

VERIFICHE DI FUNZIONALITÀ PER OTTIMIZZARE LA GESTIONE
DEL TRATTAMENTO DELLE ACQUE
IN UN MODELLO DI ECONOMIA CIRCOLARE

59a Giornata di Studio
di Ingegneria
Sanitaria-Ambientale
in memoria di
ERNESTO ARDEMAGNI

Verifiche di funzionalità applicate al trattamento delle acque di scarico

Dott. Ing. Alessandro Abbà
Università degli Studi di Brescia



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI BRESCIA



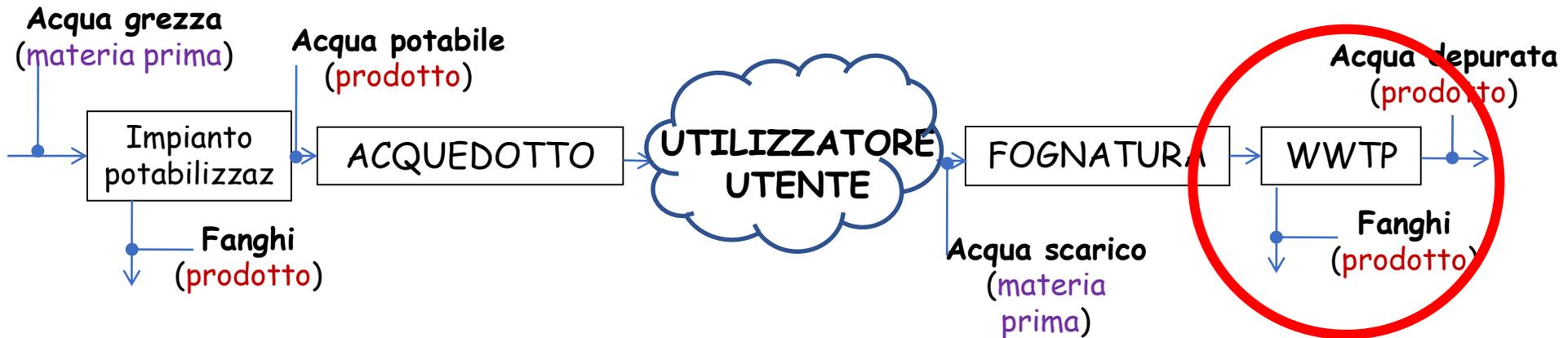
Gruppo di Lavoro
Gestione impianti
di depurazione
Università degli Studi
di Brescia



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PAVIA

INTRODUZIONE

Sistema Idrico Integrato → la parte tecnica è un **impianto produttivo complesso**



Con numerose **componenti**:

➤ strutture

- c.a.
- carpenteria
- tubazioni

➤ apparecchiature

- meccaniche
- elettriche
- elettroniche

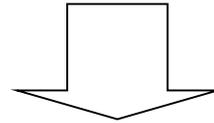
➤ processi

- fisici
- chimici
- biologici

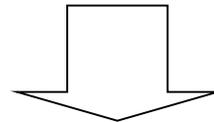
VERIFICHE DI FUNZIONALITÀ

UTILITÀ:

VALUTARE L'EFFICACIA E L'EFFICIENZA DEGLI IMPIANTI

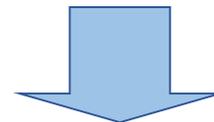


SPECIFICHE PROVE SPERIMENTALI
(direttamente sull'impianto o a scala di laboratorio)



MODIFICHE IMPIANTISTICO-GESTIONALI

(risparmi nei costi di investimento e/o di gestione)



OTTIMIZZAZIONE PRESTAZIONI

IMPORTANZA delle VERIFICHE DI FUNZIONALITÀ



- ✓ Rispetto i **limiti** allo **scarico**
- ✓ Consumo **5 kWh/m³**



Devo anche misurare gli **assorbimenti**



- ✓ Il volume della **disinfezione** è di 1.000 m³
- ✓ Però è **C.M.** → per calcolare **C*t** devo moltiplicare per 0,3



Non basta il **V nominale** o **V teorico**

Non sono sufficienti le sole **analisi in uscita**

VERIFICHE DI FUNZIONALITÀ - CLASSIFICAZIONE

1. VERIFICHE DI FUNZIONALITÀ CONSOLIDATE

- CAPACITÀ DEI SISTEMI DI FORNITURA DELL'OSSIGENO
- COMPORTAMENTO IDRODINAMICO DEI BACINI
- CARATTERISTICHE DI SEDIMENTABILITÀ DEL FANGO
- QUALITÀ E ATTIVITÀ DEL FANGO BIOLOGICO
- ISPESSIMENTO DEI FANGHI
- PRESTAZIONI DELLA STABILIZZAZIONE DEI FANGHI
- DISIDRATAZIONE DEI FANGHI

2. VERIFICHE DI FUNZIONALITÀ NON CONVENZIONALI

- CALCOLO CONSUMI ENERGETICI
- CALCOLO CONSUMI REAGENTI
- BILANCI DI MASSA SU PARAMETRI «NON CONVENZIONALI»
- TEST RESPIROMETRICI

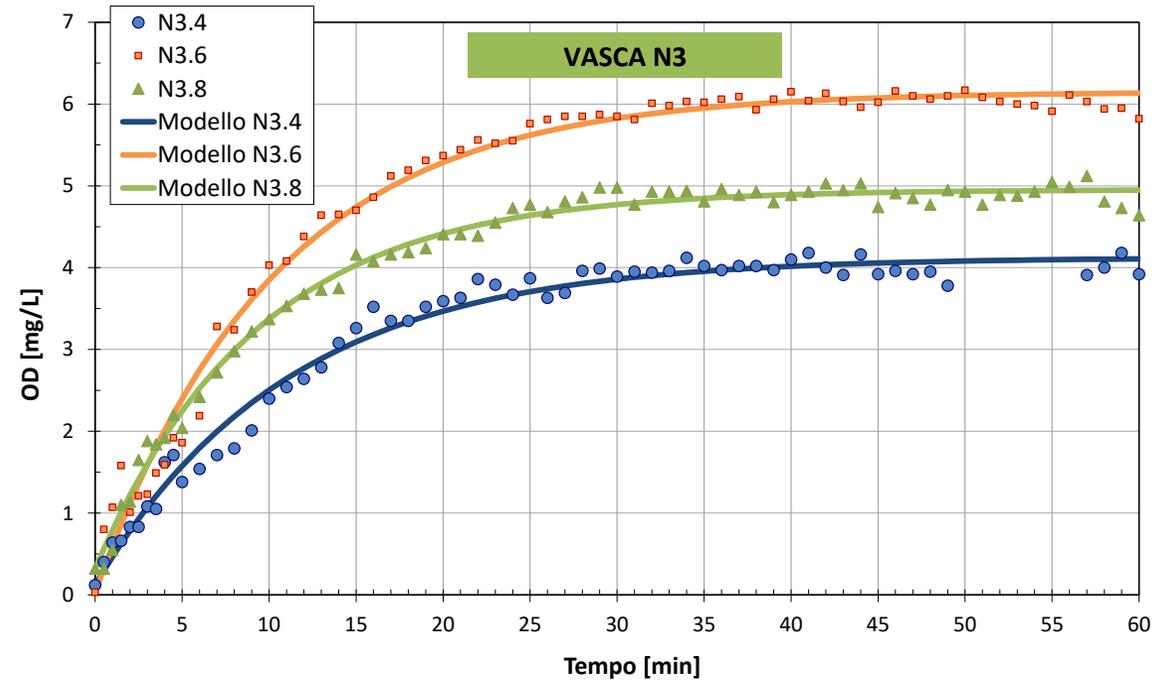
▶ APPLICAZIONI AD IMPIANTI CHE TRATTANO RIFIUTI LIQUIDI

- CAPACITÀ DI TRATTAMENTO DEI RIFIUTI LIQUIDI DA PARTE DI UN IMPIANTO
- TEST DI TRATTABILITÀ CHIMICA E BIOLOGICA DEI RIFIUTI LIQUIDI
- EFFICIENZA DEI TRATTAMENTI CHIMICO-FISICI

Calcolo della capacità dei sistemi di fornitura dell'ossigeno

Problematiche:

- carenza di ossigeno disciolto;
- distribuzione dell'ossigeno non uniforme;
- fenomeni di tossicità (concentrazione di ossigeno disciolto elevata)
- eccessivo consumo energetico (= tenore di ossigeno disciolto troppo elevato);
- etc.

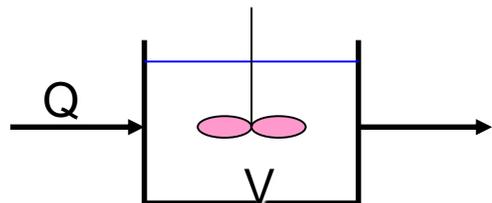


Interventi attuabili

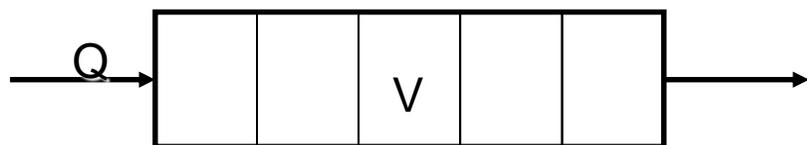
- aggiunta fornitura supplementare (anche O_2 puro);
- adozione sistemi di controllo OD;
- miglioramento caratteristiche sedimentabilità fanghi;
- miglioramento grado di miscelazione.

Verifica del comportamento idrodinamico

Schemi di flusso ideali di un reattore



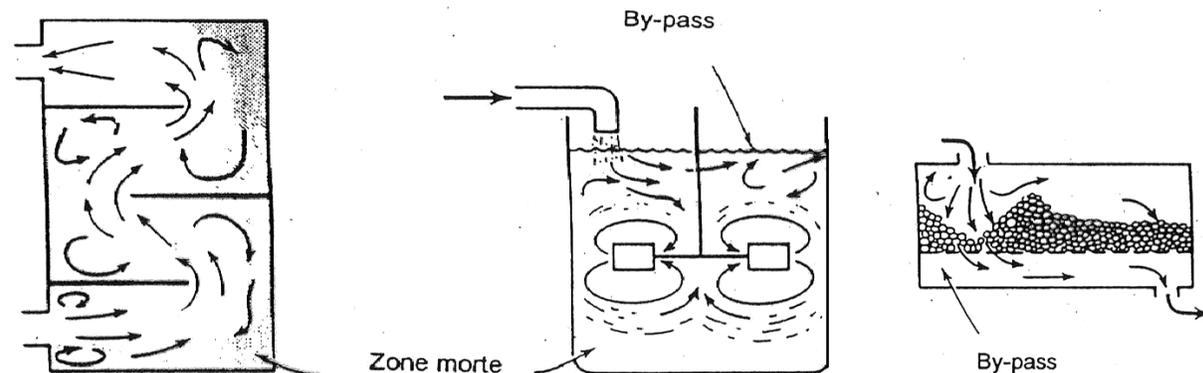
Reattore Complete Mixing



Reattore Plug-Flow

Schemi di flusso reali di un reattore

- Dispersione assiale nei reattori plug-flow
- **By-pass**
- **Spazi morti**
- Ricircoli interni
- Suddivisione del volume in zone a comportamento idrodinamico differente



Interventi attuabili

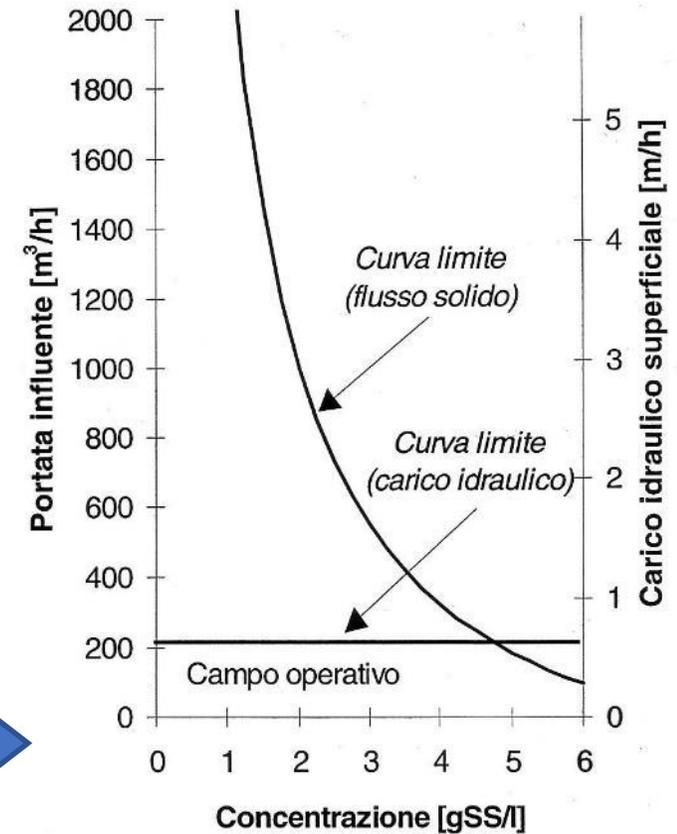
- deviazione del flusso in ingresso o in uscita;
- posizionamento di setti frangiflutti;
- aumento della lunghezza degli stramazzi di sfioro;
- installazione di mixer sommersi.

Verifica della capacità di sedimentabilità del fango attivo

Valutazione delle caratteristiche di sedimentabilità del fango attivo (prove in cilindro):

- individuazione della potenzialità massima del sedimentatore finale (in termini di flusso solido);
- confronto con le reali condizioni di funzionamento.

⇒ EVENTUALE SOVRACCARICO



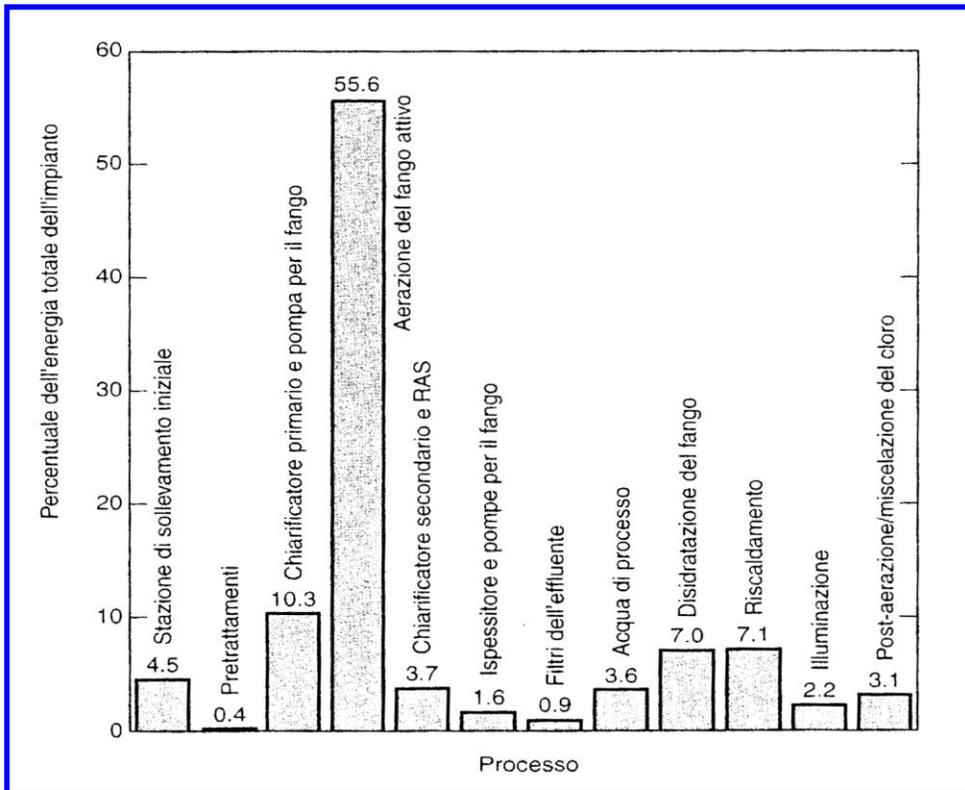
Interventi attuabili

- rimediare a "carenze indirette" estranee al sedimentatore (tossicità, carenza OD, ecc.);
- intervento "diretto" (ampliamento del comparto di sedimentazione)

Calcolo dei consumi energetici

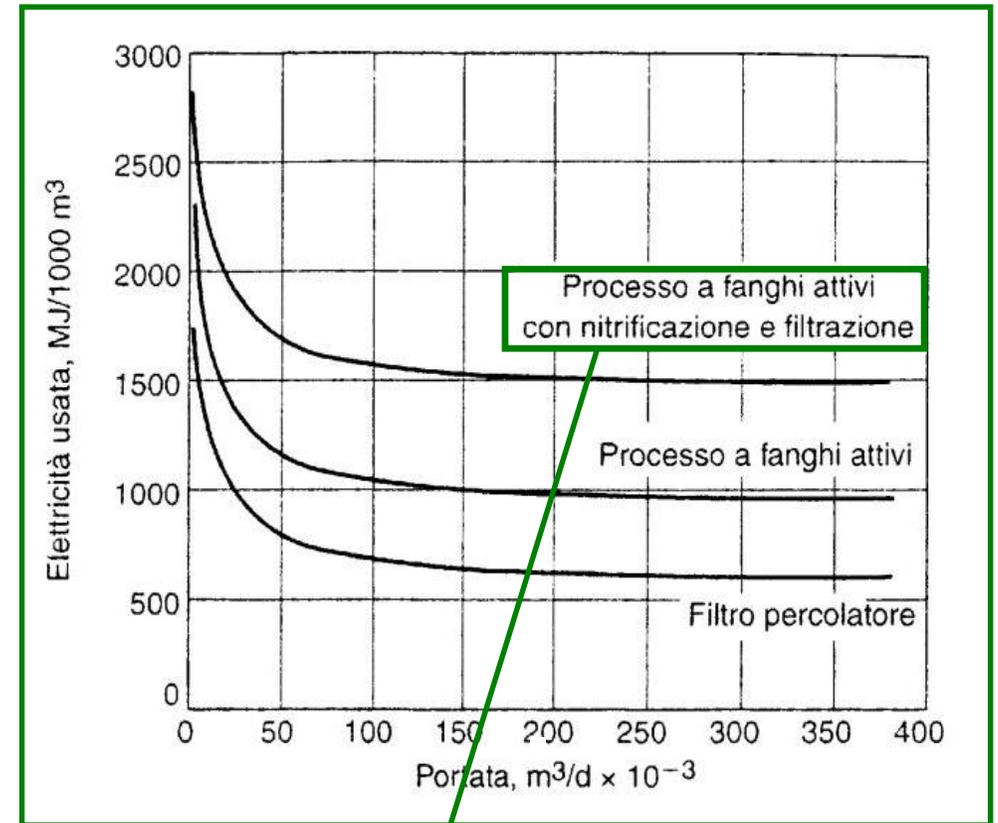
~ 30% del costo di esercizio di un impianto di trattamento delle acque reflue è dovuto ai consumi energetici.

DISTRIBUZIONE DELL'UTILIZZO DI ENERGIA IN UN IMPIANTO A FANGHI ATTIVI (Metcalf & Eddy, 2006)



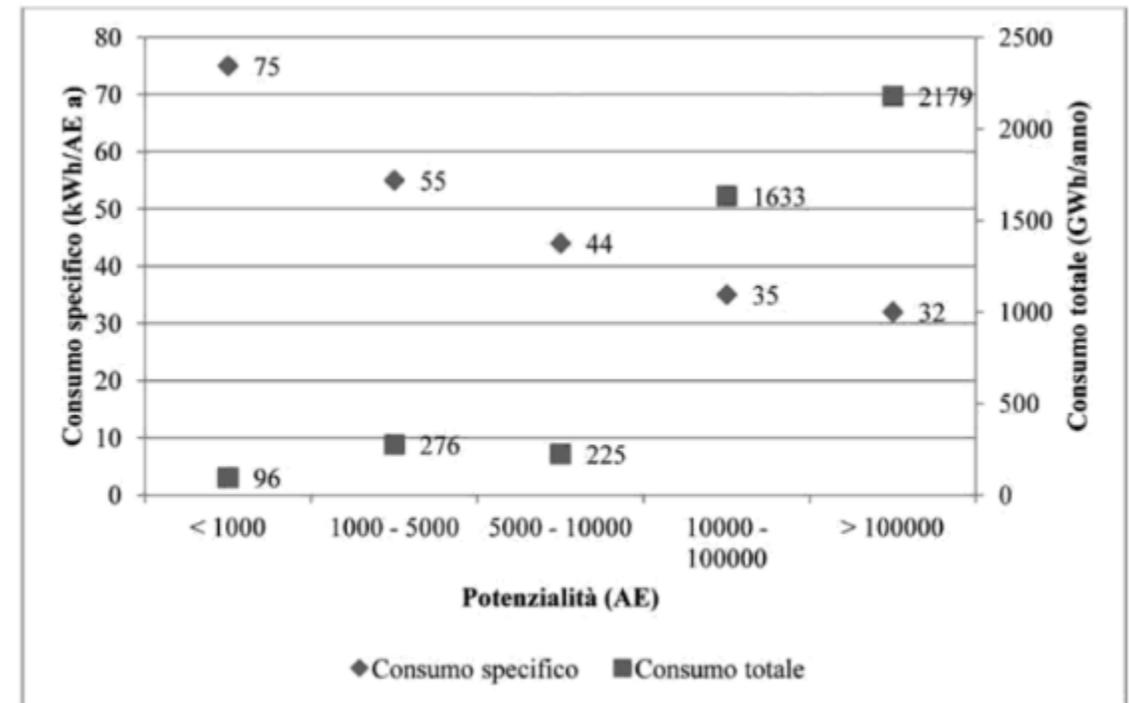
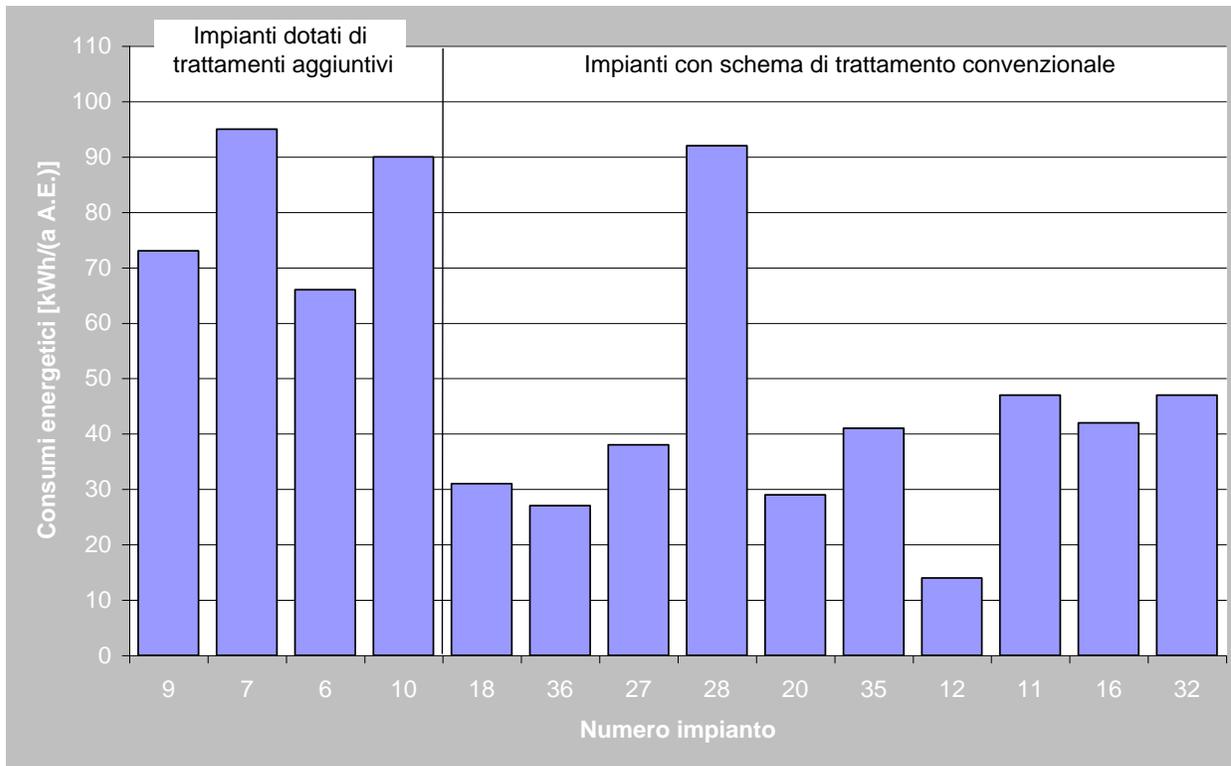
1.100-2.400 MJ di energia elettrica per ogni
1.000 m³ di acque reflue

CONFRONTO FRA L'ENERGIA ELETTRICA IMPIEGATA IN DIVERSE TIPOLOGIE DI PROCESSO DI TRATTAMENTO (Metcalf & Eddy, 2006)



+ 30-50 %

- ▶ Il maggior consumo energetico è addebitabile al *comparto biologico*;
- ▶ Le fasi di *sollevamento* incidono al massimo per un 20% dei consumi totali;
- ▶ I *pretrattamenti ed i trattamenti primari* hanno consumi molto modesti
- ▶ Rilevanti sono i consumi energetici della *linea fanghi*, soprattutto se è presente la digestione aerobica o anaerobica senza il recupero energetico.



Consumo elettrico specifico per tipologia di trattamento (Federal Environment Agency, 2007)

Calcolo del consumo dei reattivi

I costi riguardanti il consumo di reagenti dipende:

1. dalla **tipologia di liquame** da trattare;
2. dalle caratteristiche qualitative che deve rispettare l'**effluente**;
3. dalle **fasi di trattamento**;
4. dalle **condizioni di esercizio**.

I reattivi chimici vengono impiegati:

1. in fase di **disinfezione** (ipoclorito, biossido di cloro, acido per acetico, ozono,...);
2. nei **trattamenti terziari** (per la rimozione del fosforo ad esempio attraverso sali di ferro, alluminio, calce);
3. nei **pretrattamenti chimico-fisici** di liquami industriali;
4. nella fase di **disidratazione meccanica**;
5.

CONSUMI SPECIFICI DI REAGENTI (ISPRA, 2003)

Tipologia di trattamento	Tipologia di reagente	Consumo specifico atteso	Unità di misura
Disinfezione	Reattivi a base di cloro	2 – 8	gCl ₂ /m ³
	Ozono	10 – 20	mg/L
	Acido peracetico	~ 10	mg/L
Defosfatazione	Fe(II)	3 – 6	mg/L
	Al(III)	2 – 4	mg/L
	Ca(II)	3 – 5	mg/L
Coagulazione	Al ₂ (SO ₄) ₃	75 – 250	mg/L
	FeCl ₃	35 – 150	mg/L
	FeSO ₄	70 – 200	mg/L
	Ca(OH) ₂	150 – 600	mg/L
	Polielettrolita	2 – 5	mg/L
Flocculazione	Polielettrolita	0,25 – 1	mg/L
	Silice attivata	5 – 20	mg/L
Disidratazione	Polielettroliti cationici	3 – 5	kg/tSS
	Calce	150	kg/tSS
	FeCl ₃	100	kg/tSS
	Policloruro di alluminio	25	kg/tSS
Essiccamento termico	Metano	300	Nm ³ /tSS

FASE BIOLOGICA:

Dosaggio di ossigeno liquido anziché aria: 0,08 - 0,13 €/kg

FASE DI DISIDRATAZIONE (condizionamento chimico):

1. polielettroliti cationici
2. calce
3. cloruro ferrico
4. policloruro di alluminio

DOSAGGI TIPICI AL VARIARE DEL TIPO DI DISIDRATAZIONE (ISPRA, 2003)

Metodo di disidratazione	Fango primario	Fango misto fresco (primario+biologico)	Fango misto (primario+biologico) digerito anaerobic.
	[kg/tSS]		
Centrifuga <i>Polielettrolita</i>	1-2,5	2-5	3-5
Filtropressa a nastro <i>Polielettrolita</i>	2-4	2-5	4-7,5
Filtropressa a camere			
<i>Calce</i>	110-140	110-160	110-300
<i>Cloruro ferrico</i>	40-60	40-70	40-100

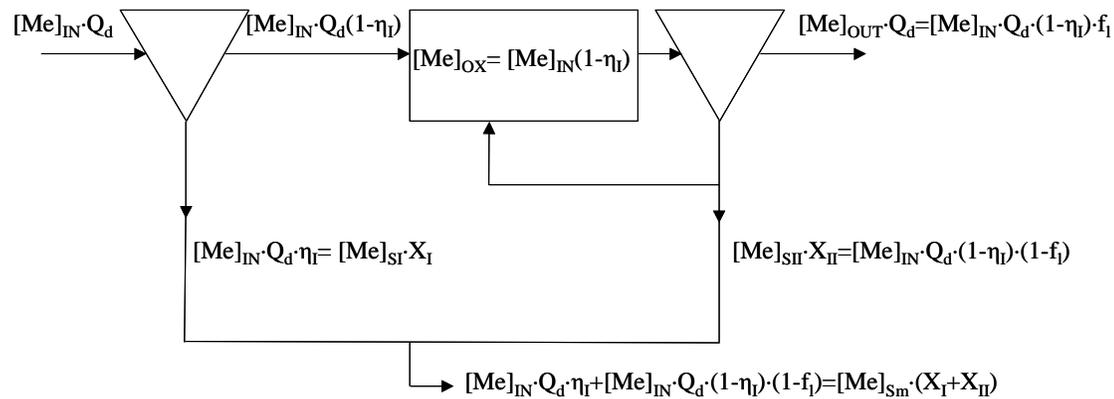
Determinazione dei bilanci di massa su parametri «non convenzionali»

- A. parametri "convenzionali" : SST, BOD, COD, P, N nelle diverse forme, *E. coli*
 - B. metalli pesanti, e "simili": Al, As, Ba, Cd, Cr, Fe, Mn, Hg, Ni, Pb, Cu, Se, Sn, Zn, CN⁻
 - C. parametri "conservativi": B, SO₄⁼, Cl⁻, F⁻
 - D. solfuri e solfiti
 - E. grassi e oli animali/vegetali
 - F. organici: HC tot., fenoli, aldeidi, solventi organici aromatici, solventi organici azotati, tensioattivi totali, pesticidi fosforati, pesticidi totali (esclusi i fosforati), solventi clorurati
-

- **Parametri "conservativi"**: la concentrazione ammessa in uscita deve essere già garantita in ingresso all'impianto
- **Solfuri e solfiti**: si ipotizza una "perdita" per strippaggio/ossidazione nel reattore biologico pari al 50%
- **Sostanze organiche**: volatilizzazione, accumulo nel fango (primario e biologico), biodegradabilità

METALLI PESANTI

- No rimozione nei pretrattamenti meccanici.
- I valori dei rendimenti di rimozione in sedimentazione primaria così come dei coefficienti di ripartizione liquido/solido, caratteristici di ogni specifico metallo, sono influenzati dalle condizioni di processo e dalla speciazione; valori di riferimento dalla letteratura tecnica



Dove:

Q_d = portata giornaliera in ingresso all'impianto (m^3/d)

$[Me]_{IN}$ = concentrazione del generico metallo nel liquame in ingresso (mg/L)

$[Me]_{OX}$ = concentrazione del generico metallo nella miscela aerata (mg/L)

$[Me]_{OUT}$ = concentrazione del generico metallo nel liquame effluente (mg/L)

$[Me]_{SI}$ = concentrazione del generico metallo nel fango primario (mg/kgSS)

$[Me]_{SII}$ = concentrazione del generico metallo nel fango secondario (mg/kgSS)

$[Me]_{SM}$ = concentrazione del generico metallo nel fango misto (primario e secondario) (mg/kgSS)

X_I = produzione di fango primario (kgSS/d)

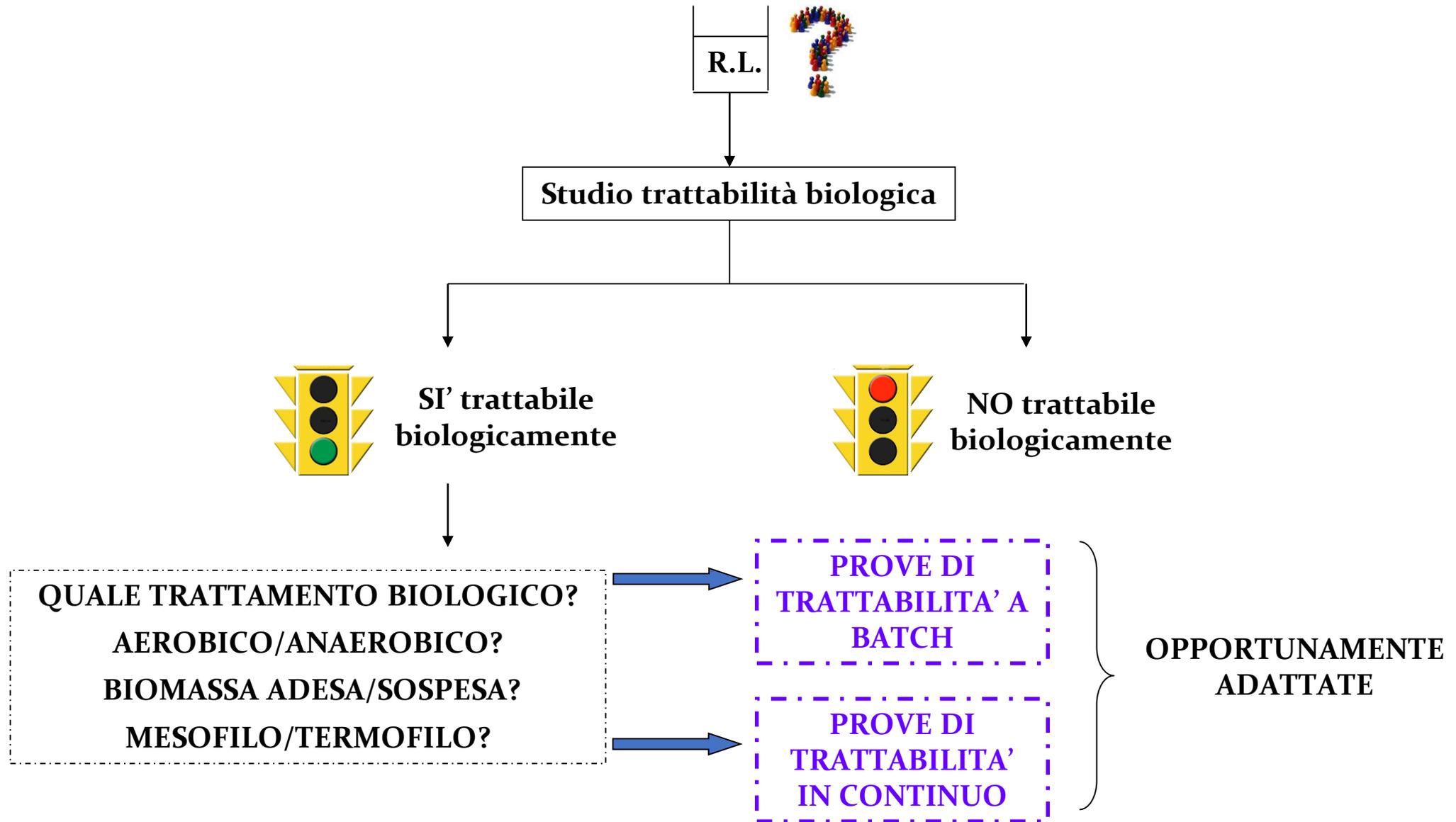
X_{II} = produzione di fango secondario (kgSS/d)

η_I = rendimento di rimozione del sedimentatore primario (adimensionale)

f_I = coefficiente di ripartizione liquido/solido (= frazione che rimane in fase liquida) del generico metallo (adimensionale)

Sostanza	Rendimento di rimozione in sedimentazione primaria η_I	Coefficiente di ripartizione liquido/solido F_I
Alluminio	0,35	0,46
Arsenico	0,25	0,67
Bario	0,4	0,33
Cadmio	0,25	0,67
Cromo totale	0,3	0,57
Cromo VI	0,3	0,57
Ferro	0,4	0,33
Manganese	0,1	0,89
Mercurio	0,3	0,57
Nichel	0,15	0,82
Piombo	0,3	0,57
Rame	0,3	0,57
Selenio	0,25	0,67
Stagno	0,25	0,67
Zinco	0,25	0,67
Cianuri totali	0,25	0,67

Trattabilità biologica di rifiuti liquidi

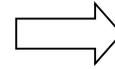


Criteri per lo studio della trattabilità biologica

Esame integrato di più verifiche/analisi:

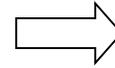
1a. Caratterizzazione analitica del rifiuto liquido
(COD, BOD₅, BOD₂₀, forme azotate, P,...)

1b. Determinazione degli indici di biodegradabilità
($I_b = \text{BOD}_{20} / \text{COD}$ e $I_{vb} = \text{BOD}_5 / \text{BOD}_{20}$)



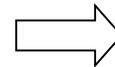
Primo giudizio di
trattabilità biologica

2. Prove "batch" (test respirometrici di OUR,
AUR, NUR)



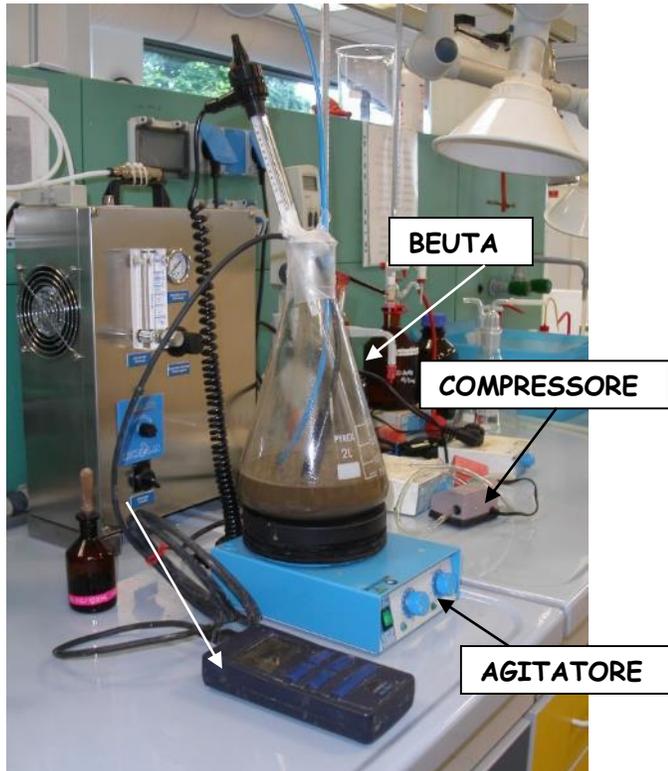
Possibilità di evidenziare
tossicità di tipo acuto

3. Avviamento e monitoraggio impianto pilota



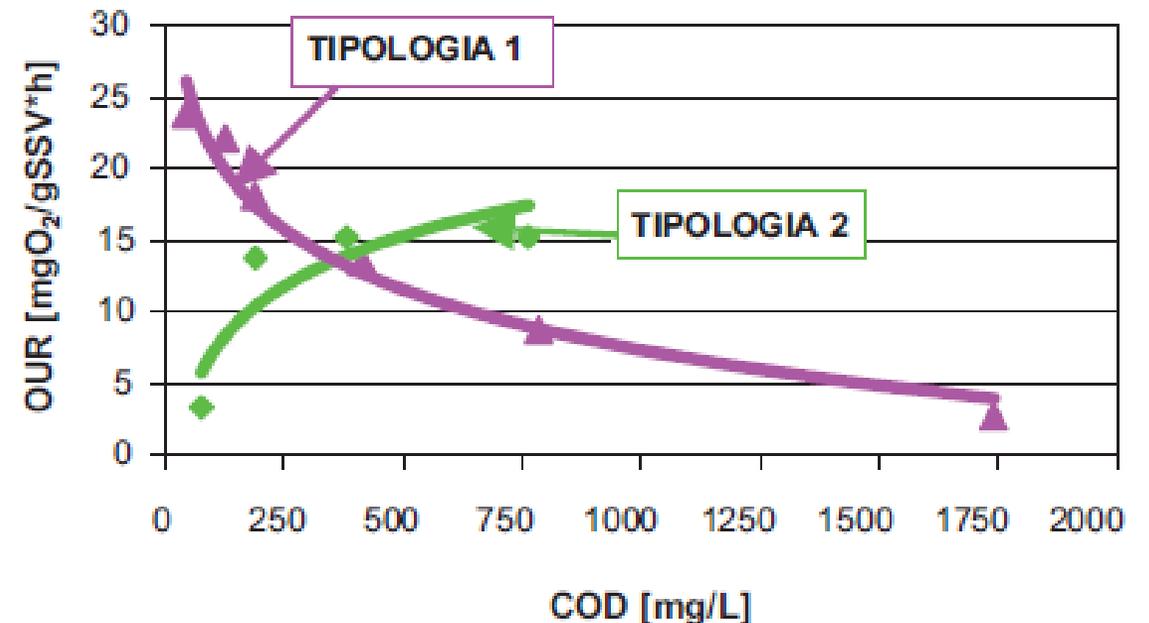
Possibilità di evidenziare
tossicità di tipo cronico

TEST di OUR (Oxygen Uptake Rate)

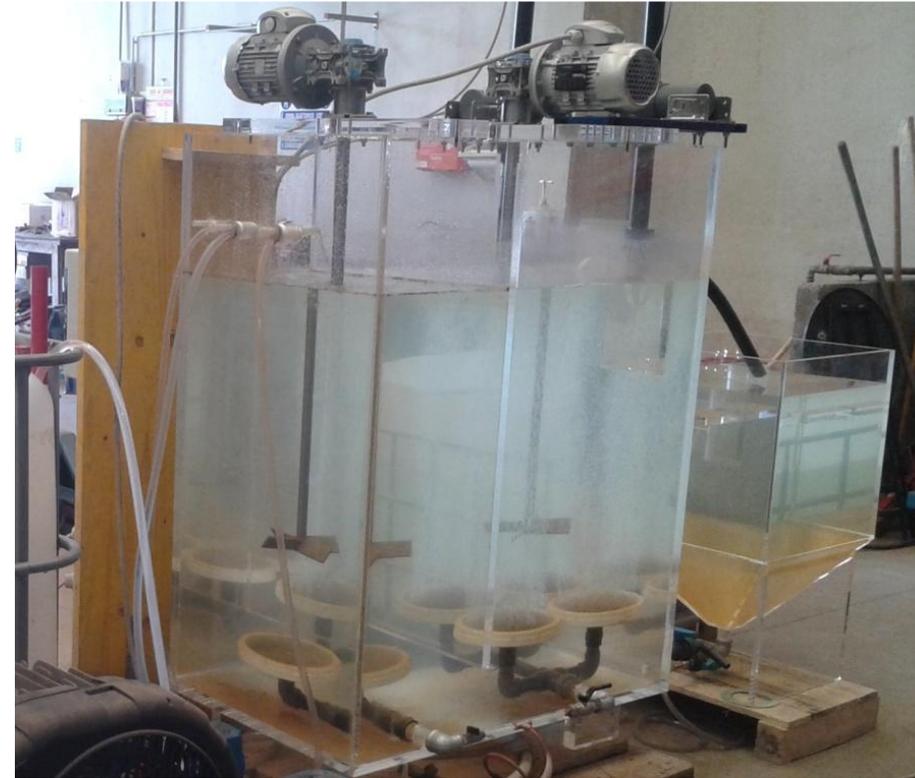
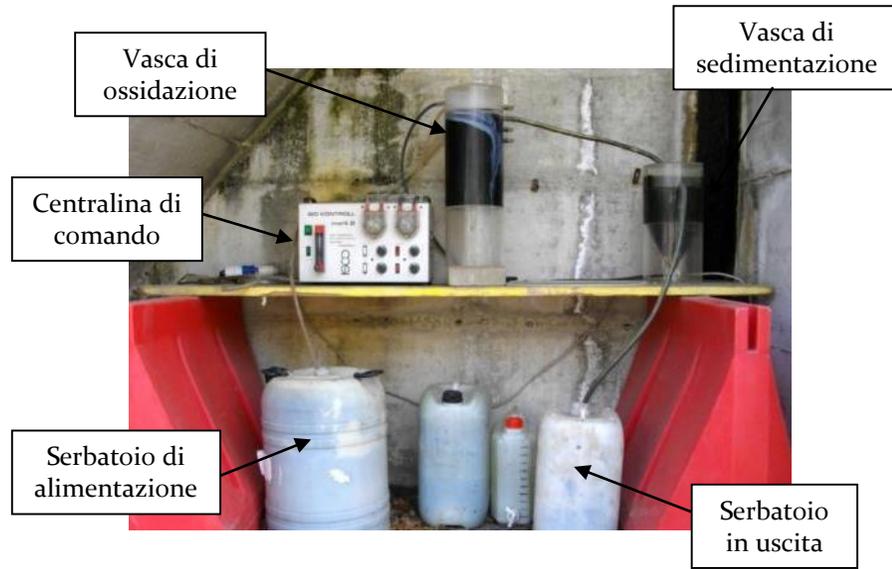


- Si immette nella beuta una quantità nota di fango
- Si determinano gli SST e SSV
- Si aera il campione fino a portarlo a saturazione di O_2
- Si sospende l'aerazione e si dosa il liquame da testare tal quale oppure preventivamente diluito in acqua distillata
- Si misura la concentrazione di O.D. ad intervalli di tempo regolari mediante l'ossimetro
- Si elaborano i dati sperimentali registrati

L'OUR [$mgO_2/(gSSV h)$] è rappresentato dalla pendenza della retta che interpola l'andamento decrescente dei valori di OD nel tempo



Impianti pilota



IN REGIONE LOMBARDIA

Regolamento Regionale 29 marzo 2019 - n. 6

Disciplina e regimi amministrativi degli scarichi di acque reflue domestiche e di acque reflue urbane, disciplina dei controlli degli scarichi e delle modalità di approvazione dei progetti degli impianti di trattamento delle acque reflue urbane, in attuazione dell'articolo 52, commi 1, lettere a) e f bis), e 3, nonché dell'articolo 55, comma 20, della legge regionale 12 dicembre 2003, n. 26 (Disciplina dei servizi locali di interesse economico generale. Norme in materia di gestione dei rifiuti, di energia, di utilizzo del sottosuolo e di risorse idriche)

Art. 26

(Autorizzazione allo scarico per nuovi impianti e per modifiche sostanziali di impianti esistenti)

4. L'autorizzazione definitiva è richiesta entro trenta giorni dal rilascio del certificato di collaudo o di regolare esecuzione; l'autorità competente rilascia l'autorizzazione entro novanta giorni dalla richiesta. L'istanza è corredata dal certificato di collaudo, nonché dall'esito delle verifiche tecniche e funzionali condotte in fase di collaudo funzionale.

Art. 27

(Rinnovo dell'autorizzazione allo scarico)

5. Prima della presentazione dell'istanza di rinnovo il gestore procede all'esecuzione di una campagna di verifiche di funzionalità, al fine di evidenziare all'autorità competente eventuali necessità di adeguamento dell'impianto. Entità e complessità delle verifiche da svolgere sono commisurate alla potenzialità dell'impianto, alla sua complessità e alla rilevanza di eventuali modifiche intervenute successivamente al rilascio della precedente autorizzazione. Le indicazioni riportate nell'allegato I al presente regolamento in relazione al collaudo funzionale costituiscono altresì indirizzo tecnico per la programmazione delle verifiche di funzionalità. I risultati di tali verifiche sono trasmessi in allegato all'istanza di rinnovo dell'autorizzazione.

6. Oltre alle informazioni e ai documenti di cui all'articolo 25, comma 3, il gestore deve allegare all'istanza di rinnovo un disciplinare di gestione provvisoria, conforme a quanto previsto nell'allegato I.

GRAZIE PER L'ATTENZIONE

CONTATTI:

Dott. Ing. Alessandro Abbà
alessandro.abba@unibs.it



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI BRESCIA



Gruppo di Lavoro
Gestione impianti
di depurazione
Università degli Studi
di Brescia



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PAVIA