

*S.I.I. Servizio Idrico Integrato del
Biellese e Vercellese S.p.a.*

Vercelli

ACCORDO DI PROGRAMMA PER IL RISANAMENTO ED IL RECUPERO
AMBIENTALE DEL LAGO DI VIVERONE

INTERVENTI DI RIORGANIZZAZIONE FUNZIONALE DEL SISTEMA DI
SMALTIMENTO DEGLI SCARICHI REFLUI DEGLI ABITATI DI ROPPOLO,
VIVERONE, PIVERONE ED AZEGLIO
3° LOTTO STRALCIO

DATA PROGETTO

OTTOBRE 2015

AGGIORNAMENTO

ATTIVITA' DI PROGETTAZIONE:



IL PROGETTISTA
(Dott. Ing. Domenico CASTELLI)

*RELAZIONE DI VERIFICA DEL PROCESSO
DI TRATTAMENTO REFLUI*

PROGETTO ESECUTIVO

PRATICA N. 10158 E3

ARCH. N° -

MODIFICHE AGGIORNAMENTI	Aggiornamento			
	Data			
CONTROLLO		OPERATORE	CONTROLLO	APPROVAZIONE
	Firma	DC	DC	DC

INDICE

1	PREMESSA	1
2	LINEA REFLUI.....	2
2.1	GRIGLIATURA.....	2
2.2	SOLLEVAMENTO.....	4
2.3	DISSABBIATURA	6
2.4	RIMOZIONE NUTRIENTI.....	8
2.5	SEDIMENTAZIONE SECONDARIA	13
2.6	DISINFEZIONE FINALE	15
3	LINEA FANGHI	17
3.1	DIGESTIONE AEROBICA	17
3.2	DIGESTIONE AEROBICA	19
3.3	POST ISPESSIMENTO	21
3.4	DISIDRATAZIONE	23
4	CARATTERISTICHE FINALI DELL'EFFLUENTE	24

1 PREMESSA

La presente relazione costituisce l'elemento di verifica dell'adeguatezza dei processi fisici e chimici dell'intervento di ristrutturazione e potenziamento dell'esistente impianto di trattamento a fanghi attivi degli scarichi reflui fognari collettati dalla rete intercomunale degli abitati di Viverone, Piverone, Roppolo e Azeglio mediante l'ausilio della procedura di calcolo SWATER MIX 2010.

L'impianto è ubicato in località Piane del comune di Azeglio in provincia di Torino.

I dimensionamenti e le geometrie dell'ampliamento in questione sono stati adattati, ed in parte condizionati, dalle preesistenze impiantistiche che sono state oggetto di ristrutturazione.

I processi di trattamento dell'impianto sono costituiti dalle seguenti linee:

- La linea reflui
 - pretrattamenti: grigliatura primaria
 - sollevamento
 - dissabbiatura e disoleatura
 - fase biologica (nitrificazione e denitrificazione)
 - sedimentazione secondaria
 - disinfezione
- Linea fanghi:
 - digestione aerobica dei fanghi
 - post-ispessimento dei fanghi
 - disidratazione meccanica

E' prevista inoltre la realizzazione di una vasca di accumulo che in caso di portate superiori alla portata di progetto dei trattamenti secondari e linea fanghi $3Q_n$, permetta di stoccare una certa quantità d'acqua dopo il trattamento di grigliatura primaria, e ri-coinvogliare nel tempo tale volume all'ingresso dell'impianto di depurazione. Alla luce di quanto esposto in precedenza e dei rilievi effettuati sull'impianto, si è ritenuto utile adottare una fase di predenitrificazione (processo Ludzack-Ettinger modificato).

Un ulteriore affinamento del processo è stato quello di non effettuare la sedimentazione primaria in modo da utilizzare il maggiore contenuto di carbonio del liquame grezzo per incrementare la velocità di denitrificazione. È dimostrato che in fase di sedimentazione primaria si riduce il rapporto BOD/TKN e questo riduce, a sua volta, il rendimento di denitrificazione. Un rapporto BOD/TKN > 5 favorisce la denitrificazione.

Di seguito sono riportati i parametri di progetto dell'impianto:

Popolazione		8.500	ab
Portata media di magra	Q_n	24	l/s
Portata massima direttamente trattata	$3Q_n$	72	l/s
Portata $5Q_n$	$5Q_n$	120	l/s
Portata massima all'impianto	$10Q_n$	240	l/s
Inquinamento unitario	Cou	60	g BOD/(ab giorno)
Inquinamento totale	Co	510	kg BOD5/giorno
Sostanze sospese sedimentabili	SSsed	60	g/(ab giorno)
Sostanze sospese non sedimentabili	SSnon sed	30	g/(ab giorno)
Sostanze disciolte	SD	100	g/(ab giorno)
Sostanze totali	SStot	190	g/(ab giorno)

Per il trattamento biologico sono stati assunti i seguenti parametri di progetto riferiti ai limite ammissibili allo scarico al ricettore naturale (D.Lgl 152/06 e s.m. e i., allegato 5):

Parametro		Limite normativo
Limite azoto ammoniacale	NH_4^+	15
Limite azoto nitrico	NO_3^-	20
Limite totale azoto ammissibile	N	20

2 LINEA REFLUI

2.1 GRIGLIATURA

La fase di grigliatura ha lo scopo di rimuovere dal liquame influente i solidi più grossolani, al fine di evitare che questi possano inficiare il processo depurativo, danneggiare le pompe o intasare le tubazioni.

Per la verifica della sezione di trattamento in esame vengono forniti in input i valori relativi ai seguenti parametri:

- Portata di punta diurna, $Q_{max}(14)$;
- Portata media diurna, $Q_{med}(18)$;
- Altezza utile del canale di grigliatura, H_u ;
- Larghezza utile del canale di grigliatura, B_u ;
- Spessore delle barre, s ;
- Luce tra le barre, b ;
- Angolo di inclinazione della griglia sull'orizzontale, θ .

Per quanto concerne le verifiche con Q_{med} si osserva che la griglia sarà dotata di una parzializzazione che ne restringerà la sezione in corrispondenza del livello più basso tale per cui $B_u=0.35$ m.

Le verifiche di funzionalità sono limitate al solo caso di Q_{max} per brevità espositiva.

Calcolo delle caratteristiche dimensionali della griglia

Il numero di barre che costituiscono la griglia e la sua larghezza effettiva vengono calcolate attraverso le seguenti relazioni:

$$N_{barre} = B_u \times 100/b$$

$$B_{eff} [m] = [N_{barre} \times s + (N_{barre} + 1) \times b] / 100$$

Calcolo delle caratteristiche funzionali della griglia

All'interno del canale deve essere garantita una velocità ottimale, non troppo bassa, al fine di eludere fenomeni di sedimentazione a monte della griglia; non eccessivamente alta per evitare che il materiale già trattenuto venga nuovamente trascinato a valle per effetto della turbolenza.

Il range entro cui è opportuno che ricadano i valori di velocità è $0,5 \div 1,2$ m/s.

La valutazione della velocità massima e di quella media viene effettuata mediante le formule:

$$v_{-max} [m/s] = Q_{max}(14) / (H_u \cdot B_u)$$

$$v_{-med} [m/s] = Q_{med}(18) / (H_u \cdot B_u)$$

Come valore delle perdite di carico che si hanno in corrispondenza della griglia, si assume il massimo tra i valori risultanti dalle equazioni di seguito riportate:

$$\Delta H_1 [cm] = \sin\theta \times V_{med}^2 \times [2.99977 + 72.64308 \times \exp(-b / 5.6148)]$$

$$\Delta H_2 [cm] = C \times (s/b)^{4/3} \times (V_{med}^2 / 2 \times g) \times \sin\theta$$

dove:

C = coefficiente di forma = $1,9 \times 100$;
g = costante gravitazionale = $9.81 \text{ [m/s}^2\text{]}$.

Calcolo del quantitativo di grigliato prodotto

La stima del carico di grigliato prodotto giornalmente dalla sezione di grigliatura si ricava dalla seguente relazione:

$$F_{gr} \text{ [Kg/d]} = \gamma_{GR} \times q_{RSU} \times 24 \times Q_{med(18)} / 1000$$

$$q_{RSU} \text{ [l/1000m}^3\text{]} = 471.5166 \times \exp^{(-0.85281 \times b)}$$

dove:

γ_{GR} = peso specifico medio dei rifiuti pari a $0.6 \text{ [Kg/dm}^3\text{]}$;

q_{RSU} = quantitativo di grigliato che può essere raccolto espresso come $\text{[l/1000m}^3\text{]}$ di liquame trattato.

Nella sottostante Tabella vengono riportati i valori dei parametri indagati, distinguendo tra quelli inseriti in input e quelli restituiti in output, e quelli di indicatori multiparametrici in grado di valutare “globalmente” se la progettazione della sezione in esame risulta “equilibrata” o “condizionata”:

IMPIANTO: VIVERONE		modalità: VERIFICA		DATA: Settembre 2015	
INPUT			OUTPUT		
Q _{max} (14) [m³/h]	864		N _{barre} [N]	25	
Q _{med} (18) [m³/h]	110.5		Beff _{max} [m]	0.9	
H _u [m]	0.48		Beff _{med} [m]	0.55	
B _{u_{max}} [m]	0.65		ΔH [cm]	0.86	
B _{u_{med}} [m]	0.35		v-med [m/s]	0.49	
s [cm]	1		v-max [m/s]	0.77	
b [cm]	2.5		F _{gr} [Kg/d](RSU prod)	68.4	
θ [deg]	30				
INDICATORI DI EFFICIENZA E DI PROCESSO					
			Grigliatura dimensionalmente corretta		
IP _{gr}	0.28		Funzionamento regolare e stabile		
			Buona elasticità alle basse ed alte portate		

2.2 SOLLEVAMENTO

Per vincere le perdite di carico e la prevalenza geodetica, si predispone una stazione di sollevamento in modo tale che il liquame possa giungere con un carico sufficiente a tutte le sezioni dell'impianto.

Le condizioni da soddisfare nel dimensionamento di un impianto di sollevamento sono:

- a) portata totale delle pompe > portata massima del liquame in ingresso;
- b) tempo massimo di riempimento nel bacino di carico < 30 minuti, allo scopo di evitare la putrefazione;
- c) numero di avviamenti/ora delle pompe < 12 ÷ 15;
- d) velocità del liquame nella tubazione di mandata compreso tra 0.5 e 1.2 m/s.

In input vengono forniti i valori relativi ai seguenti parametri:

- Portata minima notturna, Q_{min} ;
- Portata di punta diurna, Q_{max} ;
- Superficie di base del bacino di sollevamento, A ;
- Tempo di ciclo delle pompe, T_c ;
- Portate effettive delle singole pompe, Q_{pi} ;
- Diametro condotta premente, D ;
- Pressione nominale condotta premente, PN ;
- Dislivello geodetico, $d-Geo$;
- Lunghezza condotta premente, L_p .

I dati di input della portata in ingresso sono dimezzati in relazione al fatto che la stazione di sollevamento iniziale è sdoppiata in due unità gemelle.

Calcolo delle caratteristiche delle pompe e del bacino di carico

Sulla base dei dati forniti in input, è possibile valutare il numero di avviamenti delle pompe per ora secondo la formula:

$$N_{avv}/h [1/h] = 60 / T_c$$

Il tempo massimo di riempimento del bacino di carico risulta invece dalla relazione:

$$T_{Rmax} [min] = V_{tot} / Q_{min}$$

dove:

V_{tot} = volume totale del bacino di carico [m^3];

Q_{min} = portata minima notturna [m^3/h].

Calcolo delle caratteristiche dimensionali del bacino di carico

Nota la portata elaborata da ciascuna pompa (calcolata considerando le curve caratteristiche di funzionamento delle pompe e del circuito) e noto il tempo di ciclo delle pompe T_c , è possibile stabilire le frazioni di volume del bacino da attribuire a ciascuna di esse.

Detta V_{pi} la frazione del volume del bacino di carico compreso tra la quota d'attacco della pompa (i-1)-esima e la quota d'attacco della pompa i-esima, si ha:

$$V_{pi}[m^3] = Q_{pi} \times T_c \times 60 / 4000$$

dove:

Q_{pi} = portata sollevata dalla pompa i-esima.

Sommando le V_{pi} , si ottiene il volume totale delle pompe:

$$V_p [m^3] = \sum V_{pi}$$

Conseguentemente il livello massimo di azione di ciascuna pompa è dato da:

$$L_1 [m] = V_{p1} / A$$

$$L_i [m] = L_{i-1} + V_{pi} / A \quad \text{con } i = 2-3-4$$

Calcolo delle caratteristiche funzionali della condotta premente

La velocità minima nella condotta, corrispondente all'esercizio della sola prima pompa, è data da:

$$v_{\min} [m/s] = 4000 \cdot Q_{p1} / (\pi \cdot D^2)$$

La velocità massima nella condotta, corrispondente a tutte le pompe in funzione, è data, invece, da:

$$v_{\max} [m/s] = 4000 \cdot Q_{p_{\text{tot}}} / (\pi \cdot D^2)$$

Nella sottostante Tabella vengono riportati i valori dei parametri indagati, distinguendo tra quelli inseriti in input e quelli restituiti in output:

IMPIANTO: VIVERONE		modalità: VERIFICA		DATA: Settembre 2015	
INPUT			OUTPUT		
Q _{min} [m³/h]	21.5	Navv/h [1/h]	8		
Q _{max} [m³/h]	432	TRmax [min]	11.72		
Area di base [m²]	23.3	L1 [m]	0.36		
Tempo di ciclo [min]	8	L2 [m]	0.72		
Qp1 [l/s]	70	L3 [m]	0.72		
Qp2 [l/s]	70	L4 [m]	0.72		
Qp3 [l/s]	0	Qp _{tot} [l/s]	140		
Qp4 [l/s]	0	Vp1 [m³]	8.4		
D [mm]	200	Vp2 [m³]	8.4		
PN [atm]	10	Vp3 [m³]	0		
d-Geo [m]	8	Vp4 [m³]	0		
		Vtot [m³]	16.8		

La stazione di sollevamento sarà dotata di tre elettropompe sommerse identiche aventi portata caratteristica pari a 70 l/s, delle quali una, ciclicamente alternata tra le tre, sarà di riserva in caso di guasto.

2.3 DISSABBIATURA

La fase di dissabbiatura serve ad eliminare le particelle solide di diametro $d > 0.2$ cm che generalmente provengono dal dilavamento stradale. La rimozione di tali particelle si rende necessaria poiché queste possono creare problemi di intasamento ed abrasione nelle tubazioni, ed inoltre perché la presenza eccessiva di inerti appesantirebbe notevolmente le fasi a valle.

In base alla direzione del flusso i dissabbiatori possono essere suddivisi in:

- Dissabbiatori a flusso orizzontale (a canale)
- Dissabbiatori a flusso tangenziale

Nel caso specifico si è optato per un dissabbiatore orizzontale

DISSABBIATORE A ORIZZONTALE

I dissabbiatori a orizzontali sono generalmente caratterizzati da una sezione decrescente verso il basso e sono muniti a valle di un dispositivo, tipo venturimetro, allo scopo di mantenere una velocità della corrente all'interno del canale di 0.085 m/s, che permette la sedimentazione delle particelle di dimensioni superiori a 0.1 mm.

Per la verifica della sezione di trattamento in esame vengono forniti in input i valori relativi ai seguenti parametri:

- Portata minima notturna, $Q_{min(48)}$;
- Portata di punta diurna, $Q_{max(14)}$;
- Portata media diurna, $Q_{med(18)}$;
- Portata di pioggia, $Q_{pioggia}$;
- Altezza del liquame, H ;
- Volume del dissabbiatore, V_{ds} .

I dati di input della portata in ingresso sono dimezzati in relazione al fatto che il dissabbiatore lineare è sdoppiato in due unità gemelle.

I dati immessi in input permettono la valutazione dell'area di base e della larghezza del dissabbiatore rispettivamente mediante le formule:

$$Ads [m^2] = V_{ds} / H$$

$$B [m] = Q_{max(14)} / (v_t \times H)$$

dove:

v_t = velocità della corrente nel canale, pari a 0.085 m/s.

La valutazione della lunghezza del dissabbiatore risulta invece dalla seguente:

$$L [m] = Ads / B$$

Una volta noti i valori della lunghezza e della larghezza del dissabbiatore a canale, il volume della zona in cui si raccoglie la sabbia è così calcolato:

$$\text{Volume zona raccolta sabbia [m}^3] = L \times B \times h$$

dove:

h = altezza della zona di raccolta sabbia, pari a 0.50 m.

I quantitativi di sabbia che possono essere raccolti nella fase di dissabbiatura sono molto variabili e possono essere stimati mediamente intorno a 75 l/1000 m^3 di liquame trattato, pertanto se si considera un peso specifico medio dei rifiuti pari a $\gamma_{ds} = 2$ Kg/dm³ e la portata di liquame $Q_{med(18)}$, si ricava la stima del carico di sabbia prodotta giornalmente dalla sezione di dissabbiatura:

$$F_{dis} [Kg/d] = 75 \times \gamma_{ds} \times 24 \times Q_{med}(18) / 1000 \approx 3.6 \times Q_{med}(18)$$

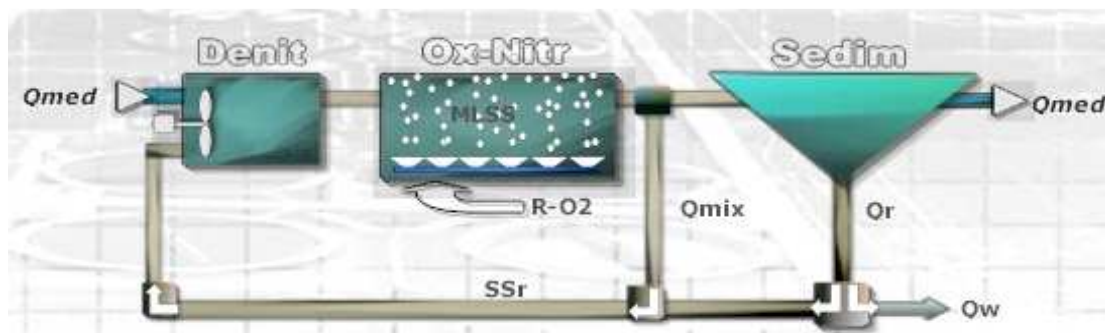
La valutazione del carico idrico superficiale avviene mediante l'espressione:

$$C_i [m/h] = Q_{med}(18) / A_{ds}$$

Nella sottostante Tabella vengono riportati i valori dei parametri indagati, distinguendo tra quelli inseriti in input e quelli restituiti in output, e quelli di indicatori multiparametrici in grado di valutare "globalmente" se la progettazione della sezione in esame risulta "equilibrata" o "condizionata":

IMPIANTO: VIVERONE		modalità: VERIFICA		DATA: Settembre 2015	
INPUT			OUTPUT		
Qmin(48) [m³/h]	21.5				
Qmax(14) [m³/h]	432				
Qmed(18) [m³/h]	110.5				
Qpioggia [m³/h]	0				
Dissabbiatore a canale					
H[m]	0.50		B [m]	2.35	
Vds [m³]	9.50		L [m]	8.0	
			L/H [-]	16	
			Bteorico [m]	1.62	
			Ads [m²]	19.0	
			Volume zona raccolta sabbia [m³]	9.4	
			TR [min]	0.05	
CARATTERISTICHE FUNZIONALI					
Fdis [Kg/d]	397.8				
Ci [m/h]	52.18				
INDICATORI DI EFFICIENZA E DI PROCESSO					
IP	0.34		Funzionamento regolare e stabile		

2.4 RIMOZIONE NUTRIENTI



Lo schema prevede la presenza di una predenitrificazione e lo svolgimento della fase di nitrificazione all'interno della vasca di ossidazione.

La corrente idrica affluente alla fase assicura la disponibilità di substrato organico necessario al processo di denitrificazione operato da una biomassa eterotrofa in condizioni anossiche; i nitrati sono formati nella successiva fase di nitrificazione, in seguito all'ossidazione dell'azoto ammoniacale e organico in ingresso e vengono riciclati a monte sia con il fango ispessito nel bacino di sedimentazione secondaria, che con la miscela aerata.

Per la verifica della sezione di trattamento in esame vengono forniti in input i valori relativi ai seguenti parametri:

- Valore minimo del BOD in ingresso, BODmin;
- Valore massimo del BOD in ingresso, BODmax;
- Concentrazione di fango in vasca, MLSS;
- Ossigeno disciolto, DOox;
- Portata di ricircolo dei fanghi provenienti dalla sedimentazione secondaria, Qr;
- Portata di liquame influente, Qmed;
- Valore del BOD in ingresso alla fase biologica, BOD_{5in dn};
- Temperatura influente, T;
- pH influente, pH ;
- Volume del bacino di ossidazione nitrificazione, V_{OX-NITR} ;
- Volume del bacino di denitrificazione, V_{DEN} ;
- Fattore di ricircolo della miscela aerata, R_{mix aerato};
- Concentrazione di COD in ingresso, CODin;
- Rapporto tra COD rapidamente biodegradabile e COD totale, CODrb/COD.

Vengono inoltre ereditati dalle fasi precedenti i valori relativi ai parametri di seguito elencati:

- Concentrazione di fosforo in ingresso, Pin.

Calcolo della concentrazione dei composti azotati in uscita dal bacino di nitrificazione

Per la valutazione della concentrazione dei composti azotati in uscita dal bacino di nitrificazione si parte dall'espressione del volume del bacino di nitrificazione, il quale risulta dall'equazione seguente:

$$V_{\text{NIT}}[\text{m}^3] = 1000 \times \Delta \text{TKN}_{\text{elim}} / (\text{MLSS} \times f \times v_{\text{nT}}) \quad [1]$$

dove:

$\Delta \text{TKN}_{\text{elim}}$ = TKN abbattuto [Kg/d];

MLSS = concentrazione dei solidi sospesi totali in vasca [mg/l];

f = frazione di batteri nitrificanti sulla biomassa totale [adimensionale];
 vn_T = velocità di nitrificazione alla generica temperatura T [KgTKN/KgSS × d].

La frazione dei batteri nitrificanti e la velocità di nitrificazione, che compaiono nell'equazione [1], risultano rispettivamente dalle seguenti formule:

$$f = [1 + (BOD_i - BOD_u)/(TKN_i - TKN_u) \times (Y/Y_n)]^{-1} \quad [2]$$

dove:

BOD_i = concentr. equivalente di carico organico in ingresso alla fase di nitrificazione [mg/l];
 BOD_u = concentr. equivalente di carico organico in uscita alla fase di nitrificazione [mg/l];
 TKN_i = concentr. azoto organico ed ammoniacale in ingresso alla fase di nitrificazione [mg/l];
 TKN_u = concentr. di azoto organico ed ammoniacale in uscita alla fase di nitrificazione [mg/l];
 Y/Y_n = rapporto dei coefficienti di crescita cellulare dei batteri totali e di quelli nitrificanti [adimensionale], valore che può essere assunto pari a 3.7 (Y = 0.88 g SS/g TKN; Y_n = 0.24 g SS/g TKN).

$$vn_T [KgTKN/KgSS \times d] = 24 \times vn_{20} \times [TKN_u / (K_{TKN} + TKN_u)] \times [DO_{ox} / (K_O + DO_{ox}) \times \delta_n^{(T-20)} \times [1 - 0.833 \times (7.2 - pH)]] \quad [3]$$

dove:

vn_{20} = velocità di nitrificazione, in assenza di fattori limitanti, alla temperatura di riferimento di 20°C; mediamente pari a 0.075 [KgTKN/KgSS × h];
 DO_{ox} = concentrazione di ossigeno disciolto mantenuta in vasca pari a 1,5 mg/l;
 K_{TKN} = costante di semisaturazione relativa all'ammoniaca, pari a 0.5 mg/l;
 K_O = costante di semisaturazione relativa all'ossigeno disciolto, pari a 1.0 mg/l;
 T = temperatura di esercizio [°C];
 δ_n = coefficiente di correzione relativo alla temperatura, pari a 1.12 [adimensionale].

Sostituendo le equazioni [2] e [3] nell'equazione [1], quest'ultima diviene:

$$V_{NIT}[m^3] = A \times \{[(TKN_i - TKN_u) - 0.05 \times \Delta BOD] \times [(TKN_i - TKN_u) + 3.7 \times \Delta BOD]\} / \{[TKN_u / (0.5 + TKN_u)] \times (TKN_i - TKN_u)\}$$

Avendo definito A come:

$$A = Q_{med}(24) / \{MLSS \times 0.075 \times [DO_{ox} / (1 + DO_{ox})] \times 1.12^{(T-20)} \times [1 - 0.833 \times (7.2 - pH)]\}$$

Si ottiene un'equazione di terzo grado, nell'incognita TKN_u:

$$TKN_u^3 + \psi \times TKN_u^2 + \xi \times TKN_u + \eta = 0$$

in cui:

$$\begin{aligned} \psi &= (V_{NITR}/A) + 0.5 - 3.7 \times \Delta BOD - 2 \times TKN_i + 0.05 \times \Delta BOD \\ \xi &= TKN_i^2 + 3.65 \times TKN_i \times \Delta BOD + 0.5 \times 0.05 \times \Delta BOD - 0.5 \times 3.7 \times \Delta BOD - 3.7 \times 0.05 \times \Delta BOD^2 - V_{NITR} \times TKN_i / A \\ \eta &= 0.5 \times (TKN_i^2 + 3.65 \times TKN_i \times \Delta BOD - 3.7 \times 0.05 \times \Delta BOD^2) \end{aligned}$$

Delle tre soluzioni, assume significato fisico quella avente espressione:

$$TKN_u = \{-\psi + [(\psi + X1)^2 + 4\eta/X1]^{1/2}\} / 2$$

in cui:

$$X1 = (\cos\alpha/\Omega) - \psi/3$$

$$\alpha = \arccos [(p/q) \times (-6.75/p)^{1/2}]$$

$$\Omega = (-0.75/p)^{1/2}$$

$$q = 2 \times \psi^3 / 27 - \psi \times \xi / 3 + \eta$$

$$p = -\psi^2 / 3 + \xi$$

Calcolo della concentrazione di nitrati in uscita dal bacino di nitrificazione

Variare il fattore di ricircolo interno della miscela aerata o variare il volume di denitrificazione, comporta un diverso effetto sulla concentrazione dei nitrati in uscita dal bacino di nitrificazione; l'algoritmo per il calcolo di N-NO_{3u} dovrà quindi risultare dalla combinazione dei due effetti.

In particolare, la concentrazione di nitrati in uscita dal bacino di ossidazione-nitrificazione che deriva dalla considerazione di R_{mix_aer} risulta dall'espressione:

$$N-NO_{3u(Rmix_aer)} [mg/l] = (TKN_i - TKN_u - 0.05 \times \Delta BOD_5) / (R_{mix_aer} + R_{int} + 1) \quad [4]$$

dove:

ΔBOD_5 = BOD₅ abbattuto [mg/l];

R_{mix_aer} = rapporto di ricircolo interno della miscela aerata [adimensionale];

R_{int} = rapporto di ricircolo interno dei fanghi dal sedimentatore secondario [adimensionale].

Per la determinazione della concentrazione di nitrati in uscita che deriva dalla considerazione di V_{DEN} si è, invece, partiti dall'equazione per la determinazione del volume del bacino di denitrificazione:

$$V_{DEN} [m^3] = 1000 \times \Delta(N-NO_{3elim}) / (MLSS \times v_{dT}) \quad [5]$$

Considerando le espressioni di ciascuno dei parametri che compaiono nell'equazione [5], operando le opportune sostituzioni e compiendo idonei passaggi si giunge alla seguente equazione di secondo grado:

$$N-NO_{3u(Vden)}^2 + C \times N-NO_{3u(Vden)} + D = 0$$

Avendo definito i coefficienti:

$$A = MLSS \times 0.003 \times 24 \times [BOD_5 / (0.1 + BOD_5)] \times 1.12^{(T-20)};$$

$$B = 24 \times (TKN_i - TKN_u - 0.05 \times \Delta BOD_5);$$

$$C = (-B + 2.4 \times Q_{med} + V_{DEN} \times A) / (24 \times Q_{med});$$

$$D = -0.1 \times B / (24 \times Q_{med}).$$

Delle due soluzioni quella avente significato fisico ha la seguente espressione:

$$N-NO_{3u(Vden)} = [-C + (C^2 - 4 \times D)^{1/2}] / 2 \quad [6]$$

Il valore di N-NO_{3u} risulta dalla combinazione delle equazioni [4] e [6], ovvero dalla seguente relazione:

$$N-NO_{3u} [mg/l] = (N-NO_{3u(Rmix_aer)} \times K_{Rmix_aer} + N-NO_{3u(Vden)} \times K_{Vden}) / (K_{Rmix_aer} + K_{Vden})$$

in cui:

$$K_{Rmix_aer} = 1 - R_{mix_aer} / (k + R_{mix_aer});$$

$$K_{Vden} = 1 - K_{Rmix_aer}.$$

Valutazione della Richiesta di Ossigeno

Per mantenere condizioni aerobiche all'interno della vasca è necessario soddisfare la richiesta di ossigeno e scegliere, quindi, un opportuno sistema di aerazione.

La richiesta di ossigeno è calcolata mediante la formula:

$$R_{O_2}[\text{Kg/d}] = a_t \times 24 \times Q_{\text{med}}(24) \times (\text{BOD}_{5i} - \text{BOD}_{5u}) + b_{\text{ht}} \times V_{\text{NITR}} \times \text{MLSSd} + \Delta c \times N_{\text{ox}} + c \times N_{\text{ox-u}}$$

dove:

$a_t \times 24 \times Q_{\text{med}}(24) \times (\text{BOD}_{5i} - \text{BOD}_{5u})$ = ossigeno necessario per ossidare il substrato carbonioso;

$b_{\text{ht}} \times V_{\text{NITR}} \times \text{MLSSd}$ = ossigeno necessario alla fase endogena;

$\Delta c \times N_{\text{ox}}$ = ossigeno necessario alla ossidazione dell'azoto ammoniacale sottratto dell'apporto di ossigeno da parte dei nitrati riciclati;

$c \times N_{\text{ox-u}}$ = ossigeno presente nel ricircolo e utilizzato dall'azoto in uscita, ossidato nella denitrificazione.

In questa formula si è tenuto conto che in realtà i nitrati possono essere una fonte di ossigeno anche nella vasca di nitrificazione, infatti c'è da considerare che l'efficienza del sistema di aerazione può non essere così elevata e che quindi in alcuni punti del bacino si svilupperanno condizioni di anossia. Inoltre si è considerato che con la portata di ricircolo in arrivo alla vasca di denitrificazione può arrivare anche una certa concentrazione di ossigeno che sarà quindi prontamente utilizzato dalla biomassa eterotrofa presente in tale vasca per l'ossidazione nell'azoto residuo ricircolato.

Esplicitando i termini della precedente formula, si ottiene:

$$R_{O_2}[\text{Kg/d}] = [0.5 \times 1.02^{(T-20)}] \times 24 \times Q_{\text{med}}(24) \times (\Delta \text{BOD}_5 / 1000) + [0.1 \times 1.084^{(T-20)}] \times V_{\text{NITR}} \times (\text{MLSSd} / 1000) + (4.57 - 1.7) \times 24 \times Q_{\text{med}}(24) \times [(\Delta \text{TKN} - \text{N} - \text{NO}_{3\text{u}} - 0.05 \times \Delta \text{BOD}_5) / 1000] + 4.57 \times 24 \times Q_{\text{med}}(24) \times \text{N} - \text{NO}_{3\text{u}}$$

dove:

$0.05 \times \Delta \text{BOD}_5$ = frazione di azoto impiegata dai batteri eterotrofi per la loro sintesi batterica;

ΔBOD_5 = BOD abbattuto [mg/l];

ΔTKN = TKN abbattuto [mg/l];

T = temperatura [°C];

$\text{N} - \text{NO}_{3\text{u}}$ = azoto ammoniacale in uscita [mg/l];

MLSSd = concentrazione dei solidi sospesi totali in aerazione [mg/l];

4.57 = ossigeno necessario per trasformare 1 kg di NH_3 in nitrati;

1.7 = apporto di ossigeno per 1 Kg di NO_3 .

Nella sottostante Tabella vengono riportati i valori dei parametri indagati, distinguendo tra quelli inseriti in input e quelli restituiti in output, e quelli di indicatori multiparametrici in grado di valutare se la progettazione della sezione in esame risulta “equilibrata” o “condizionata”:

IMPIANTO: VIVERONE		modalità: VERIFICA		DATA: Settembre 2015	
INPUT		OUTPUT			
BOD _{in} [mg/l]	250	N-NO ₃ out [mg/l]		0.2	
BOD _{min} [mg/l]	100	N-NH ₄ ⁺ out [mg/l]		0.6	
BOD _{max} [mg/l]	300	BOD _{5out} [mg/l]		13	
MLSS [mg/l]	4000	Abb. BOD ₅ [%]		0.95	
DO _{ox} [mg/l]	1.5	Abb. MBAS [%]		0.778	
Q _r [m³/h]	130	R _{O2} [Kg/d]		685	

Q _{med} [m ³ /h]	85	d-TKN [Kg/d]	77.8
BOD _{5 in dn} [mg/l]	250	d-NO ₃ [Kg/d]	77.4
T [°C]	13	F _{c-ox} [KgBOD/KgSS×d]	0.116
pH	7	F _{c-eff} [KgBOD/KgSS×d]	0.064
V _{OX-NITR} [m ³]	1100	F _{cv} [KgBOD/m ³ ×d]	0.26
V _{DEN} [m ³]	900	TR _{ox} [h]	12.94
R _{mix aerato} [-]	3694.18	R _{totale} [-]	3695.71
COD _{in} [mg/l]	500	P _{out} [mg/l]	10.9
COD _{rb} /COD	0.26	V _{FOSFORO} [m ³]	0
INDICATORI DI EFFICIENZA E DI PROCESSO			
COD _{in} /TKN _{in} [-]	9.6		
Età del fango [d]	22.52		
SF _{gujer} [-]	8.7		
IP _{mix}	0.75	conc. fango regolare	
IP _{DO}	0.6	ossigenazione regolare	

2.5 SEDIMENTAZIONE SECONDARIA

Il bacino di sedimentazione secondaria è il componente dell'impianto che provvede alla decantazione della miscela di acqua e fiocchi di fango biologico proveniente dal bacino di ossidazione-nitrificazione, con conseguente separazione dell'acqua chiarificata dai fiocchi l'ispessimento del fango attivo da ricircolare.

Per la verifica della sezione di trattamento in esame vengono forniti in input i valori relativi ai seguenti parametri:

- Portata di ricircolo dei fanghi provenienti dalla sedimentazione secondaria, Q_r ;
- Carico di solidi superficiale, C_s ;
- Volume del sedimentatore secondario, V_{ss} ;
- Area del sedimentatore secondario, A_{ss} .

Calcolo dell'altezza del sedimentatore secondario

Sulla base dei parametri forniti in output, si ottiene il valore dell'altezza del sedimentatore secondario mediante la formula:

$$H_{ss} [m] = V_{ss} \times A_{ss}$$

Calcolo del tempo di ritenzione nel bacino di sedimentazione secondaria

La valutazione del tempo di ritenzione nel bacino di sedimentazione secondaria risulta dalla seguente relazione:

$$TR_{ss} [h] = V_{ss} / Q_{med}$$

Calcolo della concentrazione dei solidi sospesi nell'effluente e nei fanghi di ricircolo

Per il calcolo dei solidi sospesi nell'effluente si fa riferimento al valore medio risultante dalle formule [7] e [8]:

$$S_{Se1} [mg/l] = 5.3616 \times \exp(0.1787 \times MLSS \times 10^{-3} + 1.315 \times Q_{med}/A_{ss}) \quad [7]$$

dove:

A_{ss} = area del sedimentatore secondario; $A_{ss} = V_{ss}/H_{ss}$.

$$S_{Se2} [mg/l] \sim 7.5 C_s \quad [8]$$

Nel fango di ricircolo il valore della concentrazione dei solidi sospesi risulta dalla seguente formula:

$$S_{Sr} [mg/l] = (R_{fanghi} + 1) \times MLSS / R_{fanghi}$$

Calcolo della portata di supero e della produzione di fango giornaliera

La portata di supero, invece, è valutata come segue:

$$Q_w [m^3/d] = 24 \times Q_{med} \times (y \times (BOD_{in} - BOD_{out}) - S_{Se}) / (S_{Sr} - S_{Se})$$

dove:

y = rendimento netto di crescita

Il fango prodotto è calcolato mediante la seguente formula:

$$Prod. Fango [Kg/d] = Q_w \times S_{Sr} / 1000$$

Nella sottostante Tabella vengono riportati i valori dei parametri indagati, distinguendo tra quelli inseriti in input e quelli restituiti in output, e quelli di indicatori multiparametrici in grado di valutare se la progettazione della sezione in esame risulta “equilibrata” o “condizionata”:

IMPIANTO: VIVERONE		modalità: VERIFICA		DATA: Settembre 2015	
INPUT			OUTPUT		
Qr [m³/h]	130		Hss [m]	2.4	
Cs [KgSS/m² h]	4		SSe [mg/l]	24.15	
Vss-tot [m³]	516		SSr [mg/l]	6615	
Ass-tot [m²]	215		TR _{ss} [h]	6.07	
			Ci [m/h]	0.4	
			R _{fanghi} [-]	1.53	
			Prod. Fango [Kg/d]	305.9	
			Supero Qw [m³/d]	46.24	
INDICATORI DI EFFICIENZA E DI PROCESSO					
IP _{SSE}	0.4		sedimentazione regolare		

2.6 DISINFEZIONE FINALE

Il liquame effluente è inviato alla vasca di contatto per la disinfezione. Questa fase è finalizzata alla rimozione degli organismi patogeni che non sono stati precedentemente eliminati e viene condotta tramite uso di ipoclorito di sodio. Il dimensionamento è perfettamente adattabile all'uso di altri disinfettanti quali, ad esempio, l'acido peracetico. La vasca di contatto è costituita da una serie di setti, utili affinché l'acqua rimanga a contatto con il disinfettante per il tempo necessario.

Per la verifica della sezione di trattamento in esame vengono forniti in input i valori relativi ai seguenti parametri:

- Portata di punta diurna, $Q_{max}(14)$;
- Portata media giornaliera, $Q_{med}(24)$;
- Cloro residuo;
- Tempo di contatto nella vaschetta di miscelazione, t_c ;
- Altezza del canale, H ;
- Numero di canali affiancati, N_{ca} ;
- Lunghezza della vasca, L_v ;
- Larghezza della vasca, W_v .

Per dimensionare o controllare un trattamento di disinfezione a base di cloro (cloro gassoso, ipocloriti, biossido di cloro) delle acque reflue si fa riferimento alla Legge di Chick, che esprime la relazione teorica della velocità di abbattimento di una specie di microrganismi sottoposta ad un definito agente disinfettante:

$$dN/dt = -K \times N$$

dove:

N = carica batterica presente in 100ml di campione;

t = tempo di contatto [min];

K = costante di scomparsa che tiene conto del fatto che tale legge fa riferimento al caso della presenza di un'unica specie e per un determinato agente disinfettante, in condizioni di temperatura costante ed attività del disinfettante costante nel tempo, in assenza di altri composti che, reagendo con esso, lo consumano.

La relazione tra intensità o concentrazione di agente disinfettante e quantità di microrganismi presenti non è, in genere, lineare; nel caso della disinfezione per clorazione si ricorre ad un'espressione del tipo:

$$N_t/N_0 = (1 + 0.23 C_r t)^{-3}$$

dove:

N_0 = carica batterica iniziale al tempo t_0 (in 100ml di refluo grezzo);

N_t = carica batterica finale al tempo t ;

C_r = concentrazione cloro libero residuo al tempo t ;

t = tempo di contatto [min].

Caratteristiche dimensionali

Avendo fornito in input il valore del tempo di contatto nella vasca di miscelazione, risulta possibile il calcolo del volume della vaschetta di miscelazione mediante la formula:

$$V_{mix} [m^3] = Q_{max}(14) \times t_c / 3600$$

Per ottenere il valore della larghezza del canale W_c , si è considerato che:

$$W_c [m] = W_v / N_{ca}$$

A seguito di tali valutazioni, è possibile calcolare l'area della sezione trasversale dei canali in cui risulta suddivisa la vasca di miscelazione mediante la formula:

$$S [m^2] = H \times W_c$$

Il volume della vasca ove effettuare il trattamento risulta dalla seguente relazione:

$$V_c [m^3] = L_v \times W_c \times H \times N_{ca}$$

La valutazione del tempo di ritenzione nella vasca di disinfezione è effettuata come segue:

$$t_{rit} [min] = V_c \times 60 / Q_{max}(14)$$

Caratteristiche funzionali

Per la valutazione del tempo di contatto medio viene utilizzata la formula:

$$t_{c_{medio}} [min] = 60 \times V_c / Q_{med}(24)$$

mentre la velocità trasversale è data dalla seguente:

$$v [m/s] = Q_{max}(14) / (S \times 3600)$$

Nella sottostante Tabella vengono riportati i valori dei parametri indagati, distinguendo tra quelli inseriti in input e quelli restituiti in output:

IMPIANTO: VIVERONE		modalità: VERIFICA		DATA: Settembre 2015	
INPUT			OUTPUT		
Q _{max} (14) [m³/h]	259.2	Abbat. percent. di colibatteri[%]	99.927		
Q _{med} (24) [m³/h]	85	trit (vasca di contatto) [min]	27.22		
Cloro residuo [mg/l]	0.53	V _{mix} [m³]	2.16		
t _c (vaschetta di misc)[sec]	30	V _c [m³]	117.6		
L _v [m]	35	Sezione trasversale [m²]	3.36		
W _v [m]	1.2	W _c [m]	1.2		
H [m]	2.8	t _{cmedio} [min]	83.01		
N _{ca} [N]	1	v [m/s]	0.02		

Il dato di velocità dell'effluente, piuttosto basso, potrebbe richiedere la necessità di un'aerazione aggiuntiva per evitare fenomeni di insorgenze algali.

3 LINEA FANGHI

3.1 DIGESTIONE AEROBICA

La stabilizzazione del fango consente di ottenere un fango quasi inattivo biologicamente, più facilmente manipolabile e disidratabile, con un contenuto di carica batterica molto ridotto. La digestione aerobica mira all'abbattimento di una certa percentuale dei solidi sospesi volatili (almeno il 40%) e per mantenere il processo in ambiente aerobico, sarà necessario fornire ossigeno al sistema.

In input vengono forniti i valori relativi ai seguenti parametri:

- Portata in ingresso al digestore, Q_{in} ;
- Percentuale di solidi sospesi nei fanghi provenienti dalla sedimentazione secondaria, SS_{in} ;
- Percentuale di solidi sospesi nei fanghi in uscita dal digestore, SS_{dig} ;
- Temperatura del digestore, T ;
- Volume del digestore, V_{dig} .

Calcolo delle caratteristiche funzionali del digestore aerobico

Il calcolo della portata di solidi sospesi in ingresso al digestore viene così effettuato:

$$F_{ss_{in}} = 10 \times SS_{in} \times Q_{in}$$

dove:

SS_{in} = percentuale di solidi sospesi nei fanghi provenienti dalla sedimentazione secondaria [%];

Q_{in} = portata in ingresso proveniente dalla sedimentazione secondaria [m^3/d].

La portata massica di solidi sospesi volatili in ingresso al digestore è pari a:

$$F_{ssv_{in}} [Kg/d] = \alpha \times F_{ss_{in}}$$

dove α è circa pari a 0,72.

La percentuale di solidi sospesi in uscita dal digestore viene valutata come segue:

$$SS_{out} [\%] = SS_{dig} / 10$$

Questa valutazione consente di ottenere la portata massica di solidi sospesi in uscita dal digestore mediante la seguente formula:

$$F_{ss_{out}} [Kg/d] = SS_{out} \times F_{ss_{in}} / SS_{in}$$

Il calcolo della portata massica di solidi sospesi volatili in uscita dal digestore viene effettuato come segue:

$$F_{ssv_{out}} [Kg/d] = F_{ss_{out}} - (F_{ss_{in}} - F_{ssv_{in}})$$

I dati ottenuti consentono di calcolare la portata in uscita dal digestore aerobico ed il tempo di ritenzione :

$$Q_{out} [m^3/d] = F_{ss_{out}} / SS_{dig}$$

$$TR_{-dig} [d] = V_{dig} / Q_{out}$$

Per mantenere in processo in condizioni aerobiche è necessario soddisfare la richiesta di ossigeno, determinabile come:

$$F_{O_2} [KgO_2/d] = 2 \times \%rid\ SSV \times 0.72 \times F_{ss_{in}} / 100$$

Nella sovrastante espressione, l'abbattimento percentuale dei solidi sospesi volatili è consentito dalla relazione:

$$\%rid\ SSV = [(F_{ssv_{in}} - F_{ssv_{out}}) \times 100] / F_{ssv_{in}}$$

Utilizzando modelli riportati in letteratura (Masotti), dal valore della percentuale di riduzione dei solidi sospesi volatili è possibile determinare il prodotto ‘ temperatura × età del fango ’, dal quale, nota la temperatura, si ottiene l'età del fango.

La portata di surnatante è fornita dalla differenza tra la portata in ingresso e la portata in uscita dal digestore:

$$q\text{-sur-dig} [m^3/d] = Q_{in} - Q_{out}$$

Nella sottostante Tabella vengono riportati i valori dei parametri indagati, distinguendo tra quelli inseriti in input e quelli restituiti in output, e quelli di indicatori multiparametrici in grado di valutare “globalmente” se la progettazione della sezione in esame risulta “equilibrata” o “condizionata”:

IMPIANTO: VIVERONE		modalità: VERIFICA		DATA: Settembre 2015	
INPUT			OUTPUT		
Q _{in} [m³/d]	46.24		% _{rid} SSV	39.74	
SS _{in} [%]	0.66		Q _{out} [m³/d]	49.4	
SS _{dig} [Kg/m³]	0		F _{SSout} [Kg/d]	49.4	
T [°C]	15		SS _{out} [%]	0.47	
V _{dig} [m³]	400		SSV _{out} [mg/l]	2239	
			T×Età _{dig} [°C×d]	467.6	
			Età _{dig} [°C]	8.7	
			TR _{dig} [d]	8.7	
			F _{O2} [Kg/d]	175	
			q-sur-dig [m³/d]	0	
			F _{cv_dig} [KgSS/m³d]	0.76	
INDICATORE DI PROCESSO					
IP	0.47		funzionamento regolare		

3.2 DIGESTIONE AEROBICA

La stabilizzazione del fango consente di ottenere un fango quasi inattivo biologicamente, più facilmente manipolabile e disidratabile, con un contenuto di carica batterica molto ridotto. La digestione aerobica mira all'abbattimento di una certa percentuale dei solidi sospesi volatili (almeno il 40%) e per mantenere il processo in ambiente aerobico, sarà necessario fornire ossigeno al sistema.

In input vengono forniti i valori relativi ai seguenti parametri:

- Portata in ingresso al digestore, Q_{in} ;
- Percentuale di solidi sospesi nei fanghi provenienti dalla sedimentazione secondaria, SS_{in} ;
- Percentuale di solidi sospesi nei fanghi in uscita dal digestore, SS_{dig} ;
- Temperatura del digestore, T ;
- Volume del digestore, V_{dig} .

Calcolo delle caratteristiche funzionali del digestore aerobico

Il calcolo della portata di solidi sospesi in ingresso al digestore viene così effettuato:

$$F_{ss_{in}} = 10 \times SS_{in} \times Q_{in}$$

dove:

SS_{in} = percentuale di solidi sospesi nei fanghi provenienti dalla sedimentazione secondaria [%];

Q_{in} = portata in ingresso proveniente dalla sedimentazione secondaria [m^3/d].

La portata massica di solidi sospesi volatili in ingresso al digestore è pari a:

$$F_{ssv_{in}} [Kg/d] = \alpha \times F_{ss_{in}}$$

dove α è circa pari a 0,72.

La percentuale di solidi sospesi in uscita dal digestore viene valutata come segue:

$$SS_{out} [\%] = SS_{dig} / 10$$

Questa valutazione consente di ottenere la portata massica di solidi sospesi in uscita dal digestore mediante la seguente formula:

$$F_{ss_{out}} [Kg/d] = SS_{out} \times F_{ss_{in}} / SS_{in}$$

Il calcolo della portata massica di solidi sospesi volatili in uscita dal digestore viene effettuato come segue:

$$F_{ssv_{out}} [Kg/d] = F_{ss_{out}} - (F_{ss_{in}} - F_{ssv_{in}})$$

I dati ottenuti consentono di calcolare la portata in uscita dal digestore aerobico ed il tempo di ritenzione :

$$Q_{out} [m^3/d] = F_{ss_{out}} / SS_{dig}$$

$$TR_{-dig} [d] = V_{dig} / Q_{out}$$

Per mantenere in processo in condizioni aerobiche è necessario soddisfare la richiesta di ossigeno, determinabile come:

$$F_{O_2} [KgO_2/d] = 2 \times \%rid\ SSV \times 0.72 \times F_{ss_{in}} / 100$$

Nella sovrastante espressione, l'abbattimento percentuale dei solidi sospesi volatili è consentito dalla relazione:

$$\%rid\ SSV = [(F_{ssv_{in}} - F_{ssv_{out}}) \times 100] / F_{ssv_{in}}$$

Utilizzando modelli riportati in letteratura (Masotti), dal valore della percentuale di riduzione dei solidi sospesi volatili è possibile determinare il prodotto ‘ temperatura \times età del fango ’, dal quale, nota la temperatura, si ottiene l'età del fango.

La portata di surnatante è fornita dalla differenza tra la portata in ingresso e la portata in uscita dal digestore:

$$q\text{-sur-dig [m}^3/\text{d}] = Q_{\text{in}} - Q_{\text{out}}$$

Nella sottostante Tabella vengono riportati i valori dei parametri indagati, distinguendo tra quelli inseriti in input e quelli restituiti in output, e quelli di indicatori multiparametrici in grado di valutare “globalmente” se la progettazione della sezione in esame risulta “equilibrata” o “condizionata”:

IMPIANTO: VIVERONE		modalità: VERIFICA		DATA: Settembre 2015	
INPUT			OUTPUT		
Q _{in} [m³/d]	46.24	% _{orid} SSV	39.74		
SS _{in} [%]	0.66	Q _{out} [m³/d]	49.4		
SS _{dig} [Kg/m³]	0	F _{SSout} [Kg/d]	49.4		
T [°C]	15	SS _{out} [%]	0.47		
V _{dig} [m³]	400	SSV _{out} [mg/l]	2239		
		T×Età _{dig} [°C×d]	467.6		
		Età _{dig} [°C]	8.7		
		TR _{dig} [d]	8.7		
		F _{O2} [Kg/d]	175		
		q-sur-dig [m³/d]	0		
		F _{cv_dig} [KgSS/m³d]	0.76		
INDICATORE DI PROCESSO					
IP	0.47	funzionamento regolare			

3.3 POST ISPESSIMENTO

L'ispessimento è un processo fisico che mira, sfruttando la forza di gravità, a ridurre il tenore di umidità del fango, ottenendo una conseguente diminuzione di volume a parità di sostanza secca. Il surnatante risultante viene inviato a monte del trattamento depurativo.

In input vengono forniti i valori relativi ai seguenti parametri:

- Portata di fango di supero proveniente dalla sedimentazione secondaria, Q_{f-ox} ;
- Percentuale di solidi sospesi nei fanghi provenienti dai trattamenti secondari, SS_{in} ;
- Percentuale di solidi sospesi nei fanghi ispessiti, SS_{p-isp} ;
- Volume del post-ispessitore, V_{p-isp} ;
- Area del post-ispessitore, A_{p-isp} .

Calcolo delle caratteristiche dimensionali

Avendo fornito in input i vapori dell'area di base e del volume del post-ispessitore, è immediata la valutazione dell'altezza:

$$H_{p-isp} [m] = V_{p-isp} / A_{p-isp}$$

Calcolo delle caratteristiche funzionali

Il tempo di ritenzione viene valutato mediante la seguente formula:

$$TR_{p-isp} [d] = V_{p-isp-tot} / Q_{f-ox}$$

Occorre inoltre verificare che il carico dei solidi sospesi che interessa il post-ispessitore, sia minore dei valori massimi ammissibili, caratteristici per ogni tipo di fango:

$$Cs_{p-isp} [KgSS/m^2 \times d] = Q_{f-ox} \times SS_{in} \times 10 / A_{p-isp}$$

La portata di fanghi ispessiti destinata alla stabilizzazione biologica risulta dalla seguente:

$$Q_{f-p-isp} [m^3/d] = Q_{f-ox} \times SS_{in} / SS_{p-isp}$$

Ottenuta la portata di fanghi ispessiti è possibile valutare la portata di supernatante da ricircolo mediante la formula:

$$q_{sur-p-isp} [m^3/d] = Q_{f-ox} - Q_{f-p-isp}$$

Nella sottostante Tabella vengono riportati i valori dei parametri indagati, distinguendo tra quelli inseriti in input e quelli restituiti in output, e quelli di indicatori multiparametrici in grado di valutare “globalmente” se la progettazione della sezione in esame risulta “equilibrata” o “condizionata”:

IMPIANTO: VIVERONE		modalità: VERIFICA		DATA: Settembre 2015	
INPUT		OUTPUT			
Qf-ox [m³/d]	49.43	Hp-isp [m]	2.8		
SSin [%]	0.47	SSTin [mg/l]	4700		
SSp-isp [%]	2	SSTp-isp [mg/l]	20000		
Ap-isp [m²]	19.64	Qf_p-isp [m³/d]	11.62		
Vp-isp [m³]	55	Qsur_p-isp [m³/d]	37.81		
		TRp-isp [d]	1.3		
		Cs_p-isp [KgSS/m²d]	11.8		
INDICATORI DI EFFICIENZA E DI PROCESSO					
IP	0.19	funzionamento regolare			

3.4 DISIDRATAZIONE

La progettazione della fase di disidratazione cui sottoporre i fanghi, richiede come dato di input la scelta della tipologia di sistema di disidratazione che si intende utilizzare tra quelli comunemente realizzati per gli impianti di depurazione:

- Filtropressa
- Nastropressa
- Filtrovuoto
- Centrifuga

In input vengono forniti i valori relativi ai seguenti parametri:

- Tipologia di sistema di disidratazione scelto;
- Portata in ingresso alla fase di disidratazione, Q_{in} ;
- Rapporto tra solidi sospesi volatili e solidi sospesi totali, SSV/SST ;
- Valore percentuale di solidi sospesi nell'alimentazione alla fase di disidratazione, SS_{in} ;
- Valore percentuale di solidi sospesi nella fase di disidratazione, SS_{dis} .

Calcolo della portata di fango in uscita dalla disidratazione

Le formule utilizzate per la valutazione della portata volumetrica giornaliera e della portata massica giornaliera di fango dalla disidratazione sono rispettivamente:

$$Q_{dis} [m^3/d] = Q_{in} \times SS_{in} / SS_{dis}$$

dove:

Q_{in} = portata volumetrica oraria di fanghi [m^3/d];

$SS_{in}\%$ = percentuale di solidi sospesi nell'alimentazione alla fase di disidratazione.

$$F_{dis} [ton/d] = F_{in} \times SS_{in} / SS_{dis}$$

dove:

F_{in} = portata massica giornaliera di fanghi provenienti dalla digestione [Kg/d].

Calcolo della potenza richiesta dal sistema

La potenza richiesta per l'attuazione della disidratazione dipende dalla tipologia di sistema scelto per questa fase; in particolare risulta quanto segue:

$$P_{rich}[kW] = k \times Q_{dis} / 24$$

dove:

k = coefficiente che dipende dalla tipologia di sistema di disidratazione scelto.

Nella sottostante Tabella vengono riportati i valori dei parametri indagati, distinguendo tra quelli inseriti in input e quelli restituiti in output:

IMPIANTO: VIVERONE		modalità: VERIFICA		DATA: Settembre 2015	
INPUT			OUTPUT		
Tipologia di sistema	Centrifuga		Qdis [m³/d]	1.453	
SSdis	20		Fdis [ton/d]	1.45	
Qin [m³/d]	11.62		P-richiesta [kW]	0.13	
SSV/SST [-]	11240				
SSin	2.5				

4 CARATTERISTICHE FINALI DELL'EFFLUENTE

Vengono di seguito riportate le caratteristiche delle correnti trattate in uscita dall'impianto relativamente alla linea acque e alla linea fanghi:

IMPIANTO: VIVERONE		DATA: Settembre 2015
Qmed(24h) [m³/h]	85	
Qmin(48h) [m³/h]	43	
Qmax(14h) [m³/h]	432	
Qmed(18h) [m³/h]	110.5	
Qpioggia [m³/h]	0	
LINEA ACQUE		
COD [mg/l]	64.95	
BOD ₅ [mg/l]	12.99	
SST [mg/l]	24.15	
NO ₃ [mg/l]	0.19	
NH ₄ ⁺ [mg/l]	2.08	
P [mg/l]	10.93	
MBAS [mg/l]	2.77	
Oli e grassi [mg/l]	20.33	
LINEA FANGHI		
Q _{out} [m³/h]	1.45	
SS _{out} [%]	20	
SSv [mg/l]	11240	
F [t/d]	1.45	
FRSU [t/d]	0.07	
Fdis [t/d]	0.4	
Fango prodotto [t/d]	1.45	
Qbiogas [Nm³/d]	0	