

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI UDINE

FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Dipartimento di Scienze e Tecnologie Chimiche

Tesi di Dottorato di Ricerca in  
TECNOLOGIE CHIMICHE ED ENERGETICHE  
XIX Ciclo

**Valutazione dei Parametri di Modello del Fango  
Attivo con Tecniche Respirometriche.  
Applicazioni a Casi Reali.**

Coordinatore: prof. PIERO PINAMONTI

Dottorando: dott. ing. GIANPAOLO DI GIORGIO

Relatori: prof. GIULIANO DOLCETTI; prof. DANIELE GOI

Anno Accademico 2005 - 2006

# INDICE.

INDICE	i
PREFAZIONE	v
INTRODUZIONE	vii
1. LE CINETICHE DI REAZIONE DEL FANGO ATTIVO	1
1.1 Cinetiche di Reazione Generali	1
1.2 Osservazioni sulle Cinetiche di Rimozione di Substrati Multicomponente	9
1.3 Effetti dell'Inibizione sulla Velocità di Consumo dei Substrati	11
1.4 Effetto dei Fattori Ambientali	15
1.5 Il Modello Enzimatico Applicato alle Proprietà Cinetiche del Fango Attivo	17
1.6 La Matrice delle Cinetiche Generali di Reazione	21
2. LE CINETICHE DELLA RIMOZIONE DEL CARBONIO ORGANICO	23
2.1 Caratterizzazione del Carbonio Organico dei Substrati Complessi	24
2.2 I Componenti Particolati	29
2.2.1 Crescita della Componente Eterotrofa. Consumo di Substrati	29
2.2.2 Perdita della Componente Eterotrofa: il Modello del Decadimento Endogeno	33
2.2.3 Perdita della Componente Eterotrofa: il Modello Perdita-Rigenerazione	35

2.3	I Componenti Solubili	37
2.3.1	Substrato Rapidamente Biodegradabile	38
2.3.2	Frazione Inerte Influyente	39
2.3.3	Prodotti Microbici Residuali Solubili	39
2.4	La Matrice delle Cinetiche di Reazione nella Rimozione del Carbonio Organico	41
3.	LE CINETICHE DELLE TRASFORMAZIONI DELL'AZOTO	47
3.1	Forme dell'Azoto Influyente	48
3.2	Cinetiche di Processo nell'Ossidazione dell'Azoto Ammoniacale	52
3.2.1	Crescita e Decadimento della Componente Microbica Autotrofa	56
3.2.2	La Conversione dell'Azoto Organico in Ammoniaca	59
3.3	Effetto dei Fattori Ambientali sulle Cinetiche della Nitrificazione	61
3.3.1	Effetto dell'Ossigeno Disciolto	61
3.3.2	Effetto del pH	64
3.3.3	Effetto della Temperatura	65
3.3.4	Effetto di Inibitori Specifici	66
3.4	La Matrice delle Cinetiche di Reazione nella Nitrificazione	67
3.4.1	La Matrice del Modello della Nitrificazione nei Sistemi a Fanghi Attivi	69
3.5	La Riduzione Biologica dell'Azoto	74
3.5.1	Stechiometria della Denitrificazione	76
3.6	Cinetiche di Processo nella Riduzione dell'Azoto	78
3.6.1	L'Idrolisi del Particolato Organico	82
3.6.2	Il Decadimento della Biomassa Nitrificante	84
3.7	Effetto dei Fattori Ambientali sulla Denitrificazione	85
3.8	Matrice del Modello per le Cinetiche di Denitrificazione	86
3.9	Configurazioni di Processo per la Denitrificazione	90
3.9.1	Modello per i Sistemi Denitrificanti a Singolo Fango	92
4.	LE CINETICHE DELLA RIMOZIONE DELL'ECESSO BIOLOGICO DI FOSFORO	97
4.1	Cinetiche e Stechiometria dei Sistemi per la Rimozione Biologica dell'Eccesso di Fosforo	98

Indice.		iii
4.1.1	Accumulo di Carbonio Organico	100
4.1.2	Crescita di Microrganismi Accumulatori di Polifosfato	102
4.1.3	Decadimento Endogeno	105
5.	ACTIVATED SLUDGE MODELS	109
5.1	L'Activated Sludge Model No 1	110
5.1.1	Componenti e Processi del Modello	110
5.1.2	Formulazione del Modello. Matrice dei Coefficienti e Vettore delle Velocità	115
5.2	L'Activated Sludge Model No 2	122
5.2.1	Concentrazioni dei Componenti Solubili	122
5.2.2	Concentrazioni dei Componenti Particolati	123
5.2.3	I Processi dell'A.S.M. No 2. Matrice dei Coefficienti e Vettore delle Velocità	124
5.2.4	Caratterizzazione dell'Influente nell'A.S.M. No 2	135
5.3	L'Activated Sludge Model No 3	139
5.3.1	Concentrazioni dei Componenti Solubili	141
5.3.2	Concentrazioni dei Componenti Particolati	142
5.3.3	I Processi dell'A.S.M. No 3. Matrice dei Coefficienti e Vettore delle Velocità	143
6.	LA RESPIROMETRIA DEL FANGO ATTIVO	151
6.1	Introduzione	151
6.2	Principi della Respirimetria. Bilancio di Materia per l'Ossigeno Disciolto	153
6.3	Apparato Strumentale nei Tests Respirimetrici	159
6.4	Determinazione Sperimentale di Parametri delle Cinetiche Eterotrofe	162
6.4.1	Il Respirogramma del Fango Attivo	162
6.4.2	Quantificazione della Frazione Attiva Eterotrofa della Biomassa	166
6.4.3	Misura di Parametri Cinetici e Stechiometrici con Test Respirimetrico a Deossigenazione	168
6.4.4	Determinazione di $b_H$ e $k_d$	171
6.4.5	Determinazione di $Y_H$	172
6.4.6	Determinazione di $\mu_{max,H}$	174
6.4.7	Determinazione di $Y_H$ da Respirogramma	175
6.4.8	Determinazione Simultanea di $K_S$ e $\mu_{max,H}$	176

6.5	Determinazione Sperimentale di Parametri delle Cinetiche Autotrofe	178
6.5.1	Determinazione di $Y_A$	178
6.5.2	Determinazione di $\mu_{\max,A}$	181
6.5.3	Determinazione Simultanea di $K_{NH}$ e $\mu_{\max,A}$	183
6.6	Misura del Coefficiente di Trasferimento dell'Ossigeno	184
6.7	Il Frazionamento del COD Influyente	187
6.7.1	Metodi per il Frazionamento del COD: Valutazione di rbCOD	188
6.7.2	Metodi per il Frazionamento del COD: Valutazione di (sb+rh)COD e del COD Biodegradato Totale	191
6.8	Tossicologia del Fango Attivo	196
6.8.1	Test di Tossicità sulla Respirazione Endogena	197
6.8.2	Test Respirometrico per la Valutazione dell'Inibizione Eterotrofa	198
7.	RISULTATI SPERIMENTALI	203
7.1	Valutazione di $X_H$ , $b_H$ e $k_d$	204
7.2	Test a Deossigenazione per la Valutazione di $b_H$ , $k_d$ , $Y_H$ , $\mu_{\max,H}$	206
7.3	Valutazione di $Y_H$ da Respirogramma	209
7.4	Valutazione Simultanea di $K_S$ e $\mu_{\max,H}$	210
7.5	Valutazione di $Y_A$	213
7.6	Test a Deossigenazione per la Valutazione di $\mu_{\max,A}$	214
7.7	Valutazione Simultanea di $K_{NH}$ e $\mu_{\max,A}$	216
7.8	Valutazione di $K_{La}$	219
7.9	Frazionamento del COD Influyente	221
	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	227
	BIBLIOGRAFIA	229