



Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile

Il ruolo chiave dell'idrogeno nel futuro dei biocarburanti

Convegno: "Il ruolo dell'idrogeno alla luce della strategia europea per l'idrogeno"

Sala Capranichetta - Hotel Nazionale / Roma, 9 ottobre 2020

Vito Pignatelli, ENEA - Dipartimento Tecnologie Energetiche e Fonti Rinnovabili

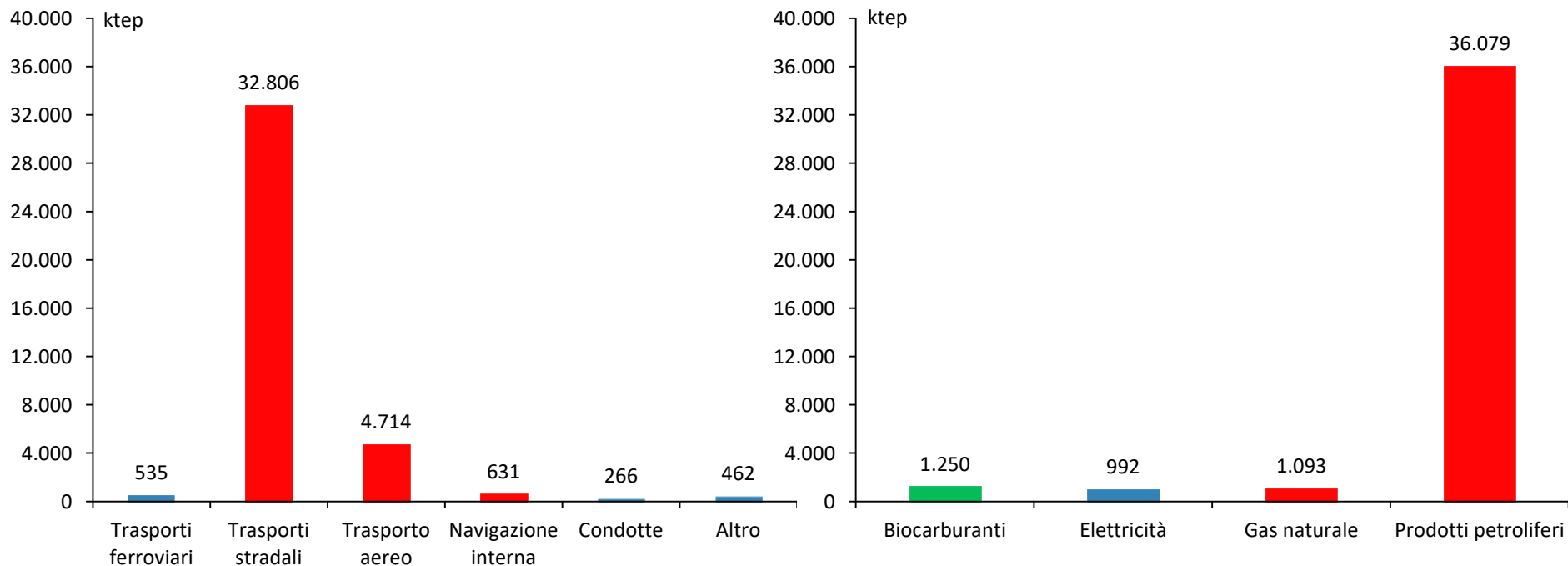


1101 0110 1100
0101 0010 1101
0001 0110 1110
1101 0010 1101
1111 1010 0000



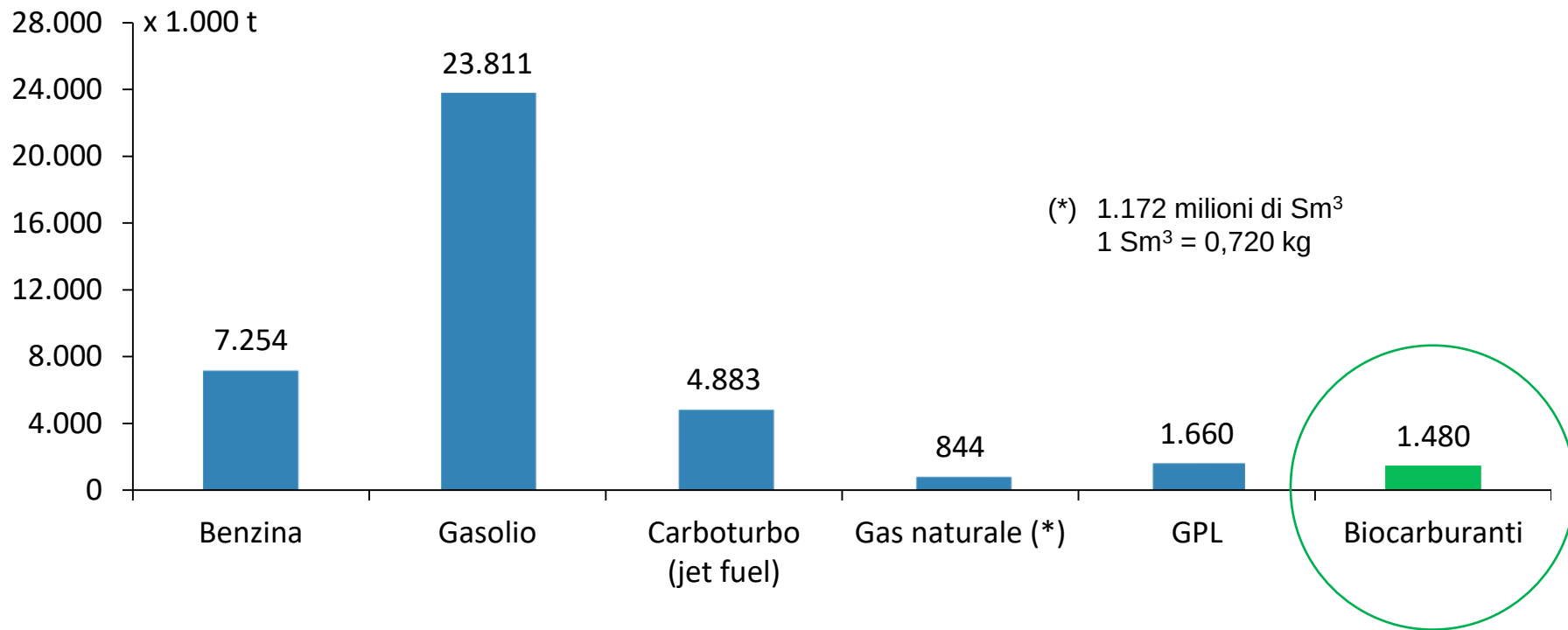
Consumi finali di energia nel settore dei trasporti in Italia per modalità e fonte energetica nel 2018

Consumi di energia nel settore dei trasporti = 31,5% del totale (32,1% nel 2019)



Elaborazione su dati GSE, Energia nel settore dei trasporti 2005-2019, giugno 2020

Consumi di carburanti nel settore dei trasporti in Italia nel 2019



Elaborazione su dati Ministero dello Sviluppo Economico e GSE

Consumi di biocarburanti nel settore dei trasporti in Italia nel 2019

	Biodiesel (*)	Bio-etanolo	Bio-ETBE (**)	Biometano
Totale immesso al consumo (t)	1.409.548	16	35.384	35.163
<i>di cui sostenibile</i>	<i>1.409.548</i>		<i>35.384</i>	<i>35.163</i>
<i>di cui "single counting"</i>	353.206		35.383	
<i>di cui "double counting"</i>	1.056.342		1	35.163
<i>di cui "double counting avanzato"</i>	<i>409.944</i>		<i>1</i>	<i>35.163</i>
% sul totale	95,2%	0%	2,4%	2,4%

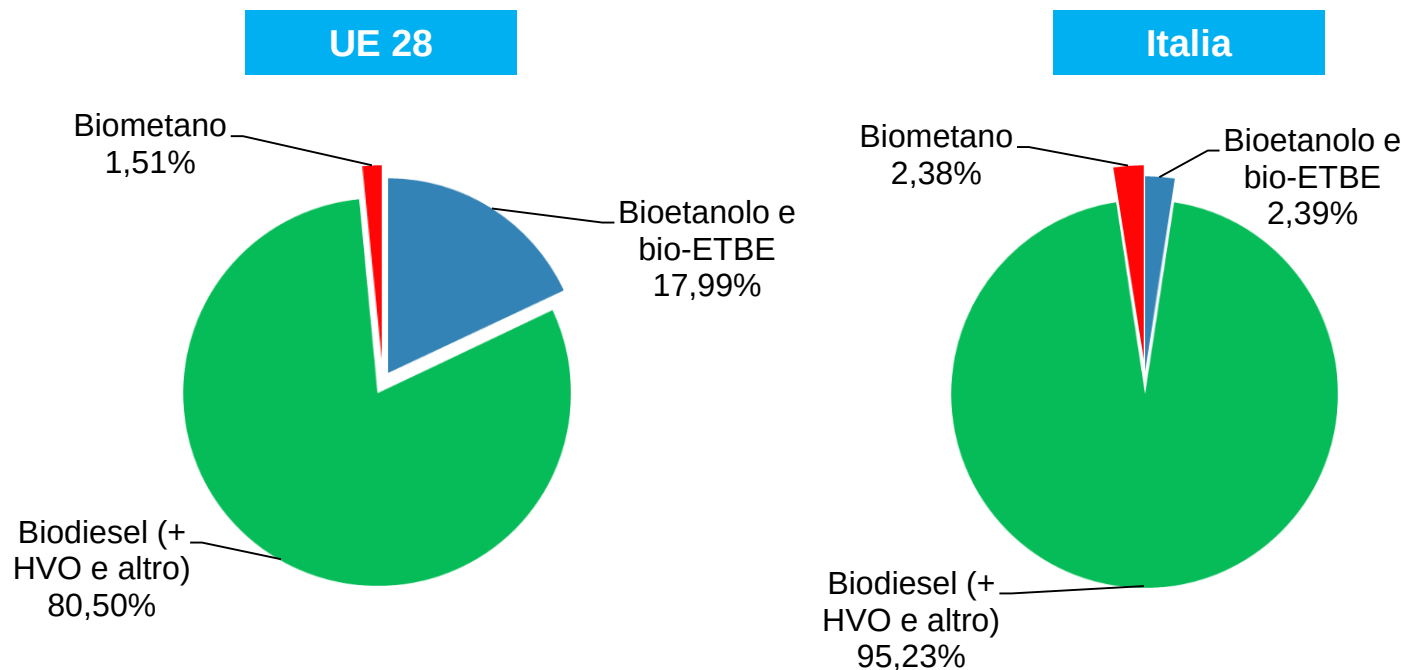
* Include anche l'olio vegetale idrotrattato (HVO), l'olio vegetale puro e il Diesel Fischer-Tropsch

** Si considera rinnovabile il 37% in peso del biocarburante, conformemente all'Allegato III della Direttiva 2009/28/CE

Contributo effettivo dei biocarburanti ai consumi finali di energia nei trasporti (40.420 ktep) = 3,2%

Fonte: GSE, Energia nel settore dei trasporti 2005-2019, giugno 2020

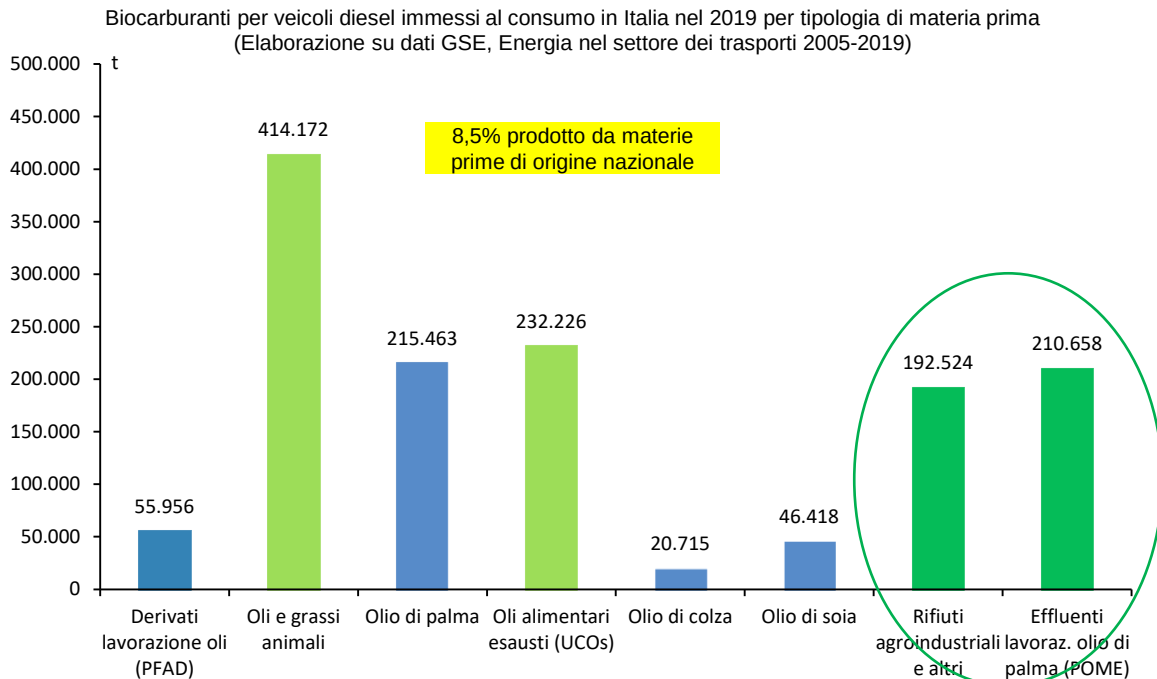
Consumi percentuali dei diversi biocarburanti nei Paesi dell'Unione Europea e in Italia nel 2019



Elaborazione su dati EurObserv'ER - Biofuels Barometer, 2020 / GSE, Energia nel settore dei trasporti 2005-2019, giugno 2020

I biocarburanti avanzati

- Per biocarburanti avanzati si intendono tutti quelli, **liquidi o gassosi**, prodotti da scarti e residui agricoli ed agroindustriali, biomasse lignocellulosiche, alghe e colture di microalghe, **ad eccezione di quelli ottenuti da oli alimentari esausti e grassi animali non commestibili** (Direttiva 2001/2018/UE, Allegato IX)
- Questa definizione corrisponde in pratica a quella comunemente accettata per i **biocarburanti di seconda generazione** (carburanti da rifiuti, residui, materie ligno-cellulosiche, alghe ecc.)



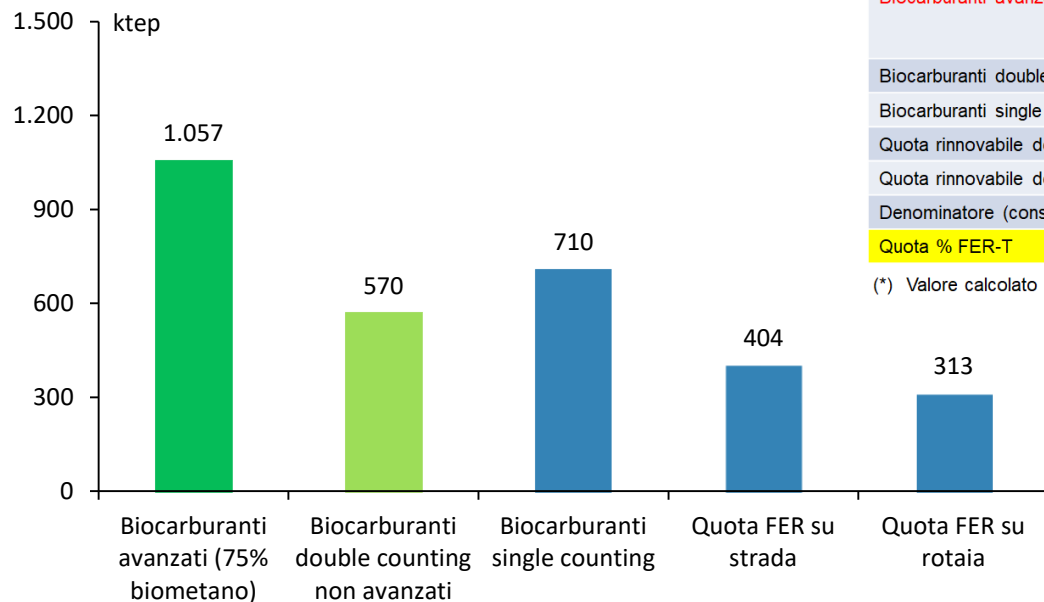
L'unico elemento che distingue un biocarburante convenzionale da uno avanzato è **la materia prima utilizzata per la sua produzione, indipendentemente dalla tecnologia e dalle caratteristiche del processo produttivo**

Materie prime per la produzione di biogas per il trasporto e biocarburanti avanzati

- a) Alghe, se coltivate su terra in stagni o fotobioreattori
- b) Frazione di biomassa corrispondente ai rifiuti urbani non differenziati
- c) Rifiuto urbano proveniente dalla raccolta domestica e soggetto alla raccolta differenziata
- d) Frazione della biomassa corrispondente ai rifiuti industriali non idonei all'uso nella catena alimentare, incluso materiale proveniente dal commercio e dall'industria agroalimentare, della pesca e dell'acquacoltura
- e) Paglia
- f) Concime animale e fanghi di depurazione
- g) Effluente da oleifici che trattano olio di palma e fasci di frutti di palma vuoti
- h) Pece di tallolio
- i) Glicerina grezza
- j) Bagasse
- k) Vinacce e fecce di vino
- l) Gusci
- m) Pule
- n) Tutoli ripuliti dei grani di mais
- o) Frazione della biomassa corrispondente ai rifiuti e residui dell'attività e dell'industria forestale
- p) Altre materie cellulosiche di origine non alimentare
- q) Altre materie ligno-cellulosiche, eccetto tronchi per sega e per impiallacciatura

Fonte: Direttiva 2001/2018/UE, Allegato IX Parte A

Contributo delle FER nel settore dei trasporti previsto in Italia nel 2030



	Fattore moltiplicativo	2022 (ktep)	2025 (ktep)	2030 (ktep)
Numeratore (*)		3.365	4.152	6.051
Biocarburanti avanzati	x 2	394	695	1.057
di cui biometano	x 2	277	511	793
di cui altri biocarburanti	x 2	117	184	264
Biocarburanti double counting non avanzati	x 2	672	630	570
Biocarburanti single counting		710	655	710
Quota rinnovabile dell'energia elettrica su strada	x 4	55	126	404
Quota rinnovabile dell'energia elettrica su rotaia	x 1,5	203	228	313
Denominatore (consumi finali lordi nei trasporti)		30.655	28.851	27.472
Quota % FER-T		11,0%	14,4%	22,0%

(*) Valore calcolato tenendo conto dei fattori moltiplicativi

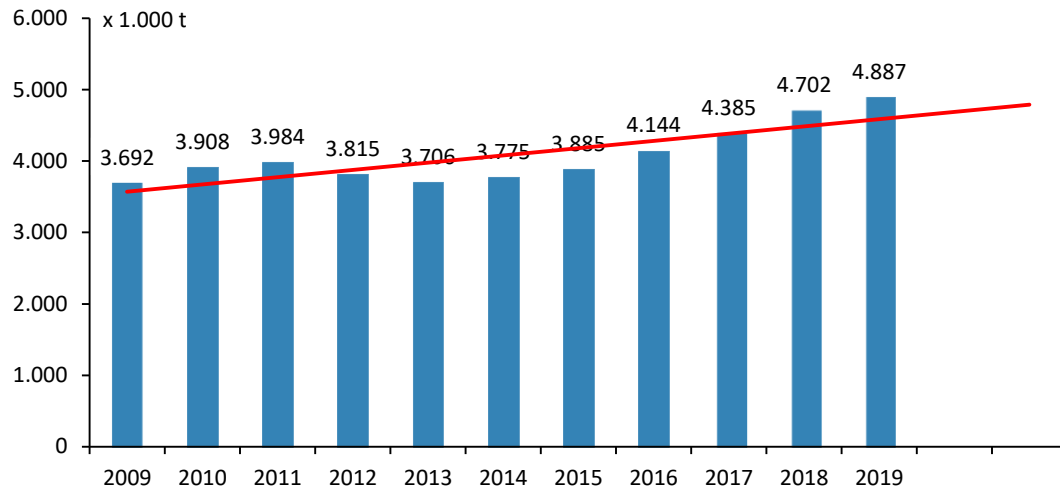
Contributo reale biocarburanti ai consumi finali lordi del settore (CFL-T) = 15%

Elaborazione su dati Piano Nazionale Integrato Energia e Clima, dicembre 2019

Nuovi mercati e opportunità per i biocarburanti: una sfida aperta per il futuro

Nei prossimi anni è previsto un forte incremento dei consumi di elettricità da FER nel trasporto stradale pubblico e privato, ma ...

- Per i sistemi di trasporto che richiedono un'elevata densità di energia per coprire lunghe percorrenze, in primo luogo il **trasporto aereo**, ma anche quello marittimo e stradale con mezzi pesanti su lunghe distanze, non ci sono alternative realistiche ai carburanti liquidi
- Questi sistemi di trasporto **dipenderanno a lungo dai soli biocarburanti** per coprire parte dei consumi con fonti di energia rinnovabili
- A causa delle loro proprietà chimiche, i biocarburanti tradizionali (biodiesel, etanolo e derivati) non sono in grado di soddisfare alcune stringenti specifiche per l'alimentazione degli aerei a reazione, come **la viscosità alle basse temperature e la densità energetica**

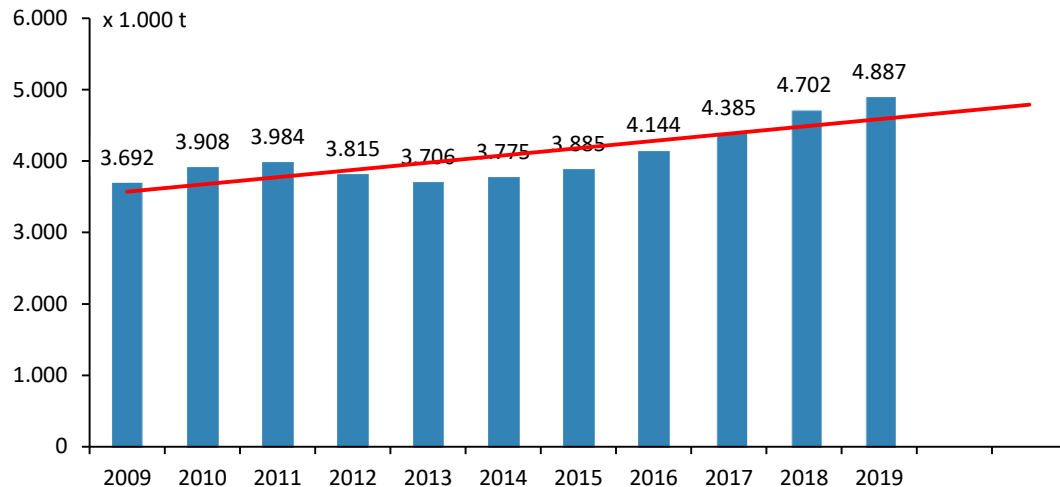


Consumi di carburanti per il trasporto aereo in Italia: anni 2009-2019
(Elaborazione su dati Ministero dello Sviluppo Economico - Statistiche dell'energia, 2019)

Nuovi mercati e opportunità per i biocarburanti: una sfida aperta per il futuro

Nei prossimi anni è previsto un forte incremento dei consumi di elettricità da FER nel trasporto stradale pubblico e privato, ma ...

- Per i sistemi di trasporto che richiedono un'elevata densità di energia per coprire lunghe percorrenze, in primo luogo il **trasporto aereo**, ma anche quello marittimo e stradale con mezzi pesanti su lunghe distanze, non ci sono alternative realistiche ai carburanti liquidi
- Questi sistemi di trasporto **dipenderanno a lungo dai soli biocarburanti** per coprire parte dei consumi con fonti di energia rinnovabili
- A causa delle loro proprietà chimiche, i biocarburanti tradizionali (biodiesel, etanolo e derivati) non sono in grado di soddisfare alcune stringenti specifiche per l'alimentazione degli aerei a reazione, come **la viscosità alle basse temperature e la densità energetica**



Consumi di carburanti per il trasporto aereo in Italia: anni 2009-2019
(Elaborazione su dati Ministero dello Sviluppo Economico - Statistiche dell'energia, 2019)

Per sostituire il jet fuel, è necessario utilizzare una nuova generazione di **biocarburanti "drop-in"**

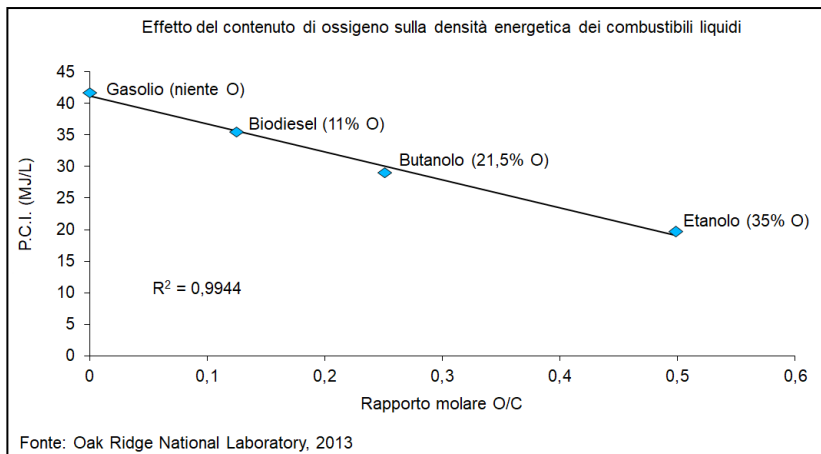
I biocarburanti "drop-in"

"Liquid bio-hydrocarbons that are functionally equivalent to petroleum fuels and are fully compatible with existing petroleum infrastructure"

(IEA Bioenergy, 2014)

I biocarburanti tradizionali sono chimicamente diversi dagli idrocarburi a causa della **presenza di ossigeno**, che ne peggiora le caratteristiche rendendoli inadatti all'uso per il trasporto aereo e creando problemi di incompatibilità in caso di miscelazione con i combustibili per autotrazione (il cosiddetto "**blending wall**")

Per trasformare un prodotto derivante dalla biomassa (come oli vegetali, grassi, alcoli, oli di pirolisi ecc.) in una miscela di idrocarburi, è necessario rimuovere il contenuto di ossigeno per portare il rapporto H_{eff} (idrogeno effettivo) / C il più vicino possibile al valore 2 tipico del gasolio e del jet fuel



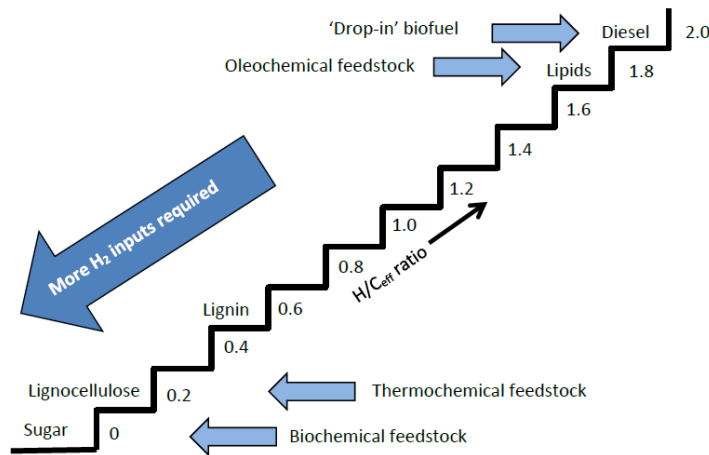
$$H_{\text{eff}}/C = \frac{n(H) - 2n(O)}{N(C)}$$

	Carburanti fossili	Oli e grassi	Carbone	Biomasse lignocellulosiche
H_{eff}/C	2	1,8	0,5	0,2

Il ruolo dell'idrogeno

- Analogamente a quanto avviene in raffineria, dove il petrolio greggio viene trattato con idrogeno per rimuovere zolfo, ossigeno e altri eteroatomi (hydrotreating) e "spezzare" gli idrocarburi a catena lunga (cracking), la produzione di biocarburanti "drop-in" **richiede l'apporto di idrogeno**

$$> H_{\text{eff}}/C = < \text{quantità di O da rimuovere} = < \text{richiesta di idrogeno}$$



(Fonte: EA Bioenergy, 2014)

- La rimozione dell'ossigeno avviene tramite reazioni di **idrodeossigenazione** (l'ossigeno viene allontanato come H₂O) e **decarbonilazione** (l'ossigeno viene allontanato come CO₂)
- Il secondo meccanismo, che non richiede idrogeno, porta all'accorciamento delle catene di C e ad un consumo di substrato (< resa di conversione)
- Il bilanciamento fra le due reazioni, che dipende dalle condizioni operative del processo e dalla natura del catalizzatore, determina **la resa finale del processo e la composizione della miscela di idrocarburi in uscita**

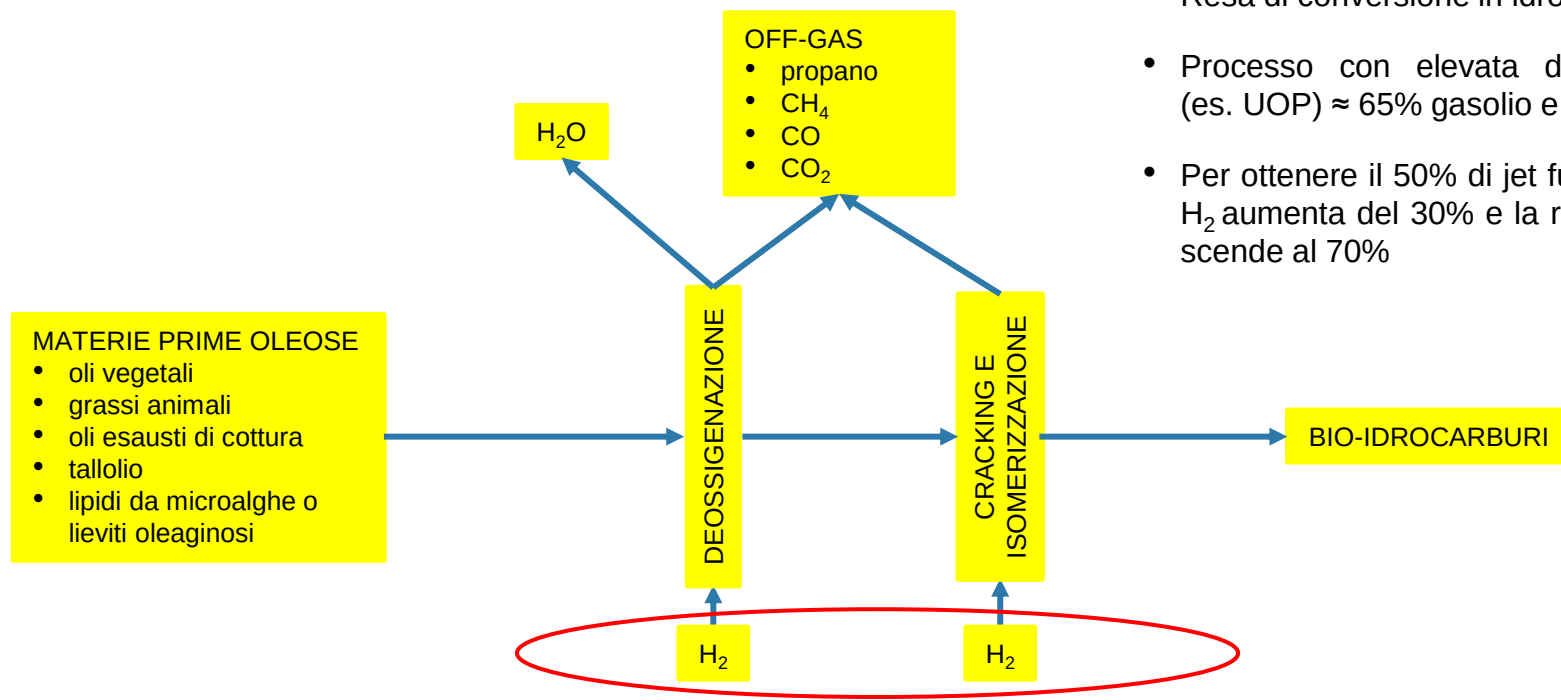
Processi e tecnologie per la produzione di biocarburanti "drop-in" di nuova generazione

I biocarburanti "drop-in" possono essere prodotti a partire da diverse materie prime, con processi e tecnologie che presentano diversi livelli di sviluppo, da quelli ancora oggetto di attività di RST a quelli già utilizzati su scala industriale, e sono riconducibili a tre principali categorie, o **"Piattaforme"**:

- **Piattaforma oleochimica:** processi basati sull'idrogenazione catalitica di materie oleaginose o tallolio, che portano direttamente a miscele di idrocarburi alifatici (con presenza di aromatici nel solo caso del tallolio) a diverso peso molecolare, utilizzabili in sostituzione di benzina, gasolio e jet fuel
- **Piattaforma termochimica:** processi basati sulla gassificazione o pirolisi di materiali lignocellulosici, seguita dalla conversione catalitica del syngas (sintesi di Fischer-Tropsch) o dall'idrogenazione in più stadi successivi del bio-olio per arrivare a miscele di idrocarburi
- **Piattaforme biochimiche e ibride:** basate su processi biologici o sulla combinazione di processi biologici e termo-catalitici per la conversione di zuccheri di diversa origine in isoprenoidi (farnesene) utilizzabili direttamente in miscela con i carburanti, in particolare jet-fuel, o in prodotti intermedi (alcoli o acidi grassi) convertiti successivamente in idrocarburi

I biocarburanti "drop-in" presenti attualmente sul mercato in quantità significative sono gli **HVO (oli vegetali idrotrattati) e altri derivati dall'idrogenazione di materie oleaginose**. Se prodotti da scarti, rifiuti e biomasse residue di diversa natura (ad es. tallolio), o colture algali, sono considerati a tutti gli effetti **biocarburanti avanzati**

Produzione di biocarburanti "drop-in" mediante idrogenazione di materie prime oleose (Piattaforma oleochimica)



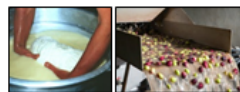
- Resa di conversione in idrocarburi $\approx 80\%$
- Processo con elevata decarbossilazione (es. UOP) $\approx 65\%$ gasolio e 13% jet fuel
- Per ottenere il 50% di jet fuel la richiesta di H_2 aumenta del 30% e la resa complessiva scende al 70%

Principali produttori europei di biocarburanti "drop-in" da materie prime oleose (impianti attivi nel 2019)

Società produttrice	Paese	Località	Materie prime utilizzate	Anno di avvio produzione	Capacità produttiva (t/anno)
Neste	Finlandia	Kilpilahti, Porvoo	Oli vegetali (OVP e UCOS), grassi animali	2007 e 2019	380.000
Neste	Paesi Bassi	Rotterdam	Oli vegetali (OVP e UCOS), grassi animali	2011	1.000.000
ENI	Italia	Porto Marghera (VE)	Oli vegetali (OVP e UCOS), grassi animali	2014 (upgrading 2021)	360.000 (upgrading a 500.000)
UPM Lappeenranta	Finlandia	Lappeenranta	Tallolio	2015	100.000
Preem	Svezia	Goteborg	Tallolio (co-processing con gasolio)	2015 (upgrading 2023)	170.000 (upgrading a 1.000.000)
Galp	Portogallo	Sines	Oli vegetali (co-processing con gasolio)	2017	40.000
ENI	Italia	Gela	Oli vegetali (OVP e UCOS), grassi animali	2019	600.000
TOTAL	Francia	La Mède	Oli vegetali (OVP e UCOS), grassi animali	2019	500.000

Fonte: EurObserv'ER - Biofuels Barometer, 2020 / Siti WEB produttori

I lieviti oleaginosi sono microrganismi versatili, di grande interesse industriale, in grado di produrre diverse biomolecole. Il prodotto principale del metabolismo è rappresentato dai lipidi, in forma di trigliceridi, accumulati fino al 70% del peso secco cellulare

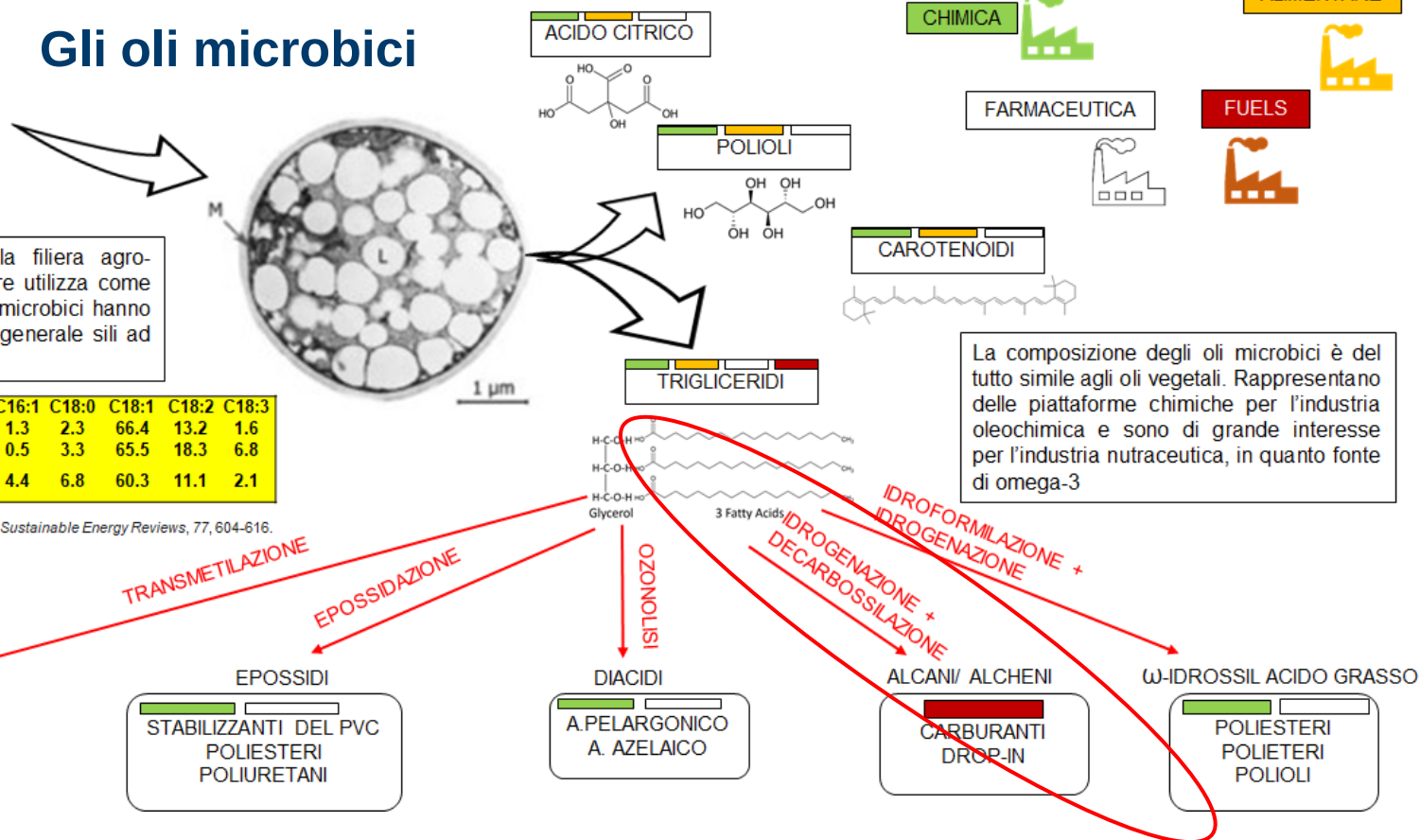


Gli oli microbici

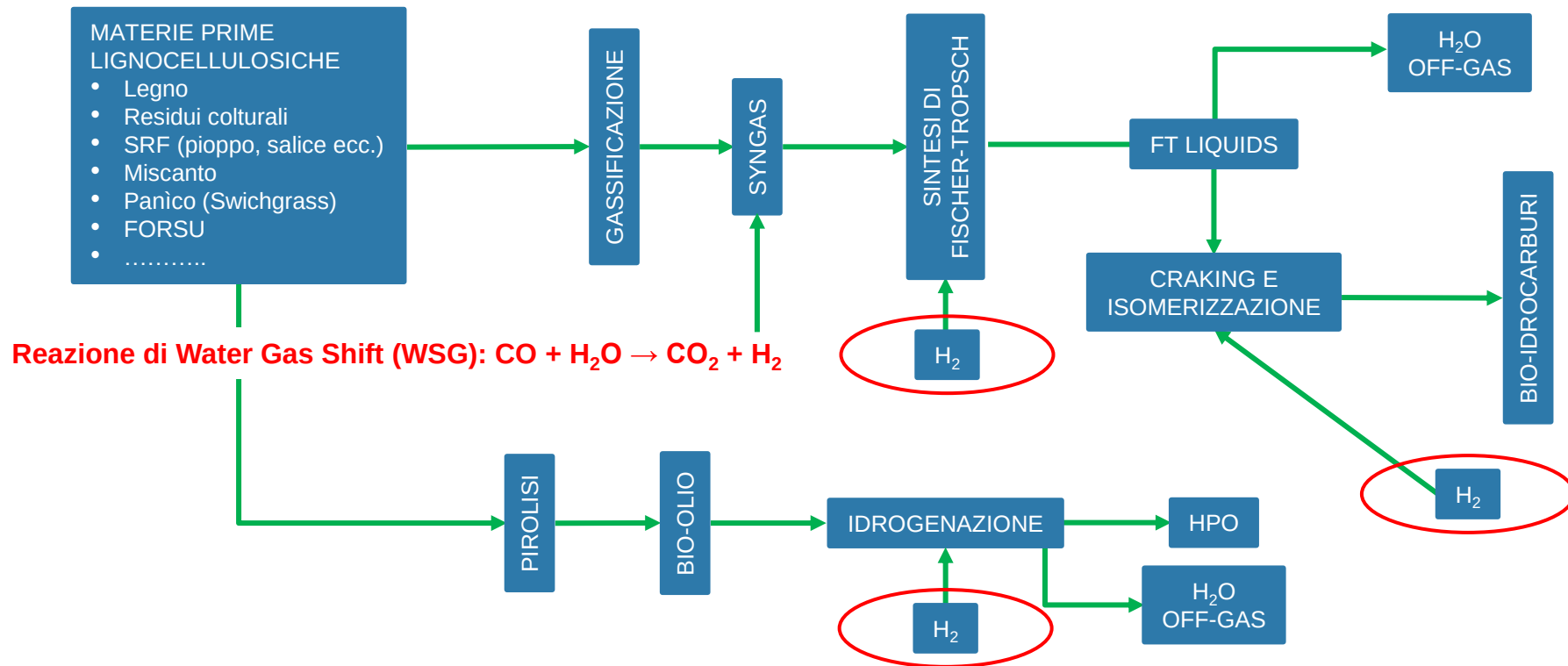
Diversi sottoprodotti della filiera agro-industriale possono essere utilizzati come fonte di carbonio. Gli oli microbici hanno composizioni variabili, in generale simili ad alcuni oli vegetali

	C14:0	C16:0	C16:1	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3
Olive	0	15.2	1.3	2.3	66.4	13.2	1.6
Soia	0.1	5.5	0.5	3.3	65.5	18.3	6.8
Olio microbico	0.1	17.46	4.4	6.8	60.3	11.1	2.1

Patel, A. et al., 2017. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 77, 604-616.



Produzione di biocarburanti "drop-in" mediante gassificazione e pirolisi di materie prime lignocellulosiche (Piattaforma termochimica)



Sintesi di biocarburanti liquidi e gassosi da processi di gassificazione nel Centro ENEA della Trisaia

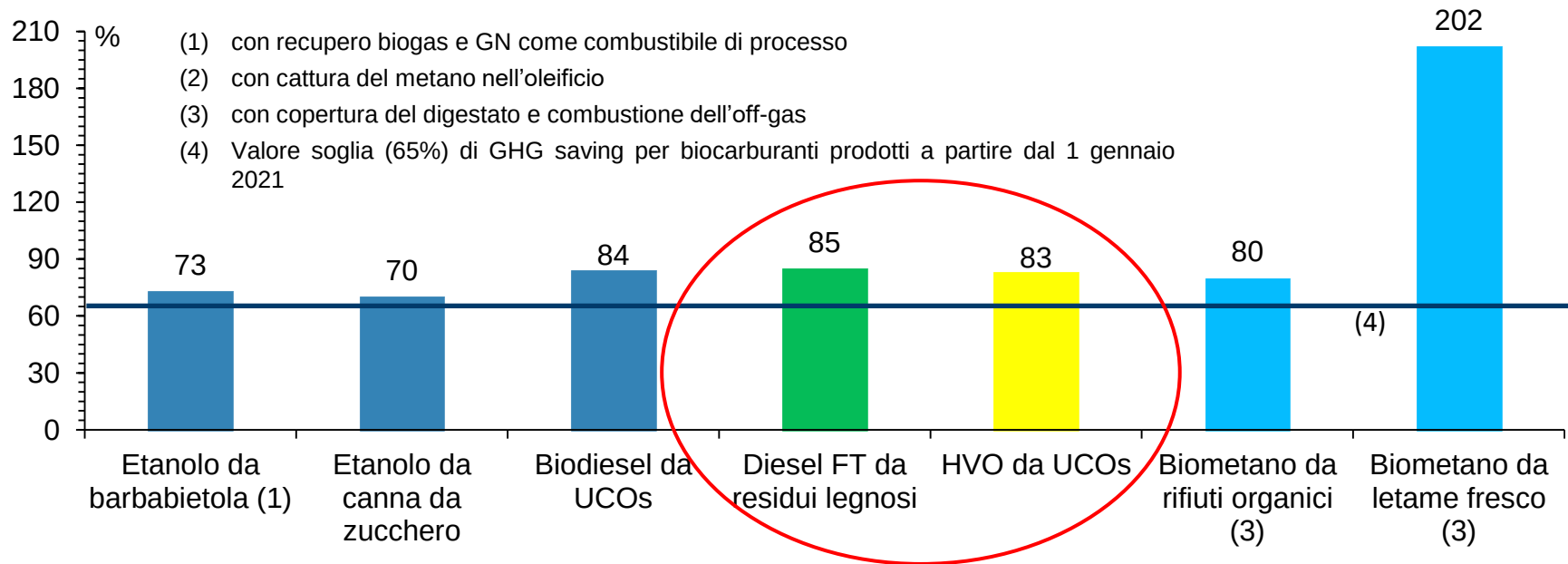
La tecnologia più promettente per la produzione di un syngas ad alto contenuto di idrogeno per la conversione in biocarburanti è la gassificazione a vapore. L'autotermia è ottenuta con una miscela vapore-ossigeno

Biofuel	H ₂ /CO	Catalizzatore	P (atm)	T (C°)	η _{en} (LHV syngas/biom.)
Metanolo	2:1	Zn/Cr, Cu/Zn	50-300	300-450	40-50
FT-diesel	2:1	Fe, Co	20-30	250-300	40-50
Metano	3:1	Ni	5-30	300-450	65-70

Agente gassificante	Composizione gas secco (% v)						PCI (MJ/Nm ³)	H ₂ /CO
	H ₂	CO	CO ₂	CH ₄	N ₂	C ₂ H ₄		
Aria	9-10	12-15	14-17	2-4	56-59	< 1	3,8-4,6	0,70
Ossigeno	30-34	30-37	25-29	4-6	2-5	< 1	9-10	0,96
Vapore	32-41	24-36	20-22	10-12	2-5	2-3	12-13	1,46
Vapore / O ₂	30-33	28-32	22-27	9-11	2-5	1-2	11-12	1,10



Riduzione delle emissioni di GHG per alcune filiere di produzione di biocarburanti (valori standard)



Elaborazione su dati Direttiva 2001/2018/UE, Allegati V e VI

Idrogeno e decarbonizzazione dei biocarburanti

Fonti e tecnologie per la produzione di H ₂	% della produzione totale
Reforming del metano	76%
Gassificazione del carbone	22%
Elettrolisi <i>di cui elettrolisi dell'acqua</i>	2% 0,1%
Produzione mondiale di H ₂	70 milioni di t/anno



Impianto per la produzione di 22.000 t/anno di idrogeno da steam reforming del metano nei pressi di Colonia (DE).Fonte: Air Liquide, 2015

Il contributo effettivo dell'idrogeno alla decarbonizzazione della produzione di biocarburanti dipende dalle fonti energetiche primarie utilizzate per la sua produzione, e può essere considerato reale solo se per questo si utilizzano fonti rinnovabili e/o tecniche di "sequestro" della CO₂

Una sfida aperta per il futuro

- L'unico modo per superare il gap dovuto ai limiti di immissione al consumo dei biocarburanti convenzionali, **in particolare per il settore del trasporto aereo**, è una crescita significativa del contributo di altre forme di energia rinnovabile, elettricità, carburanti rinnovabili di origine non biologica e **biocarburanti avanzati "drop-in"**
- I biocarburanti "drop-in" presentano le stesse caratteristiche dei carburanti convenzionali in termini di miscibilità, compatibilità, stabilità, trasportabilità e stoccaggio da parte delle infrastrutture di distribuzione e, ovviamente, facilità di utilizzo da parte dei veicoli, natanti o velivoli attualmente esistenti. Questo fa sì che possano essere miscelati con i carburanti tradizionali in qualsiasi percentuale **senza problemi di "blending wall"**
- L'idrogeno avrà un ruolo chiave nella decarbonizzazione del sistema dei trasporti, perché **di fondamentale importanza per la produzione di biocarburanti "drop-in"** La sostenibilità reale di questa tecnologia dipenderà direttamente dalle modalità e dalle fonti utilizzate per la sua produzione
- La produzione di idrogeno con elettricità da FER permetterà non solo di decarbonizzare ulteriormente i biocarburanti "drop-in", ma anche di **valorizzare la CO₂ con tecnologie avanzate di P2G e P2L**

Vito Pignatelli
vito.pignatelli@enea.it



1101 0110 1100
0101 0010 1101
0001 0110 1110
1101 0010 1101
1111 1010 0000

