

# DONO E RISORSA LE SFIDE DELL'ENERGIA

PERCORSO REALIZZATO PER LA  
44° EDIZIONE DEL MEETING PER L'AMICIZIA FRA I POPOLI



**campus**



A cura di **Associazione Euresis e Campus**

CON LA COLLABORAZIONE SCIENTIFICA DI

**Marco Beghi**, Dipartimento di Energia, Politecnico di Milano  
**Marco Bersanelli**, Dipartimento di Fisica, Università degli Studi di Milano  
**Giovanni Boccardi**, Istituto di Ricerche Chimiche e Biochimiche G. Ronzoni, Milano  
**Laura Bonanomi**, Associazione Euresis  
**Andrea Caprotti**, Fakultät für Physik, Universität Wien  
**Mauro Ceroni**, Istituto Neurologico IRCCS Mondino e Università degli Studi di Pavia  
**Saul Garavaglia**, Istituto per la Scienza e Tecnologia dei Plasmi, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Milano  
**Antonino Lanza**, Istituto Nazionale di Astrofisica, Osservatorio Astronomico di Catania  
**Francesco Mambretti**, Istituto Italiano di Tecnologia, Genova  
**Annamaria Naggi**, Istituto di Ricerche Chimiche e Biochimiche G. Ronzoni, Milano  
**Paola Platania**, Istituto per la Scienza e Tecnologia dei Plasmi, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Milano  
**Sergio Riva**, Istituto di Scienze e Tecnologie Chimiche "Giulio Natta" (SCITEC), CNR, Milano  
**Piergiorgio Sonato**, Università degli Studi di Padova e Consorzio RFX  
**Carlo Sozzi**, Istituto per la Scienza e Tecnologia dei Plasmi, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Milano  
**Giovanni Tardini**, Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Garching, Germany

COORDINAMENTO

**Benedetta Cappellini**, Associazione Euresis  
**Alida Marchetti**, Associazione Euresis

CON IL CONTRIBUTO DI

**Ettore Barbagallo**, Technische Universität Kaiserslautern, Università di Kaiserslautern  
**Mario Boioli**, **Alberto Negrello**, **Giovanni Tempra**, **Andrea Zannoni**, Associazione Euresis  
**Mario Gargantini**, Associazione Euresis, rivista Emmequadro  
**Giuseppe Gheorghiu**, **Anna Tomatis**, studenti di fisica, Università degli Studi di Milano  
**Irene Marletta**, studentessa di Matematica, Università degli Studi di Milano  
**Francesco Riggi**, Dipartimento di Fisica e Astronomia, Università di Catania  
**Nicola Sabatini**, Associazione Euresis  
**Samir Suweis**, Dipartimento di Fisica e Astronomia, Università degli Studi di Padova  
**Enrica Taddei**, studentessa di Ingegneria Gestionale, Politecnico di Torino  
**Chiara Zavatta**, studentessa di Ingegneria dell'Automazione, Università di Bologna

SI RINGRAZIA

**Francesco Ramella**, Bridges Research Onlus  
**Nicola Pajola**, ENI  
**Marco Ricotti**, Dipartimento di Energia, Politecnico di Milano

SI RINGRAZIA PER GLI EXHIBIT

**Fondazione Lombardia per l'Ambiente**  
**Fusion Plasma Physics Dept**, Institute for Atomic Energy, Centre for Energy Research, Budapest  
**Giacomo Caironi**, studente di Ingegneria Aerospaziale, Politecnico di Milano  
**SPIN** - SuPerconducting and other INnovative materials and devices, CNR, Genova

PROGETTO ARCHITETTONICO

**Martina Valcamonica**, architetto  
**Emanuele Tagliabue**, architetto

PROGETTO GRAFICO

**Sara Mulone**, creative designer

STAMPA

**Immaginazione** stampa digitale, Rimini



*Dono e risorsa*

**LE SFIDE DELL'ENERGIA**



# LA FISSIONE NUCLEARE

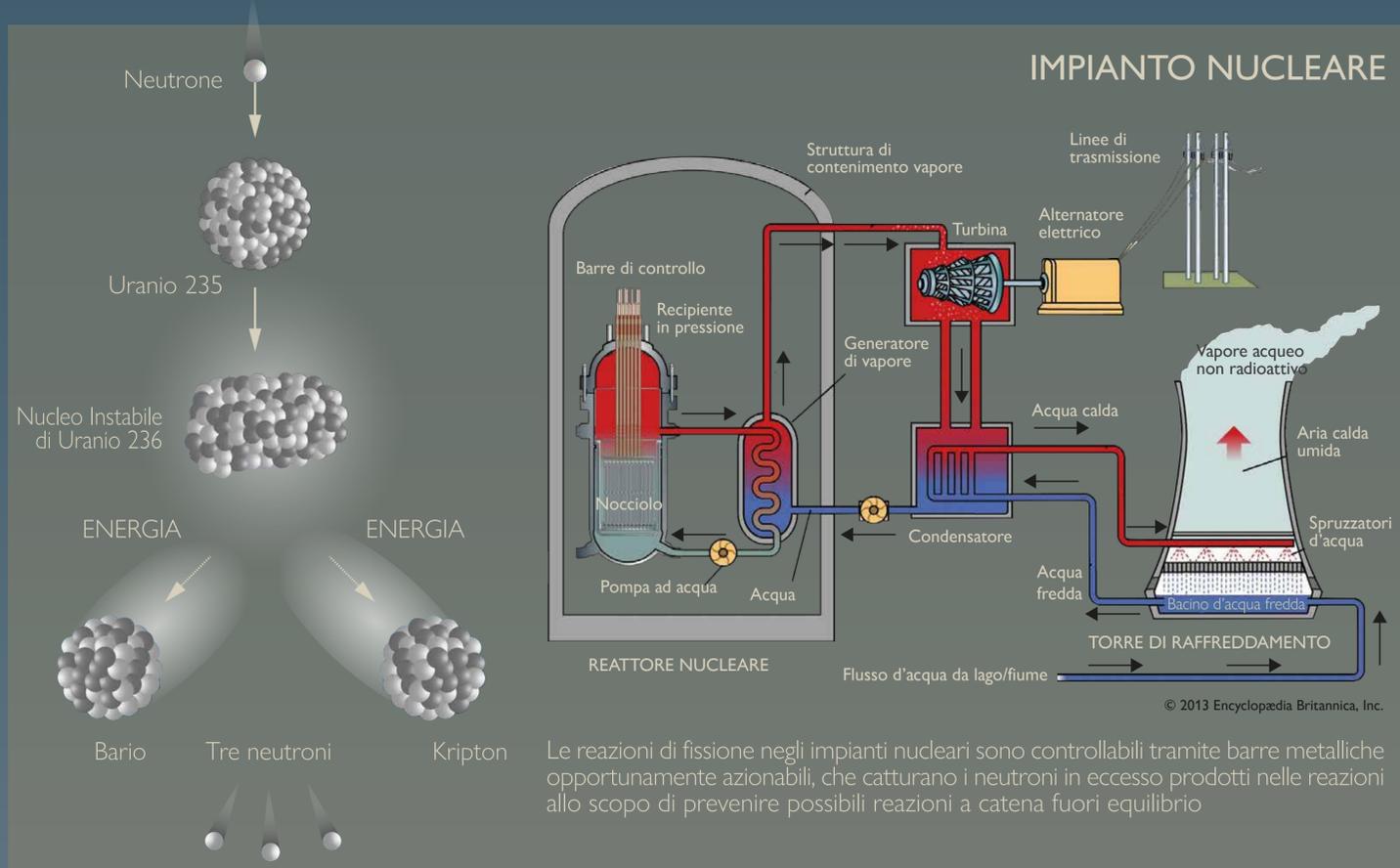
EMISSIONE CO<sub>2</sub>  
12 g/kWh

## COME FUNZIONA?

A livello fisico, la fissione nucleare avviene quando un nucleo atomico pesante (solitamente si usano elementi rari e costosi come l'Uranio o il Plutonio) si rompe e viene diviso in due nuclei più leggeri, alcuni neutroni liberi e una certa quantità di energia. Un reattore nucleare è un sistema di macchinari che sfruttano questa energia liberata dalla fissione (disponibile sotto forma di calore) per scaldare acqua in una caldaia, generando vapore. Questo vapore si espande e fa muovere una turbina, in modo simile ad altre centrali, alimentate per esempio a combustibili fossili.

## QUANTI CE NE SONO?

Nel mondo ci sono circa 440 reattori operativi. Ci sono circa 100 reattori in Europa - dove Francia, Ucraina e Slovacchia generano in questo modo più del 50% dell'elettricità che consumano - altrettanti negli USA, 55 in Cina (dove ce ne sono altri 22 in costruzione), 37 in Russia. 32 paesi del mondo ospitano centrali nucleari, che forniscono energia a 50 paesi. Il nucleare rappresenta circa il **10% del fabbisogno elettrico mondiale**, la fetta maggiore di fonti energetiche "carbon-free" dopo l'idroelettrico.



## VANTAGGI

Vale la pena investire nel rinnovo degli impianti e nello sviluppo tecnologico di questa fonte di energia a bassissima emissione di CO<sub>2</sub>, altamente controllabile e con un enorme potere calorifico: per esempio, con 1 kg di Uranio possiamo tenere accese circa 270000 lampadine a LED (da 10 W l'una) per circa 1 anno senza sosta; con 1 kg di carbone invece si riesce a tenere accesa solo 1 di queste lampadine per poco più di un mese.

## SVANTAGGI

La produzione di energia da fissione nucleare è al centro di notevoli critiche per:

- alcuni grandi incidenti rimasti nella memoria collettiva, quali Three Mile Island (1979), Chernobyl (1986) e Fukushima (2011);
- il problema delle scorie, ossia della conservazione dei materiali esausti radioattivi.

## CURIOSITÀ

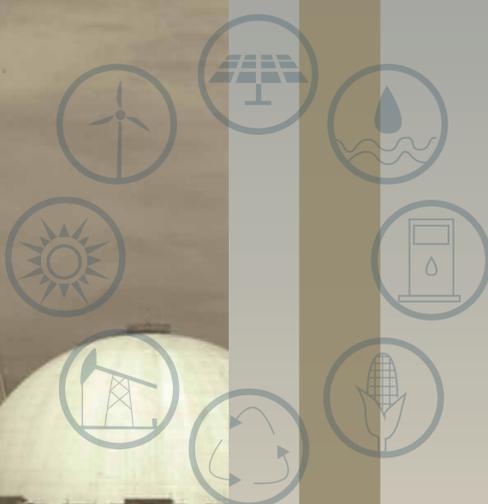
La linea di ricerca più promettente è costituita dagli small reactors, che permettono una costruzione modulare e più economica. Sono allo studio di sistemi di raffreddamento prototipo (al piombo e al litio fuso, fra gli altri) per ridurre le scorie.

POTERE CALORIFICO  
500 000 kJ/g

	Italia	UE	Mondo
N° impianti	0	168	438
Capacità installata (GW)	0	149	413
Elettricità prodotta %	0	21,9	9,2
Elettricità prodotta TWh/anno	0	612,8	2679



## LE FONTI ENERGETICHE



# ENERGIA IDROELETTRICA

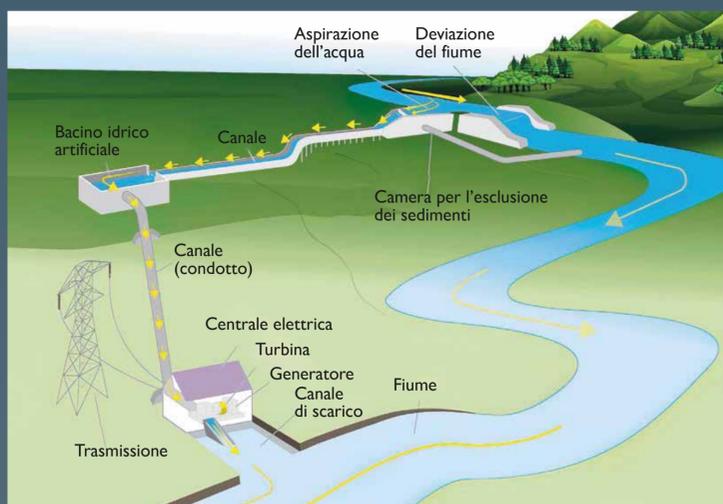
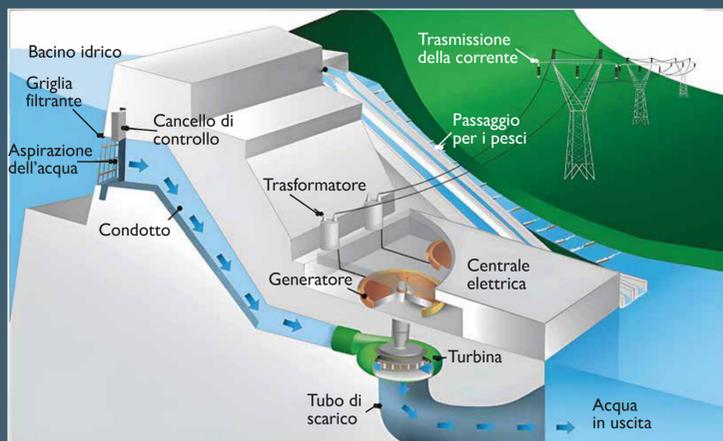
EMISSIONE CO<sub>2</sub>  
24 g/kWh

## COME FUNZIONA?

L'energia potenziale gravitazionale dell'acqua viene utilizzata per azionare una turbina, che la converte in energia elettrica. Gli impianti possono avere un bacino di accumulo oppure sfruttare l'acqua fluente di un fiume: in entrambi i casi, l'energia dell'acqua a monte viene convertita in lavoro meccanico a valle, azionando una turbina.

In genere, l'energia realmente utilizzabile è circa il 90% di quella immagazzinata (semplificando, l'energia potenziale dell'acqua contenuta nel bacino), il che dà all'idroelettrico un'ottima resa.

Ogni turbina può generare da qualche kW (potenza tipica di un elettrodomestico) a centinaia di MW. In ogni impianto sono presenti alcune decine di turbine. Attualmente l'impianto idroelettrico che produce più energia elettrica al mondo è la diga delle Tre Gole, in Cina, con una capacità di 22,5 GW.



## QUANTI CE NE SONO?

Si contano oltre 60 000 impianti idroelettrici in tutto il pianeta; l'idroelettrico è la fonte rinnovabile di energia elettrica più rilevante: a fine 2022 soddisfaceva il **15% del fabbisogno elettrico mondiale**.

Gli impianti possono essere piccoli (< 100 kW), medi (<10 MW) o grandi (> 10 MW).

### 👍 VANTAGGI

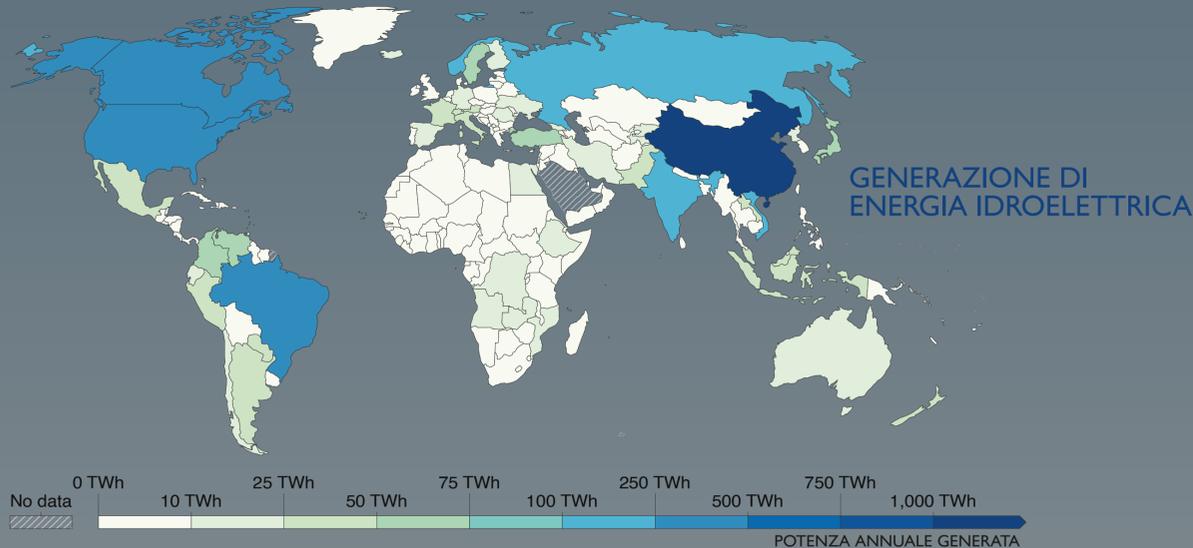
- L'acqua è una risorsa gratuita e molto abbondante;
- le dighe aiutano a regolare le piene dei fiumi e la stabilità idrogeologica.

### 👎 SVANTAGGI

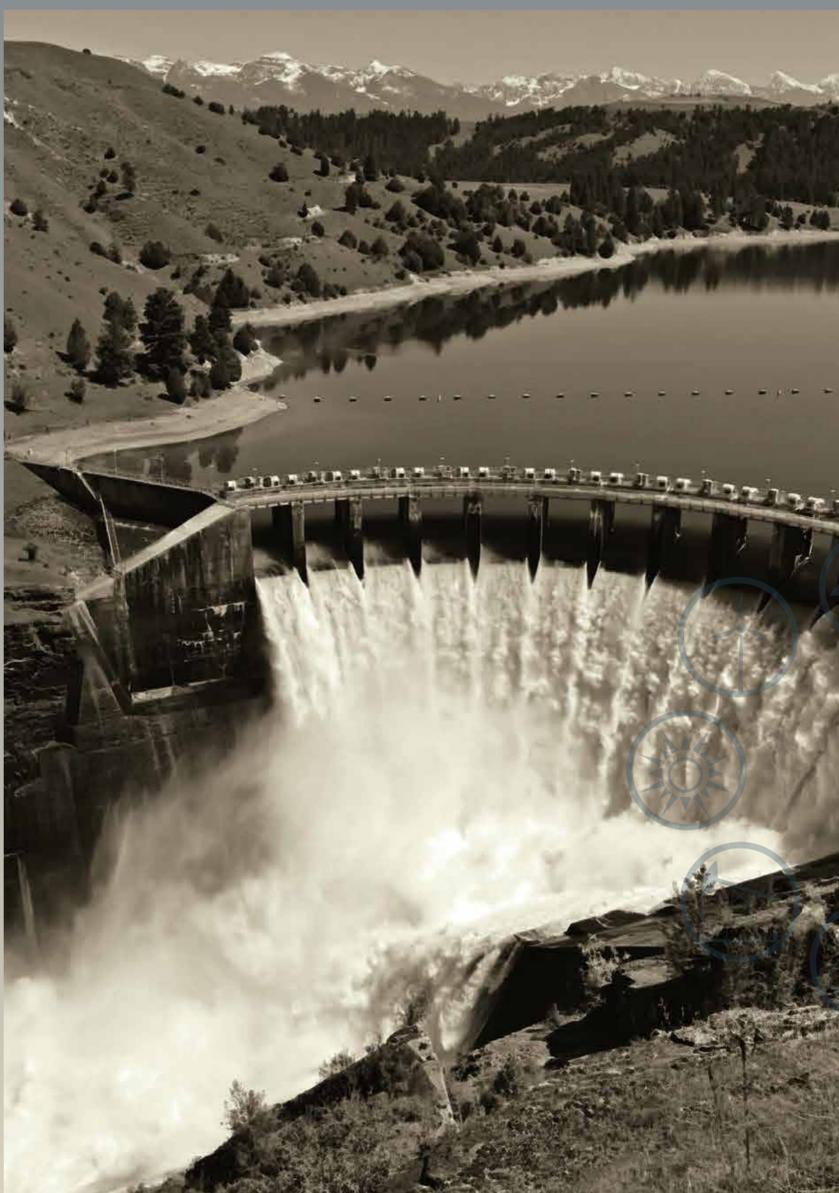
- È una fonte energetica poco utilizzabile durante i periodi di siccità;
- richiede un alto investimento economico iniziale;
- può avere un impatto negativo sugli ecosistemi fluviali.

## CURIOSITÀ

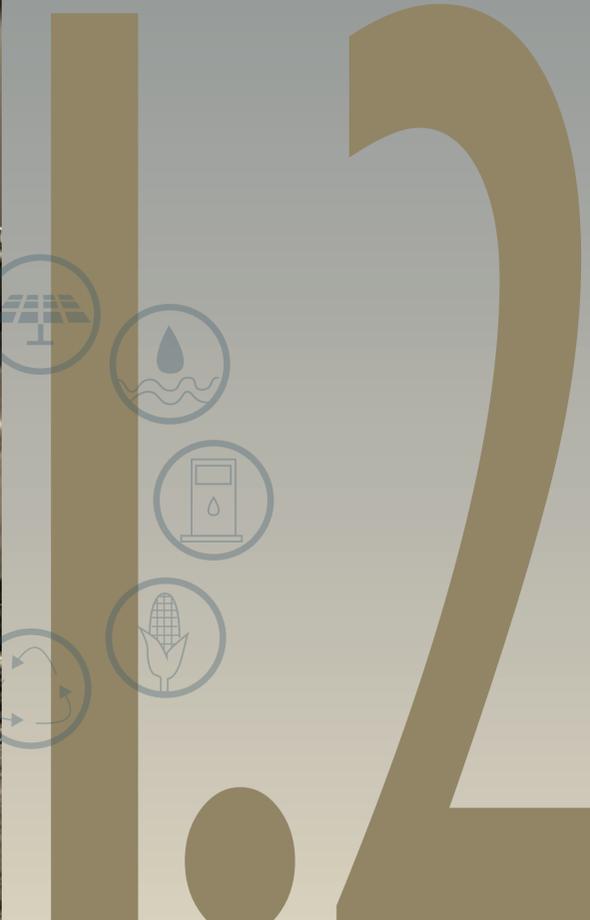
Questa è l'unica fonte energetica che intrinsecamente consente di accumulare energia (potenziale) tramite dighe e invasi, in grande quantità; insomma, una sorta di enorme accumulatore naturale. Gli impianti di pompaggio sono appositamente costruiti in alcune dighe per ovviare al meglio a tale compito (riportano l'acqua a monte quando la centrale è inutilizzata).



	Italia	UE	Mondo
N° impianti	~4300	~21400	~62500
Capacità installata (GW)	22,6	151	1360
Elettricità prodotta %	8,9	10,1	14,9
Elettricità prodotta TWh/anno	28,2	283	4334



## LE FONTI ENERGETICHE



# ENERGIA DA FOTOVOLTAICO

EMISSIONE CO<sub>2</sub>  
43 g/kWh

## COME FUNZIONA?

La cella fotovoltaica è l'elemento principale dei sistemi di trasformazione dell'energia da solare a elettrica: si tratta di piccoli tasselli di materiale semiconduttore, utilizzati per comporre i pannelli fotovoltaici.

In tali celle si sfrutta l'effetto fotovoltaico: un semiconduttore (es. silicio, opportunamente miscelato ad altri atomi), quando è colpito da un fotone (particella di luce) sufficientemente energetico, libera un elettrone. Avendo abbastanza elettroni liberi capaci di muoversi nel materiale, si genera una corrente elettrica.

La tecnologia per produrre questi elementi è in continua evoluzione, soprattutto per aumentarne sempre di più l'efficienza.

I più comuni moduli fotovoltaici sono in silicio monocristallino, policristallino o a film sottile (efficienza: 15%-20%).

Le celle solari a etero-giunzione (HJ Technology), costituite da una cella di silicio cristallino inserita tra due strati di silicio amorfo a "film sottile" toccano un'efficienza di quasi il 26% (maggio 2023, record mondiale).

Un'ulteriore innovazione è quella dei pannelli bifacciali, che espongono le celle alla luce solare da entrambi i lati, sfruttando anche quella riflessa, con efficienze fino al 50%.

Il vetro fotovoltaico è invece una soluzione in cui la cella fotovoltaica è inserita tra due lastre di vetro. Ha un'efficienza minore rispetto alle soluzioni standard, ma consente la produzione di energia solare anche dove non è possibile applicare pannelli e con impatto visivo-estetico nullo.

## QUANTI CE NE SONO?

Non è possibile quantificare il numero di impianti fotovoltaici installati.

È una fonte relativamente recente, ma in rapida crescita: nel 2022, a livello mondiale, l'energia solare ha prodotto circa il **4.5% dell'elettricità**.

Da quasi 20 anni, è la fonte energetica che cresce più rapidamente:

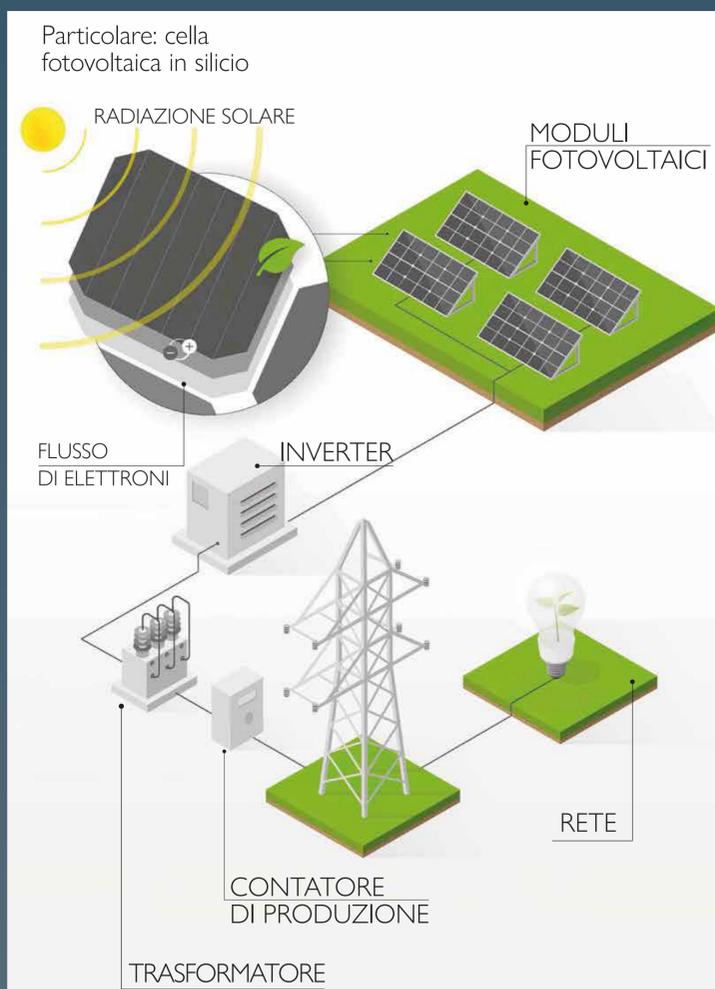
- dal 2002 al 2015 la generazione di elettricità da fotovoltaico è passata da quasi 0 TWh a 255 TWh;
- dal 2015 (anno dell'accordo di Parigi riguardo alla riduzione dell'emissione di gas serra) al 2022 si è avuto un aumento di oltre 1000 TWh.

### 👍 VANTAGGI

- Facilità di installazione;
- autoproduzione dell'energia elettrica (con sistema di accumulo, che permette di immagazzinare l'energia quando non viene usata immediatamente per sfruttarla in un secondo momento, quando ce ne sarà bisogno).

### 🗨️ SVANTAGGI

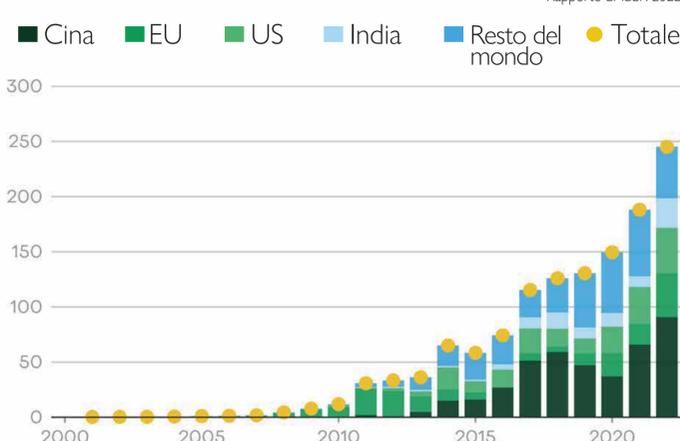
- Intermittenza della luce solare;
- vita media di 20-30 anni con problema dello smaltimento finale (in assenza di tecnologia adatta a recuperare i materiali).



## VARIAZIONE ANNUALE NELLA GENERAZIONE DI ENERGIA SOLARE

Variazione di anno in anno

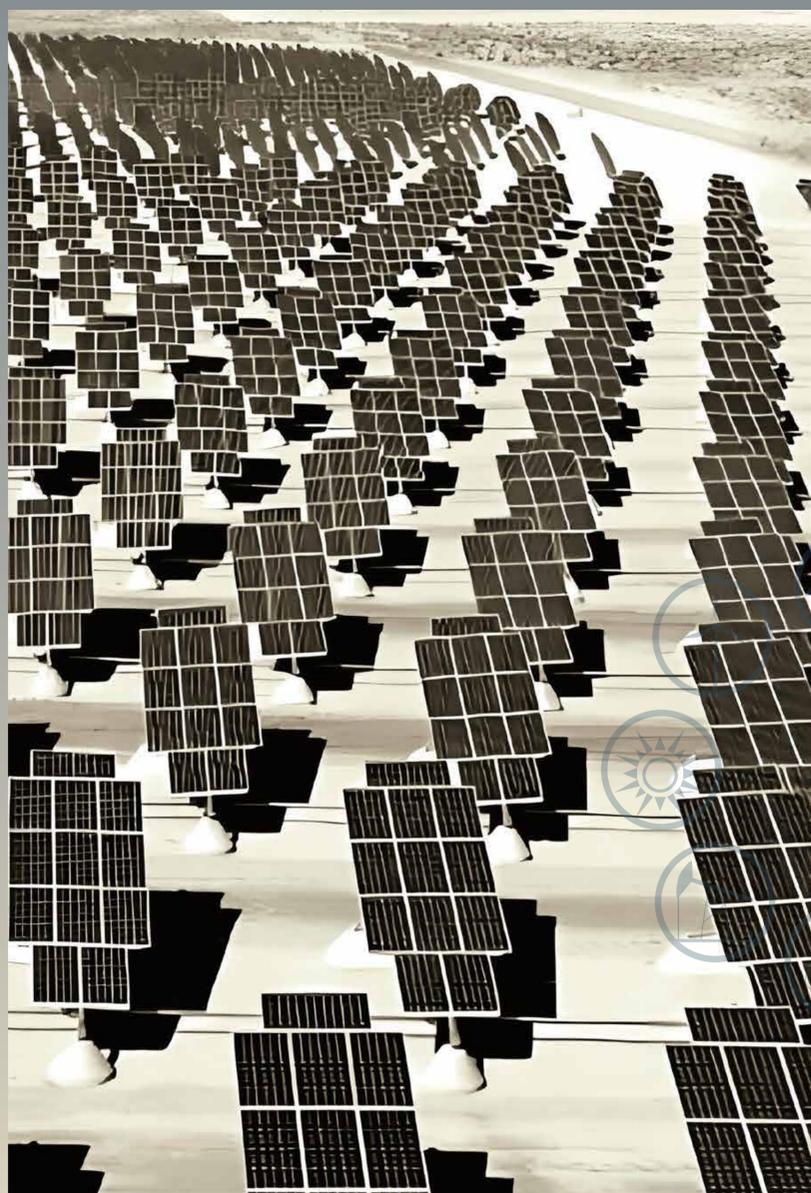
Rapporto EMBER 2022



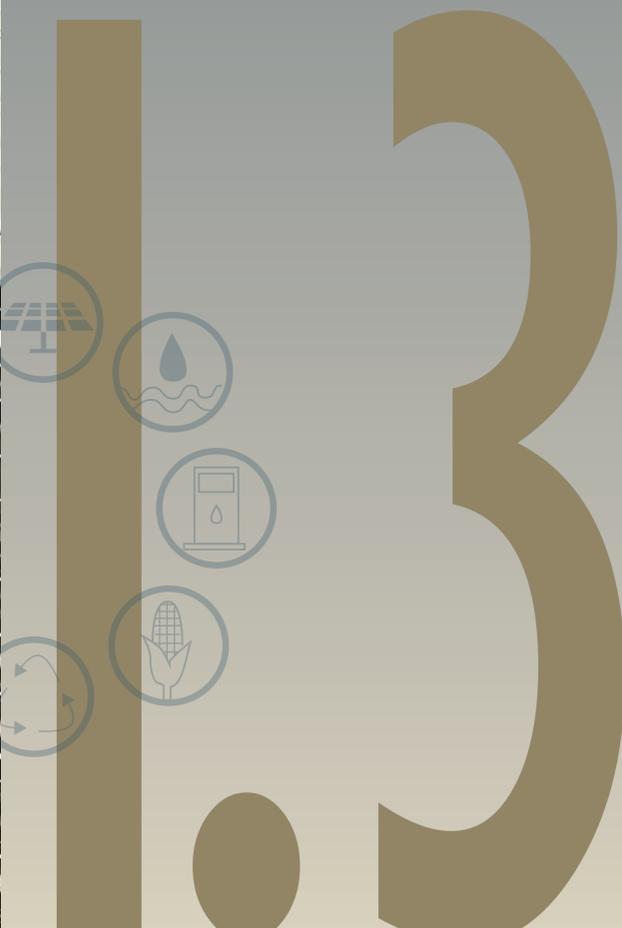
## CURIOSITÀ

Per sua natura, il fotovoltaico non richiede grandi centrali: ciascuno può installare un pannello solare sul tetto della propria casa. L'energia solare è utilizzata anche con impianti solari termodinamici e termici, i quali non producono elettricità ma rispettivamente riscaldano un fluido (termovettore) o producono direttamente calore per uso domestico.

	Italia	UE	Mondo
Capacità installata (GW)	25	209	1185
Elettricità prodotta %	8,7	7,3	4,5
Elettricità prodotta TWh/anno	27,5	163,7	1284



## LE FONTI ENERGETICHE



# ENERGIA DA EOLICO

EMISSIONE CO<sub>2</sub>  
11 g/kWh

## COME FUNZIONA?

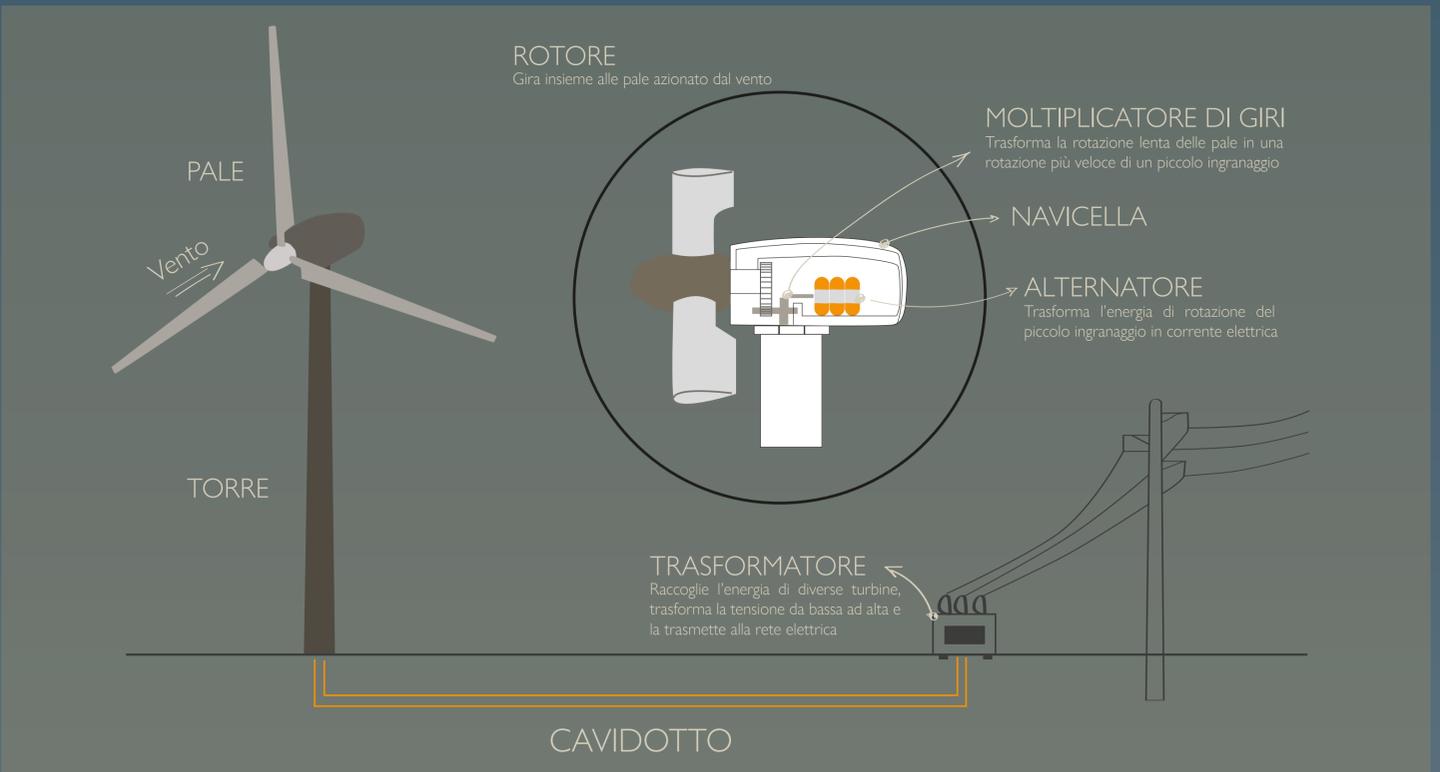
Un impianto eolico utilizza l'energia cinetica di una massa d'aria in movimento per produrre energia elettrica. L'efficienza di questa trasformazione è del 20%-40% e sono necessari venti con velocità intorno ai 50 km/h.

Le turbine eoliche, o aerogeneratori, sono impianti formati generalmente da una torre, alta tra 80 e 115 metri, che sostiene la navicella e le pale, collegate tra loro da un rotore.

Dentro la navicella si trovano anche i sistemi di sicurezza -che bloccano la turbina in caso di vento troppo forte- e le componenti che permettono di orientare le pale per sfruttare

al massimo l'energia del vento.

Le turbine eoliche sono raggruppate in parchi eolici, che comprendono da qualche unità fino a centinaia di torri. L'estensione dei parchi dipende, oltre che dalle caratteristiche del vento, dall'area disponibile, che deve essere ampia e non industrializzata; si parla in questo caso di parchi on-shore. Esistono anche parchi off-shore, che si trovano in mare aperto o nei laghi, normalmente a vari km di distanza dalle coste e al di fuori di rotte turistiche o commerciali.



## QUANTI CE NE SONO?

Anche in questo caso non è facile quantificare il numero di pale eoliche installate, anche perché questo numero è in continuo aumento.

In Italia sono presenti quasi solo parchi on-shore.

A livello mondiale nel 2022 l'eolico ha contribuito con **circa il 7,6% dell'energia elettrica prodotta** complessivamente, attestandosi come la seconda fonte rinnovabile dopo l'idroelettrico.

## 👍 VANTAGGI

- L'energia di costruzione si ripaga nei primi mesi di utilizzo;
- per l'installazione di un parco eolico on-shore sono necessari ampi spazi, molto ventilati, i cui terreni possono però essere utilizzati contemporaneamente anche per agricoltura o allevamento;
- l'energia media prodotta da un impianto (su base annuale) è relativamente costante.

## CURIOSITÀ

Fin dall'antichità l'energia del vento è stata sfruttata direttamente come energia meccanica o cinetica: l'eolico non è dunque in sé una novità moderna.

L'energia eolica è sfruttata da millenni per le imbarcazioni a vela. Nei mulini a vento, la rotazione delle pale azionava direttamente le macine per cereali. Un impianto simile veniva utilizzato più recentemente per pompare l'acqua dai pozzi (pompe eoliche). Le prime turbine eoliche per la produzione di elettricità risalgono alla fine dell'Ottocento.

## 🗨️ SVANTAGGI

- La produzione di energia eolica è instabile nel breve termine e fortemente dipendente dalle condizioni meteorologiche;
- l'intermittenza del vento sul breve periodo rende necessaria una fonte di energia alternativa pronta a subentrare
- non esiste al momento una tecnologia che permetta di stoccare eventuali surplus di energia generata e non utilizzata.

	Italia	UE	Mondo
Capacità installata (GW)	11,8	255	907
Elettricità prodotta %	6,4	15	7,6
Elettricità prodotta TWh/anno	20,3	386,5	2100



## LE FONTI ENERGETICHE



# I [BIO]CARBURANTI FOSSILI

EMISSIONE CO<sub>2</sub>

CARBONE 876.9 g/kWh

PETROLIO 626.8 g/kWh

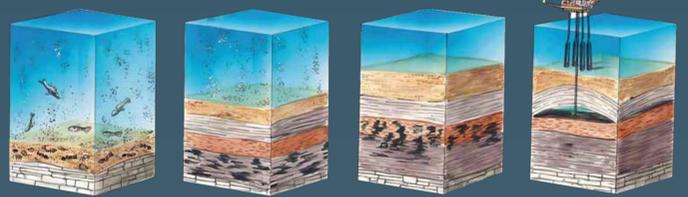
GAS NATURALE 420.2 g/kWh

## CARBONE, PETROLIO, GAS NATURALE

### COME SI FORMANO

L'accumularsi, in assenza di ossigeno e in specifiche condizioni di temperatura e pressione, di un'immensa massa di sostanze organiche vegetali, prima appena sotto la superficie della Terra e in seguito nelle sue profondità, ha dato origine, grazie a dinamiche geologiche di durata tra i 100 e i 400 milioni di anni, ai giacimenti dei tre principali combustibili fossili: carbone da residui di antiche coperture forestali, petrolio (miscela liquida di vari idrocarburi) e gas naturale (principalmente metano) da antichi organismi marini quali alghe e plancton.

Dati i lunghi tempi di produzione di questi carburanti, quelli che estraiamo ora si sono formati in gran parte durante l'era dei dinosauri.



Il processo di formazione del petrolio

### DISPONIBILITÀ E UTILIZZO

Il numero di giacimenti di petrolio scoperti e utilizzati ha raggiunto il suo massimo negli anni '60.

Successivamente, nonostante la disponibilità di tecnologie di ricerca più avanzate in grado di raggiungere maggiori profondità e di permettere l'estrazione di riserve polari o del cosiddetto "shale oil" (petrolio estratto da roccia), c'è stato un progressivo disinteresse a cercare nuovi giacimenti, a favore di fonti di energia meno inquinanti.

### 👍 VANTAGGI

#### UN ALTO VALORE ENERGETICO

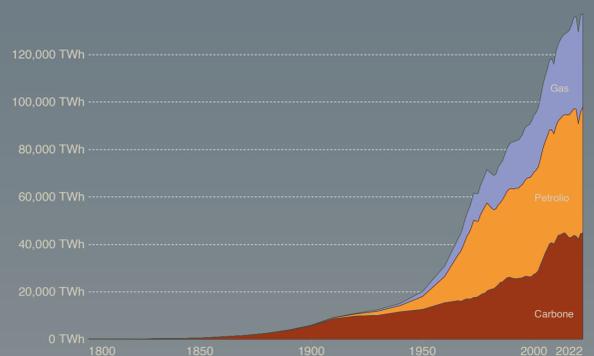
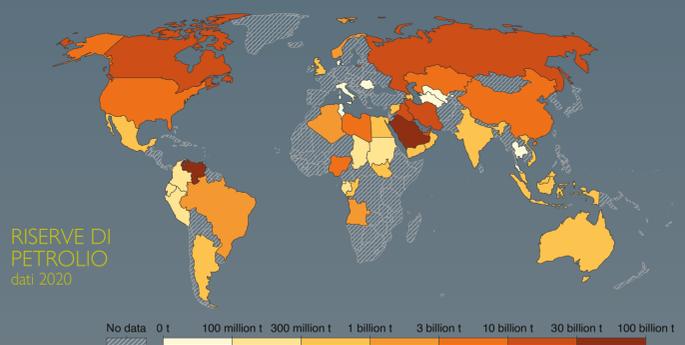
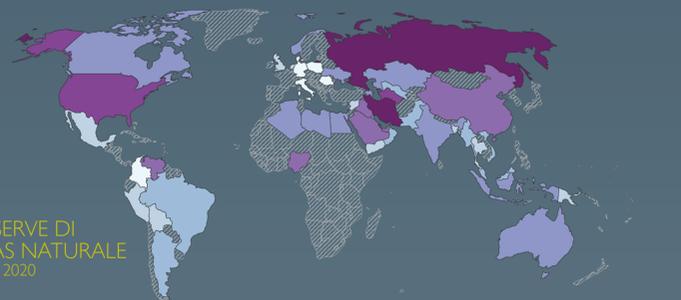
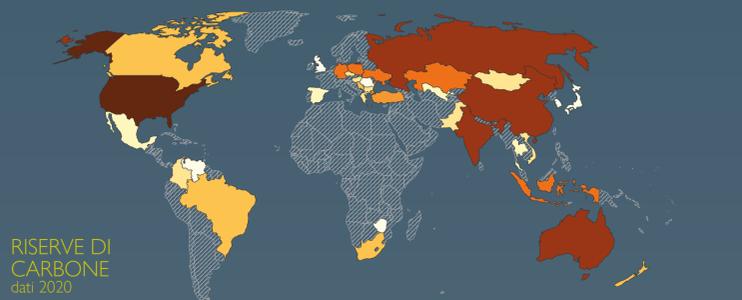
L'energia estraibile durante la combustione è quella immagazzinata nei legami chimici che compongono il materiale che brucia. Quanto più è elevato il rapporto *H/C* (Idrogeno/Carbonio) del combustibile fossile, tanto più sarà grande la quantità di energia ricavabile dalla combustione e tanto meno sarà la quantità di CO<sub>2</sub> rilasciata per energia prodotta.

Il combustibile più efficiente è il gas naturale, seguito da petrolio e carbone.

	POTERE CALORIFICO	RAPPORTO H/C
IDROGENO	120 (kJ/g)	1/0
GAS NATURALE	51.6 (kJ/g)	4/1
PETROLIO	43.6 (kJ/g)	2/1
CARBONE	39.3 (kJ/g)	0/1

### 🗨️ SVANTAGGI

- Emissione di CO<sub>2</sub> e di altri residui incombusti in atmosfera;
- limitatezza di queste risorse naturali;
- formazione di piogge acide a causa dei residui di zolfo presente nel carbone;
- possibile dissesto idrogeologico: i moderni processi di estrazione di petrolio e gas attraverso la tecnica di frantumazione del sottosuolo (fracking) con iniezione di acqua ad alta pressione possono provocare dissesto idrogeologico e terremoti di piccola entità, oltre che inquinare le falde acquifere.



Piattaforma per l'estrazione di gas e petrolio nel mare del Nord al largo della Scozia; estrae a circa 2200 metri di profondità

## LE FONTI ENERGETICHE



# I NUOVI BIOCARBURANTI

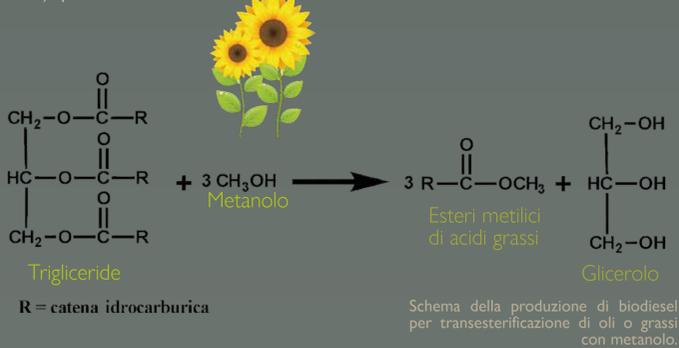
## Energia dalle piante

### COSA SONO

I nuovi biocarburanti sono combustibili prodotti a partire da biomasse, cioè da materiali di origine biologica provenienti dall'agricoltura e relative industrie connesse, dalla silvicoltura, dalla parte biodegradabile dei rifiuti industriali e urbani. Servono a ridurre il consumo di carburanti fossili: a questo scopo, per esempio, in Europa è diventato obbligatorio aggiungere una percentuale di componenti originati da biomasse alla benzina ed al gasolio da trazione.

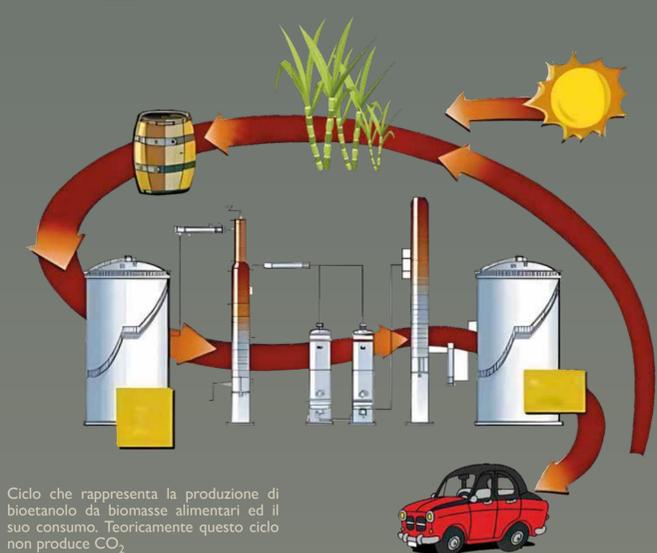
### ESEMPI

**Il biodiesel** si ottiene da oli vegetali (da semi di colza, girasole, soia) per reazione con il metanolo.



Curiosità: si può usare solo come additivo del carburante fossile e non come carburante puro.

**Il bioetanolo** si ottiene da vegetali contenenti zucchero



Curiosità: solo in Brasile si usa etanolo puro come carburante, perché richiede una modifica dei motori a scoppio. Altrimenti, come in Europa, se ne può aggiungere al carburante tradizionale solo fino al 10 %.

**Il biogas** si ottiene dalla digestione anaerobica (svolta da batteri che non utilizzano ossigeno) dei residui delle lavorazioni agro-industriali, di alghe o di rifiuti domestici.

I biocarburanti di prima generazione sono ricavati da prodotti agricoli normalmente destinati all'alimentazione, con alcuni svantaggi:

- competizione con la produzione di cibo. Il termine ILUC (Indirect Land Use Change) indica la conversione della destinazione di un terreno agricolo dalla produzione alimentare alla produzione di biomasse per carburanti;
- espulsione di piccoli agricoltori da parte di grandi compagnie (land grabbing), per sostenere una produzione intensiva di biomasse;
- distruzione forestale;
- impoverimento della biodiversità.

Per evitare tali contraddizioni oggi si producono preferibilmente biocarburanti "avanzati" che non richiedono la conversione di terreni agricoli destinati alla produzione di alimenti e realizzano un maggior rispetto per l'ambiente.



Questi nuovi biocarburanti provengono da

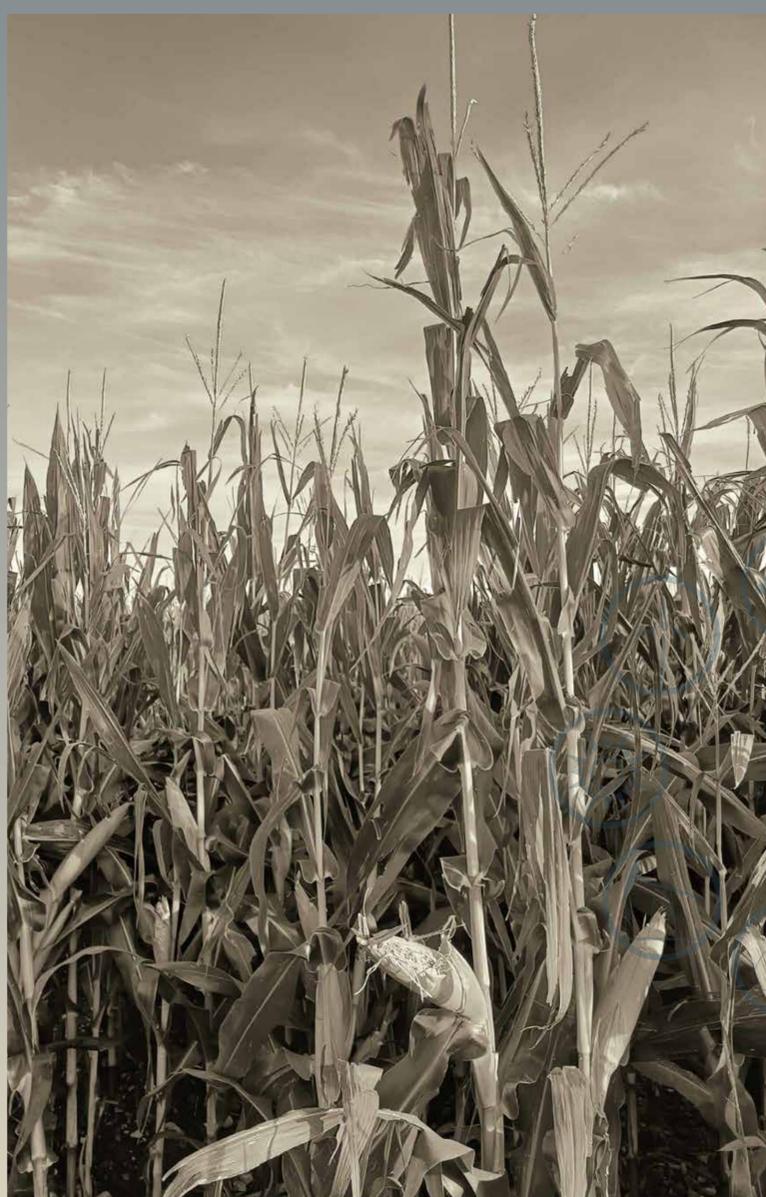
- frazione organica dei rifiuti domestici urbani (FORSU) con cui si produce primariamente biogas (tra cui metano);
- riciclo di scarti agricoli ed industriali, tramite fermentazione o pirogassificazione di biomasse;
- colture di piante oleaginose in aree marginali non utilizzate dall'agricoltura - con cui si producono ad esempio alcuni oli vegetali (HVO, Hydrogenated Vegetable Oils);
- coltivazione di alghe (questo metodo è teoricamente interessante, ma è ancora da sviluppare).

#### POTERE CALORIFICO

METANO 52.0 (kJ/g)

ETANOLO 27.0 (kJ/g)

BIODIESEL 37-38 (kJ/g)



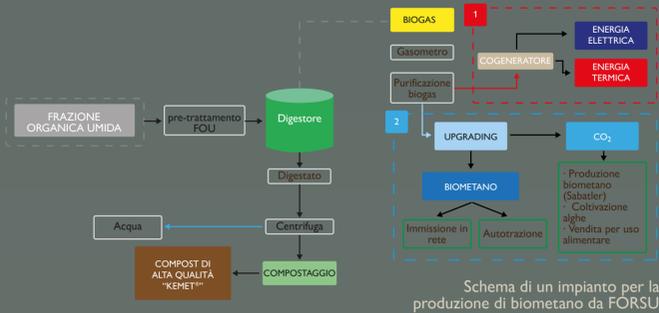
## LE FONTI ENERGETICHE



# BIOCARBURANTI AVANZATI

## ESEMPI

**Biometano da frazione organica dei rifiuti domestici urbani (FORSU).** Il biometano ottenuto può essere immesso in rete e/o utilizzato per autotrazione.



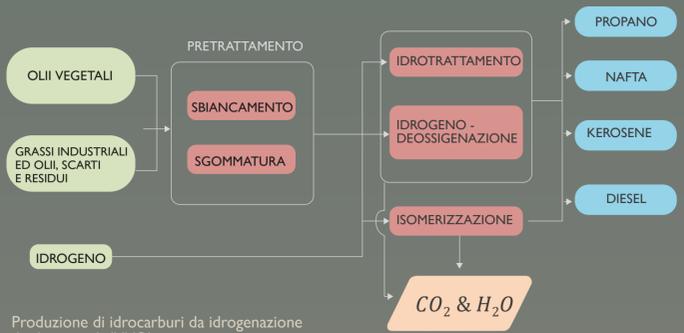
**Biocarburanti da scarti legnosi (biomasse lignocellulosiche)**

Gli scarti legnosi contengono cellulosa ed emicellulosa, che vengono convertite in monosaccaridi adatti alla fermentazione per produrre etanolo o altri biocarburanti; la lignina non fermentabile viene utilizzata per produrre l'energia necessaria al processo (bioraffinerie di seconda generazione).



**Produzione di HVO (Hydrogenated Vegetable Oils) da grassi e oli vegetali di scarto o da produzioni agricole in terreni marginali**

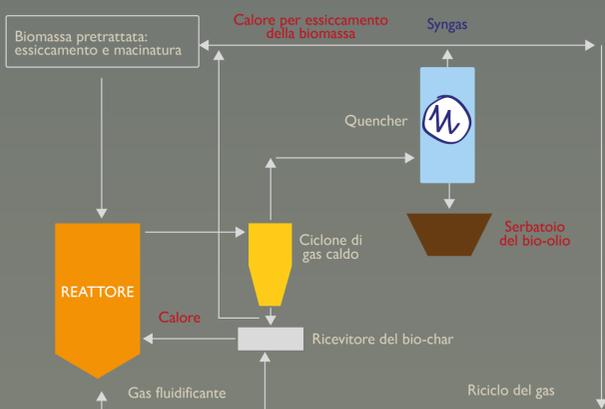
L'idrogenazione dei grassi è la reazione con idrogeno che rimuove gli atomi di ossigeno e produce idrocarburi che, al contrario del bioetanolo e del biodiesel, possono essere utilizzati puri senza modifica dei motori. La produzione può essere modulata per ottenere la frazione di idrocarburi voluta da destinare ai diversi scopi (es. bio-jet fuels).



## Pirolisi di biomasse

Consiste nel riscaldamento delle biomasse ad alte temperature (da 300 °C a 600 °C) per produrre in diversi rapporti bio-olio, char (solido carbonioso utile all'agricoltura) e syngas, una miscela di ossido di carbonio, idrogeno, metano, anidride carbonica ed idrocarburi.

Il syngas può essere poi bruciato per produrre energia elettrica oppure convertito chimicamente in idrocarburi.



## CONCLUSIONI

- Sono un sistema complesso, nessuna filiera è in grado di coprire da sola il fabbisogno di carburanti.
- La convenienza rispetto al carburante fossile è motivata dalla riduzione delle emissioni nette di CO<sub>2</sub>. Non sono sempre economicamente convenienti e perciò è necessario un incoraggiamento della legislazione per favorire il circolo virtuoso delle buone pratiche di economia circolare.
- La loro produzione stimola lo sviluppo di nuove tecnologie impiantistiche ed attività agricole sostenibili come la riforestazione e il recupero di terreni degradati.

## LE FONTI ENERGETICHE





RETE ELETTRICA EUROPEA



CONDOTTI  
ESISTENTI

CONDOTTI  
IN COSTRUZIONE

RETE DI DISTRIBUZIONE DEL GAS EUROPEA