microrganismi patogeni	»	62
1.3.3.2.	Microrganismi indicatori.....	»	63
1.3.3.3.	Ferrobatteri	»	64
1.3.4.	Sottoprodotti della disinfezione (DBPS)	»	64
1.3.4.1.	Cloro	»	65
1.3.4.2.	Biossido di cloro	»	66
1.3.4.3.	Ozono.....	»	66
1.4.	Controllo di qualità	»	66
1.4.1.	Tipo di analisi	»	67
1.4.1.1.	Parametri chimici	»	67
1.4.1.2.	Parametri indicatori di qualità.....	»	67
1.4.1.3.	Indicatori di radioattività	»	68
1.4.2.	Esposizione dei dati analitici	»	68
1.4.2.1.	Bollettino di analisi	»	68
1.4.2.2.	Accuratezza dell'analisi.....	»	69
1.4.2.3.	Rappresentazione grafica	»	69
1.5.	Bibliografia	»	70
2 ·	CRITERI DI SCELTA DEI TRATTAMENTI DI POTABILIZZAZIONE		
2.1.	Generalità	»	73
2.2.	Caratteristiche dell'acqua grezza	»	79
2.3.	Requisiti dell'acqua trattata ed efficienza del trattamento	»	82
2.4.	Potenzialità dell'impianto e tipologia di esercizio	»	82
2.5.	Approccio multibarriera.....	»	83
2.6.	Gestione dei residui	»	84
2.7.	Sperimentazioni pilota	»	84
2.8.	Caratteristiche del sistema di distribuzione	»	85
2.9.	Soluzioni per la potabilizzazione	»	86
2.9.1.	Acque di superficie	»	87
2.9.1.1.	Criteri generali	»	87
2.9.1.2.	Casi di impianti reali	»	90
2.9.2.	Acque di falda	»	93
2.9.2.1.	Criteri generali	»	93
2.9.2.2.	Casi di impianti reali	»	94
2.10.	Bibliografia	»	96
3 ·	TRATTAMENTI FISICI		
3.1.	Accumulo, omogeneizzazione e lagunaggio	»	97
3.1.1.	Descrizione del processo e campi d'applicazione	»	97
3.1.2.	Criteri di dimensionamento ed aspetti impiantistici.....	»	100
3.2.	Grigliatura	»	101
3.2.1.	Descrizione del processo e campi d'applicazione	»	101
3.2.2.	Criteri di dimensionamento	»	103

3.3.	Microstaccatura	pag. 104
3.3.1.	Descrizione del processo e campi d'applicazione	» 104
3.3.2.	Criteri di dimensionamento	» 105
3.4.	Aerazione	» 108
3.4.1.	Descrizione del processo	» 108
3.4.2.	Campi d'applicazione	» 108
3.4.3.	Criteri di dimensionamento	» 110
3.4.4.	Applicazioni impiantistiche	» 116
3.5.	Flottazione	» 120
3.6.	Sedimentazione.....	» 122
3.6.1.	Descrizione del processo	» 122
3.6.2.	Campi d'applicazione	» 123
3.6.3.	Applicazioni impiantistiche e schemi di trattamento	» 125
3.6.4.	Criteri di dimensionamento	» 126
3.7.	Filtrazione granulare	» 128
3.7.1.	Descrizione del processo	» 128
3.7.2.	Soluzioni impiantistiche	» 130
3.7.3.	Campi d'applicazione e schemi di trattamento	» 138
3.7.4.	Criteri di dimensionamento	» 140
3.8.	Filtrazione su membrana	» 144
3.8.1.	Descrizione del processo	» 144
3.8.2.	Microfiltrazione	» 156
3.8.3.	Ultrafiltrazione.....	» 157
3.8.4.	Nanofiltrazione.....	» 158
3.8.5.	Osmosi inversa	» 159
3.8.6.	Elettrodialisi	» 161
3.8.7.	Campi d'applicazione e schemi di trattamento	» 163
3.8.8.	Configurazioni impiantistiche	» 165
3.9.	Bibliografia	» 169
4 · TRATTAMENTI CHIMICO-FISICI		
4.1.	Chiariflocculazione.....	» 173
4.1.1.	Descrizione del processo	» 173
4.1.2.	Campi di applicazione	» 178
4.1.3.	Fattori di influenza del processo	» 180
4.1.4.	Applicazioni impiantistiche e schemi di trattamento	» 185
4.1.5.	Criteri di dimensionamento	» 193
4.2.	Adsorbimento	» 203
4.2.1.	Adsorbimento su carbone attivo	» 205
4.2.1.1.	Processo di attivazione del carbone attivo	» 206
4.2.1.2.	Riattivazione del carbone attivo.....	» 207
4.2.1.3.	Valutazione dell'efficienza di adsorbimento.....	» 207
4.2.1.4.	Campi di applicazione	» 211
4.2.1.4.1.	Impiego del carbone attivo granulare	» 212
4.2.1.4.2.	Impiego del carbone attivo in polvere.....	» 214

4.2.1.5.	Fattori di influenza del processo	pag. 215
4.2.1.6.	Applicazioni impiantistiche	» 219
4.2.1.6.1.	Modalità di impiego del GAC	» 220
4.2.1.6.2.	Modalità di impiego del PAC	» 222
4.2.1.7.	Criteri di dimensionamento.....	» 226
4.2.2.	Adsorbimento su materiali adsorbenti diversi dal carbone attivo	» 230
4.3.	Scambio ionico	» 234
4.3.1.	Descrizione del processo	» 234
4.3.1.1.	Resine cationiche forti	» 237
4.3.1.2.	Resine cationiche deboli	» 237
4.3.1.3.	Resine anioniche forti	» 238
4.3.1.4.	Resine anioniche deboli	» 239
4.3.2.	Proprietà delle resine a scambio ionico	» 240
4.3.3.	Campi di applicazione	» 243
4.3.4.	Fattori di influenza del processo	» 244
4.3.5.	Applicazioni impiantistiche e schemi di trattamento	» 245
4.3.6.	Criteri di dimensionamento	» 250
4.4.	Bibliografia	» 258
5 · TRATTAMENTI CHIMICI		
5.1.	Generalità	» 261
5.2.	Ossidazione chimica	» 262
5.2.1.	Applicazione degli ossidanti nella potabilizzazione	» 264
5.2.1.1.	Ossidazione di composti inorganici	» 264
5.2.1.2.	Eliminazione di sapori e odori	» 264
5.2.1.3.	Rimozione del colore	» 265
5.2.1.4.	Ossidazione di composti organici sintetici	» 265
5.2.1.5.	Miglioramento dei processi di chiariflocculazione e filtrazione	» 266
5.2.1.6.	Rimozione dei precursori dei sottoprodotti di ossidazione	» 266
5.2.2.	Ossigeno	» 266
5.2.3.	Cloro	» 268
5.2.3.1.	Generalità	» 268
5.2.3.2.	Campi di applicazione	» 271
5.2.3.3.	Schemi di trattamento	» 274
5.2.3.4.	Aspetti impiantistici	» 275
5.2.4.	Biossido di cloro	» 278
5.2.4.1.	Generalità	» 278
5.2.4.2.	Campi di applicazione	» 280
5.2.4.3.	Schemi di trattamento	» 281
5.2.4.4.	Aspetti impiantistici	» 282
5.2.5.	Ozono	» 283
5.2.5.1.	Generalità	» 283
5.2.5.2.	Campi di applicazione	» 286

5.2.5.3.	Schemi di trattamento	pag. 287
5.2.5.4.	Aspetti impiantistici	» 292
5.2.6.	Permanganato di potassio	» 300
5.2.7.	Perossido di idrogeno	» 301
5.2.8.	Confronto tra gli ossidanti	» 302
5.3.	Disinfezione	» 304
5.3.1.	Meccanismi di disinfezione	» 306
5.3.2.	Cinetiche del processo di disinfezione	» 307
5.3.3.	Criteri di scelta del sistema di disinfezione.....	» 309
5.3.3.1.	Disinfezione	» 311
5.3.3.2.	Disinfezione di copertura	» 313
5.3.4.	Tempo di contatto e reattori per la disinfezione.....	» 314
5.3.5.	Cloro	» 318
5.3.5.1.	Generalità	» 318
5.3.5.2.	Disinfezione	» 319
5.3.5.3.	Disinfezione di copertura	» 322
5.3.5.4.	Applicazioni impiantistiche	» 322
5.3.6.	Biossido di cloro	» 325
5.3.6.1.	Generalità	» 325
5.3.6.2.	Disinfezione	» 325
5.3.6.3.	Disinfezione di copertura	» 327
5.3.6.4.	Applicazioni impiantistiche	» 328
5.3.7.	Ozono	» 334
5.3.7.1.	Generalità	» 334
5.3.7.2.	Disinfezione	» 335
5.3.7.3.	Disinfezione di copertura	» 336
5.3.7.4.	Applicazioni impiantistiche	» 337
5.3.8.	Radiazioni uv	» 338
5.3.8.1.	Generalità	» 338
5.3.8.2.	Disinfezione	» 341
5.3.8.3.	Disinfezione di copertura	» 343
5.3.8.4.	Applicazioni impiantistiche	» 343
5.3.9.	Clorammine.....	» 349
5.3.9.1.	Generalità	» 349
5.3.9.2.	Disinfezione	» 351
5.3.9.3.	Disinfezione di copertura	» 352
5.3.10.	Altri disinfettanti	» 353
5.3.11.	Confronto tra i disinfettanti	» 353
5.4.	Sottoprodotti di ossidazione/disinfezione: formazione e tecniche di controllo	» 356
5.4.1.	Triometani	» 358
5.4.2.	Clorito	» 362
5.4.3.	Bromato	» 366
5.5.	Processi di ossidazione avanzata	» 369
5.5.1.	Ozono e perossido di idrogeno (<i>peroxone</i>)	» 371

5.5.2.	Ozono e radiazioni UV	pag.	373
5.5.3.	Perossido di idrogeno e radiazioni UV.....	»	374
5.5.4.	Biossido di titanio e radiazioni UV.....	»	376
5.6.	Bibliografia	»	378
6 ·	TRATTAMENTI BIOLOGICI		
6.1.	Processo	»	389
6.2.	Configurazioni impiantistiche	»	390
6.2.1.	Biofiltro a letto fisso	»	390
6.2.1.1.	Biofiltrazione rapida	»	390
6.2.1.2.	Filtrazione lenta	»	390
6.2.2.	Biofiltro a letto fluido	»	392
6.2.3.	Bioreattore a membrana	»	392
6.2.4.	Bank filtration	»	392
6.3.	Fattori di influenza	»	392
6.3.1.	Profondità del filtro	»	393
6.3.2.	Tipo di materiale di supporto	»	394
6.3.3.	Nutrienti.....	»	394
6.3.4.	Ossigeno.....	»	394
6.3.5.	Temperatura	»	394
6.4.	Campi di applicazione	»	395
6.4.1.	Torbidità.....	»	397
6.4.2.	Rimozione della sostanza organica naturale	»	398
6.4.3.	Rimozione di sapore e odore	»	400
6.4.4.	Rimozione della carica microbica.....	»	400
6.5.	Schemi di trattamento	»	403
6.6.	Criteri di dimensionamento	»	405
6.7.	Gestione	»	407
6.7.1.	Avviamento	»	407
6.7.2.	Controlavaggio	»	408
6.7.3.	Ossigenazione	»	409
6.7.4.	Qualità dell'acqua in uscita	»	409
6.8.	Bibliografia	»	410
7 ·	CONTROLLO DI PARAMETRI SPECIFICI		
7.1.	Generalità	»	413
7.2.	Ammoniaca	»	415
7.2.1.	Processo biologico	»	416
7.2.2.	Processi fisici	»	420
7.2.3.	Processi fisico-chimici.....	»	420
7.3.	Nitrati	»	420
7.3.1.	Trattamenti biologici	»	421
7.3.1.1.	Processo eterotrofo	»	422
7.3.1.2.	Processo autotrofo	»	426
7.3.1.2.1.	Processi con idrogeno.....	»	426

	7.3.1.2.2. Processi con zolfo	pag. 427
7.3.2.	Trattamenti chimico-fisici	» 428
	7.3.2.1. Scambio ionico	» 428
7.3.3.	Trattamenti fisici	» 431
	7.3.3.1. Processi di filtrazione su membrana	» 431
	7.3.3.1.1. Osmosi inversa	» 432
	7.3.3.1.2. Nanofiltrazione	» 433
	7.3.3.1.3. Elettrodialisi	» 433
7.3.4.	Processi chimici e fotochimici	» 434
	7.3.4.1. Processo a base di alluminio	» 434
	7.3.4.2. Processo a base di ferro.....	» 435
7.3.5.	Processo fotochimici e catalitici	» 436
	7.3.5.1. Processo fotochimico	» 436
	7.3.5.2. Processo catalitico	» 437
	7.3.5.3. Processo fotocatalitico	» 437
7.4.	Ferro e manganese.....	» 438
	7.4.1. Ossidazione chimica	» 439
	7.4.2. Processo biologico	» 440
	7.4.3. Ossidazione catalitica su sabbie verdi	» 443
	7.4.4. Scambio ionico	» 444
	7.4.5. Processo a membrana	» 444
	7.4.6. Trattamento con calce	» 444
7.5.	Arsenico	» 445
	7.5.1. Ossidazione chimica	» 448
	7.5.1.1. Aria e ossigeno	» 448
	7.5.1.2. Ozono.....	» 449
	7.5.1.3. Cloro	» 449
	7.5.1.4. Biossido di cloro	» 449
	7.5.1.5. Monoclorammine	» 450
	7.5.1.6. Permanganato di potassio.....	» 450
	7.5.1.7. Ossido di manganese.....	» 451
	7.5.1.8. Perossido di idrogeno	» 451
	7.5.1.9. Ossidazione fotochimica	» 452
	7.5.1.10. Ossidazione chimica avanzata	» 452
	7.5.1.11. Ossidazione biologica	» 453
7.5.2.	Trattamenti di precipitazione chimica	» 454
	7.5.2.1. Sali di alluminio	» 456
	7.5.2.2. Sali di ferro	» 456
	7.5.2.3. Addolcimento con calce.....	» 457
7.5.3.	Processi di adsorbimento	» 458
	7.5.3.1. Allumina attiva	» 459
	7.5.3.2. Idrossido ferrico granulare	» 460
	7.5.3.3. Sabbie rivestite di ossidi di ferro e manganese	» 461
	7.5.3.4. Ossido di titanio	» 462
	7.5.3.5. Altri materiali adsorbenti	» 463

7.5.4.	Trattamenti a scambio ionico	pag. 464
7.5.5.	Trattamenti a membrane	» 465
7.5.5.1.	Osmosi inversa	» 465
7.5.5.2.	Nanofiltrazione	» 466
7.5.5.3.	Microfiltrazione	» 466
7.5.5.4.	Ultrafiltrazione	» 467
7.5.5.5.	Elettrodialisi	» 467
7.5.6.	Tecnologie a basso costo	» 467
7.6.	Fluoruri	» 469
7.6.1.	Processi a membrana	» 471
7.6.1.1.	Osmosi inversa	» 471
7.6.1.2.	Nanofiltrazione	» 472
7.6.2.	Processi elettrochimici	» 473
7.6.2.1.	Elettrodialisi	» 473
7.6.2.2.	Elettrocoagulazione con elettrodo bipolare di alluminio	» 474
7.6.3.	Processi di precipitazione chimica	» 475
7.6.3.1.	Sali di alluminio	» 475
7.6.3.2.	Sali di calcio	» 476
7.6.4.	Processi di adsorbimento	» 477
7.6.4.1.	Allumina attiva	» 477
7.6.5.	Tecnologie a basso costo	» 480
7.7.	Bibliografia	» 481
8 · RESIDUI GENERATI DAI TRATTAMENTI DI POTABILIZZAZIONE		
8.1.	Generalità	» 493
8.2.	Tipologia di residui.....	» 493
8.2.1.	Fanghi derivanti dai processi di chiariflocculazione e ossidazione	» 496
8.2.2.	Fanghi prodotti dai processi di addolcimento.....	» 501
8.2.3.	Acque di lavaggio dei filtri granulari	» 503
8.2.4.	Concentrato prodotto dalle membrane	» 504
8.2.5.	Salamoia esausta prodotta dallo scambio ionico	» 507
8.3.	Alternative di gestione	» 508
8.3.1.	Concentrato prodotto dalle membrane e salamoie esauste	» 508
8.3.2.	Residui liquidi	» 510
8.3.2.1.	Sistemi di trattamento	» 511
8.3.2.2.	Sistemi di smaltimento/recupero dei fanghi	» 516
8.3.2.2.1.	Smaltimento passivo	» 516
8.3.2.2.2.	Smaltimento attivo o recupero	» 517
8.4.	Bibliografia	» 519
9 · MATERIALI E PRODOTTI UTILIZZABILI IN ACQUEDOTTISTICA		
9.1.	Generalità	» 521
9.2.	Aspetti normativi.....	» 522
9.2.1.	Reagenti	» 522
9.2.2.	Impianti	» 523

9.2.2.1. Normativa	pag. 523
9.2.2.1.1. Normativa pregressa	» 523
9.2.2.1.2. Direttiva europea 89/106/CE e il mandato M/136	» 524
9.2.2.1.3. Norme EN UNI	» 525
9.2.2.1.4. Decreto ministeriale n. 174 del 6/4/2004	» 525
9.2.2.1.5. Aspetti tecnici del D.M. n. 174 del 6/4/2004	» 527
9.2.2.1.6. Metodi analitici	» 529
9.2.2.2. Fenomeni di corrosione	» 529
9.2.2.2.1. Corrosione dei materiali metallici	» 529
9.2.2.2.2. Classificazione generale dei meccanismi di corrosione dipendente da fenomeni fisici e chimici	» 532
9.2.2.2.3. Corrosione dipendente da fattori biologici e biofilm	» 534
9.2.2.3. Corrosione dei materiali	» 534
9.2.2.3.1. Acciaio e le sue leghe	» 534
9.2.2.3.2. Rame e le sue leghe	» 535
9.2.2.3.3. Acciaio zincato	» 536
9.2.2.3.4. Piombo	» 536
9.2.2.3.5. Tubazioni in fibrocemento contenenti amianto.....	» 537
9.2.2.4. Tubazioni e rivestimenti per acqua potabile in materie plastiche	» 537
9.2.2.4.1. Considerazioni generali	» 537
9.2.2.4.2. Contaminazione da permeazione	» 537
9.2.2.4.3. Polietilene (PE).....	» 538
9.2.2.4.4. Polivinilcloruro (PVC)	» 539
9.2.2.4.5. Polipropilene (PP)	» 539
9.2.2.4.6. Resine poliestere rinforzate da fibre di vetro	» 539
9.2.2.4.7. Materiali a matrice organica utilizzati per vernici e rivestimenti interni di condotte, reattori e serbatoi	» 540
9.3. Bibliografia	» 542

INDICE DEGLI ESEMPI

3 · TRATTAMENTI FISICI		
Esempio 3.1	- Dimensionamento di un microstaccio	pag. 107
Esempio 3.2	- Calcolo del coefficiente di trasferimento dell'ossigeno	» 112
Esempio 3.3	- Dimensionamento di una torre di strippaggio	» 114
Esempio 3.4	- Dimensionamento della sedimentazione di sgrossatura	» 127
Esempio 3.5	- Dimensionamento della sedimentazione	» 128
Esempio 3.6	- Dimensionamento di un filtro rapido a gravità	» 141
Esempio 3.7	- Dimensionamento del controlavaggio di un filtro	» 142
Esempio 3.8	- Calcolo dell'efficienza di recupero di un filtro granulare	» 143
Esempio 3.9	- Calcolo delle perdite di carico di un filtro rapido.....	» 143
Esempio 3.10	- Calcolo della capacità di reiezione di una membrana ad osmosi inversa	» 160
Esempio 3.11	- Calcolo delle portate di alimento e di concentrato in una membrana a osmosi inversa	» 161
4 · TRATTAMENTI CHIMICO-FISICI		
Esempio 4.1	- Calcolo del dosaggio per la preparazione di una soluzione di solfato di alluminio	» 178
Esempio 4.2	- Determinazione del dosaggio ottimale di coagulante mediante prove di jar-test	» 182
Esempio 4.3	- Determinazione del dosaggio di solfato di alluminio per la riduzione del TOC	» 189
Esempio 4.4	- Determinazione del dosaggio di coagulante e di polielettrolita	» 193
Esempio 4.5	- Determinazione del valore di G applicato in un bacino di miscelazione	» 193
Esempio 4.6	- Dimensionamento di una vasca di coagulazione	» 197
Esempio 4.7	- Dimensionamento di una vasca di flocculazione.....	» 200
Esempio 4.8	- Determinazione dell'isoterma di Freundlich di un carbone attivo	» 209
Esempio 4.9	- Determinazione dell'altezza critica di una colonna a carbone attivo granulare	» 228
Esempio 4.10	- Determinazione della durata di una colonna a carbone attivo granulare	» 229
Esempio 4.11	- Dimensionamento di un sistema di trattamento a resine a scambio ionico	» 255
5 · TRATTAMENTI CHIMICI		
Esempio 5.1	- Calcolo della dissociazione di acido ipocloroso in soluzione acquosa in funzione del pH	» 269
Esempio 5.2	- Calcolo della dose di cloro al <i>break-point</i>	» 273
Esempio 5.3	- Stima della domanda di ozono per un'acqua di lago	» 289
Esempio 5.4	- Calcolo della percentuale di inattivazione noto il log di inattivazione	» 309

Esempio 5.5	-	Calcolo del cloro residuo richiesto per garantire un'inattivazione fissata di <i>Giardia lamblia</i>	pag. 324
Esempio 5.6	-	Calcolo del valore di inattivazione di <i>Giardia lamblia</i> e virus per effetto del dosaggio di biossido di cloro	» 329
Esempio 5.7	-	Calcolo del valore di inattivazione di <i>Giardia lamblia</i> nei vari comparti di un impianto.....	» 331
6 · TRATTAMENTI BIOLOGICI			
Esempio 6.1	-	Calcolo del valore di inattivazione di <i>Giardia lamblia</i> per effetto del dosaggio di cloro.....	» 402
8 · RESIDUI GENERATI DAI TRATTAMENTI DI POTABILIZZAZIONE			
Esempio 8.1	-	Calcolo del volume di fango in uscita da un processo di chiariflocculazione nota la produzione di solidi totali	» 500
Esempio 8.2	-	Calcolo della produzione di fango derivante da un trattamento di chiariflocculazione noto il dosaggio di reagente	» 502
Esempio 8.3	-	Caratterizzazione degli effluenti in uscita da un processo ad osmosi inversa	» 506

AUTORI

Capitolo 1	Qualità dell'acqua	<i>Paolo Berbenni, Politecnico di Milano</i>
Capitolo 2	Criteri di scelta dei trattamenti di potabilizzazione	<i>Sabrina Sorlini, Università di Brescia</i>
Capitolo 3	Trattamenti fisici	<i>Barbara Marianna Crotti, Università di Pavia Sabrina Sorlini, Università di Brescia</i>
Capitolo 4	Trattamenti chimico-fisici	<i>Francesca Gialdini, Sabrina Sorlini, Università di Brescia</i>
Capitolo 5	Trattamenti chimici	<i>Sabrina Sorlini, Università di Brescia</i>
Capitolo 6	Trattamenti biologici	<i>Sabrina Sorlini, Università di Brescia</i>
Capitolo 7	Controllo di parametri specifici Ammoniaca (par. 7.2), Nitrati (par. 7.3) Ferro/manganese (par. 7.4) Arsenico (par. 7.5) Fluoruri (par. 7.6)	<i>Sabrina Sorlini, Università di Brescia Fausta Prandini, Università di Brescia Maria Cristina Collivignarelli, Università di Pavia Daniela Palazzini, Università di Brescia</i>
Capitolo 8	Residui generati dai trattamenti di potabilizzazione	<i>Sabrina Sorlini, Università di Brescia</i>
Capitolo 9	Materiali e prodotti utilizzabili in acquedottistica	<i>Vincenzo Riganti, Università di Pavia</i>

Gli esempi di calcolo sono stati elaborati da Sabrina Sorlini, Barbara Marianna Crotti, Francesca Gialdini, Daniela Palazzini, con la collaborazione dell'ing. Francesco Montemagno.

COMITATO SCIENTIFICO DI REVISIONE

Capitolo 1	Qualità dell'acqua	<i>Claudia Lasagna, Iride Acqua Gas, Genova</i>
Capitolo 2	Criteri di scelta dei trattamenti di potabilizzazione	<i>Lorenza Meucci, Società Metropolitana Acque Torino</i>
Capitolo 3	Trattamenti fisici	<i>Claudia Lasagna, Iride Acqua Gas, Genova</i>
Capitolo 4	Trattamenti chimico-fisici	<i>Costantino Nurizzo, Politecnico di Milano</i>
Capitolo 5	Trattamenti chimici Ossidazione chimica (par. 5.2) Disinfezione (par. 5.3) Sottoprodotti di disinfezione (par. 5.4) Processi di ossidazione avanzata (par. 5.5)	<i>Giuliano Ziglio, Università di Trento Luigi Rizzo, Università di Salerno</i>
Capitolo 6	Trattamenti biologici	<i>Luigi Masotti, Paola Verlicchi, Università di Ferrara</i>
Capitolo 7	Controllo di parametri specifici Ammoniaca (par. 7.2) Nitrati (par. 7.3) Ferro/manganese (par. 7.4) Arsenico (par. 7.5) Fluoruri (par. 7.6)	<i>Luigi Masotti, Paola Verlicchi, Università di Ferrara Federico Vagliasindi, Università di Catania</i>
Capitolo 8	Residui generati dai trattamenti di potabilizzazione	<i>Lorenza Meucci, Società Metropolitana Acque Torino</i>
Capitolo 9	Materiali e prodotti utilizzabili in acquedottistica	<i>Oswaldo Conio e Claudia Lasagna, Iride Acqua Gas, Genova</i>

Premessa

Solo un paio di decenni fa, la potabilizzazione delle acque si presentava con connotazioni assolutamente più semplici di quanto non sia oggi in tutti i vari aspetti coinvolti in questa problematica; attualmente essa rappresenta, di contro, un obiettivo sempre più complesso da raggiungere per diversi fattori:

- l'evoluzione normativa, che ha portato all'introduzione di nuovi parametri di controllo e/o di nuovi limiti di qualità;
- il miglioramento delle tecniche analitiche, che ha consentito di analizzare nuovi parametri e/o di raggiungere livelli di rilevabilità molto bassi;
- la comparsa di nuovi inquinanti, conseguente sia a un progressivo peggioramento di qualità delle fonti idriche utilizzate a scopo potabile (per cause principalmente di natura antropica) sia alle conoscenze molto più avanzate nella varie discipline che concorrono alla definizione della qualità dell'acqua;
- l'esigenza di un maggiore controllo sulla qualità dei residui che si originano dai processi di potabilizzazione al fine di una loro corretta gestione.

In particolare, nel 1998 la Direttiva europea 98/83/UE ha introdotto alcune novità che hanno avuto importanti implicazioni di tipo tecnico-gestionale negli impianti di potabilizzazione. In Italia, il recepimento di questa direttiva (con il D.Lgs. 31/2001) ha portato dal dicembre 2003 a nuovi obiettivi di qualità per le acque destinate al consumo umano, con la conseguente esigenza di studiare, sperimentare e applicare nuovi processi e nuove tecnologie. Notevole attenzione è stata data ai parametri che si possono generare durante i processi di ossidazione/disinfezione, i cosiddetti DBPs (*disinfection by-products*), ai residui di reagenti utilizzati nel trattamento delle acque (acrilammide, epicloridrina, alluminio, ecc.), ai contaminanti rilevanti quali arsenico e fluoruri, alle sostanze che possono essere rilasciate nei sistemi di distribuzione (ad esempio, cloruro di vinile e piombo) ecc. Questi fattori hanno portato i tecnici del settore a maturare l'esigenza di affrontare il tema della potabilizzazione attraverso scelte molto meditate dei processi di trattamento necessari per conseguire i requisiti di potabilità di un'acqua.

Questo volume è nato con l'intento di rispondere, almeno in parte, a questa esigenza attraverso la trattazione "integrata" dei diversi aspetti di cui si compone un sistema di potabilizzazione:

- la qualità dell'acqua;
- i criteri di scelta dei trattamenti di potabilizzazione;
- i processi di trattamento convenzionali e avanzati;

- la rimozione di inquinanti specifici;
- la gestione dei residui;
- i materiali/prodotti utilizzabili in acquedottistica.

Ampio spazio nel volume è dedicato ai processi di potabilizzazione che sono stati studiati tenendo conto di:

- teoria del processo;
- campi di applicazione dei singoli trattamenti;
- aspetti tecnici/impiantistici, con particolare riferimento alla tecnologie applicabili, al loro funzionamento, ai dettagli impiantistici;
- criteri di dimensionamento dei principali processi (sia convenzionali che avanzati);
- schemi di trattamento in cui i processi possono essere applicati secondo adeguati criteri di scelta;
- aspetti gestionali.

Nell'impostazione generale del volume è stato dato particolare risalto al legame tra la qualità dell'acqua da trattare e i criteri di scelta dei trattamenti; a tale scopo, oltre all'analisi dei criteri di base, il volume è stato arricchito con numerosi esempi (complessivamente 30) di impianti a scala reale per i quali sono state illustrate le filiere di trattamento adottate in relazione agli inquinanti da rimuovere, oltre ad altre peculiarità di carattere tecnico-gestionale.

Per la maggior parte dei processi analizzati sono riportate indicazioni sui criteri di dimensionamento che, spesso, trovano applicazione in esempi di calcolo (complessivamente 31). In particolare, ad integrazione dei singoli capitoli, sono state proposte alcune schede contenenti esempi di calcolo che riguardano i principali processi di trattamento delle acque. Relativamente a questo aspetto, è opportuno sottolineare che il volume non è nato come manuale di progettazione in senso stretto, bensì come testo di consultazione circa le diverse problematiche (che si presentano agli operatori del settore) legate ai processi e alle tecnologie per la potabilizzazione.

Un particolare approfondimento è stato dedicato ai processi di trattamento applicabili per la rimozione di inquinanti specifici, con riferimento ad alcuni parametri convenzionali quali ammoniaca, nitrati, arsenico e fluoruri, che rappresentano indubbiamente argomenti di sensibile attualità.

Volutamente, non sono stati trattati gli aspetti normativi in quanto il contenuto di questo libro vuole fornire una base tecnica di validità generale, prescindendo almeno dalle esigenze più specifiche imposte dalla normativa. Naturalmente, molti aspetti, soprattutto per i parametri di qualità e i criteri di scelta dei trattamenti, non sono affatto estranei alla normativa vigente alla quale, in questi casi, sono stati fatti espliciti riferimenti.

Agli aspetti gestionali si è fatto costante riferimento, pur non essendo questo, nelle intenzioni dei curatori, il tema di maggiore rilievo del volume. A tale proposito, sono state esplicitamente indicate esperienze e pubblicazioni che, maturate in stretta collaborazione con i gestori di numerosi impianti di potabilizzazione, riguardano nello specifico il tema della gestione degli impianti.

Il volume è complessivamente strutturato in nove capitoli redatti da otto autori diversi, coordinati dal prof. Carlo Collivignarelli e dall'ing. Sabrina Sorlini.

Il testo è rivolto a diverse figure di operatori del settore della potabilizzazione quali: progettisti, gestori di impianti di trattamento, consulenti di aziende produttrici di tecnologie, enti di controllo, ecc. Per la sua struttura e l'impostazione didattica, è adatto anche a studenti di corsi universitari di base e avanzati sui trattamenti di potabilizzazione.

ABBREVIAZIONI E SIMBOLI

AOC	<i>Assimilable Organic Carbon</i>	Carbonio organico assimilabile
AOPS	<i>Advanced Oxidation Processes</i>	Processi di ossidazione avanzata
AOX	<i>Absorbable Organic Halide</i>	Organoalogenati assorbibili
BAC	<i>Biological Activated Carbon</i>	Carbone attivo biologico
BDOC	<i>Biodegradable Dissolved Organic Carbon</i>	Carbonio organico disciolto biodegradabile
BOD	<i>Biochemical Oxygen Demand</i>	Richiesta biochimica di ossigeno
BOM	<i>Biodegradable Organic Matter</i>	Sostanza organica biodegradabile
BV	<i>Bed Volume</i>	Volume del letto
COD	<i>Chemical Oxygen Demand</i>	Richiesta chimica di ossigeno
DBPFP	<i>Disinfection By-Products Formation Potential</i>	Potenziale di formazione dei sottoprodotti di disinfezione
DBPS	<i>Disinfection By-Products</i>	Sottoprodotti di disinfezione
DOC	<i>Dissolved Organic Carbon</i>	Carbonio organico disciolto
DOM	<i>Dissolved Organic Matter</i>	Sostanza organica disciolta
EBCT	<i>Empty Bed Contact Time</i>	Tempo di contatto a volume vuoto
GAC	<i>Granular Activated Carbon</i>	Carbone attivo granulare
HAA	<i>Haloacetic Acid</i>	Acidi aloacetici
NBDOC	<i>Not Biodegradable Dissolved Organic Carbon</i>	Carbonio organico disciolto non biodegradabile
NOM	<i>Natural Organic Matter</i>	Sostanza organica naturale
NTU	<i>Nephelometric Turbidity Units</i>	Unità di torbidità nefelometriche
PAC	<i>Powder Activated Carbon</i>	Carbone attivo in polvere
PACl	<i>Polyaluminium Chloride</i>	Policloruro di alluminio
SAR	<i>Sodium Adsorption Ratio</i>	Rapporto di assorbimento del sodio
SOCS	<i>Synthetic Organic Chemicals</i>	Composti organici di sintesi
TSS	<i>Total Suspended Solids</i>	Solidi sospesi totali
TDS	<i>Total Dissolved Solids</i>	Solidi disciolti totali
THMFP	<i>Total Trihalomethanes Formation Potential</i>	Potenziale di formazione dei trihalometani totali
THMs	<i>Total Trihalomethanes</i>	Trihalometani totali
TOC	<i>Total Organic Carbon</i>	Carbonio organico totale
TOX	<i>Total Organic Halides</i>	Organoalogenati totali
USEPA	<i>United States Environmental Protection Agency</i>	Agenzia di protezione dell'ambiente degli Stati Uniti
VOCS	<i>Volatile Organic Compounds</i>	Composti organici volatili
WHO	<i>World Health Organisation</i>	Organizzazione mondiale della sanità

1. QUALITÀ DELL'ACQUA¹

1.1. Acque naturali

L'acqua presente sulla terra nelle sue tre forme (gassosa, liquida e solida) si trova coinvolta in un movimento ciclico di evaporazione e di precipitazione (ciclo idrologico) che sottopone le terre emerse sia in superficie sia in profondità a lisciviazione ed estrazione metodica e continua delle sostanze solubili e a un processo di erosione permanente. Sulla terra l'acqua si comporta come un solvente quasi universale.

La composizione delle acque naturali è determinata da importanti processi e da complesse reazioni tra le rocce e l'acqua che portano da una parte alla trasformazione delle rocce in suoli e dall'altra alla messa in soluzione di differenti elementi chimici.

1.1.1. Processi geochimici e geobiologici di alterazione delle rocce

L'acqua di pioggia si infiltra nel suolo e attraversa il sottosuolo non saturo per accumularsi nell'acquifero. Durante questo processo di infiltrazione la sua composizione chimica si modifica considerevolmente.

La mineralizzazione delle sostanze organiche presenti nel suolo libera biossido² di carbonio (CO_2) il quale si scioglie nell'acqua e reagisce con i minerali che formano le rocce, in particolare carbonati e silicati. I processi di alterazione determinano la concentrazione dei principali ioni e specie indissociate (calcio, magnesio, bicarbonato, solfato, acido silicico) presenti nelle acque sotterranee. Anche la concentrazione di sodio, potassio e cloruro negli acquiferi non inquinati è regolata da questi processi.

Le acque sotterranee prossime alla superficie contengono CO_2 dovuta allo scambio naturale tra l'atmosfera e il sottosuolo. Qui la concentrazione dei nitrati (NO_3^-) dipende da una parte dalla mineralizzazione dell'azoto organico (N_{org}) e dall'altra dalla nitrificazione dello ione ammonio (NH_4^+). Il nitrato non consumato dalle piante viene lisciviato dalle acque di infiltrazione e si accumula in quelle sotterranee.

I principali processi di mineralizzazione delle acque per dissoluzione ed attacco chimico, per ossido-riduzione, per scambio ionico e per formazione di complessi si possono osservare nella tabella 1.1. Un ruolo importante assumono anche i processi (fotosintesi e respirazione) tra gli organismi viventi e l'ambiente abiotico.

¹ Il presente capitolo è a cura di Paolo Berbenni.

² Più correttamente, il termine definito dall'IUPAC (*International Union of Pure and Applied Chemistry*) è diossido.

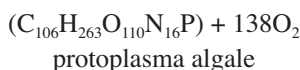
Tabella 1.1 – Esempi di reazioni di disgregazione e alterazione dei minerali e di messa in soluzione delle specie chimiche nelle acque (modificata da Sigg e Stumm, 1991)

Minerale	Equazione	Solubilità (25°C)		
		–	pK _{so} ¹⁾	mg/l
Salgemma	NaCl ⇌ Na ⁺ + Cl ⁻	Alta	1,6	360000
Gesso	CaSO ₄ · 2H ₂ O ⇌ Ca ²⁺ + SO ₄ ²⁻ + 2H ₂ O		4,6	765
Calcite	CaCO ₃ + H ₂ CO ₃ ^{*3)} ⇌ Ca ²⁺ + 2HCO ₃ ⁻ CaCO ₃ + 2H ⁺ ⇌ Ca ²⁺ + HCO ₃ ⁻	Intermedia	4,4	80 ²⁾
Dolomite	CaMg(CO ₃) ₂ + 2H ₂ CO ₃ [*] ⇌ Ca ²⁺ + Mg ²⁺ + 4HCO ₃ ⁻		9,0	90 ³⁾
Silicati (ad esempio, feldspato)	minerali primari + H ₂ CO ₃ [*] ⇌ cat + H ₄ SiO ₄ + HCO ₃ ⁻ + Al(OH) ₃ + minerali secondari KAlSi ₃ O ₈ + H ⁺ + 4,5H ₂ O ⇌ K ⁺ + H ₄ SiO ₄ + 0,5Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	Scarsa		30
Quarzo	SiO ₂ + 2H ₂ O ⇌ H ₄ SiO ₄		3,7	2
Gibbsite	Al(OH) ₃ + 3H ⁺ ⇌ Al ³⁺ + 3H ₂ O	Bassa	- 8,5	< 0,01
Goethite	FeOOH + 3H ⁺ ⇌ Fe ³⁺ + 2H ₂ O		- 1,6	< 0,001

¹⁾ pK_{so} = -log(K_{so}), con K_{so} = prodotto di solubilità.
²⁾ p_{CO₂} = 10^{-3,5} atm.
³⁾ H₂CO₃^{*} indica la somma analitica della concentrazione di CO₂aq e dell'acido carbonico H₂CO₃.

È interessante notare l'azione dell'anidride carbonica disciolta (H₂CO₃^{*}) sui sali minerali non solo per dissolvere i carbonati, ma anche i silicati, con la formazione dello ione idrogenocarbonato (HCO₃⁻), a giustificare la predominanza di questa specie in quasi tutte le acque.

L'interazione del ciclo delle rocce con quello delle acque è completata da quella degli organismi viventi con l'ambiente abiotico, attraverso i processi di fotosintesi e respirazione. La fotosintesi *P* e i processi di respirazione *R* possono essere indicati dalla reazione seguente:



dove, seppure la stechiometria sia differente per ciascun sistema acquatico e per ciascuna alga, è da constatare che la complessa dinamica fotosintesi-respirazione (*P-R*) per questi differenti organismi può essere scritta da semplici relazioni: ΔC : ΔN : ΔP = 106 : 16 : 1 (C = carbonio; N = azoto e P = fosforo) (Sigg et al., 1992).

Il flusso di energia necessario al sistema è accompagnato dal ciclo di nutrienti e da quello degli elementi in traccia.

Nelle acque superficiali si osservano variazioni diurne del pH, dell'ossigeno disciolto e della temperatura dovute alla attività biologica e ai processi di ossido-riduzione.