

Laboratorio di Ingegneria Sanitaria Ambientale

Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale  
Università degli Studi di Trento

# **Respirometria applicata alla depurazione delle acque**

## **Principi e metodi**

G. Andreottola, P. Foladori, M. Ferrai, G. Ziglio

*Si ringrazia il dott. A. Spagni per il contributo relativo  
al Capitolo 7 “Modellizzazione matematica  
dei respirogrammi sperimentali”*

# INDICE

<b>SIMBOLOGIA .....</b>	<b>9</b>
<b>PRESENTAZIONE.....</b>	<b>13</b>
<b>1. INTRODUZIONE .....</b>	<b>14</b>
<b>2. I PARAMETRI CHE DESCRIVONO I PROCESSI BIOLOGICI NEGLI IMPIANTI A FANGHI ATTIVI.....</b>	<b>18</b>
2.1. PREMESSA .....	18
2.2. I PARAMETRI DETERMINABILI MEDIANTE TEST RESPIROMETRICI .....	20
2.3. UTILIZZO DEI PARAMETRI MISURATI PER VIA RESPIROMETRICA NELLA PROGETTAZIONE DEI PROCESSI A FANGHI ATTIVI .....	22
<b>3. PRINCIPI DELLA RESPIROMETRIA .....</b>	<b>23</b>
3.1. PREMESSA .....	23
3.2. IL CONSUMO DI OSSIGENO .....	24
3.3. COS'È UN RESPIROMETRO? .....	25
3.4. APPLICAZIONI DELLA RESPIROMETRIA .....	32
<b>4. ESECUZIONE DEI TEST RESPIROMETRICI.....</b>	<b>34</b>
4.1. PREMESSA .....	34
4.2. ALLESTIMENTO DEL RESPIROMETRO .....	35
4.3. PREPARAZIONE DEL CAMPIONE .....	37
4.4. MISURA DEL CONSUMO DI OSSIGENO .....	40

4.5. COME SI CALCOLA L'OUR.....	43
4.6. IL RESPIROGRAMMA .....	45
4.7. RESPIROGRAMMA DEL FANGO ATTIVO .....	48
4.8. RESPIROGRAMMA DEL FANGO ATTIVO IN ASSENZA DI SUBSTRATO ESOGENO .....	50
4.9. RESPIROGRAMMA DEL FANGO ATTIVO IN PRESENZA DI UN SUBSTRATO .....	51
4.10. CALCOLO DEL CONSUMO TOTALE DI OSSIGENO .....	52
4.11. IL RAPPORTO S/X .....	53
4.12. ANALISI CHIMICHE .....	54
<b>5. METODI RESPIROMETRICI PER IL FRAZIONAMENTO DEL COD NEI REFLUI.....</b>	<b>55</b>
5.1. PREMESSA .....	55
5.2. COMPONENTI DEL COD TOTALE .....	56
5.3. DETERMINAZIONE DEL COD TOTALE.....	65
5.4. DETERMINAZIONE DEL COD SOLUBILE.....	65
5.5. METODO DIRETTO PER LA DETERMINAZIONE DEL COD RAPIDAMENTE BIODEGRADABILE (RBCOD) .....	65
5.6. IL TEST RESPIROMETRICO PER DETERMINARE TUTTE LE FRAZIONI DI COD BIODEGRADABILE .....	74
5.6.1. <i>Allestimento ed esecuzione del test</i> .....	74
5.6.2. <i>Il respirogramma ottenuto per un refluo civile</i> .....	75
5.7. CENNI SULLE CINETICHE DI IDROLISI DEL COD PARTICOLATO BIODEGRADABILE .....	84
5.8. DETERMINAZIONE DELLA FRAZIONE ATTIVA ETEROTROFA .....	86
<b>6. MISURA DEI PARAMETRI CINETICI DEI FANGHI ATTIVI .....</b>	<b>89</b>
6.1. PREMESSA .....	89
6.2. LA CINETICA DI RIMOZIONE DEI SUBSTRATI CARBONIOSI .....	90
6.3. IL COEFFICIENTE DI CRESCITA SPECIFICA DEI BATTERI ETEROTROFI .....	96
6.4. IL COEFFICIENTE DI DECADIMENTO ENDOGENO DEI BATTERI ETEROTROFI .....	100
6.5. LA CINETICA DI NITRIFICAZIONE .....	105
6.6. ALTRI METODI PER LA MISURA DELLA VELOCITÀ DI RIMOZIONE DEI SUBSTRATI .....	109
<b>7. MODELLIZZAZIONE MATEMATICA DEI RESPIROGRAMMI SPERIMENTALI.....</b>	<b>111</b>
7.1. PREMESSA .....	111
7.2. DETERMINAZIONE DELLE COSTANTI CINETICHE DELLA BIOMASSA ETEROTROFA .....	113
7.3. DETERMINAZIONE DELLE COSTANTI CINETICHE DELLA BIOMASSA AUTOTROFA (NITRIFICANTE) .....	115
7.4. VALUTAZIONE DELLA BIODEGRADABILITÀ DEL REFLUO .....	120
7.4.1. <i>Caratterizzazione del refluo dopo inibizione della nitrificazione</i> .....	120
7.4.2. <i>Caratterizzazione del refluo senza inibizione della nitrificazione</i> .....	123
<b>8. VALUTAZIONE DELL'INIBIZIONE.....</b>	<b>125</b>
8.1. PREMESSA .....	125
8.2. ESECUZIONE DEL TEST DI INIBIZIONE SUI BATTERI ETEROTROFI .....	127
8.2.1. <i>Esecuzione del test di inibizione dei batteri eterotrofi con campione non biodegradabile</i> .....	127

8.2.2. Esecuzione del test di inibizione dei batteri eterotrofi con sostanza campione limitatamente biodegradabile.....	130
8.3. ESECUZIONE DEL TEST DI INIBIZIONE SUI BATTERI NITRIFICANTI .....	133
8.3.1. Esecuzione del test di inibizione dei batteri nitrificanti con campione non biodegradabile .....	133
8.3.2. Esecuzione del test di inibizione dei batteri nitrificanti con sostanza campione limitatamente biodegradabile.....	138
8.4. PRESENZA DI UN CONSUMO DI OSSIGENO DI NATURA CHIMICA .....	139
8.5. CALCOLO DI EC <sub>50</sub> .....	140
8.6. INFLUENZA DELLA DURATA DEL TEST RESPIROMETRICO .....	141
8.7. ALTRI METODI PER LA VALUTAZIONE DELL'INIBIZIONE .....	141
<b>9. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE E PROSPETTIVE .....</b>	<b>142</b>
<b>10. BIBLIOGRAFIA CITATA .....</b>	<b>145</b>
<b>11. LETTERATURA INTEGRATIVA.....</b>	<b>149</b>

La respirometria, che può essere considerata una *disciplina* piuttosto che una semplice *tecnica*, si occupa della misura e dell'interpretazione delle modalità con cui avviene il consumo dell'ossigeno da parte di un sistema biologico per degradare e rimuovere un substrato. Le misure respirometriche effettuate sui fanghi attivi e sulle acque reflue grezze o sedimentate si basano sulle variazioni della concentrazione di ossigeno disciolto nel reattore (respirometro) e sul calcolo della velocità con cui tale consumo avviene. Essendo infatti il consumo dell'ossigeno espressione dell'attività della biomassa, la respirometria può rivestire un importante ruolo per la misura dei parametri cinetici utili al controllo ed alla modellazione del processo depurativo. L'approccio tradizionalmente utilizzato per l'analisi della composizione dei reflui basato su metodi chimico-fisici (per esempio la concentrazione di COD, SST, il frazionamento nelle componenti solubile, colloidale e sospesa) non permette di ottenere tali informazioni. Ad esempio, non consentono di distinguere la parte di refluo rapidamente biodegradabile da quella lentamente biodegradabile. Per tale motivo le metodologie chimico-fisiche risultano poco utili ai fini dell'applicazione dei modelli di simulazione e controllo dei processi, a meno di non integrarle con quelle misure di tipo biologico che permettono di quantificare le componenti biodegradabili e la velocità con cui tali frazioni vengono utilizzate. La misura del BOD<sub>5</sub>, parametro che, quando rapportato al relativo COD, viene tradizionalmente utilizzato per esprimere in modo qualitativo la biodegradabilità di un refluo, non permette di valutare il tempo necessario alla sua degradazione e di discriminare tra substrati rapidamente biodegradabili e substrati lentamente biodegradabili. Il tempo di riferimento per la valutazione della biodegradabilità è inoltre

legato al tempo di ritenzione (ore) dei substrati all'interno del reattore a fanghi attivi, che è molto diverso dalla durata del test del BOD<sub>5</sub> (giorni). La respirometria può ritenersi una *disciplina*, nel senso che si sono sviluppate numerose e differenti tipologie di test utilizzando un'unica apparecchiatura (il *Respirometro*) al fine di descrivere il processo di crescita cellulare, il decadimento endogeno, le cinetiche di rimozione dei substrati carboniosi, la nitrificazione, la caratterizzazione dei substrati e la loro biodegradabilità, ecc..

La parte più critica della respirometria non è tanto l'effettiva esecuzione dei test, quanto l'interpretazione dei risultati ottenuti e soprattutto la "progettazione" del test più adatto per lo specifico parametro o per le specifiche informazioni che si desiderano ottenere.

L'applicazione della respirometria agli impianti di depurazione può consentire differenti applicazioni, tra le quali le più tipiche sono:

- a) la caratterizzazione dei reflui in ingresso all'impianto dal punto di vista della loro biodegradabilità;
- b) la quantificazione delle costanti cinetiche su cui si basa il dimensionamento del volume del reattore biologico;
- c) la definizione dei parametri per la stima della produzione di fanghi di supero;
- d) il fabbisogno di ossigeno per il fango attivo proveniente dalla vasca di ossidazione;
- e) l'eventuale effetto inibitorio da parte di reflui speciali conferiti.

In questo manuale i primi capitoli sono dedicati ai principi della respirometria ed alla descrizione della strumentazione necessaria, molto semplice e facilmente disponibile in un laboratorio chimico-biologico.

Successivamente sono descritte con un taglio pratico le metodologie per l'applicazione della respirometria nella caratterizzazione dei reflui (Capitolo 5) e nella valutazione delle cinetiche biologiche (Capitolo 6). La modellizzazione dei respirogrammi è presentata nel Capitolo 7, a cura di A. Spagni.

Si farà inoltre riferimento ad alcune metodologie per la valutazione della tossicità sui fanghi attivi (Capitolo 8), argomento che necessiterebbe di una più estesa trattazione *ad hoc*, ma di cui verrà proposta una prima semplice trattazione.

In questo manuale, riferito ai "Principi e metodi" nell'applicazione della respirometria, non si fa riferimento ai respirometri on-line, che possono essere utilizzati sugli impianti per il controllo di processo e che richiedono una complessa strumentazione asservita da sofisticati software di controllo.