

Efficienza energetica dei sistemi di aerazione e le emissioni di gas climalteranti

Innovative wastewater treatment technologies for energy saving and environmental protection

May 20, 2016 - Palermo

Riccardo Gori

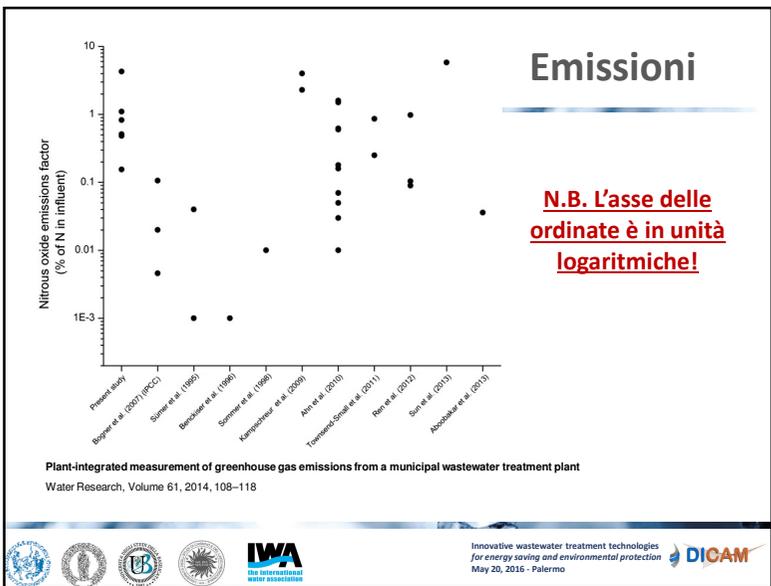
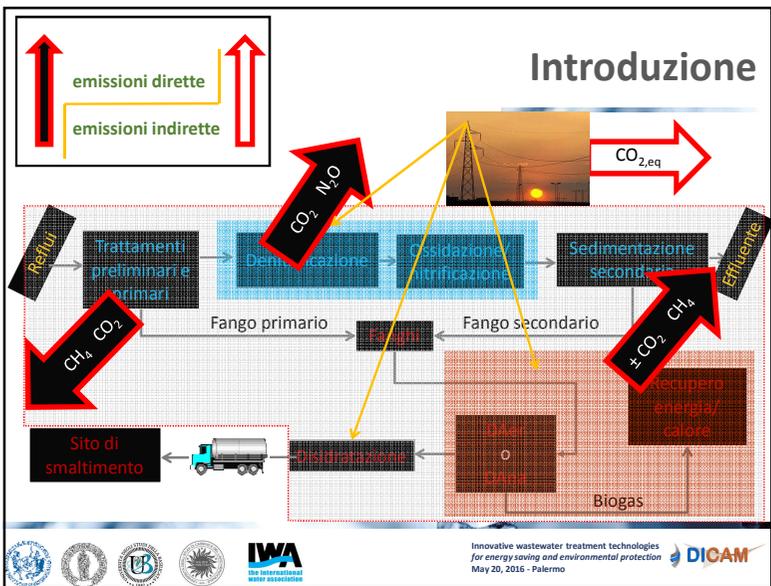
Introduzione

Gli impianti di trattamento delle acque reflue sono responsabili di emissioni dirette ed indirette dei seguenti gas serra (GHGs):

- Anidride carbonica (CO₂)
- Protossido di azoto (N₂O) con GWP di circa 300
- Metano (CH₄) con GWP di circa 25

Le emissioni di GHGs ed il consumo di energia degli impianti di depurazione, chiaramente legati tra loro, dipendono da molte variabili, fra le quali giocano un ruolo di primo piano:

- età del fango (SRT);
- tipologia del processo di stabilizzazione dei fanghi;
- Concentrazione di ossigeno disciolto ed efficienza del sistema di trasferimento;
- temperatura nel reattore biologico.



Emissioni

Consumo energetico per il trattamento: 0,35 – 0,8 kWh/m³ → **0,5 kWh/m³**

Contributo aerazione: 40 – 60% → **50%**

Consumo energetico aerazione: 0,25 kWh/m³

Fattore emissione per produzione energia: 0,406 kgCO_{2,eq}/kWh

Emissione indiretta per aerazione: 0,1 kgCO_{2,eq}/m³

Concentrazione N ridotto nel refluo: 0,05 kgN/m³

Azoto convertito in N₂O: 0,01% → **Emissione diretta N₂O:** 0,002 kgCO_{2,eq}/m³
 1% → **Emissione diretta N₂O:** 0,23 kgCO_{2,eq}/m³

Emissione diretta CO₂: 0,25 kgCO_{2,eq}/m³
 (@ 0,5 kgCOD/m³; 50% COD convertito a CO₂ @1kgCO₂/kgCOD)

Necessità di monitorare

Innovative wastewater treatment technologies
 for energy saving and environmental protection
 May 20, 2016 - Palermo

Il sistema di aerazione

Negli impianti a fanghi attivi i costi energetici rappresentano un'aliquota importante dei costi totali di esercizio (in aumento)

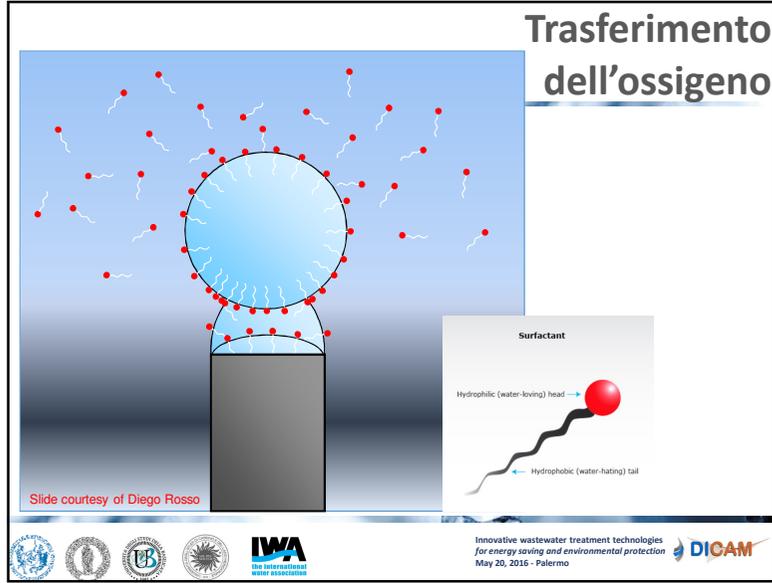
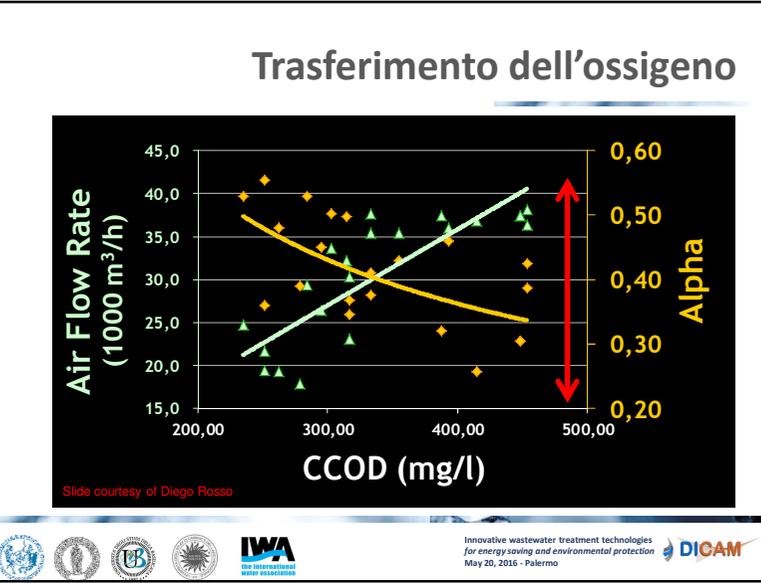
Tra i consumi energetici il principale è quello dell'aerazione delle vasche di ossidazione (solitamente il 50-60%)

Ripartizione dei consumi energetici di un impianto di depurazione di acque reflue urbane di grande potenzialità (900.000 a.e.)

Processo	Consumo (%)
OSSIDAZIONE A FANGHI ATTIVI	51%
RICIRCOLO FANGHI I SEZ.	20%
RICIRCOLO FANGHI II SEZ.	18%
RICIRCOLO FANGHI SEZ. FINALE	3%
SOLL. INIZIALE I SEZ.	3%
SOLL. INIZIALE II SEZ.	2%
DISIDRATAZIONE FANGHI	3%

Il sistema di aerazione gioca un ruolo chiave nel determinare i consumi energetici degli impianti e le emissioni di gas serra

Innovative wastewater treatment technologies
 for energy saving and environmental protection
 May 20, 2016 - Palermo





Il metodo off-gas

Il metodo *off-gas* è una tecnica per il monitoraggio dell'efficienza di trasferimento dell'ossigeno in condizioni di processo di sistemi di aerazione ad aria diffusa (Redmon et al., 1983).

Bilancio di massa dell'ossigeno in fase gassosa
 Ossigeno trasferito in fase liquida = Ossigeno rimosso dalla fase gassosa

$$OTE [\%] = \frac{O_{2 IN} - O_{2 OUT}}{O_{2 IN}} \cdot 100$$

1. Cappa 2. Connessione 3. Sonda ossigeno 4. Ossimetro 5. Analizzatore

IWA The International Water Association

Il metodo off-gas

1. Sistema di raccolta off-gas
 2. Tubo di collegamento

3. Sonda LDO 4. Ossimetro

5. Analizzatore off-gas

IWA The International Water Association Innovative wastewater treatment technologies for energy saving and environmental protection May 20, 2016 - Palermo DICAM



Il metodo off-gas

1. La misura viene effettuata su una serie di punti individuati in base alla geometria della vasca e del sistema di aerazione (almeno il 2% della superficie della vasca)
2. In ogni posizione si misura, alternativamente il contenuto di ossigeno in aria (Reference) e nell'off-gas
3. Oltre alla misura del contenuto di ossigeno nell'off-gas si rilevano altri parametri (ad esempio la portata di off-gas e la concentrazione di ossigeno disciolto nella fase liquida) necessari alle successive elaborazioni

Contenuto di Ossigeno nel flusso di gas

Portata di Off-gas

Distribuzione della concentrazione di ossigeno [mg/l]

Innovative wastewater treatment technologies
for energy saving and environmental protection
May 20, 2016 - Palermo

Il metodo off-gas

Grandezze calcolate:

- Efficienza di trasferimento in condizioni standard in acqua di processo (α SOTE, %):

$$\alpha SOTE = \frac{C_{S20} \cdot OTE \cdot \theta^{(20-T_w)(C)}}{\beta \cdot C_{S,pWT} - DO} \cdot 100$$
- α factor: $\alpha = \alpha SOTE / SOTE$
- Rateo di trasferimento (OTR, KgO₂/h): $OTR = K_L \alpha \cdot (C_{S,pWT} - DO) \cdot V = \rho O_2 \cdot OTE \cdot Q_{air}$
- Efficienza diaerazione (AE, KgO₂/kWh): $AE = OTR/P$

Innovative wastewater treatment technologies
for energy saving and environmental protection
May 20, 2016 - Palermo

Reattore plug-flow in un impianto a fanghi attivi convenzionale di media potenzialità 45.000 p.e. Caso studio 1

5	6	7	8	9	10	11	12
4	3	2	1	ZONA ANOSSICA			

ELASTOX-T standard	
Diametro [mm]	270
Superficie [cm ²]	~560
Portata d'aria specifica [Nm ³ /h]	6/8
Densità dei pori [1/cm ²]	12

Distribuzione della portata d'aria [Nm³/h]

Distribuzione della concentrazione di DO [mg/l]

Innovative wastewater treatment technologies
for energy saving and environmental protection
May 20, 2016 - Palermo

Reattore plug-flow in un impianto a fanghi attivi convenzionale di media potenzialità 45.000 p.e. Caso studio 1

	Diffusori usati	Diffusori nuovi
Portata d'aria [Nm ³ /h]	900	370
Consumo di energia [MWh/y]	163	75
Costo annuale per aerazione [€/y]	~ 78000	~ 36000
Emissioni indirette di GHG [kgCO _{2,eq} /y]*	~ 66.000	~ 31.000

* @ 0,406 kgCO_{2,eq}/kWh

Innovative wastewater treatment technologies
for energy saving and environmental protection
May 20, 2016 - Palermo

Reattore plug-flow in un impianto a fanghi attivi convenzionale di grande potenzialità (600.000 a.e.)

Caso studio 2

GESTIONE OTTIMALE DELLA PORTATA D'ARIA:

PRIMO TEST:
gestione della portata d'aria in modo proporzionale alla concentrazione di ossigeno disciolto in vasca

SECONDO TEST:
gestione della portata d'aria in funzione della concentrazione di N-NH₄ in uscita dalla vasca di ossidazione

Innovative wastewater treatment technologies for energy saving and environmental protection
May 20, 2016 - Palermo

Reattore plug-flow in un impianto a fanghi attivi convenzionale di grande potenzialità (600.000 a.e.)

Caso studio 2

GESTIONE OTTIMALE DELLA PORTATA D'ARIA:

CONTROLLO PORTATA ARIA SU DO
OTE ≈ 22-30%

CONTROLLO PORTATA ARIA SU NH₄
OTE ≈ 24-35%

• Il controllore su NH₄ permette di limitare le fluttuazioni della portata d'aria e di mantenere per la maggior parte del tempo un valore prossimo a quello minimo
⇒ Miglioramento in termini di efficienza di trasferimento

Innovative wastewater treatment technologies for energy saving and environmental protection
May 20, 2016 - Palermo

Reattore plug-flow in un impianto a fanghi attivi convenzionale di grande potenzialità (600.000 a.e.)

Caso studio 2

Il cambiamento di gestione della portata d'aria ha portato ad un netto aumento dell'*aeration efficiency*:

$$AE = \frac{OTR}{P} = \frac{\rho_{O_2} \cdot Q_{AIR} \cdot OTE}{P} = \frac{\rho_{O_2} \cdot Q_{AIR}}{P} \cdot \frac{\alpha \cdot SOTE \cdot (\beta \cdot C_{S, pWT} - DO)}{C_{S, 20} \cdot \theta^{(20 - T_w)}}$$

DO ↓ ⇒ AE ↑

Per l'impianto di San Colombano, un aumento relativo del **10%** del valore medio annuo di OTE corrisponde ad un risparmio di circa **500MWh/anno (75000 euro/anno)**
→ 203.000 kgCO_{2,eq}/y (@ 0,406 kgCO_{2,eq}/kWh)

Innovative wastewater treatment technologies for energy saving and environmental protection
May 20, 2016 - Palermo

Monitoraggio GHGs

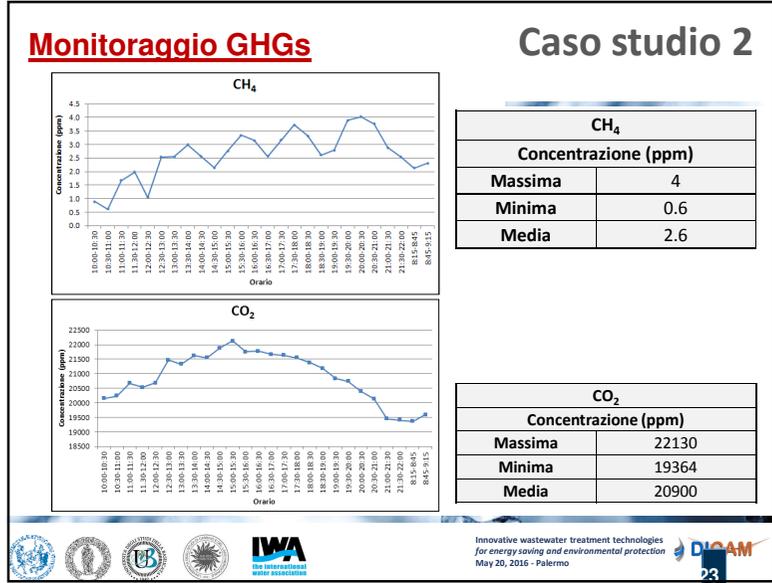
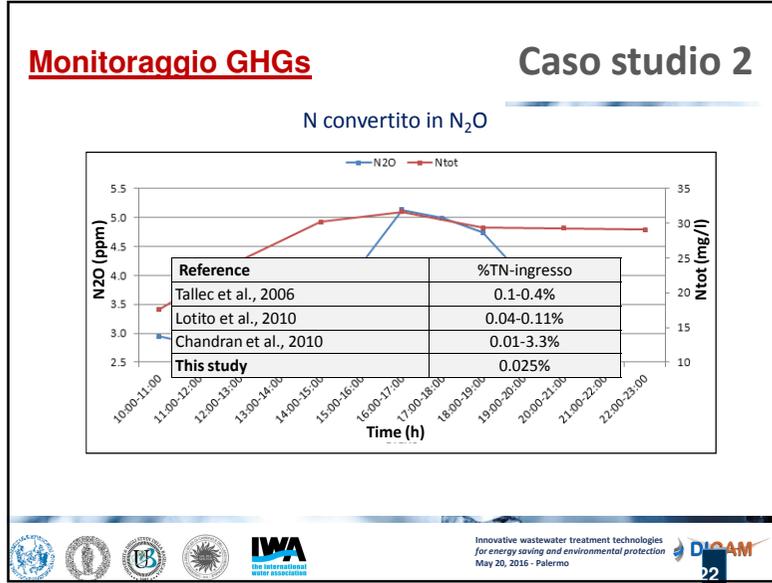
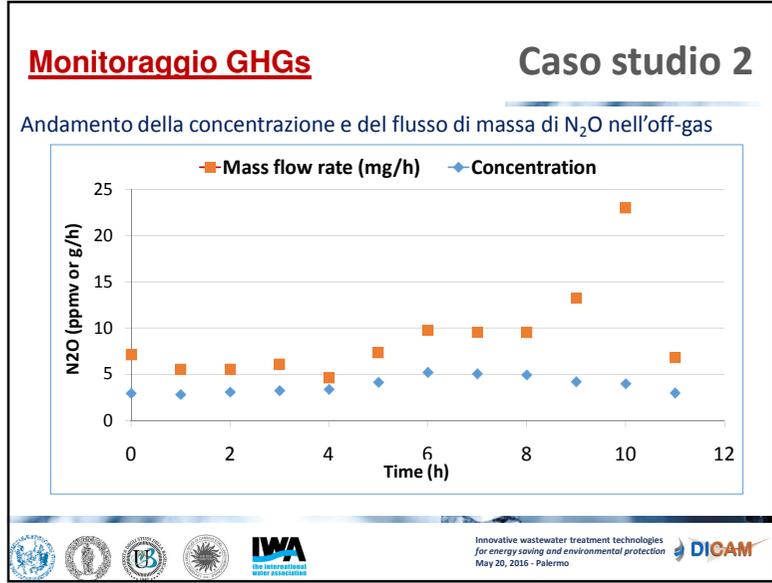
Caso studio 2

- N₂O, CO₂ e CH₄ monitorati in fase gas con IR (Photoacoustic Multigas Monitoring - mod 1312/5 Innova Air Tech Instruments)
- Frequenza di acquisizione: 50 s

- Monitoraggio in fase liquida di N₂O e altre forme dell'azoto
- Frequenza: 1/h

Posizione delle cappe

Innovative wastewater treatment technologies for energy saving and environmental protection
May 20, 2016 - Palermo



Grazie per l'attenzione!

Riccardo Gori – University of Florence
 riccardo.gori@unifi.it

UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

DICEA
DIPARTIMENTO
DI INGEGNERIA CIVILE
E AMBIENTALE