



Regione Marche



Provincia di Pesaro Urbino

AMPLIAMENTO E MANUTENZIONE STRAORDINARIA DELL'IMPIANTO DI DEPURAZIONE DI MAROTTA - COMUNE DI MONDOLFO (PU)

PROGETTO ESECUTIVO

elaborato

E-R.04

consegna

Luglio 2017

titolo elaborato

Relazione specialistica di calcolo del processo
biologico e della precipitazione chimica del
fosforo

scale

— : —

Committente:



Azienda Servizi sul Territorio S.p.A.

via Enrico Mattei, 17 - 61032 Fano (PU)

tel: 0721 83391

aset@asetservizi.it

Responsabile del Procedimento - Ing. Marco Romei

I progettisti:



Ingegneria

Ambiente

S.r.l.

INGEGNERIA AMBIENTE S.r.l.

Via del Consorzio, 39 - 60015 Falconara Marittima (AN)

tel. 071-9162094 - fax. 071-9189580

e_mail: info@ingegneriaambiente.it

Ing. Enrico Maria BATTISTONI - Direttore Tecnico

Ing. Lorenzo BURZACCA

BATTISTONI EN
2017.12.13 22:08:48

CN=BATTISTONI ENRICO
C=IT
O=NON PRESENTE
2.5.4.4=BATTISTONI

RSA/2048 bits

REV_1: AGGIORNAMENTO NOVEMBRE 2017

La proprietà del presente elaborato e' tutelata a termini di legge. E' vietata qualsiasi forma di riproduzione o di copia non autorizzata.

INGEGNERIA AMBIENTE S.r.l.	Rev. 00	Data: Luglio 2017	Elaborato E-R.04 – Relazione specialistica di calcolo del processo biologico e della precipitazione chimica del fosforo	Pag. 1 di 16
	Rev. 01	Data: Novembre 2017		

INDICE

1. PREMESSA	2
2. IL PROCESSO BIOLOGICO	3
2.1. LA STRATEGIA PROGETTUALE ADOTTATA	3
2.2. I DATI A BASE PROGETTO DELLO STATO DI PROGETTO	4
2.3. IL DIMENSIONAMENTO DEL PROCESSO BIOLOGICO	5
2.3.1. <i>Premessa</i>	5
2.3.2. <i>Configurazione D-CA: Vasche in serie</i>	5
2.3.3. <i>Il processo a Cicli Alternati in reattore unico</i>	6
2.3.4. <i>Simulazioni dei processi mediante modello matematico ASM N. 2</i>	11
2.3.4.1. Scenari di calcolo	11
2.3.4.2. Risultati delle simulazioni	13
2.4. STAZIONE DI DOSAGGIO REAGENTE PRECIPITANTE FOSFORO	15

INDICE DELLE TABELLE

TABELLA 2-1: DATI A BASE PROGETTO DELL'IMPIANTO DI MAROTTA - CARICHI IDRAULICI DELLO STATO DI PROGETTO	4
TABELLA 2-2: DATI A BASE PROGETTO - CARICHI DI MASSA E CONCENTRAZIONI DELLO STATO DI PROGETTO	5
TABELLA 2-3: DIMENSIONAMENTO PROCESSO BIOLOGICO: VASCHE IN SERIE A CA	6
TABELLA 2-4: CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE INFLUENTE BIOLOGICO	12
TABELLA 2-5: SPECIAZIONE DEL COD UTILIZZATA PER LE SIMULAZIONI	12
TABELLA 2-6: PARAMETRI OPERATIVI DELLE SIMULAZIONI EFFETTUATE	12
TABELLA 2-7: RISULTATI DELLE SIMULAZIONI	13
TABELLA 2-8: CALCOLO DELLA FORNITURA E DOTAZIONI PER LA PRECIPITAZIONE CHIMICA DEL FOSFORO	16

INGEGNERIA AMBIENTE S.r.l.	Rev. 00	Data: Luglio 2017	Elaborato E-R.04 – Relazione specialistica di calcolo del processo biologico e della precipitazione chimica del fosforo	Pag. 2 di 16
	Rev. 01	Data: Novembre 2017		

1. PREMESSA

Gli interventi di progetto consistono nel garantire l'incremento della potenzialità depurativa dell'impianto di Marotta a 16.500AE, come dettagliatamente descritto nella relazione tecnica di progetto, elaborato *E-R.03*.

Per quanto riguarda il processo biologico, si è deciso di effettuare il processo mantenendo attiva la vasca esistente di denitrificazione e di modificare il processo di ossidazione attualmente attivo, inserendo la tecnologia a Cicli Alternati in reattore unico e modificando la direzione del flusso all'interno del reattore in modalità plug-flow, così da migliorare l'efficienza del processo, in relazione alle dimensioni ed alla struttura interna della vasca. Lo schema di processo si viene così a configurare come un processo ibrido, ossia Denitro di testa-Cicli Alternati di valle (D-CA).

La presente relazione tratta il dimensionamento del processo per la rimozione biologica delle sostanze organiche e dei nutrienti (Azoto e Fosforo), considerando la precipitazione chimica del fosforo ad integrazione della riduzione biologica.

INGEGNERIA AMBIENTE S.r.l.	Rev. 00	Data: Luglio 2017	Elaborato E-R.04 – Relazione specialistica di calcolo del processo biologico e della precipitazione chimica del fosforo	Pag. 3 di 16
	Rev. 01	Data: Novembre 2017		

2. IL PROCESSO BIOLOGICO

2.1. La strategia progettuale adottata

La strategia progettuale adottata muove dai seguenti assunti:

- **Garantire** una potenzialità di progetto pari a 16.500 AE per soddisfare i nuovi allacci alla rete di pubblica fognatura previsti nel territorio;
- **Rispettare** tutti i vincoli così come ampiamente descritto nello studio di prefattibilità ambientale, oltre che nell'inquadramento territoriale;
- **Organizzare** plano/altimetricamente le opere ed il percorso del piping nell'ottica di non gravare o incidere il meno possibile sulle opere esistenti;
- **Utilizzare** tutte le accortezze progettuali in grado di ottimizzare gli interventi, su richiesta della Stazione Appaltante;
- **Verificare** la funzionalità di tutte le operazioni unitarie esistenti non oggetto di adeguamento, sia a livello di opere civili che di impianti tecnologici, con la nuova portata di progetto afferente all'impianto;
- **Ottimizzare** il funzionamento delle esistenti volumetrie attraverso l'utilizzo di tecnologie più avanzate per la rimozione dei inquinanti;

Dalle considerazioni effettuate sulla base della verifica dimensionale dello stato di fatto ed alla luce della necessità di adeguare il processo di trattamento ad una potenzialità globale di 16.500 AE, di seguito si elencano in sintesi gli interventi oggetto della modifica del processo biologico:

- Realizzare un ripartitore di portata al processo biologico per assicurare l'invio della corretta portata ad ogni reattore ed inoltre permettere al gestore la doppia configurazione delle vasche biologiche sia in serie sia in parallelo;
- Modificare la direzione del flusso all'interno del reattore biologico in modalità plug-flow, così da migliorare l'efficienza del processo, in relazione alle dimensioni e alla struttura interna della vasca;
- Realizzare un nuovo vano in continuità al locale compressori esistente, all'interno del quale installare la nuova soffiante a servizio del processo biologico ed i quadri elettrici di progetto;

- Realizzare una stazione di stoccaggio e dosaggio dell'agente defosfatante - policloruro di Alluminio (Poli-idrossi-cloro-solfato di alluminio) per aumentare la rimozione del fosforo nelle vasche biologiche;

2.2. I dati a base progetto dello stato di progetto

I dati a base progetto dello stato di progetto dell'impianto di depurazione di Marotta (Tabella 2-1) sono stati ottenuti sommando i valori dello stato di fatto con i valori dell'ampliamento. Il coefficiente di infiltrazione (pari a 1,6) si è ricavato tramite la *media ponderata* dei valori dello stato di fatto e dell'ampliamento, *rispetto agli AE corrispondenti*.

Tabella 2-1: Dati a base progetto dell'impianto di Marotta - Carichi idraulici dello stato di progetto

AE stato di fatto	AE	10.000		
AE ampliamento	AE	6.500		
AE totali STATO DI PROGETTO	AE	16.500		
D.I.	l/AE d	250		
ALFA		0.8		
Portata media nera teorica [Qmn teorica] in condizioni di secco	m3/d	3300	m3/h	138
Coefficiente infiltrazione globale		1.60		
Portata di infiltrazione	m3/d	2130	m3/h	89
Portata media nera effettiva [Qmn effettiva]	m3/d	5430	m3/h	226
Coefficiente di punta secca		1.5		
Portata di punta secca teorica			m3/h	206
Portata di infiltrazione			m3/h	89
Portata di punta secca effettiva [Qpunta effettiva]			m3/h	295
Coefficiente di massimo afflusso in rete		4		
Portata massima pretrattamenti			m3/h	550
Portata di infiltrazione			m3/h	89
Portata massima ingresso impianto [Qmax in]			m3/h	639
Coefficiente di massimo afflusso al biologico		2.5		
Portata massima al biologico			m3/h	344
Portata di infiltrazione			m3/h	89
Portata massima al biologico con infiltrazione [Qmaxbio]			m3/h	433

Per concludere la fase di redazione dei dati a base progetto corrispondenti allo stato di progetto dell'impianto di depurazione di Marotta, sono stati sommati i carichi di massa dello stato di fatto e della potenzialità di ampliamento ed è stato possibile ottenere le rispettive concentrazioni influenti, per tutti i macroinquinanti considerati, utilizzando la portata media nera effettiva giornaliera riportata in Tabella 2-1.

Tabella 2-2: Dati a base progetto - Carichi di massa e concentrazioni dello stato di progetto

Fattori di carico unitari			Carichi di massa in ingresso			Concentrazioni in ingresso		
<i>Parametro</i>	<i>u.m.</i>	<i>Valore</i>	<i>Parametro</i>	<i>u.m.</i>	<i>Valore</i>	<i>Parametro</i>	<i>u.m.</i>	<i>Valore</i>
Fcu	gCOD/AE d	105	LCOD	Kg/d	1733	COD	mg/l	319
Fcu	gNtot/AE d	12	LNtot	Kg/d	198	Ntot	mg/l	36.5
Fcu	gPtot/AE d	1.8	LPtot	Kg/d	30	Ptot	mg/l	5.5
Fcu	gTSS/AE d	70	LTSS	Kg/d	1155	TSS	mg/l	213
Fcu	gBOD5/AE d	60	LBOD5	Kg/d	990	BOD5	mg/l	182

2.3. Il dimensionamento del processo biologico

2.3.1. Premessa

Il dimensionamento effettuato tiene conto dei seguenti assunti:

- Viene effettuato un dimensionamento a differenti temperature, da una minima di 12°C ad una massima di 20°C del refluo;
- Viene considerata una costante di denitrificazione ed una di nitrificazione a 20°C rispettivamente pari a 0.066 kgN-NH₄/(kgVSS d) e 0.061 kgN-NO_x/(kgVSS d);
- La concentrazione di biomasse in vasca viene inserita nel dimensionamento così come ricavata dalle simulazione ASIM riportate in seguito;
- Il dimensionamento tiene conto di una frazione aerobica ed anossica rispettivamente del 55% e del 45%, in considerazione della presenza della denitrificazione di testa;
- Il rapporto TVS/TSS viene fissato pari a 0.70;
- Tutti i dimensionamenti sono stati effettuati nella configurazione di progetto.

2.3.2. Configurazione D-CA: Vasche in serie

Si prevede di adeguare entrambe le N.2 vasche di Nitrificazione/Ossidazione in reattori biologici a Cicli Alternati in Reattore Unico, organizzato in N.2 CSTR (Completed Stirred Tank Reactor) in serie, considerandola come condizione limitante tra le due possibili, trascurando la rimozione dovuta alla denitrificazione di monte, considerandola una condizione a sfavore di sicurezza.

Di seguito viene tabulato il dimensionamento della Linea adeguata alla tecnologia a cicli alternati.

Tabella 2-3: Dimensionamento processo biologico: Vasche in serie a CA

Dimensionamento Nitrificazione					
Temperatura minima di processo	°C	12	15	18	20
Volume di vasca	m ³	1620	1620	1620	1620
Volumetria specifica	L/AE	98	98	98	98
Concentrazione di biomasse*	Kg/m ³	5.2	4.9	3.9	3.8
SRT operativo (età del fango alla temperatura minima)	d	15	15	12	12
TVS/TS		0,70	0,70	0,70	0,70
Kn = a 20°C	KgN-NH ₄ /KgTVS d	0,066	0,066	0,066	0,066
Kn alla temperatura minima di processo	KgN-NH ₄ /KgTVS d	0,055	0,059	0,063	0,066
Teta		1,024	1,024	1,024	1,024
Biomassa totale in vasca	KgTVS	5905	5584	4468	4307
Contenuto di azoto nelle biomasse	N%TS	5	5	5	5
Frazione di Tempo della fase aerobica		0,55	0,55	0,55	0,55
Carico di azoto nitrificato in fase aerobica	KgN-NH ₄ /d	177.3	180.0	154.7	156.3
Carico di azoto da nitrificare sul carico influente	KgN/d	167.5	168.5	168.5	169.2
Dimensionamento Denitrificazione					
Temperatura minima di processo	°C	12	15	18	20
Volume di vasca	m ³	1620	1620	1620	1620
Volumetria specifica	L/AE	98	98	98	98
Concentrazione di biomasse*	Kg/m ³	5.2	4.9	3.9	3.8
SRT operativo (età del fango alla temperatura minima)	d	15	15	12	12
TVS/TS		0,70	0,70	0,70	0,70
Kd = a 20°C	KgN-NO _x /KgTVS d	0,061	0,061	0,061	0,061
Kd alla temperatura minima di processo	KgN-NO _x /KgTVS d	0,050	0,054	0,058	0,061
Teta		1,024	1,024	1,024	1,024
Biomassa totale in vasca	KgTVS	5905	5584	4468	4307
Contenuto di azoto nelle biomasse	N%TS	5	5	5	5
Frazione di Tempo della fase anossica		0,45	0,45	0,45	0,45
Carico di azoto denitrificato in fase anossica	KgN-NO _x /d	134.1	136.1	117.0	118.2
Carico di azoto denitrificabile	KgN-NO ₃ /d	167.5	168.5	154.7	156.3

*concentrazione derivante dal modello di simulazione ASM n°2

2.3.3. Il processo a Cicli Alternati in reattore unico

Il processo biologico a Cicli Alternati in reattore unico è unico nel suo genere, in quanto, grazie ai risultati ottenuti direttamente in campo, si è ricavato un ruolo di primaria importanza sia tra i processi intermittenti che tra i processi a fanghi attivi convenzionali, il tutto per quanto concerne:

- Prestazioni ottenibili e dimostrabili sul campo;
- Affidabilità e semplicità di installazioni necessarie al funzionamento del processo;
- Numero di impianti progettati in Italia (oltre 200 impianti);
- Numero di impianti attualmente operativi in Italia (circa 70 impianti);
- Potenzialità trattata a Cicli Alternati (oltre 3.500.000 AE);

INGEGNERIA AMBIENTE S.r.l.	Rev. 00	Data: Luglio 2017	Elaborato E-R.04 – Relazione specialistica di calcolo del processo biologico e della precipitazione chimica del fosforo	Pag. 7 di 16
	Rev. 01	Data: Novembre 2017		

- Affidabilità delle soluzioni proposte.

In particolare, il processo garantisce sia la rimozione biologica del carbonio che dell'azoto ed in parte del fosforo tramite una successione di fasi aerobiche (per l'ossidazione del carbonio e la nitrificazione dell'azoto) ed anossiche (per la denitrificazione dell'azoto) che vengono realizzate tramite una successione temporale in un unico bacino.

In questo modo non è necessario avere delle sezioni dedicate, anossica di pre-denitrificazione ed aerobica di nitrificazione in volumi predefiniti, né esiste la necessità di operare il ricircolo della miscela aerata per raggiungere prestazioni di tutta sicurezza.

Ciò comporta una notevole semplicità nella realizzazione, un risparmio delle tubazioni e della elettromeccanica, prestazioni più elevate nella rimozione dell'azoto, in quanto tutto l'azoto nitrificato, che deve essere denitrificato, si trova già all'interno della vasca di ossidazione.

I vantaggi e le garanzie inconfutabili derivanti dall'applicazione del nuovo processo biologico avanzato, vengono di seguito riassunte:

- **Prestazioni nella rimozione dell'azoto più elevate** (80-90%) rispetto ai processi tradizionali in quanto tutto l'azoto nitrificato, che deve essere denitrificato, si trova già all'interno della vasca di ossidazione. Tale prestazione è quindi di particolare interesse per garantire elevate percentuali di abbattimento dei principali macroinquinanti e conseguentemente un effluente finale con elevati standard di qualità;
- **Risparmi energetici** (20-30%) che sono una immediata conseguenza sia delle elevate prestazioni nella rimozione biologica dell'azoto (in quanto elevate denitrificazioni significano elevato recupero di ossigeno combinato), sia dell'aver eliminato il ricircolo della miscela aerata;
- **Riduzione della produzione dei fanghi** (5-7% in meno) a causa dello stress a cui sono sottoposte le biomasse; questo stress, infatti, determina una parziale riduzione dei coefficienti di resa, ovvero di sintesi di nuove biomasse, a seguito della trasformazione delle sostanze organiche;
- **Riduzione del dosaggio di chemicals** per la precipitazione chimica del fosforo, nel rispetto di una concentrazione effluente allo scarico di P_{tot} inferiore a 2 mg/l, a causa della produzione di dPAO, ovvero biomasse fosforo accumulanti, con comportamento di denitrificatori.

INGEGNERIA AMBIENTE S.r.l.	Rev. 00	Data: Luglio 2017	Elaborato E-R.04 – Relazione specialistica di calcolo del processo biologico e della precipitazione chimica del fosforo	Pag. 8 di 16
	Rev. 01	Data: Novembre 2017		

Per una breve panoramica sul processo a cicli alternati in reattore unico, è opportuno focalizzare l'attenzione su:

- La tipologia di sonde utilizzate;
- Il reale controllo della nitrificazione e della denitrificazione dell'azoto;
- Il numero dei punti di misura o quantità di sonde necessarie nella vasca da controllare;
- Gli strumenti a corredo per la tutela del processo e la valutazione dell'efficacia dei settaggi impostati dall'operatore;
- La volumetria specifica adottata;
- Studi in campo internazionale.

Tipologia di sonde: Il controllo di processo proposto prevede l'utilizzo di sonde di ossigeno disciolto [OD] e di potenziale di ossidoriduzione [ORP]. È noto che tali sonde risultano le più economiche ed affidabili se paragonate con analizzatori di ammonio e nitrato. Infatti oltre ad avere costi di mercato veramente ridotti, necessitano di manutenzioni non specializzate quindi eseguibili dal personale impianto. Infine va ricordata l'affidabilità delle sonde di OD ed ORP indipendentemente dalla tipologia di reflu (civile/industriale) e dalle concentrazioni di biomassa in vasca biologica.

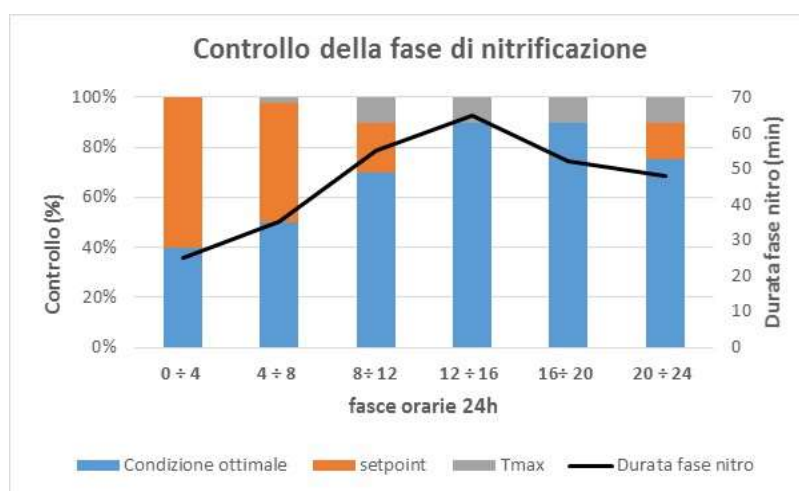
Controllo della nitrificazione e della denitrificazione: il controllo della sola nitrificazione dell'azoto è consolidato in impianti DN, pre-denitrificazione/nitrificazione, se progettati in modo adeguato nelle volumetrie, nei carichi di massa trattabili e nelle forniture di aria sempre superiori alla richiesta. Nel processo a cicli alternati in reattore unico, il controllo della fase di nitrificazione necessita di conoscere il termine dell'ossidazione dell'ammoniaca. Se il controllo viene fatto con due tipologie di sonde (OD ed ORP) è molto più accurato di quello che ne impiega una soltanto, in quanto qualsiasi inconveniente sul sistema di misura determina una perdita di prestazioni o di oscuramento del controllo. Le maggiori difficoltà risiedono però nel controllo della denitrificazione la quale dovrebbe compiersi in condizioni anossiche; infatti la presenza di un controllo non efficace e rigoroso comporta sicuramente l'instaurarsi di gravi condizioni anaerobiche e quindi conseguentemente l'emanazione di cattivi odori e fenomeni di rilascio di fosforo in forma di ortofosfato. Poiché nel processo biologico a cicli alternati tutto il volume biologico è interessato alla fase in atto (aerobica o anossica/anaerobica) e permette la fuoriuscita dell'effluente, il mancato controllo di cui sopra comporta la perdita di ortofosfato ed il conseguente maggior uso di reagenti di precipitazione o la non conformità ai limiti di legge dell'effluente impianto.

INGEGNERIA AMBIENTE S.r.l.	Rev. 00	Data: Luglio 2017	Elaborato E-R.04 – Relazione specialistica di calcolo del processo biologico e della precipitazione chimica del fosforo	Pag. 9 di 16
	Rev. 01	Data: Novembre 2017		

Per evitare tali inconvenienti e per garantire il corretto controllo delle evidenti variazioni di potenziale che si verificano in fase di denitrificazione, la sonda per la misura del potenziale di ossidoriduzione è l'unica in grado di svolgere tale ruolo.

Strumenti a corredo per la tutela del processo: La durata di una fase aerobica/anossica avviene entro un range temporale controllato impostando nel software di controllo un tempo minimo e massimo; in questo intervallo il cambio di fase può avvenire o per set-point [raggiungimento di una soglia impostabile dall'operatore] delle sonde di processo (OD ed ORP in nitro e ORP in denitro) o per condizione ottimale ossia il sistema si accorge che la forma azotata di quella fase è finita (azoto ammoniacale in nitrificazione ed azoto nitrico in denitrificazione). Per tutto quanto detto in precedenza la condizione ottimale in denitrificazione può essere determinata con esattezza solo mediante le sonde OD ed ORP.

Il grafico seguente descrive infatti un ipotetico comportamento della durata della fase aerata (nitrificazione) del processo a cicli alternati nelle diverse fasce orarie di 24h.

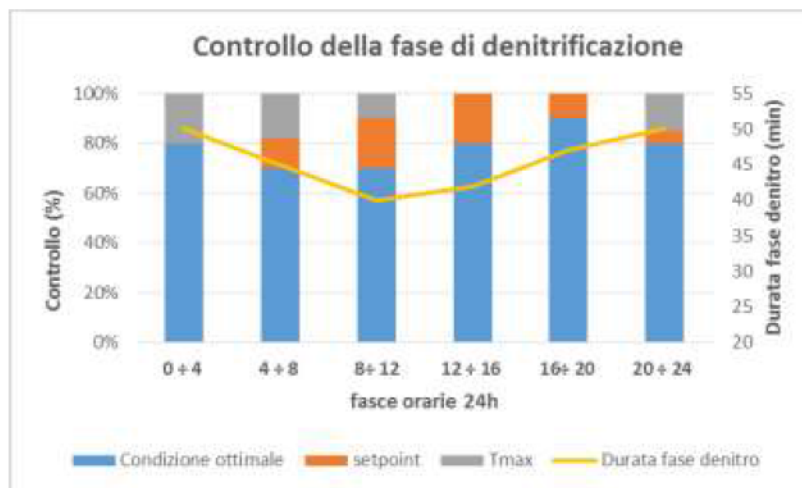


L'affidabilità del sistema alle variazioni giornaliere e/o stagionali è sempre garantita. Infatti, in condizioni di:

- Minor carico influente (notturne e serali), al fine di ridurre i consumi energetici, il sistema di controllo può prevedere la conclusione della fase di nitrificazione per il raggiungimento dei massimi valori di set-point di OD o redox;
- Maggior carico influente (ore diurne), le fasi di nitrificazione si concludono principalmente per il raggiungimento delle condizioni ottimali. In presenza di forte sovraccarico da trattare, le fasi di nitrificazione si possono concludere per il raggiungimento del tempo massimo.

INGEGNERIA AMBIENTE S.r.l.	Rev. 00	Data: Luglio 2017	Elaborato E-R.04 – Relazione specialistica di calcolo del processo biologico e della precipitazione chimica del fosforo	Pag. 10 di 16
	Rev. 01	Data: Novembre 2017		

Il grafico seguente descrive un ipotetico comportamento della durata della fase di miscelazione (denitrificazione) del processo a cicli alternati nelle diverse fasce orarie di 24h.



In condizioni di:

- Minor carico influente (notturne e serali), al fine di ridurre i consumi energetici per il funzionamento dei compressori per la fornitura di aria, il sistema di controllo provvede ad allungare la durata di accensione dei miscelatori e quindi la conclusione della fase di denitrificazione avviene per il raggiungimento del tempo massimo.
- Maggior carico influente (ore diurne), alcune fasi di denitrificazione si possono concludere per il raggiungimento dei valori di set-point minimo del potenziale di ossido riduzione.

Strumenti a corredo del sistema di controllo: Il sistema di controllo previsto è dotato di uno strumento unico, La Statistica Cicli, in grado di capire l'efficacia delle impostazioni di controllo adottate. Infatti è possibile, selezionando un range temporale, ottenere il numero di cicli aerobici ed anossici che si sono succeduti e per la fase aerobica e quella anossica i seguenti dati:

- La durata media, minima e massima;
- La ripartizione percentuale delle diverse condizioni che hanno determinato il cambio di fase (tempo massimo, set-point e condizione ottimale);
- Quale delle sonde installate ha determinato la scelta.

Tutto ciò da una parte mostra la trasparenza del sistema di controllo, dall'altra vuole far comprendere al gestore se le impostazioni di controllo sono di successo, ed indicargli le impostazioni critiche da cambiare.

INGEGNERIA AMBIENTE S.r.l.	Rev. 00	Data: Luglio 2017	Elaborato E-R.04 – Relazione specialistica di calcolo del processo biologico e della precipitazione chimica del fosforo	Pag. 11 di 16
	Rev. 01	Data: Novembre 2017		

2.3.4. Simulazioni dei processi mediante modello matematico ASM N. 2

Al fine di prevedere le efficienze di rimozione del processo biologico a cicli alternati in reattore unico, la piena conformità dell'effluente finale ai limiti di legge, nonché allo scopo di giustificare la scelta dell'introduzione di un processo avanzato, sono state eseguite più simulazioni relative al funzionamento della nuova linea biologica prevista in progetto (con volume pari a 1620 m³), usufruendo del software ASIM n.2 (Activated Sludge Model No.2) riconosciuto come altamente attendibile a livello internazionale.

Il modello ASM No.1, e le successive versioni No. 2 e No. 3, rappresentano lo stato dell'arte dei risultati ottenuti nel campo modellistico e si basano sulla differenziazione delle diverse frazioni della sostanza organica e dell'azoto presenti nel liquame e sul coinvolgimento nelle equazioni matematiche dei parametri cinetici e stechiometrici della biomassa attiva eterotrofa ed autotrofa. I modelli ASM consentono di effettuare il dimensionamento e l'analisi di un processo a fanghi attivi tramite bilanci di massa che riguardano le sostanze organiche, quantificate in termini di COD, azoto e fosforo. I scenari di indagine valutabili con l'ausilio di modelli di simulazione sono per esempio: la variazione della concentrazione di ossigeno nei reattori biologici ai fini della riduzione dei consumi energetici, la verifica del sovraccarico sopportabile da un impianto di depurazione (nuovi allacciamenti o trattamento bottini) e l'implementazione di un nuovo schema operativo.

2.3.4.1. Scenari di calcolo

I principali dati utilizzati per le simulazioni condotte sulla linea biologica a cicli alternati del processo depurativo dell'impianto di Marotta, vengono di seguito elencate:

- ❖ Le portate trattate e le caratteristiche chimico-fisiche dei principali macroinquinanti influenti sono riportate nella seguente Tabella 2-4, nel pieno rispetto dei dati nominali dell'impianto;
- ❖ Un rapporto di ricircolo pari a 1;
- ❖ Per la ripartizione del COD influente (Tabella 2-5) sono state considerate le percentuali tipiche in un refluo urbano;
- ❖ Il volume delle linea biologica e il relativo numero di reattori CSTR, sono indicati in Tabella 2-6;
- ❖ Il volume della sedimentazione secondaria utilizzato per le simulazione è pari alla somma dei bacini esistenti e di quello di nuova realizzazione;
- ❖ I parametri operativi e l'età del fango sono riportati in Tabella 2-4;

INGEGNERIA AMBIENTE S.r.l.	Rev. 00	Data: Luglio 2017	Elaborato E-R.04 – Relazione specialistica di calcolo del processo biologico e della precipitazione chimica del fosforo	Pag. 12 di 16
	Rev. 01	Data: Novembre 2017		

- ❖ Le simulazioni sono state condotte alle temperature di processo di 12°C, 15°C, 18°C e 20°C;
- ❖ L'età del fango è ipotizzata pari a 15 giorni in periodi invernali (per una temperatura di processo di 12°C e 15°C) mentre pari a 12 giorni per periodi estivi (per una temperatura di processo di 18°C e 20°C);
- ❖ La concentrazione di biomassa viene determinata direttamente dal modello;
- ❖ Si utilizza il modello ASM n.2 Fe-Oxy (Activated Sludge Model n.2).

Tabella 2-4: Caratteristiche chimico-fisiche influente biologico

PORTATA INFLUENTE				
Voce	UdM	Valore		
Abitanti Equivalenti	AE	16.500		
Qmn	m³/d	5430		
Qricircolo	m³/d	5430		
CONCENTRAZIONI E CARICHI DI MASSA INFLUENTI				
Voce	UdM	Valore	u.m.	Valore
COD	mg/l	319	kg/d	1733
BOD ₅	mg/l	182	kg/d	990
N _{TOT}	mg/l	36.5	kg/d	198
N-NH4	mg/l	25.5	kg/d	138
N-NOx	mg/l	0	kg/d	0
TSS	mg/l	213	kg/d	1155
Ptot	mg/l	5.5	kg/d	30
P-PO4	mg/l	2.6	kg/d	14

Tabella 2-5: Speciazione del COD utilizzata per le simulazioni

<i>Voce</i>	<i>U.d.M</i>	<i>Valore</i>	<i>U.d.M</i>	<i>Valore</i>
RBCOD	%	24	mg/l	76.6
VFA	%	0	mg/l	0
NBCODS	%	8	mg/l	25.5
NBCODP	%	8	mg/l	25.5
SBCOD	%	60	mg/l	191.4
HETR	%	0	mg/l	0
TOTALE	%	100	mg/l	319.0

Tabella 2-6: Parametri operativi delle simulazioni effettuate

SIMULAZIONI					
		SdP 0	SdP 1	SdP 2	SdP 3
<i>Voce</i>	<i>U.m.</i>	<i>Valore</i>	<i>Valore</i>	<i>Valore</i>	<i>Valore</i>
Temperatura	°C	12	15	18	20
SRT	d	15	15	12	12
DENITRO	m3	269	269	269	269
CSTR 1	m3	810	810	810	810
CSTR 2	m3	810	810	810	810
Volume totale biologico	m3	1620	1620	1620	1620
Sedimentatore secondario	m3	2098	2098	2098	2098

INGEGNERIA AMBIENTE S.r.l.	Rev. 00	Data: Luglio 2017	Elaborato E-R.04 – Relazione specialistica di calcolo del processo biologico e della precipitazione chimica del fosforo	Pag. 13 di 16
	Rev. 01	Data: Novembre 2017		

L'alternanza delle fasi di nitrificazione e di denitrificazione del processo a cicli alternati in reattore unico, sono state simulate considerando rispettivamente una durata di 1 ora e di 30 minuti, e successivamente i risultati sono stati confrontati con i limiti di legge previsti in progetto.

2.3.4.2. Risultati delle simulazioni

La successiva tabella riporta, in maniera dettagliata, i dati di input utilizzati per le varie simulazioni, nonché i risultati ottenuti dal software in termini di qualità dell'effluente a valle della sedimentazione secondaria, al fine di quantificare i rendimenti dei processi depurativi, sia alla temperatura di processo più gravosa di 12°C, sia in periodo estivo.

Tabella 2-7: Risultati delle simulazioni

		SdP 0	SdP 1	SdP 2	SdP 3
<i>Voce</i>	<i>U.m.</i>	<i>Valore</i>	<i>Valore</i>	<i>Valore</i>	<i>Valore</i>
Qmn	m3/d	5430	5430	5430	5430
Q ricircolo	m3/d	5430	5430	5430	5430
Cicli	on ore	1	1	1	1
	off ore	0.5	0.5	0.5	0.5
Kla1	-	165	195	210	230
Kla2	-	105	108	108	108
Concentrazione di saturazione dell'ossigeno	mg/l	10.83	10.15	9.56	9.17
Temperatura	°C	12	15	18	20
SRT	d	15	15	12	12
INFLUENTE					
<i>Voce</i>	<i>U.m.</i>	<i>Valore</i>	<i>Valore</i>	<i>Valore</i>	<i>Valore</i>
COD	mg/l	319.1	319.1	319.1	319.1
RBCOD	mg/l	76.6	76.6	76.6	76.6
VFA	mg/l	0	0	0	0
NBCODs	mg/l	25.5	25.5	25.5	25.5
NBCODp	mg/l	25.5	25.5	25.5	25.5
SBCOD	mg/l	191.4	191.4	191.4	191.4
Biom Heter	mg/l	0.0	0.0	0.0	0.0
TKN	mg/l	36.5	36.5	36.5	36.5
N-NH4	mg/l	25.5	25.5	25.5	25.5
N-NOx	mg/l	0.0	0.0	0.0	0.0
Ptot	mg/l	5.5	5.5	5.5	5.5
P-PO4	mg/l	2.6	2.6	2.6	2.6
TSS	mg/l	212.7	212.7	212.7	212.7
Fe(ii)	mg/l	8.0	8.0	8.0	8.0
Alk	mmoli	8.0	8.0	8.0	8.0
DENITRO	m3	269	269	269	269
CSTR 1	m3	810	810	810	810
CSTR 2	m3	810	810	810	810
Sedimentatore secondario	m3	2098	2098	2098	2098
CONCENTRAZIONE BIOMASSA					
MLVSS	kg/m3	3.6	3.4	2.7	2.6
TVS/TSS (ipotizzato)	-	0.70	0.70	0.70	0.70

INGEGNERIA AMBIENTE S.r.l.	Rev. 00	Data: Luglio 2017	Elaborato E-R.04 – Relazione specialistica di calcolo del processo biologico e della precipitazione chimica del fosforo	Pag. 14 di 16
	Rev. 01	Data: Novembre 2017		

MLSS	kg/m3	5.2	4.9	3.9	3.8
RICHIESTA DI OSSIGENO					
CSTR 1	Kg/h	48	53	54	57
CSTR 2	Kg/h	33	31	30	29
TOTALE in fase aerobica	Kg/h	80	84	84	85
EFFLUENTE					
<i>N-NH₄out</i>	<i>mg/l</i>	<i>1.4</i>	<i>0.8</i>	<i>0.8</i>	<i>0.7</i>
<i>N-NO_x out</i>	<i>mg/l</i>	<i>6.8</i>	<i>7.0</i>	<i>6.7</i>	<i>6.6</i>
<i>N organico (supposto)</i>	<i>mg/l</i>	<i>1.5</i>	<i>1.5</i>	<i>1.5</i>	<i>1.5</i>
N totale out	mg/l	9.7	9.4	9.0	8.7
COD out	mg/l	< 60	< 60	< 60	< 60
<i>P-PO₄ out</i>	<i>mg/l</i>	<i>1.1</i>	<i>1.2</i>	<i>1.2</i>	<i>1.2</i>
<i>P organico (supposto)</i>	<i>mg/l</i>	<i>0.3</i>	<i>0.3</i>	<i>0.3</i>	<i>0.3</i>
P totale out	mg/l	1.4	1.5	1.5	1.5

Dopo l'utilizzo del modello ASM n.2 le principali conclusioni sono le seguenti:

- Le simulazioni dello stato di progetto sono state condotte assumendo una $Q_{ricircolo} = 1,0$ $Q_{influyente}$ in assenza di miscele aerate, che rimangono attivabili qualora il processo lo richieda;
- Per le simulazioni dello stato di progetto sono stati considerati n.2 CSTR in serie;
- Le simulazioni dello stato di progetto sono state effettuate utilizzando temporizzazioni tipiche per la simulazione dei Cicli Alternati, ossia adottando fasi di accensione e spegnimento degli aeratori rispettivamente di 60 minuti e 30 minuti;
- Il processo garantisce un'ottima rimozione delle sostanze organiche biodegradabili, il COD e conseguentemente il BOD5 effluente assumono concentrazioni ridotte sia in inverno che in estate, a meno di eventuali fughe di solidi. Per questo motivo i limiti in concentrazione di COD e BOD5 previsti dalla normativa vigente saranno completamente rispettati;
- Mano a mano che la temperatura diminuisce occorre lavorare con una maggiore età del fango per garantire una concentrazione adeguata delle biomasse in vasca;
- Date le forme dell'azoto che il modello calcola ($N-NH_4$ e $N-NO_x$) ed una concentrazione cautelativa di Norg effluente assunta pari a 1,5 mg/l, si garantisce un'elevata qualità dell'effluente finale e la conformità ai limiti in concentrazione stabiliti in Tab.2 All.5 Parte III del D.Lgs. 152/2006 e s.m.i.;
- In generale le temporizzazioni adottate nel processo di nitrificazione e denitrificazione garantiscono ottime prestazioni del processo, assicurando sia la rimozione del carbonio che quella dell'azoto influente. Si ricorda che l'adozione di un sistema di supervisione e controllo con algoritmi complessi, consentirà massima flessibilità e stabilità della gestione

INGEGNERIA AMBIENTE S.r.l.	Rev. 00	Data: Luglio 2017	Elaborato E-R.04 – Relazione specialistica di calcolo del processo biologico e della precipitazione chimica del fosforo	Pag. 15 di 16
	Rev. 01	Data: Novembre 2017		

del processo depurativo, adeguando la durata delle fasi in funzione dell'effettivo carico in ingresso;

- La precipitazione chimica del fosforo, tramite dosaggio di un opportuno defosfatante (policloruro di alluminio – PAC con purezza al 18%), risulta indispensabile se si vuole abbattere la concentrazione effluente e raggiungere valori inferiori a 2,0 mg/l, così come richiesto dai limiti di legge. Si rimanda al paragrafo successivo per il dettaglio del relativo dimensionamento.

2.4. Stazione di dosaggio reagente precipitante fosforo

Al fine di ricondurre la concentrazione del fosforo in uscita entro i valori limite vigenti, per ciascuna linea biologica si predispone n.1 pompa dosatrice elettronica (a impulsi) con motorizzatore manuale / automatico e un piping per il dosaggio di defosfatante direttamente in vasca per la precipitazione chimica. Si propone inoltre la fornitura di n.1 serbatoio di stoccaggio di volumetria pari a 3 mc e relativi accessori alloggiato all'interno di una vasca di contenimento di sicurezza, così da evitare il rischio di sversamento su suolo dei chemicals, in situazione di emergenza (rottura del serbatoio) e con adeguata copertura in carpenteria (lamiera grecata sostenuta da travi e pilastri – profilati IPE e HEA).

Con il funzionamento delle nuove linee biologiche in modalità cicli alternati si incentiva lo sviluppo di biomasse PAO e dPAO che determinano un accumulo biologico del fosforo come polifosfato in misura stimabile nel 0,5-1% di P sul TSS.

Oltre a quanto sopra, al fine di garantire comunque il totale rispetto del limite imposto dalla normativa vigente pari ad una concentrazione media annuale di fosforo di 2mg/l, il progetto prevede l'allestimento di una stazione per il dosaggio di un agente chimico precipitante, praticato direttamente all'interno delle nuove linee biologiche, con conseguente rimozione del precipitato insieme al fango biologico di supero.

La soluzione progettuale proposta prevede, inoltre, l'adozione di un sistema di controllo del dosaggio dei reagenti per la precipitazione chimica del fosforo, con lo scopo di raggiungere il limite di conformità allo scarico con maggiore sicurezza, cercando di ridurre il più possibile il dosaggio dell'agente chimico defosfatante; tutto ciò verrà gestito mediante logiche di controllo avanzate, descritte nel dettaglio nel relativo elaborato tecnico.

Il dimensionamento è stato condotto prevedendo l'utilizzo di policloruro di alluminio $[Al_2O_3]$ con purezza del prodotto commerciale al 17-19% e con densità 1.33-1.38 kg/l. Per l'attuale

INGEGNERIA AMBIENTE S.r.l.	Rev. 00	Data: Luglio 2017	Elaborato E-R.04 – Relazione specialistica di calcolo del processo biologico e della precipitazione chimica del fosforo	Pag. 16 di 16
	Rev. 01	Data: Novembre 2017		

entità del carico di massa da rimuovere, cautelativamente si può prevedere un dosaggio di circa 1.3 kg di alluminio per kg di fosforo da rimuovere.

Nella seguente tabella si riporta il dimensionamento del PAC necessario al processo per garantire un effluente conforme ai limiti di legge.

Tabella 2-8: Calcolo della fornitura e dotazioni per la precipitazione chimica del fosforo

<u>Voce</u>	<u>u.m.</u>	<u>Valore</u>
P TOT in	mg/L	5.4
P _{tot} /P-PO ₄		2.1
P-PO ₄ IN	mg/L	2.6
P particolato	mg/L	2.9
P-PO ₄ rimosso biologicamente	A tutela di sicurezza si considera pari a 0	
P TOT out da garantire (valore cautelativo)	mg/L	1.5
TSS uscita	mg/l	20.0
P% TS	%	1.70
P _{out} particolato	mg/l	0.34
P-PO ₄ out	mg/L	1.16
P-PO ₄ da rimuovere chimicamente	mg/L	1.44
Previsione dei consumi giornalieri		
Portata media nera	m ³ /d	5430
	m ³ /h	226.3
Carico di massa da rimuovere	Kg/d	7.84
Densità	Kg/l	1.35
Purezza	%	18
Rapporto stechiometrico Al/P		1.50
Dosaggio reagente	kg Al/kg P da rimuovere	1.3
	Kg Reagente/kg P	13.8
	l Reagente/kg P	10.2
Portata	l/d	80.4
Numero pompe dosatrici	N.	2
Portata su singola linea (in parallelo)	l/d	40.2
Funzionamento 15min/h	l/h	6.7
Volume serbatoio di stoccaggio	m ³	3
Autonomia	d	37

Il calcolo condotto non tiene conto degli ulteriori risparmi che si possono ottenere grazie all'utilizzo del sistema di controllo automatico del dosaggio di reagenti per la precipitazione chimica del fosforo.

Nel rispetto dei regolamenti vigenti in materia, si prevede l'alloggio del serbatoio all'interno di una vasca di contenimento di volume complessivo almeno pari all'intera capacità del serbatoio e dosaggio con tubazioni in DN40 direttamente nelle due linee biologiche a cicli alternati (in due differenti punti lungo la lunghezza di ciascuna linea).