

Biogas e biometano: processi industriali e casi applicativi

Dipartimento Energia, Politecnico di Torino

Dr. Marta Gandiglio

09.10.2023

- Biogas – cos'è?
- Le matrici per la produzione di biogas
- La digestione anaerobica
- La purificazione del biogas
- Utilizzi del biogas
- Utilizzi innovativi del biogas (fuel cells)
- Prospettive e conclusioni

Biogas – cos'è?



Biogas – definizione

M. Gandiglio
09/10/23



I biogas sono una miscela di vari tipi di gas, principalmente **metano e anidride carbonica**, prodotti dalla **fermentazione batterica in anaerobiosi** (assenza di ossigeno) di **residui organici vegetali o animali**.

I residui utili possono avere più origini: **scarti** dell'agroindustria (trinciato di mais, sorgo o altre colture), dell'industria alimentare (farine di scarto o prodotti scaduti), dell'industria zootecnica (reflui degli animali o carcasse); si possono utilizzare anche **colture appositamente coltivate** allo scopo di essere raccolte e trinciate per produrre "biomassa", come mais, sorgo zuccherino, grano, canna comune, bietole.

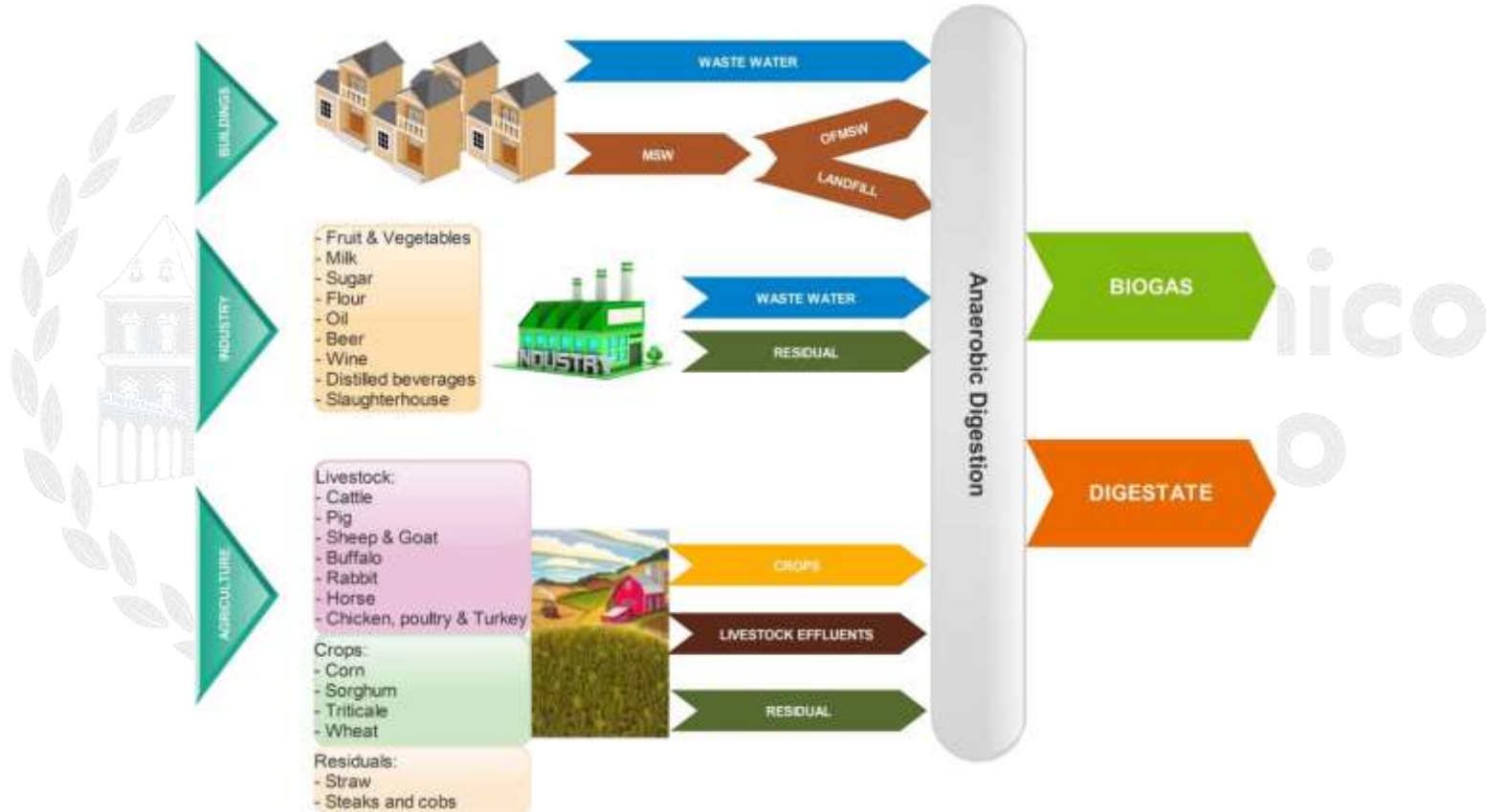
L'intero processo vede la decomposizione del materiale organico da parte di alcuni tipi di batteri, con produzione di anidride carbonica, idrogeno e metano (metanizzazione dei composti organici).

Le matrici per la produzione di biogas



Matrici per la produzione di biogas

M. Gandiglio
09/10/23



Distribuzione matrici in EU

M. Gandiglio
09/10/23

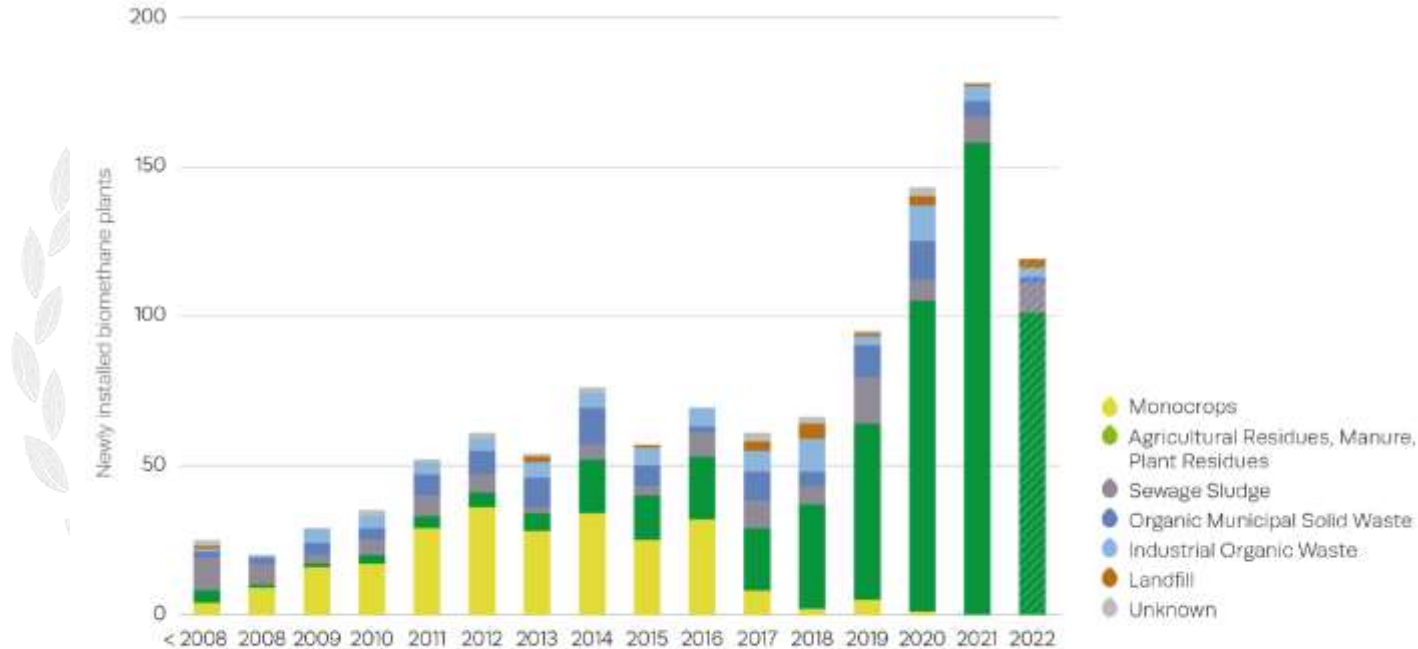


Figure 2.22 - Total number of newly installed biomethane plants in Europe each year, 2008-2022, overall and per feedstock type

La digestione anaerobica



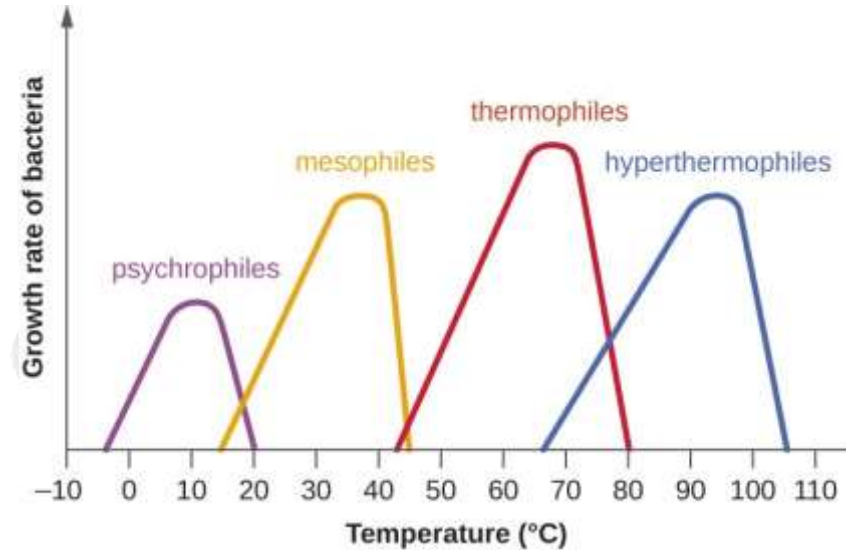
Digestione anaerobica: batteri

M. Gandiglio
09/10/23



Per digestione anaerobica si intende la **degradazione della sostanza organica da parte di microrganismi in condizioni di anaerobiosi**. Si tratta di un processo differente rispetto al compostaggio, che invece è strettamente aerobico.

- Con batteri **mesofili** si lavora a temperature comprese tra 20-45 °C, con un intervallo ottimale di 37-41 °C;
- Con batteri **termofili** le condizioni di esercizio ottimali implicano un intervallo di temperatura compreso tra i 50-52 °C.

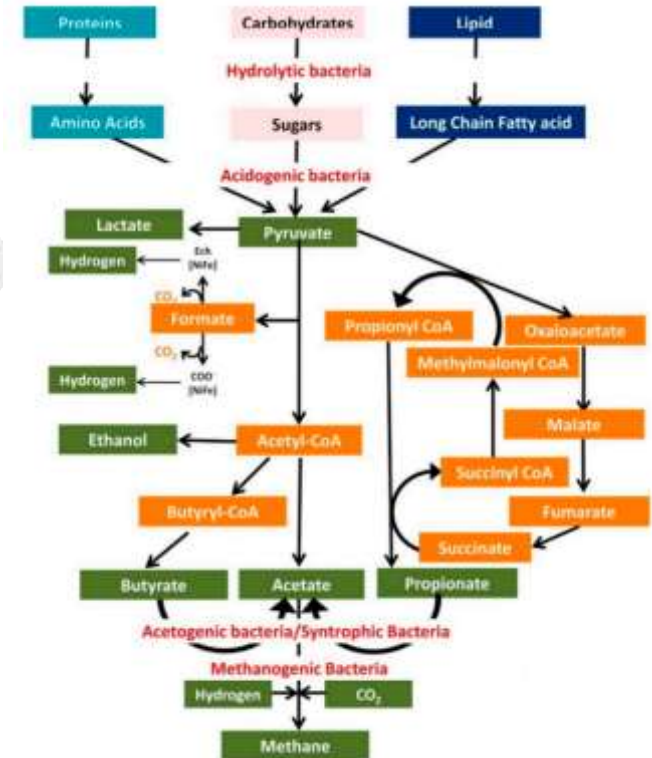


Digestione anaerobica: il processo

M. Gandiglio
09/10/23



- **Idrolisi**, dove le molecole organiche subiscono scissione in composti più semplici quali i monosaccaridi, amminoacidi e acidi grassi.
- **Acidogenesi**, dove avviene l'ulteriore scissione in molecole ancora più semplici come gli acidi grassi volatili (ad esempio acido acetico, propionico, butirrico e valerico), con produzione di ammoniaca, anidride carbonica e acido solfidrico quali sottoprodotti.
- **Acetogenesi**, dove le molecole semplici prodotte nel precedente stadio sono ulteriormente digerite producendo biossido di carbonio, idrogeno e principalmente acido acetico.
- **Metanogenesi**, con produzione di metano, biossido di carbonio e acqua.



Digestione anaerobica: HRT

M. Gandiglio
09/10/23



Tempo di ritenzione idrica (HRT, hydraulic retention time)

$$HRT = \frac{Volume}{Portata}$$

Serve a dare una descrizione quantitativa del **tempo trascorso da un certo fluido con flusso costante all'interno di un reattore.**

Il tempo di residenza in un digestore varia in funzione della quantità di materiale da trattare, del tipo di materiale e dalla temperatura di esercizio. Nel caso della digestione condotta con **batteri mesofili** il tempo di residenza è compreso **tra i 15 e i 30 giorni**. Nel caso di un processo con batteri termofili le temperature più elevate permettono di velocizzare la digestione (a scapito di un maggior costo operativo)

- Processo umido (frazione Solida, ST: 5-8%)
- Processo semi-secco (ST: 8-20%)
- Processo secco (ST: >20%)

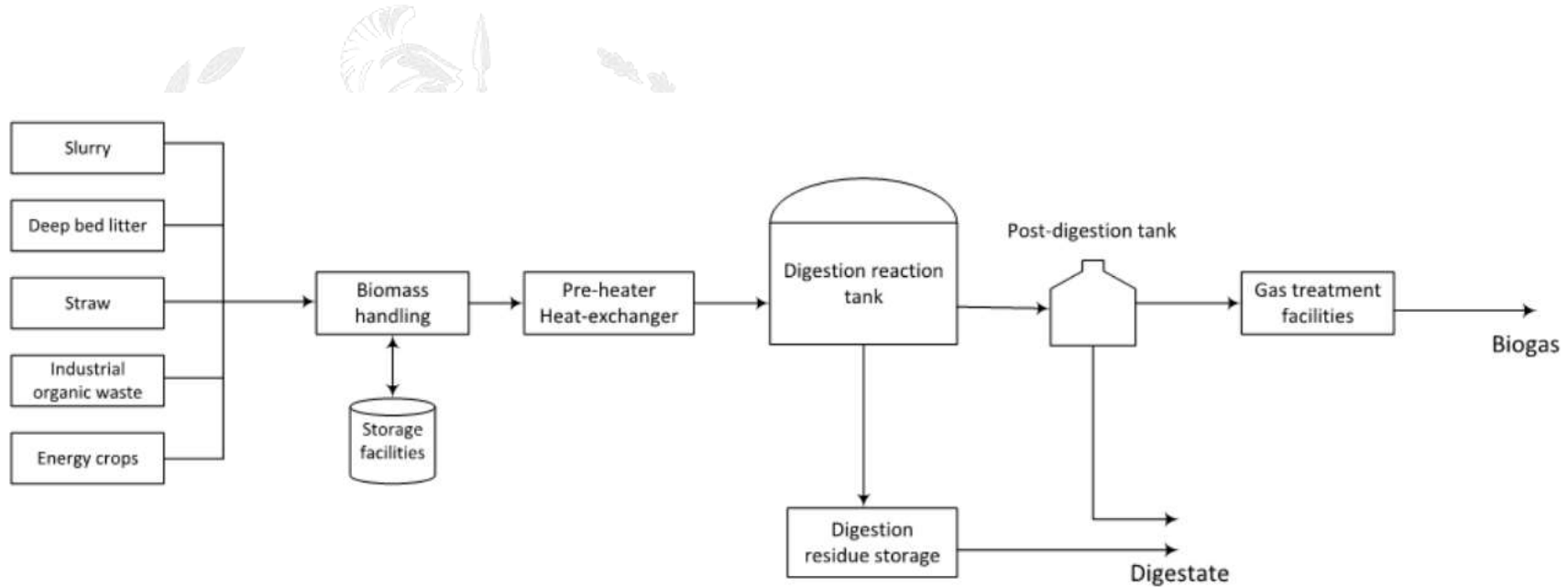
Fasi biologiche:

- unica (un solo reattore)
- fasi idrolitica e metanogenica separate, in reattori distinti.

Politecnico
di Torino

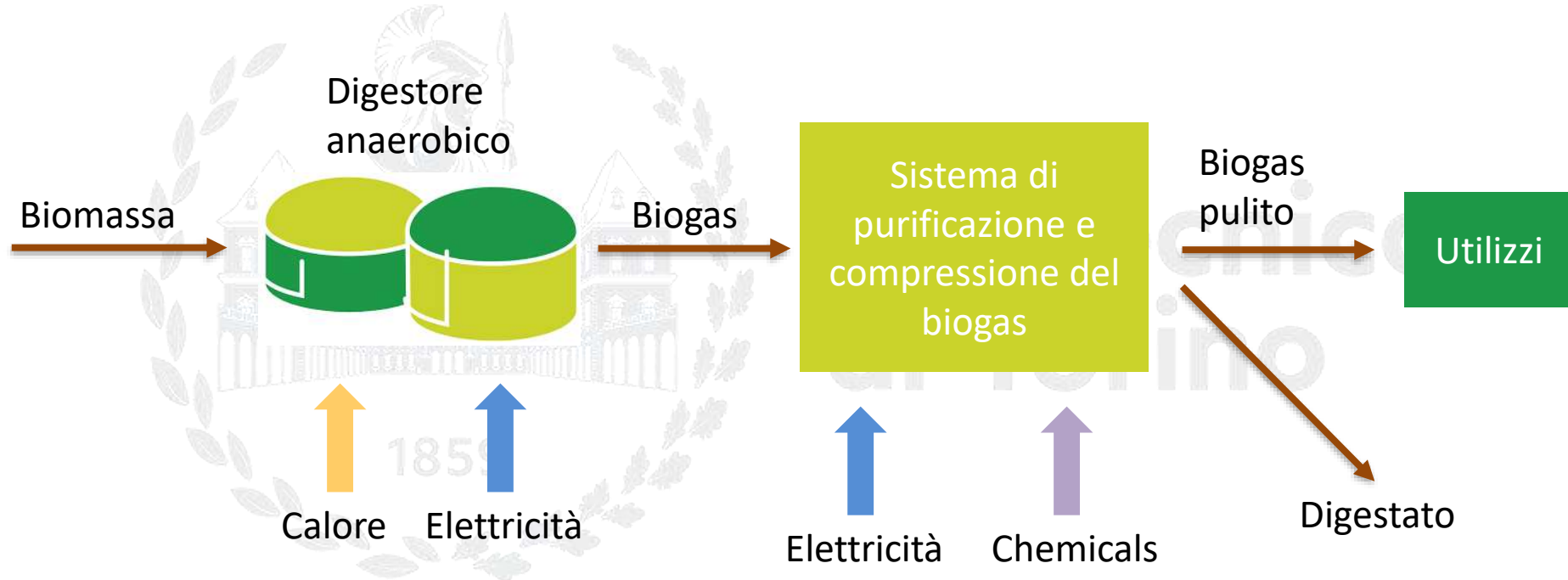
Digestione anaerobica – impianto

M. Gandiglio
09/10/23



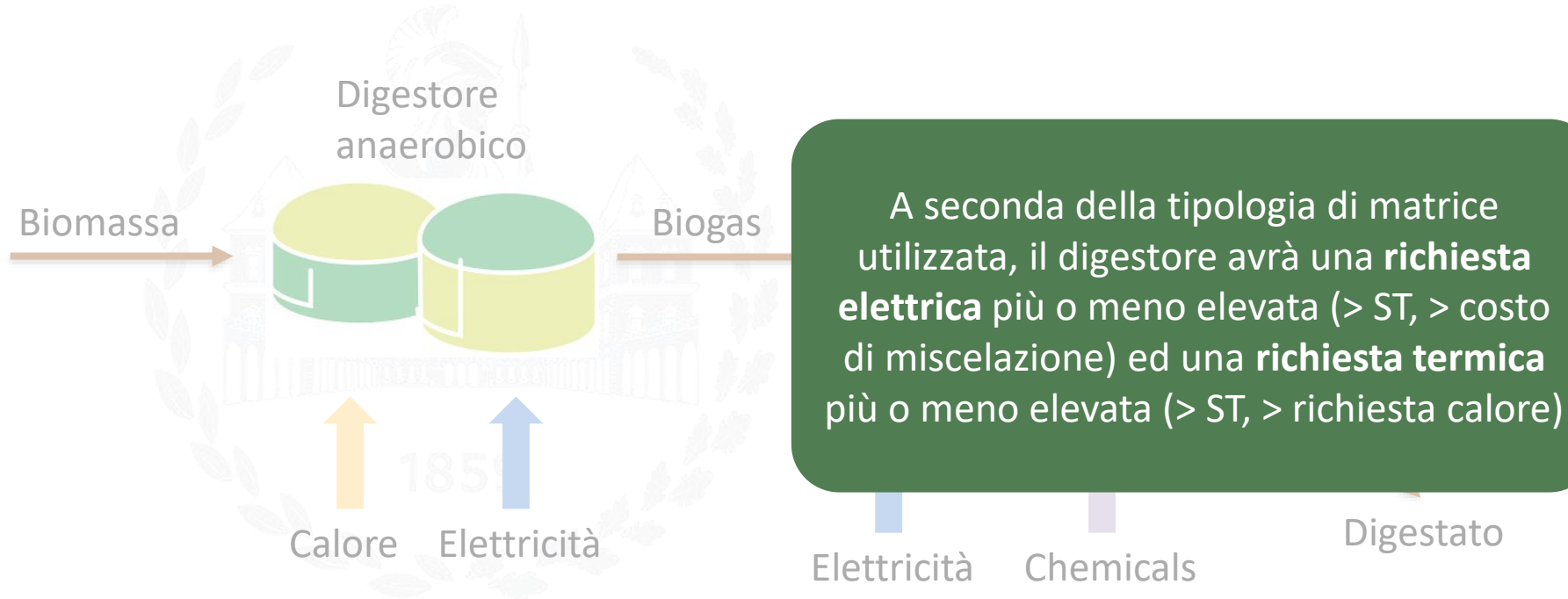
Digestione anaerobica – impianto

M. Gandiglio
09/10/23



Digestione anaerobica – impianto

M. Gandiglio
09/10/23

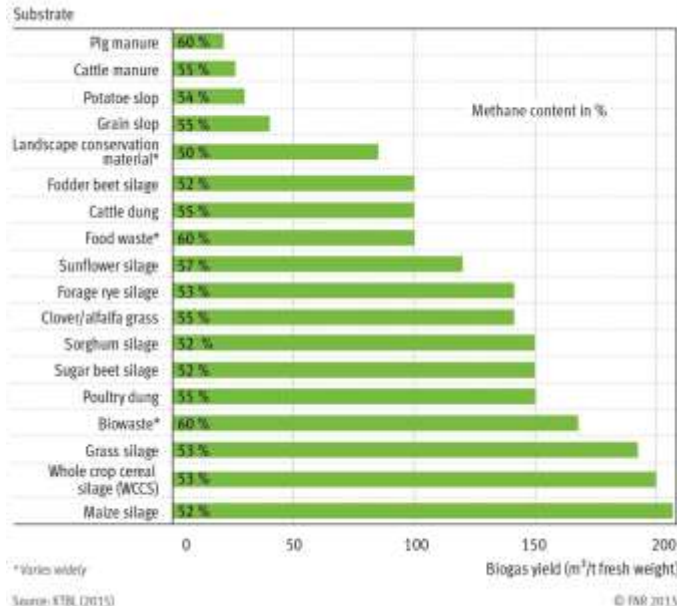


Digestione anaerobica: biogas yields

M. Gandiglio
09/10/23



Energia prodotta (TEP) per tonnellata di biomassa in ingresso. La resa, se non espressa in funzione dei solidi in ingresso, è fortemente influenzata dal tenore di secco della biomassa



Substrate	Obtainable biogas Litre/Kg D.M.	Average methane content, %
Wheat straw, whole	367	78.5
Wheat straw, chopped at 3 cm	363	80.2
Wheat straw, micronized at 0.2 cm	423	81.3
Alfalfa	445	77.7
Grass	557	84.0
Sugar beet leaves	501	84.8
Tomato stems	606	74.7
Corn stover	214	83.1
Tree leaves	260	58
Barley straw	380	77
Rice straw	360	75
Flax and hemp stems	369	58
Cow manure	260 – 280	50 – 60
Pig manure	480	60
Horse manure	200 – 300	66
Sheep manure	320	65
Poultry manure	520	68
Human faeces	240	50
Sewage sludge	370	50 – 60

Crop residues | Animal manure

La purificazione del biogas



Biogas- composizione

M. Gandiglio
09/10/23



La composizione del biogas (macro, CH₄ e CO₂, e micro, ovvero i contaminanti in traccia) dipende dalle matrici in ingresso e dalle condizioni di lavoro del digestore anaerobico

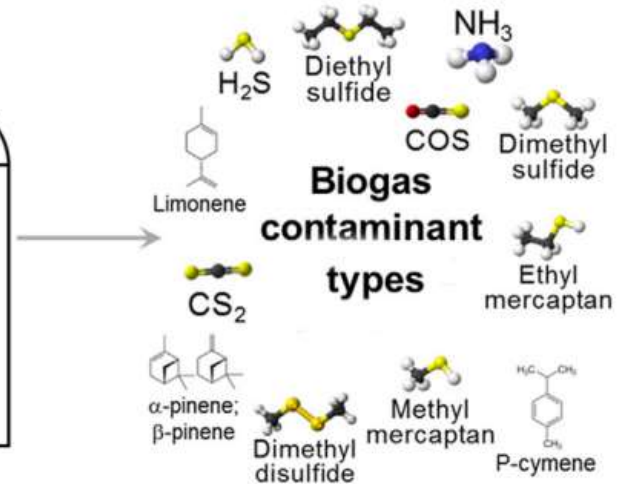
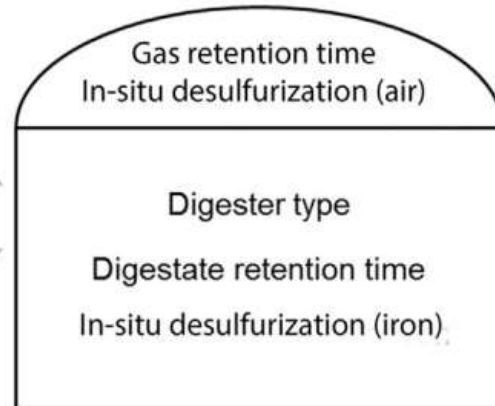
Manure conditions

Livestock type
(Beef/dairy cattle, poultry, pigs)
Livestock feed
Livestock stabling type
Manure seasonality

Co-substrate conditions

Co-substrate type
(Food waste, ag. waste, ...)
Co-substrate amounts
Co-substrate seasonality

Digester conditions

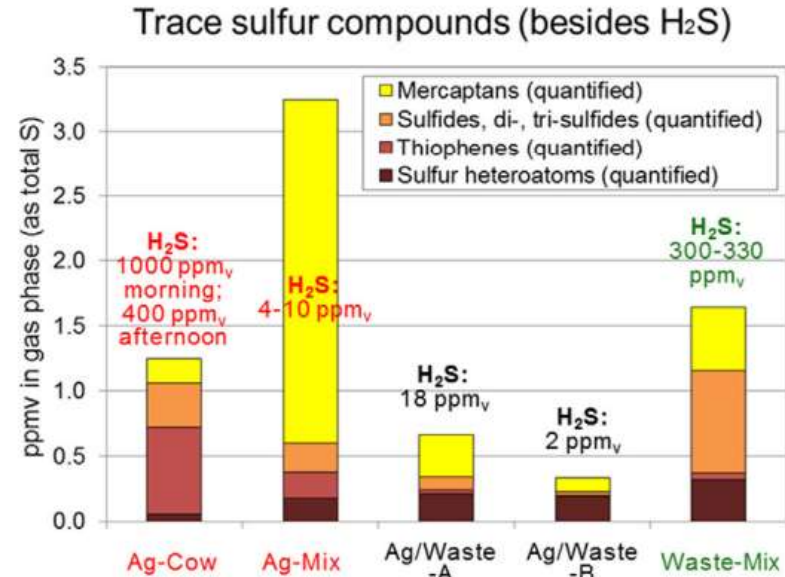
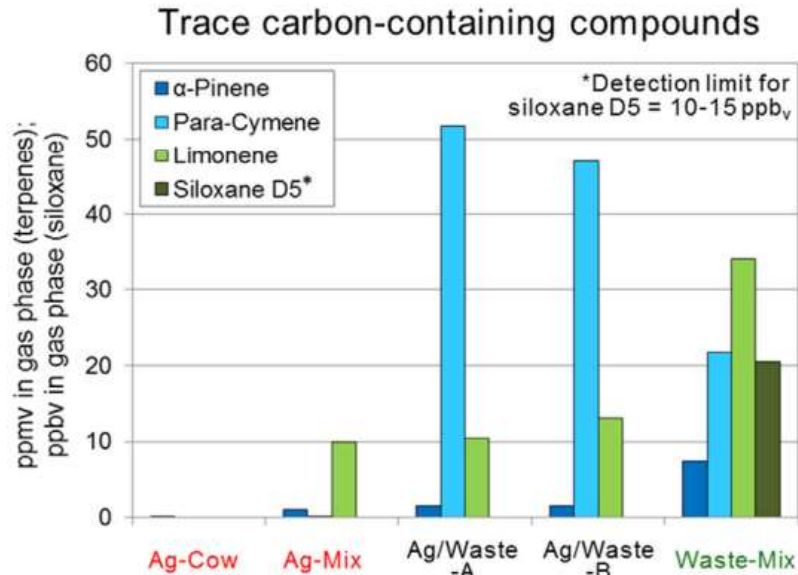


Composizione media del biogas da differenti fonti (depurazione, scarti alimentari, reflui zootecnici e discarica)

composition	natural gas	biogas			
		waste water	food waste	animal waste	landfill
methane (vol %)	80–100	50–60	50–70	45–60	40–55
carbon dioxide (vol %)	<3	30–40	25–45	35–50	35–50
nitrogen (vol %)	<3	<4	<4	<4	<20
oxygen (vol %)	<0.2	<1	<1	<1	<2
H ₂ S (ppm)	<0.1	<400	<10 000	<300	<200
non H ₂ S sulfur (ppm)	<10	<1	<1000	<30	<30
halogens (ppm)	<0.1	<0.2	<0.2	<0.2	<100
moisture (%)	<0.02	~ 3	~ 3	~ 3	~ 3

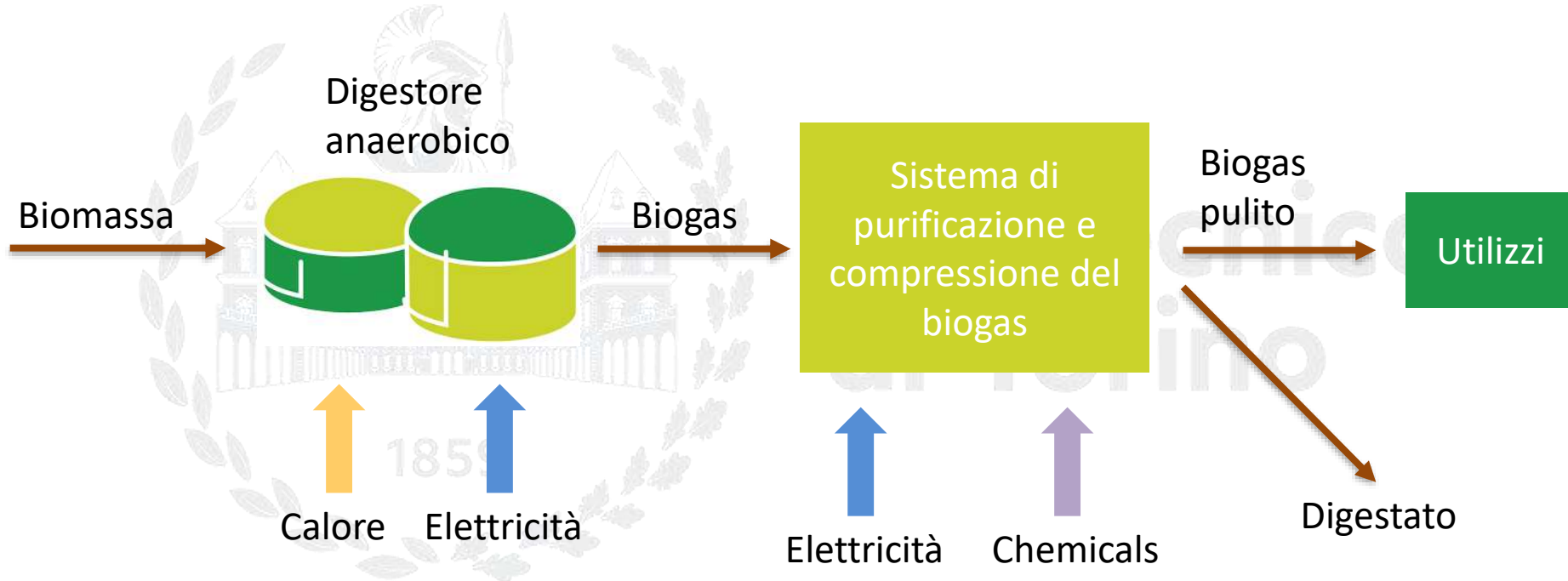
Biogas – composizione

M. Gandiglio
09/10/23



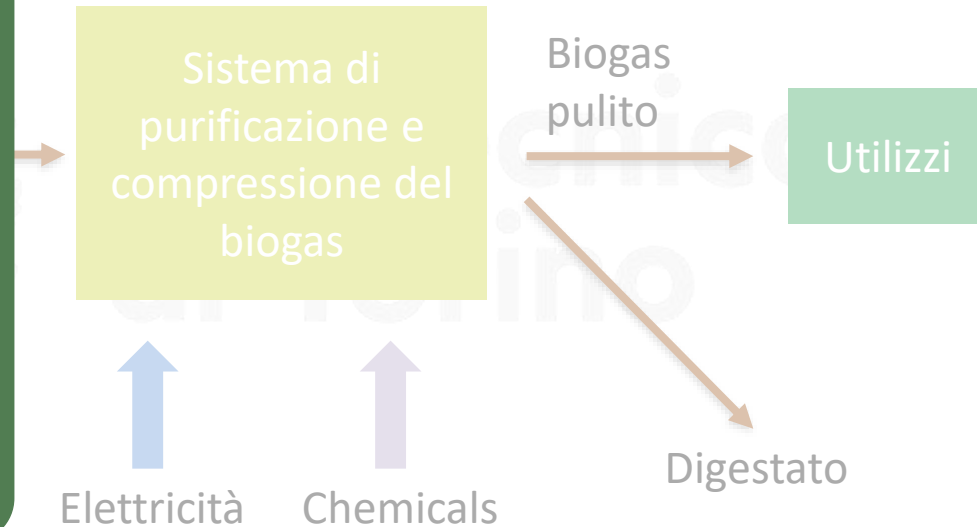
Digestione anaerobica – impianto

M. Gandiglio
09/10/23



Il sistema di purificazione del biogas varia a seconda di:

- **Composizione in ingresso**, data da tipologia di biomassa e condizione di digestione (eventuali pre-trattamenti)
- **Utilizzo del biogas** (motore, fuel cell, upgrading, etc.)



Tolleranza all'H₂S delle principali opzioni di utilizzo del biogas

Application	H ₂ S Tolerance	Unit	Reference
Boiler	<1000	ppm(v)	[22]
ICE	<50–500	ppm(v)	[25]
Stationary Engine	<1000	ppm(v)	[22]
Turbine	<1000	ppm(v)	[25]
Micro-Turbines	<70,000	ppm(v)	[26]
Vehicle Fuel	<5	ppm(v)	[27]
SOFC	<1	ppm(v)	[28,29]
	<2		[30]
NG grid injection	<5	mg/m ³	[31]

Tipologie di sistemi di purificazione del biogas.

- Alto tenore di zolfo in ingresso → scrubber (biologico / chimico), sistemi criogenici (innovativi). Consumo elettrico/materiali.
- Basso tenore di zolfo in ingresso → adsorbimento su filtri (carboni attivi, ossidi metallici, etc.). Consumo di materiali (sorbenti, costo e smaltimento).

Utilizzi del biogas



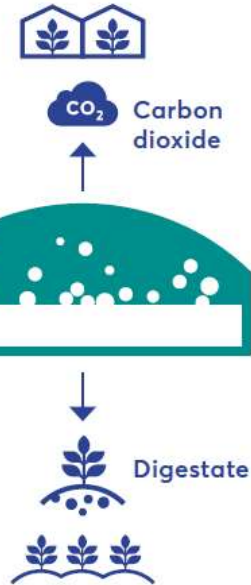
Utilizzi del biogas

M. Gandiglio
09/10/23







INPUTS (FEEDSTOCK)

- Energy Crops 
- Plant by-products 
- Animal by-products 
- Biowaste from households 
- Industrial & commercial organic waste 



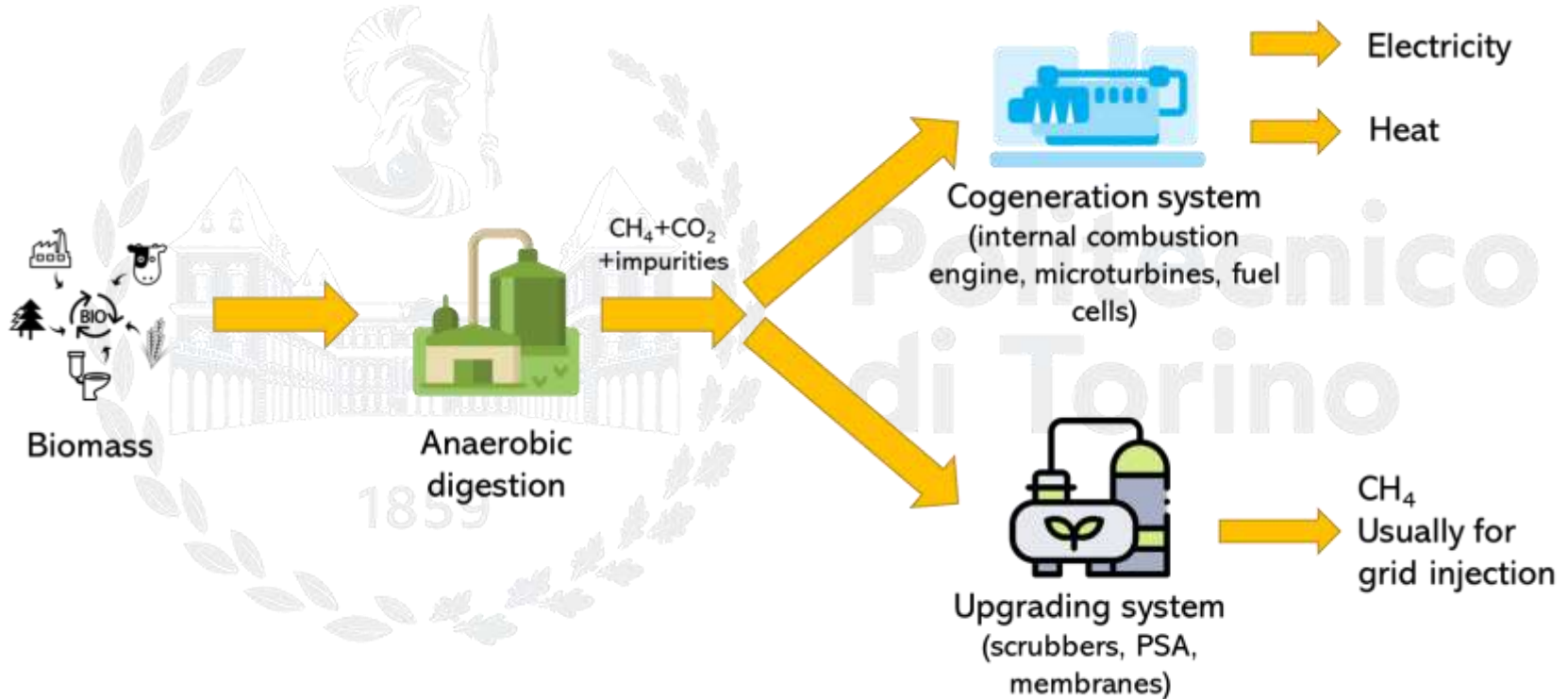
OUTPUTS

-  Biofuel for transport
-  Biomethane injected in natural gas grid
-  Electricity
-  Heat



Utilizzi del biogas

M. Gandiglio
09/10/23





Biogas da fanghi di depurazione

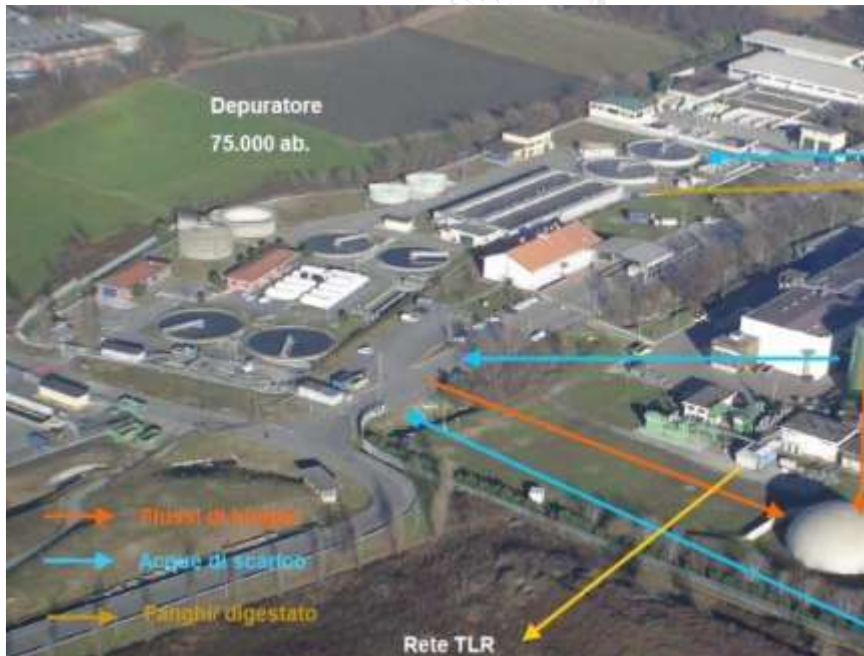


Esempi applicativi

M. Gandiglio
09/10/23



Biogas da FOR

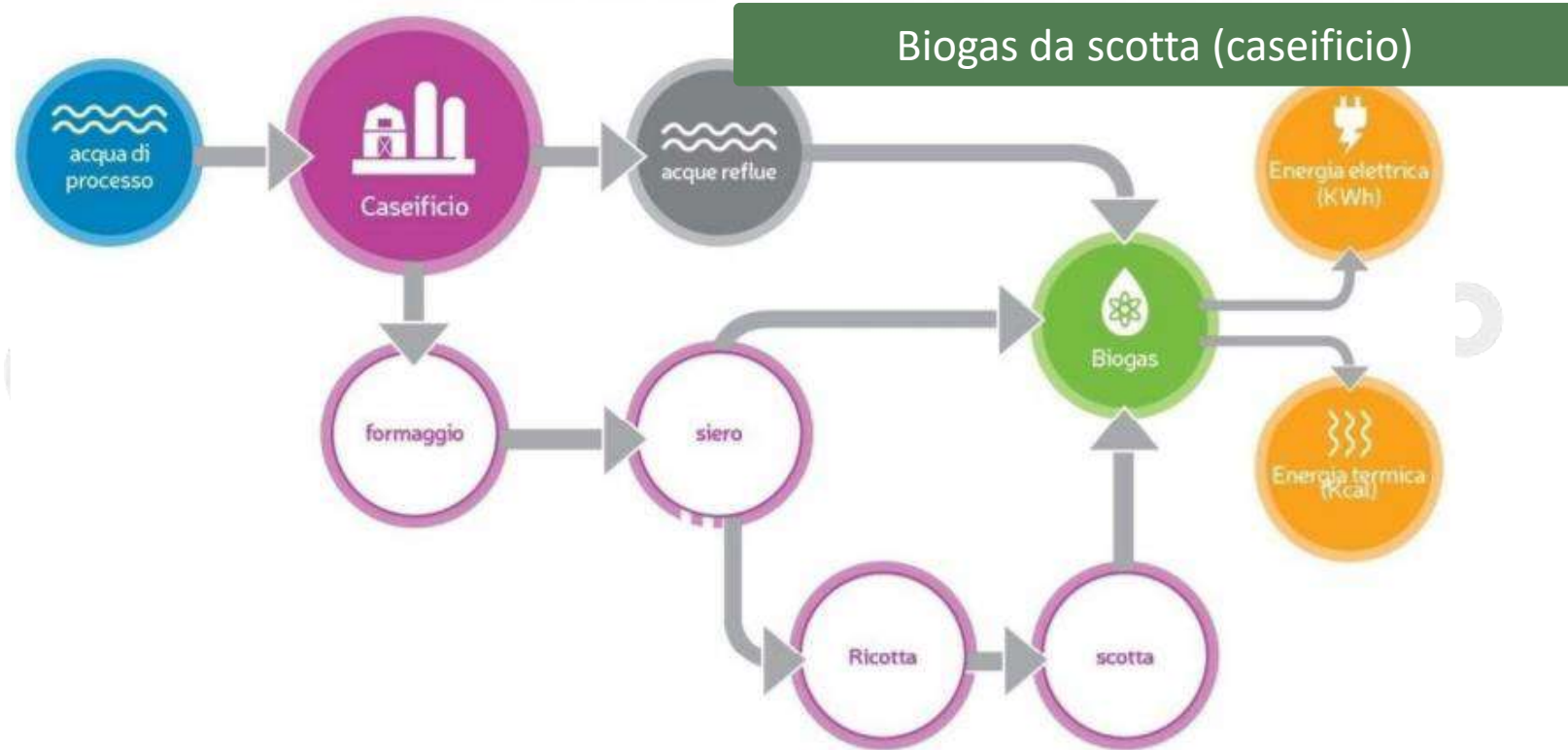


Linea Umido – Digestione anaerobica



Da Biogas a Biometano





Esempi applicativi

M. Gandiglio
09/10/23



Biogas da agricoltura (reflui/culture)



1859

<https://www.consorziobiogas.it/wp-content/uploads/2021/01/Primo-impianto-agricolo-di-bio-GNL.pdf>

Esempi applicativi

M. Gandiglio
09/10/23



18

<https://www.amiat.it/ciclo-integrato-dei-rifiuti/destino-frazioni-raccolte/impianti/interramento-controllato-basse-di-stura>

Utilizzi innovativi del biogas (fuel cells)



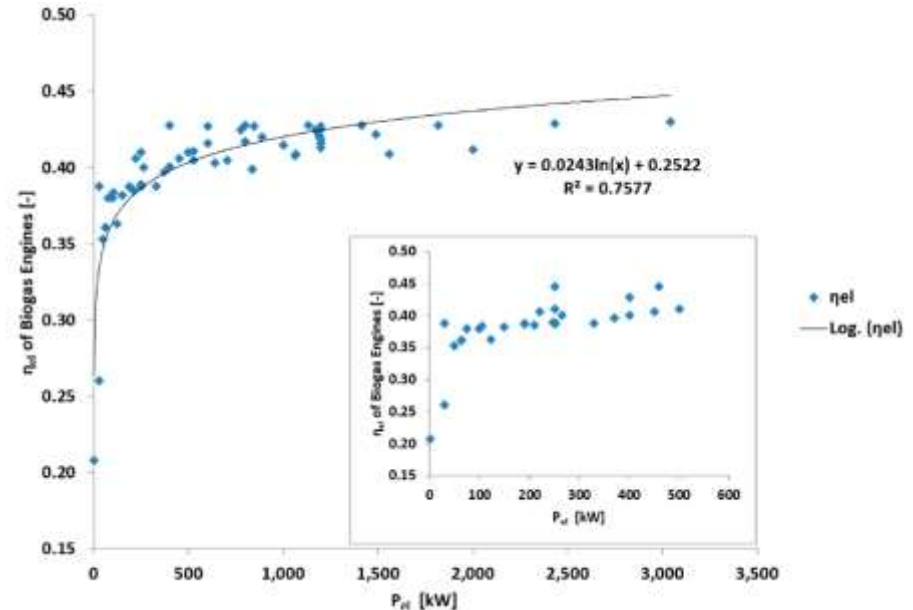
Limiti dei motori a combustione interna

M. Gandiglio
09/10/23



- Efficienza
- Emissioni
- Modularità

	Average	Limit	
Total Powders	3.81	10	mg/m ³
Total NOx	410.34	450	mg/m³
Total SOx	48.84	50	mg/m³
Sulfuric acid	< 0.2	2	mg/m ³
Carbon Monoxide	219.09	500	mg/m ³
Total Volatile Organic Compounds (TOC)	883.83	150	mg/m³
TOC (not methane)	238.00	150	mg/m³
Hydrochloric acid	< 0.2	10	mg/m ³



Cella a combustibile ad ossidi solidi






M. Gandiglio
09/10/23



Performance	Targets
Net power output	58kW (3x400-440V AC 50/60Hz)
Energy efficiency (LHV) Electrical (net , AC) Total (exhaust 40°C)	> 53 % > 80 %
Heat recover Exhaust gas flow Exhaust gas temperature	650 kg/h 222 °C
Emissions NOx Particulates(PM10) CO ₂ (NG, nominal load) CO ₂ (with heat recovery)	< 2 ppm < 0.09 mg/kWh 354 kg/MWh 234 kg/MWh
Fuels	Natural gas, City gas, Biogas
Dimensions (L x W x H) power unit aux. equipment	3,5 x 1,9 x 2,3 m 2,4 x 0,6 x 2,2 m
Noise level	< 70 dB(A) at 1 m
Installation Temperature	Indoor / outdoor -20 – +40°C



Il progetto DEMOSOFC

- POLITECNICO DI TORINO (IT): coordinatore 
- CONVION (FI): fornitore tecnologia SOFC 
- SMAT (IT): gestore sistema idrico e depurazione 
- VTT (FI): analisi dati 
- IMPERIAL COLLEGE (UK): business analysis 



- Timing: 01/09/2015 > 31/08/2020
- Project Budget : 5.905.336 €



Anaerobic digestion for
biogas production



Solid Oxide Fuel Cell
Engine or Micro Gas
Turbine



Electricity



Heat

Perché DEMOSOFC?

- Elevate performance



- Zero emissioni inquinanti in atmosfera



- Sistema modulare



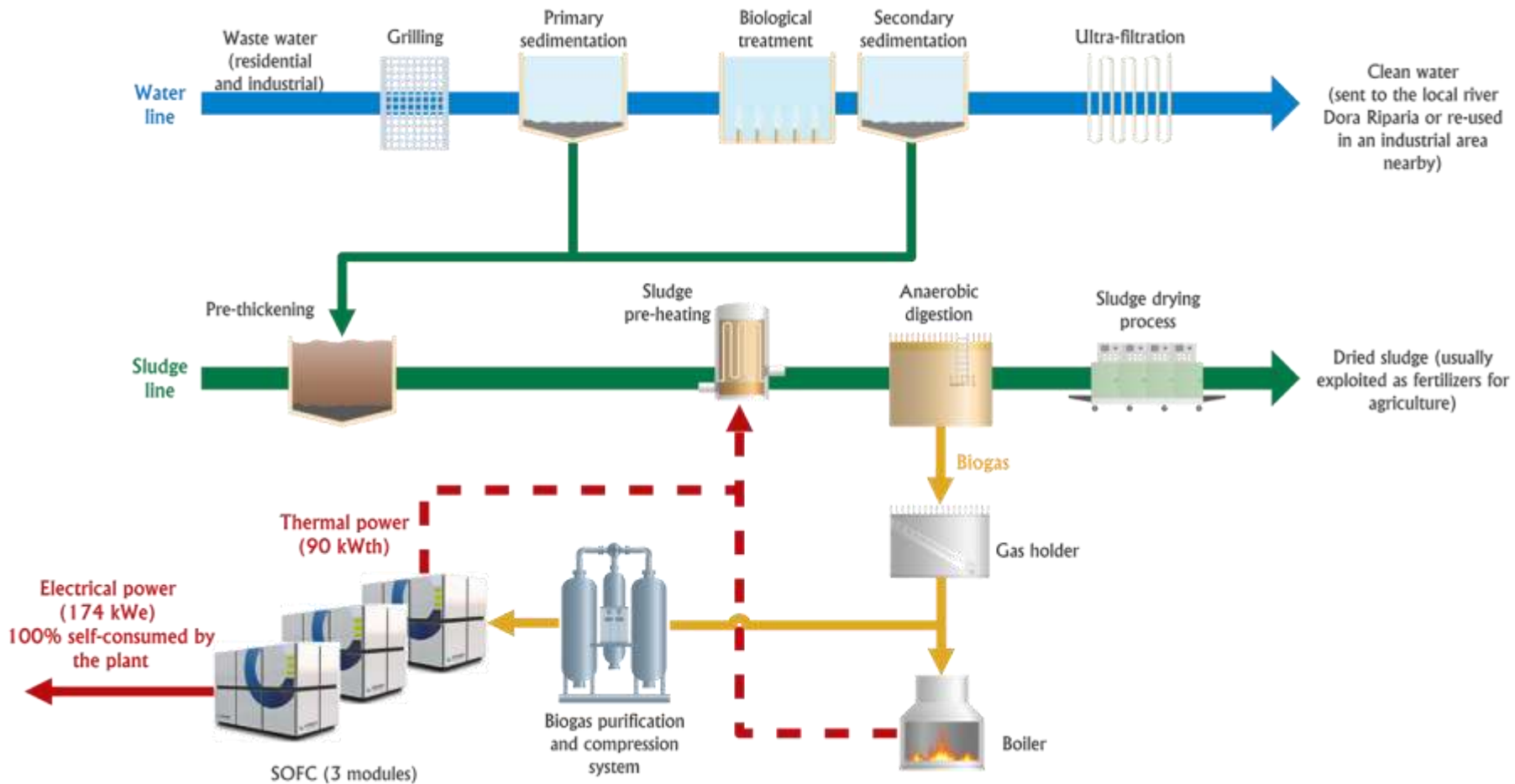
Il depuratore SMAT di Collegno





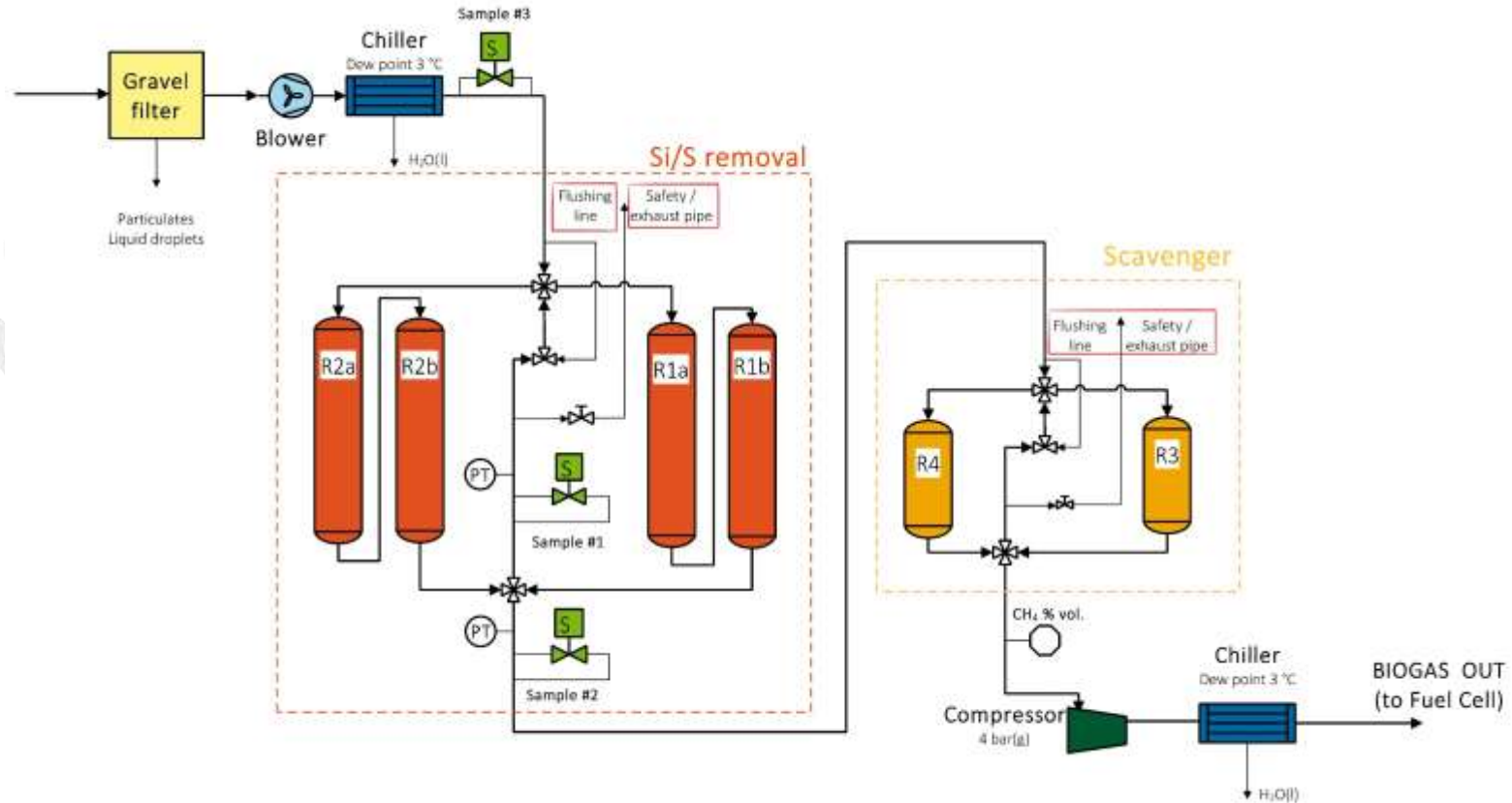
SOFC: Cosa ci offre il mercato?





Biogas cleaning system

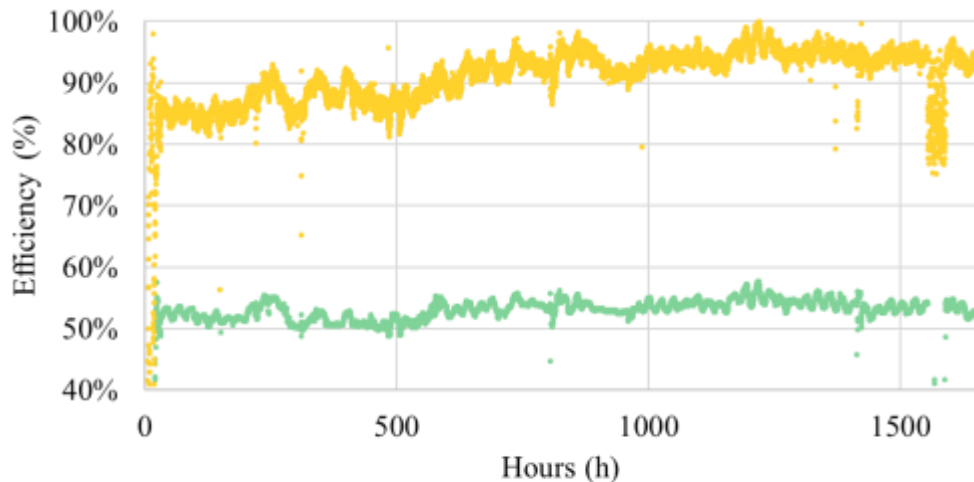
M. Gandiglio
09/10/23



Biogas cleaning system

M. Gandiglio
09/10/23



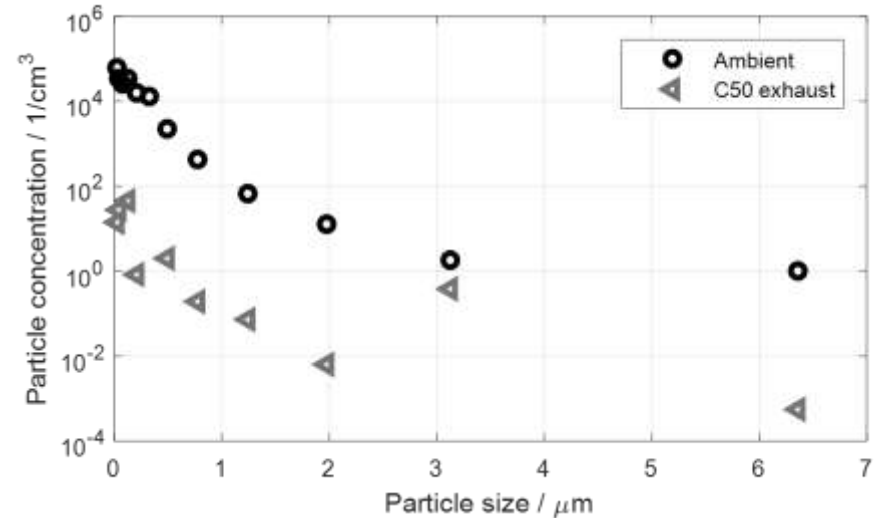


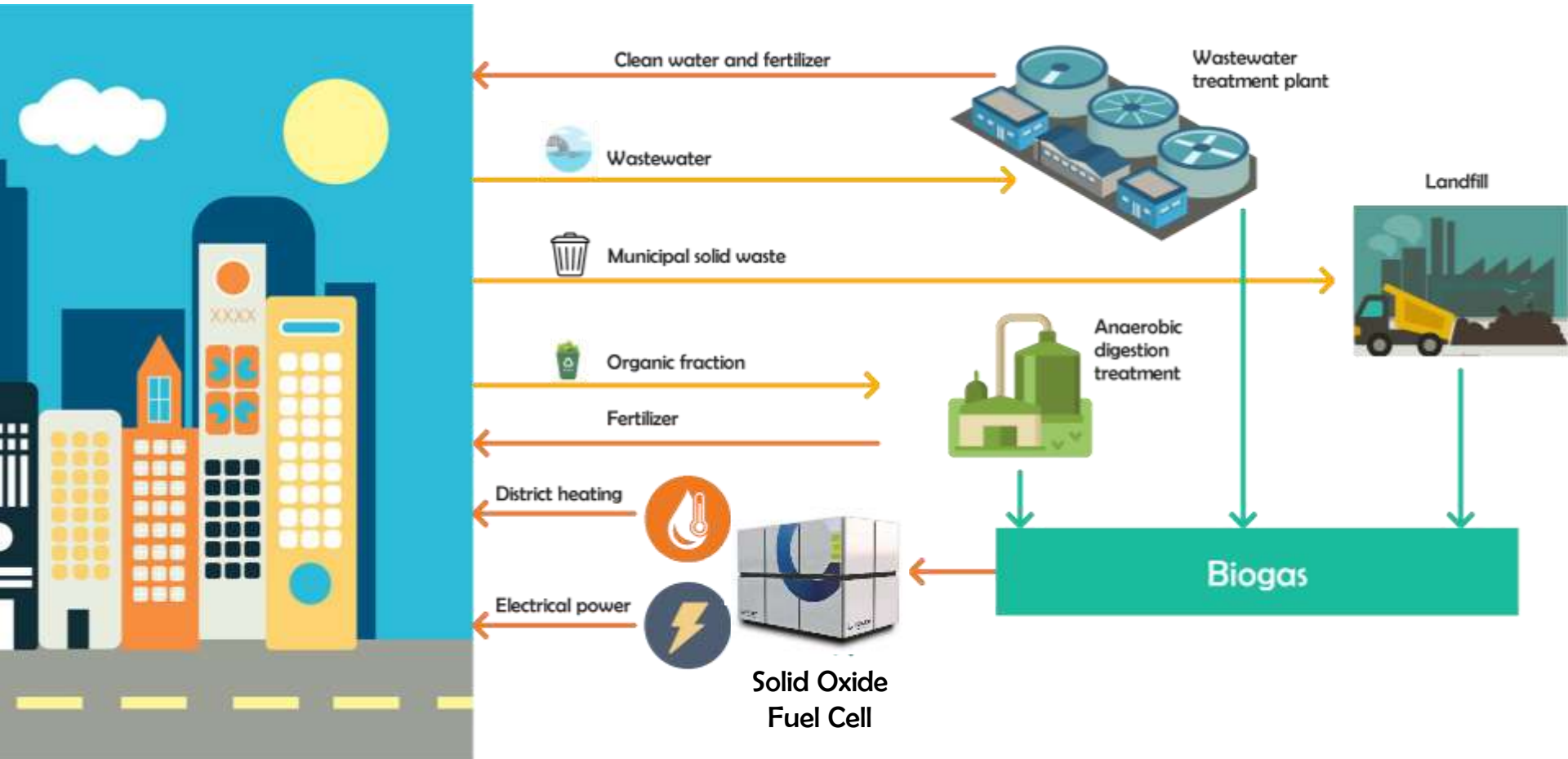
• Electrical efficiency (%) • Total efficiency (%)



Le emissioni

Species	Unit	Measured value	Typical emission limits of gas engines and turbines ^{1,2}
H ₂ O	Vol-%	4.7	
CO ₂	Vol-%	3.4	
CO	mg/m ³	<9	100
CH ₄	mg/m ³	<2	
N ₂ O	mg/m ³	<8	
NO	mg/m ³	<20	
NO _x (as NO ₂)	mg/m ³	<20	75...200
SO ₂	mg/m ³	<8	15...60
C ₂ H ₆	mg/m ³	<14	
HCHO	mg/m ³	<7	
HF	mg/m ³	<10	
HCl	mg/m ³	<10	
SO ₂	mg/m ³	<10	
O ₂	Vol-%	18.3	
Particulate	mg/m ³	0.01	Ambient air EU reference values ³ 0.025 (PM _{2.5}), 0.05 (PM ₁₀)





- DEMOSOFC blog: <https://demosofc.wordpress.com/>
- DEMOSOFC documentation: http://www.demosofc.eu/?page_id=351
- DEMOSOFC concept: <https://youtu.be/dA8hdxCAIrY>
- DEMOSOFC results:
 - Short video <https://www.youtube.com/watch?v=Gvuqu91w2L4&t=8s>
 - Long video <https://www.youtube.com/watch?v=0vvppRVza78&t=4s>
- DEMOSOFC web-seminars playlist:
<https://www.youtube.com/watch?v=7YTCsgQkwWA&list=PLf5uOWQTy4DEIcX5mlt32QrGPJdLLcMJv&index=2>

Conclusioni e prospettive

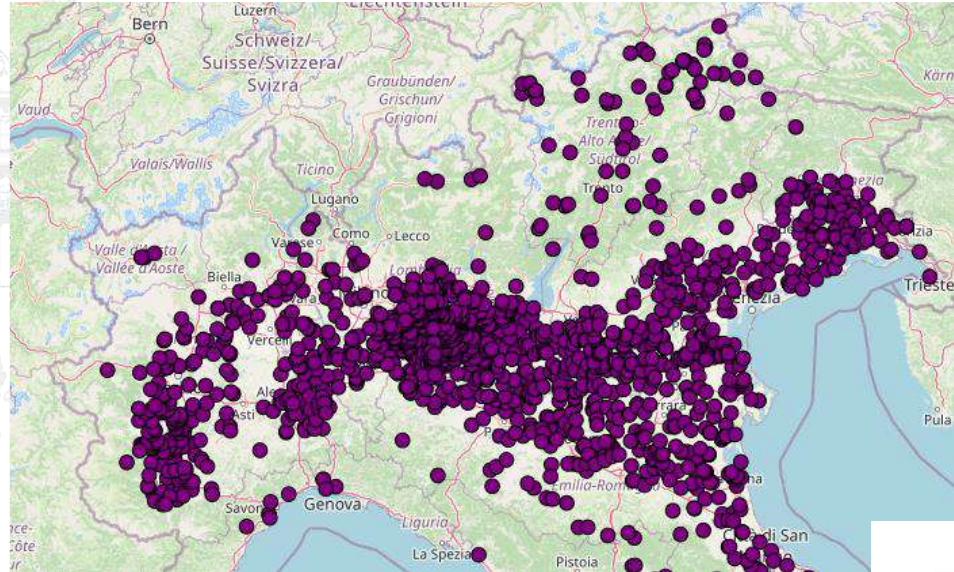


Mercato biogas in Italia

M. Gandiglio
09/10/23



2155 impianti in Italia



Mercato biogas in Italia

M. Gandiglio
09/10/23



BIOGAS ELETTRICO	Imp.	P	EE	CH4 lordo	CH4 netto*	h/y
<i>GSE Feb 23</i>	n	MWe	GWh	Mln Smc	Mln Smc	P.P.
Biogas elettrico	2.122	1.455	8.124	2.531	1.831	5.584
di cui agricolo	1.793	1.025	6.942	2.163	1.565	6.772

BIOMETANO	Imp	Capac.	CH4 lordo	CH4 netto	h/y
<i>GSE Ott. 22</i>	n	Smc/h	Mln Smc	Mln Smc	P.P.
Biometano	33	36.604	304	237	8.300
di cui agricolo	6	2.855	24	18	8.300

SETTORE BIOGAS	Imp			CH4 Lordo	CH4 netto
	n			Mln Smc	Mln Smc
Settore biogas	2.155			2.835	2.068
di cui agricoli	1.799			2.186	1.583

Mercato biogas in Italia

M. Gandiglio
09/10/23

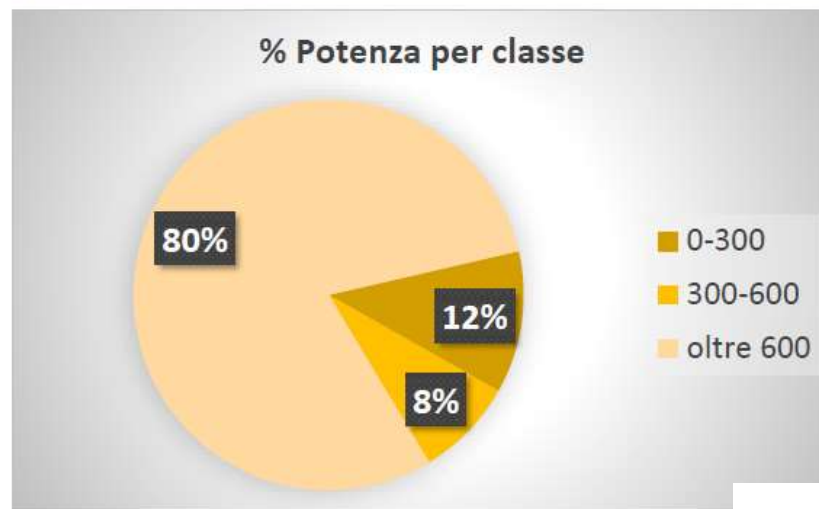


Biogas «elettrico»

Ripartizione per numero di impianti incentivati e taglia

Regione	0-300 kW	300-600 kW	> 600	TOTALE
LOMBARDIA	225	74	273	572
VENETO	95	32	130	257
PIEMONTE	105	16	97	218
EMILIA ROMAGNA	69	19	119	207
FRIULI VENEZIA GIULIA	33	7	43	83
CAMPANIA	36	3	9	48
LAZIO	14	7	16	37
TOSCANA	9	2	26	37
TRENTINO ALTO ADIGE	25	2	7	34
PUGLIA	18	3	6	27
UMBRIA	10	4	9	23
MARCHE	7		14	21
SARDEGNA	6		13	19
BASILICATA	14	2	2	18
CALABRIA	5	2	6	13
ABRUZZO	2	1	10	13
SICILIA	5	1	1	7
LIGURIA	2			2
MOLISE			2	2
VALLE D'AOSTA	1			1
TOTALE	681	175	783	1639

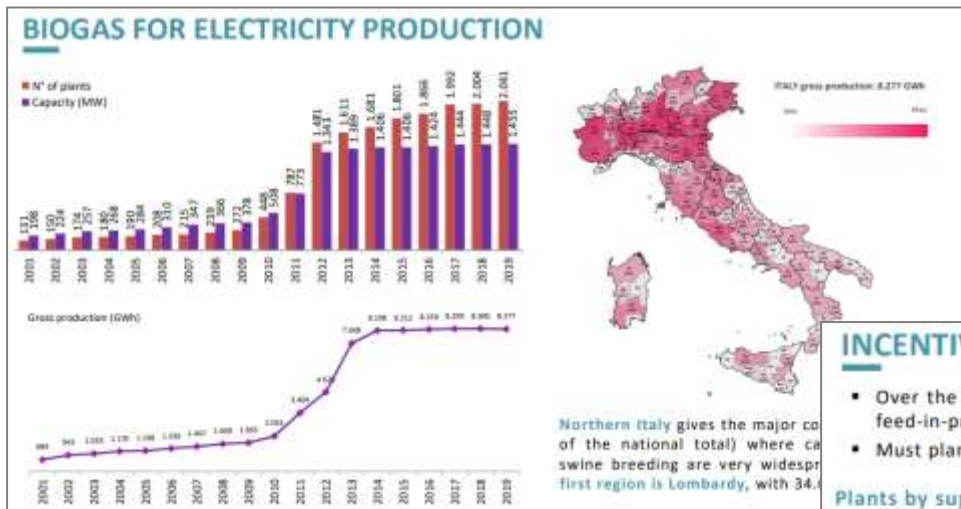
Classe	Numero	% n	Pot [MW]	% P
0-300	681	41,5%	120,5	11,8%
300-600	175	10,7%	83,9	8,2%
oltre 600	783	47,8%	817,8	80,0%
TOTALE	1639	100,0%	1022,3	100,0%



Da rapporto GSE Rinnovabili 2021:

- Produzione elettrica da biogas 8.12 TWh (di cui 6.95 biogas agricolo)
- Calore utilizzato 3.38 TWh
- Assumendo efficienza elettrica netta media 35%, l'efficienza termica media risulta del 15 %, quella globale del 50 %
- L'uso del calore è in tendenziale aumento, ma è ancora ampiamente migliorabile

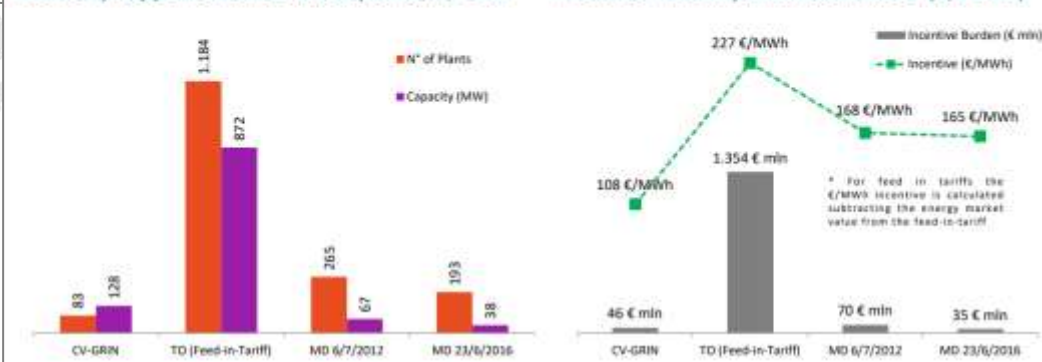
Mercato biogas in Italia



INCENTIVE SCHEMES SUPPORTING BIOGAS PLANTS in 2020

- Over the past 15 years biogas plants were supported by a number of supporting schemes, both with feed-in-premium and feed-in-tariffs
- Most plants were realized under the TO Fit scheme, thanks to favorable tariffs

Plants by support scheme: 1,725 plants, 1,1 GW Incentive intensity and total burden (1,3 bn)



1859

Traiettorie ed opportunità

M. Gandiglio
09/10/23



UE

- Piano RepowerEU → 35 Mld di mc di biometano al 2030
- RED3 → 42,5% di rinnovabili elettriche sui consumi al 2030



Italia

- Biometano: PNRR ha obiettivo di produrre 2,3-2,5 Mld Smc al 2026
- Elettrico: Obiettivi PNIEC in fase di revisione (30/6/2023)

Politecnico



NUOVI IMPIANTI

- Impianti di biometano (*DM 15 settembre 2022*)
- Impianti elettrici di piccola taglia (*FER2*)



RICONVERSIONE BIOMETANO, PROSECUZIONE ELETTRICA

- Riconversione biometano (*DM 15 settembre 2022 con PNRR*)
- Revamping e prosecuzione elettrica (*FER2, altro, PNRR*)
- Potenziamenti non incentivato (sblocca motori, ecc)



Impianti elettrici «a fine vita»

M. Gandiglio
09/10/23

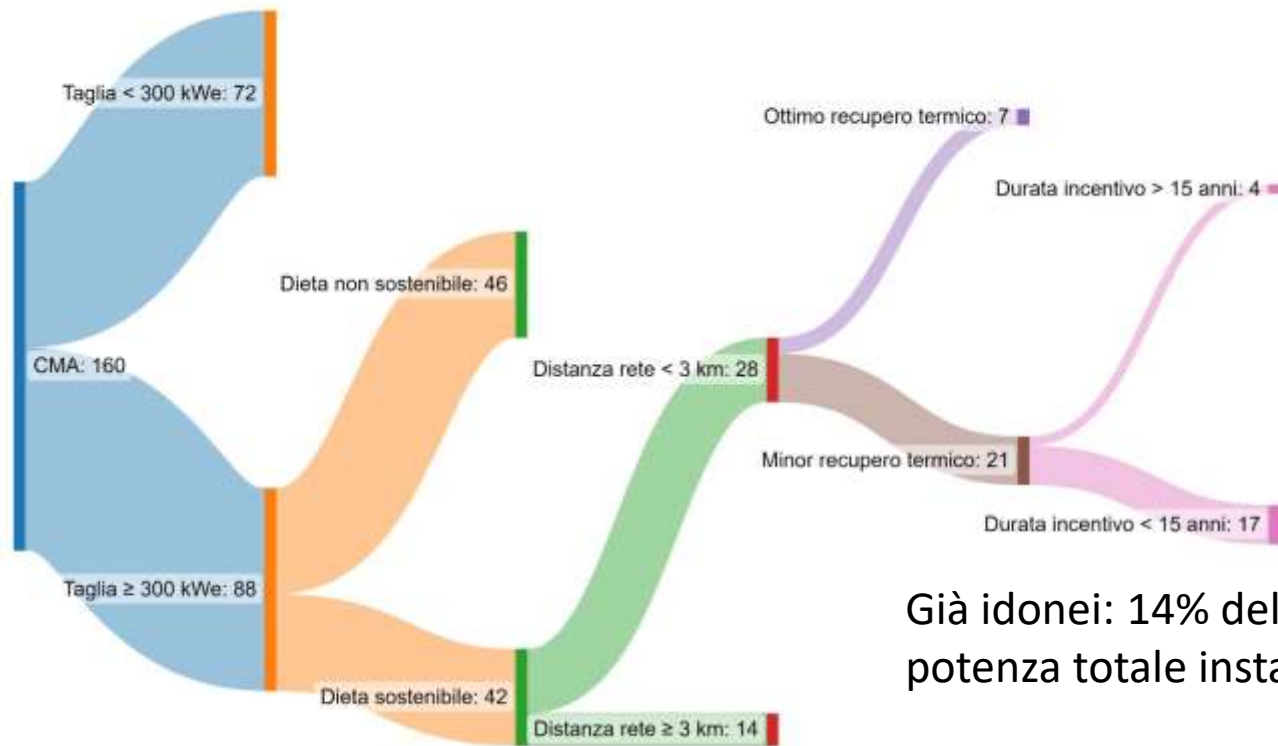


Incentivo	Impianti in scadenza			Potenza [MW]			Totale	Potenza
	2022	2023 - 2027	oltre	2022	2023 - 2027	oltre	n	MW
CV-GRIN	85	70	7	89	96	15	162	200
TO	6	964	211	4	702	162	1.181	868
TOTALE	91	1.034	218	93	798	177	1.343	1.068

1859

Sostenibilità conversione a biometano

M. Gandiglio
09/10/23

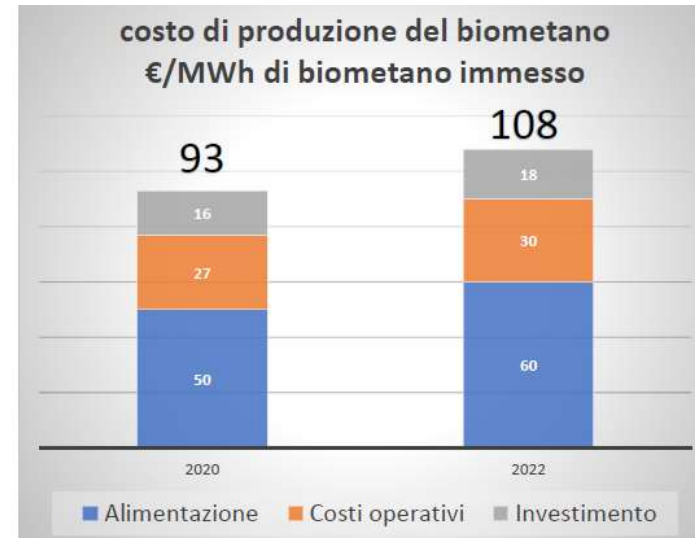
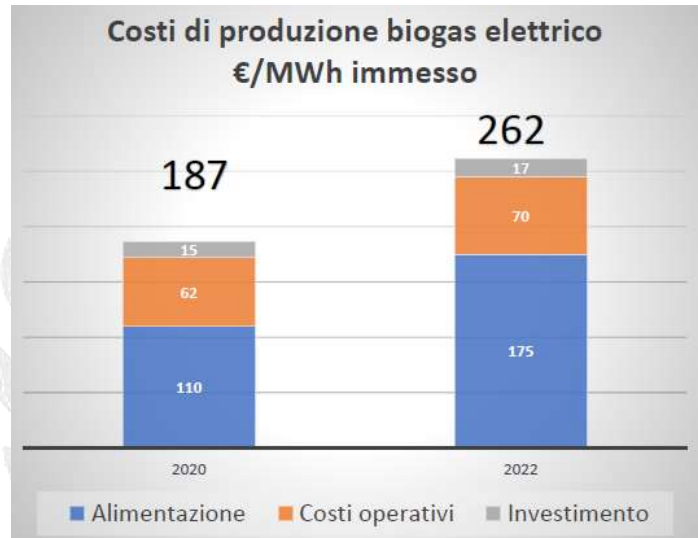


Già idonei: 14% dell'attuale
potenza totale installata



Costi medi di produzione

M. Gandiglio
09/10/23



Valori medi analizzati su circa 50 Business Plan di riconversione analizzati. Per biogas elettrico il CAPEX è costituito dai costi di revamping impianto dopo i primi 15 anni di esercizio. Per il biometano il CAPEX è il costo di riconversione al netto del contributo PNRR. BGE: taglia media 600 kWe , BM taglia media 200 Smc/h

Biogas «elettrico» vs. biometano

M. Gandiglio
09/10/23



Biometano

- 1 MWh di biogas $\rightarrow \approx 0.8$ MWh di biometano $\rightarrow 0.8$ MWh di GN sostituito

Biogas (solo elettrico):

- 1 MWh di biogas $\rightarrow 0.35$ MWhe $\rightarrow 0.35/0.55 = 0.64$ MWh di GN sostituito

Biogas (elettrico + calore):

- Media attuale, 1 MWh di biogas $\rightarrow 0.35$ MWhe + 0.15 MWht $\rightarrow 0.35/0,55 + 0.15/0.9 = 0.8$ MWh di GN sostituito
- Massima cogenerazione, 1 MWh di biogas $\rightarrow 0.35$ MWhe + 0.35 MWht
 $0.35/0,55 + 0.35/0.9 = 1.03$ MWh di GN sostituito

Biogas «elettrico» vs. biometano

M. Gandiglio
09/10/23



Punto di vista operatori:

- Per impianti con incentivo scaduto, si può immaginare una prosecuzione di incentivo (FER 2), ma non troppo diverso da quello delle altre FER (FER 1: $100 \div 150$ €/MWh)
- Biometano: più remunerativo, anche tenendo conto del CAPEX per upgrading: DM 15/9/22, ritiro dedicato da parte GSE a 110 €/MWh, equivalenti a $110/0.35 = 314$ €/MWh

Barriere:

- **Distanza da rete gas:** allaccio troppo costoso oltre $1 \div 2$ km; immissione in rete
- **Distribuzione** in genere limitata da fattori stagionali
- **Costi fissi** per allaccio, misura, analisi sfavoriscono impianti medio-piccoli
- **Dieta:** biometano avanzato solo per reflui zootecnici + scarti

Prospettive per il biometano

M. Gandiglio
09/10/23

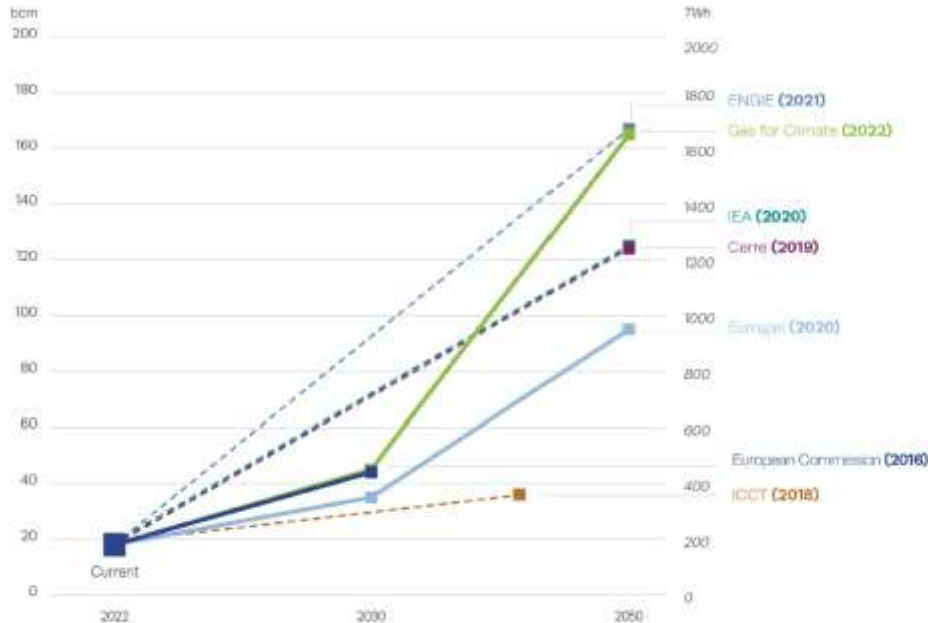


Figure 3.1 European biogas and biomethane production potential for 2030 and 2050, as calculated by the various studies, expressed in bcm and TWh

- ➔ Most studies are **in line** with the 35 bcm target
- ➔ EBA report: Potential break down by feedstock & country
- ➔ According to EBA estimations, **by 2050 we can produce up to 167 bcm of biomethane**, which would represent up to 61% of the total EU gas demand.



Prospettive per il biometano

M. Gandiglio
09/10/23

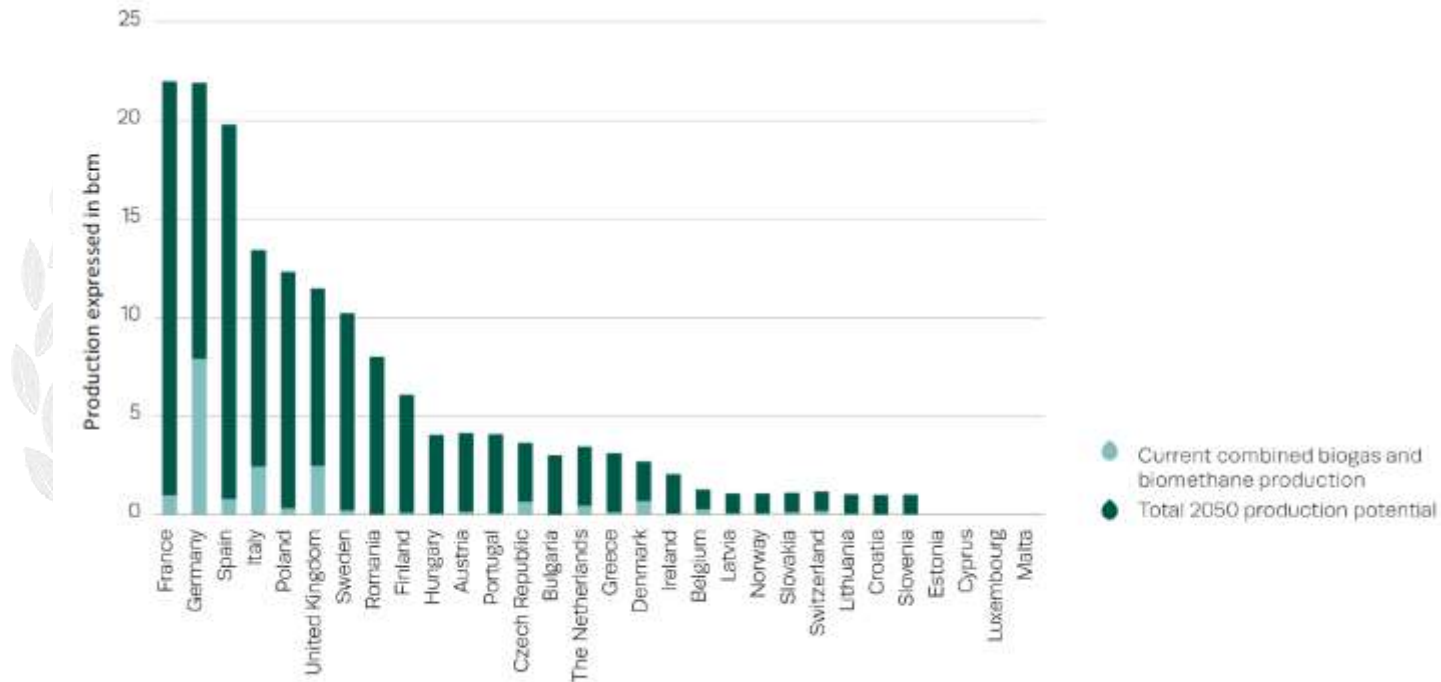


Figure 3.3 2050 biomethane production potential compared to 2021 combined biogas and biomethane production per European country

GRAZIE PER L'ATTENZIONE

Marta Gandiglio

marta.gandiglio@polito.it

