

Biogas, passato e futuro tra sostenibilità ambientale, economica e sociale.

F. Adani, G. D'Imporzano,

GRUPPO RICICLA

DiSAA - Università degli Studi di Milano

Lab. Suolo e Ambiente, via Celoria 2, 20133 Milano

Lab. Biomasse e Agroenergia, Parco Tecnologico Padano, Via Einstein, Loc. C.na Codazza, 26900 Lodi.

Tel. 02 503 16546 Fax. 02 503 16521

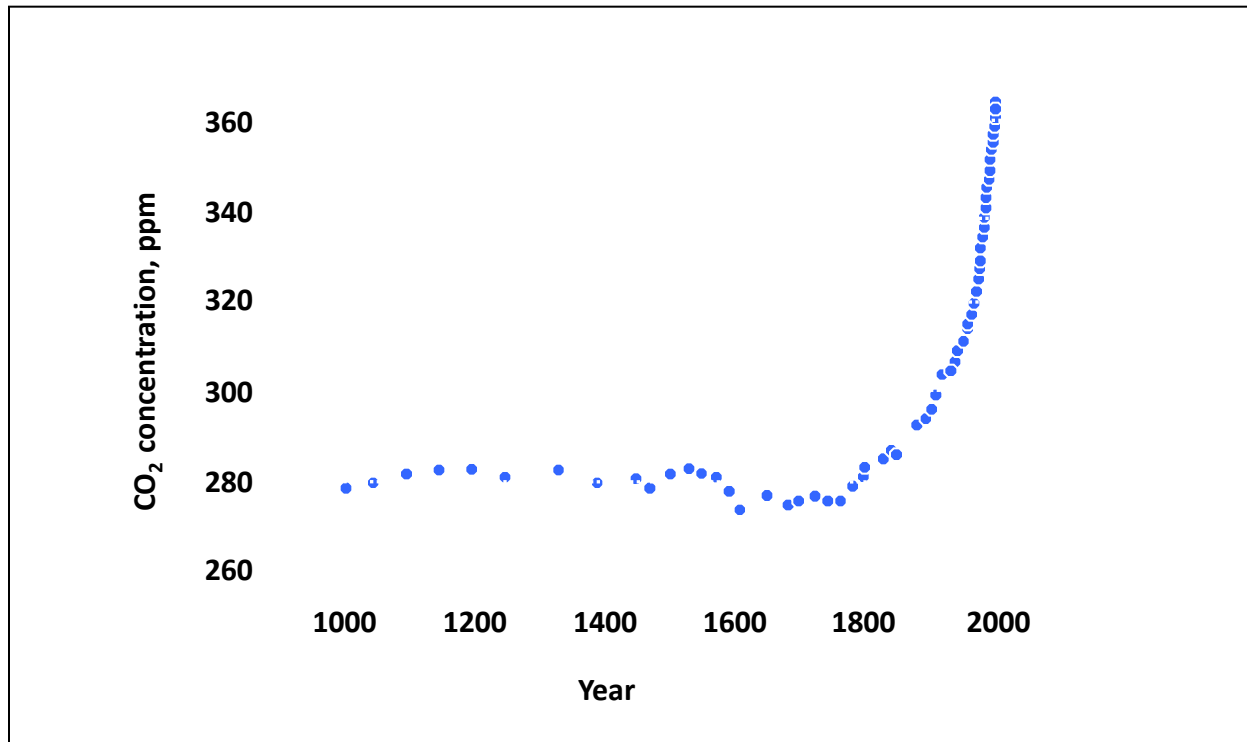
<http://users.unimi.it/ricicla> - e-mail: gruppo.ricicla@unimi.it

Ricominciamo dall'inizio.....

Perché il biogas ???

What's the problem?

Atmospheric CO₂ levels and other greenhouse gases



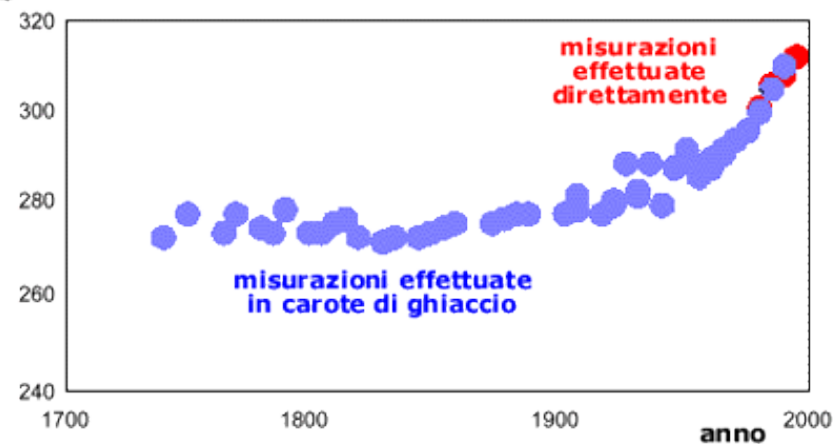
Atmospheric buildup of CO₂ has occurred over the last 200 years. CO₂ conc. Was 278 ppm, today it is currently 370 ppm.

I gas serra più
dannosi

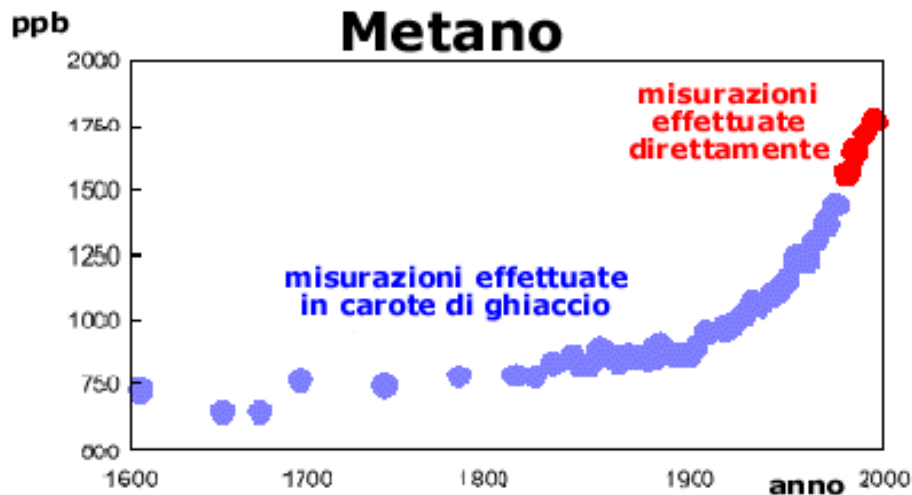
Anidride carbonica

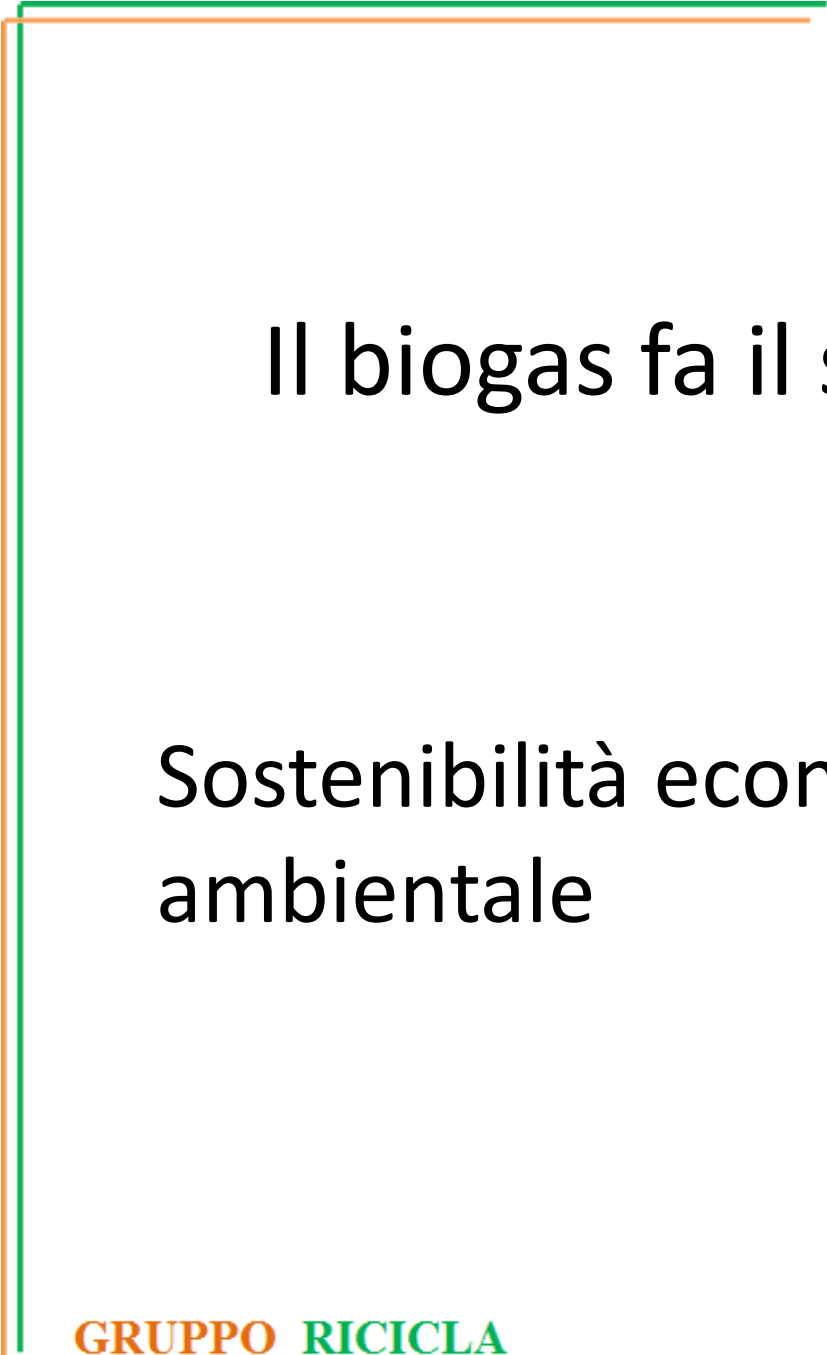


Protossido di azoto



Metano





Il biogas fa il suo dovere ????

Sostenibilità economica, energetica e
ambientale

Energetica

$$\text{EROEI} = \frac{\sum_{1}^n \mathbf{E}_{\text{Ricavata}}}{\sum_{1}^n \mathbf{E}_{\text{Investita}}}$$

Tabella 3.2: principali colture erbacee ed arboree ritenute idonee ai processi di trasformazione termochimica (Venturi e Monti, 2005 modificato).

Specie	Sostanza secca	P.C.I.	Output	Output/Input ²	Energia netta (output - input)
	(t/ha)	(GJ/t)	(GJ/ha)		(GJ/ha)
Erbacee annuali					
Sorgo da fibra	20-30	16,7-16,9	334-507	13-39	309-494
Kenaf	10-20	15,5-16,3	155-326	6-25	130-313
Canapa	8-15	16,0-18,0	128-270	5-20	119-227
Mais	8-15	16,5-16,8	132-252	5-19	127-233
Erbacee poliennali					
Miscanto	15-30	17,6-17,7	264-531	12-66	242-523
Canna comune	15-35	16,5-17,4	247-609	11-76	225-601
Panico	10-25	17,0-17,4	170-435	8-54	148-427
Arboree (SRF)¹					
Pioppo	9-20	17,8-19,3	160-386	10-35	144-375
Salice	10-15	17,8-18,4	178-276	11-25	162-265
Robinia	10-13	17,8	178-231	11-21	162-220

¹ Taglio annuale.

² Gli input considerati variano da 13 a 25 e da 8 a 22 GJ/ha/anno, rispettivamente per le colture erbacee annuali e poliennali; 11-16 GJ/ha/anno per le SRF.

I dati sono in genere riferiti a prove parcellari e pertanto verosimilmente sovrastimati rispetto a quelli ottenibili da coltivazioni estensive e meccanizzate.

De Gobbi et al., Progetto BIOCOLT "Colture Energetiche per il disinquinamento della laguna di Venezia"

Non sempre poi la trasformazione in energia/biofuel è conveniente

Tabella 4.8 - Valore energetico netto della produzione di etanolo nella letteratura

Autore e data	Materia prima	Paese	NEV [BTU]*	NE Ratio**
Marrow (1987)	barbabietola/grano			
Ho (1988)	mais	USA	-4	0,95
Marland - Turhollow (1990)	mais	USA	18,1	1,28
Pimentel (1991)	mais	USA	-33,5	0,69
Commissione Europea (1994)	grano/barbabietola	EU		0,96/1,04
Keeney - DeLuca (1992)	mais	USA	-8,4	0,9
Levy (1994)	grano/barbabietola	Francia		1,91/ 1,31
Lorenz - Morris (1995)	mais	USA	30,5	1,57
Shapouri <i>et al.</i> (1995)	mais	USA	20,4	1,24
Gover (1996)	grano	UK		0,93
Agri.and Agri-Food, CAN (1999)	mais	USA	29,8	1,55
Wang <i>et al.</i> (1999)	mais	USA	22,5	1,42
Richards (2000)	grano	UK		1,1
Pimentel (2001)	mais	USA	-33,5	0,69
Shapouri e al (2002)	mais	USA	21,1	1,34
Ademe (2002)	grano/barbabietola	Francia		2,05
Macedo <i>et al.</i> (2003)	canna da zucchero	Brasile		8,3-10,2
Kim - Dale (2005)	mais	USA	23,8-35,4	1,62
Hill <i>et al.</i> (2006)	mais	USA		1,25

* British thermal unit (BTU) = 1055 joules (1.055 kJ).

** per gli studi USA la conversione è frutto di ns. elaborazione.

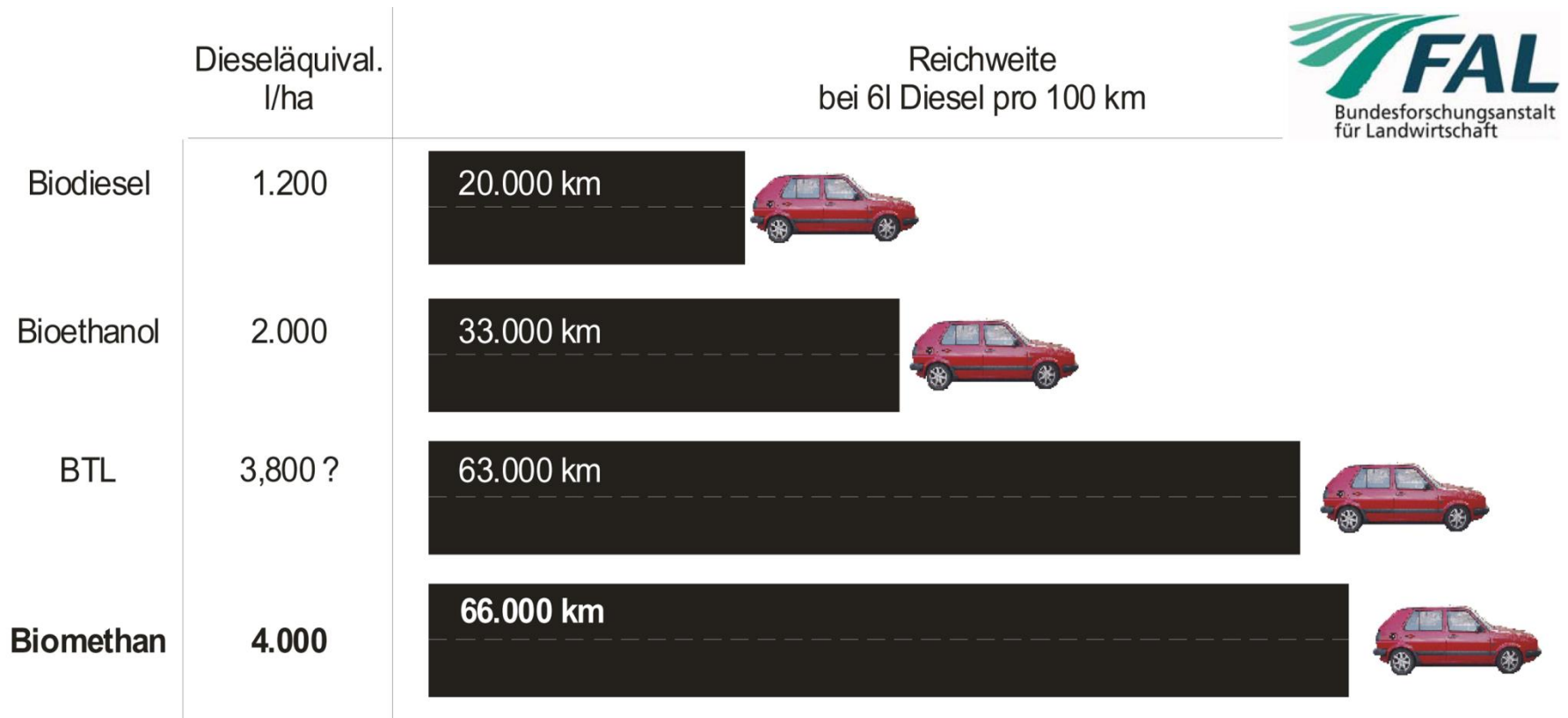
Bilancio energetico biogas (1MW)

Coltura	Bilancio	
	Eco.	Ene.
	€/€	kWe/kWe
Mais I° raccolto	3,14	1,88
Segale - Mais III° raccolto	2,94	1,65
Mais II° raccolto - Erba Silo	2,47	1,80
Sorgo - Triticale	2,79	1,78
Triticale - Mais II° Raccolto	3,44	1,99
Arundo Low	4,22	8,69
Arundo High	5,68	11,96

DiSAA/DIA (UNIMI): Schievano, Bacenetti, Fiala, Adani

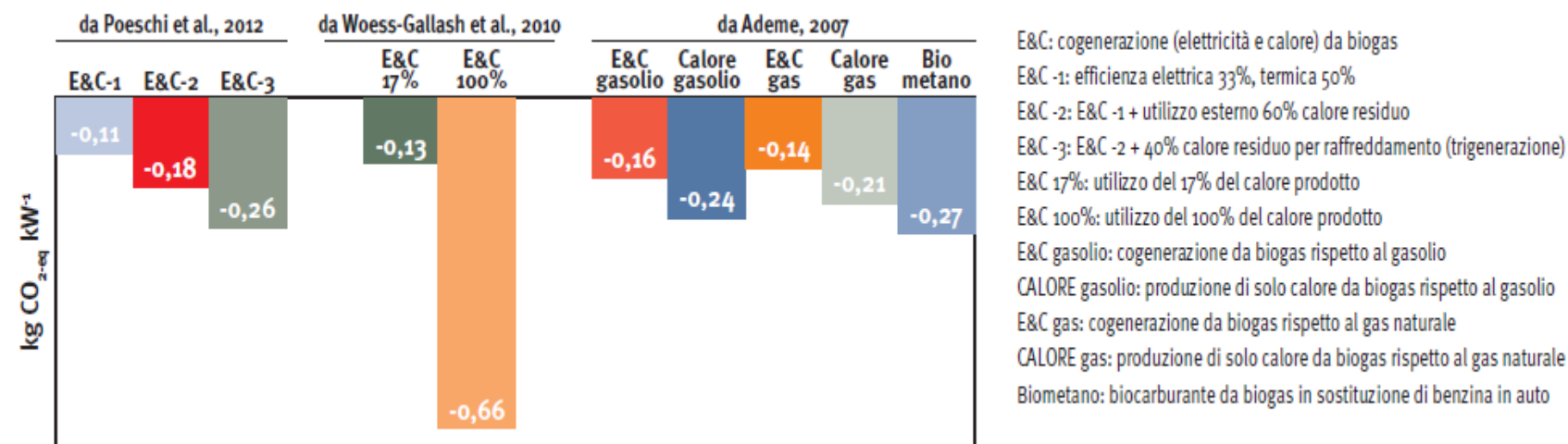
Efficienza :

Filiere energetiche a confronto



Ambientale

[FIG. 2 - RIDUZIONE DI EMISSIONI DI GAS AD EFFETTO SERRA IN DIVERSI SCENARI DI PRODUZIONE DI ENERGIA*

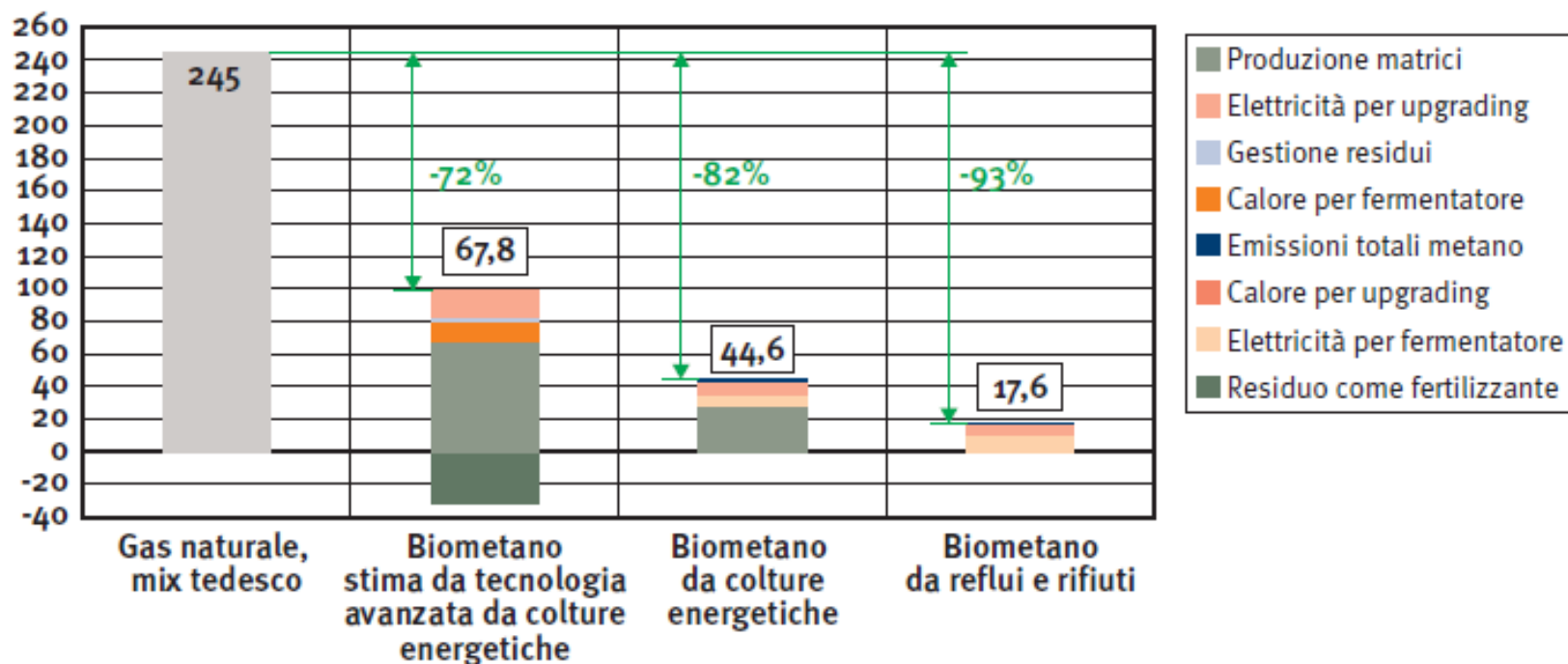


E&C: cogenerazione (elettricità e calore) da biogas
 E&C -1: efficienza elettrica 33%, termica 50%
 E&C -2: E&C -1 + utilizzo esterno 60% calore residuo
 E&C -3: E&C -2 + 40% calore residuo per raffreddamento (trigenerazione)
 E&C 17%: utilizzo del 17% del calore prodotto
 E&C 100%: utilizzo del 100% del calore prodotto
 E&C gasolio: cogenerazione da biogas rispetto al gasolio
 CALORE gasolio: produzione di solo calore da biogas rispetto al gasolio
 E&C gas: cogenerazione da biogas rispetto al gas naturale
 CALORE gas: produzione di solo calore da biogas rispetto al gas naturale
 Biometano: biocarburante da biogas in sostituzione di benzina in auto

[*Valori espressi su kilowattora di energia prodotta (rielaborazione Gruppo Ricicla)

Gruppo Ricicla, TV 29, 2012

[FIG. 3 - EMISSIONI DI GAS SERRA NELLA PRODUZIONE ED UTILIZZO DI BIOMETANO DA COLTURE ENERGETICHE E REFLUI/RIFIUTI, CONFRONTO CON GAS NATURALE



[Fonte: da Adelt et al., 2011; rielaborazione Gruppo Ricicla

Gruppo Ricicla, TV 29, 2012

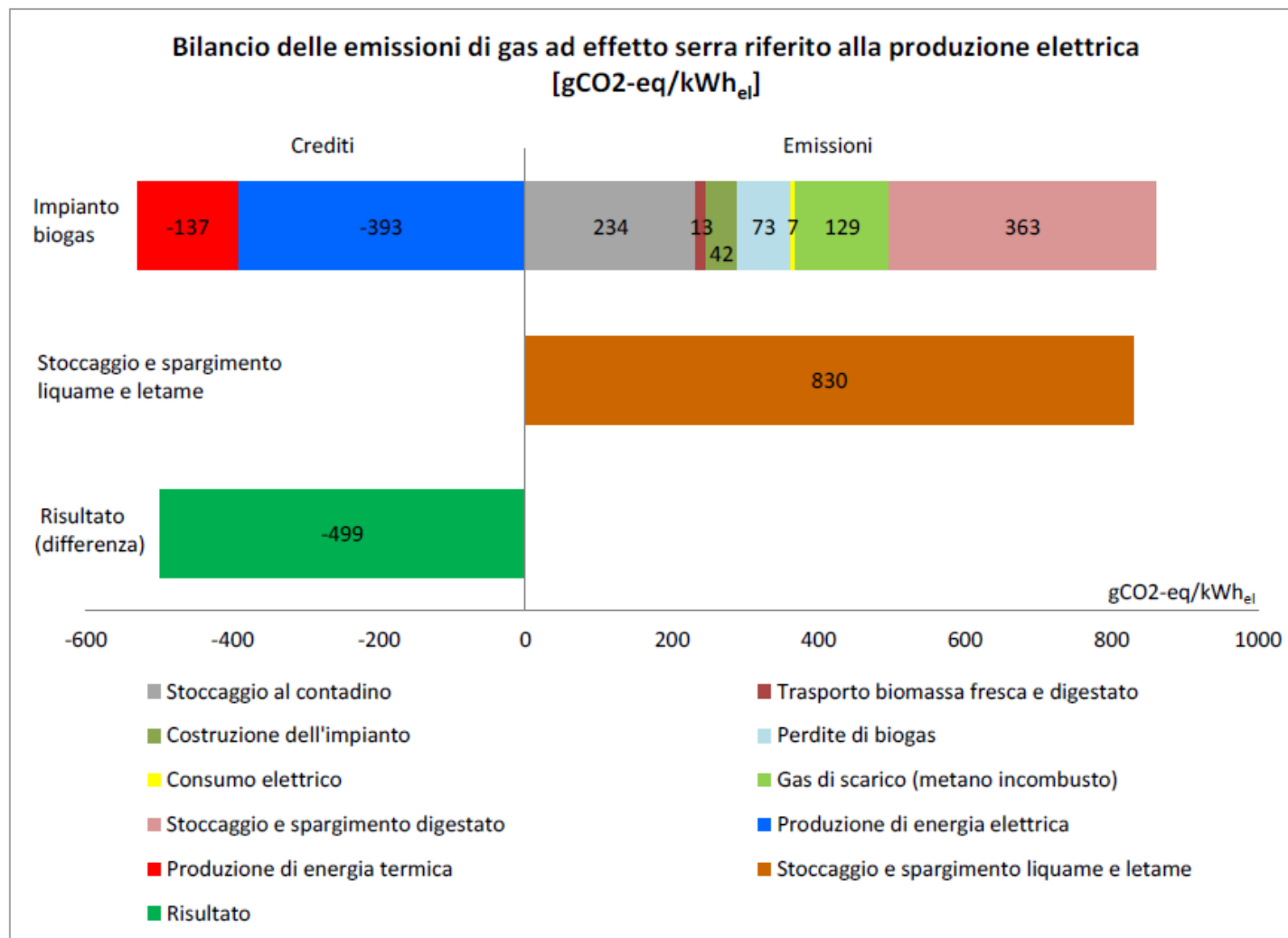


Figura 21: Rappresentazione grafica dei risultati del bilancio ambientale dell'impianto consortile di media taglia (valori in g CO₂-eq/kWh_{el}).

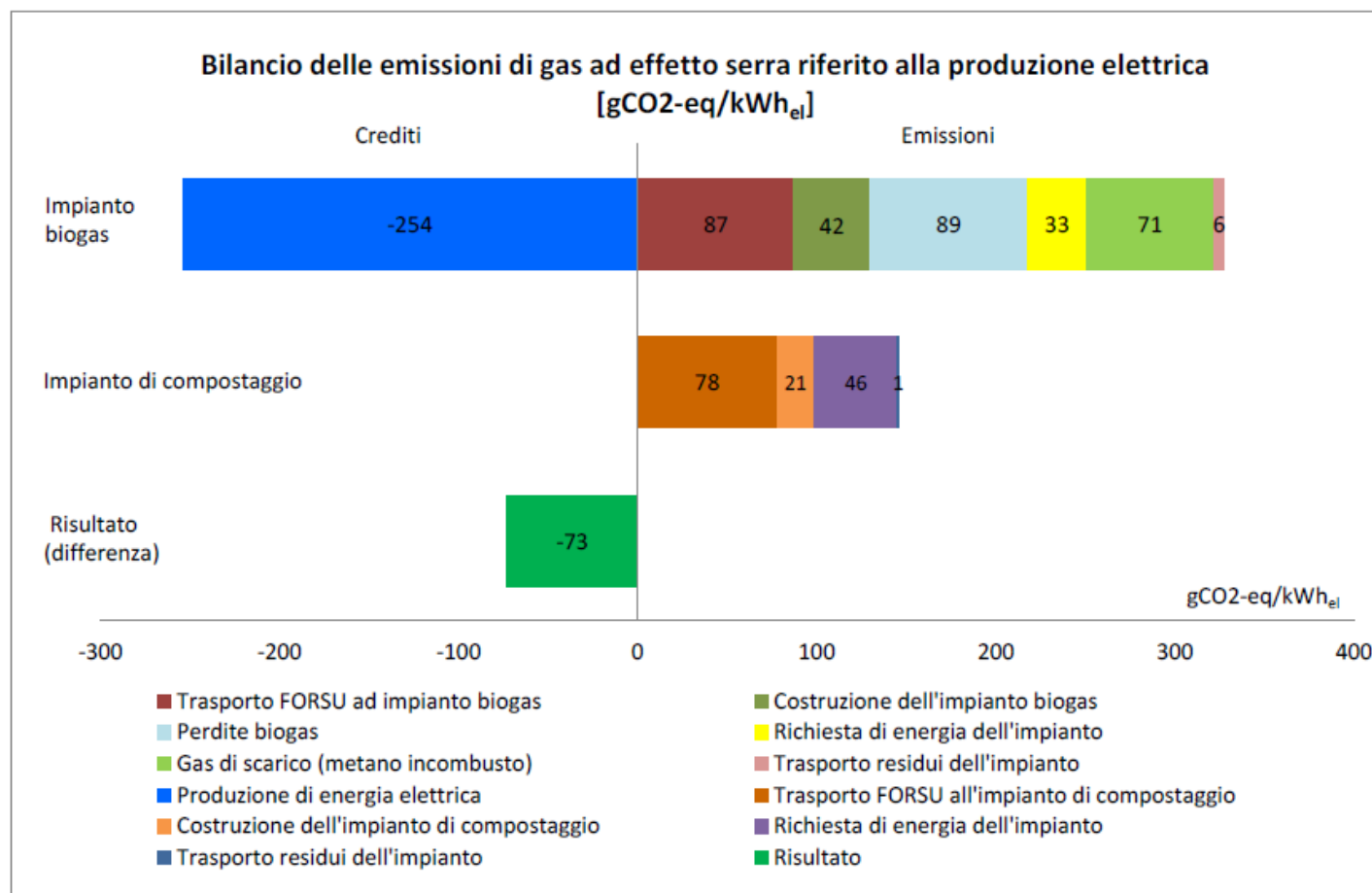


Figura 30: Rappresentazione grafica dei risultati del bilancio ambientale dell'impianto a FORSU di Lana (valori in g CO₂-eq/kWh_{el}).

Impianto FORSU 12.000 t/a

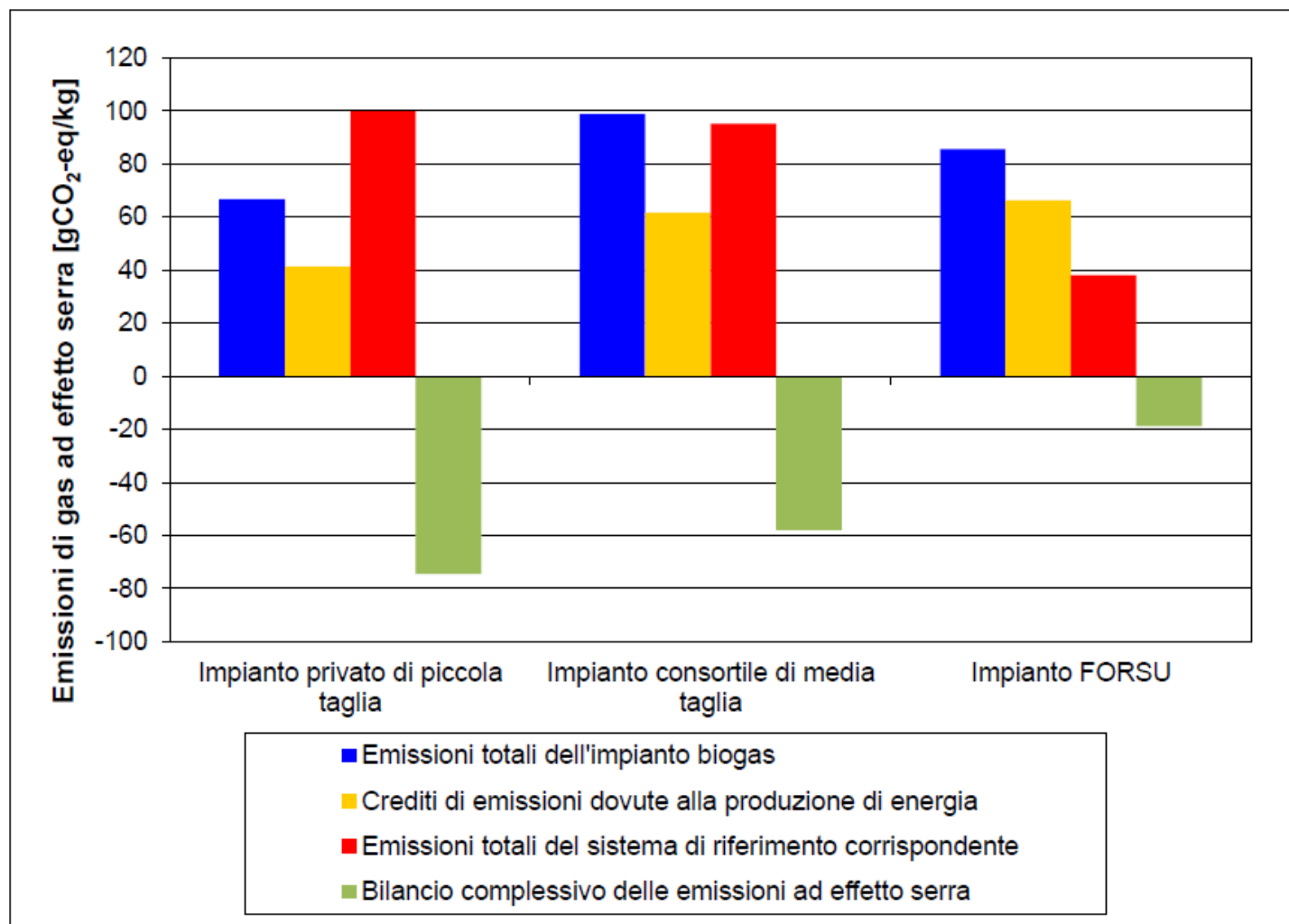
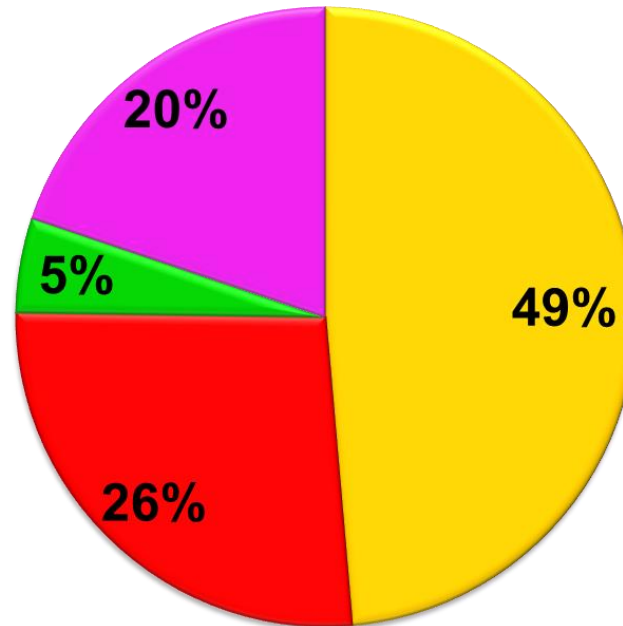


Figura 33: Confronto tra i bilanci ambientali degli impianti a biogas analizzati.

Tipologia di impianti ...usiamo il caso Lombardia

Alimentazione media megadigestore

**LOMBARDIA:
282 MW**



■ Effluenti Zootecnici

■ Cereali Estivi/Mais

■ Cereali A. Vernini/Triticale

■ Sottoprodotti

Carbon footprint				
Carbon footprint	Impatto effettivo (kg CO ₂ eq)/kWh	Impatto mancato del metano emesso (liquame) (kg CO ₂ eq/kWh)	Δ	Diff.
Mix nazionale	0.565		0.565	
Biogas solo mais senza post- combustore ^a	0.40	0	0.4	-30%
Biogas mais e liquame (mancato impatto del liquame) senza post combustore	0.47	0.246	0.229	-59%
Biogas mais e liquame (mancato impatto del liquame) con post combustore	0.26	0.246	0.018	-85%

^a4% CH₄ in biogas

118 indicatori specifici
(midpoint)

Climate change
Ozone depletion
Human toxicity
Ionising radiation
Photochemical oxidant formation
Particulate matter formation
Climate change
Terrestrial ecotoxicity
Terrestrial acidification
Agricultural land occupation
Urban land occupation
Natural land transformation
Marine ecotoxicity
Marine eutrophication
Freshwater eutrophication
Freshwater ecotoxicity
Water depletion
Metal depletion
Fossil depletion

vengono aggregati, attraverso
un “set di pesatura”, in
3 indicatori **endpoint**



human health

ecosystems

resources

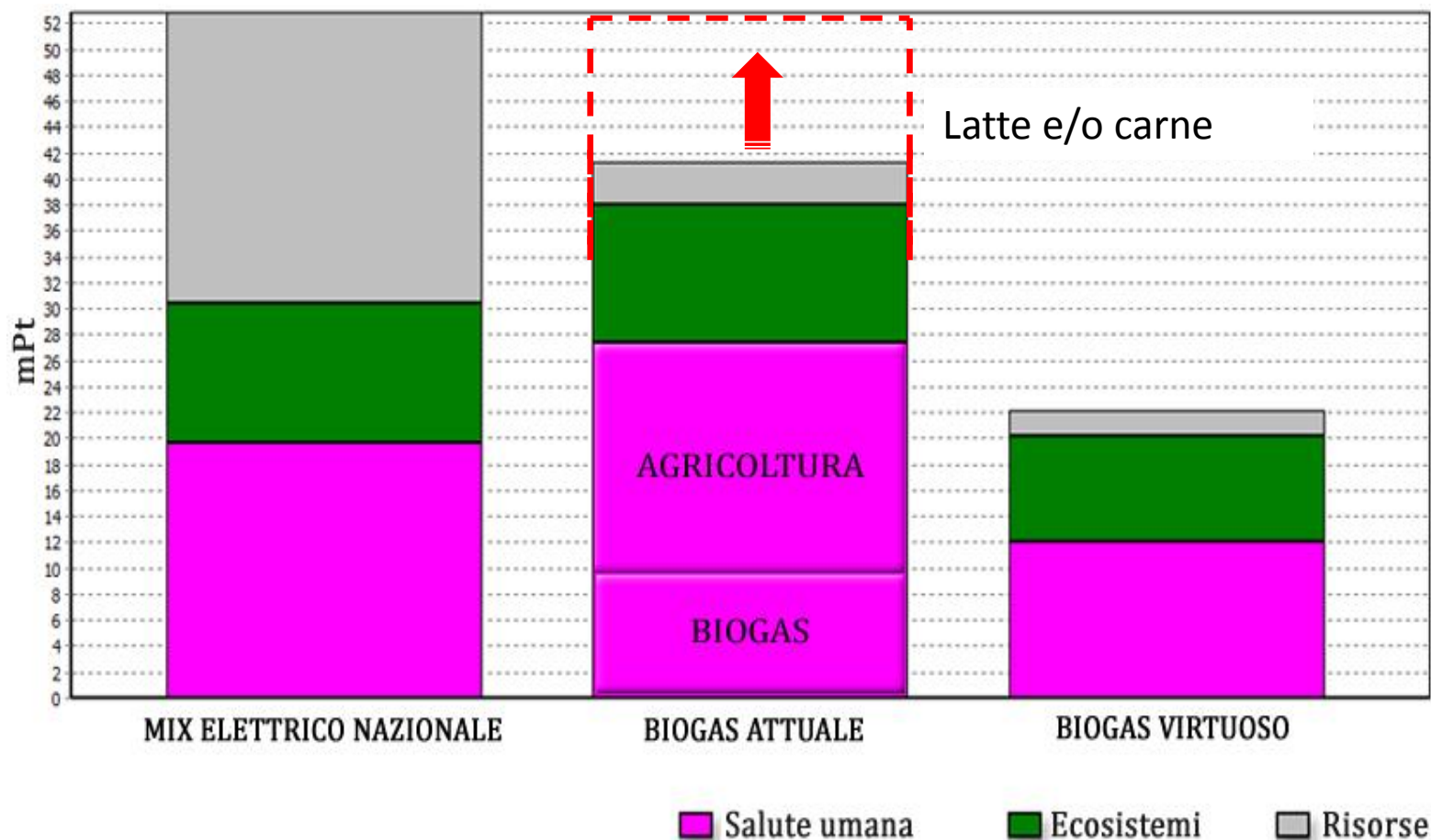


Figura 4.1.4. Valutazione dell'impatto – provincia di Cremona: nello scenario attuale viene esplicitata la quota parte del agricoltura e quella del processo di gestione anaerobica e valorizzazione del biogas

UNITÀ FZ: 1kWh elettrico; metodo: ReCiPe Endpoint (H) V1.06/Europe ReCiPe H/A; mPt: millipoints;

EMISSIONI MOTORE

Tab 2. Limiti di riferimento

Inquinanti in emissione	Valori di riferimento normativo (mg/m ³)	sistemi di abbattimento adottati nei progetti autorizzati nella provincia di Bologna
COT (carbonio organico totale)	150	-
Monossido di carbonio	800	combustione magra tipo LEANOX
Ossidi di Azoto	500	La rimozione degli ossidi di azoto (NO _x) viene effettuata per riduzione selettiva catalitica (SCR) o non catalitica (SNCR).
Composti del cloro	10	-

* valore espresso come COTNM ovvero carbonio organico totale non metanico

Tabella 1 – Fattori di emissione medi, minimi e massimi riscontrati in letteratura tecnico-scientifica di livello internazionale (vedi bibliografia), delle emissioni di interesse locale da co-generatori a biogas, in impianti della dimensione di riferimento (0.5 - 1 MW di potenza elettrica). Calcolo dei flussi giornalieri delle componenti emissive da un impianto da 1 MW di potenza elettrica.

	media e dev.st	g/GJ		Limite legge*	media e dev.st	kg/GWh el		Limite legge*	media e dev.st	kg /giorno		Limite legge*
		Min	Max			Min	Max			Min	Max	
Emissioni di interesse locale												
CO	199 ± 134	64	434	233	1795 ± 1202	579	3910	2096	37.5 ± 25.1	12.1	81.8	44
HC	232 ± 205	16	466		2088 ± 1843	147	4195		43.7 ± 38.6	3.1	87.8	
NOx come NO2	197 ± 113	31	362	210	1771 ± 1021	277	3258	1886	37.1 ± 21.4	5.8	68.2	39
NMVOC	9 ± 5	3	14	70	83 ± 42	23	122	629	1.7 ± 0.9	0.5	2.5	
Particulates <10 (PM10)	4.6 ± 4.4	1.3	9.5	5	41.1 ± 39.5	11.3	85.9	42	0.9 ± 0.8	0.2	1.8	13
Formaldehyde	15 ± 8	9	28		139 ± 68	78	255		2.9 ± 1.4	1.6	5.3	1
SOx come SO2	28 ± 23	4	64	163	252 ± 203	38	574	1467	5.3 ± 4.2	0.8	12.0	
N2O	1.9 ± 0.5	1.6	2.3		17.5 ± 4.3	14.4	20.5		0.4 ± 0.1	0.3	0.4	31
PCDD/F + PBDD/F	5.0 µgTEQ /GJ				45 µgTEQ /GWh el				0.94 µgTEQ /d			
Emissioni di interesse globale												
CH4	213 ± 287	4	607		1920 ± 2584	35	5465		40.2 ± 54.1	0.7	114.3	
CO ₂ netta ad effetto serra	0	0	0		0	0	0		0	0	0	
kg CO₂ evitate per produzione elettrica		202			1814				11677			

* DM 2 aprile 2002, n. 60, D.Lgs 152/06 ss.mm.ii.

(by Gruppo Ricicla, 2012)

Tabella 2 - Emissioni specifiche di inquinanti, espresse in g/GJ di combustibile. Confronto di un cogeneratore a biogas (dato medio) con altre forme di produzione elettrica da combustibili (a scale differenti)

	Biogas (1MW) media ^a	Biogas (1 MW) limiti legge ^b	Turbogas da gas naturale (>700 MW) ^{c, d, e, f}	Carbone (> 50 MW) ^{e, f}	Heavy fuel oils (> 50 MW) ^{e, f}	Olio combustibile (1MW) ^{c, g}	Gas naturale (3-50 MW) ^{d, g}	Biomassa (>50 MW) ^{d, e, f, g}	Caldaia tradizionale a metano ^h
CO	199	233	14	9	15	3	102	160	29
NOx come NO2	197	210	36	209	142	281	103	60	90
NMVOC come C	9	70	3	1	2	31	100	32	0.14
Particulates <10 (PM10)	5	5	2	11	44	10	*	102	*
SOx come SO2	28	163	0.9	820	495	141	0.2	17	*

* Dato mancante

^a Media dati di letteratura (Auer et al, 2006; Edelmann et al., 2001; Hartmann, 2006; Thyø and Wenzel, 2007; Ecoinvent, 2010; Borjesson and Berglund, 2006; Nielsen et al., 2008; Nielsen et al., 2010)

^b Limiti di legge per cogeneratori a biogas (DM 2 aprile 2002, n. 60, D.Lgs 152/06 ss.mm.ii.)

^c Fraternali, D., Selmi O.O., RICHMAC Magazine – Nov 2003. Dati US-EPA.

^d Valerio F., Epidemiol Prev 2012; 36 (1): 16-26.

^e Nielsen et al 2010; Buwal, 2001.

^f US EPA (2010); EMEP/EEA emission inventory guidebook 2013.

^g Guis, 2006; NERI, 2007; EMEP, 2009; Kroon, 2008; Visschedijk, 2007; VROM, 2008; De Wilde, 2006; Kroon, 2009; Kroon, 2008a; Olthuis, 2007; Engelen, 2009.

^h Cernuschi and Giugliano, 1994.

(by Gruppo Ricicla, 2012)

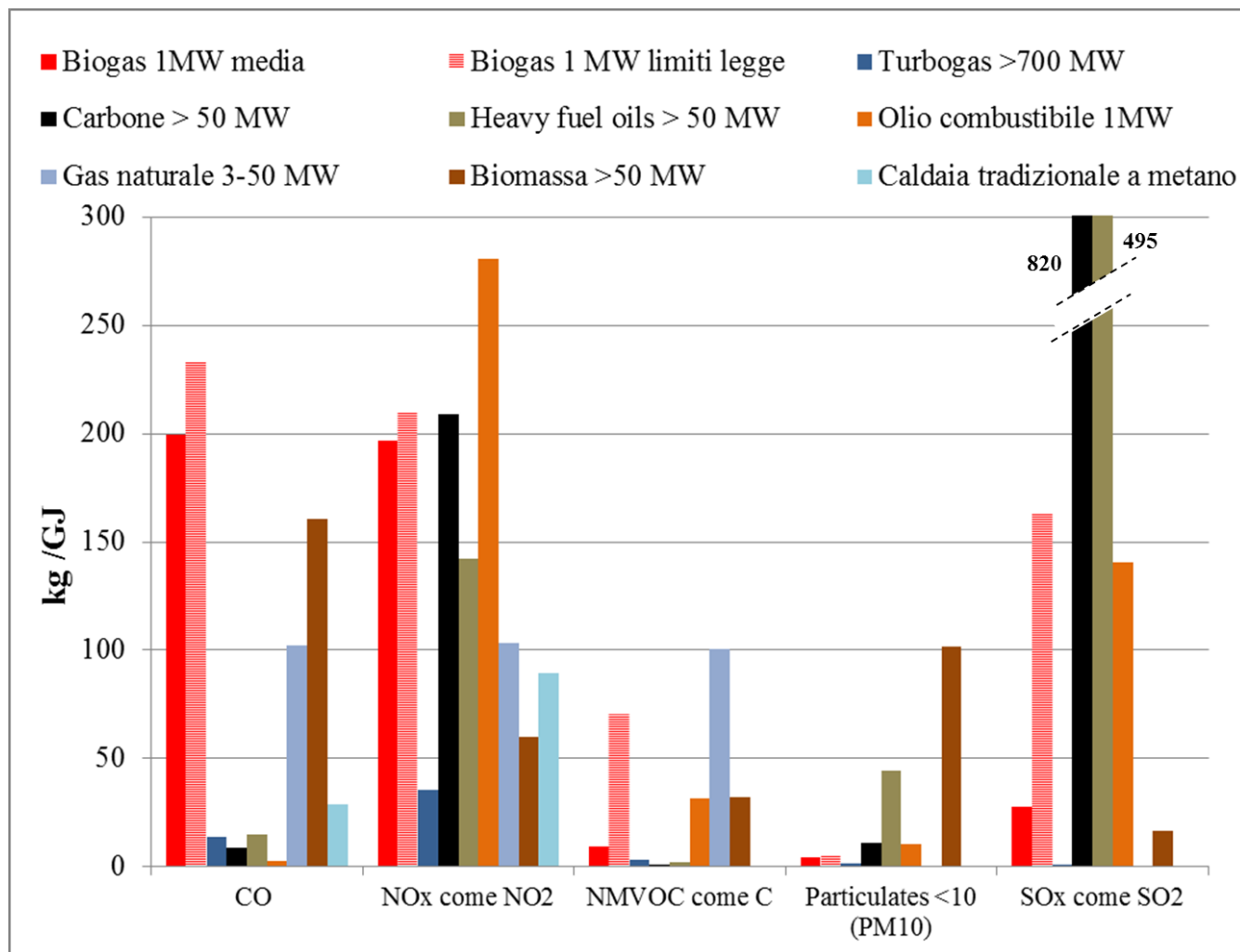


Figura 3 - Emissioni specifiche di inquinanti, espresse in g/GJ di combustibile. Confronto di un cogeneratore a biogas (dato medio) con altre forme di produzione elettrica da combustibili (a scale differenti) (by Gruppo Ricicla, 2012)

Tab. 4. Composizione chimica del biogas, confronto fra biogas da biomasse e biogas da discarica

Parametri	unità	Biogas da discarica	Biogas da Digestione Anaerobica	Gas naturale Mare del nord
Potere calorifico	Mj/Nm ³	16	23	40
Metano	vol %	45	63	87
Idrocarburi sup.	vol %	0	0	12
Idrogeno	% vol	0-3	0	0
Monossido di carbonio	% vol	0	0	0
CO ₂	% vol	40	47	1,2
Azoto	% vol	15	0,2	0,3
Ossigeno	% vol	1	0	0
H ₂ S	ppm	≤100	≤10000	1-2
Ammoniaca	Ppm	5	≤100	0
Cloro totale	Mg/Nm ³	20-200	0-5	0

Fonte: International Energy Agency (IEA Bioenergy)

Tabella 5. Fattori di emissione prodotti dalla combustione del metano

Tabella 1 – Fattori di emissione di inquinanti prodotti dalla combustione del metano in turbine a gas

Combustibile	Gas naturale (in turbogas)		Olio combustibile	
Sostanze inquinanti	Fattori di emissione		Fattori di emissione	
	lb/MMBTU	g/GJ	lb/10⁻³ Gal	g/GJ
CO₂	110	47.332	25.000	71.761
NO_x	-	23,0	a	116
CO	-	23,0	a	2,9075
CH₄ + N₂O	0,012	4,99	0,39	1,12
SO₂	0,003	1,46	94,20	270,40
TOC	0,011	4,73	1,04	2,99
Idrocarburi reattivi	0,001	0,43	0,04	0,12
PM₁₀ totale	0,007	2,84	8,50	24,40

a Dato assunto pari ai valori migliori dichiarati dai proponenti

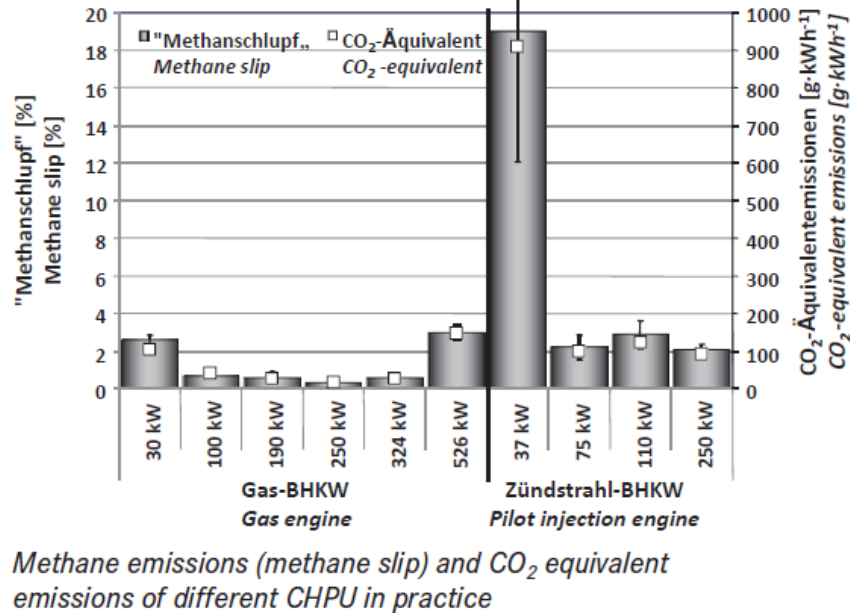
Fonte: US-EPA – Compilation of emission factors – AP42, Cap 3.1 External Combustion Sources – Stationary Gas Turbines

Le emissioni per l'olio combustibile sono della stessa fonte al Cap 1.3 External Combustion Sources – Fuel Oil combustion

Prendendo a riferimento un altro impianto di cogenerazione di pari potenzialità termica, che tratta biogas derivante da digestione anaerobica di rifiuti solidi urbani, il range di valori di Polveri che mediamente si è osservato negli ultimi 10 anni corrisponde a:

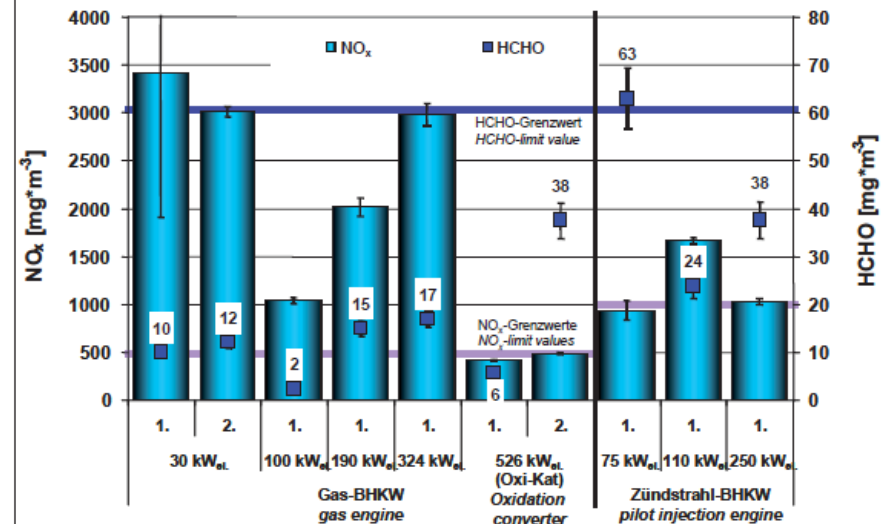
0.06 – 7.5 mg/Nm³

Fig. 1



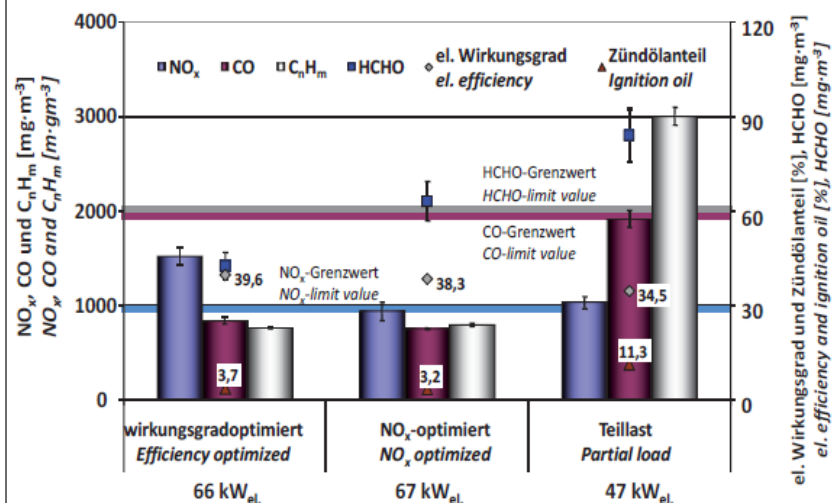
Volker et al., 2010. Environment Engineering, 5, 338-341.

Fig. 2



NO_x and formaldehyde measurements in the exhaust gas of different CGUs

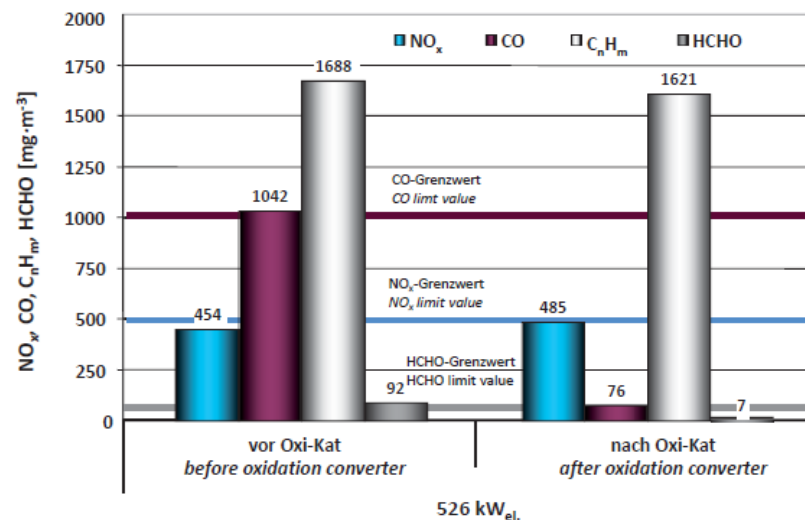
Fig. 3



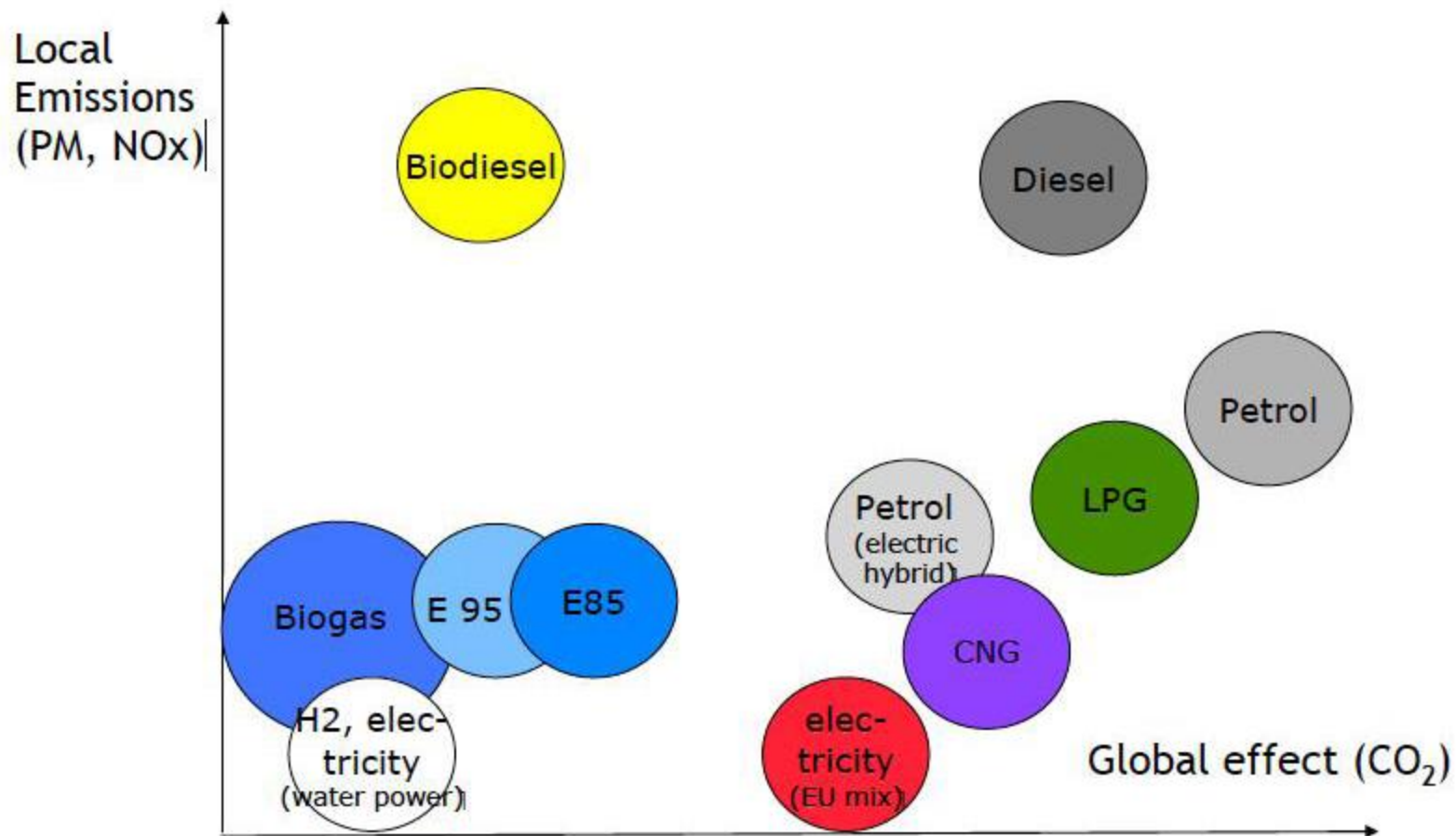
Exhaust gas emissions and electrical efficiency of a biogas-driven pilot injection engine depending on engine setting

Volker et al., 2010. Environment Engineering, 5, 338-341.

Fig. 4



Exhaust gas concentrations of NO_x, CO, HCHO and hydrocarbons (C_nH_m) before and after precatalytic converter (Oxi-Kat)



Local partner

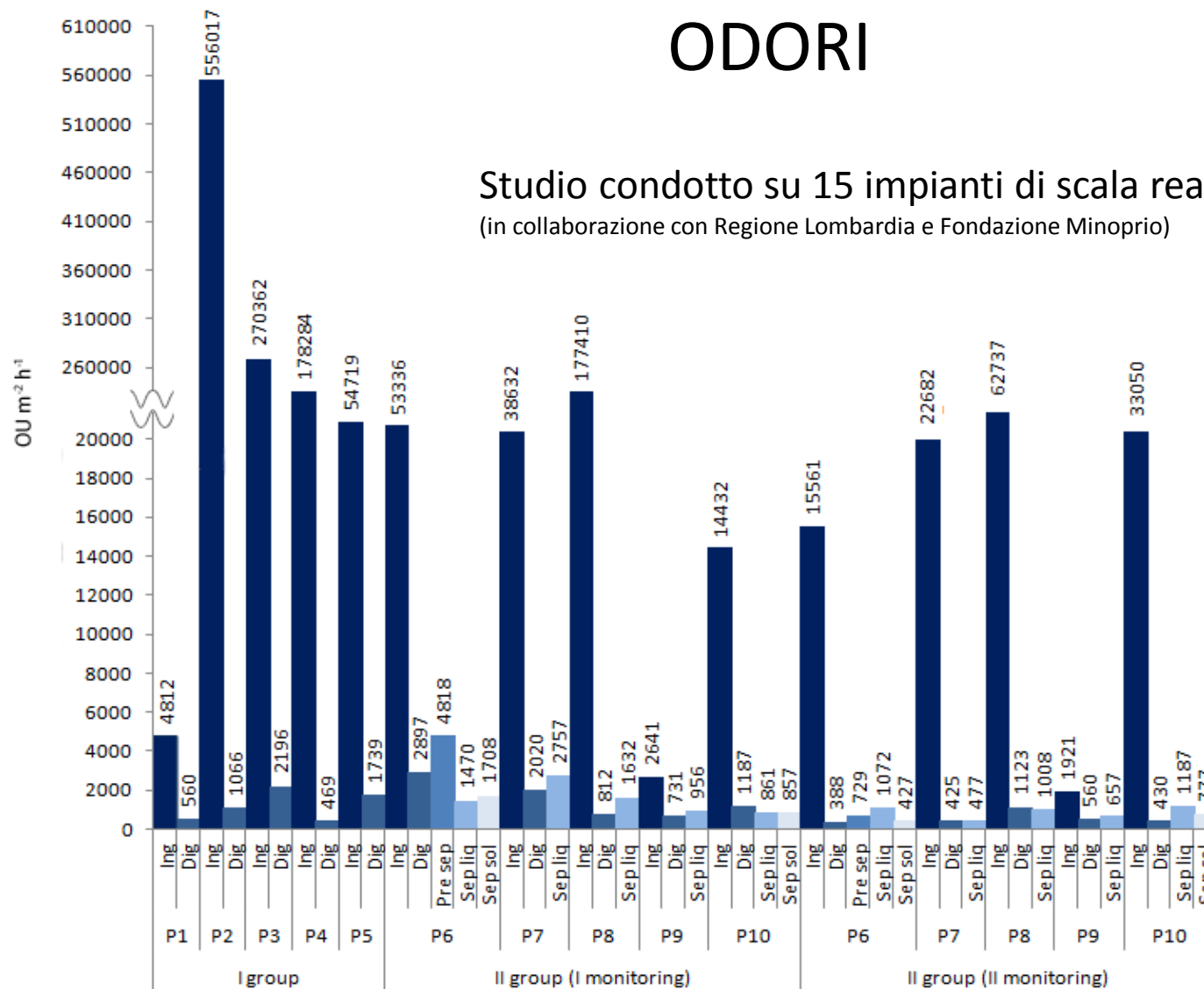
A project to stimulate the use of biogas as fuel for city buses, aiming to reduce environmental impact.



PART-FINANCED BY
THE EUROPEAN UNION
(European Regional
Development Fund)

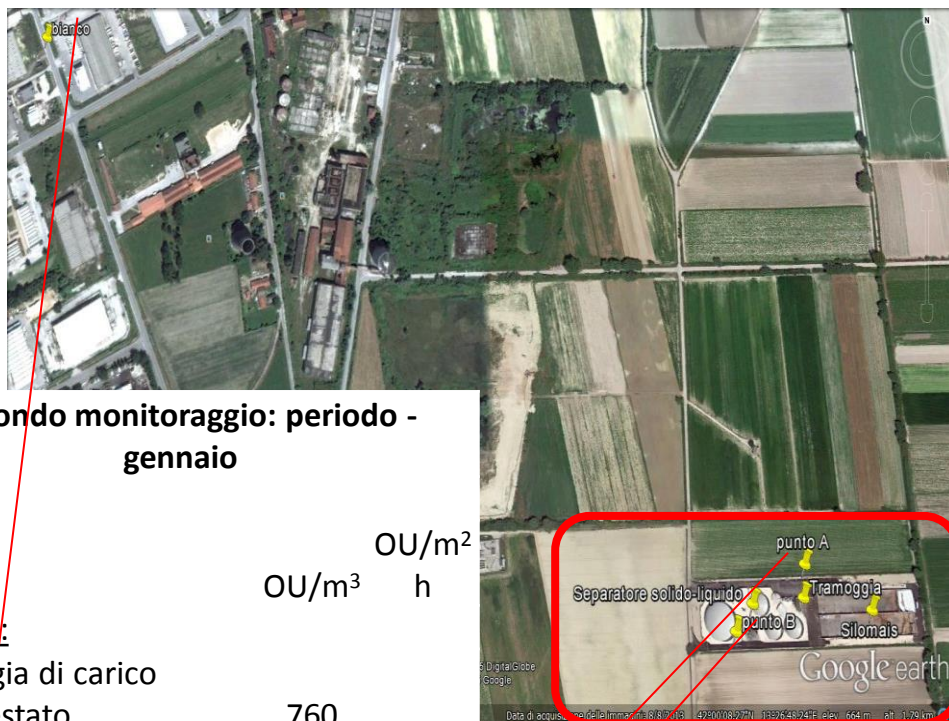
ODORI

Studio condotto su 15 impianti di scala reale.
(in collaborazione con Regione Lombardia e Fondazione Minoprio)



Da: Orzi et al., 2015

monitoraggio delle emissioni odorigenere in impianto di biogas: olfattometria dinamica



Primo monitoraggio: periodo - settembre

OU/m³ OU/m²h

Sorgenti:

Tramoggia di carico dell'ingestato	2632	
Zona separatore solido liquido	144	
Silomais in trincea	801	1902
Cumulo separato solido	4693	11146

Confine impianto:

Punto A	187
Punto B	46

Bianco

135

Secondo monitoraggio: periodo - gennaio

Sorgenti:

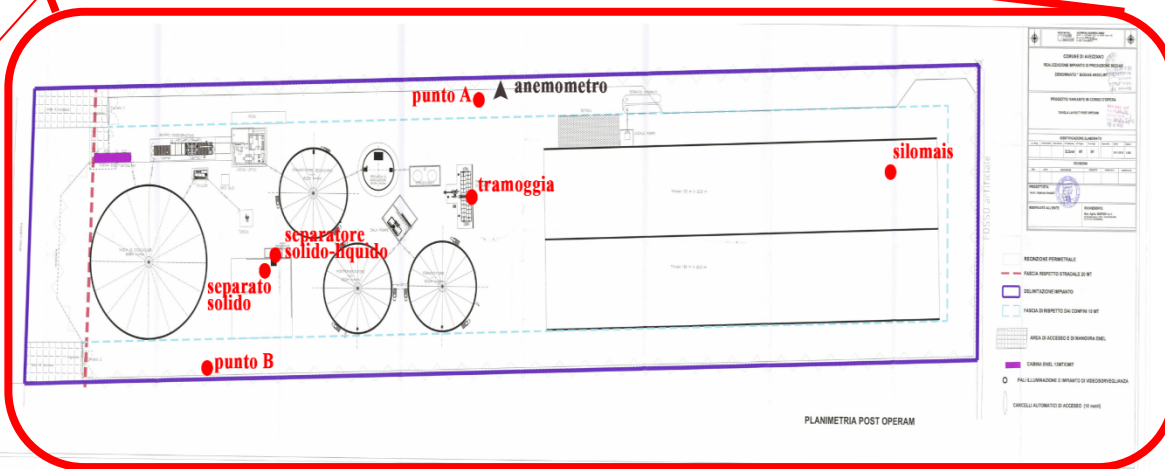
Tramoggia di carico dell'ingestato	760	
Zona separatore solido liquido	96	
Silomais in trincea	119	283
Cumulo separato solido	n.d.	

Confine impianto:

Punto A	76
Punto B	55

Bianco

102



monitoraggio delle emissioni odorigene in impianto di biogas: naso elettronico

Primo monitoraggio - settembre

Secondo monitoraggio - genna

PCA-Analysis

PCA-Analysis

normalization : PCA :
Matrix : Correlation-M.
Algorithm: PCA
Variance : 99.323 %
1. main axis: 77.529 %
2. main axis: 21.795 %

normalization : PCA :
Matrix : Correlation-M.
Algorithm: PCA
Variance : 99.819 %
1. main axis: 99.063 %
2. main axis: 0.75573 %

Discrimination power:

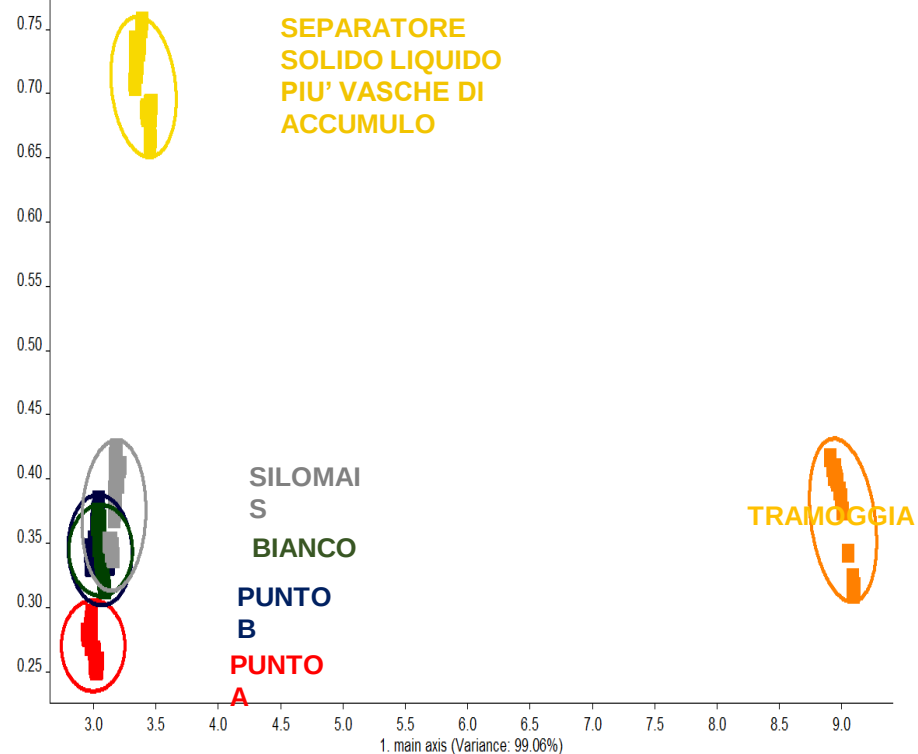
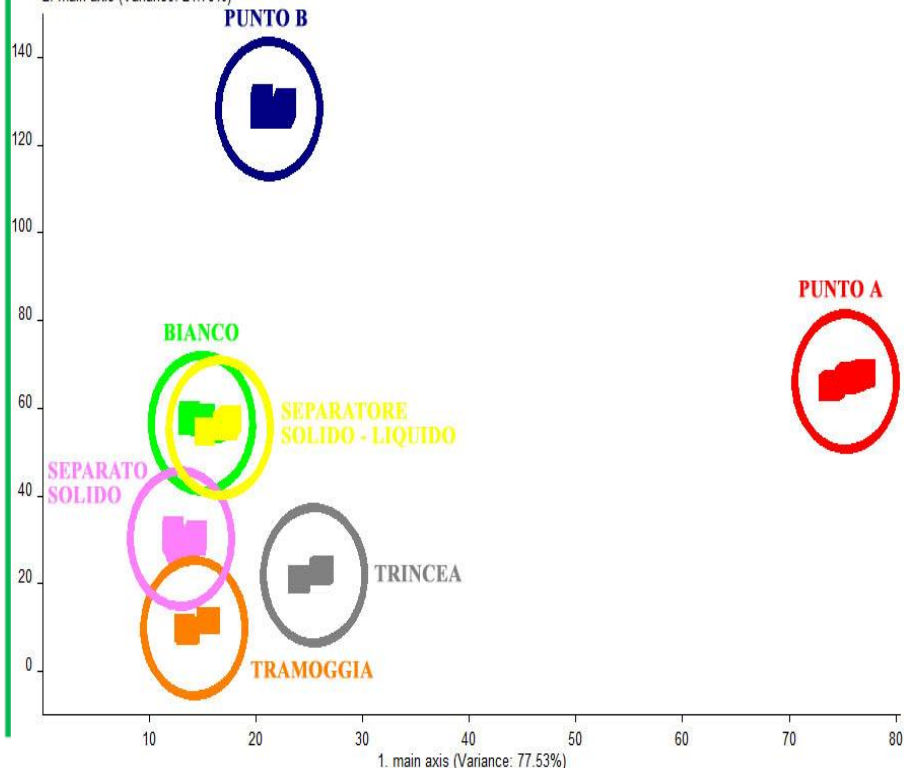
Discrimination power:

	Punto A	Punto B	Bianco	Tramoggia	Silomais	Separato solido	Separatore sol. liquid.
Punto A		0.800	0.795	0.960	0.883	0.982	0.721
Punto B	0.800		0.281	0.956	0.809	0.981	0.937
Bianco	0.795	0.281		0.954	0.763	0.980	0.848
Tramoggia	0.960	0.956	0.954		0.945	0.985	0.958
Silomais	0.883	0.809	0.763	0.945		0.980	0.835
Separato solido	0.982	0.981	0.980	0.985	0.980		0.981
Separatore sol. liquid.	0.721	0.937	0.848	0.958	0.835	0.981	

	Punto A	Punto B	Bianco	Tramoggia	Silomais	Separatore sol liq
Punto A		0.912	0.976	1.000	0.977	0.997
Punto B	0.912		0.873	0.999	0.617	0.980
Bianco	0.976	0.873		1.000	0.748	0.993
Tramoggia	1.000	0.999	1.000		1.000	0.999
Silomais	0.977	0.617	0.748	1.000		0.983
Separatore sol liq	0.997	0.980	0.993	0.999	0.983	

2. main axis (Variance: 21.79%)

2. main axis (Variance: 0.76%)



Patogeni

**Correlazione tra contenuto di patogeni vs. stabilità biologica
(studio condotto su 15 impianti di scala reale):**

	OD ₂₀ (mg O ₂ g ⁻¹ TS)	ABP (NI kg ⁻¹ TS)	Pathogen content - Starting (CFU g ⁻¹ ww)	Pathogen content - Final (CFU g ⁻¹ ww)
Enterobacteriaceae (Log CFU g ⁻¹ ww)	r = 0.50, p< 0.05; n = 24	r = 0.57, p< 0.05; n = 24	6.85x10³±1.8x10¹	1.82x10¹±3.8x10¹
Fecal Coliform (Log CFU g ⁻¹ ww)	r = 0.68, p< 0.05; n = 20	r = 0.59, p< 0.05; n = 20	1.82x10⁴±9.09	2.45x10¹±3.8 x10¹
Escherichia coli (Log CFU g ⁻¹ ww)	r = 0.57, p< 0.05; n = 20	r = 0.57, p< 0.05; n = 20	8.72x10³±2.4x10¹	1.8x10¹±2.94x10¹
Clostridium perfringens (Log CFU g ⁻¹ ww)	r = 0.54, p< 0.05; n = 30	r = 0.40, p< 0.05; n = 30	6.4x10⁴±7.7	5.2x10³±8.1

Da: Orzi et al., 2015

Table 4. PLS results: evaluation of the effect of indicators in defining pathogen reduction.

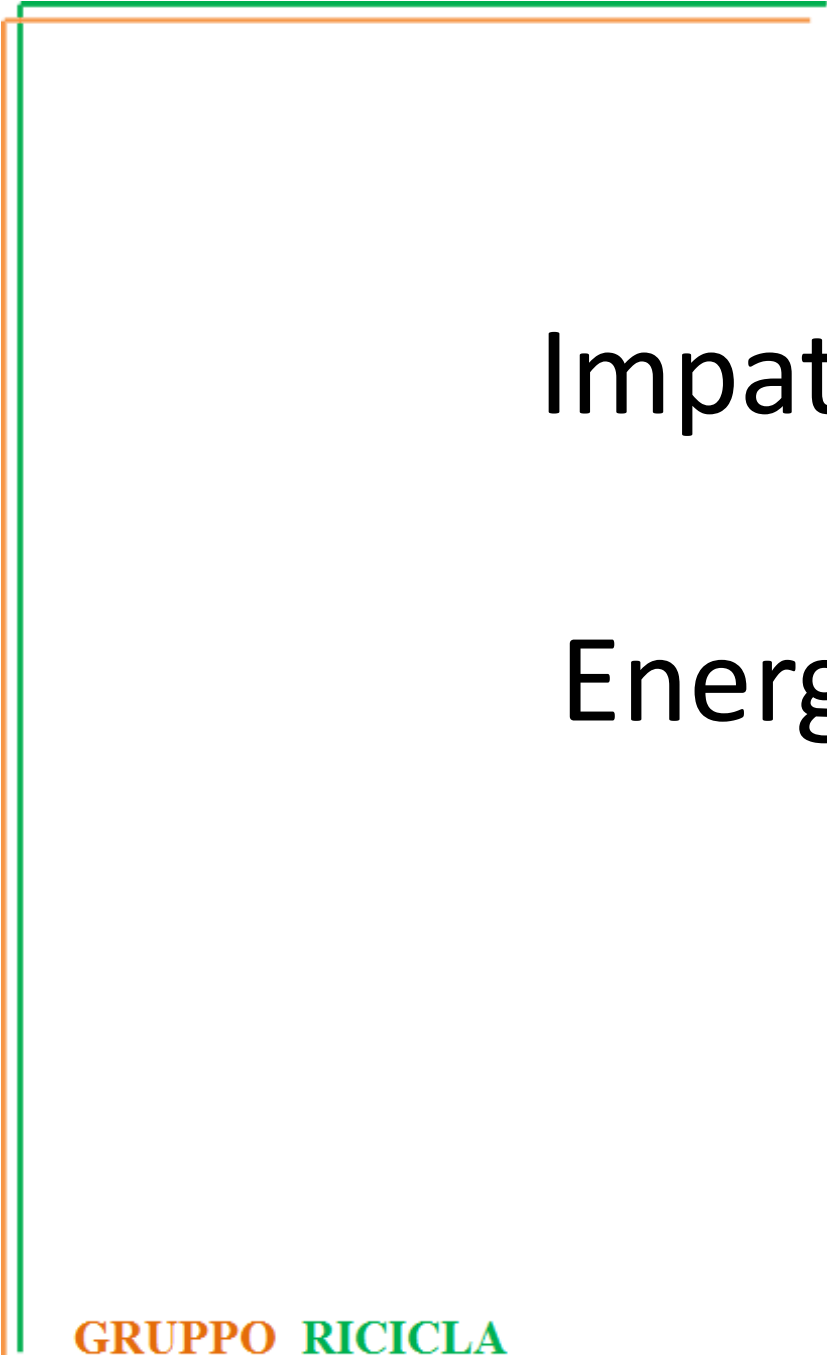
	PLS cycle ^a	Predictor variables	Importance coefficient	R ²	R ² _{cv}	Importance of parameters selected on pathogen reduction (% total importance coefficient ^c)		
						pH	Biological Stability ^b	N-NH ₃ toxic
Fecal Coliform	3	pH	0.34	0.76	0.61	23	-	77
		N-NH ₃ toxic	1.124					
Escherichia Coli	2	pH	0.68	0.70	0.55	32	13	55
		ABP	0.27					
		N-NH ₃ toxic	1.15					
Fecal Streptococci	2	OD ₂₀	0.75	0.75	0.56	-	66	34
		ABP	0.77					
		N-NH ₃ toxic	0.78					
Enterobacteriaceae	2	OD ₂₀	0.63	0.73	0.56	-	52	48
		ABP	0.43					
		N-NH ₃ toxic	0.98					

^aPLS cycle (from 1 to 3) performed step by step excluding variables characterized by the smallest importance coefficient.

^bBiological Stability indicators: OD₂₀ and ABP.

^c[Parameter importance coefficient/ sum of (pH + Biological Stability indicators + N-NH₃ toxic) importance coefficients]*100

Da: Orzi et al., 2015

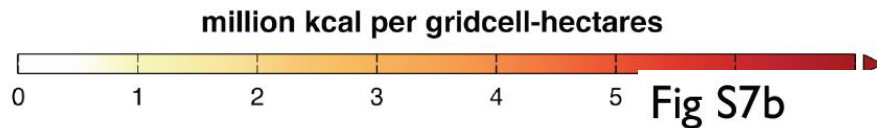
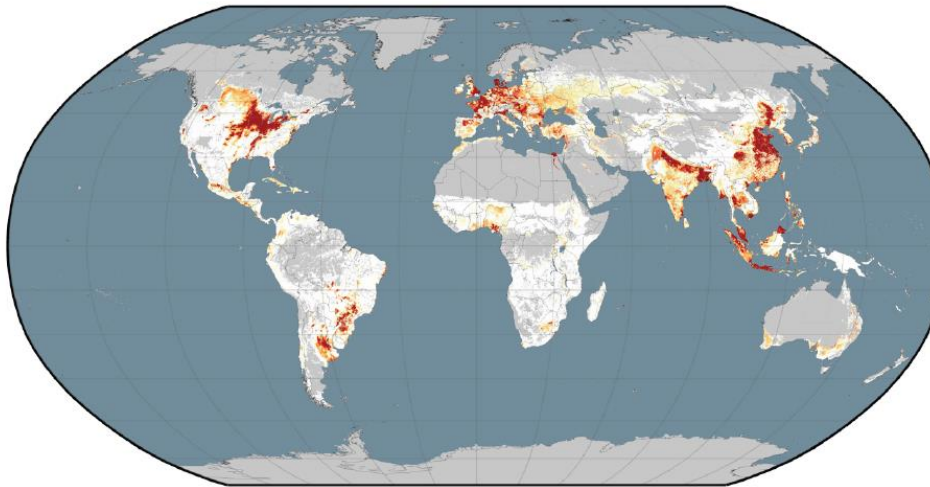


Impatto sociale:

Energy vs. food

Fig S7a

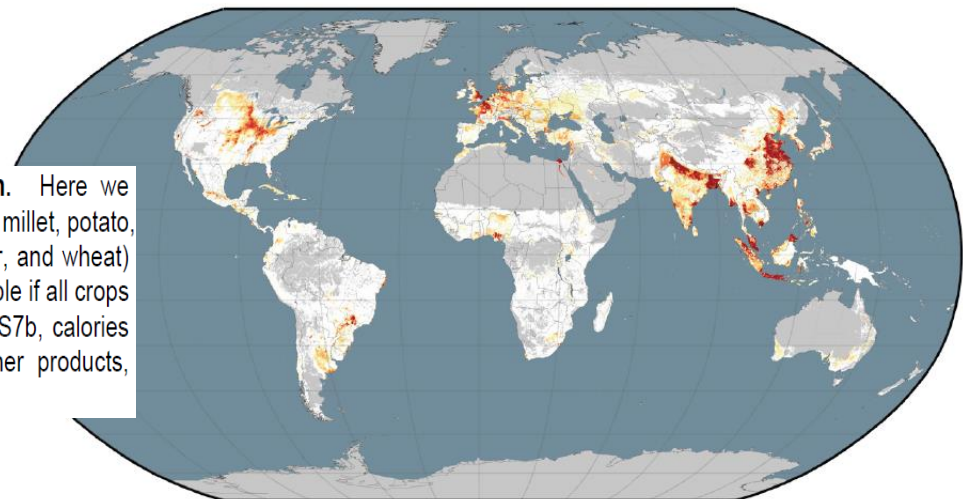
Intrinsic Calorie Production



Colture 100% consumo umano =
+ 28 % produzione + 49% food
kilocalories

Figure S7. Differences Between Intrinsic and Delivered Food Production. Here we compare global crop yields for 16 staple crops (barley, cassava, groundnut, maize, millet, potato, oil palm, rapeseed, rice, rye, sorghum, soybean, sugarbeet, sugarcane, sunflower, and wheat) in terms of their *intrinsic food production* (Figure S7a, calories that would be available if all crops were consumed by humans directly) and their *delivered food production* (Figure S7b, calories available based on today's allocation of crops to food, animal feed, and other products, assuming standard conversion factors).

Deliverable Food Calories

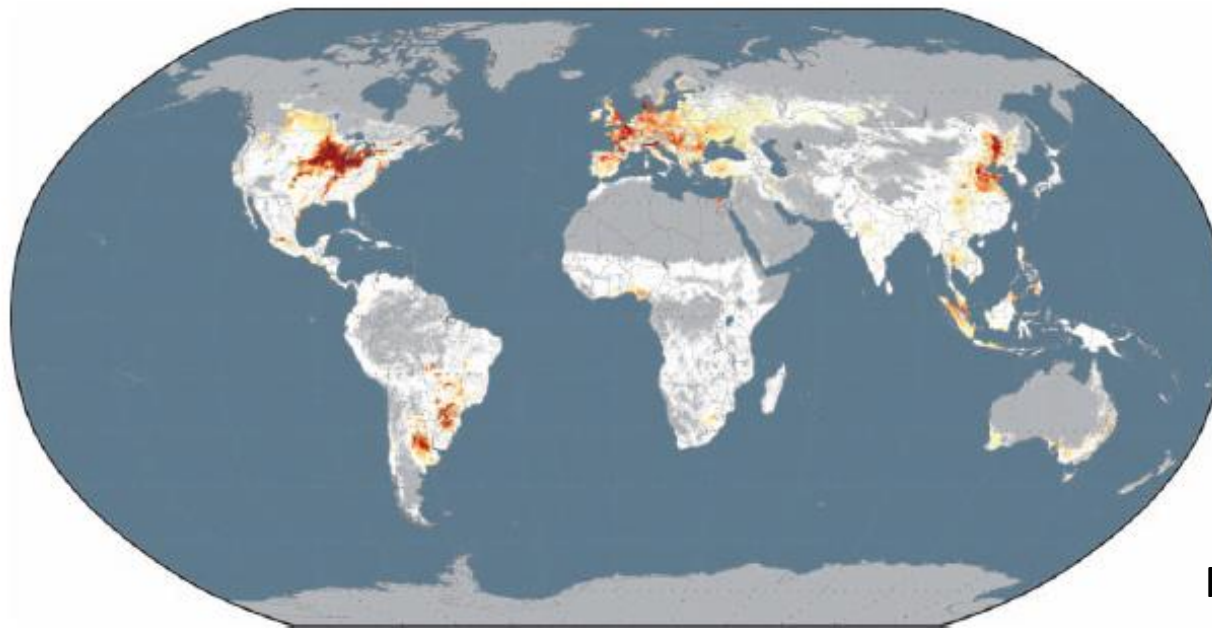


million kcal per gridcell-hectares



Foley et al., 2011, Nature

- 62% crop production is for food
- 35 % animal feed
- 3% bioenergy



Foley et al., 2011, Nature

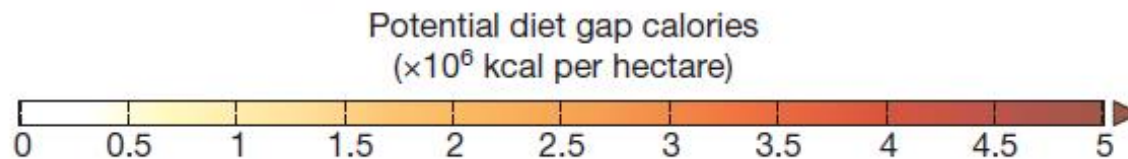


Figure 4 | Closing the diet gap. We estimate the potential to increase food supplies by closing the ‘diet gap’: shifting 16 major crops to 100% human food and away from the current mix of uses (see Fig. 1) could add over a billion tonnes to global food production (a 28% increase for those 16 crops), the equivalent of $\sim 3 \times 10^{15}$ kilocalories more food to the global diet (a 49% increase in food calories delivered).

Table 1 Estimates of the relative contributions of different stages of the food chain to global greenhouse gas emissions

Stage of food chain ^a		Emissions (MtCO ₂ e) ^b	Year of estimate	References
Preproduction	Fertilizer manufacture	282–575	2007	24
	Energy use in animal feed production	60	2005	25
	Pesticide production	3–140	2007	24
Production	Direct emissions from agriculture	5,120–6,116	2005	26
	Indirect emissions from agriculture	2,198–6,567	2008	Emissions from the supplementary material for Reference 23 combined with proportion due to agriculture from Reference 28
Postproduction ^c	Primary and secondary processing	192	2007	Calculated from Reference 29
	Storage, packaging, and transport	396	2007	Calculated from Reference 29
	Refrigeration	490	2004	30
	Retail activities	224	2007	Calculated from Reference 29
	Catering and domestic food management	160	2007	Calculated from Reference 29
	Waste disposal	72	2007	Calculated from Reference 29

^aNote that there may be some overlap among categories (for example, transporting and retailing may both involve refrigeration) and that estimates without ranges have low confidence.

^bAbbreviation: MtCO₂e, megatonnes of carbon dioxide equivalent.

^cThe postproduction figures are largely multiplied up from Chinese data on the assumption that as a large middle-income country it is suitably representative of the global level.

Vermeulen et al., 2012, Ann. Rev. Environ. Resourc

FIGURE 4. Global emissions from livestock supply chains by category of emissions

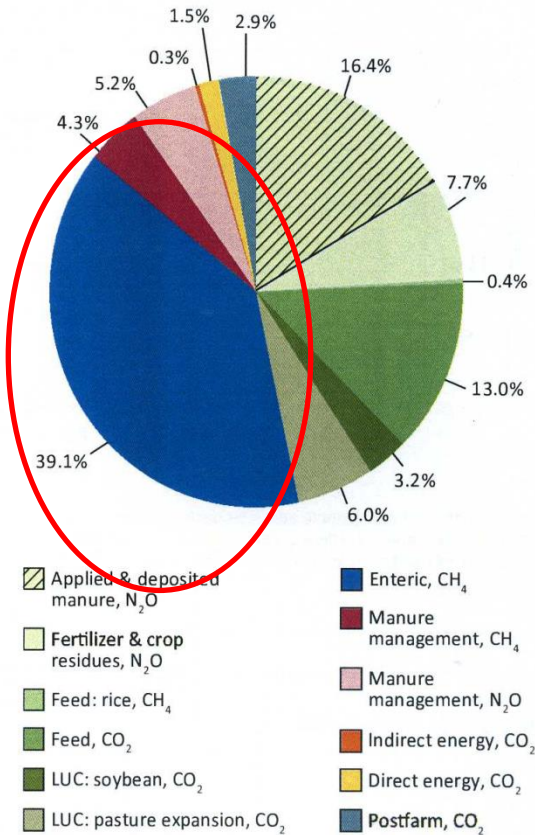
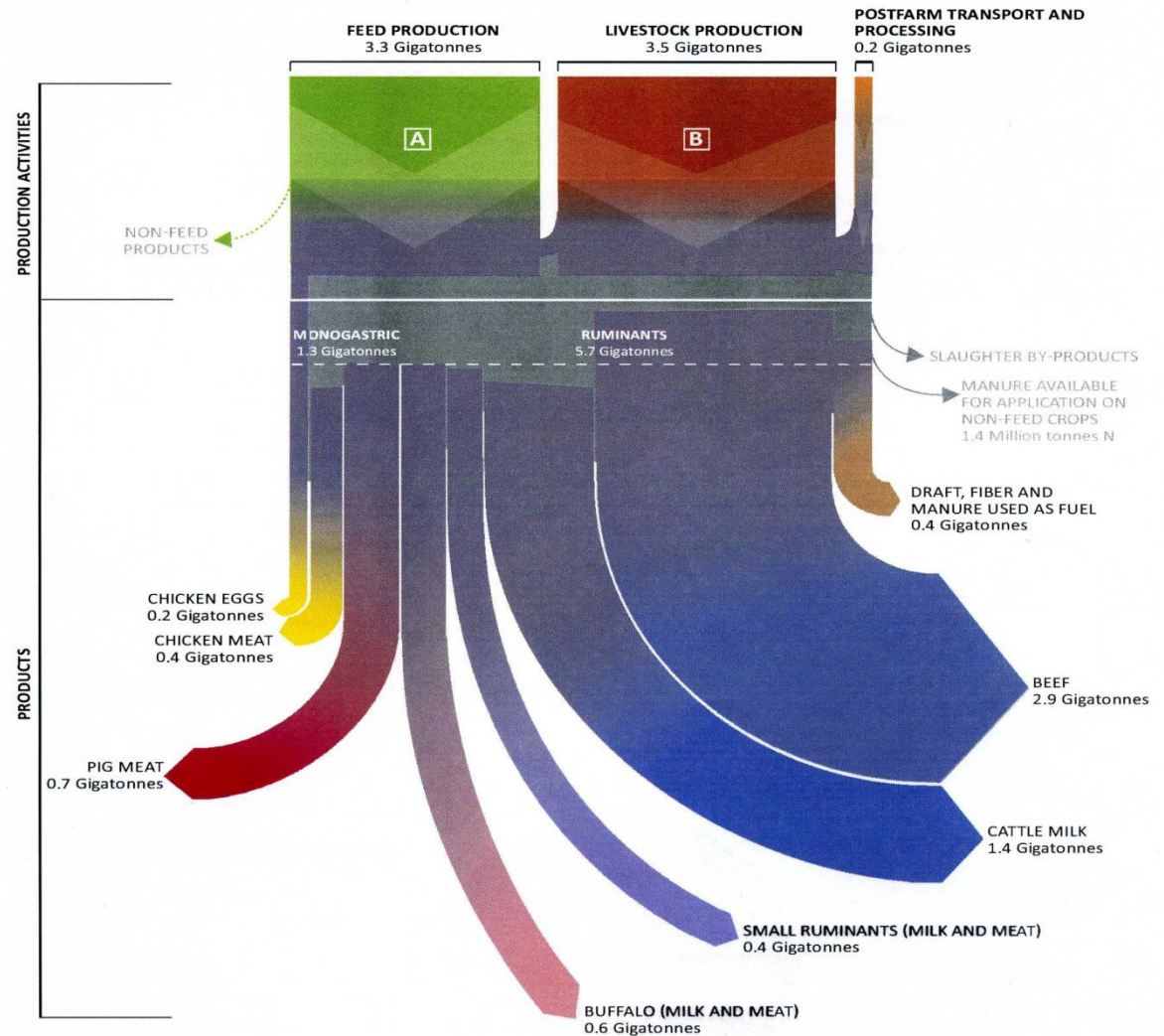
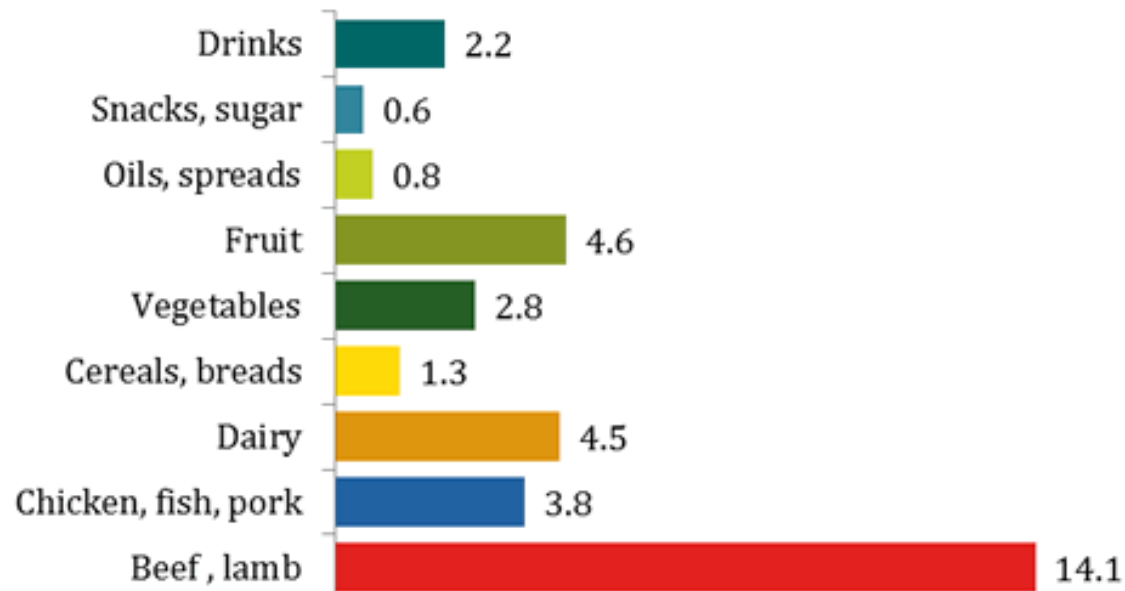


FIGURE 5. GHG emissions from global livestock supply chains, by production activities and products



Carbon Intensity of Eating: g CO₂e/kcal



Note: Figures are grams of carbon dioxide equivalents per kilocalorie of food eaten (g CO₂e/kcal). Intensities include emissions for total food supplied to provide each kilocalorie consumed. This accounts for emissions from food eaten as well as consumer waste and supply chain losses. All figures are based on typical food production in the USA. Estimates are emissions from cradle to point of sale, they do not include personal transport, home storage or cooking, or include any land use change emissions

Sources: ERS/USDA, LCA data, IO-LCA data, Weber & Matthews



Eshel et al., 2014, PNAS, 111, 11996-12001

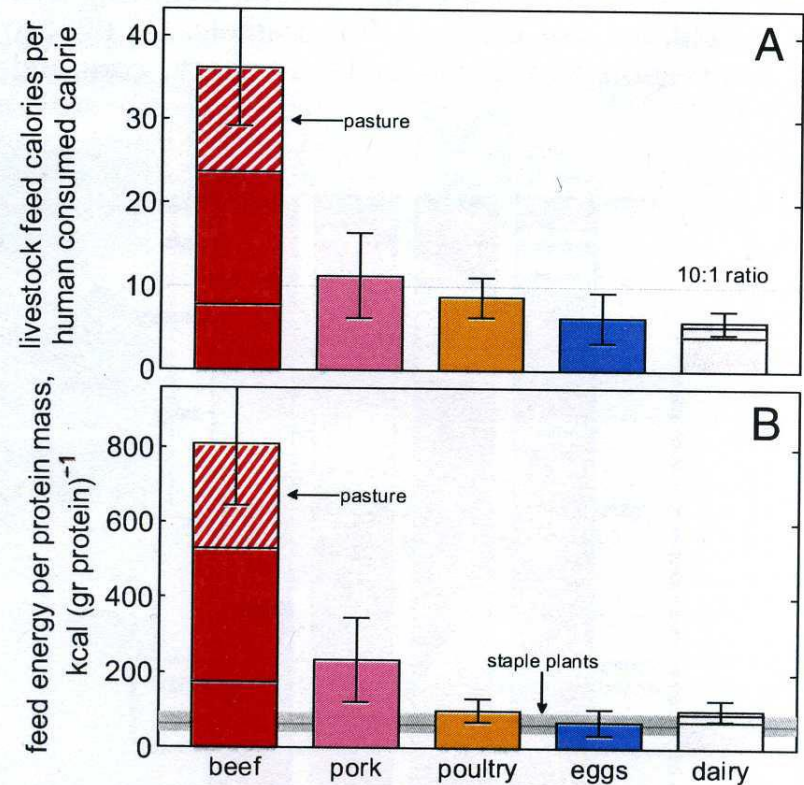


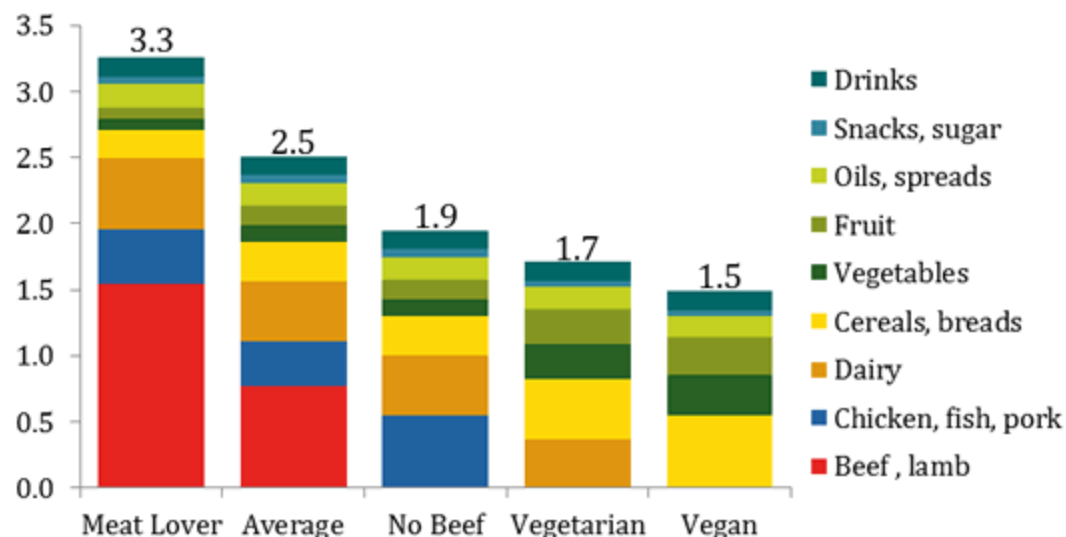
Fig. 4. Feed-to-food and feed-to-protein conversion factors of different livestock categories. The bar height of each category in A shows the total livestock feed calories used divided by the human-consumed calories they yield. For example, the value of ≈ 9 for poultry indicates that, on average, 9 feed calories fed to poultry yield 1 calorie consumed by humans. Note that this factor includes the approximately twofold loss reported by the USDA in the post-farm gate supply chain from primary production through retail to the consumer. The often-quoted 10:1 conversion factor per trophic level arising from studies in ecology is marked as a gray line. B depicts the conversion factors from livestock feed to human-consumed protein mass. For beef and dairy, the contribution of concentrates, processed roughage, and pasture is presented from the bottom to the top, respectively. The gray area marks the upper and lower bounds of the three staple plants. Error (uncertainty) bars indicate SD. See *SI Text* for calculation details.

Bilancio economico, energetico e ambientale impianto biogas (1MW)

Coltura	Bilancio	
	Eco.	Ene.
	€/€	kWe/kWe
Mais I° raccolto	3,14	1,88
Segale - Mais III° raccolto	2,94	1,65
Mais II° raccolto - Erba Silo	2,47	1,80
Sorgo - Triticale	2,79	1,78
Triticale - Mais II° Raccolto	3,44	1,99
Arundo Low	4,22	8,69
Arundo High	5,68	11,96

DiSAA/DIA (UNIMI): Schievano, Bacenetti, Fiala, Adani

Foodprints by Diet Type: t CO₂e/person



Note: All estimates based on average food production emissions for the US. Footprints include emissions from supply chain losses, consumer waste and consumption.. Each of the four example diets is based on 2,600 kcal of food consumed per day, which in the US equates to around 3,900 kcal of supplied food.

Sources: ERS/USDA, various LCA and EIO-LCA data



Tabella 4.2.1 - *Ecological Footprint*

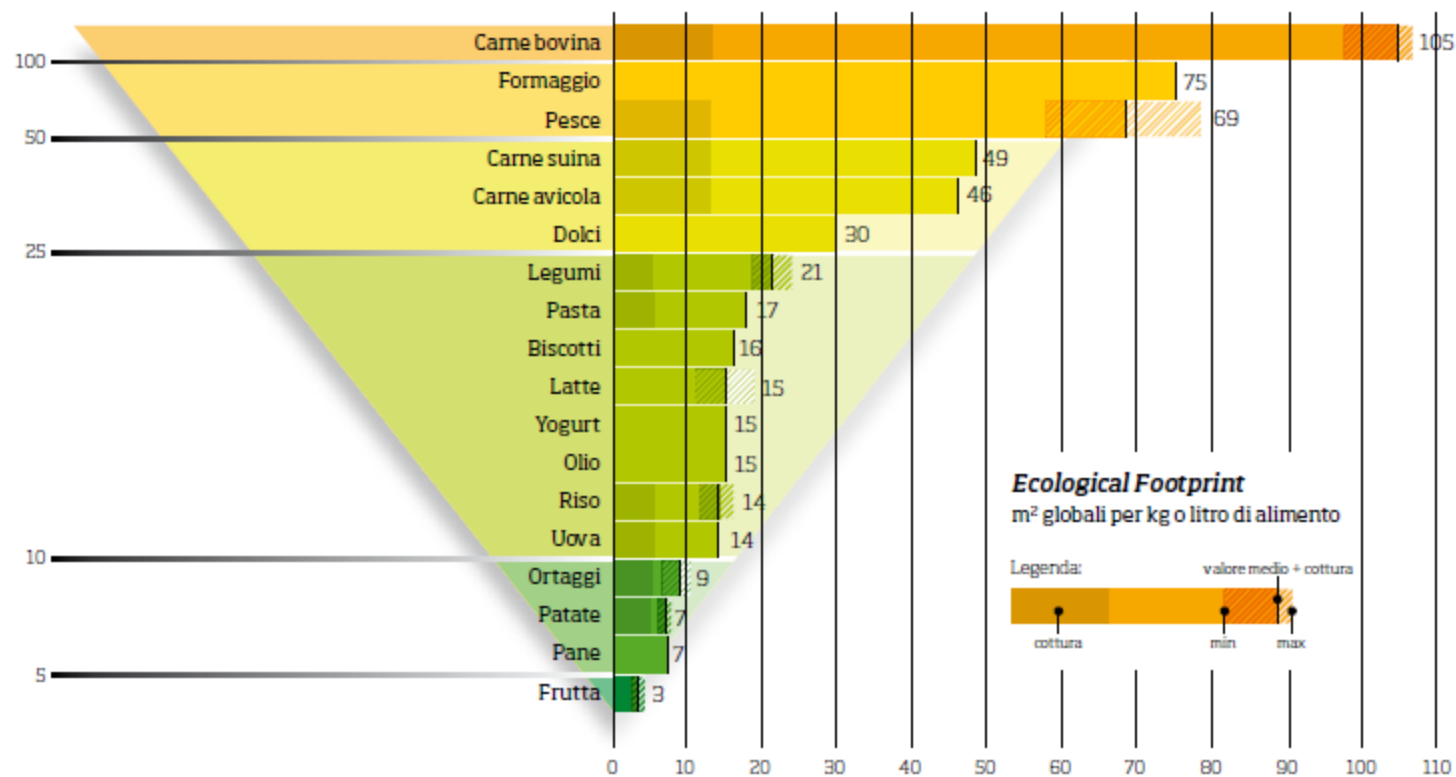
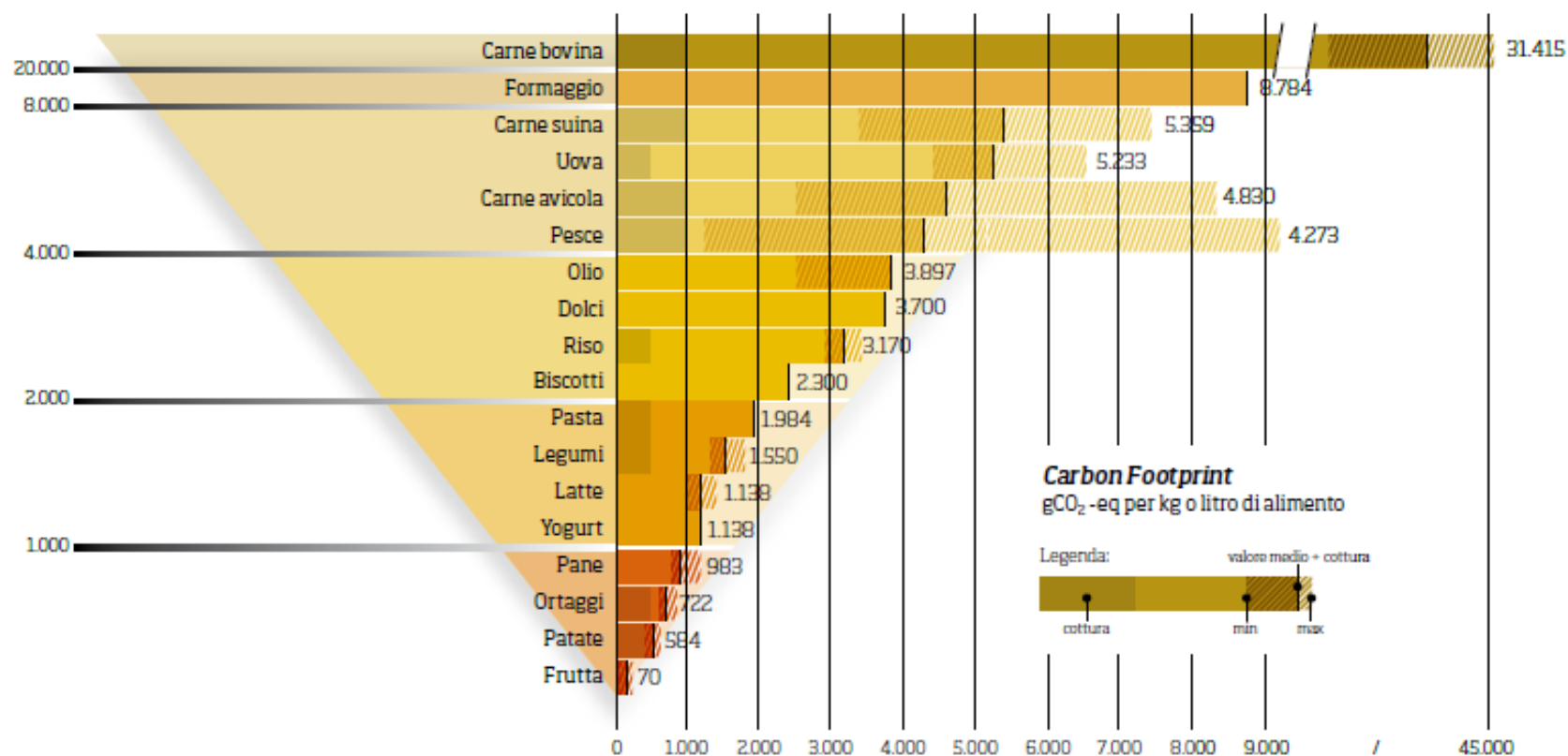


Tabella 4.2.2 - *Carbon Footprint*

Tabella 4.2.2 - Carbon Footprint

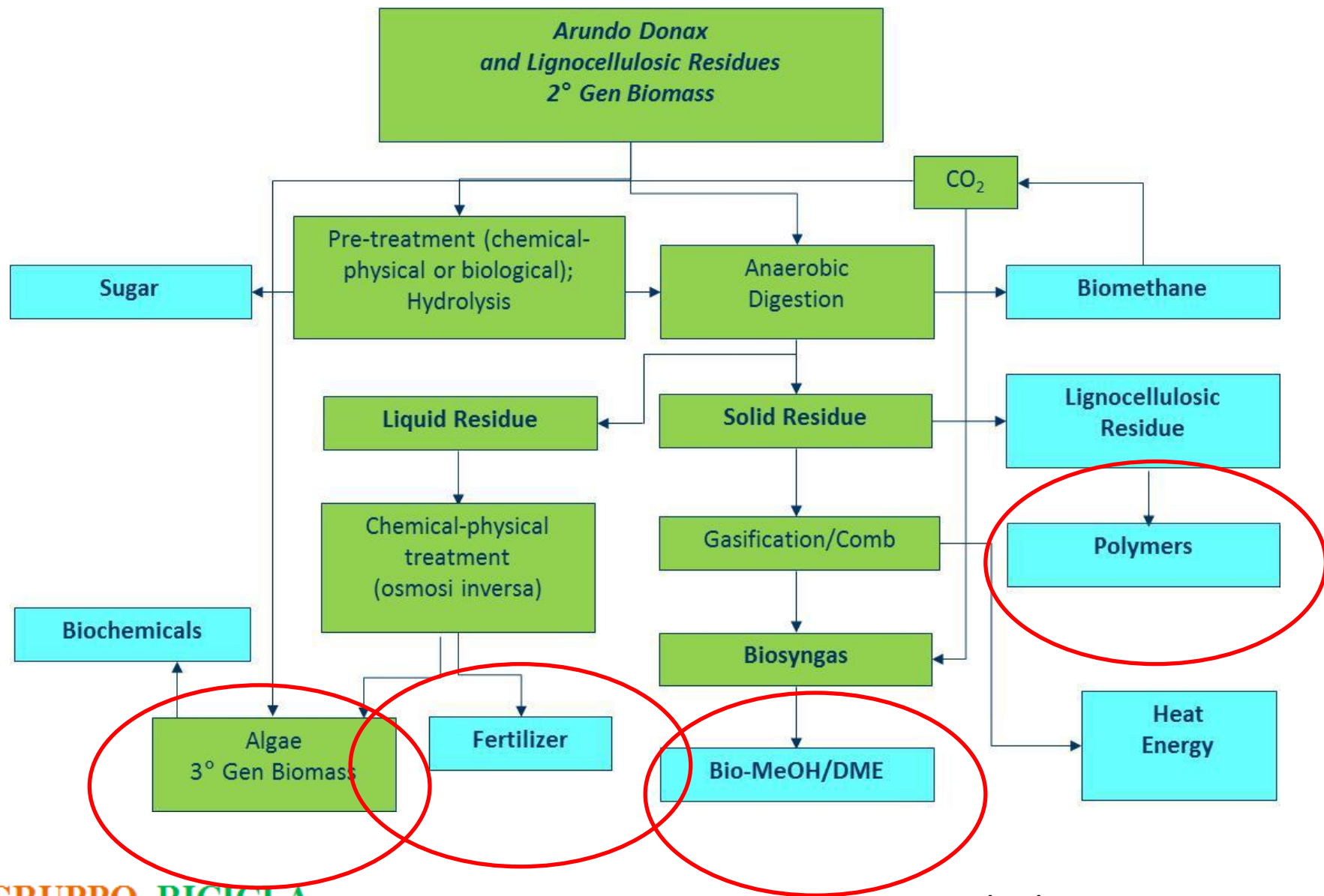


Arriva la barretta energetica a base di larve e insetti

E' stata inventata da un
ricercatore italiano e da
un collega svizzero. Il loro
lavoro premiato in
Svizzera (La Repubblica).

Da tutto ciò cosa ne deriva ?

- il rapporto Ha di mais per biogas/ SAU totale **CREMONA** è pari al 11%;
- il rapporto Ha di mais per biogas/SAU totale **LODI** è pari al 9 %;
- il rapporto Ha di mais per biogas/SAU totale **BRESCIA** è pari al 4%;
- il rapporto Ha di mais per biogas/SAU totale **MILANO** è pari al 2%;
- il rapporto Ha di mais per biogas/SAU totale **MANTOVA** è pari al 1%;
- il rapporto Ha di mais per biogas/SAU totale **PAVIA** è pari al 4%;
- il rapporto Ha di mais per biogas/SAU totale **BERGAMO** è pari al 1%;
- **il rapporto Ha di mais per biogas/SAU totale REGIONE LOMBARDIA è pari al 4%.**



La BIOENERGIA è un
processo che, in ambiente controllato,
trasforma le biomasse in



BIOCOMBUSTIBILE



FERTILIZZANTI®
RINNOVABILI



Campione nr.: 8807 SOLFATO DI AMMONIO

Parametro ricercato	Unità di Misura	Valore	Metodo di Analisi
---------------------	-----------------	--------	-------------------

PARAMETRI CHIMICO - FISICI

Azoto ammoniacale	mg/kg	14.450	MI 0010:2009 Rev. 0
Azoto totale	g/100 g	7,06	D.M. 24/03/1986 - suppl. GU n. 180 del 05/08/1986

Dopo Ol scarico in corpo idrico superficiale



Stoccaggio solfato di ammonio al 30%

GRUPPO RICICLA



Strippaggio N



Costi = 4-6 €/mc

Cortesia di ROTA GUIDO s.r.l.

Biomass Pellets:

used for combustion or as a fertilizer

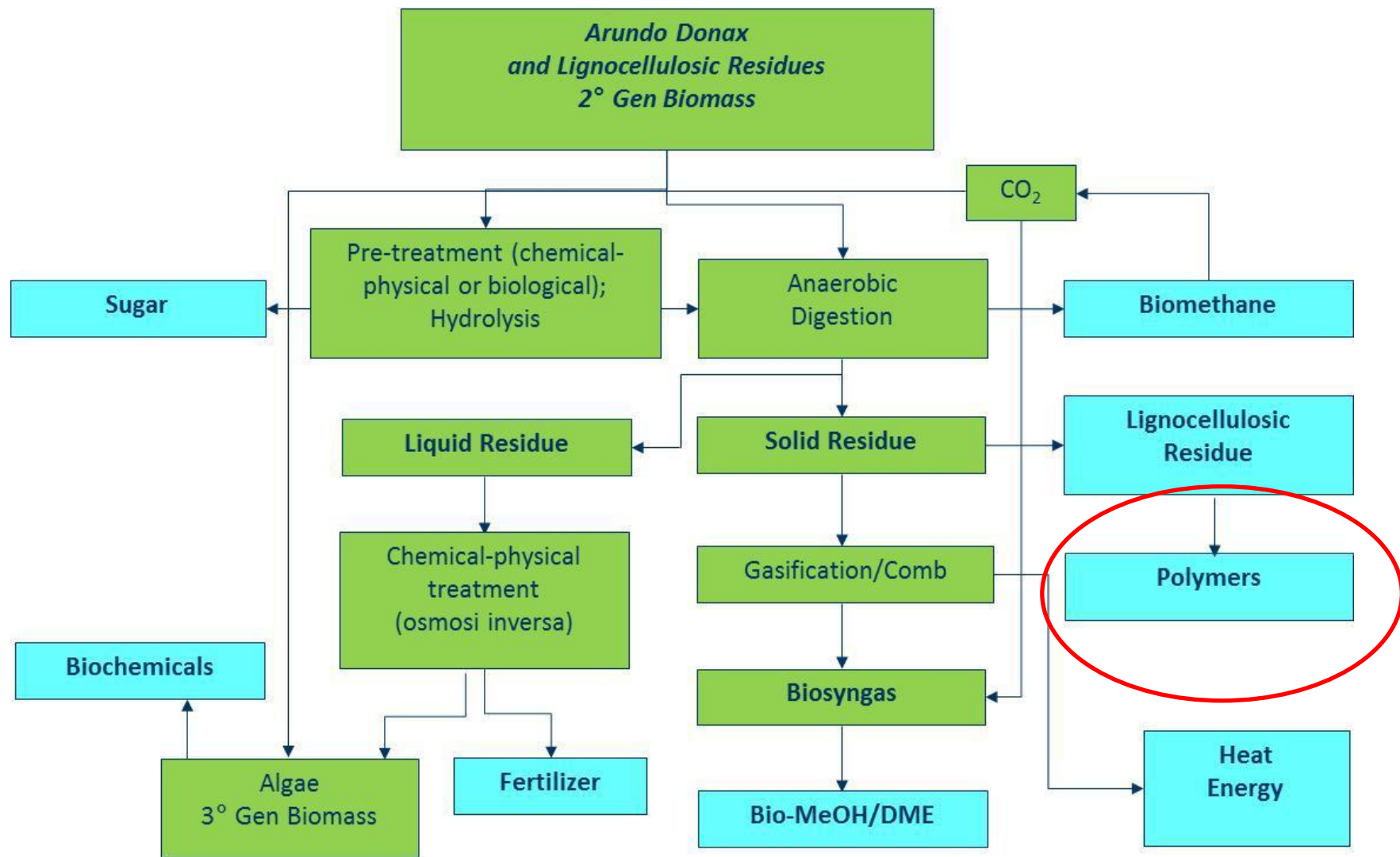


Photo: enterprise-europe-network.ec.europa.eu

ADVANTAGES:

- Reduction in volume
- Visually more attractive
- Improved marketability
- Hygienization ($>70^{\circ}\text{C}$, for 1hour)
- Transport-ready product

requires drying then pelletizing machines



1. Recovery of lignin from the solid residue by organosolv process



Residual biomass
(Lignin, others)



Solid fraction
(AIL)



Solid fraction
(ASL)

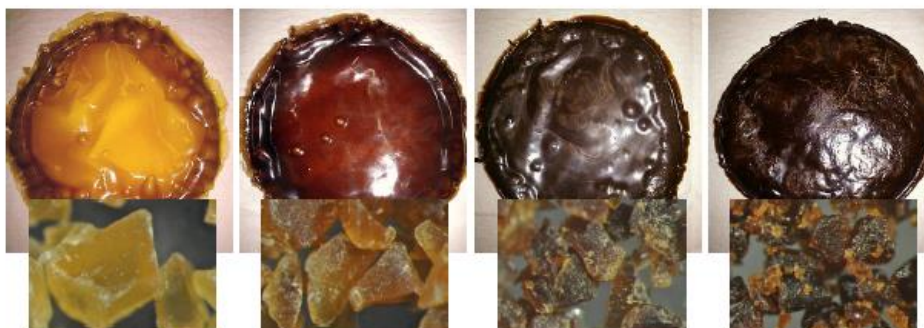
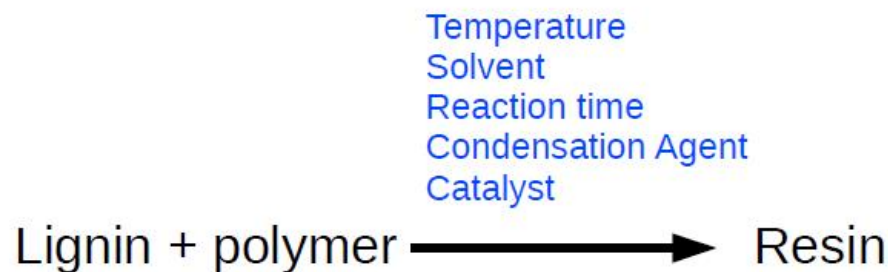


Consiglio Nazionale delle Ricerche

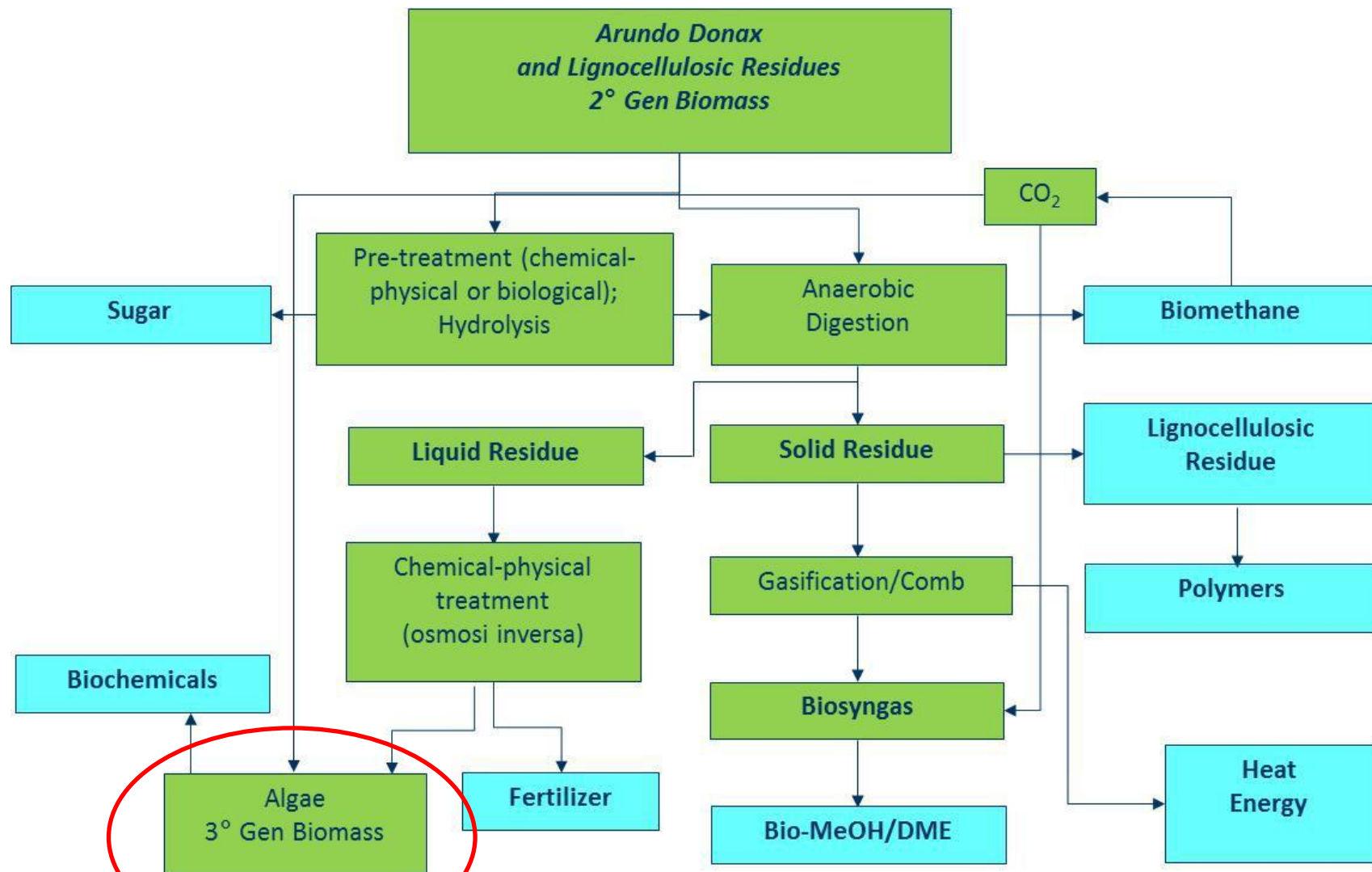
GRUPPO RICICLA

Cortesia di Ottolina, CNR 2014

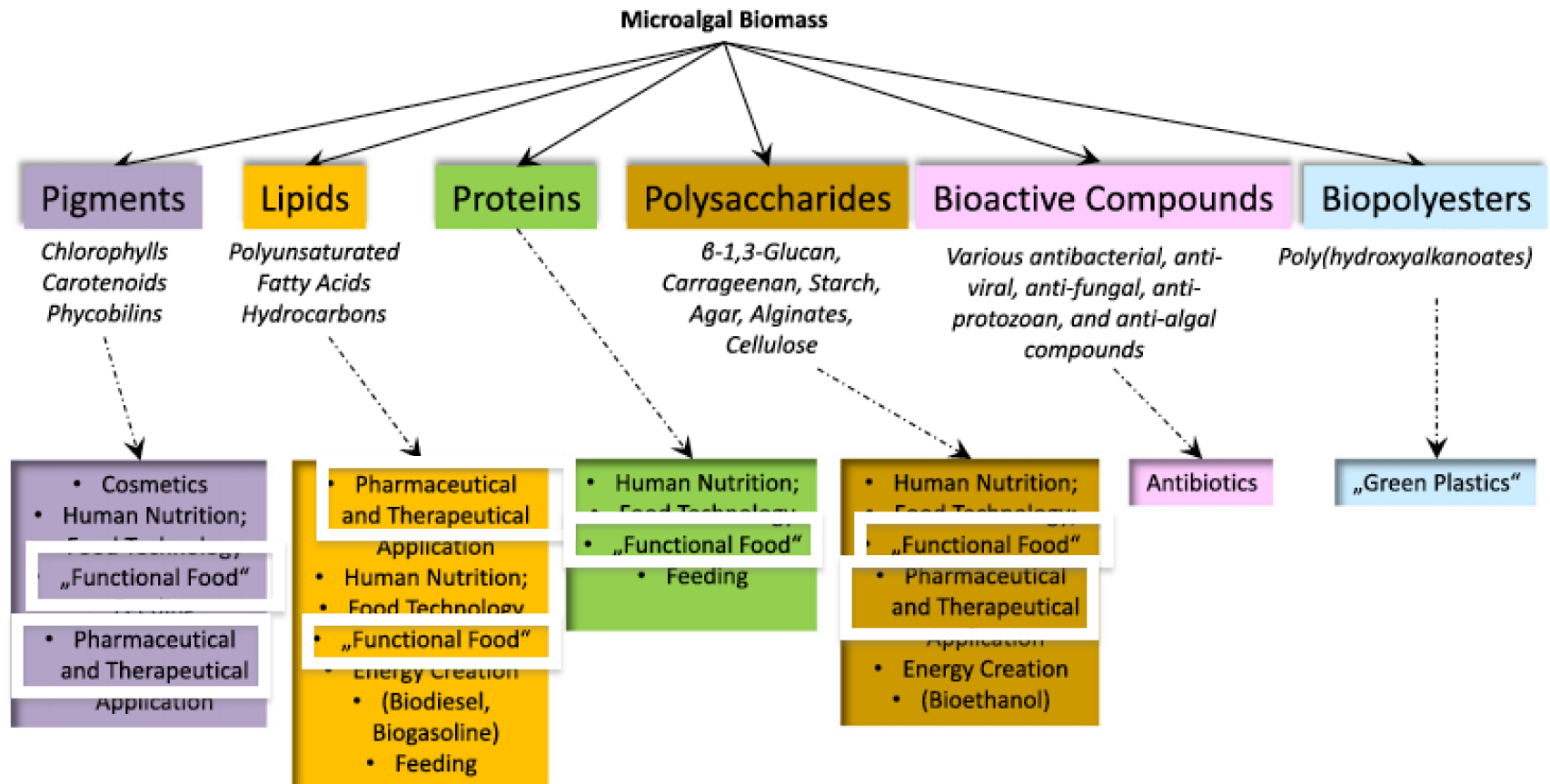
3. Polymerization of lignin and/or polyphenol to resins of industrial interest, development of new methods of polymerization and/or polycondensation



Several different conditions tested



Biological lab



Koller et al 2014

ALGAE JOINT RESEARCH PLATFORM

AJRP

PARCO TECNOLOGICO PADANO, VIA EINSTEIN, LOC. C.NA CODAZZA, 26900 LODI, ITA

GRUPPO RICICLA DiSAA - UNIMI



Expertise on algae

Strain selection

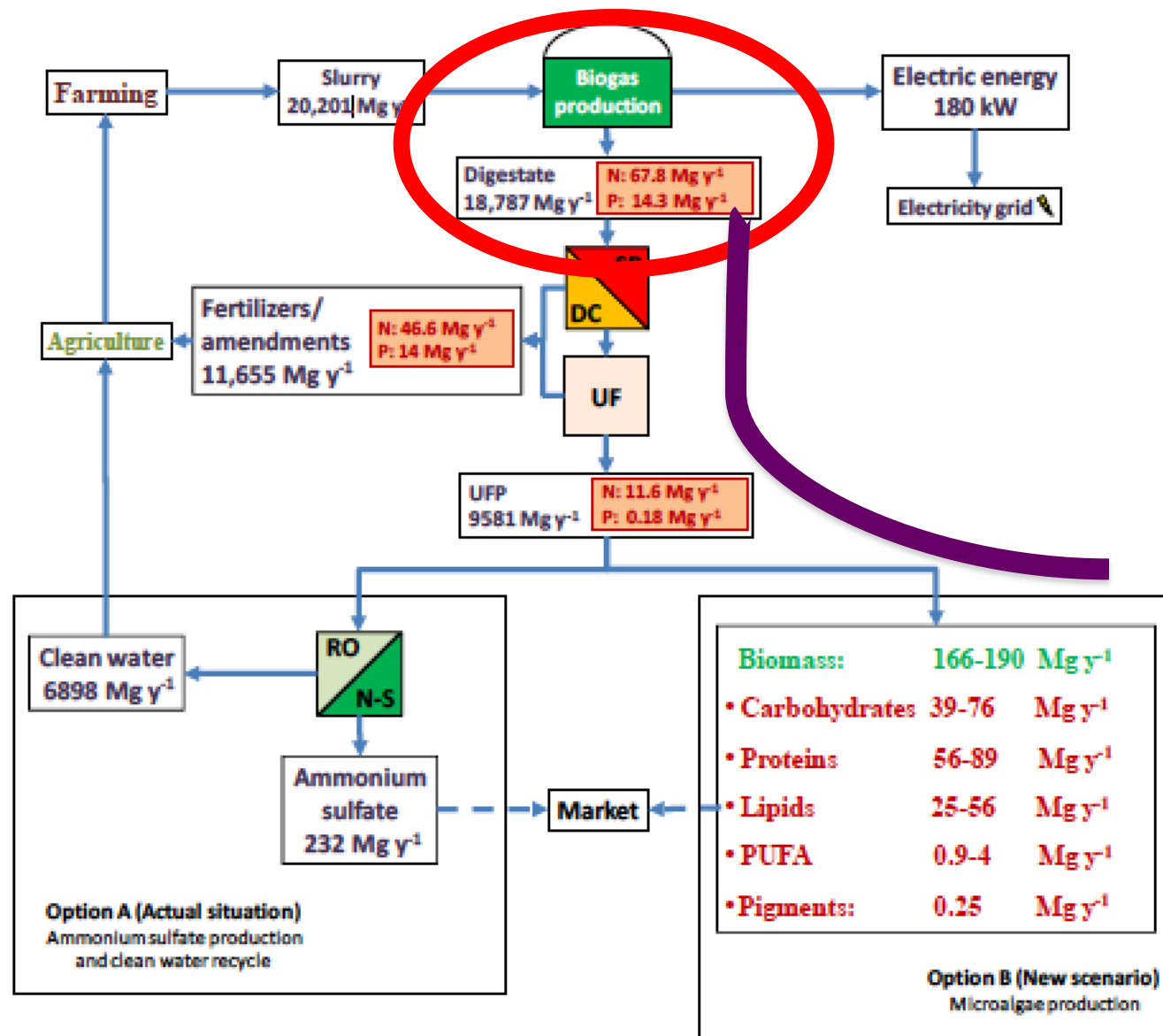
Algae growing process control

Genomic, transcriptome assessment

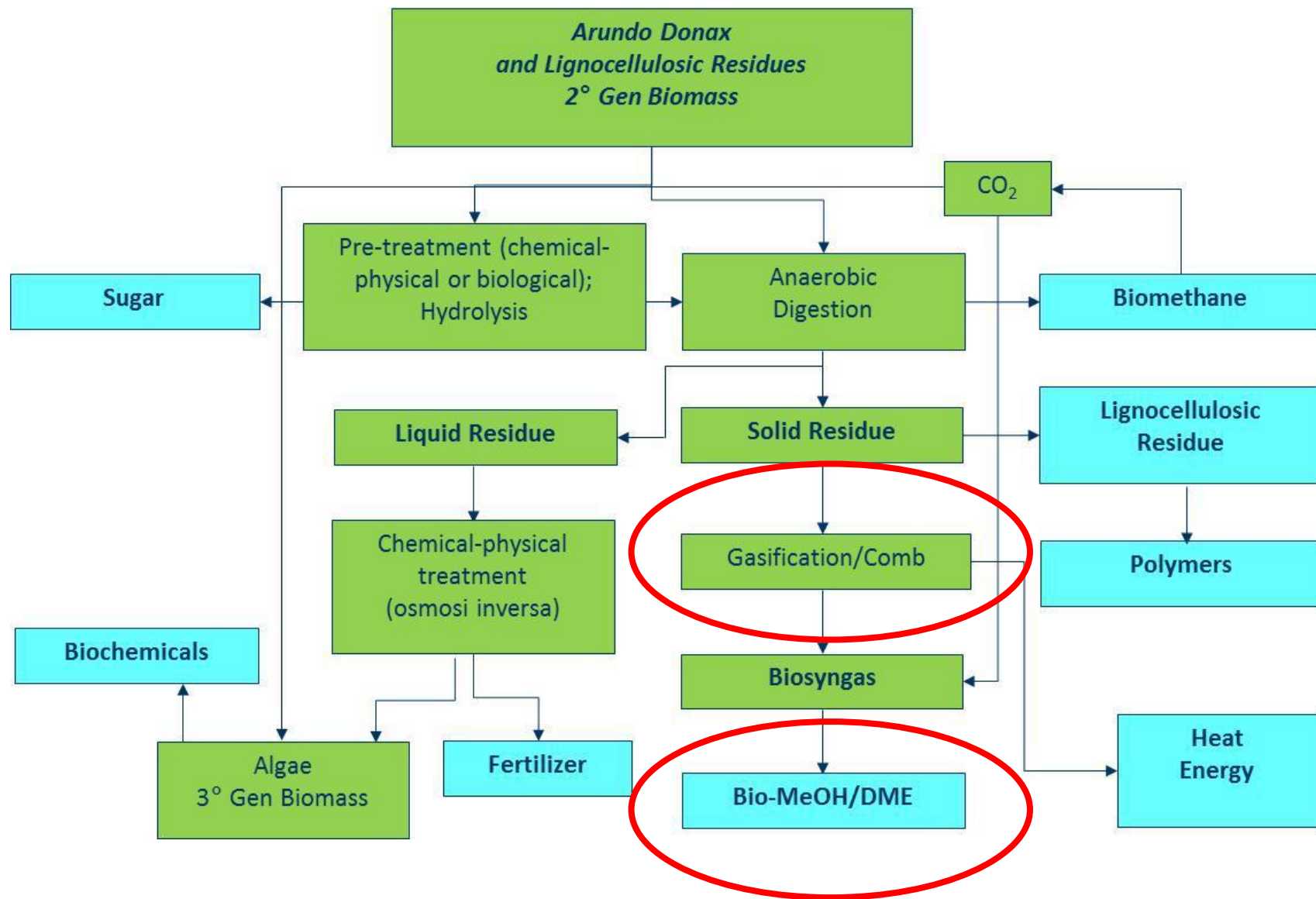
Proteomic



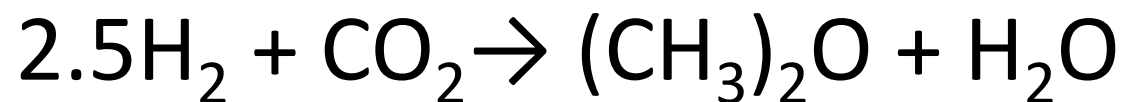
Lombardy biobased refinery



Land surface used for *Chlorella* sp 1 ha



Dimethyl ether production



Digestione anaerobica

In collaborazione con F.
Manenti



POLITECNICO
DI MILANO

Fabrizio Adani
Full Professor



Fulvia Tambone
Researcher



Barbara Scaglia
Biologist



Andrea Schievano
Environmental Engineer



Giuliana D'Imporzano
Agronomist



Valentina Orzi
Agronomist



Silvia Salati
Environmental Scientist

Claudio Ledda
Biotechnologist



GRUPPO RICICLA



Ester Manzini
Agronomist

**Tommy
Pepè Sciarria**
Biologist



Arjana Doda
Pharmacist



Samuele Lonati
Agronomist



Laura Terruzzi
Natural scientist



Carlo Riva
Agronomist



Michele Pognani
Agronomist



Luca Corno
Agronomist