

***" Economia dell'Energia e dell'Ambiente."***

*a.a. 2019/20*

***Lezione 6 – parte 3:***

*Le altri Fonti Rinnovabili, Alternative e Innovative di Energia  
La produzione eolica, da biomasse, l'Idrogeno ed il Nucleare.*

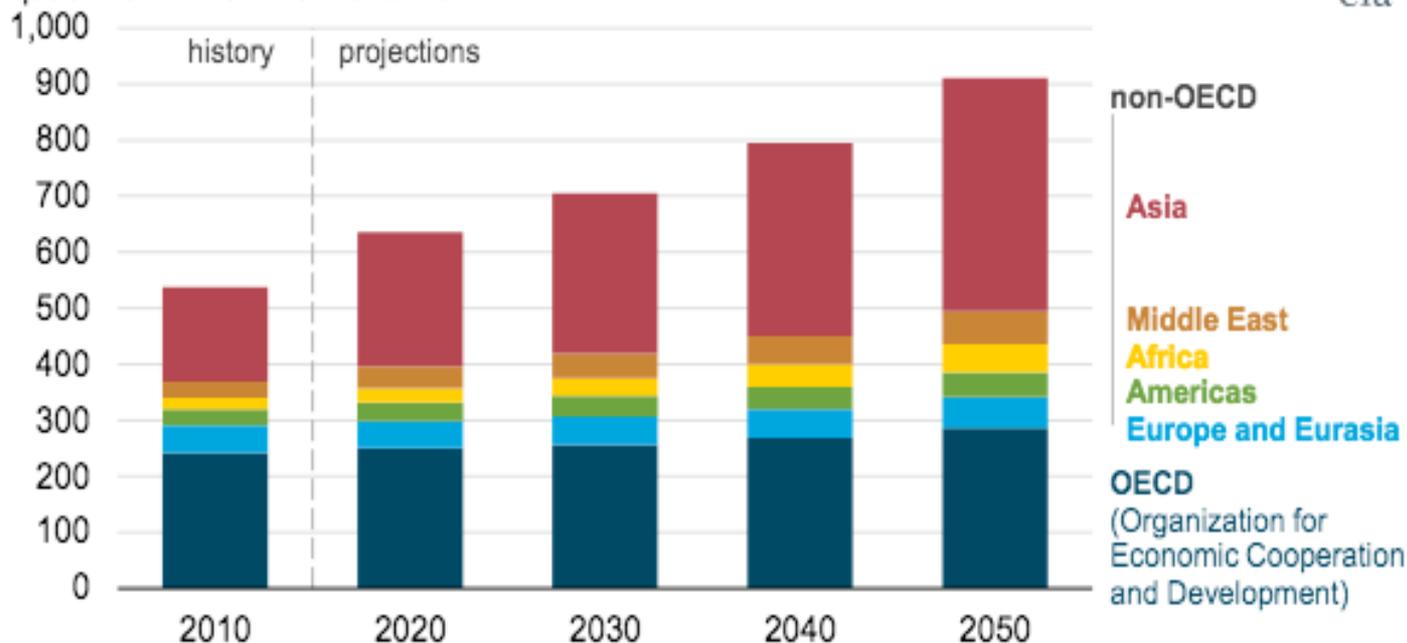
*Roberto.Fazioli@unife.it*

*Dipartimento di Economia e Management,*

*Università di Ferrara*

## Global primary energy consumption by region (2010-2050)

quadrillion British thermal units



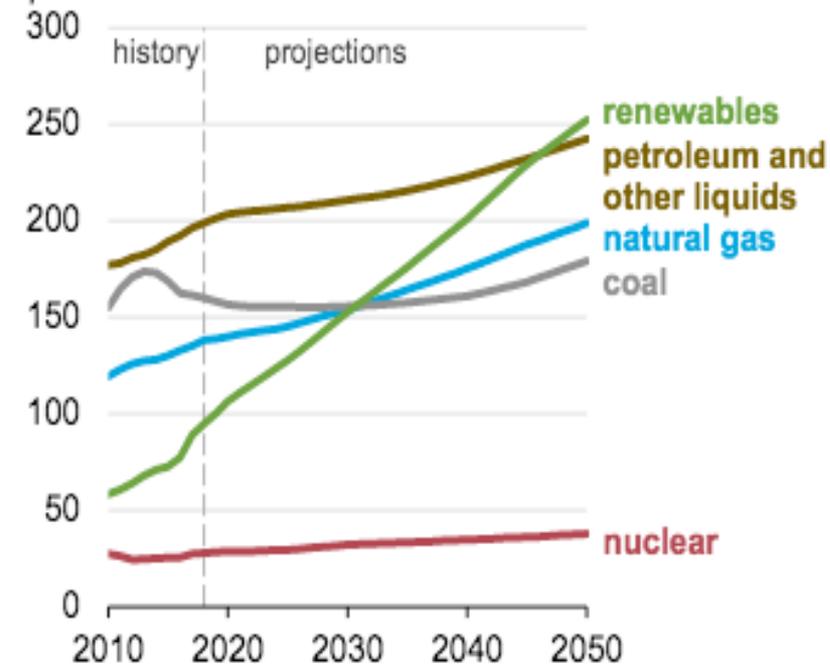
## Previsioni sul Mix Energetico 2050 a livello mondiale

**E.I.A. prevede che il consumo mondiale di energia crescerà di quasi il 50% tra il 2018 e il 2050.** Gran parte di questa crescita proviene da paesi che non fanno parte dell'OCSE e questa crescita è focalizzata in regioni in cui una forte crescita economica sta guidando la domanda, **in particolare in Asia.** La crescita del consumo finale porta alla **generazione di elettricità in aumento del 79% tra il 2018 e il 2050.** L'uso dell'elettricità cresce nel settore residenziale con l'aumento della popolazione e il tenore di vita nei paesi non OCSE aumentano la domanda di elettrodomestici e attrezzature personali. L'uso dell'elettricità aumenta anche nel settore dei trasporti in quanto i veicoli elettrici plug-in entrano nella flotta e l'uso dell'elettricità per ferrovia si espande.

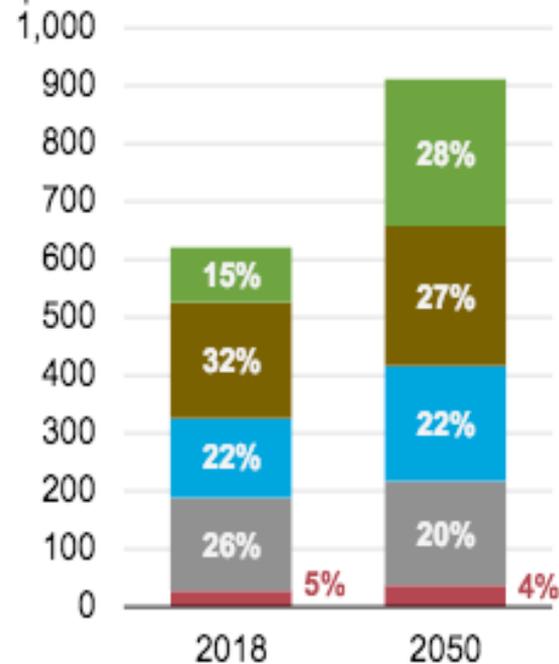
Con la rapida crescita della produzione di elettricità, le energie rinnovabili, tra cui l'energia solare, eolica e idroelettrica, sono la fonte di energia in più rapida crescita tra il 2018 e il 2050, superando il petrolio e altri liquidi per diventare la fonte di energia più utilizzata nel caso di riferimento. Il consumo mondiale di energia rinnovabile aumenta del 3,1% annuo tra il 2018 e il 2050, rispetto allo 0,6% di crescita annuale di petrolio e altri liquidi, allo 0,4% di carbone e all'1,1% di consumo annuale di gas naturale. Il consumo globale di gas naturale aumenta di oltre il 40% tra il 2018 e il 2050 e il consumo totale raggiunge circa 200 quadrilioni di Btu entro il 2050. Oltre al gas naturale utilizzato nella produzione di elettricità, il consumo di gas naturale aumenta nel settore industriale. La produzione di metalli chimici e primari, nonché l'estrazione di petrolio e gas naturale, rappresentano la maggior parte della crescente domanda industriale.

## Global primary energy consumption by energy source (2010-2050)

quadrillion British thermal units



quadrillion British thermal units



La **Direttiva 2009/28/CE**, recepita con il Decreto Legislativo n. 28 del 3 marzo 2011, assegna all'Italia due **obiettivi nazionali vincolanti in termini di quota dei consumi finali lordi di energia coperta da fonti rinnovabili (FER) al 2020**:

1. raggiungere, entro il 2020, una quota dei consumi finali lordi (CFL) complessivi di energia coperta da fonti rinnovabili almeno pari al **17%** (obiettivo complessivo o *overall target*);
2. raggiungere, entro il 2020, una quota dei consumi finali lordi (CFL) di energia nel settore dei trasporti coperta da fonti rinnovabili almeno pari al **10%** (obiettivo settoriale trasporti).

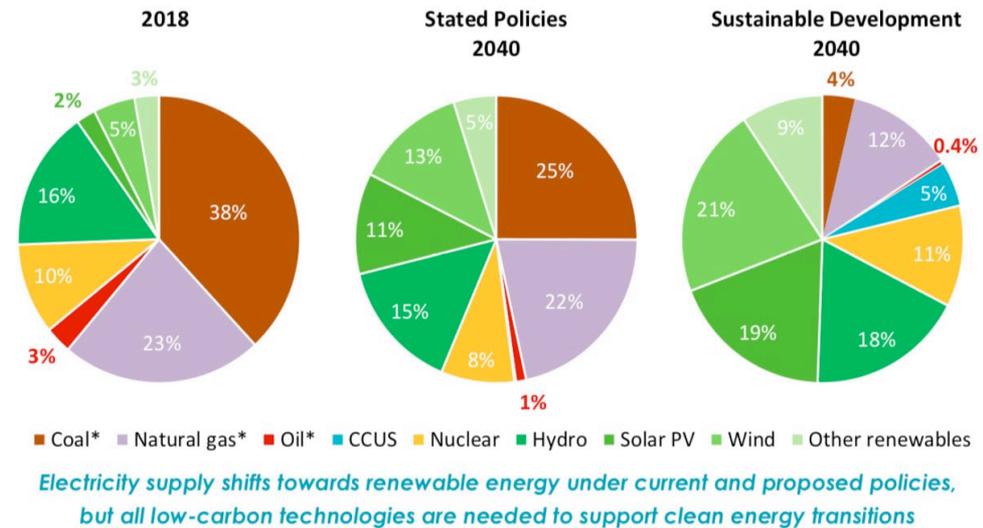
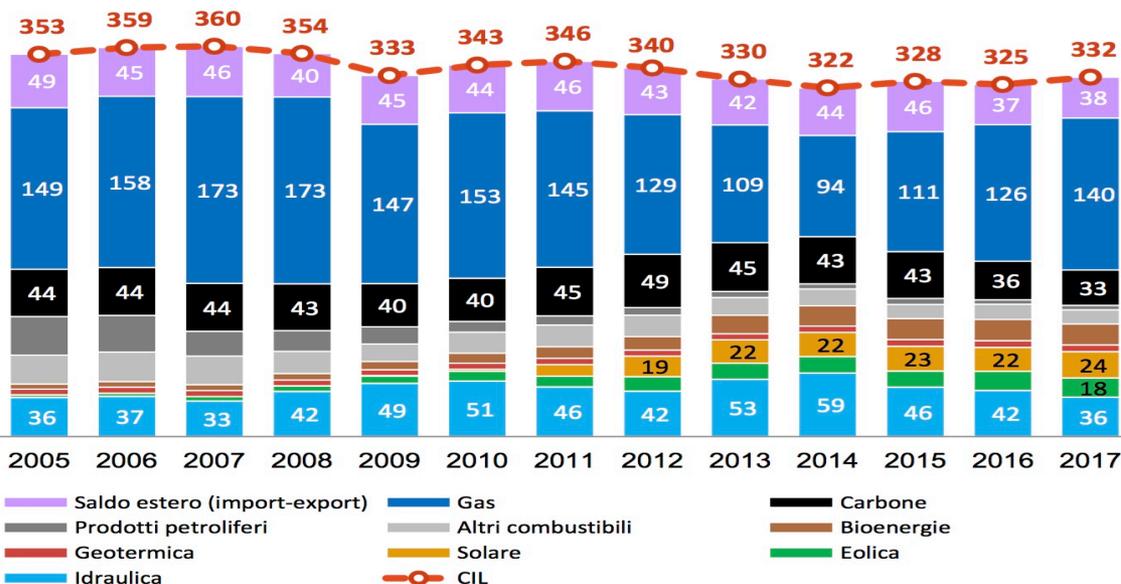
Una traiettoria del percorso di raggiungimento dei due obiettivi tra gli anni 2010 e 2020, estesa anche ai settori elettrico e termico, è stata individuata nel Piano d'Azione Nazionale per le energie rinnovabili (PAN), trasmesso alla Commissione Europea nel 2010.

### Italia Europa (EU28)

Quota FER sui consumi energetici totali	<b>18,3%</b>	<b>17,5%</b>
Quota FER nel settore Trasporti	<b>6,5%</b>	<b>7,6%</b>
Quota FER nel settore Elettrico	<b>34,1%</b>	<b>30,7%</b>
Quota FER nel settore Termico	<b>20,1%</b>	<b>19,5%</b>

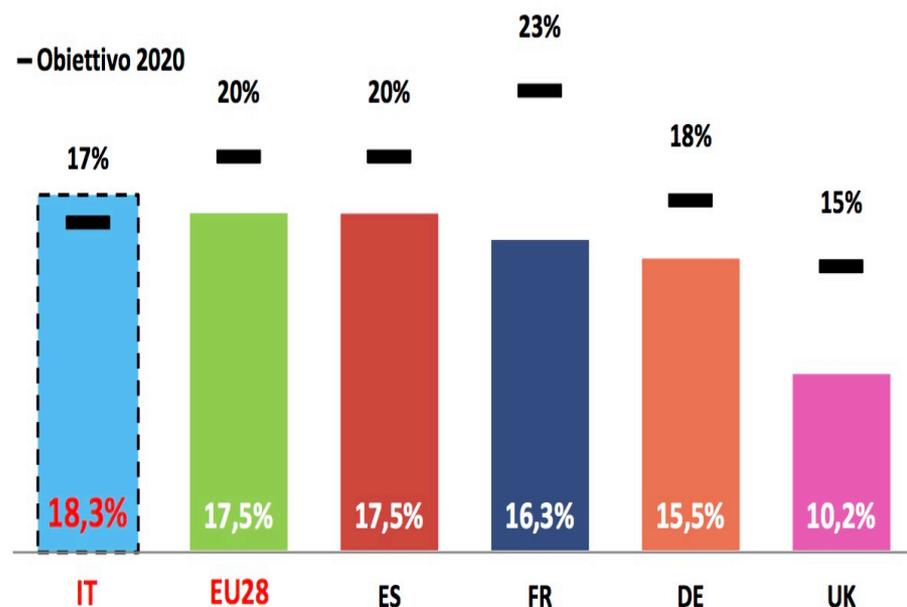
L'Italia si posiziona al 3° posto, tra i Paesi EU28, in termini di consumi di energia da FER e al 4° posto in termini di consumi energetici complessivi

### Consumo interno lordo cumulato (TWh)



\* Excludes capacity equipped with CCUS.

L'Italia è l'unico tra i principali Paesi UE ad **aver raggiunto nel 2017 (18,3%) l'obiettivo** fissato dalla Direttiva 2009/28/CE per il 2020 (17%)



# Energia Eolica

L'energia eolica è una delle fonti energetiche sfruttate sin dagli antichi. È di per sé, l'energia cinetica del vento e la sua conversione in energia meccanica o elettrica. Sicuramente l'applicazione più antica è quella nautica, tramite l'uso della vela, quella nei mulini a vento, e oggi invece l'energia eolica è sfruttata per la produzione elettrica. L'energia eolica è l'energia cinetica prodotta dall'aria in movimento e solitamente detta **vento**. Il vento è il movimento dell'aria sulla superficie terrestre, tra zone di alta pressione e bassa pressione. Le differenze di temperatura quindi generano differenze di pressione. La presenza di due punti con differente pressione atmosferica origina una forza, detta "forza del gradiente di pressione", che agisce premendo su una massa d'aria per tentare di ristabilire l'equilibrio e dunque dando luogo al fenomeno del vento. Inoltre la rotazione della Terra trascina l'atmosfera intorno ad essa **causando movimento di grosse masse d'aria** (Forza di Coriolis). Questi effetti naturalmente si combinano tra loro portando alla naturale variabilità dei venti.

Difficilmente un aerogeneratore è "solo": ci si riferisce dunque spesso a "**parchi eolici**" quando decine (a volte centinaia) di generatori vengono concentrati in una zona favorevole alla produzione di energia. Attualmente viene convertita in elettrica tramite una centrale eolica, mentre in passato l'energia generata dai mulini veniva utilizzata sul posto come energia motrice. Esistono parchi eolici on-shore, near-shore ed off-shore.

- I **parchi eolici on-shore** sono riferiti a parchi distanti almeno 10 km dal mare, solitamente in grandi pianure (come quelle della zona centrale degli stati uniti) favorevoli a correnti di vento costanti e sostanziose).
- L'**eolico near-shore** comprende tutti gli impianti sulla costa, fino a 10 km di distanza. È caratterizzato dal tentativo di sfruttare i venti che provengono dal mare e si abbattono sulla costa con costanza durante l'arco dell'anno e hanno sufficienti velocità.

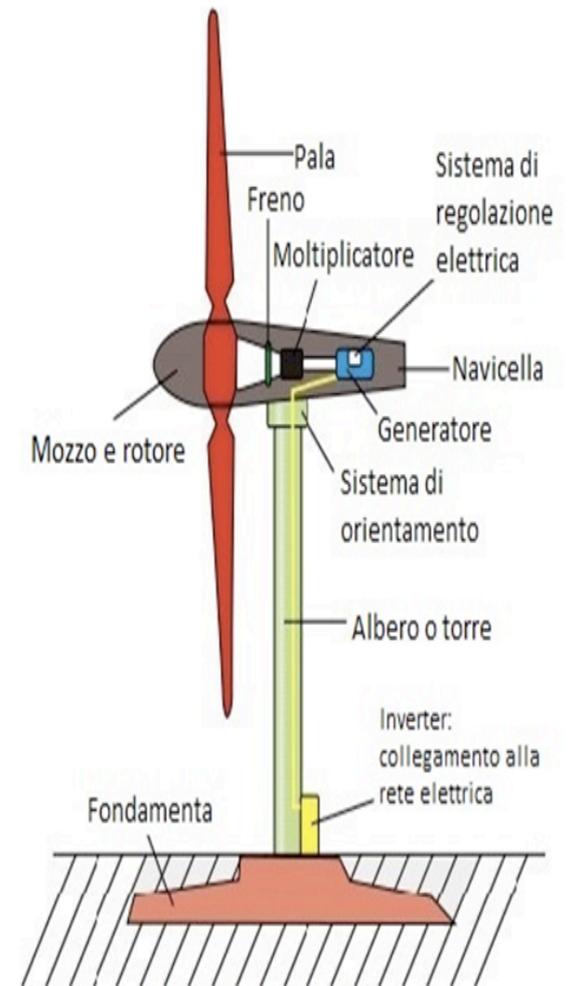
• Per quanto riguarda l'**eolico off-shore** invece si tratta solitamente di impianti più stabili, che forniscono più energia (poiché velocità e costanza del vento lontano dalla costa forniscono condizioni migliori alla conversione dell'energia) e possiede un minor impatto visivo, tuttavia i costi di realizzazione e manutenzione sono notevolmente più alti.

Esistono anche impianti in dimensioni ridotte come piccoli impianti eolici on-shore, che possono fornire elettricità a luoghi isolati; oppure piccoli aerogeneratori domestici che sono in sviluppo e alcuni già in commercio, che possono essere installati sul tetto o a volte addirittura sul balcone, e che possono anche produrre energia in eccesso acquistabile dalle società elettriche.

I **generatori** si distinguono principalmente in due tipi, a seconda dell'asse di rotazione del generatore. Esistono poi sottoinsiemi in base ad altre caratteristiche.

• Generatori ad asse **orizzontale**. Un generatore eolico ad asse di rotazione orizzontale al suolo (HAWT, in inglese Horizontal Axis Wind Turbines) è formato da una torre in acciaio di altezze tra i 60 e i 100 metri, sulla cui sommità si trova un involucro (gondola) che contiene un generatore elettrico azionato da un rotore a pale lunghe tra i 20 e i 60 metri. Genera una potenza molto variabile, che può andare da pochi kW fino a 5-6 MW, in funzione della ventosità del luogo e del tempo. Il mulino a vento è l'esempio storico di macchina convertitrice di energia ad asse orizzontale. Solitamente richiedono una velocità minima di 3-5 m/s ed erogano la potenza di progetto ad una velocità del vento di 12-14 m/s. Ad elevate velocità (20/25 m/s) l'aerogeneratore viene invece bloccato dal sistema frenante per ragioni di sicurezza.

• Generatori ad asse **verticale**. Un generatore eolico ad asse di rotazione verticale al suolo (VAWT, in inglese Vertical Axis Wind Turbines) è un tipo di macchina eolica contraddistinta da una ridotta quantità di parti mobili nella sua struttura, il che le conferisce un'alta resistenza alle forti raffiche di vento e la possibilità di sfruttare qualsiasi direzione del vento senza doversi orientare di continuo. Anch'esse richiedono una velocità minima di 3-5 m/s circa ed erogano la potenza di progetto ad una velocità del vento anche più alte dei 12-14 m/s. Sopportano le elevate velocità in quanto strutturalmente più stabili.



**IMPIANTO EOLICO**

# ENERGIA EOLICA

massa d'aria in movimento

cos'è

**il vento**

origine

**calore del Sole**  
che crea una differenza di pressione tra le varie zone della Terra

origine

possiede

energia meccanica allo stato cinetico

caratteristiche

vantaggi

energia pulita

gestione economica

svantaggi

costi elevati di costruzione

alterazione del paesaggio

**CENTRALI EOLICHE**

**minieolico**

piccoli generatori eolici



10 - 100 rotori

**generatori eolici**

anche in **mare**

producono energia elettrica dove verrà utilizzata



speciali **rotori**

sono

alti 50-100 m.

costituite da **eliche**

elica lunga 20-50 metri

attivano

moltiplicatore di giri

**generatore di corrente**

invisibili

vento costante

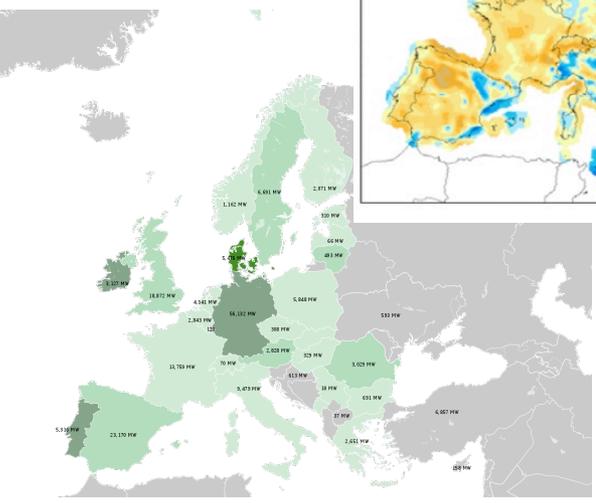
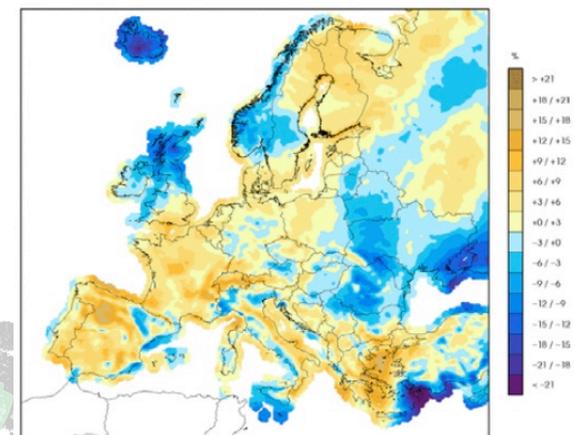
minimo disturbo delle turbolenze



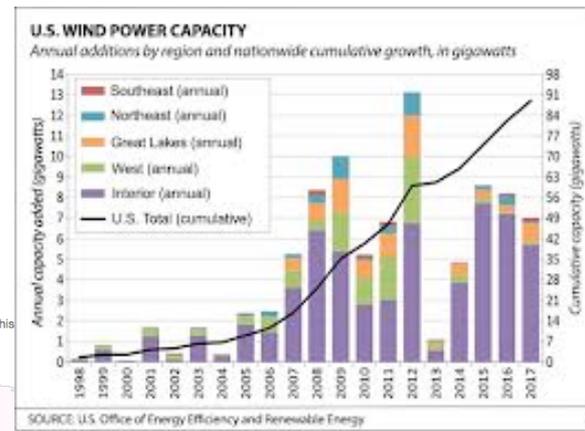
L'energia eolica ha rappresentato il 51% della nuova potenza installata nel 2016 in **Europa**, connettendo in totale 12,5 GW alla rete, distribuiti tra i 28 Stati Membri dell'UE, di cui 10.923 MW on-shore e 1.567 MW off-shore. Il totale della capacità eolica installata oggi in Europa si attesta sui 153,7 GW. L'energia eolica ha coperto il 10,4% dei fabbisogni di energia elettrica lo scorso anno. La Germania ha installato la quota maggiore di nuova energia eolica, ovvero il 44% del totale dell'UE. Cinque stati membri hanno raggiunto l'anno record: la Francia, i Paesi Bassi, la Finlandia, l'Irlanda e la Lituania. Tutte le Rinnovabili insieme hanno aggiunto l'86% di nuova potenza installata nel 2016 – 21,1 GW su 24,5 GW. In Italia installati solo 282,5 MW pari ad un flusso di investimento pari a oltre 350 milioni di euro. Gli investimenti in nuovi impianti eolici tra on-shore e off-shore hanno raggiunto il record di 27,5 miliardi di euro. **L'eolico off-shore è aumentato del 39% ogni anno fino a raggiungere 18,2 miliardi di euro, mentre per l'on-shore gli investimenti sono diminuiti del 29% raggiungendo quota 9,3 miliardi di euro.**

Nel 2010 più della metà di tutta la nuova potenza eolica è stata installata al di fuori dei **mercati tradizionali europei e nord americani**. Ciò è legato in particolare alla forte crescita di installazioni in **Cina** che hanno rappresentato quasi la metà dei nuovi impianti eolici (16,5 GW). Le cifre fornite dal Global Wind Energy Council (GWEC) mostrano che nel 2007 si è registrato un incremento di potenza installata di 20 GW, portando il totale della capacità installata di energia eolica mondiale a 94 GW, contro i 74 GW del 2006. Nonostante i vincoli che affrontano le industrie di produzione delle turbine eoliche, il mercato annuale ha continuato a crescere a un tasso stimato del 37%, dopo una crescita del 32% nel 2006. In termini di valore economico, il settore eolico è diventato uno dei principali attori dei mercati energetici, con un valore totale delle nuove apparecchiature installate nel 2007 di 36 miliardi di dollari. Anche se l'industria eolica ha risentito della crisi finanziaria globale nel 2009 e del 2010, **la crescita continua**. Negli ultimi cinque anni la crescita media di nuovi impianti è stata del 27,6% l'anno. La previsione per il 2013 attestava il tasso di crescita annuo medio al 15,7%. Il *Global Wind Energy Council* ha rilasciato il *GWE Outlook* del 2016, descrivendo scenari secondo i quali l'eolico potrebbe fornire circa il **20% dell'elettricità mondiale entro il 2030**. Questo report ipotizza quattro differenti futuri legati all'industria eolica in quattro momenti: 2020, 2030 e 2050. *“Ora che gli accordi di Parigi sono stati definiti le nazioni iniziano ad attivarsi per rispettare gli accordi presi lo scorso dicembre. Riuscire a raggiungere gli obiettivi significa de-carbonizzare completamente la produzione elettrica entro il 2050, e l'eolico giocherà in questo un ruolo fondamentale.”* dichiara Steve Sawyer, segretario generale del GWEC. Entro il 2030 l'energia eolica **potrebbe arrivare a produrre 2110 GW annuali, e fornire il 20% dell'elettricità richiesta a livello mondiale**, creando 2.4 milioni di posti di lavoro, riducendo le emissioni di CO2 di circa 3.3 miliardi di tonnellate annue, e attrarre investimenti per circa 200 miliardi di euro annui. Grazie alle diminuzioni nei prezzi per produzione, installazione e manutenzione delle rinnovabili, la GWEC stima che la de-carbonizzazione della produzione di energia non sia più solamente tecnicamente raggiungibile, **ma anche economicamente sostenibile e competitiva**. Ci sono nuovi forti mercati che si stanno sviluppando in Africa, in Asia e in America Latina, che incentivano la produzione di energia pulita e sostenibile. *“L'eolico è una delle opzioni più competitive per aumentare la capacità elettrica di un sistema, specialmente nei mercati in via di sviluppo”* continua Sawyer, *“ma per raggiungere gli obiettivi di Parigi è necessario chiudere impianti di produzione che utilizzano carburanti fossili, non basta installare solo impianti a rinnovabili. Chiaramente chiudere una centrale richiederebbe un rimpiazzo, e l'eolico (così come solare, idroelettrico geotermico o biomasse) stanno diventando anno per anno più competitivi economicamente. I governi devono essere i primi però a credere negli impegni presi e mettere pressione per portare avanti questi obiettivi.”*

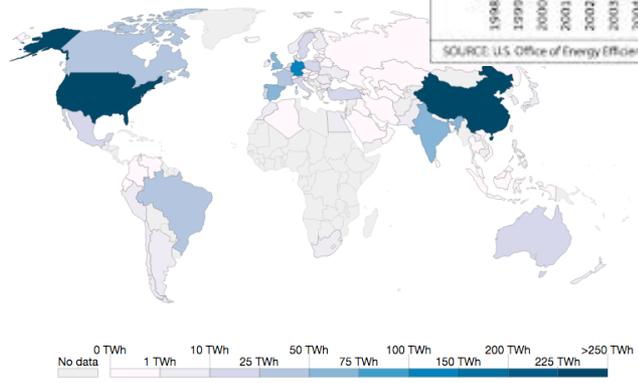
Wind speed anomaly map: Q2 2012



Mappa europea della dislocazione degli impianti di Wind Energy



Wind energy generation, 2018



Si possono intuire già molteplici **vantaggi** positivi legati all'energia eolica dunque. Essa:

- È facilmente sfruttabile,
- È trasformabile e costantemente reperibile;
- inoltre nell'antichità era meno onerosa dell'utilizzo degli animali da lavoro.

Allora l'unico fattore possibilmente negativo era l'assenza di vento, che poteva provocare un blocco della produzione, che veniva dunque sostituito dagli animali da lavoro. Oggi quelle che vengono chiamate le "wind farm" (letteralmente fattorie di vento) producono con molteplici generatori eolici, tecnologicamente decisamente evolute rispetto agli antichi mulini a vento, energia elettrica grazie a un sistema ad alberi e turbina. I molteplici lati positivi sono in parte quelli già citati e quelli più logici: **la reperibilità, la facilità di sfruttamento e trasformazione dell'energia, e la costanza**. Sicuramente è importante come la trasformazione di per sé non abbia emissioni climalternanti come quelle derivanti dalle trasformazioni di energie chimiche (malgrado non si possa considerare la filiera priva di emissioni). La produzione è **ben più costante rispetto ad altre fonti rinnovabili come il fotovoltaico che può produrre solo di giorno**, o l'idroelettrico, che dipende da stagionalità e precipitazioni. Ci sono sicuramente dei punti positivi anche a livello di vita dei macchinari, chiaramente più semplici da smantellare e da riciclare rispetto alle centrali di generazione fossile, malgrado comunque la vita di una turbina sia di **20-25 anni**.

### Gli Svantaggi dell'Energia Eolica

I lati negativi da prendere in considerazione sono diversi. Al primo posto stanno l'inquinamento visivo e acustico. Questi due aspetti, soprattutto nel nostro paese e in tutti quelli che vivono di turismo, **sono presi seriamente in considerazione**. Spesso i punti di migliore esposizione al vento sono infatti presso la costa, dove però gli impianti di balneazione ne soffrirebbero, sia per l'impattante presenza degli impianti, quanto per il **fastidioso rumore** prodotto dagli elementi elettromeccanici e dai fenomeni aerodinamici. Si è provato a minimizzare questi impatti provando a installare le wind farm off-shore, a qualche chilometro dalla costa, dove in alcune zone (primo esempio la Danimarca), la produzione è più che soddisfacente e poco impattante a livello visivo e acustico. Bisogna anche considerare la produzione rispetto all'investimento: ogni generatore eolico ha circa una potenza massima di **3-3.5 megawatt**, a velocità di vento di 12-14 m/s, e una velocità di cut-in (velocità minima del vento) di 3-5 m/s. Dunque la spesa è giustificata in quelle zone in cui la velocità media del vento durante l'anno sia di circa **12-14 m/s**, per poter sfruttare al massimo l'investimento. Purtroppo il nostro paese non dispone largamente di zone che corrispondano a tali parametri **a parte le isole e qualche area costiera**.



## Vantaggi e svantaggi dell'energia eolica

### Vantaggi

- Riduzione delle emissioni di gas serra
- Eliminazione dei costi per l'approvvigionamento di carburanti
- Indipendenza energetica
- Passaggio ad un modello di sviluppo sostenibile
- Tecnologia sicura
- Creazione di occupazione
- Creazione di nuova ricchezza
- Contrasta la creazione di oligopoli e monopoli
- Espansione di attività di R&S

### Svantaggi

- Impatto visivo
- Occupazione di suolo
- Possibili danni all'avifauna
- Costi iniziali elevati
- Costo sociale per la concessione di incentivi
- Rumorosità
- Intermittenza della fonte (bilanciamento dei picchi di produzione, accumulo)

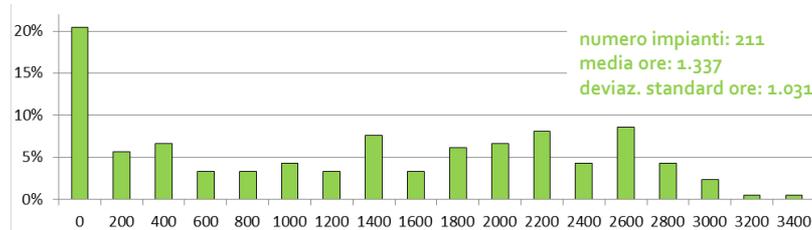


## Producibilità degli impianti incentivati: mini eolico

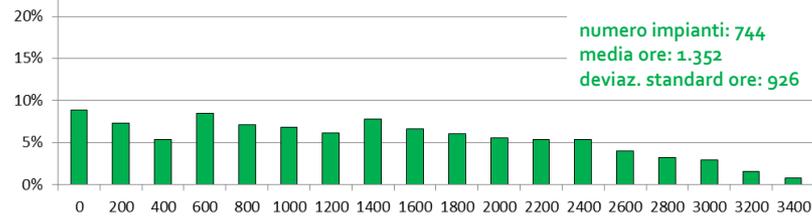
### Distribuzione delle ore equivalenti del 2016 per gli impianti FER-E (più nuovi)

Rispetto al grande eolico, si ha un'elevata eterogeneità, soprattutto per gli impianti più piccoli (molti impianti quasi fermi)

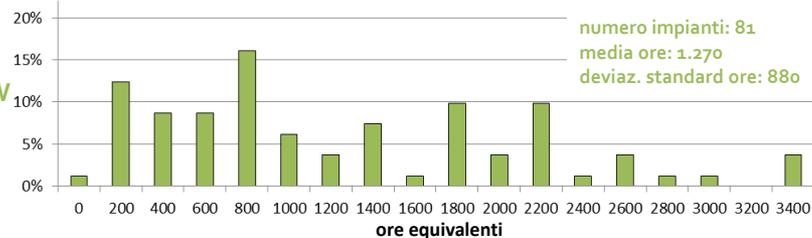
fino a 20 kW



da 20 kW a 60 kW



da 60 kW a 200 kW

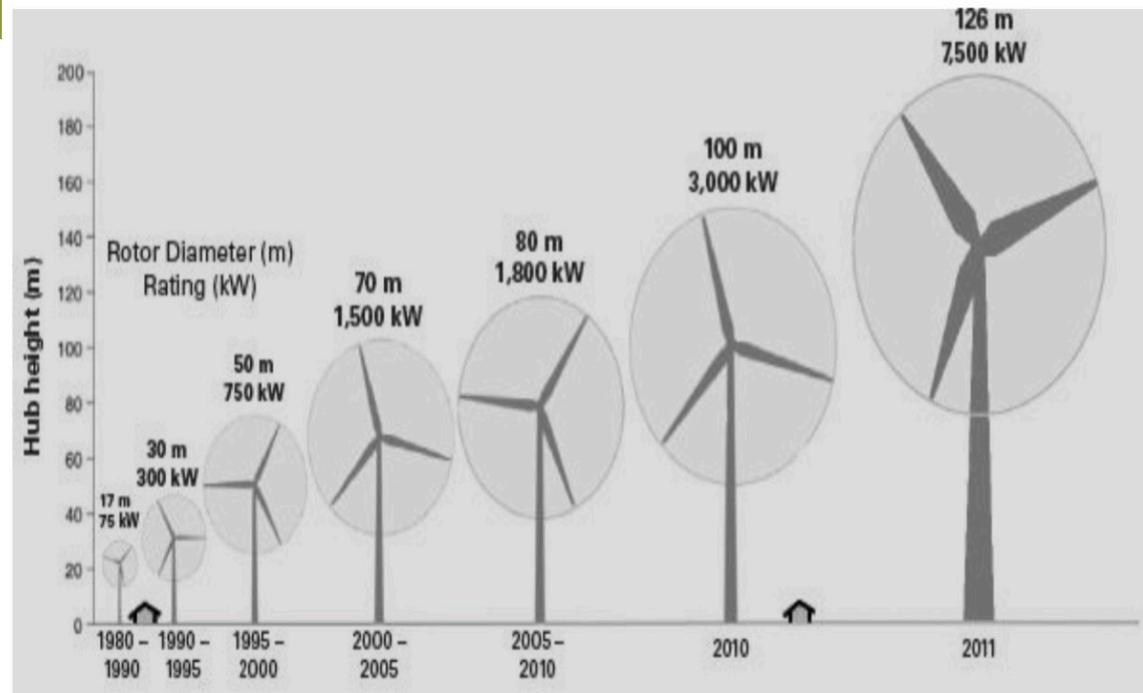
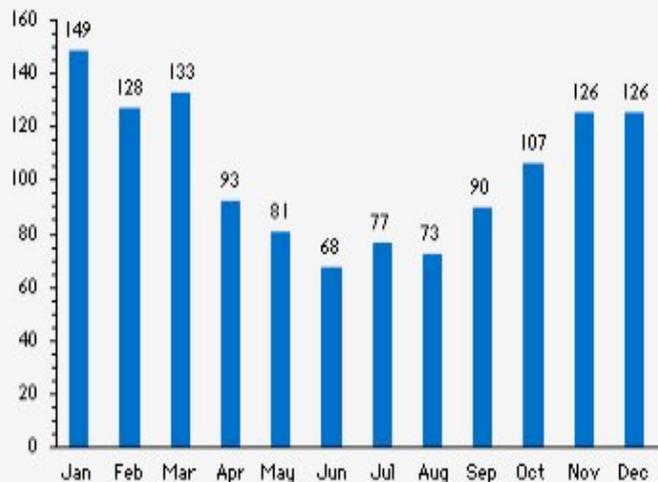


Si osservano buone performance dei grandi impianti, mentre il mini eolico mostra producibilità molto variabile ma in media moderata, sia pure in miglioramento. I costi di investimento, in larga parte dovuti agli aerogeneratori, risultano sensibilmente decrescenti all'aumentare della taglia di impianto. Tale aspetto si riflette sul costo di generazione, dove la minor producibilità dei piccoli impianti accentua ulteriormente le differenze tra le taglie.

In termini di numerosità, gli impianti piccoli (in particolare 20-60 kW) sono nettamente preponderanti. In tal senso spiccano gli impianti incentivati mediante i DM 6/7/2012 e DM 23/6/2016, e in particolare gli impianti da 20 kW, 60 kW, 200 kW e 1 MW, mentre per potenza, gli impianti grandi (oltre 5MW) sono prevalenti.

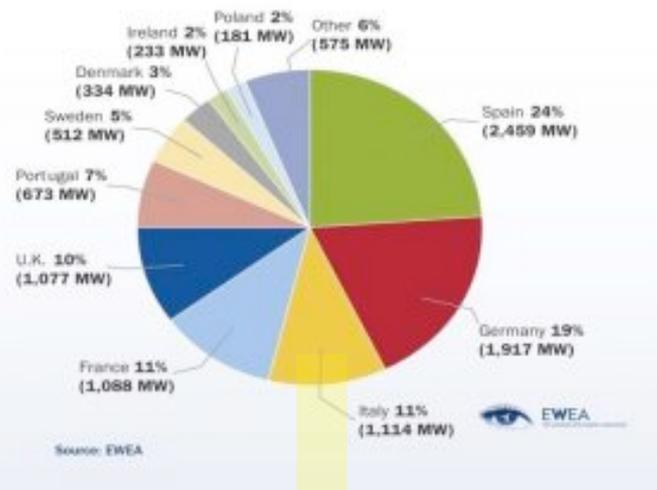
La producibilità, ovvero le ore di lavoro, fanno osservare un'elevata eterogeneità, soprattutto per gli impianti più piccoli (molti impianti quasi fermi)

### Indice variazione annuale energia eolica



# Sviluppo dell'eolico incentivato per taglia

## Analisi dell'evoluzione dell'eolico per classe di potenza: la crescita dei piccoli impianti



Gli impianti esistenti sono stati sostanzialmente incentivati, evidenziando la rilevante crescita di impianti di piccola taglia negli ultimi 3 anni, sia pure in termini di potenza permanga una netta prevalenza di grandi impianti principalmente incentivati.

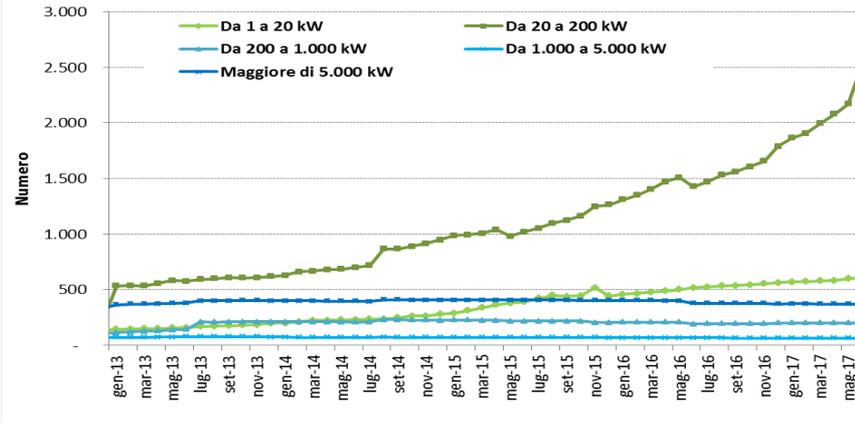
L'eolico è la fonte maggiormente incentivata ai sensi dei DM 6/7/2012 e DM 23/6/2016. Sintesi delle iniziative entrate in esercizio e di quelle in graduatoria che al 30/6/2017 sono ancora a progetto e mantengono diritto all'incentivazione.

### Sviluppo dell'eolico incentivato.

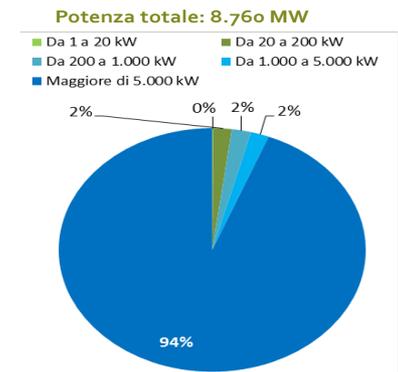
Negli ultimi 3 anni si è avuta una rilevante crescita di impianti di piccola taglia soprattutto da 60 kW, ma anche 20 kW e 200 kW. Nel complesso, al 30 giugno 2017, risultano oltre 3.150 impianti incentivati fino a 200 kW. In termini di potenza, c'è una netta prevalenza (94%) di impianti grandi, principalmente incentivati exCV

- La producibilità degli impianti eolici incentivati. Il grande eolico mostra producibilità sostanzialmente omogenea e piuttosto stabile, con un incremento per gli impianti più nuovi.
- La producibilità degli impianti mini eolici mostra invece un miglioramento rispetto al passato, ma i valori medi risultano ancora moderati.

### Evoluzione del numero di impianti incentivati in esercizio per classe di potenza



### Distribuzione della potenza per classe di potenza (giu 2017)



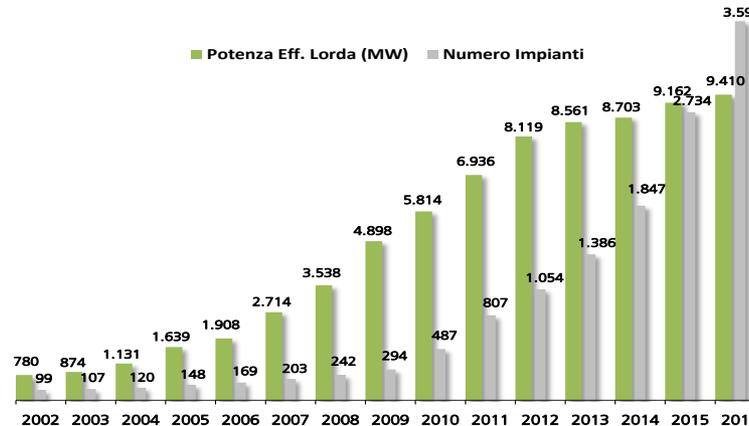
- Significativa crescita del numero di impianti piccoli, soprattutto 20-200 kW
- Netta prevalenza in potenza di impianti grandi > 5 MW

6

## Impianti eolici in Italia: dati statistici

Evoluzione di numero e potenza eolica in Italia. I dati si riferiscono a tutti gli impianti in esercizio, incentivati o meno. A fine 2016 gli impianti incentivati costituiscono il 92% della potenza eolica totale in esercizio.

### Distribuzione regionale della potenza eolica



- L'evoluzione evidenzia la progressiva crescita dell'eolico, con una diminuzione della taglia media di impianto
- Si ha una netta prevalenza delle installazioni nelle regioni meridionali e insulari

4

# Il costo di generazione degli impianti eolici (LCOE)

A partire dai dati di costo di investimento e O&M rilevati può essere stimato, per classe di potenza, un **costo medio di generazione LCOE (Levelized Cost Of Electricity)**

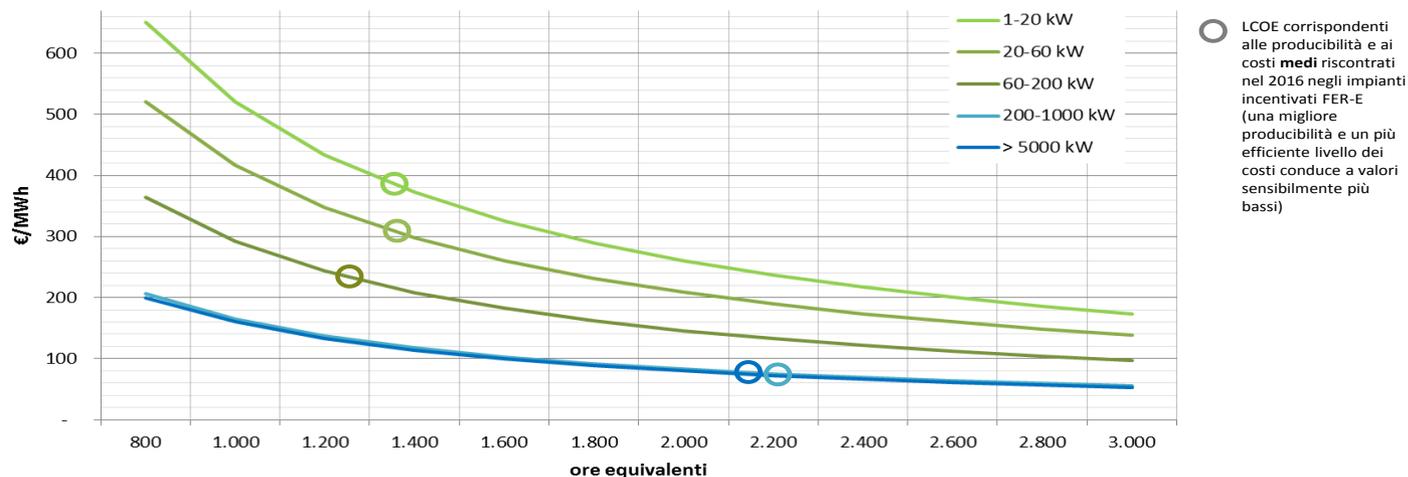
Formulazione: 
$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{I_t + O\&M_t}{(1+i)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{q_t}{(1+i)^t}}$$

*I*: investimento  
*O&M*: costi di esercizio e manutenzione  
*q*: produttività di impianto  
*i*: tasso di attualizzazione  
*n*: vita utile

Principali ipotesi:

- Vita utile: 20 anni
- Costi investimento e O&M: da analisi costi GSE
- Tasso di attualizzazione: 6%
- Decadimento produzione: 0,5% annuo
- Tasso di inflazione: 1,5%

## LCOE medio degli impianti eolici in funzione della produttività



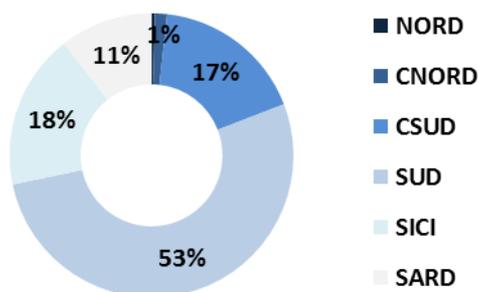
Si riscontrano **differenze molto elevate tra il costo di generazione dei piccoli impianti e quello dei grandi impianti**, soprattutto se si considerano i **livelli medi di produttività** riscontrati tra gli impianti incentivati (FER-E)



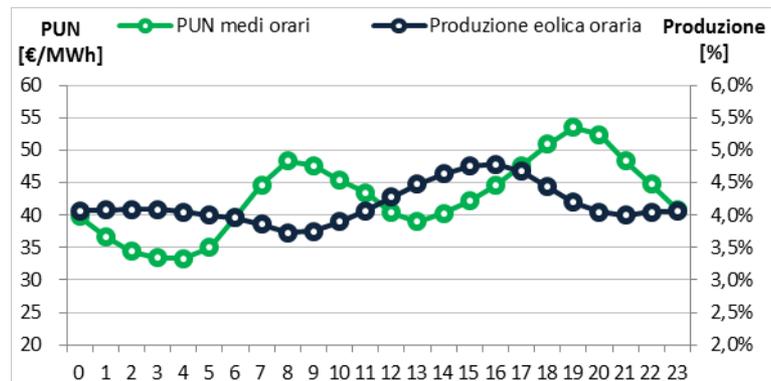
# Distribuzione della produzione eolica e prezzi di mercato

Il prezzo di valorizzazione dell'energia eolica dipende principalmente dalla **distribuzione geografica degli impianti** e dal **profilo di produzione rispetto al profilo dei prezzi**, sia a livello orario, sia a livello stagionale

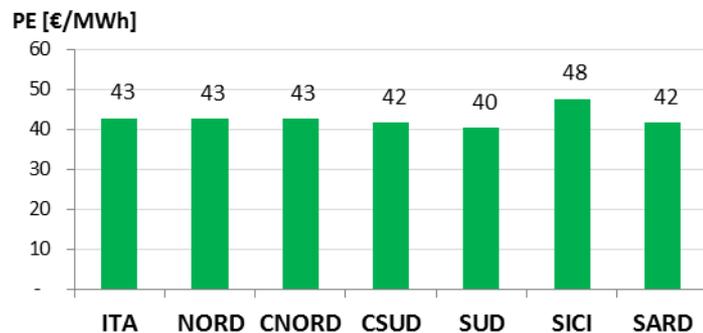
Produzione eolica nelle zone di mercato (2016)



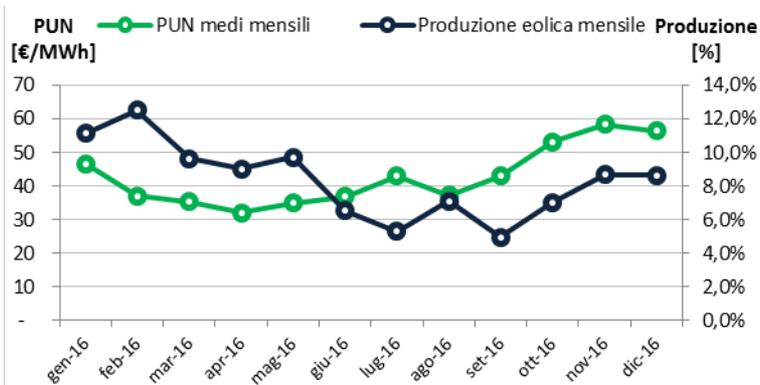
Produzione oraria eolica vs PUN orario (2016)



Prezzi zonal mercato elettrico (2016)



Produzione mensile eolica vs PUN mensile (2016)

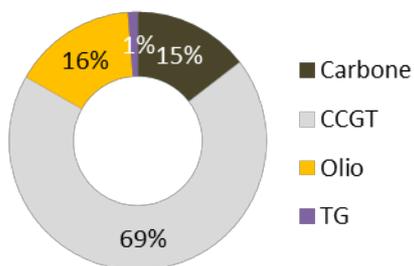


- Circa **metà della produzione eolica si concentra nella zona di mercato SUD** con prezzi meno remunerativi rispetto alle restanti zone
- I **picchi di prezzo** nelle ore mattutine e in tarda serata **non corrispondono alle ore di elevata producibilità eolica**
- La produzione eolica si concentra in inverno con prezzi sotto media e in primavera dove i prezzi sono generalmente ai minimi annuali

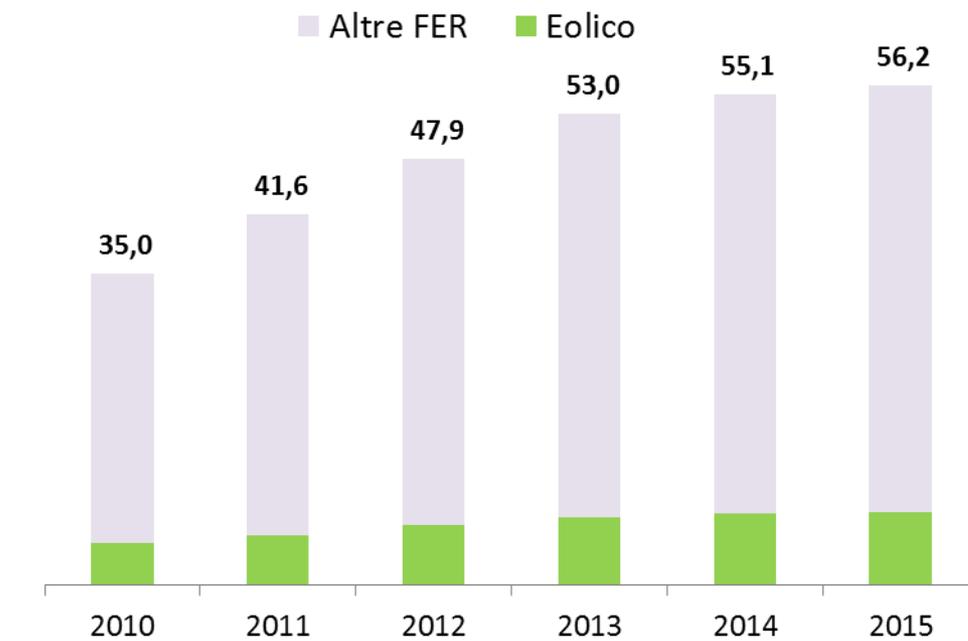
# Risparmi di **gas serra** associati alla produzione eolica

- Sulla base dei dati di mercato GME (indici di tecnologia marginale ITM) è possibile ricostruire il **mix di tecnologie fossili sostituite dalla fonte eolica** (prevalenza CCGT 69%)
- **Ogni MWh di energia elettrica prodotta da fonte eolica** consente di **risparmiare 536 kg di CO<sub>2</sub>** nella sola fase di **esercizio** degli impianti
- Tra le rinnovabili elettriche l'eolico è tra le fonti che presentano mediamente i **maggiori risparmi di gas serra** per unità energetica prodotta
- Nel 2015 la produzione eolica ha consentito di evitare l'emissione di **8,2 MtCO<sub>2</sub>** pari al 15% del totale delle emissioni evitate da rinnovabili nel settore elettrico

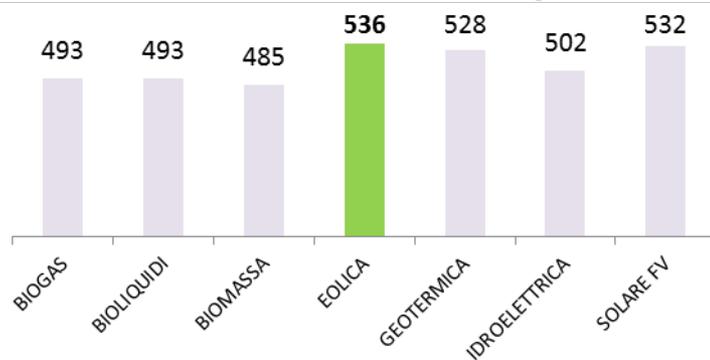
Mix fossile sostituito da fonte eolica



Emissioni evitate di GHG da FER-E [MtCO<sub>2</sub>]



Fattori emissivi di risparmio GHG [kgCO<sub>2</sub>eq/MWh]



# ENERGIA DA BIOMASSE

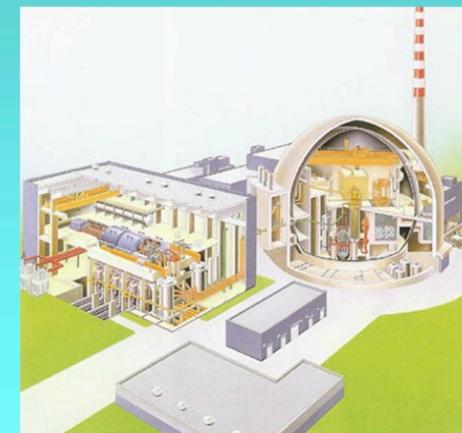
Con il termine biomassa si intendono in particolare sostanze di origine biologica che possono essere usate come combustibili per la produzione di energia. Alcune fonti come la legna non necessitano di subire trattamenti, altre come gli scarti vegetali o i rifiuti urbani devono essere processate in una apposita **Centrale**.



## CENTRALE A BIOMASSE

Per lo sfruttamento della Biomassa s utilizzano diverse tecnologie, le più usate sono:

- La Gassificazione nei Gasogeni;
  - La Pirolisi;
  - La Digestione Aerobica ed Anaerobica;
  - La Carbonizzazione.
- Queste tecnologie prevedono però sempre un processo di fermentazione e permettono di ottenere i combustibili utilizzabili direttamente nei motori a combustione interna.



***Le biomasse sono una fonte energetica programmabile, con previsioni di sviluppo importanti in termini assoluti e relativi, e il loro utilizzo a fini energetici è nel nostro Paese una realtà diffusa e consolidata.***

Identificazione biologica: identifica con il termine biomassa, tutti i numerosi materiali organici contenenti il carbonio. I vegetali infatti attraverso il processo di fotosintesi trasformano l'energia solare in energia chimica che può essere immagazzinata all'interno delle masse organiche ed essere sprigionata successivamente per il suo utilizzo. Ed è proprio durante il processo di fotosintesi che avviene la trasformazione dell'anidride carbonica (carbonio inorganico), in carbonio organico che si lega all'idrogeno ed ossigeno, all'interno delle molecole organiche delle piante. Sono le emissioni di anidride carbonica in eccesso insieme a quelle di altri gas a produrre l'effetto serra di cui tutti ormai parlano. Questo fa capire, quanto sia importante il mondo vegetale per la salvaguardia del nostro ambiente e la vita degli uomini ed animali.

Identificazione industriale: classifica la biomasse in base al settore di provenienza, in particolare riferendosi a quelle destinate alle trasformazioni energetiche. Si possono raggruppare in questo caso le biomasse in base alla loro origine settoriale: forestale (legna e derivati); agricola, derivante da produzioni vegetali e animali (reflui zootecnici); industriale (scarti e residui agro-alimentari o industriali); urbana (FORSU ossia il materiale organico derivante dalla raccolta differenziata e i residui della manutenzione del verde pubblico); diversa (alghe). La scelta della tipologia di processi di conversione da adottare ovviamente dipende dalle caratteristiche e proprietà chimiche e fisiche delle biomasse e gli innumerevoli materiali utilizzati e prodotti da questi settori.

Identificazione normativa: partendo dalla Direttiva europea (2009/28/CE) sulle energie rinnovabili, in cui la CE ha espresso fra i suoi obiettivi quello di riuscire ad ottenere il 20% della sua energia dalle fonti rinnovabili entro il 2020 per ridurre il più possibile le emissioni di gas serra, si trova una definizione esaustiva di biomassa, insieme a quella dei combustibili che da essa ne derivano. La biomassa è "la frazione biodegradabile dei prodotti, rifiuti e residui di origine biologica provenienti dall'agricoltura (comprendente sostanze vegetali e animali), dalla silvicoltura e dalle industrie connesse, comprese la pesca e l'acquacoltura, gli sfalci e le potature provenienti dal verde pubblico e privato, nonché la parte biodegradabile dei rifiuti industriali e urbani." Vengono distinti inoltre, i seguenti composti (art. 2), che possono utilizzati per il riscaldamento (settore Termico), per la produzione di energia elettrica (settore Elettrico) e i biocarburanti utili al trasporto (settore Trasporti):

bioliquidi: i "combustibili liquidi per scopi energetici diversi dal trasporto, compresi l'elettricità, il riscaldamento ed il raffreddamento, prodotti dalla biomassa";

biocarburanti: i "carburanti liquidi o gassosi per i trasporti ricavati dalla biomassa";

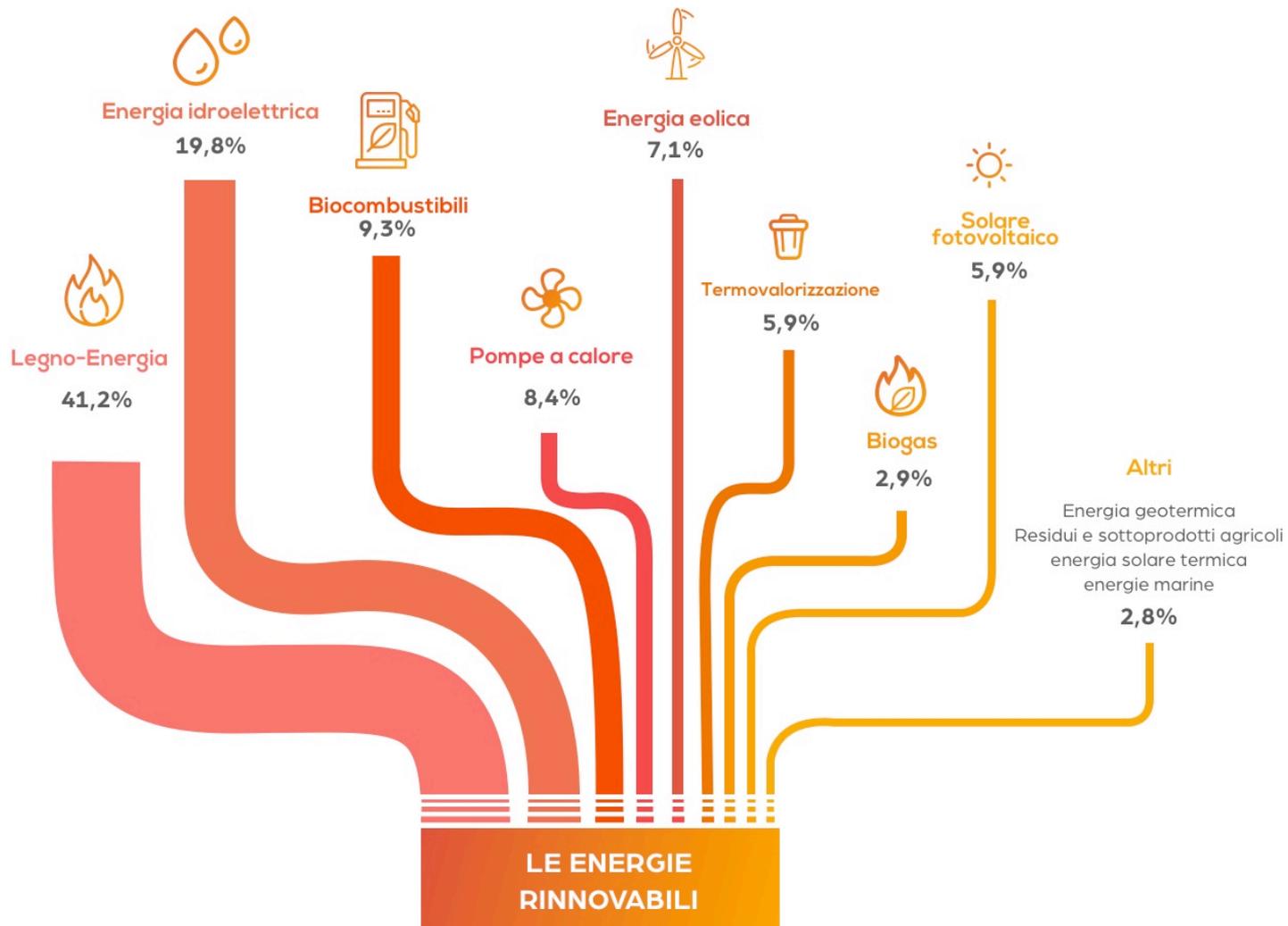
biometano: il "gas ottenuto a partire da fonti rinnovabili avente caratteristiche e condizioni di utilizzo corrispondenti a quelle del gas metano e idoneo alla immissione nella rete del gas naturale".

16%

Percentuale di EnR\* rispetto al consumo finale lordo di energia elettrica

+69%

Andamento percentuale delle EnR\* nel periodo compreso tra il 1990 e il 2016



# Sistemi termoelettrici di produzione d'energia elettrica da BioMassa

L'energia da biomassa è, forse, una delle tipologie più controverse di energia alternativa che vengono utilizzate oggi. L'energia da biomasse è l'energia prodotta da materiali di origine organico-vegetale quali piante, alghe marine, rifiuti organici vegetali, legno, rami e legname da ardere, scarti di lavorazione dell'industria agroalimentare o del legno, scarti e reflui dell'allevamento del bestiame e residui delle attività agricole o forestali. Per incrementare il ricorso a questa fonte di energia rinnovabile, negli ultimi anni è stata anche intrapresa ed implementata la coltivazione di specie vegetali destinate esclusivamente alla combustione.

Il termine **biomassa** comprende tutte le sostanze di origine biologica in forma non fossile:

- Biomasse forestali e legna da ardere
- Residui agricoli e agroindustriali
- Residui allevamenti zootecnici
- Colture oleaginose
- Colture zuccherino – amidacee

Le biomasse sono bruciate all'interno di una camera di combustione: il calore così ottenuto sarà poi utilizzato per la produzione di energia elettrica o come fonte di riscaldamento.

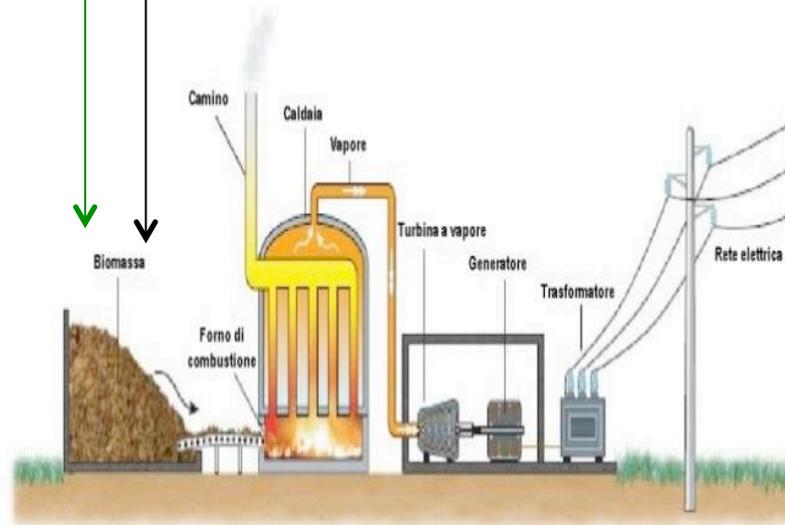
Le biomasse usate per produrre energia elettrica sono materiali di scarto che vengono riconvertiti tramite processi termici, chimici o biochimici. Quando le biomasse vengono bruciate rilasciano calore, emettendo una quantità di anidride carbonica sostanzialmente assimilabile a quella emessa in natura nel corso di un normale processo di fotosintesi.

Il calore sprigionato permette l'evaporazione dell'acqua del circuito termodinamico, dove diventa vapore e viene incanalata nelle tubature. Il vapore fa funzionare le turbine che, a loro volta, producono elettricità o calore da utilizzare negli impianti domestici o industriali. Va da sé che le biomasse sono **fonti rinnovabili**: il tempo di sfruttamento delle biomasse è pressoché analogo a quello di rigenerazione e la loro combustione re-immette in atmosfera l'anidride carbonica che era stata precedentemente assorbita dalle biomasse stesse.

Combustione di fonti rinnovabili:  
Biomasse  
Gas da biomasse  
Rifiuti (civili e industriali)  
Gas da rifiuti

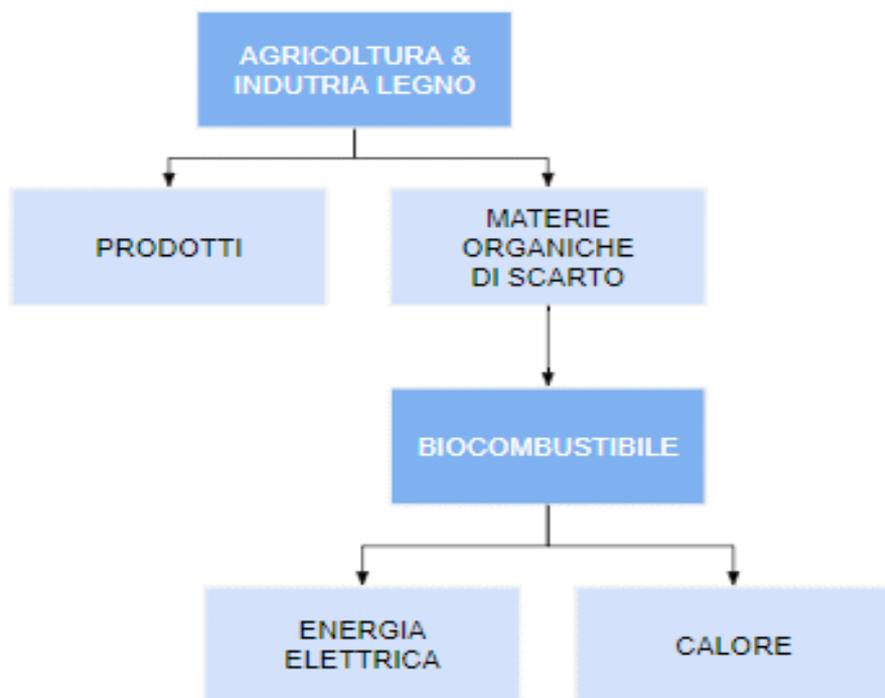
Combustione di fonti fossili:  
Petrolio, Gas naturale,  
Carbone

Schema impianto alimentato da biomasse e rifiuti

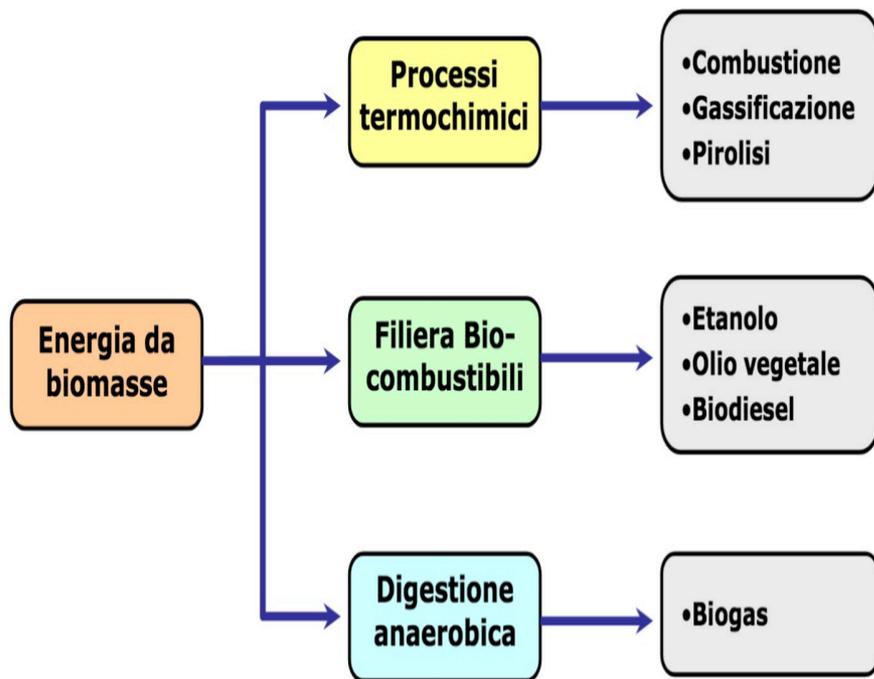
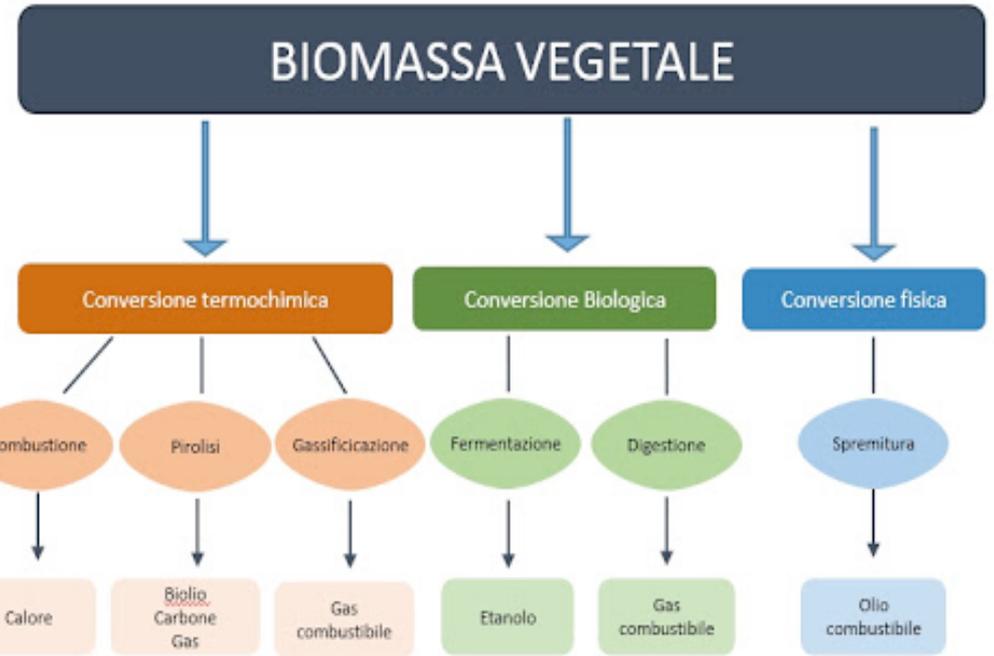
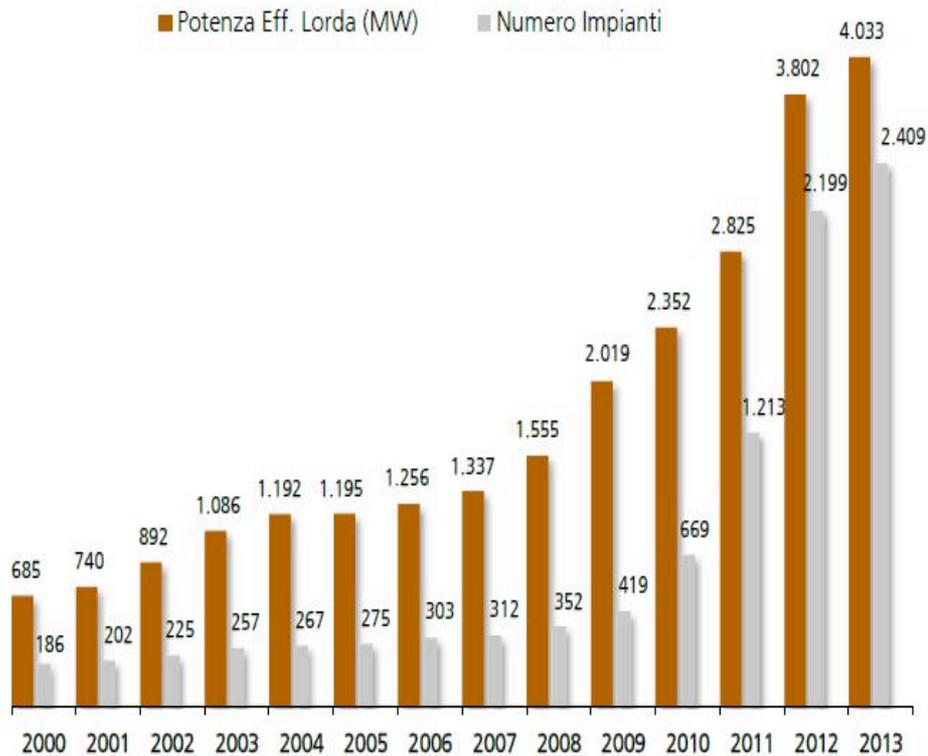


Le biomasse sono bruciate in una camera di combustione in modo tale da produrre il calore necessario a trasformare, nella caldaia, l'acqua in vapore. Il vapore è inviato sotto pressione alla turbina, per metterla in rotazione. All'uscita della turbina, il vapore viene di nuovo trasformato in acqua grazie ad un condensatore e l'acqua è re-immessa dal condensatore nella caldaia. La turbina, a sua volta, fa ruotare il rotore di un alternatore che produce corrente elettrica alternata. La corrente è inviata ad un trasformatore che la innalza di tensione prima che venga immessa nella linea di trasmissione.

Le biomasse sono risorse rinnovabili che riducono la dipendenza dai combustibili fossili. La produzione di energia elettrica da biomasse permette, infatti, il **riutilizzo di prodotti di scarto**, eliminando il problema del loro stoccaggio o della loro distruzione mediante gli inceneritori. Le biomasse non incidono sul riscaldamento globale e, facendo già parte del normale ciclo del carbonio, non incrementano i livelli naturali di gas serra. Inoltre, non necessitando di tecnologie particolari, le biomasse permettono di investire in un settore che non richiede la disponibilità di eccessive risorse finanziarie, come è invece richiesto dalle energie rinnovabili di ultima generazione. Quale rovescio della medaglia, è innegabile che non siano trascurabili i costi legati al trattamento cui devono essere sottoposte le biomasse prima dell'avvio alla combustione. Allo stesso modo, non può essere negato che le coltivazioni di materiali destinati alle biomasse sottraggono terreni coltivabili per fini alimentari.



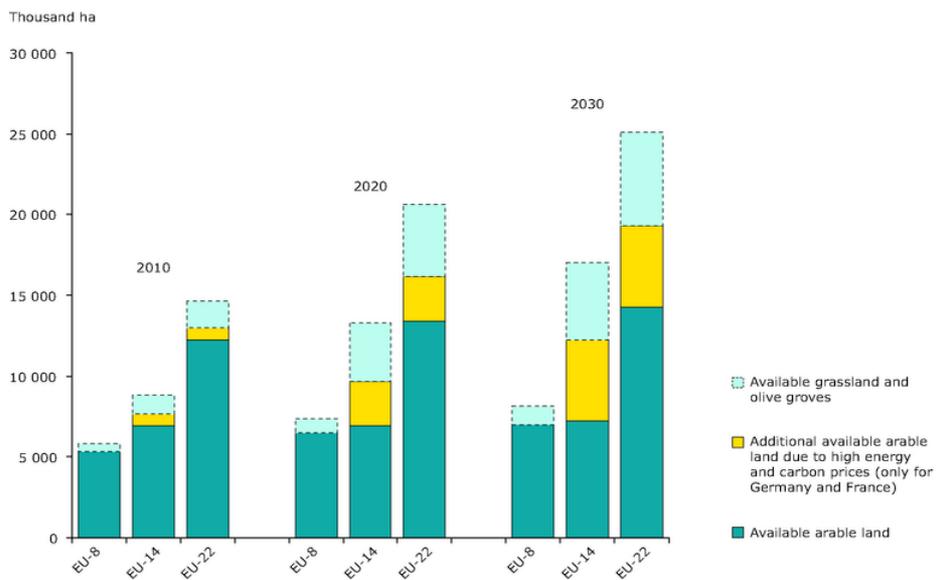
L'energia da biomassa è l'energia che deriva dalla materia organica e quindi da piante e animali. La biomassa in forma di piante, alberi, erba, foglie, letame e rifiuti animali può essere una grande fonte principalmente per la produzione di combustibili alternativi che possono essere utilizzati per sostituire i combustibili fossili. Prima di tutto, il combustibile principale dell'installazione, residui forestali, agricoli o piante derivanti da apposite coltivazioni, vengono trasportati e stoccati nella centrale. Qui possono essere fatti passare attraverso delle apposite macchine per ridurre le loro dimensioni, qualora sia necessario, facendoli diventare cumuli di materia noti come cippato. Successivamente, la biomassa passa ad un edificio che ha la funzione di preparare il combustibile, dove esso viene raccolto e diviso in base alle dimensioni, per poi essere trasportata al deposito corrispondente. Dopo, i vari cumuli vengono trasportati nel forno per la combustione, e il calore sprigionato permette l'evaporazione dell'acqua del circuito termodinamico, dove diventa vapore e attraversa le tubazioni della caldaia. Generalmente il forno che brucia la parte grossolana del combustibile è di tipo a griglia, che è anche il tipo di tecnologia utilizzato nelle stufe a pellet. La parte più piccola del combustibile, si miscela con del combustibile d'appoggio (derivato dal petrolio) insufflato direttamente dal suo deposito, per poi essere bruciato nel modo più efficiente possibile. Come anche nelle centrali termiche convenzionali, il vapore generato nella caldaia si espande in una turbina a vapore, che può essere ad alta, media o bassa pressione, che muove un generatore elettrico, che a sua volta genera energia elettrica. All'elettricità prodotta viene alzato il suo valore di tensione, ed infine viene immessa nel sistema attraverso la rete elettrica più vicina.



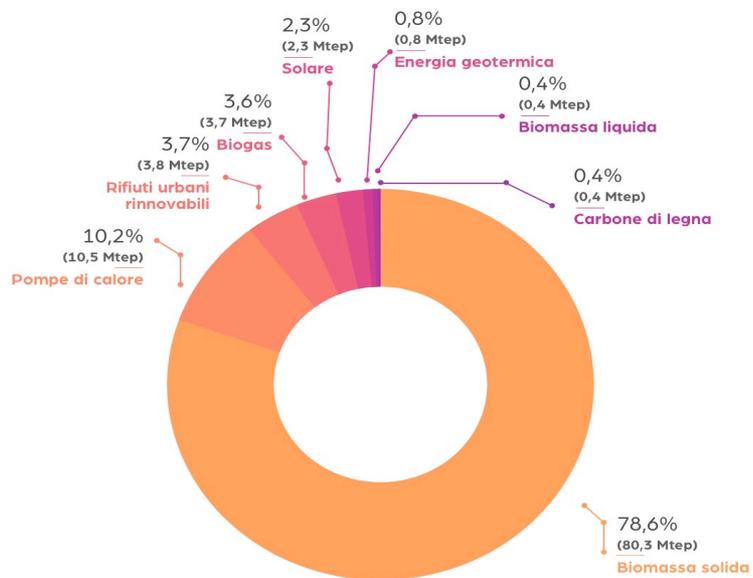
*Pyrogassificazione: reazione e dissociazione con impianti a pirolisi*  
 La gassificazione è un processo di disgregazione molecolare di materiali organici mediante calore e catalizzatori. Nella parte superiore avviene la combustione tramite metanazione della biomassa vergine e gassificazione della sostanza secca del legno: in questa fase si formano gas combustibili e carbone solido. L'impianto, peraltro, è **onnivoro** (multi-biomassa).  
 La parte inferiore del termo-dissociatore contiene il reattore catalitico che permette la gassificazione del carbone solido per reazione con il vapore d'acqua (cracking del carbone).  
 I gas prodotti danno origine al Syngas.  
 I gas vengono poi aspirati e consentono la stratificazione delle varie fasi interne al reattore: l'operazione è monitorata e pilotata da un sistema elettronico, così da determinare la temperatura di combustione, la quantità e la qualità di gas prodotto. La combustione produce un residuo in cenere che viene estratto dal sistema prevenendo l'ingresso di ossigeno e viene caricato in appositi serbatoi di stoccaggio per lo smaltimento o il riutilizzo.

**Nel 2020 si prevede un fatturato legato al mercato della biomassa pari a 11,5 miliardi di dollari.**

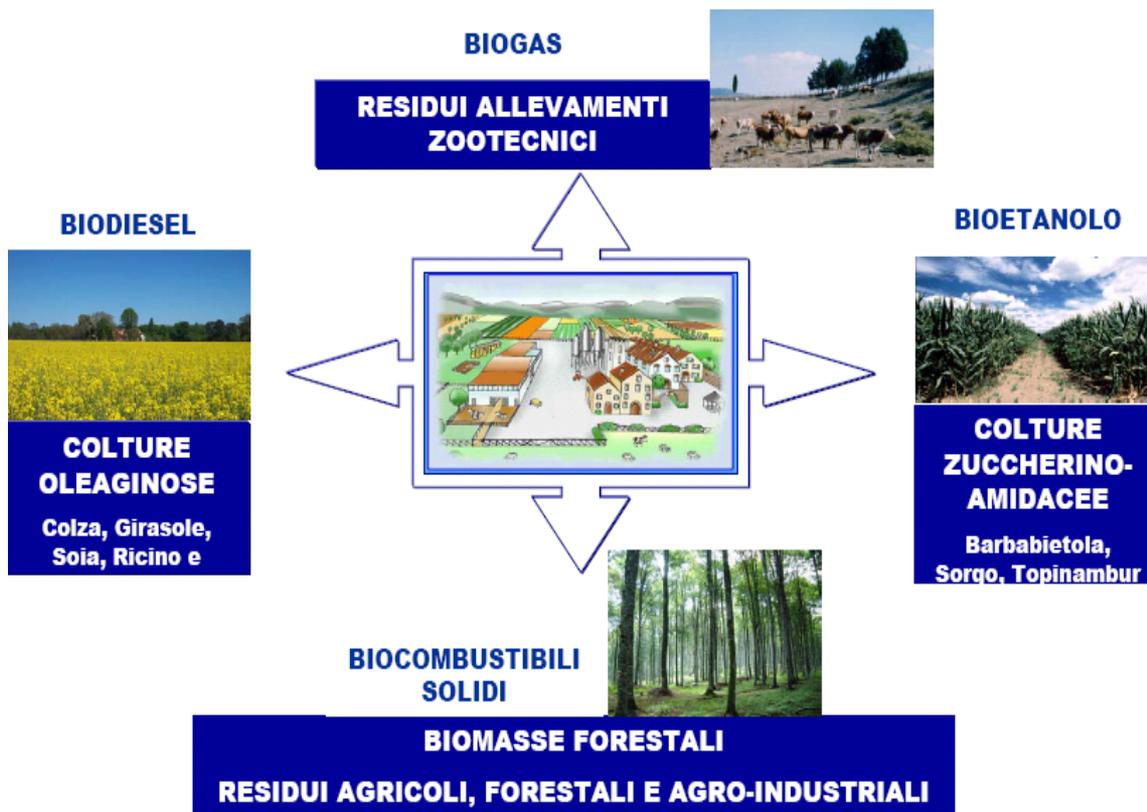
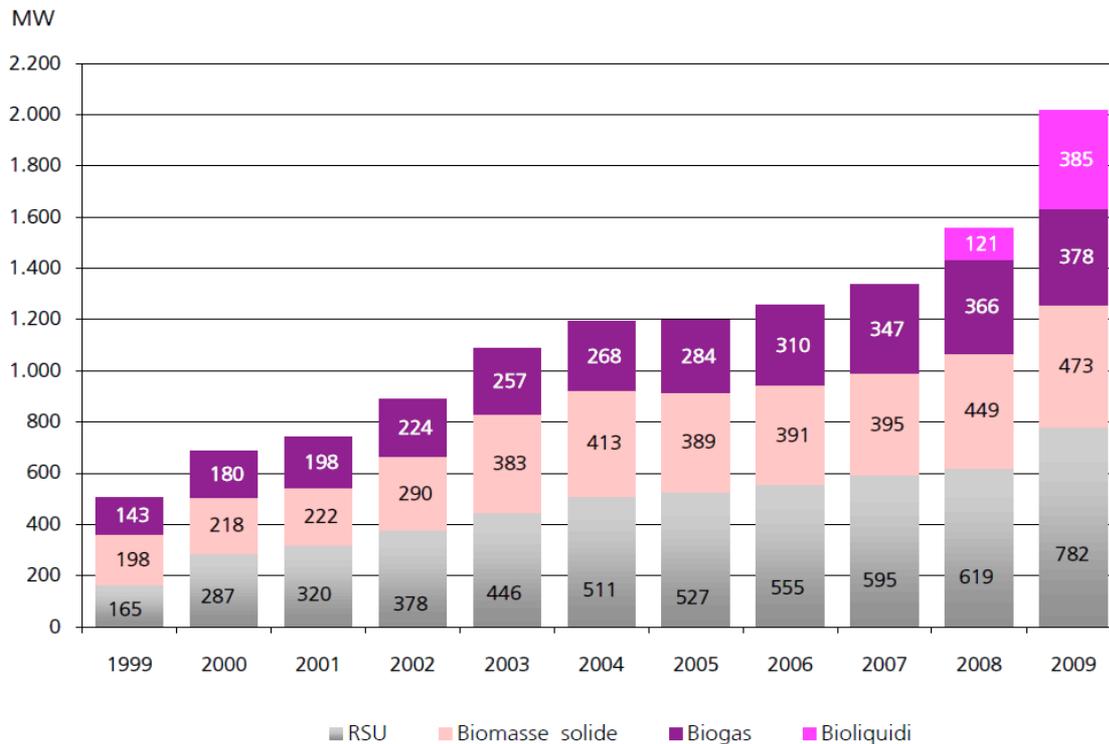
# Le biomasse per le bioenergie



Percentuale di ogni singola fonte energetica rapportata al consumo di calore e raffreddamento rinnovabile dell'Unione europea.



2017: Totale 102,2 Mtep



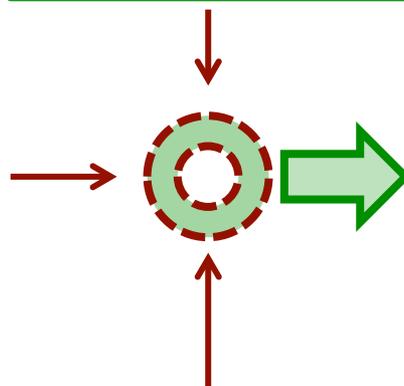
# Biomasse ed effetto serra

=

## neutralità (teorica)

Si considera "neutrale" l'impiego della risorsa primaria "Legno" sia perché **rinnovabile** (se tasso d'impiego < tasso di ricrescita naturale) sia perché la CO<sub>2</sub> emessa in atmosfera durante la combustione è pari a quella che la pianta ha assorbito durante la crescita, ovvero, più tecnicamente, allorché le piante e i rifiuti animali vengono bruciati, l'energia accumulata e l'anidride carbonica immagazzinate al loro interno vengono rilasciate in atmosfera o possono essere incanalate in speciali macchinari in grado di produrre energia elettrica. Questo è il motivo per cui l'energia da biomassa si dice che sia rinnovabile, ovvero "**CO<sub>2</sub> neutrale**".

Riduce la dipendenza dai combustibili fossili -> Utilizzando materiali naturali per fornire energia, c'è meno interesse per la potenza elettrica creata da attività non rinnovabili, come per esempio sono carbone, e aumentare l'**indipendenza energetica** da fonti di proprietà di terzi.



WWW.ECOAGE.IT

E' ampiamente **disponibile**: i rifiuti organici sotto forma di foglie morte, erba e alberi, ma anche carcasse di animali e i loro escrementi sono disponibili in abbondanza e possono essere utilizzati per la produzione di energia. Questo è un bel modo di utilizzare gli scarti, perché se non venissero inviati agli impianti di produzione di energia elettrica, andrebbero ad aumentare la quantità dei rifiuti in discarica. Aiuta quindi a ridurre gli sprechi e la gestione dei rifiuti. Continuamente creiamo enormi quantità di rifiuti solidi, che, altrimenti, genererebbero costi aggiunti sul sistema economico. Le biomasse sono una **fonte energetica programmabile**, con previsioni di sviluppo importanti in termini assoluti e relativi, e il loro utilizzo a fini energetici è nel nostro Paese una realtà diffusa e consolidata.



Ciclo biologico del legno



Anche gli impianti che producono energia dalle biomasse sono incentivati e sussidiati, poiché rappresentano un enorme costo, hanno bisogno di un terreno vastissimo per essere prodotte in quantità sufficienti per alimentare le centrali e, per di più, bruciando producono anidride carbonica ed è forse questo ciò che più limita il loro impiego. Inoltre bisogna considerare che, per esempio, un impianto a biogas da 1 MW necessita di 22.000 tonnellate annue di insilato di mais e questo è circa il 60% del costo operativo. Già gli attuali incentivi al -50%, pur con la vendita dell'energia elettrica, non garantiscono un ritorno interessante dell'investimento e, di conseguenza, viene meno il *Funding Privato*. Gli incentivi governativi, peraltro, tendono a favorire gli impianti di piccole dimensioni che permettono una minore importazione dall'estero e di gestire meglio i boschi limitrofi.

Oggi la sostenibilità economico-finanziaria si prefigura per gli impianti:

- connessi alla filiera corta
- associati alla cogenerazione ad alto rendimento

Nonostante si cerchi di valorizzare tale tecnologia, essa presenta numerosi svantaggi e occorre ancora diverso tempo per riuscire a utilizzarla al meglio, sia dal punto di vista ingegneristico e/o tecnologico, che dal punto di vista ambientale

Gli **svantaggi** dell'energia derivata da biomasse però, sono importanti:

1. Non è completamente pulita quando viene bruciata: il più grande fattore di contrasto della biomassa come energia pulita è l'inquinamento che viene creato dalla combustione del legno e degli altri materiali naturali. A volte, l'inquinamento prodotto è assimilabile a quello che deriva dalla combustione del carbone e di altri tipi di fonti fossili. Ci sono un certo numero di diversi composti dannosi per l'ambiente che provengono dalla combustione delle biomasse. Anche se l'energia da biomassa è considerata rinnovabile, è difficile sostenere che sia un'energia completamente pulita. Un po' meno pulita risulta lato **PM10**, in quanto durante la combustione della biomassa si liberano polveri sottili in quantità maggiori rispetto ad altre fonti di energia come il metano.
2. Nel caso non si utilizzino materiali di scarto, il processo di coltivazione di apposite piante per la produzione di cippato può portare alla deforestazione. Il legno è una delle principali fonti di energia da biomassa. Per produrre una notevole quantità di energia, servono grandi quantità di legno e altri prodotti di scarto che devono essere bruciati. La sempre più grande necessità di realizzare impianti di potenza nominale ad alta efficienza potrebbe portare a una crescente distruzione di interi ecosistemi.
3. Non ha rendimenti molto elevati. Un prodotto come il biodiesel o l'etanolo che è prodotto dalla biomassa è relativamente inefficiente rispetto alla benzina. Devono quindi, in alcuni casi, essere miscelati con la benzina in modo che possano essere utilizzati nei motori a combustione. Oltre a questo, l'uso prolungato dell'etanolo può essere dannoso per i motori delle autovetture.
4. Richiede molto spazio: come accennato in precedenza, per grandi quantità di energia servono una grande quantità di piante. Molte volte, gli impianti di energia a biomassa si trovano in aree urbane, il che significa che causano più traffico e di conseguenza più inquinamento in quelle zone, rischiando di diventare più un problema che un aiuto reale.
5. L'ultimo problema che spesso si presenta è il costo del processo. La produzione di impianti a biomasse è incredibilmente costosa e, in alcuni casi, i costi non sono equiparabili ai benefici. Le spese di trasporto e di raccolta delle risorse sono alti. Quando si confronta il processo di produzione di elettricità da biomassa con quello derivante dai combustibili fossili, si scopre che il costo dei primi è in realtà molto più alto.

I biocarburanti sono in circolazione da più tempo rispetto alle auto, ma benzina e diesel a buon mercato li hanno tenuti a lungo ai margini. I picchi dei prezzi del petrolio, e ora gli sforzi globali per evitare i peggiori effetti dei cambiamenti climatici, hanno dato nuova spinta alla ricerca di carburanti puliti e rinnovabili. I nostri viaggi su strada, voli e spedizioni rappresentano quasi un quarto delle emissioni mondiali di gas a effetto serra e il trasporto oggi rimane fortemente dipendente dai combustibili fossili. L'idea alla base del biocarburante è quella di sostituire i carburanti tradizionali con quelli realizzati con materiale vegetale o altre materie prime rinnovabili. Tuttavia, l'idea di utilizzare i terreni agricoli per produrre materiale per realizzare carburante anziché cibo non sarebbe certo estendibile a livello sistemico. Ciò ha indotto la ricerca di soluzioni che si basano su rifiuti o altre materie prime non alimentari. Oggi, comunque, non è possibile competere sul prezzo (e sulla scala) con i carburanti convenzionali. Purtroppo, l'IEA ha posto l'obiettivo della triplicazione della produzione di biocarburanti deve triplicare entro il 2030 per raggiungere gli obiettivi di una crescita sostenibile.

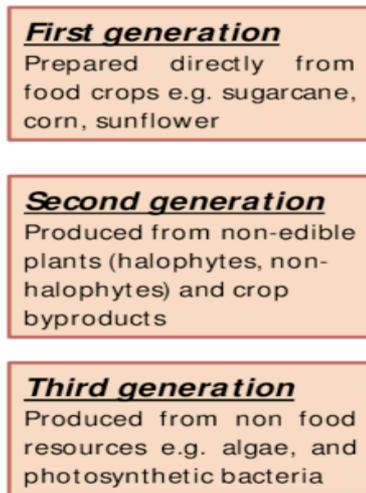
Esistono vari modi per produrre biocarburanti; generalmente si usano reazioni chimiche, quali la fermentazione ed il calore, per abbattere gli amidi, gli zuccheri e altre molecole vegetali. I prodotti risultanti vengono poi raffinati per produrre un carburante utilizzabile. Gran parte della benzina negli Stati Uniti contiene uno dei biocarburanti più comuni: l'etanolo. Creato fermentando gli zuccheri da piante come mais o canna da zucchero, l'etanolo contiene ossigeno che aiuta il motore di un'auto a bruciare il carburante in modo più efficiente, riducendo l'inquinamento atmosferico. Negli Stati Uniti, dove la maggior parte dell'etanolo deriva dal mais, il carburante è in genere il 90 per cento di benzina e il 10 per cento di etanolo. In Brasile, il secondo maggiore produttore di etanolo dietro gli Stati Uniti, il carburante contiene fino al 27% di etanolo, con la canna da zucchero come materia prima principale. Le alternative al gasolio comprendono biodiesel e diesel rinnovabile. Il biodiesel, derivato da grassi come olio vegetale, grasso animale e grasso da cucina riciclato, può essere miscelato con diesel a base di petrolio. Alcuni autobus, camion e veicoli militari negli Stati Uniti funzionano con miscele di carburanti con biodiesel fino al 20%, ma il biodiesel puro può essere compresso dal freddo e può causare problemi. Il diesel rinnovabile, un prodotto chimicamente diverso che può essere derivato da grassi o rifiuti di origine vegetale, è considerato un combustibile "drop-in" che non necessita di essere miscelato con il diesel convenzionale.

Altri tipi di carburante a base vegetale sono stati creati per l'aviazione. Più di 150.000 voli hanno utilizzato biocarburanti, ma la quantità di biocarburanti per aviazione prodotta nel 2018 rappresentava meno dello 0,1 per cento del consumo totale. Anche nel trasporto marittimo, l'adozione del biocarburante è molto al di sotto degli obiettivi del 2030 stabiliti dall'Agenzia internazionale dell'energia.

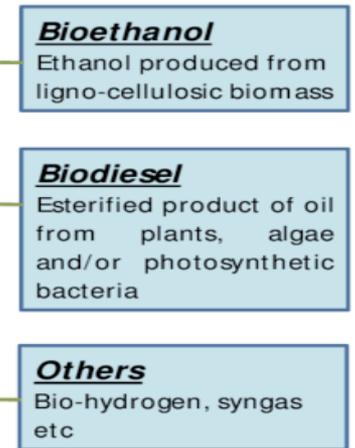
Il gas naturale rinnovabile, o biometano, è un altro combustibile che potrebbe potenzialmente essere utilizzato non solo per i trasporti ma anche per la produzione di calore ed elettricità. Il gas può essere catturato da discariche, operazioni di allevamento, acque reflue o altre fonti. Questo biogas catturato deve quindi essere ulteriormente perfezionato per rimuovere acqua, anidride carbonica e altri elementi in modo da soddisfare gli standard necessari per alimentare i veicoli alimentati a gas naturale.

È possibile utilizzare una diverse materie prime per produrre biocarburanti. Sebbene il mais e la canna da zucchero siano ben consolidate materie prime per l'etanolo, il processo di coltivazione delle colture, la produzione di fertilizzanti e pesticidi e la trasformazione delle piante in combustibile consuma molta energia, così tanta energia che si discute sul fatto che l'etanolo dal mais fornisca effettivamente abbastanza di un vantaggio ambientale per valere l'investimento.

**a) Based on feedstock source**



**b) Based on chemical nature**



*Secondo l'ultimo rapporto di Greenpeace "Metti (l'estinzione di) una tigre nel motore", i biocarburanti non solo non diminuiscono le emissioni di CO2, ma aumentano il cambiamento climatico, la deforestazione e l'estinzione di specie a rischio, come la povera tigre di Sumatra, appunto. L'associazione sostiene che i biocarburanti ricavati da colza, soia e olio di palma, usati per miscelare il diesel venduto in Europa, lo renderebbero addirittura più dannoso dei combustibili fossili. Prima di tutto per ricavare i due elementi chimici alla base dei biocarburanti di prima generazione (il protossido di azoto e il biometano) viene emessa in atmosfera un'alta quantità di gas a effetto serra. Poi bisogna considerare tutta una serie di effetti collaterali dovuti dalla coltura estensiva di biomasse, come grano e mais, che produce sia gas a effetto serra (lavorazione del terreno, produzione fertilizzanti, emissioni capi d'allevamento) che una diminuzione nella disponibilità delle derrate alimentari a livello mondiale con conseguente aumento del prezzo dei generi alimentari su scala mondiale. "Senza contare", aggiunge Greenpeace, "che non c'è abbastanza terreno al mondo per produrre biomasse e derrate alimentari da qui al 2050, quando saremo 9 miliardi"*

**L'Idrogeno** è l'elemento più leggero e abbondante in Natura.

Può essere ottenuto mediante:

**I. Reforming** – l'energia chimica del carbonio contenuto negli idrocarburi viene trasformata nell'energia chimica dell'idrogeno, ossidando il carbonio con l'ossigeno contenuto nella molecola d'acqua, liberando, però, CO e CO<sub>2</sub>.... (rendimento 80%)

**II. Elettrolisi dall'acqua** – processo che trasforma l'energia elettrica in energia chimica dell'idrogeno nelle celle elettrolitiche in cui viene versata una soluzione acquosa. Al passaggio di corrente, gli ioni migrano verso gli elettrodi della cella, dove scaricano la loro carica elettrica, scomponendo la molecola d'acqua e liberando l'idrogeno nel Catodo e l'ossigeno nell'Anodo (rendimento 70%)

- Attualmente si ricava principalmente per usi industriali a partire dal gas naturale ricorrendo a un processo di conversione termochimica che produce anidride carbonica (il cosiddetto "idrogeno grigio").
- a questa modalità, però, si affiancano altre due strade: la tecnologia di cattura e stoccaggio della CO<sub>2</sub> per ottenere idrogeno decarbonizzato (o "idrogeno blu")
- e l'elettrolisi dell'acqua che consente di ottenere "idrogeno verde" utilizzando l'energia elettrica per "scomporre" l'acqua in idrogeno e ossigeno senza produzione di CO<sub>2</sub>.

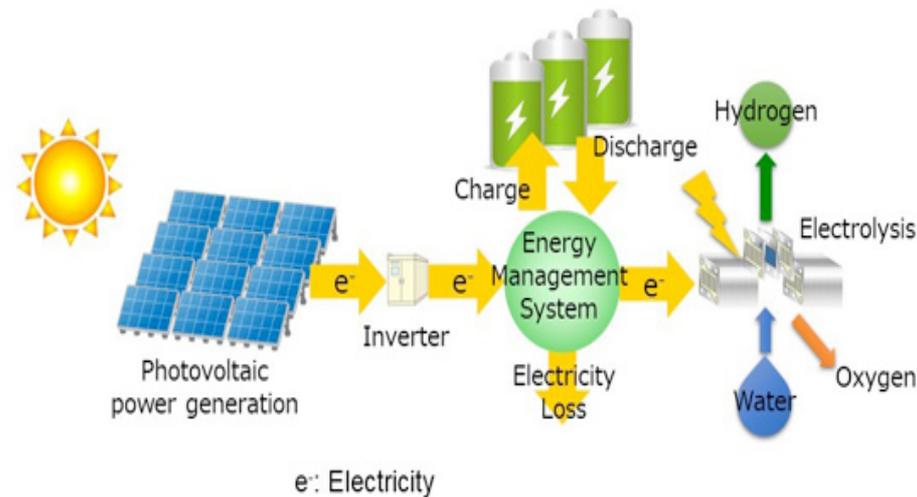
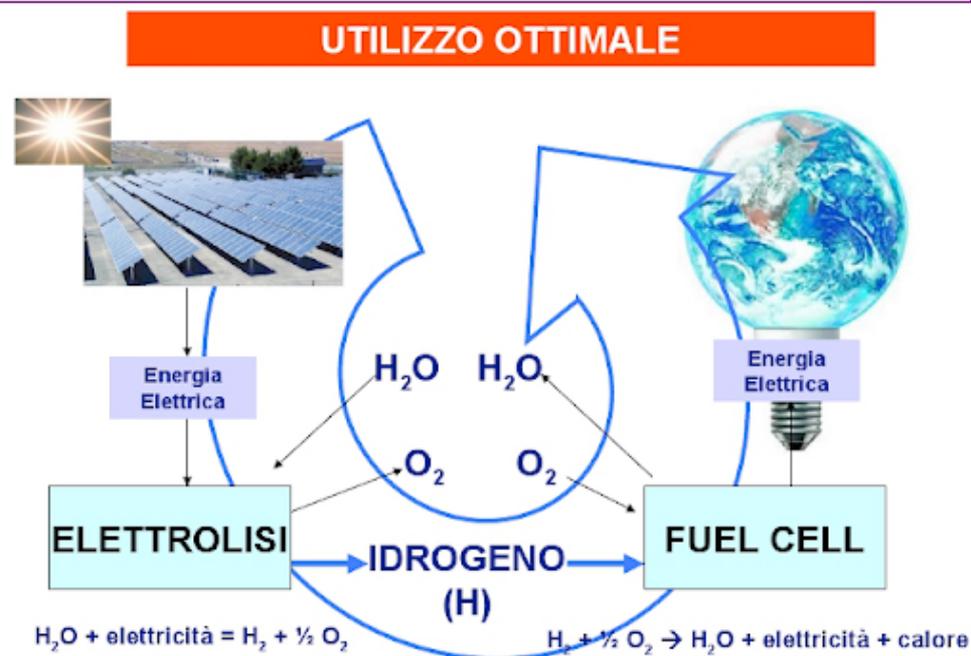
L'idrogeno viene considerato un'alternativa agli attuali combustibili fossili in quanto presente in abbondanza, efficace e, a differenza di altri carburanti, è una risorsa potenzialmente rinnovabile che non comporta la produzione di emissioni. Può essere utilizzato come vettore energetico per la generazione di energia elettrica con celle a combustibile a idrogeno e motori a combustione di idrogeno. All'interno di una cella a combustibile a idrogeno, l'idrogeno si combina con l'ossigeno presente nell'aria per generare energia elettrica. Il funzionamento della cella a combustibile è continuo, l'energia è generata fin tanto che vi sia disponibilità di combustibile a idrogeno e gli unici sottoprodotti che ne derivano sono calore e acqua.

Da molti punti di vista, l'idrogeno rappresenta il combustibile ideale:

- ve ne sono abbondanti risorse,
- è il combustibile più efficiente e non produce emissioni se utilizzato in una cella a combustibile,
- non è tossico,
- può essere prodotto da risorse rinnovabili
- non è un gas serra.

Molti studi condotti hanno sottolineato che l'idrogeno può rappresentare l'unico combustibile alternativo in grado di ridurre la dipendenza di un paese dal petrolio straniero e, simultaneamente, di far diminuire l'effetto serra causato dai gas. Per questi motivi l'idrogeno viene utilizzato in una vasta gamma di applicazioni come vettore energetico primario. Sono stati ottenuti progressi importanti nell'uso dell'idrogeno come carburante per trasporto e come combustibile per la produzione di energia.

**L'idrogeno può essere utilizzato in un motore a combustione interna o in una cella a combustibile per la produzione di energia.** Le celle a combustibile hanno il vantaggio di offrire benefici significativi in termini di efficienza rispetto al motore a combustione interna, pertanto diventano il dispositivo principale per la conversione dell'idrogeno in energia. Molte celle a combustibile utilizzate oggi per la generazione di energia distribuita richiedono l'integrazione con un processore di carburante per produrre un gas ricco di idrogeno da un carburante a base di idrocarburi, come gas naturale o propano.



È un **sogno** che parte da lontano se già, nel 1875, Jules Verne, dalle pagine del suo romanzo «L'isola misteriosa», soffermandosi sul possibile uso dell'acqua come combustibile, attribuiva all'idrogeno la capacità di offrire «simultaneamente o isolatamente» con l'ossigeno «una sorgente di calore e di luce inesauribili e di un'intensità che il carbon fossile non può dare». E ora, a distanza di 144 anni, un simile scenario non è più così improbabile perché per l'idrogeno, afferma l'**Agenzia internazionale per l'energia (IAEA)** in un report intitolato «**The future of hydrogen: seizing today's opportunities**» e presentato, a giugno, al G20 energia e ambiente di Osaka, sembra arrivato il momento della svolta. Nel documento, l'Agenzia spiega infatti che l'idrogeno può essere un «driver chiave verso la sostenibilità» e che non vi è mai stato un momento tanto opportuno per sfruttare il potenziale di questo gas, incolore e inodore, nella costruzione di un mix energetico sicuro, pulito e sostenibile per tutti i consumatori.

**Broadly speaking, hydrogen can contribute to a resilient, sustainable energy future in two ways:**

1. **Existing applications** of hydrogen can use hydrogen produced using alternative, cleaner production methods, and from a more diverse set of energy sources.
2. Hydrogen can be used in a wide range of **new applications** as an alternative to current fuels and inputs, or as a complement to the greater use of electricity in these applications. In these cases – for example in transport, heating, steel production and electricity – hydrogen can be used in its pure form, or converted to hydrogen-based fuels, including synthetic methane, synthetic liquid fuels, ammonia and methanol.

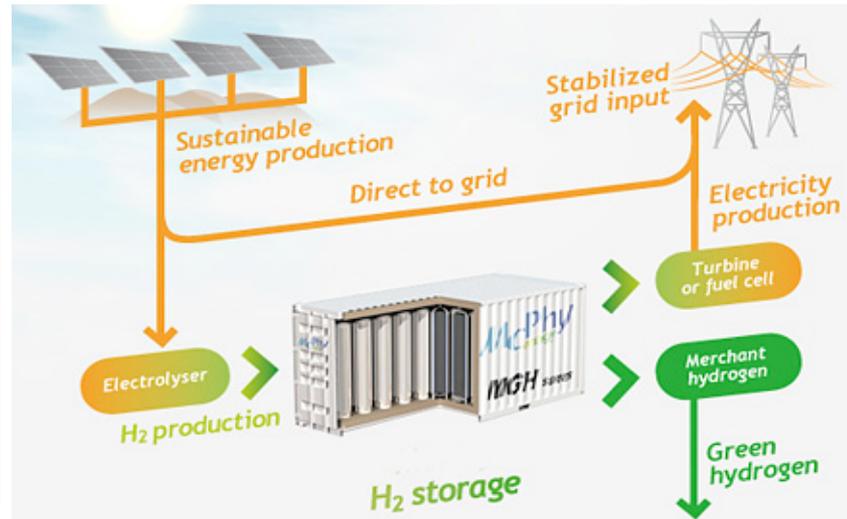
*Hydrogen and energy have a long shared history – powering the first internal combustion engines over 200 years ago to becoming an integral part of the modern refining industry. It is light, storable, energy-dense, and produces no direct emissions of pollutants or greenhouse gases. But for hydrogen to make a significant contribution to clean energy transitions, it needs to be adopted in sectors where it is almost completely absent, such as transport, buildings and power generation.*

*The Future of Hydrogen provides an extensive and independent survey of hydrogen that lays out where things stand now; the ways in which hydrogen can help to achieve a clean, secure and affordable energy future; and how we can go about realising its potential.*

*Supplying hydrogen to industrial users is now a major business around the world. Demand for hydrogen, which has grown more than threefold since 1975, continues to rise – almost entirely supplied from fossil fuels, with 6% of global natural gas and 2% of global coal going to hydrogen production. As a consequence, production of hydrogen is responsible for CO<sub>2</sub> emissions of around 830 million tonnes of carbon dioxide per year, equivalent to the CO<sub>2</sub> emissions of the United Kingdom and Indonesia combined.*

**However**, clean, widespread use of hydrogen in global energy transitions faces several challenges:

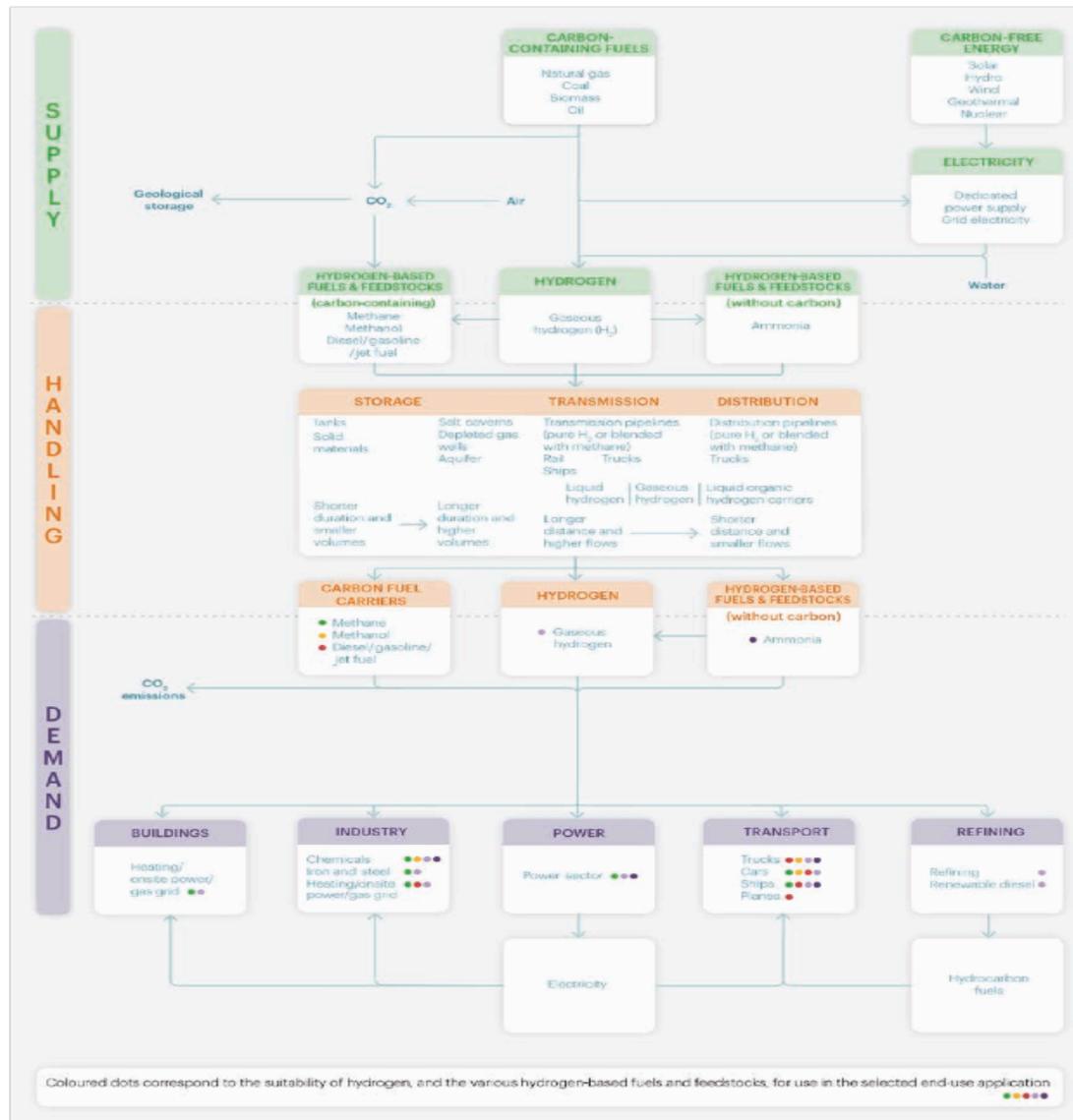
- ① Producing hydrogen from low-carbon energy is costly at the moment.
- ② The development of hydrogen infrastructure is slow and holding back widespread adoption.
- ③ Hydrogen is almost entirely supplied from natural gas and coal today.



- **Build on existing infrastructure, such as millions of kilometres of natural gas pipelines.** Introducing clean hydrogen to replace just 5% of the volume of countries' natural gas supplies would significantly boost demand for hydrogen and drive down costs.
- **Expand hydrogen in transport through fleets, freight and corridors.**

- Hydrogen can help tackle various critical energy challenges.** It offers ways to decarbonise a range of sectors – including long-haul transport, chemicals, and iron and steel – where it is proving difficult to meaningfully reduce emissions.
- Hydrogen is versatile.** Technologies already available today enable hydrogen to produce, store, move and use energy in different ways.
- Hydrogen can enable renewables to provide an even greater contribution.** It has the potential to help with variable output from renewables, like solar photovoltaics (PV) and wind, whose availability is not always well matched with demand. Hydrogen is one of the leading options for storing energy from renewables and looks promising to be a lowest-cost option for storing electricity over days, weeks or even months. Hydrogen and hydrogen-based fuels can transport energy from renewables over long distances

Figure 5. A guide to the hydrogen energy value chain, from supply to end use

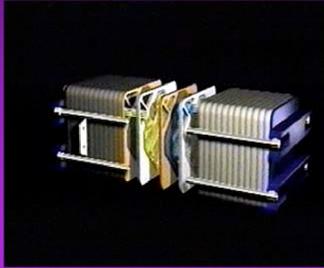


Source: IEA 2019. All rights reserved.

**Hydrogen can be produced from a wide variety of sources and used in a wide variety of applications, with value chains containing different combinations of supply, handling and demand technologies.**

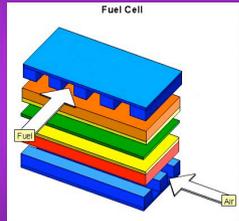
# ENERGIA DELL'IDROGENO

L'Idrogeno è un combustibile non presente allo stato elementare in natura ma è combinato con altri elementi. Per sfruttarne l'energia si utilizzano le celle a combustibile (Fuel Cell).

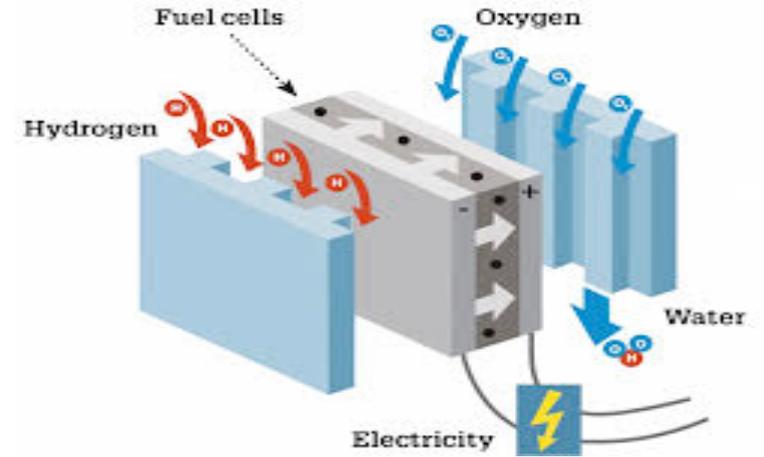
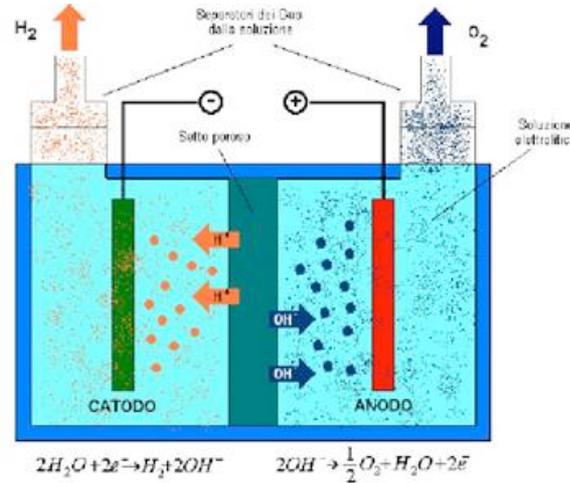


## FUEL CELL

All'interno delle fuel cells ad idrogeno-ossigeno avviene una reazione chimica tra questi due reagenti, con produzione di energia elettrica, calore e vapore acqueo. Il loro rendimento elettrico è molto alto e supera quello dei normali sistemi di produzione di energia elettrica, inoltre non inquinano infatti non rilasciano nell'atmosfera gas nocivi.



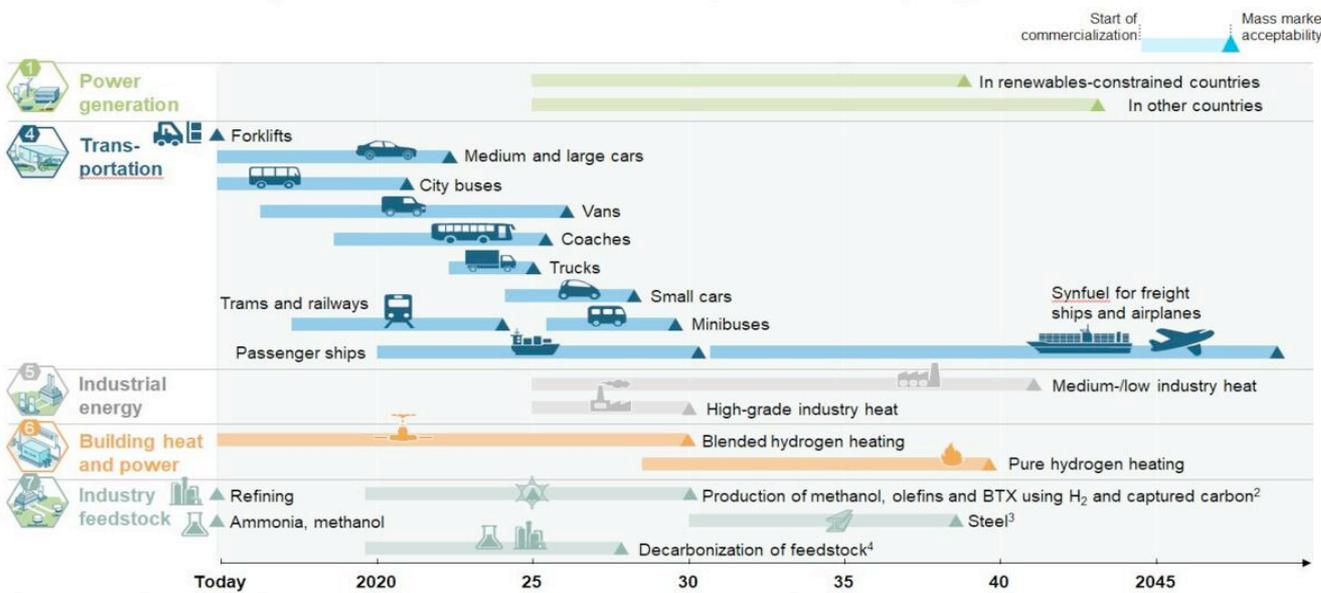
Lo sviluppo dell'auto a idrogeno ha colpito l'immaginazione dei più. Trattasi, di per sé, di motore termico alimentato a idrogeno. I suoi rendimenti, però, sono bassissimi: 7,5%. Altra soluzione sarebbe la Fuel Cell, cella elettrolitica che trasforma l'energia chimica in energia elettrica che simula all'inverso l'elettrolisi dell'acqua, producendo, quindi, Energia e Acqua, arrivando a rendimenti teorici del 60%. Oggi l'impiego di polimeri in funzione di Elettroliti è alla base dell'R&D nell'automotive a idrogeno con Fuel Cell, arrivando ad un teorico rendimento del 52%.



MA ... nell'automotive a idrogeno con Fuel Cell non si è ancora riusciti a realizzare concretamente il rendimento teorico e, soprattutto, sarebbero necessari serbatoi in grado di contenere il gas a pressione di 250 Bar! Evidenti sono i problemi di (1) ingombro, (2) Peso e, soprattutto, (3) Sicurezza.

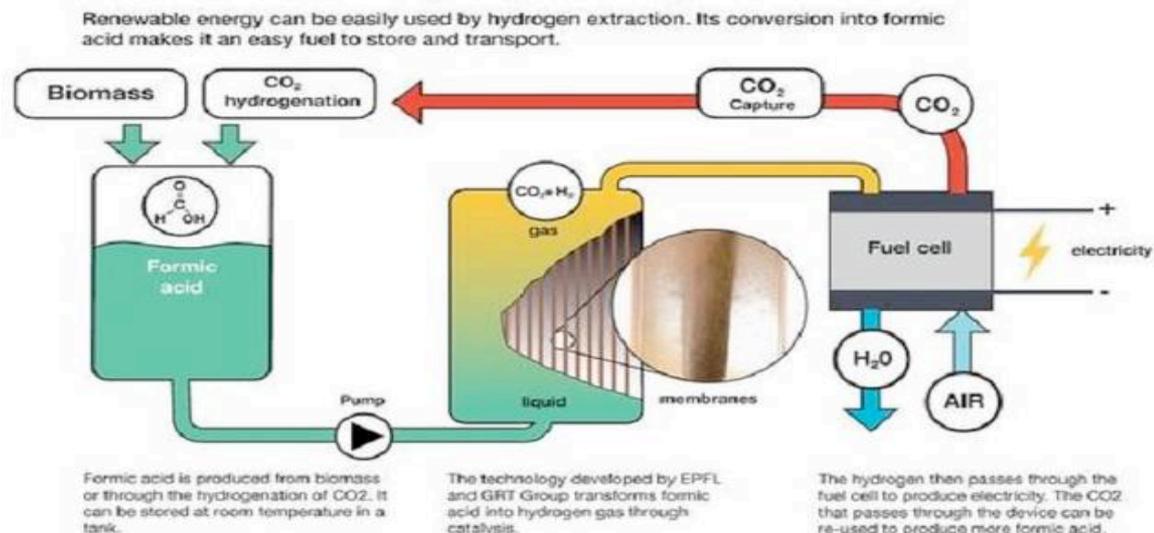
La SFIDA TECNOLOGICA, quindi, si trasferisce nella possibilità di realizzare e tradurre in Soluzione Sistemica Sicura e Diffondibile una stazione di reforming e di purificazione instabile su un veicolo con energia concentrata, persi ridotti e massima sicurezza.

## The technologies exist and are ready to be deployed

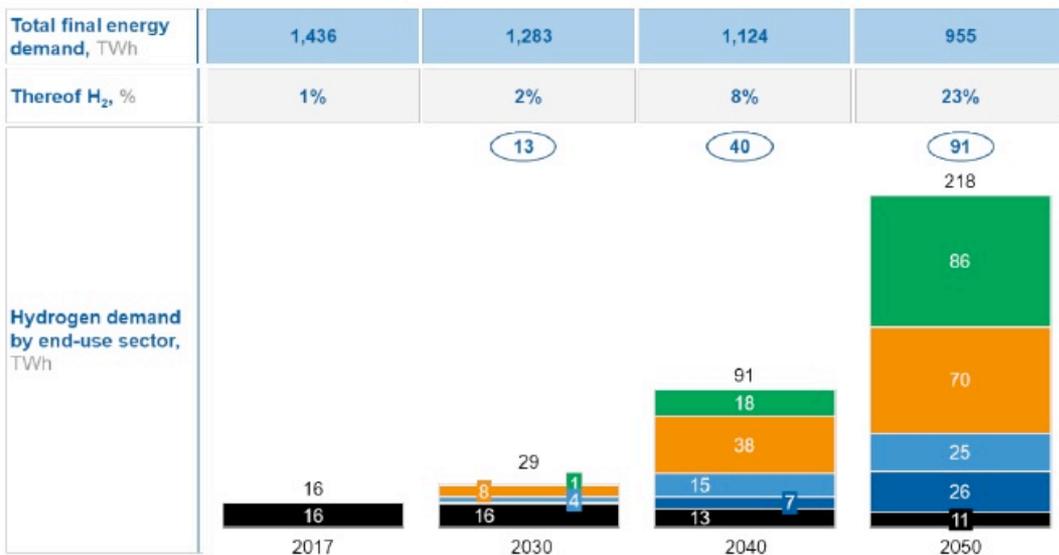


A oggi, si produce in questo modo solo il 4-5% dell'idrogeno globale, ma il calo dei costi dell'energia solare ed eolica unitamente a quelli di un elettrolizzatore fanno intravedere un futuro in cui l'idrogeno potrà diventare uno snodo cruciale per la transizione energetica.

Non solo, suggerisce l'Aie, perché potrebbe essere usato efficacemente per l'immagazzinamento dell'energia prodotta da rinnovabili (**storage**), ma anche per l'apporto che garantirebbe nella decarbonizzazione di diversi settori fondamentali per l'economia globale come il trasporto pesante o la siderurgia.



Si stima un potenziale di gas "green", prevalentemente idrogeno e biometano, di 270 miliardi di metri cubi da immettere nelle infrastrutture esistenti, potrà aiutare l'Europa a eliminare le emissioni di Co2 nel 2050, risparmiando 217 miliardi di euro l'anno di costi per i consumatori finali (famiglie e imprese). Secondo uno studio Snam-Mckinsey, l'idrogeno potrebbe arrivare a fornire fino al 23% della domanda nazionale di energia entro il 2050, in uno scenario di decarbonizzazione al 95% (necessario per centrare il target di contenimento del riscaldamento globale entro 1,5 gradi). Un "peso" superiore alla quota attuale complessiva di energia elettrica (20% nel 2018), considerando sia fonti rinnovabili che fossili. Senza contare che, chiarisce lo studio, i costi dell'idrogeno "verde", data la forte presenza di rinnovabili nella penisola, potranno essere competitivi già entro il 2030, in anticipo rispetto ad altri mercati europei. Il maggior potenziale di utilizzo riguarderà il settore dei trasporti (camion, bus e treni), quello residenziale (riscaldamento) e alcune applicazioni industriali (per esempio, la raffinazione e i processi che richiedono elevate temperature), dove ora viene utilizzato l'idrogeno "grigio". Più nel dettaglio, il trasporto pesante su lunga distanza sarà uno dei primi segmenti in cui l'idrogeno potrà essere sostenibile economicamente: la previsione è che raggiunga la parità di costo totale - calcolato come somma dell'investimento iniziale e dei costi di mantenimento - con il diesel entro il 2030 anche senza l'applicazione di incentivi di sistema. Quanto al riscaldamento domestico, si potrebbe arrivare nel breve medio-termine a immettere nella rete di distribuzione una miscela di idrogeno e gas (fino a una quota del 10-20%). Ma l'idrogeno, chiarisce ancora il report, è destinato altresì a supportare la diffusione su larga scala delle rinnovabili nella rete elettrica in quanto potrà essere usato, tra l'altro, come valida opzione per lo stoccaggio stagionale.



xx Electrolyzer capacity necessary to supply all demand<sup>1</sup>, GW

- Transportation
- Buildings
- Industry energy
- Industry feedstock
- Existing feedstock