

Università degli Studi di Napoli Federico II



Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria per l'Ambiente e il
Territorio

Tesi di Laurea

*Mathematical modelling of the MBR plant at Vila Nova do Ceira
(Portugal)*

Relatori:

Prof. Ing. João Carlos dos Santos Alves Vieira

Prof. Ing. Massimiliano Fabbricino

Prof. Ing. Luigi Frunzo

Candidato:

Alberto Tenore

Matr. M67/318

Anno Accademico
2016/2017

ABSTRACT (ITALIANO)

In questo lavoro di tesi viene presentato un modello matematico in grado di simulare i processi che avvengono nei sistemi MBR. Il modello, derivato da uno precedente esistente in letteratura (modello di d'Antonio), opportunamente modificato ed ampliato, viene implementato per un classico ciclo di predenitrificazione, e successivamente viene calibrato e validato usando i dati provenienti da una campagna di analisi effettuata presso l'impianto di Vila Nova do Ceira (Portogallo).

La calibrazione è stata realizzata variando i parametri cinetici del modello per avvicinare i valori simulati a quelli sperimentali. I valori finali di questi parametri cinetici sono simili a quelli forniti dalla letteratura e ciò dà una maggiore rilevanza scientifica al modello. Anche i risultati della validazione, in seguito ad una serie di osservazioni, sono convincenti. In generale, la calibrazione e la validazione rendono il modello un affidabile strumento nella simulazione della realtà sperimentale di un generico sistema MBR (per operazioni di monitoraggio, ma anche per la definizione di scenari sotto particolari condizioni operative dell'impianto).

Inoltre, usando il modello calibrato e validato, è stata proposta l'ottimizzazione dell'impianto di Vila Nova do Ceira tramite l'introduzione di una vasca di deossigenazione nel sistema. Questa modifica dell'impianto MBR permette di ottenere valori di ossigeno disciolto vicini a zero nella vasca di denitrificazione, in modo tale che i processi anossici avvengano in maniera ottimale. La vasca di deossigenazione determina una forte riduzione di nitrati in entrambe le vasche biologiche.

ABSTRACT (ENGLISH)

In this dissertation, a mathematical model able to simulate the processes occurring in a MBR system is presented and applied to a case study in Portugal. The model, derived from a previous one existing in the scientific literature (d'Antonio et al.), has been adapted and enlarged to better represent different possible situations. Then it has been implemented for a classic pre-nitrification cycle, calibrated and validated using the data from a sampling campaign carried out at plant of Vila Nova do Ceira (Portugal).

The calibration has been done by varying the kinetic parameters of the model to bring the simulated values close to the experimental ones. The final values of these kinetic parameters are similar to those provided by the literature, which gives a greater scientific relevance to the model. The results of the validation, following a series of observations, are also convincing. In general, calibration and validation make the model a reliable tool in the simulation of the experimental reality of a generic MBR system (for monitoring operations, but also for the definition of scenarios under particular plant operating conditions).

In addition, using the calibrated and validated model, it is proposed to optimize the Vila Nova do Ceira plant by introducing a deoxygenation tank in the system. This modification of the MBR plant allows to obtain dissolved oxygen values close to zero in the denitrification tank, in such a way that the anoxic processes are performed optimally. The deoxygenation tank determines a strong reduction of nitrates in both biological tanks.

Modello di d'Antonio (2016)

	S_S	S_I	X_H	X_A	X_S	X_I	X_{sto}	S_{SMP}	S_{NO}	S_{NH}	Cinetica
Stoccaggio aerobico di S_S	-1						$Y_{sto,O}$			$i_{N,SS}$	ρ_1
Stoccaggio anossico di S_S	-1						$Y_{sto,NO}$		$-\frac{1 - Y_{sto,NO}}{2,86}$	$i_{N,SS}$	ρ_2
Stoccaggio aerobico di SMP							$Y_{sto,O}$	-1		$i_{N,SMP}$	ρ_3
Stoccaggio anossico di SMP							$Y_{sto,NO}$	-1	$-\frac{1 - Y_{sto,NO}}{2,86}$	$i_{N,SMP}$	ρ_4
Crescita aerobica di X_H			1				$-\frac{1}{Y_{H,O}}$	Y_{UAPH}		$i_{N,BM}$	ρ_5
Crescita anossica di X_H			1				$-\frac{1}{Y_{H,NO}}$	Y_{UAPH}	$-\frac{1 - Y_{H,NO}}{2,86 \cdot Y_{H,NO}}$	$i_{N,BM}$	ρ_6
Crescita aerobica di X_A				1				Y_{UAPA}	$\frac{1}{V_A}$	$-(i_{N,BM} + \frac{1}{V_A})$	ρ_7
Decadimento di X_H con formazione di X			-1		$1-f_p$	f_p				$i_{N,BM}$	ρ_8
Decadimento di X_H con formazione di BAP		f_B	-1					$1-f_B$		$i_{N,BM}$	ρ_9
Decadimento di X_A con formazione di X				-1	$1-f_p$	f_p				$i_{N,BM}$	ρ_{10}
Decadimento di X_A con formazione di BAP		f_B		-1				$1-f_B$		$i_{N,BM}$	ρ_{11}
Idrolisi aerobica					-1			1			ρ_{12}
Idrolisi anossica					-1			1			ρ_{13}
Decadimento di X_{sto}							-1				ρ_{14}

Modifiche al modello di d'Antonio

1) Introduzione di un valore soglia (S_S^{min}) nella cinetica dello stoccaggio di sostanza organica

$$-k_{sto} \frac{S_O}{K_{O,H} + S_O} \frac{S_S - S_S^{min}}{K_S + S_S - S_S^{min}}$$

2) Introduzione di un coefficiente riduttivo che considera la presenza di ossigeno in denitrificazione

$$\frac{1}{1 + \frac{S_O^D}{K_I}}$$

S_O^D è la concentrazione di ossigeno disciolto presente nella vasca di denitrificazione, calcolata tramite un semplice bilancio di massa:

$$S_O^D = \frac{S_O^0 + R \cdot S_O^N}{(1 + R)}$$

3) Aggiunta dei termini relativi ai processi aerobici anche nelle equazioni cinetiche della denitrificazione.

Piano di campionamento

I campioni sono stati prelevati in 3 diversi punti:

Nella vasca di equalizzazione (prima della vasca anossica)

Nella vasca anossica (prima della vasca aerobica)

Nella vasca aerobica (prima della membrana)

PARAMETRI MISURATI

COD totale	COD solubile	NO ₃	NH ₄
Proteine	Carboidrati	SST (Solidi sospesi totali)	SSV (Solidi sospesi volatili)

- Dati per la calibrazione – Dati raccolti dal 1 al 22 Marzo
- Dati per la validazione – Dati raccolti dal 24 Marzo al 27 Aprile

Calibrazione

NITRIFICAZIONE

VARIABILE	PIANO DI ANALISI	MODELLO	
		VALORI	COMPONENTI
NO ₃ (mgNO ₃ ·l ⁻¹)	66	91	S _{NO}
NH ₄ (mgNH ₄ ·l ⁻¹)	1	2	S _{NH}
COD (mgCOD·l ⁻¹)	8669	9464	S _S +S _I +S _{SMP} +X _S +X _I +X _H +X _A
Soluble COD (mgCOD·l ⁻¹)	80	85	S _S +S _I +S _{SMP}
VSS (mgVSS·l ⁻¹)	7952	7482	X _H +X _A
SMP (mgCOD·l ⁻¹)	65	64	S _{SMP}

DENITRIFICAZIONE

VARIABILE	PIANO DI ANALISI	MODELLO	
		VALORI	COMPONENTI
NO ₃ (mgNO ₃ ·l ⁻¹)	50	50	S _{NO}
NH ₄ (mgNH ₄ ·l ⁻¹)	2.8	2.7	S _{NH}
COD (mgCOD·l ⁻¹)	7200	7614	S _S +S _I +S _{SMP} +X _S +X _I +X _H +X _A
Soluble COD (mgCOD·l ⁻¹)	84	78	S _S +S _I +S _{SMP}
VSS (mgVSS·l ⁻¹)	5609	6023	X _H +X _A
SMP (mgCOD·l ⁻¹)	56	57	S _{SMP}

I risultati forniti dal modello si avvicinano in maniera convincente a quelli ottenuti sperimentalmente tranne quelli relativi alla concentrazione di nitrati in fase di nitrificazione.

Questo avviene perchè il modello:



Validazione

PARAMETRO	SIMBOLO	CALIBRAZIONE	VALIDAZIONE
Fattore di correzione relativo ai processi ad opera di X_H	η_{NO}	1	1.2
Coefficiente di rendimento dello stoccaggio aerobico	$Y_{sto,O}$	0.9	0.91
Coefficiente di rendimento dello stoccaggio anossico	$Y_{sto,NO}$	0.85	0.9

NITRIFICAZIONE

VARIABILE	PIANO DI ANALISI	MODELLO	
		VALORI	COMPONENTI
NO_3 (mg NO_3 ·l ⁻¹)	43	86	S_{NO}
NH_4 (mg NH_4 ·l ⁻¹)	1.3	2	S_{NH}
COD (mgCOD·l ⁻¹)	9054	8676	$S_5+S_1+S_{SMP}+X_5+X_1+X_H+X_A$
Soluble COD (mgCOD·l ⁻¹)	57	75	$S_5+S_1+S_{SMP}$
VSS (mgVSS·l ⁻¹)	7905	7120	X_H+X_A
SMP (mgCOD·l ⁻¹)	51	63	S_{SMP}

DENITRIFICAZIONE

VARIABILE	PIANO DI ANALISI	MODELLO	
		VALORI	COMPONENTI
NO_3 (mg NO_3 ·l ⁻¹)	29	30	S_{NO}
NH_4 (mg NH_4 ·l ⁻¹)	3.9	3	S_{NH}
COD (mgCOD·l ⁻¹)	7100	6762	$S_5+S_1+S_{SMP}+X_5+X_1+X_H+X_A$
Soluble COD (mgCOD·l ⁻¹)	61	66	$S_5+S_1+S_{SMP}$
VSS (mgVSS·l ⁻¹)	5680	5580	X_H+X_A
SMP (mgCOD·l ⁻¹)	43	54	S_{SMP}

Con queste piccole modifiche, il modello fornisce valori della concentrazione di biomassa molto vicini a quelli misurati sperimentalmente

Ottimizzazione – Vasca di deossigenazione

Variabili in input	
Q (m ³ /d)	56
Q _R (m ³ /d)	212
Q _S (m ³ /d)	0.85
R	3.75
f _e	0.985
f _w	0.016
SO ^N (mg/l)	10
SO ^D (mg/l)	0.5
S _S ^o (mg/l)	76
S _I ^o (mg/l)	10.5
X _H ^o (mg/l)	0
X _A ^o (mg/l)	0
X _S ^o (mg/l)	297.5
X _I ^o (mg/l)	8
X _{STO} ^o (mg/l)	0
S _{SMP} ^o (mg/l)	0
S _{NO} ^o (mg/l)	7
S _{NH} ^o (mg/l)	23.5

Con vasca di deossigenazione

S _{NO} ^N (mg/l)	32
S _{NO} ^D (mg/l)	0.2

Senza vasca di deossigenazione

S _{NO} ^N (mg/l)	84
S _{NO} ^D (mg/l)	48



L'inserimento di una vasca di deossigenazione nell'impianto riduce fortemente la concentrazione di nitrati nelle due vasche, risultando un'ottima opzione per l'ottimizzazione dell'impianto.