



OTTIMIZZAZIONE DEL PROCESSO DI
TRATTAMENTO DELLE ACQUE REFLUE:
L'EFFICIENZA NELLE SOLUZIONI
PROGETTUALI E NELLA GESTIONE
OPERATIVA

Bari, 20 Novembre 2019

L'influenza delle
variabili di processo
sulle scelte progettuali
ed impiantistiche in
un'ottica di
ottimizzazione
energetica

Francesco Gradilone

Consumi elettrici negli impianti di depurazione in Italia

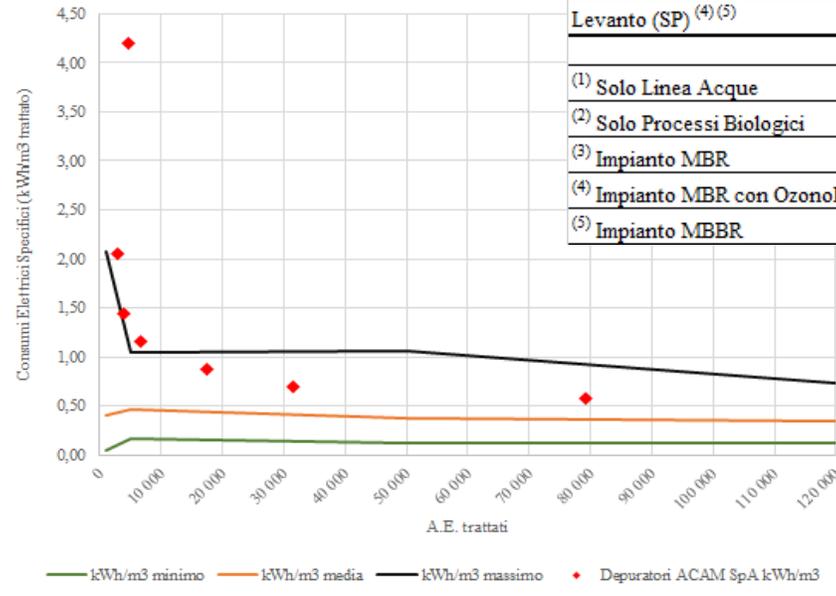
Potenzialità	Consumo specifico di energia elettrica		
	per abitante equivalente servito	per metro cubo trattato	per kg di COD abbattuto
AE	kWh/AE*a	kWh/m ³	kWh/kg _{COD}
<2.000	74,66	0,41	2,28
2.000-9.999	60,68	0,46	1,70
10.000-99.999	44,07	0,38	1,19
≥100.000	44,17	0,34	1,13

Tab. 5 – Prospetto riassuntivo dei consumi medi per classe di potenzialità.
Mentore Vaccari vaccari@ing.unibs.it, Francesco Vitali – Università di Brescia

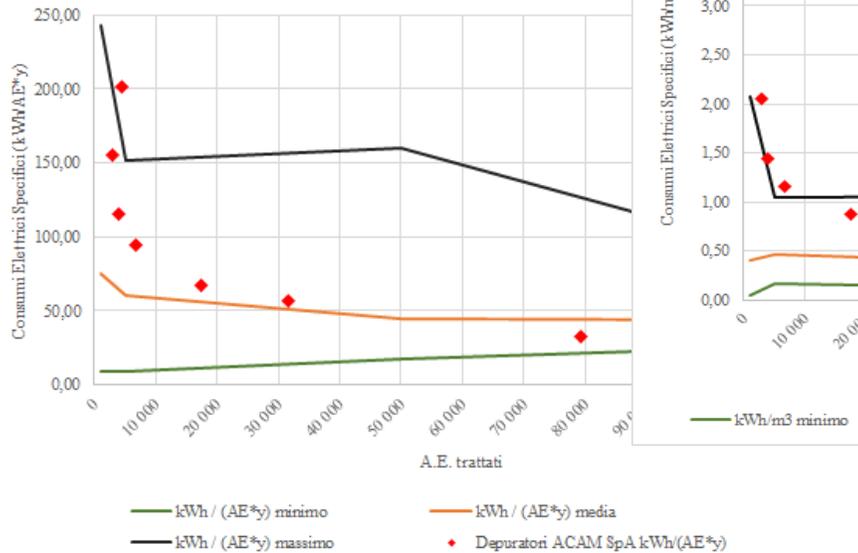
Impianto	Potenzialità Impianto (AE)	kWh/AE/y	kWh/m ³ trattato	kWh/kgCOD _{abbattuto}	Centrale soffiatori (Contributo ai consumi totali)
Lido di Classe (RA)	36 500	49,02	0,37	1,27	55,1%
Ferriere (PC)	3 000	37,41	0,64	0,90	46,5%
Nuvolera (BS)	23 875	32,60	0,37	1,42	60,7%
Vasto - Punta Penna (CH) ⁽¹⁾	60 000	22,10	0,19		79,4%
Pianezza (TO) ⁽²⁾	80 000	19,05	0,22		82,1%
None (TO) ⁽¹⁾⁽³⁾	50 000	54,73	0,60		63,4%
Castelnuovo - Asola (MN) ⁽³⁾	5 000	77,30	0,58	3,20	47,1%
Alba Adriatica (TE)	93 000	38,65	0,53		58,9%
Pesaro - Borghena (PU)	110 000	55,52	0,60	1,24	54,5%
Cona (FE) ⁽⁴⁾	3 853	208,54	1,57		29,6%
Levanto (SP) ⁽⁴⁾⁽⁵⁾	42 740	58,91	1,06		41,9%

- (1) Solo Linea Acque
- (2) Solo Processi Biologici
- (3) Impianto MBR
- (4) Impianto MBR con Ozonolisi del Fango
- (5) Impianto MBBR

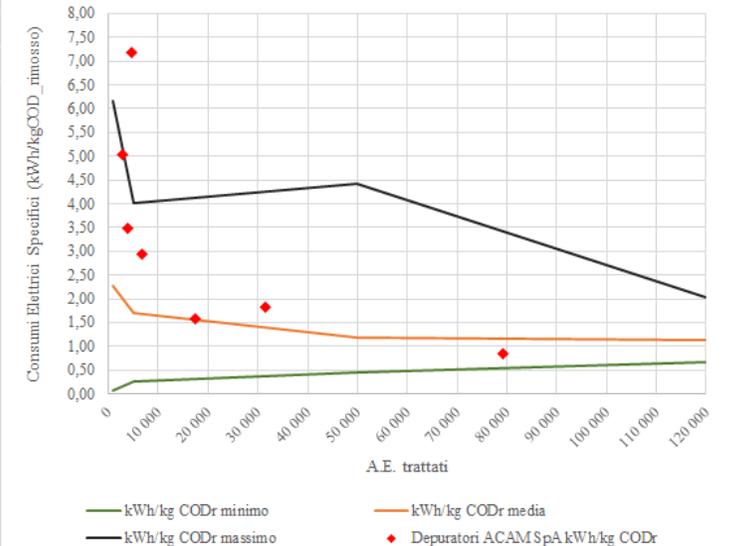
IMPIANTI DI DEPURAZIONE
Indicatori dei consumi energetici



IMPIANTI DI DEPURAZIONE
Indicatori dei consumi energetici



IMPIANTI DI DEPURAZIONE
Indicatori dei consumi energetici



Domanda complessiva di ossigeno nei processi
biologici a biomassa sospesa

$$M_t(O) = M(O) + M_n(O) - 2,86 \cdot (N_c - N_{ne}) \cdot Q$$

dove:

Richiesta di ossigeno riferito al metabolismo della biomassa eterotrofica

$$M(O) = Q S_{ti} (1 - f_{us} - f_{up}) \cdot \left[(1 - f_{cv} \cdot Y_h) + f_{cv} (1 - f) \cdot b_{hT} \cdot \frac{Y_h R_s}{1 + b_{hT} \cdot R_s} \right]$$

Richiesta di ossigeno riferito al metabolismo della biomassa nitrificante

$$M_n(O) = 4,3 \cdot Q \cdot N_{ne}$$

N_c la capacità di nitrificare del sistema:

$$N_c = N_{ti} - N_{te} - N_s$$

Concentrazione effettiva di nitrati

$$N_{ne} = \frac{\left(\frac{N_c}{a + s + 1} + \frac{O_a}{2,86} \right) \cdot \left[a + \frac{K_{2T}}{K_{3T}} \cdot (s + 1) \right] + \frac{s \cdot O_s}{2,86} - D_{pp}}{\left[\frac{K_{2T}}{K_{3T}} + s \left(\frac{K_{2T}}{K_{3T}} - 1 \right) \right]}$$

L'ossigeno che effettivamente si deve immettere nel sistema

$$M_t(O) \equiv AOTR$$
$$SOTR = \frac{AOTR}{\left(\frac{\beta C_{s,T,H} - C_L}{C_{s,20}}\right) \cdot (1,024^{T-20}) \cdot (\alpha) \cdot (F)}$$

dove:

AOTR = velocità effettiva di trasferimento dell'ossigeno nelle condizioni di campo

SOTR = velocità standard di trasferimento dell'ossigeno in acqua corrente a 20°C e concentrazione di ossigeno disciolto pari a zero

β = fattore di correzione per salinità e tensione superficiale

$C_{s,T,H}$ = concentrazione di saturazione dell'ossigeno in acqua pulita alla temperatura T e alla altitudine H

C_L = concentrazione operativa dell'ossigeno

$C_{s,20}$ = concentrazione di saturazione dell'ossigeno disciolto in acqua pulita a 20°C e 1 atm

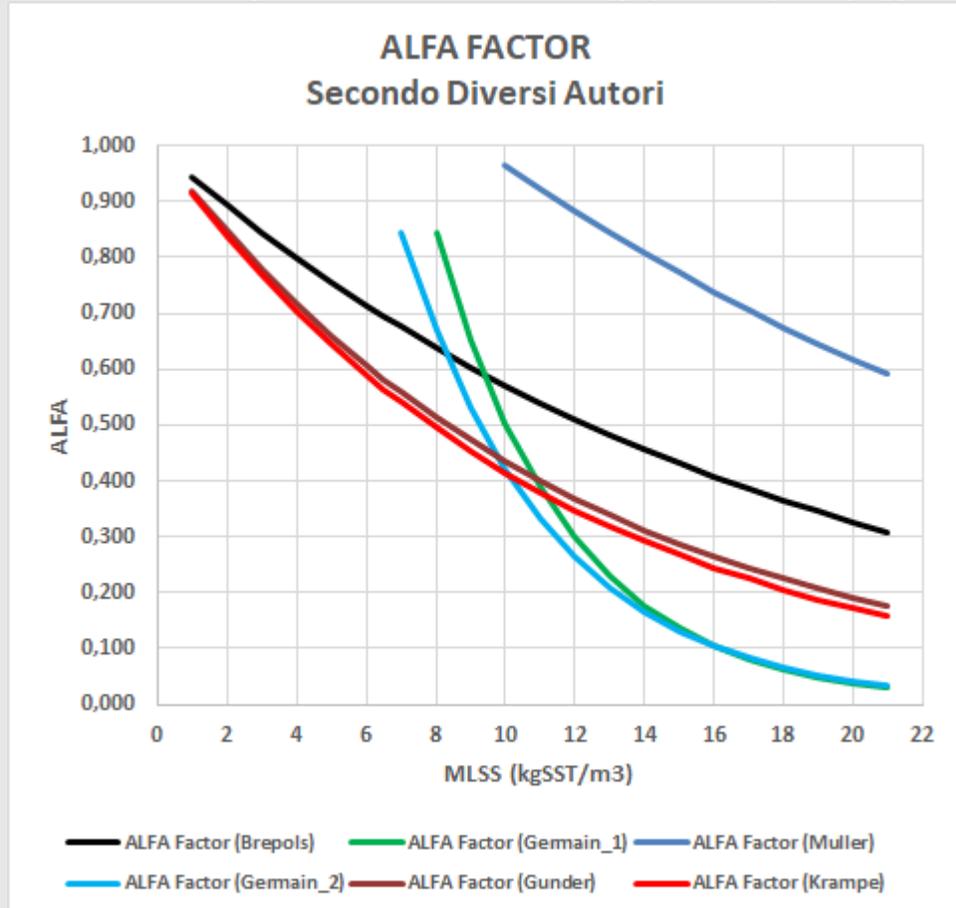
T = temperatura operativa

α = fattore di correzione del trasferimento dell'ossigeno che tiene conto della composizione del refluo

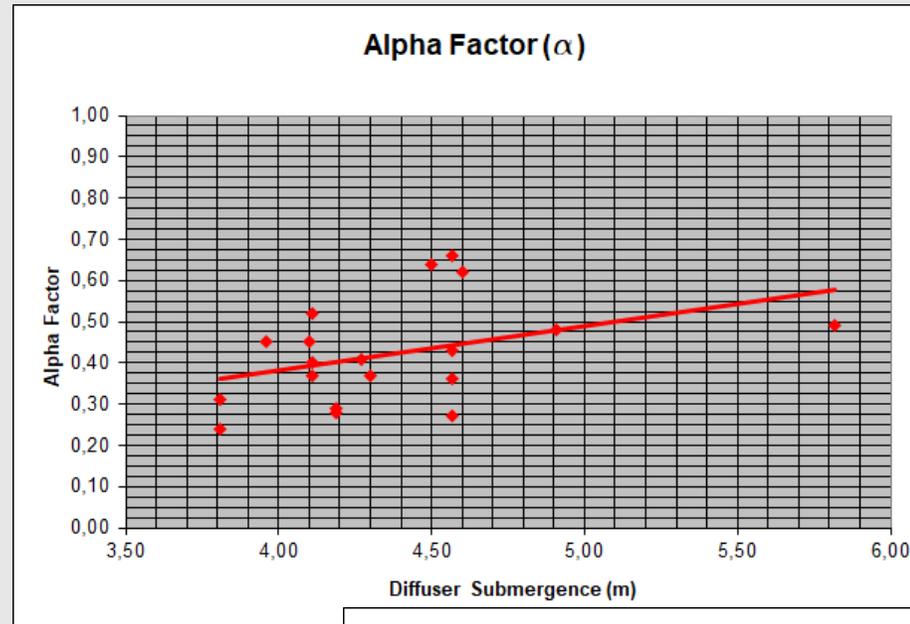
F = fattore di sporcamento, generalmente variabile tra 0.65 e 0.9

Il Fattore (α) varia con i parametri fisici

da D. T. Redmond - «Alpha Factors – Measured For Various Type of Aeratioin Systems By Offgas Analysis»

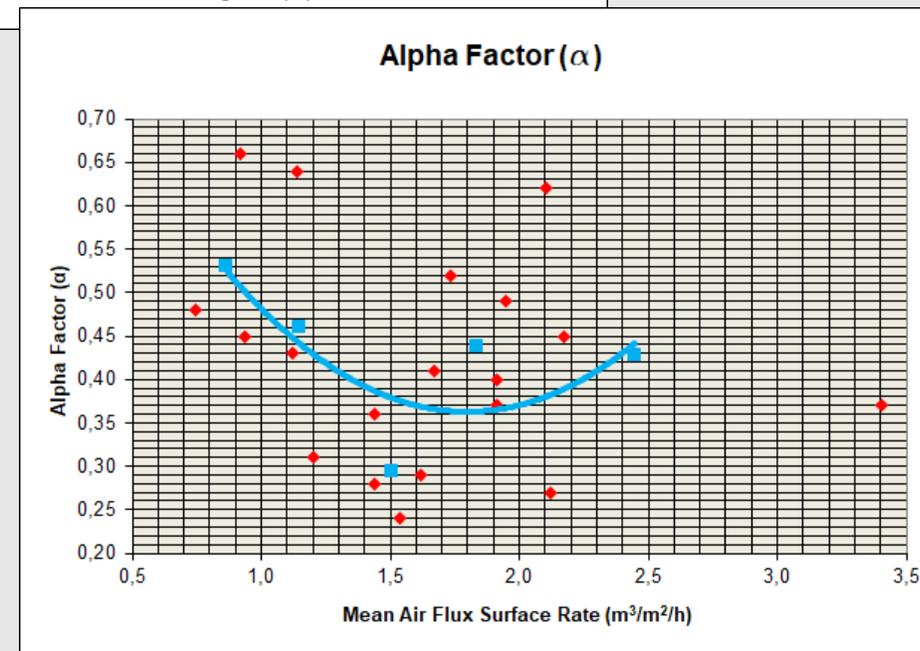


α diminuisce al crescere della concentrazione di solidi in vasca



α aumenta con la sommergenza

α varia con la portata specifica di ariazione



Il Fattore (α) varia con i parametri fisici

A DIGITAL CONTROL SYSTEM FOR
OPTIMAL OXYGEN TRANSFER
EFFICIENCY

PIER FINAL PROJECT REPORT

California Energy Commission
Public Interest Energy Research Program
January 2010
CEC-500-2009-076-APF

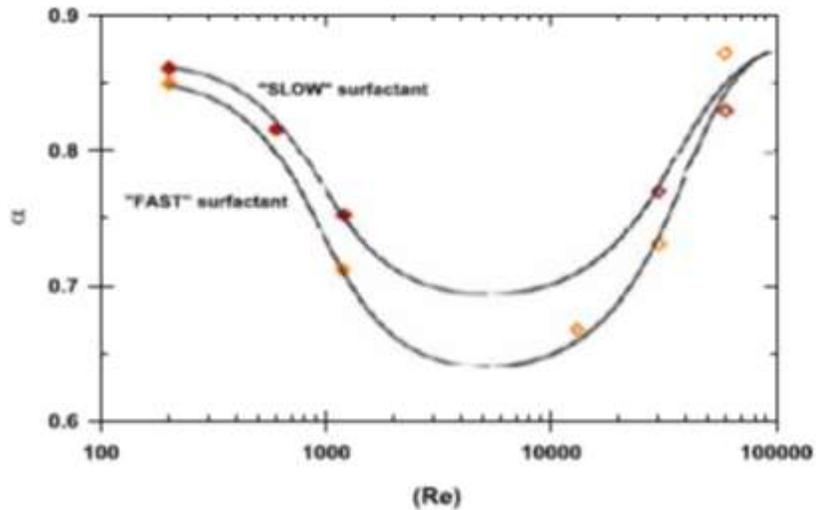
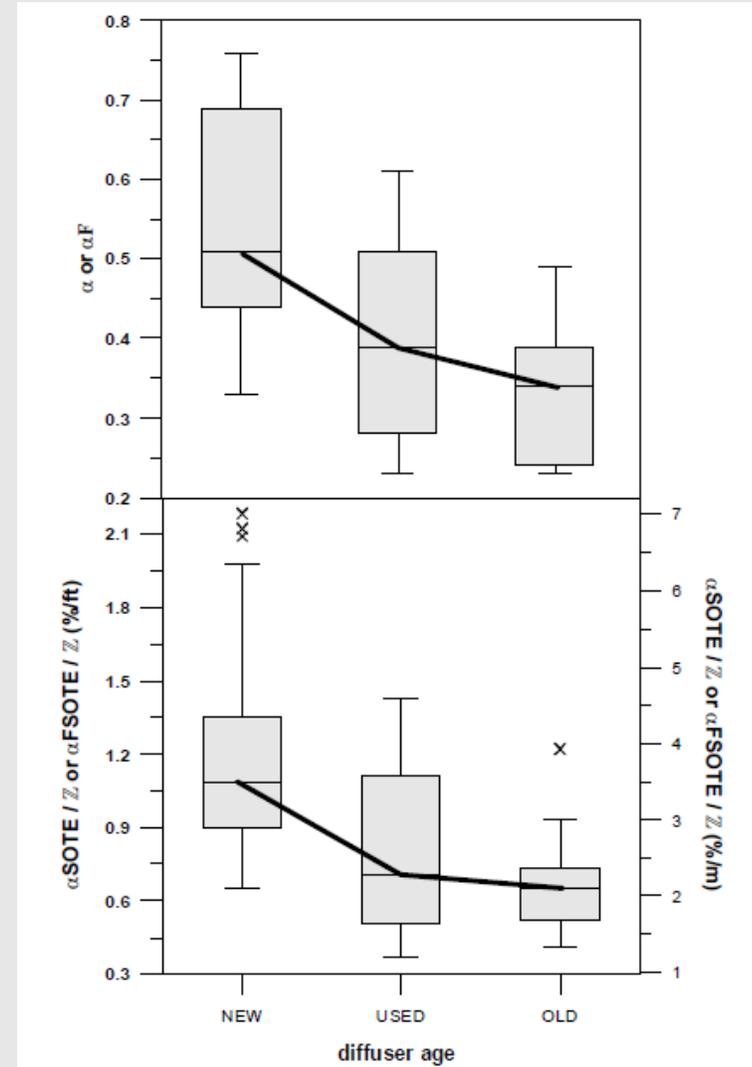
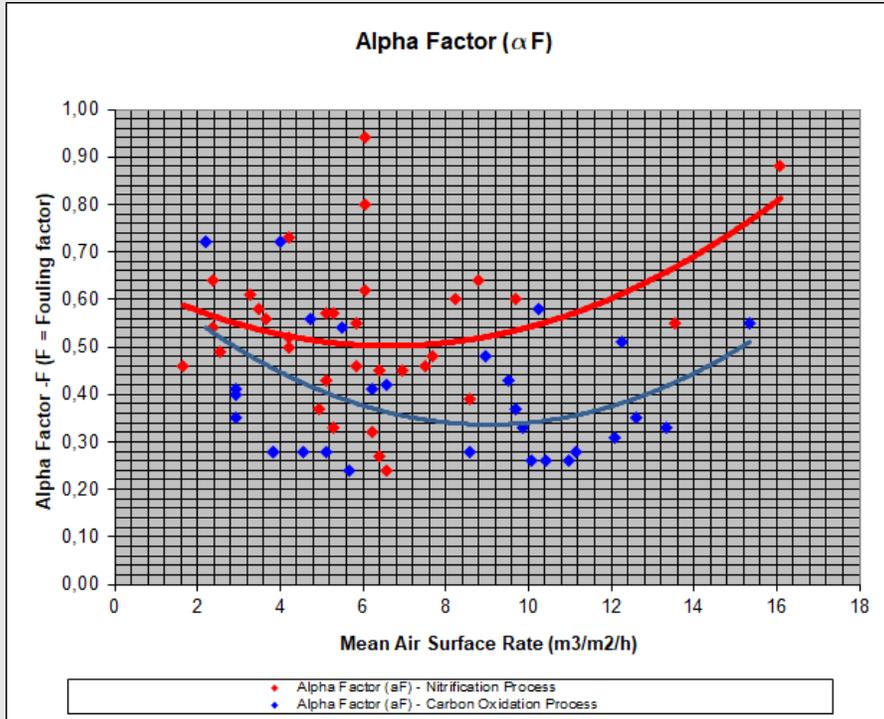


Figure 3. Effect of flow regime on alpha factors for fine- (low Re) and coarse- (high Re) bubbles in two different surfactant solutions.



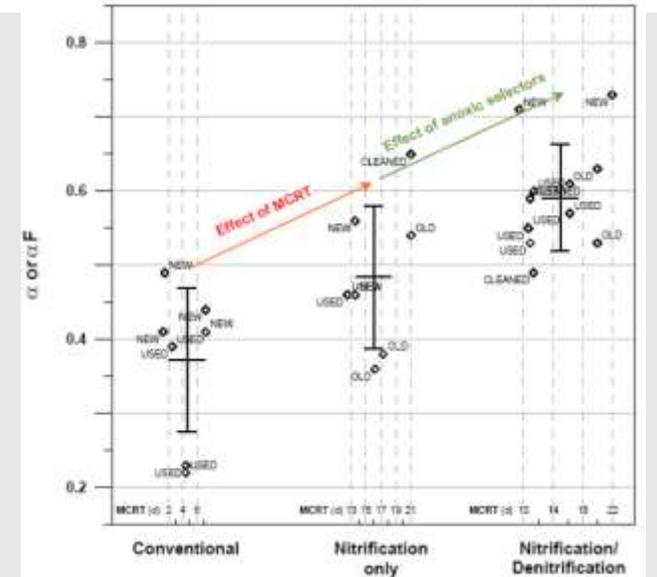
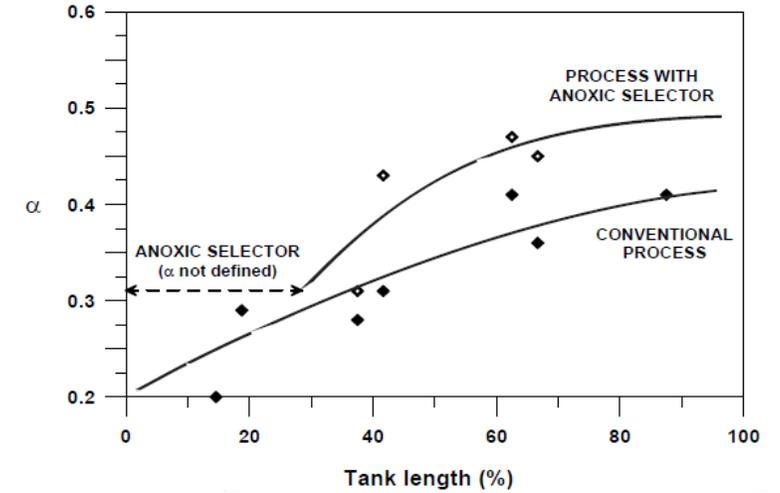
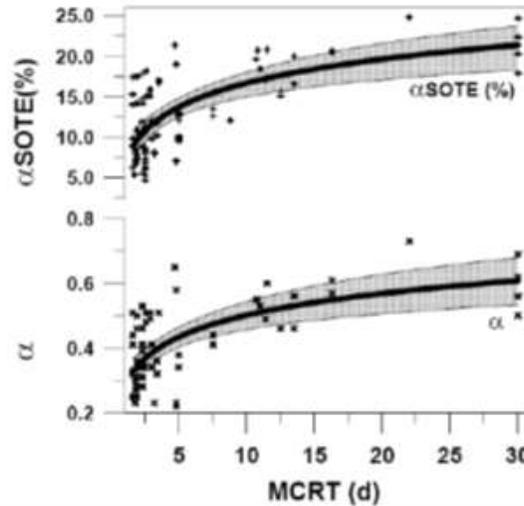
Il Fattore (α) varia con i parametri di processo



M. K. Stenstrom and D. Rosso

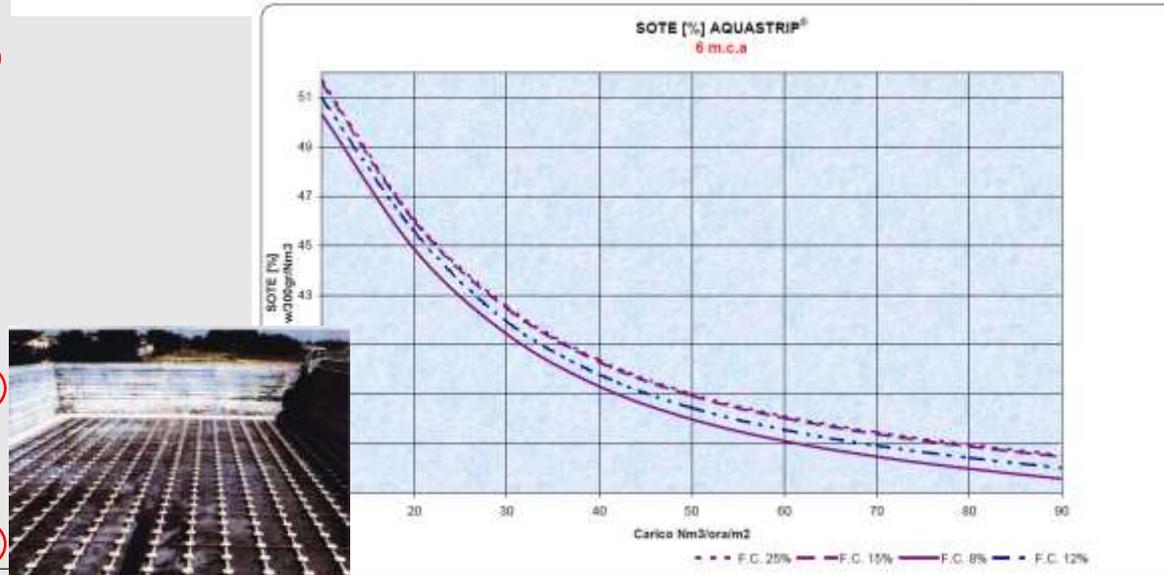
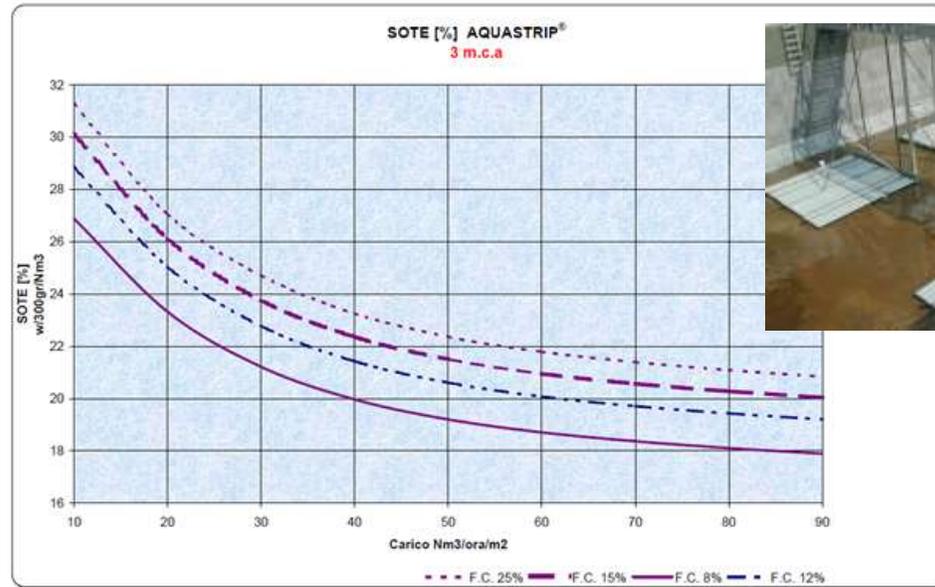
University of California – Los Angeles
University of California – Irvine
Feb 8, 2010

Alpha Factor 2



I Sistemi di diffusione dell'aria

	MIGLIORIE $Q = Q_{24}$ NITRIFICAZIONE LA • LB
	Parametri RISCONTRATI FUTURI (12,0 °C)
Temperatura dell'aria (°C)	12,0
Altezza sul livello del mare (m)	168,0
SOTR MEDIO (kgO2/h)	94,1
Coefficiente di punta oraria	0,00
SOTR DI PUNTA. (kgO2/h)	0,0
Linee in parallelo (n)	2,0
Larghezza Vasca (m)	19,40
Lunghezza Vasca (m)	11,00
Superficie Vasca (m ²)	213,4
Superficie totale delle vasche (m ²)	426,8
Portadiffusori paralleli al lato [corto - lungo] (n)	9,0
Distanza dei portadiffusori dai muri laterali (mm)	500,0
Interasse dei portadiffusori (mm)	1250,0
Distanza dei diffusori dai muri paralleli (mm)	535,0
Diffusori su ogni portadiffusore (n)	40,0
Interasse dei diffusori (mm)	470,0
Lunghezza portadiffusori (mm)	8930,0
Numero di diffusori per vasca (n)	360
Numero di gruppi per vasca (n)	3
Portata Aria per calata (Nn3/h)	720
Numero totali di diffusori sull'impianto (n)	720
Densità (%)	8,43%
Battente (m)	5,03
Altezza diffusori (m)	0,30
Sommergenza (m)	4,73
Aria/diffusore (m3/h/m _{diffusore})	4,057
Rera trasf (gO2/(Nm3•m _v •m _v))	17,48
SOTR DI PROGETTO (kgO2/h)	241,5
Portata aria (m3/h)	2 921
Portata scpecifica di aria (m ³ _{ARIA} /m ³ _{VASCA} /h)	1,36
SOTE (Standard Oxygen Transfer Efficiency)	27,6%
Ore di funzionamento al giorno con SOTR Medio (h/d)	9,35
Ore di funzionamento al giorno con SOTR Max (h/d)	0,00
DH sul diffusore (mbar)	8,7
DH alla flangia (mbar)	473
DH sulla rete (mbar)	35
Riserva operativa (mbar)	2
DH al COMPRESSORE (mbar)	510
Potenza assorbita dalla rete (kW/h)	52,5
S.A.E. - Standard Aeration Efficiency (kgO2/kWh)	4,60



	MIGLIORIE $Q = Q_{24}$ NITRIFICAZIONE LA • LB
	Parametri RISCONTRATI FUTURO (12,0 °C)
Temperatura dell'aria (°C)	6,7
Altezza sul livello del mare (m)	168,0
Concentrazione di ossigeno in aria (gO2/m3)	291,2
SOTR MEDIO (kgO2/h)	94,1
Coefficiente di punta	1,00
SOTR DI PUNTA. (kgO2/h)	94,1
Linee in parallelo (n)	2,0
Larghezza Vasca (m)	11,00
Lunghezza Vasca (m)	26,10
Superficie Vasca (m ²)	287,1
Superficie totale delle vasche (m ²)	574,2
Dimensione del pannello lunghezza (mm)	4008
Dimensione del pannello larghezza (mm)	180
Superficie utile del pannello (m2)	0,700
File di pannelli paralleli al lato corto (n)	18,0
Distanza dei pannelli dai muri laterali corti- a/2 - (mm)	725,00
Interasse dei pannelli - a - (mm)	1450,00
Distanza dei pannelli dai muri lunghi - b/2 - (mm)	992,0
Numero di pannelli per fila (n)	2,0
Distanza tra un pannello ed un altro - b - (mm)	1000,0
Numero di pannelli per vasca (n)	36
Numero totali di pannelli sull'impianto (n)	72
Densità (%)	8,78%
Battente (m)	5,03
Altezza diffusori (m)	0,05
Sommergenza (m)	4,98
Aria/pannello (m3/h/pannello)	31,380
Carico di aria (m3/m2/h)	44,829
SOTE - Resa di trasferimento dell'ossigeno (%)	30,59%
SOTR PRODOTTO (kgO2/h)	201,3
Portata aria alla temperatura ambiente (m3/h)	2 259
Portata scpecifica volumetrica di aria (m ³ _{ARIA} /m ³ _{VASCA} /h)	0,78
Portata scpecifica superficiale di aria (m ³ _{ARIA} /m ² _{VASCA} /h)	3,93
Ore di funzionamento al giorno con SOTR Medio (h/d)	11,22
Ore di funzionamento al giorno con SOTR Max (h/d)	11,22
DH sul diffusore (mbar)	57,6
DH alla flangia (mbar)	546
DH sulla rete (mbar)	16
Riserva operativa (mbar)	8
DH al COMPRESSORE (mbar)	570
Potenza assorbita dalla rete (kW/h)	45,01
S.A.E. - Standard Aeration Efficiency (kgO2/kWh)	4,47

I Sistemi di Produzione dell'Aria



Macchine Centrifughe con distributore fisso



NextTurbo
TECHNOLOGIES

Macchine Centrifughe con distributore a geometria variabile

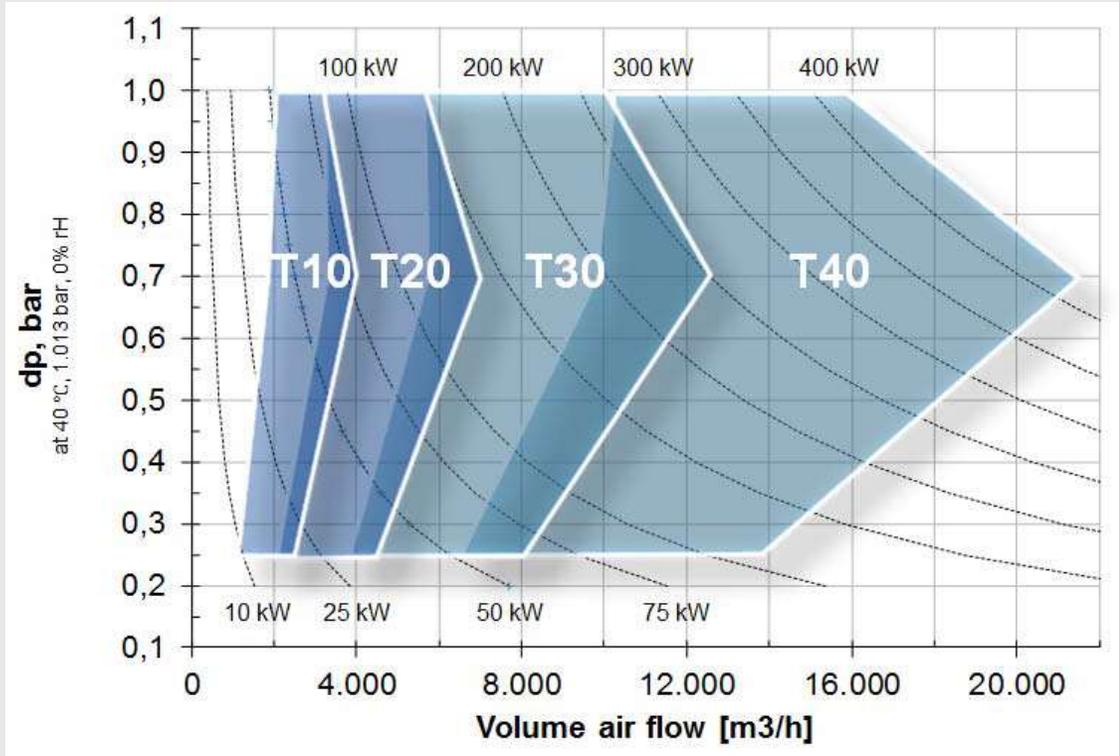
Macchine Volumetriche a Lobi



Macchine Volumetriche a Vite

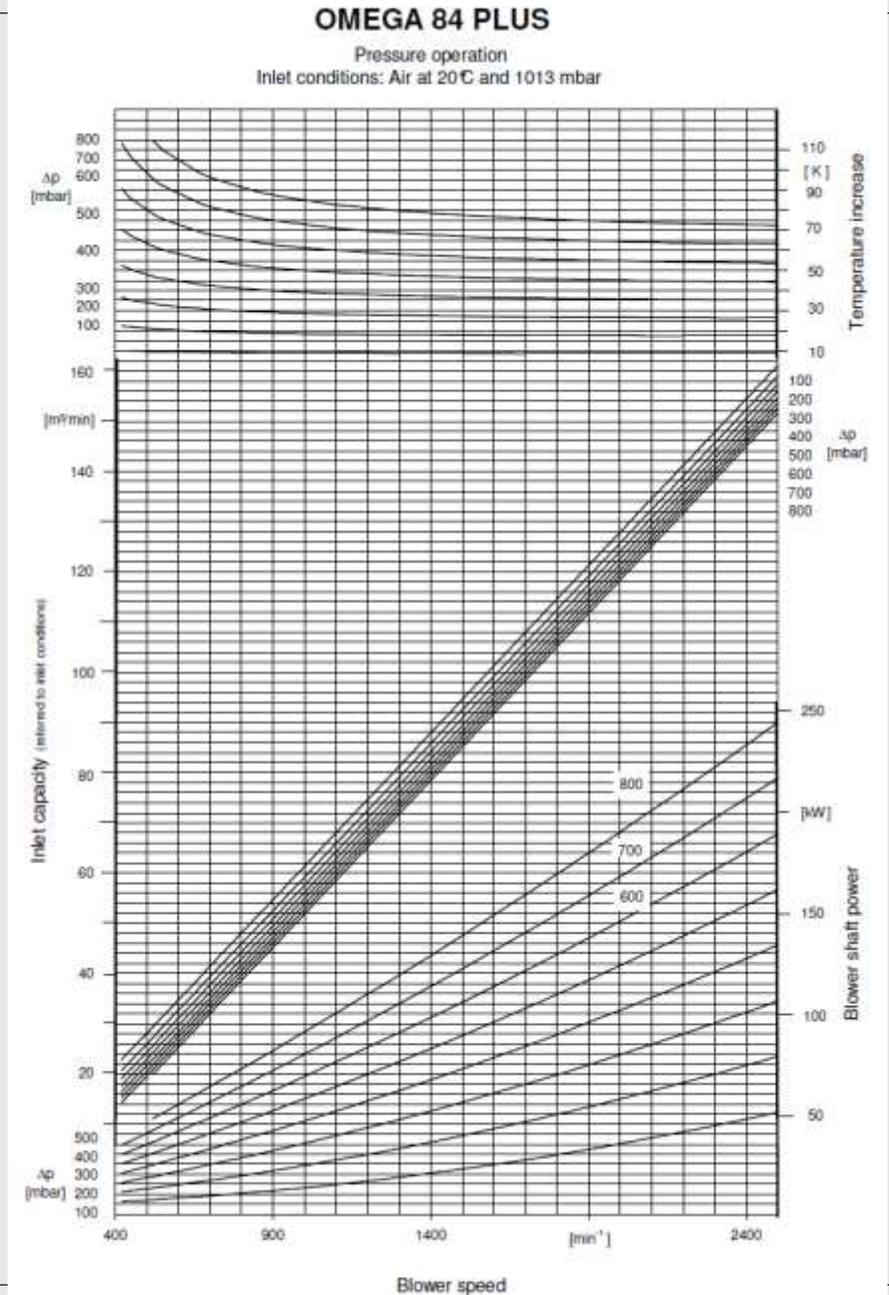


Rendimento delle Macchine



Macchina Centrifuga a Geometria Variabile

Macchina Volumetrica a lobi



Rendimento delle macchine volumetriche a lobi ed a Vite

Basse Pressioni

COMPRESSORI A LOBI KAESER FB 791C 75 KW - 2780 rpm - $\Delta P = 380$ mbar							
	Richiesta Totale di aria (Nm ³ /h)	Macchine in funzione	Portata di ciascuna macchina (Nm ³ /h)	Frquenza di funzionam.to (Hz)	Potenza assorbita dalla rete (kW)	Funzionamento medio di ciascun compressore (h/d)	Consumo giornaliero (kWh/d)
Luglio-Agosto	11 067	3	3 689	50,6	166,6	11,35	1 890
Media Estate	7 387	3	2 462	35,4	110,3	11,66	1 286
Media Inverno	3 510	2	1 755	26,6	54,6	10,95	598

COMPRESSORI A VITE KAESER FBS 660 L SFC 75 KW - 5130 rpm - $\Delta P = 380$ mbar								
	Richiesta Totale di aria (Nm ³ /h)	Macchine in funzione	Portata di ciascuna macchina (Nm ³ /h)	Frquenza di funzionam.to (Hz)	Potenza assorbita dalla rete (kW)	Funzionamento medio di ciascun compressore (h/d)	Consumo giornaliero (kWh/d)	Risparmio energetico (% sui lobi)
Luglio-Agosto	11 067	3	3 689	55,9	160,7	11,35	1 823	3,54%
Media Estate	7 387	3	2 462	38,6	104,8	11,66	1 221	5,02%
Media Inverno	3 510	2	1 755	28,6	50,2	10,95	549	8,18%

Rendimento delle macchine volumetriche a lobi ed a Vite

Alte Pressioni

KAESER HB 950C pr 110 KW 2280 rpm a 50Hz - $\Delta P = 600$ mbar						
	Portata (mc/h)	Frequenza (Hz)	Potenza Unitaria assorbita dalla rete (kW)	Macchine Attive (n)	Potenza Totale assorbita dalla rete (kW)	Contropress. al Compressore (mbar)
PROGETTO (12,0 °C)	2 970	41,34	71,45	1,0	71,45	600
PROGETTO (18,0 °C)	3 342	45,89	80,48	1,0	80,48	600
PROGETTO (24,0 °C)	3 390	46,48	81,68	1,0	81,68	600

KAESER FB 660S L SFC 90 KW 3000 rpm a 50 Hz - $\Delta P = 600$ mbar							
	Portata (mc/h)	Frequenza (Hz)	Potenza Unitaria assorbita dalla rete (kW)	Macchine Attive (n)	Potenza Totale assorbita dalla rete (kW)	Contropress. al Compressore (mbar)	Risparmio Energetico (% sui lobi)
PROGETTO (12,0 °C)	2 970	42,85	56,30	1,0	56,30	600	21,21%
PROGETTO (18,0 °C)	3 342	47,73	63,25	1,0	63,25	600	21,41%
PROGETTO (24,0 °C)	3 390	48,36	64,16	1,0	64,16	600	21,45%