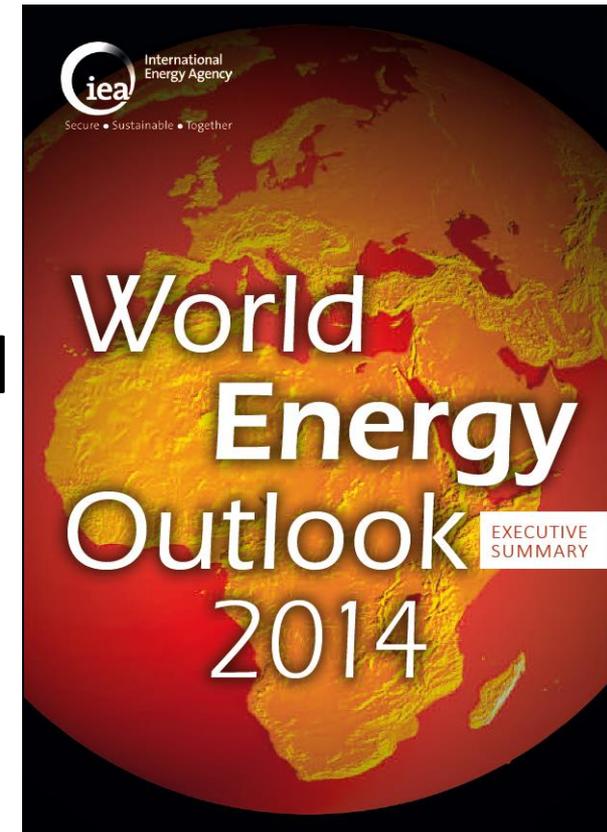


Lunedì 12 ottobre 2015 Milano, Italia

Energia e sviluppo sostenibile

- Richiesta energetica mondiale aumenterà del **37%** al 2040
- **Renewables** copriranno il 50% del fabbisogno energetico mondiale nel 2040 (solo con investimenti)



Trattamento delle acque reflue

- Trattamento acque reflue organiche implica consumo energetico mondiale del 3%



Biomasse → SCARTI

Scarti agro-alimentari > globalmente 1.3×10^9 tonnellate (FAO, 2011)

- Impatto ambientale > **2 tonnellate di CO₂ per tonnellata di scarto** (European Commission, 2010)
- Costi di smaltimento > **100-150 € per tonnellata di scarto** (Pfaltzgraff et al., 2013)



→ Discarica



→ Termovalorizzazione



→ Compostaggio

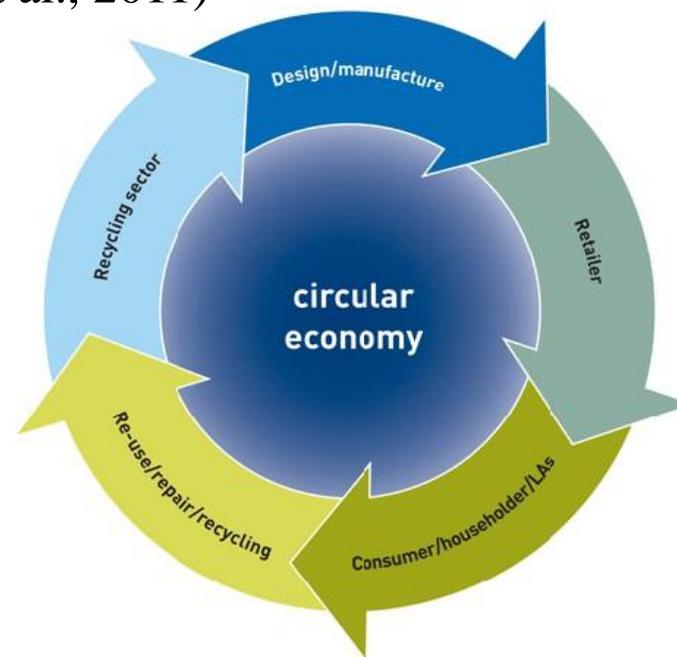


Economia circolare: SCARTI → materia prima per nuovi prodotti

- Risorse di energia
- Risorse di molecole di interesse (Petruccioli et al., 2011)

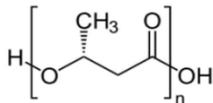
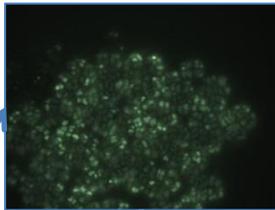
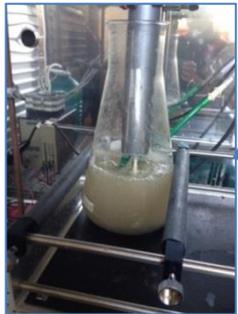
Mercato europeo Bioeconomia:

- Volume totale vendite → 2000×10^9 €
- Impiegati → 22×10^6 persone (EC- IP/12/124)



Valorizzazione-Smaltimento-Recupero energetico acque reflue e scarti urbani

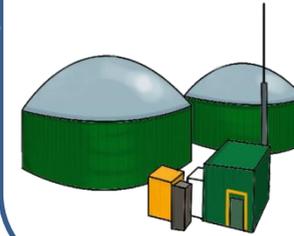
Polyhydroxyalkanoates



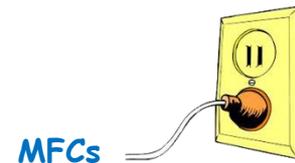
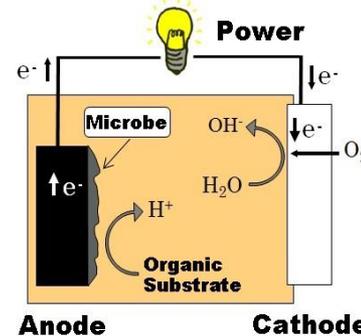
Wastes valorization



Bioenergy



Bioelectrochemical systems



Strategie e obiettivi

- **Trattamento acque reflue urbane con sistemi bio-elettrochimici**
- **Digestione anaerobica di fanghi di depurazione e FORSU**
- **Produzione di bioplastiche da FORSU**

MICROBIAL FUEL CELLS

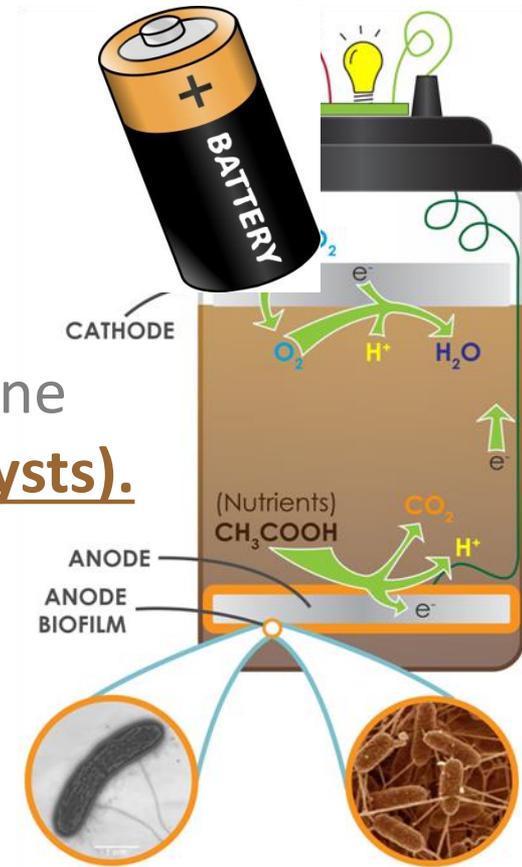
ENERGY/CHEMICALS SUPPLY & WASTE DISPOSAL



Recupero energia elettrica dal
trattamento delle acque
reflue

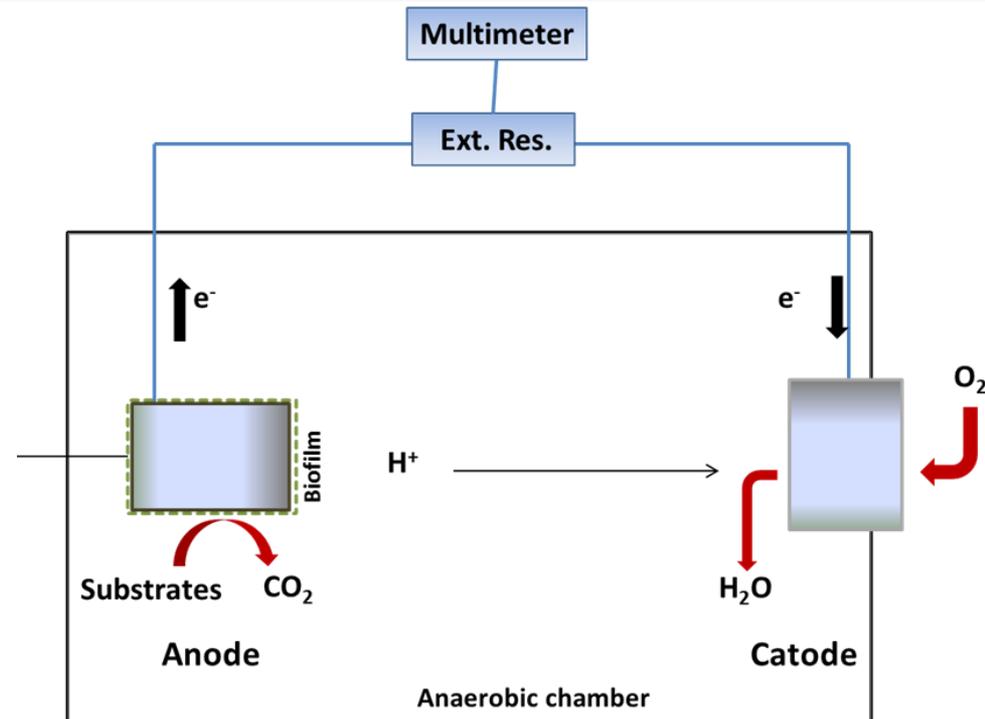
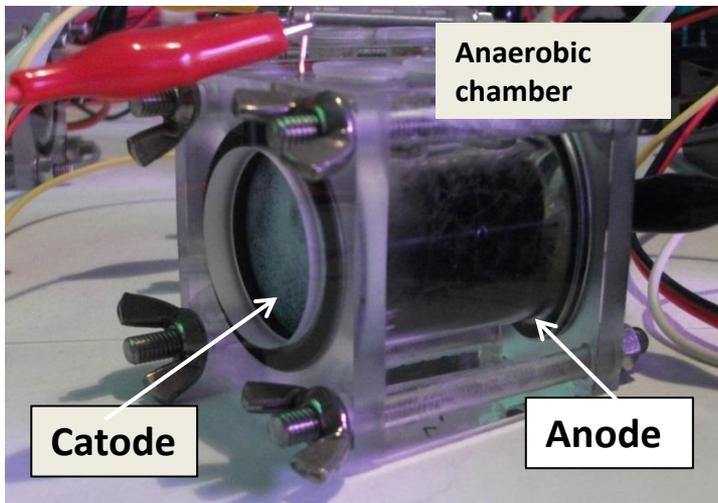
BIO-ELECTROCHEMICAL SYSTEMS

- Reazioni chimiche spontanee → Energia elettrica
- Ossidazione materiale organico (fuel) e riduzione O_2 , promosso da batteri eso-elettrogeni (biocatalysts).



Microbial fuel cell

Bioreattore converte l'energia chimica dei composti organici in energia elettrica



Reazione anodica con acetato:

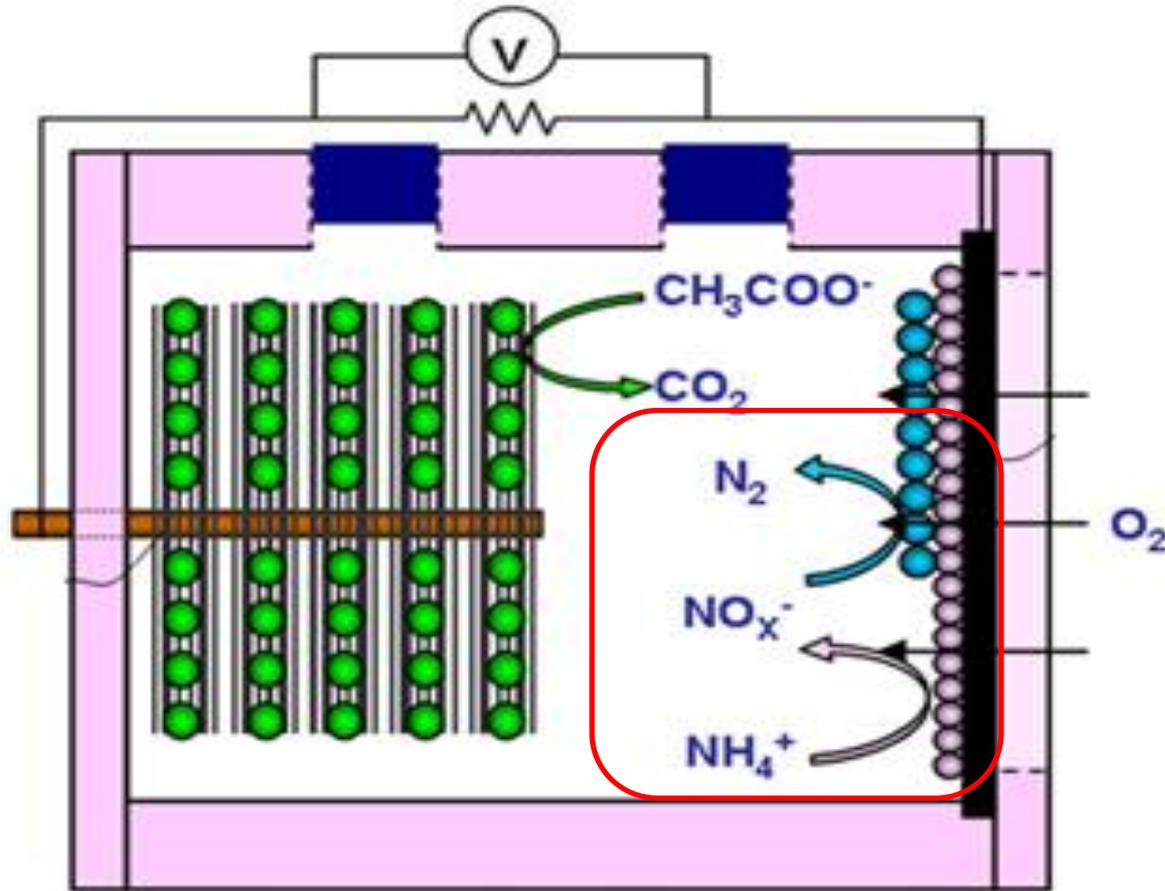


Reazione catodica:



$$E_{\text{emf}} = E_{\text{cat}} - E_{\text{an}} = 200 - (-300) = 500 \text{ mV}$$

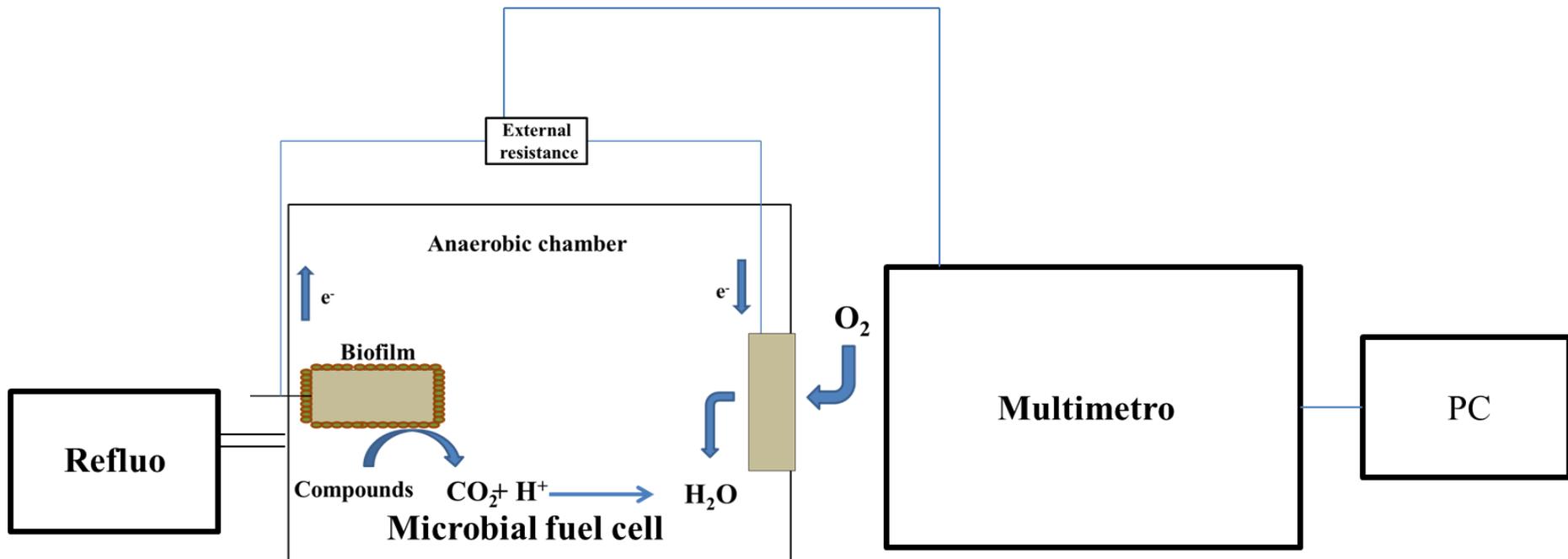
Bioreattori: MFC-nitro/denitro



Yan et al., 2012, Water research, 46 , 2215 -2224

Wise city: modello sperimentale

- Depurazione dei reflui in esame mediante MFC
- Valutazione dell'energia elettrica prodotta



Wise city: Reflui

- R1
- R4
- R5
- Trattamento primario

COD < 8 gL⁻¹

NH₃ < 0.8-1 gL⁻¹

R2

COD 9.9 gL⁻¹

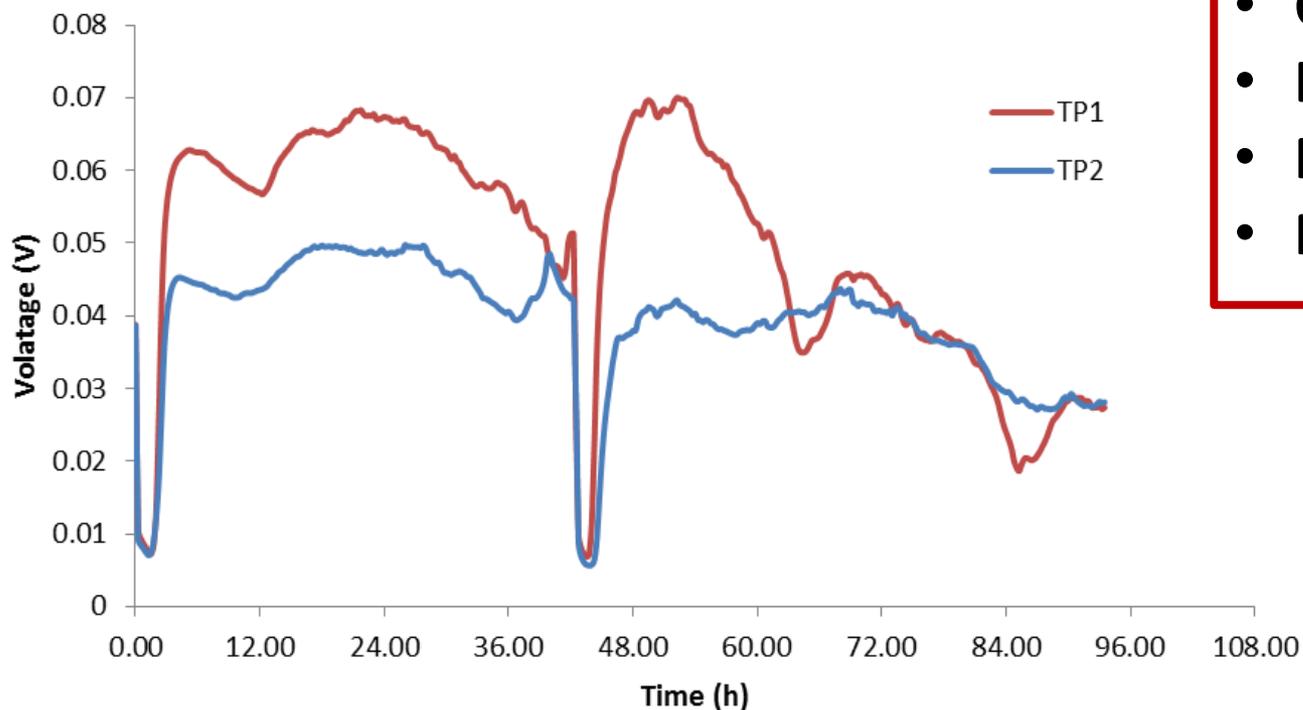
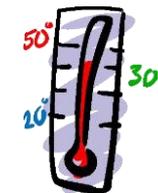
R3

COD 16 gL⁻¹

Non idonei

Wise city: Trattamento Primario

23±1°C



- COD 317±30 mgL⁻¹
- BOD5 102±1.2 mgL⁻¹
- NH3 43±2.5 mgL⁻¹
- Ntot 50±4 mgL⁻¹

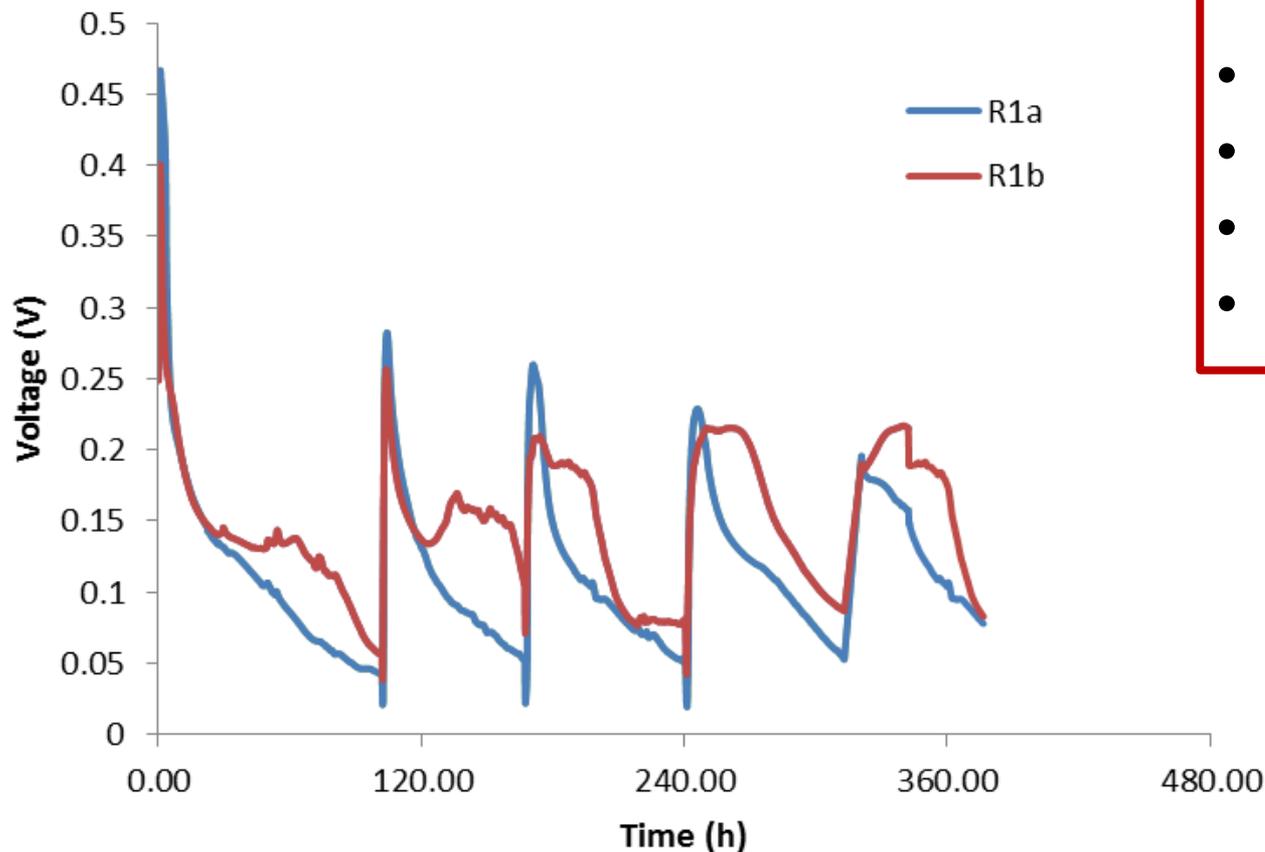
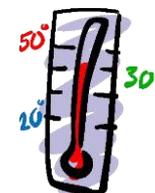
Wise city: Trattamento Primario

- cycle 1.8d
- ΔCOD 56 \pm 2%
- ΔBOD_5 80 \pm 4%
- ΔNH_3 88 \pm 5%
- $\Delta\text{N}_{\text{tot}}$ 85 \pm 4%

- Wm^{-3} 0.78 \pm 0
- CE 9 \pm 0.2%

Wise city: R1

23±1°C



- COD 4.9±0.1 gL⁻¹
- BOD₅ 3.2±0.1 gL⁻¹
- NH₃ 420±12 mgL⁻¹
- N_{tot} 990±10 mgL⁻¹

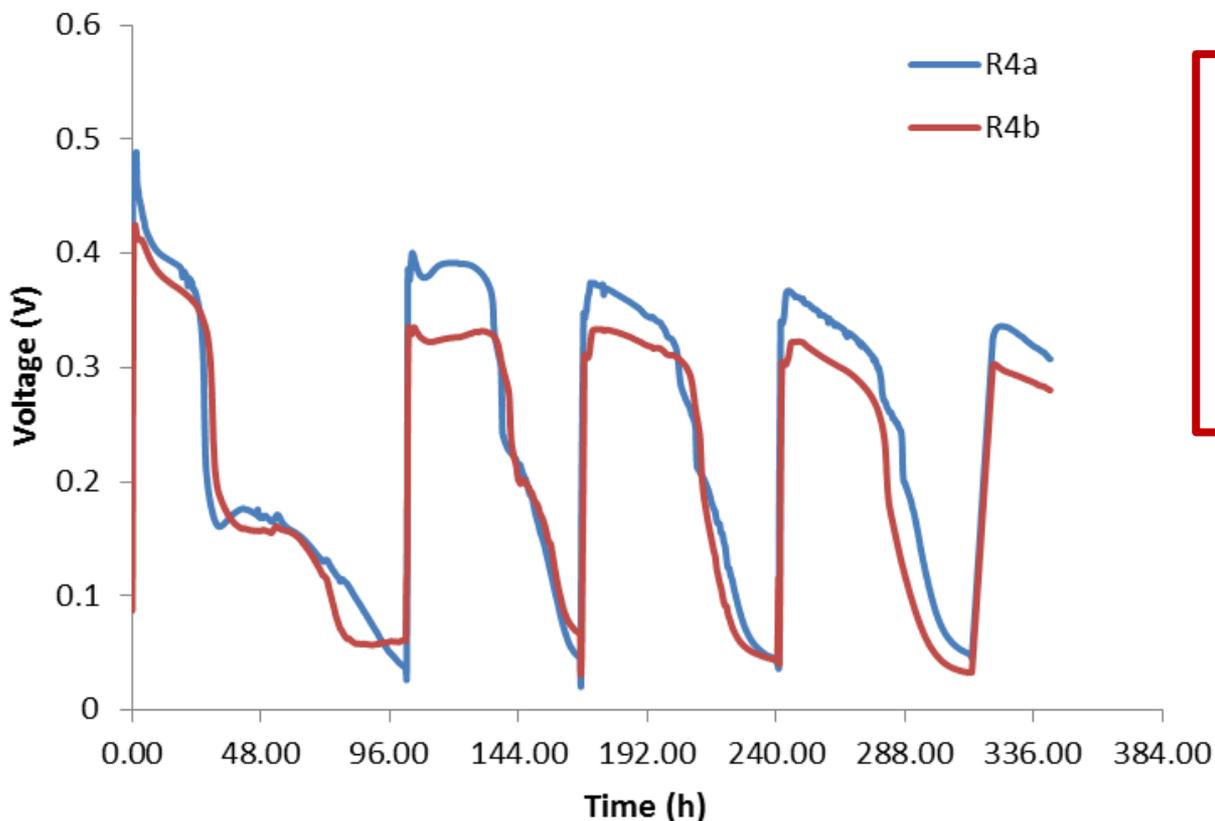
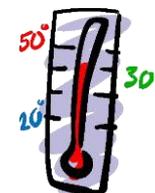
Wise city: R1

- **cycle** **3d**
- **Δ COD** **57.5 \pm 2 %**
- **Δ BOD₅** **59.5 \pm 3 %**
- **Δ NH₃** **6.5 \pm 0.3 %**
- **Δ N_{tot}** **6 \pm 0.2 %**

- **Wm⁻³** **1.2**
- **CE** **5 \pm 0.1%**

Wise city: R4

23±1°C



- COD 4.2 ± 0.1 gL⁻¹
- BOD5 2 ± 0.1 gL⁻¹
- NH3 10 ± 0.2 mgL⁻¹
- Ntot 80 ± 4 mgL⁻¹

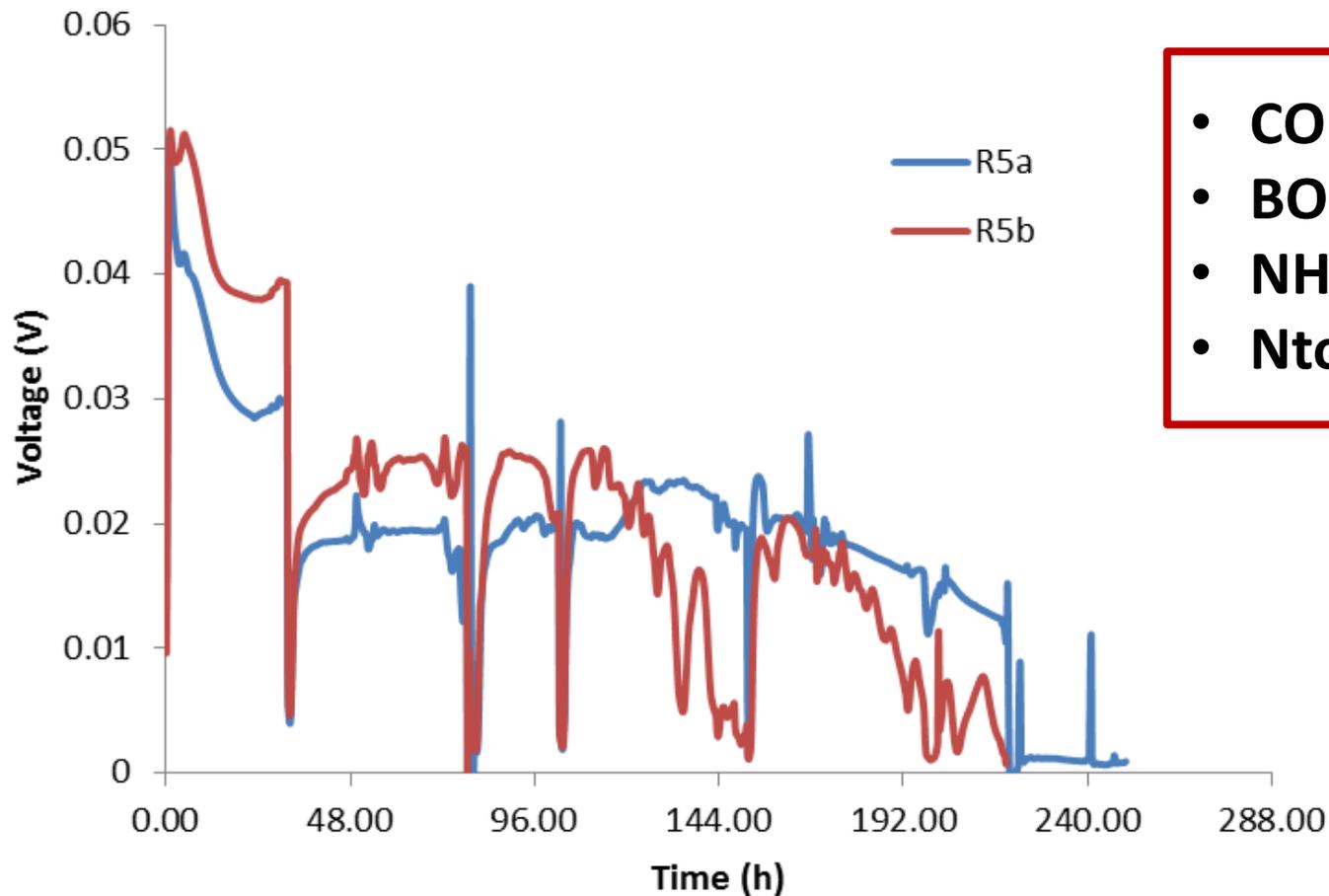
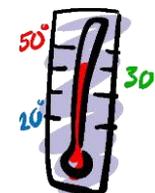
Wise city: R4

- **cycle** **3d**
- **ΔCOD** **$71.2\pm 2\%$**
- **ΔBOD_5** **$74.4\pm 3\%$**
- **ΔNH_3** **$79.8\pm 3\%$**
- **$\Delta\text{N}_{\text{tot}}$** **$75\pm 4\%$**

- **Wm^{-3}** **3.2**
- **CE** **$6.5\pm 0.2\%$**

Wise city: R5

23±1°C



- COD 381±2 mgL⁻¹
- BOD5 200±7 mgL⁻¹
- NH3 5±0.1 mgL⁻¹
- Ntot 10±0.1 mgL⁻¹

Wise city: R5

- **V cycle** **1.5d**
- **Δ COD** **$79\pm 1\%$**
- **Δ BOD₅** **$90\pm 3\%$**
- **Δ NH₃** **0%**
- **Δ N_{tot}** **0%**

- **Wm^{-3}** **7.9mW**
- **CE** **$4\pm 0.1\%$**

Conclusioni

- Abbattimento COD $> 50\%$
- Abbattimento BOD₅ $> 60\%$
- HRT bassi
- Abbattimento NH₃

Acque reflue come fonte di energia

Energia richiesta vs energia prodotta

78.502.352 AES

Energy consumed: 35 kWh /AE*y

0,13 kg COD AES⁻¹

14700 kJ KgCOD⁻¹

313,7 MW

1% total power in Italy (39,7 GW) (TERN, 2007)

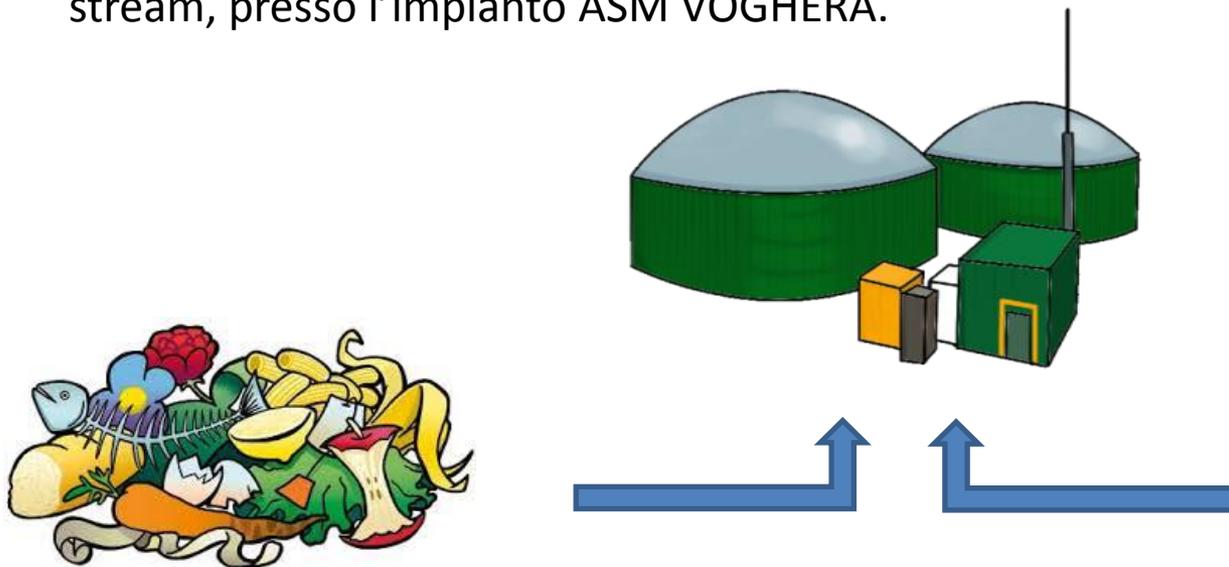
CONVERSION OF 20%: 347,2 MW

CONVERSION OF 100%: 1736,3 MW

DIGESTIONE FANGHI

Recupero energetico di tutti gli stream di scarto, valorizzando le sinergie ove e sfruttando il valore di siti quali gli impianti di depurazione delle acque, siti tecnologicamente rilevanti e capillarmente diffusi sul territorio.

All'interno di questa finalità sono state condotte e monitorate prove di digestione anaerobica con fanghi di depurazione, FORSU e codigestione dei due stream, presso l'impianto ASM VOGHERA.



DIGESTIONE FANGHI

Parametri operativi prova digestione solo fanghi

volume reattore	m^3	1500
alimentazione giornaliera	$m^3/giorno$	55
tempo di ritenzione	giorni	27
Carico organico volumetrico	$Kg\ SV/m^3\ reattore * g$	0.8

DIGESTIONE FANGHI

Monitoraggio dei parametri di processo

	Sostanza secca	Solidi volatili	pH	AGV	ALK	OD20	ABP
	% tq	% ST		mg/l	mg/l	(g O2 kg ST ⁻¹)	NI/kgST
Fango primario (ingresso)	5.3	54.8	6.91	374	3157	40	110
Digestato da fango (uscita)	3.06	49.72	7.23	113	8091	12	20
Separato solido (da fango)	29.04	49.4	8.04	991	5580	14	18
Separato liquido (da Fango)	2.24	44.16	8.19	18	1474	8	15

DIGESTIONE FORSU

Parametri operativi prova digestione solo FORSU

volume reattore	m ³	1800
alimentazione giornaliera	m ³ /giorno	60
tempo di ritenzione	giorni	31
Carico organico volumetrico	Kg SV/m ³ reattore*g	2.4

DIGESTIONE FORSU

Monitoraggio dei parametri di processo

	Sostanza secca	Solidi volatili	pH	AGV	ALK	OD20	ABP
	% tq	% ST		mg/l	mg/l	(g O2 kg ST ⁻¹)	NI/kgST
FORSU	5.26	83.6	5.78	11987	4671	150	550
Digestato da FORSU	3.5	54.2	7.87	1969	10463	60	213
Separato solido da FORSU	37.04	50.4	8.5	1416	5606	44	200
separato liquido da FORSU	3.15	50.3	8.24	5	6323	70	240

CODIGESTIONE FANGHI -FORSU

Parametri operativi digestione fanghi+FORSU

volume reattore	m ³	1800
alimentazione giornaliera	m ³ /giorno	75
tempo di ritenzione	giorni	25
Carico organico volumetrico	Kg SV/m ³ reattore*g	3.6

CODIGESTIONE FANGHI -FORSU

Monitoraggio dei parametri di processo

	Sostanza secca	Solidi volatili	pH	AGV	ALK	OD20	ABP
	% tq	% ST		mg/l	mg/l	(g O2 kg ST ⁻¹)	Nl/kgST
FORSU+ fango	6.15	79.9	5.41	6510	8871	145	501
Digestato	2.3	76.9	7.92	125	11782	59	250
Separato solido	32.7	56	8.75	4652	13165	40	239
separato liquido	1.5	55.18	8.41	496	5387	58	264

Recupero di Fertilizzanti e ammendanti: frazioni solide e liquide

		Digestato da fango	Separato solido da fango	Separato liquido da fango	Digestato da FORSU	Separato solido da FORSU	Separato liquido da FORSU	Digestato da FORSU+ Fango	Separato solido da forsu+ fango	Separato liquido da forsu+ fango
Sostanza secca	% tq	3.06	31.04	2.24	2.91	37.04	3.15	2.3	32.7	1.5
Solidi volatili	% ST	49.72	49.4	44.2	50.4	54.2	50.03	76.9	56	55.2
pH		7.2	8	8.4	7.9	8.5	8.2	7.9	8.8	8.4
Azoto totale	mg/Kg tq	2824	5930	2259	3554	8174	2808	2225	4940	1914
Azoto ammoniacale	mg/Kg tq	1666	1478	1400	2490	2204	2440	1541	1370	1490
Fosforo	mg/Kg tq	198	2078	32	568	4123	39	382	2980	30

Sicurezza ambientale

		Legal limits	Fango primario	Digestato da fango	Separato solido da fango	FORSU	Digestato da FORSU	Separato solido da FORSU	FORSU+ fango	Digestato da FORSU+ Fango	Separato solido da forsu+ fango
Somma PCDD(**)	Ng TEQ eq/Kgss	50	3.9	4.30	3.9	1.64	2.7	2.1	1.8	3.3	3.72
Somma PCDF (***)	Ng TEQ eq/Kgss		2.15	2.9	5.3	1.72	2.9	5	2.0	4.6	4
Somma PCB	mg/kg ss	0.8	< 0,96	< 0,034	< 0,033	< 0,03	< 0,1	< 0,034	< 0,027	< 0,033	< 0,032
IPA	mg/kg ss	6	1.9	2.2	2.65	0.75	0.72	0.39	1.3	1.45	1.1
Salmonella	MPN/25g	0-100	presente	assente	assente	assente	assente	assente	assente	assente	assente
Coliformi fecali	MPN/g	10.000	730.000	1.500	1.100.000	29.000	2.000	5.400	68.900	2.500	5.000
Escherichia coli	MPN/g	1.000	19.000	640	2.000	98.600	10	300	260.000	100	400
Streptococchi fecali	MPN/g		185.000	100	1.200	62.000	200	900	65.000	600	700
Enterobatteriacee	UFC/g		56000	21000	28000000		400	1200		100	10000
Uova di elminti vitali	MPN/g SS	assenti	Assenti	Assenti	Assenti	Assenti	Assenti	Assenti	assenti	assenti	assenti
Clostridium perfringens	UFC/g		50.000	380.000	1.200.000	130.000	34.000	31.000	4.000	15.000	10.000
listeria spp	p/a		assente	assente	assente	assente	assente	assente	assente	assente	assente

Linee guida lombardia utilizzo dei fanghi in agricoltura

Parametro	u. d m.	Valori limite	
		Fango di alta qualità	Fango idoneo
pH		5,5 < pH ≤ 11	
Sostanza secca (residuo secco a 105°C)	%		
Residuo secco a 600°C	%		
SSV/SST*	%	< 60	< 65
Metalli pesanti			
Cadmio	mg/kg ss	≤ 5	≤ 20
Cromo totale	mg/kg ss	≤ 150	≤ 750
Mercurio	mg/kg ss	≤ 5	≤ 10
Nichel	mg/kg ss	≤ 50	≤ 300
Piombo	mg/kg ss	≤ 250	≤ 750
Rame	mg/kg ss	≤ 400	≤ 1000
Zinco	mg/kg ss	≤ 600	≤ 2500
Arsenico	mg/kg ss	≤ 10	-
Parametri agronomici			
Carbonio organico	% ss	> 20	
Azoto totale	% ss	> 1,5	
Fosforo totale	% ss	> 0,4	
Potassio totale	% ss		
Grado di umificazione	DH%		
Inquinanti organici			
IPA	mg/kg ss	< 6	
PCB	mg/kg ss	< 0,8	
PCDD/F	ng TEQ/kg ss	< 50	
Parametri microbiologici			
Salmonelle	MPN/g ss	< 100	
Coliformi fecali	MPN/g ss	< 10.000	
Parametri biologici			
Test di fitotossicità	Test di accrescimento o di germinazione. Per l'accrescimento si applica la metodologia di cui all'Allegato B della d.g.r. 16/04/2003 n. 7/12764. Indice di germinazione (diluizione al 30%) deve essere > 60%		

Parametri del compost usato in agricoltura

Limiti Allegato 2 - D.lgs. 75/2010	
Umidità	<50%
pH	6-8,5
Azoto Organico ss	> 80% Azoto totale
Carbonio Organico ACM-ACV	≥20% d.m.
Rame - Cu	150 p.p.m d.m.
Zinco - Zn	500 p.p.m d.m.
Piombo - Pb	140 p.p.m d.m.
Cadmio - Cd	1,5 p.p.m d.m.
Nickel - Ni	50 p.p.m d.m.
Mercurio - Hg	1,5 p.p.m d.m.
Cromo esavalente - Cr VI	0,5 p.p.m d.m.
Plastico, vetro e metalli ($\varnothing \leq 0,2$ mm)	$\leq 0,5$ % d.m.
Inerti (pietre, litoidi) ($\varnothing \leq 5$ mm)	< 5% d.m.
Salmonelle	absent in 25 g f.m.
Escherichia Coli	$\leq 1 \times 10^3$ UFC per g
Indice di Germinazione	>60%
W. Zanardi CIC - GAIA Asti 2013	

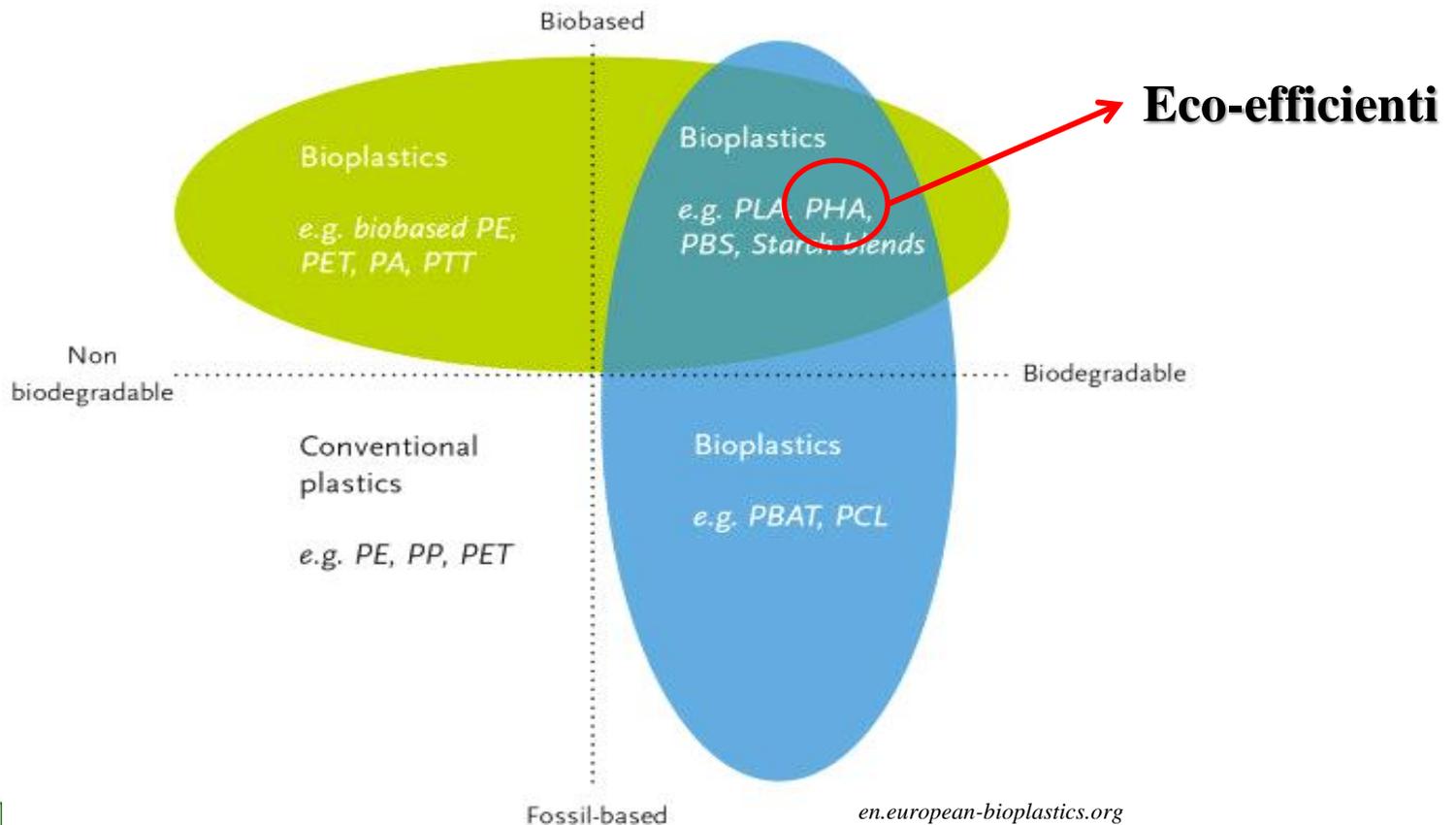
Conclusioni

- Separato solido concentra azoto e fosforo
- Digestione Anaerobica porta a sostanziale sanificazione del fango

Plastiche tradizionali VS Bioplastiche

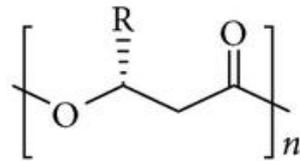
Bioplastiche: che cosa sono?

*“The term bioplastics encompasses a whole family of materials which differ from conventional plastics insofar as that they are **biobased**, **biodegradable**, or **both**”*
(en.european-bioplastics.org)



Poliidrossialcanoati (PHA)

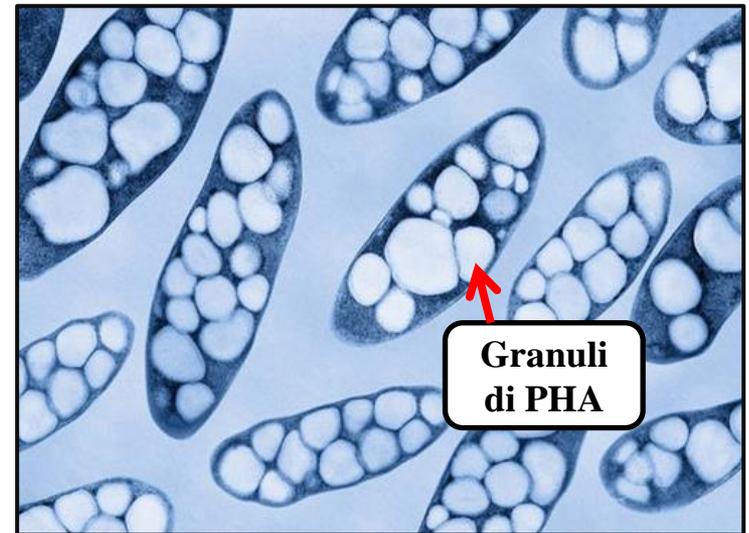
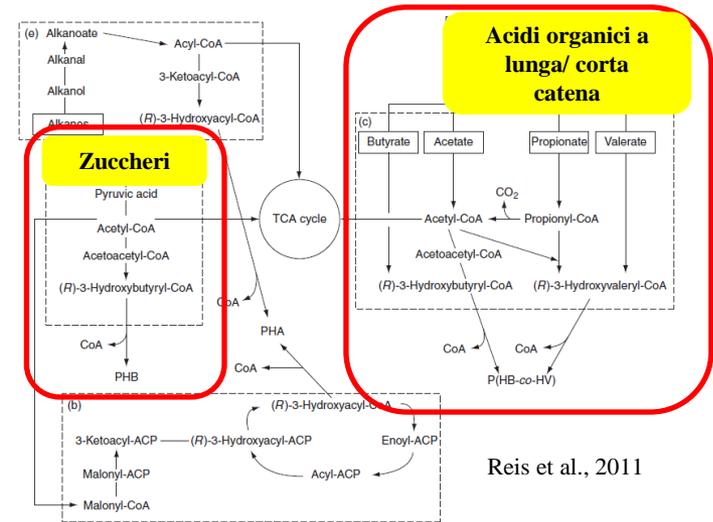
- **Poliesteri biodegradabili e bio-based**
- **Sintetizzati da diverse specie batteriche**



Poly(3-hydroxyalkanoates) [PHA]

R group

—CH ₃	Poly(3-hydroxyalkanoates)	PHB
—CH ₂ -CH ₃	Poly(3-hydroxyvalerate)	PHV
—(CH ₂) ₂ —CH ₃	Poly(3-hydroxyhexanoate)	PHHex
—(CH ₂) ₄ —CH ₃	Poly(3-hydroxyoctanoate)	PHO
—(CH ₂) ₆ —CH ₃	Poly(3-hydroxydecanoate)	PHD
—CH ₂ — 	Poly(3-hydroxy-5-phenylvalerate)	PHPV



Poliidrossialcanoati (PHA)

Proprietà principali

- Polimeri termoplastici
Temperatura di lavoro
(da -30 °C a 120 °C, PHB)
- Biocompatibili
- Resistenti all'acqua

Applicazioni

- Packaging e utensili vari
- Dispositivi medici e “drugs delivery carriers”
- Applicazioni ambientali

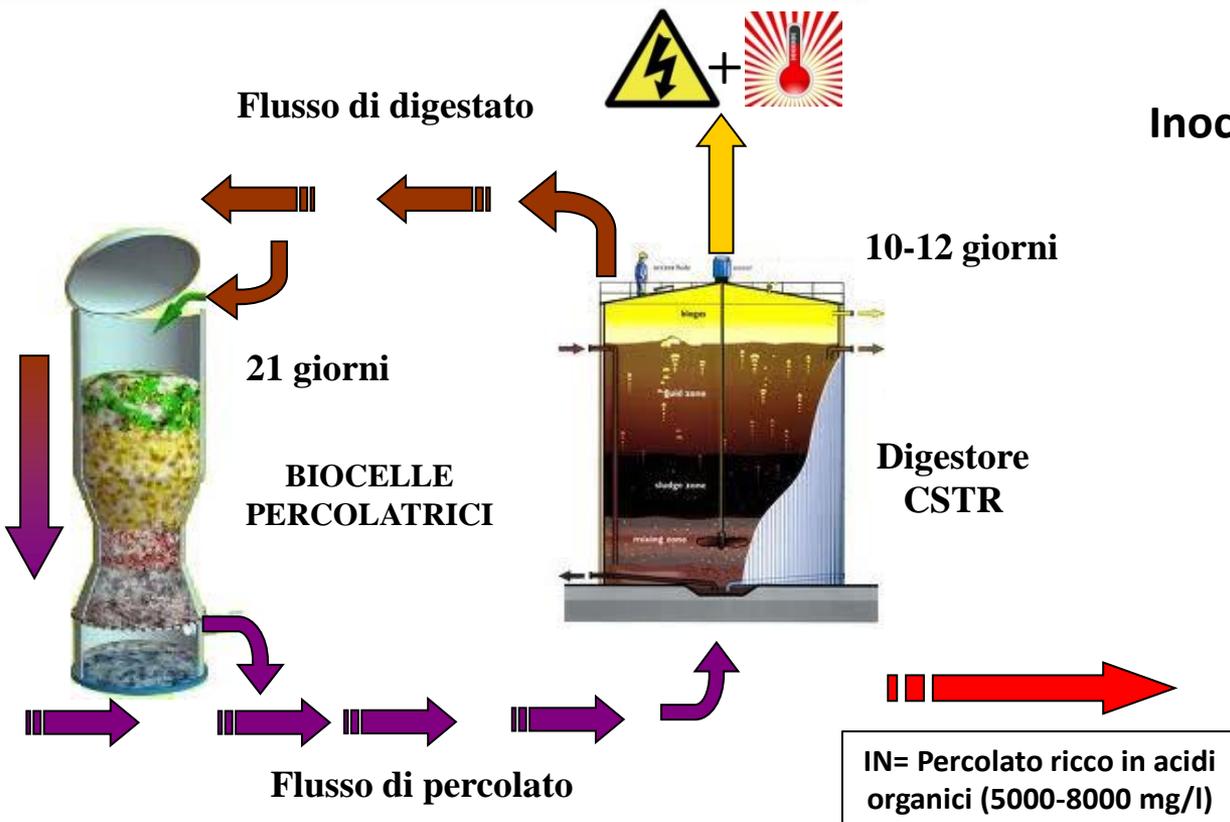


	PHB	PHBHV _{20%}	PP
Densità (g/cm ³)	-	1.25	0.9
T transizione vetrosa[°C]	+15	-1	-10
T fusione [°C]	175	145	176
Cristallinità [%]	80	42	70
Resistenza a trazione [MPa]	40	30	38
Allungamento a rottura[%]	8	50	40
Resistenza a flessione[GPa]	3,5	1	-
Resistenza agli acidi	1	1	4
Resistenza agli alcali	1	1	4
Resistenza agli alcoli	2	2	4
Resistenza ai grassi e agli oli	3	3	2/3
Resistenza agli UV	2	2	1

Resistenza chimica e agli UV: 1= bassa, 2= media, 3= buona, 4= ottima;

PHB= poliidrossibutirrato; PHBHV= poliidrossibutirrato-co-valerato; PP= polipropilene

Valera, 2001



Inoculo da vasca sedimentazione



OUT= Biomassa ricca in PHA

	Accumulo
Durata test (h)	7.2
T (° C)	25
PHA _{fine test} (% , g PHA g VSS ⁻¹)	82.4 (71.8%, g PHA g TSS ⁻¹)
Y _{PHA/S} (Cmmol-PHA Cmmol-S ⁻¹)	0.6
Produttività PHA (g PHA l ⁻¹ d ⁻¹)	0.9

Grazie per l'attenzione!

Fabrizio Adani
Full Professor



Fulvia Tambone
Associate Professor



Barbara Scaglia
Researcher



Giuliana D'Imporzano
Agronomist



Valentina Orzi
Agronomist



Silvia Salati
Environmental Scientist



Samuele Lonati
Agronomist



Tommy Pepè Sciarria
Biologist



Carlo Riva
Agronomist



Davide veronesi
Agronomist



Luca Corno
Agronomist

