Depurazione acque: come convertire l’ossigeno AOR in SOTR

Nella depurazione delle acque, l’ossigeno svolge un ruolo fondamentale. Ecco come convertire l’ossigeno AOR in SOTR con un sistema di aerazione

Uno degli errori più frequenti che si rischia di commettere quando bisogna dimensionare un **sistema di aerazione per la depurazione** delle acque è la **quantità di ossigeno voluto**. Ecco perché nelle prossime righe scopriremo come convertire l’ossigeno AOR in ossigeno SOTR.

Ossigeno AOR e Ossigeno SOTR: gli standard

Di quanto ossigeno c’è bisogno? La quantità viene determinata da chi definisce il processo di depurazione sulla base della natura del liquame, delle sue caratteristiche e delle condizioni del sito.

Diversamente, le curve di trasferimento di ossigeno dei dispositivi di aerazione sono determinate a delle condizioni che dovendo essere replicabili, sono stabilite dallo standard adottato, pertanto ci troviamo di fronte a due valori dell'ossigeno ben distinti: quello richiesto dal **processo AOR (Actual Oxygen Request)** e dal **processo SOTR (Standard Oxygen Transfer Rate)** vale a dire l'ossigeno che il sistema di aerazione è in grado di trasferire al liquido nelle condizioni”standard”.

Esistono diversi standard, i più noti sono:

- A**SCE/EWRI 2-06** "Measurement of Oxygen Transfer in Clean Water" (standard americano)
- **EN 12255-15** (standard europeo)
- **ATV M209E** (standard tedesco)

Consideriamo lo standard americano ASCE/EWRI 2-06. Le condizioni richieste per calcolare l'ossigeno trasferito sono:

- il liquido di prova è acqua potabile;
- concentrazione iniziale di ossigeno disciolto pari a zero;
- temperatura dell'acqua e dell'aria durante il test pari a 20 °C;
- pressione barometrica di 101,3 kPa.

Ciò che è richiesto al progettista di processo o al fornitore del sistema di aerazione è trasformare la quantità di ossigeno necessario al processo (AOR) nel corrispondente valore alle condizioni standard.

Come convertire l'ossigeno AOR in SOTR

Per farlo utilizziamo la formula indicata nel commento G dell'ASCE/EWRI 2-06 "Misurazione del trasferimento di ossigeno in acqua pulita".
Adotto l'acronimo AOR invece di OTR_f riportato nel testo dell'ASCE:

Eq. 1

$$A0R = \left(\frac{1}{c^*_{\infty 20}}\right) \cdot \left[\alpha (SOTR)\theta^{(T-2o)}\right] \cdot \left(\tau\beta\Omega C^*_{\infty 20} - C\right)$$

Consideriamo ogni singolo parametro dell'equazione 1 e di come determinarlo:

$\boldsymbol{C^*_{\infty 20}}$

Con il sistema di aerazione in funzione in acqua pulita, si raggiunge in un tempo tendente all'infinito una concentrazione di ossigeno disciolto (DO) superiore alla concentrazione superficiale di C^*_{st} i cui valori riportiamo nella tabella 1.
Il valore $C^*_{\infty t}$ può essere determinato durante il test con dei misuratori di ossigeno disciolto o con metodi chimici oppure possiamo calcolarlo con una delle diverse formule reperibili nella letteratura tecnica.

(Mueller, Boyle, & Pöpel, 2002) Eq. 2 $C^*_{\infty 20} = C^*_{s20}(1{,}00 + 0{,}03858 * h)$

(Gillot & Héduit, 2004): Eq. 3 $C^*_{\infty 20} = 8{,}84 * h^{0{,}109}$

(ATV Working Group, 1996) Eq. 4 $C^*_{\infty 20} = 9{,}09 + 0{,}439 * h$

Dove h è l'immersione del diffusore in m.

Un esempio concreto

Esempio: se abbiamo una vasca con un livello dell'acqua pari a 6 m e la distanza tra la membrana dei diffusori ed il fondo vasca di 0,25 m, avremo una immersione data da h=6,00-0,25= 5,75 m Il valore $9{,}09 \frac{mg}{l} di\ C^*_{s20}\ lo\ ricaviamo\ dalla\ tabella 1.$

Siamo quindi in grado di calcolare $C^*_{\infty 20}$ con le diverse equazioni sopra riportate:

$$\text{Eq. (2) } C^*_{\infty 20} = 11{,}11 \frac{mg}{l}$$

$$\text{Eq. (3) } C^*_{\infty 20} = 10{,}70 \frac{mg}{l}$$

$$\text{Eq. (4) } C^*_{\infty 20} = 11{,}61 \frac{mg}{l}$$

$\propto$

è il rapporto tra il trasferimento di massa di ossigeno per unità di volume (Kla_f/Kla_w) nel liquido di processo ed in acqua pulita. Il valore di α dipende dalla natura del liquido da trattare e dal tipo di dispositivo di aerazione utilizzato ad esempio diffusori a bolle fini, piuttosto che eiettori, o aeratori di superficie, etc. Una formula, mettere in relazione α con il contenuto dei solidi sospesi MLSS espressi in g/l. La riportiamo di seguito (Krampe & Krauth, 2003).
Per i diffusori a bolle fini, la formula è

Eq. 5 $$\alpha = e^{-0{,}08788(MLSS)}$$

Se abbiamo un liquido di processo con una MLSS di 5 g/l calcoliamo un α pari a 0,64.
Nei nostri calcoli in generale usiamo i seguenti valori:

Tipo di sistema di aerazione	**α**
Diffusori a bolle fini	0,65
Diffusori a bolle medie/grosse	0,70
Eiettori	0,95

θ

corregge il coefficiente di trasferimento di massa Kla per la temperatura. Per convenzione internazionale si ha:

$$\theta = 1{,}024$$

T

è la temperatura dell'acqua di processo in °C.

τ

Corregge la saturazione di ossigeno in relazione della temperatura. Si calcola con l'Eq. 6

$$\tau = \frac{C^*_{st}}{C^*_{20}} = \frac{C^*_{st}}{9{,}09}$$

dove C^*_{st} è la saturazione superficiale dell'ossigeno disciolto alla temperatura t ed alla pressione barometrica standard (101,3 kPa).
Esempio:
temperatura di 20°C $C^*_{20} = 9{,}09 mg/l$
temperatura di 10°C. $C^*_{10} = 11{,}29 mg/l$

Se la temperatura considerata è di 10° C avremo un valore $\tau = \frac{11{,}29}{9{,}09} = 1{,}242$

Per gli altri valori C^*_{st} vedi la tabella 1

Tabella 1

T°C	C^*_{st}(mg/l)	T°C	C^*_{st}(mg/l)	T°C	C^*_{st}(mg/l)	T°C	C^*_{st}(mg/l)
1	14,22	**11**	11,03	**21**	8,91	**30**	7,56
2	13,83	**12**	10,78	**22**	8,74	**31**	7,43
3	13,46	**13**	10,54	**23**	8,58	**32**	7,31
4	13,11	**14**	10,31	**24**	8,42	**33**	7,18
5	12,77	**15**	10,08	**25**	8,26	**34**	7,07
6	12,45	**16**	9,87	**26**	8,11	**35**	6,95
7	12,14	**17**	9,67	**27**	7,97	**36**	6,84
8	11,84	**18**	9,47	**28**	7,83	**37**	6,73
9	11,56	**19**	9,28	**29**	7,69	**38**	6,62
10	11,29	**20**	9,09	**30**	7,56	**39**	6,52

β

La saturazione dell'ossigeno è ridotta dal contenuto di Sali disciolti. Il parametro β corregge questo effetto.

$$\beta = \frac{C^*_{swastewater}}{C^*_{scleanwater}}$$

β può essere calcolato utilizzando una delle formule seguenti:

(Gruppo di lavoro ATV, 1996) $\beta = 1 - 0{,}01 \cdot \frac{TDS}{1000}$

(Mueller, Boyle, & Pöpel, 2002) $\beta = 1 - 5{,}710^{-6} \cdot TDS$

Dove TDS è il contenuto totale di solidi disciolti in mg/l. Poiché lo standard ASCE ed EN accetta durante il test acqua con un contenuto massimo di solidi disciolti TDS sino a 2.000 mg/l, abbiamo

$$\beta = 0{,}98$$

Ω

È il fattore di correzione della pressione. È uguale al rapporto tra la pressione barometrica assoluta in loco P_b e la pressione barometrica standard di 101,32 kPa

$$\Omega = \frac{P_b}{P_s}$$

Per calcolare la pressione barometrica assoluta in loco usiamo la seguente formula (Eddy, 2006)

$$P_b = 101{,}32e^{-1{,}19 \cdot 10^{-4} alt} \cdot \text{ in kPa}$$

Dove l'altitudine "alt" è espressa in m.
Ad esempio all'altitudine di 600 m P_b è 94,36 kPa e quindi Ω=0,931

C

C è la concentrazione media di ossigeno disciolto in vasca nel corso del processo depurativo. Nella maggior parte delle vasche di ossidazione C viene mantenuto costante a 2 mg/l.

Un esempio

Abbiamo una vasca di ossidazione con un battente di 6 m in un impianto di trattamento posto a 800 m di altitudine e che vogliamo equipaggiare con diffusori a disco con α= 0,65, ed una temperatura del liquido di processo di 27 °C . Ipotizziamo che la distanza dei diffusori dal fondo vasca sia di circa 0,25 m e ricaviamo l'immersione pari a 5,75 m.
Utilizziamo l'eq. 1

$$A0R = \left(\frac{1}{c^*_{\infty 20}}\right) \cdot \left[\alpha(SOTR)\theta^{(T-2o)}\right] \cdot \left(\tau\beta\Omega C^*_{\infty 20} - C\right)$$

Grazie all'eq. 2 calcoliamo $C^*_{\infty 20}$ come $9{,}09*(1{,}00 + 0{,}03858*(5{,}75) = 11{,}11 mg/l$

Alla temperatura di 27° la concentrazione di saturazione superficiale dell'ossigeno C^*_{s27} (Tabella 1) è di

$$C^*_{s27} = 7{,}97$$

Con l'eq. 6 calcoliamo il valore di $\tau = \dfrac{C^*_{st}}{C^*_{20}} = \dfrac{7{,}97}{9{,}09} = 0{,}877$ mentre adottiamo per β il valore

$$\beta = 0{,}98$$

Per calcolare Ω dobbiamo prima calcolare$P_b = 101{,}32e^{-1{,}19\cdot 10^{-4}800} = 92{,}119$

$$\Omega = \frac{92{,}119}{101{,}32} = 0{,}909$$

L'eq. 1 diventa

$$A0R = \left(\frac{1}{11{,}11}\right) \cdot \left[0{,}65 \bullet (SOTR) \bullet 1{,}024^{(27-2o)}\right] \cdot (0{,}877 \bullet 0{,}98 \bullet 0{,}909 \bullet 11{,}11 - 2{,}0) = 0{,}461 SOTR$$

$$\frac{A0R}{SOTR} = 0{,}461$$

Bibliografia

ATV Working Group. (1996). *Measurement of Oxygen Transfer in Activated Sludge Aeration Tanks with Clean Water and in Mixed Liquor.* Hennef: GFA.

Eddy, M. &. (2006). *Ingegneria delle acque reflue*. McGraw-Hill Education.

Gillot, S., & Héduit, A. (2004). *Prédiction des capacités d'oxygénation en eau claire des systèmes d'insufflation d'air.* Antony: Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation,.

Günder, B. (2001). *The Membrane Coupled-Activated Sludge Process in Municipal Wastewater Treatment*. Lancaster: Technomic Publishing Company Inc.

Krampe, J., & Krauth, K. (2003). Oxygen transfer into activated sludge with high MLSS. *Water Science and Technology Vol 47 No 11 © IWA Publishing 2003*, 297-303.

Mueller, J. A., Boyle, C. W., & Pöpel, J. (2002). *Aeration: Principle and Practice*. CRC Press LLC.