



# Chimica e Sostenibilità: Economia Circolare del Carbonio

**Prof.ssa Angela Dibenedetto**

Dipartimento di Chimica - Università degli Studi di Bari "Aldo Moro"  
Consorzio Interuniversitario Reattività Chimica e Catalisi

[angela.dibenedetto@uniba.it](mailto:angela.dibenedetto@uniba.it)

**C** Consorzio  
**I** Interuniversitario  
**R C C** REATTIVITA' CHIMICA e CATALISI

**Direttore: Prof. A. Dibenedetto**

[www.circc.it](http://www.circc.it)

Fondato nel 1994

17 Università

51 Unità di ricerca

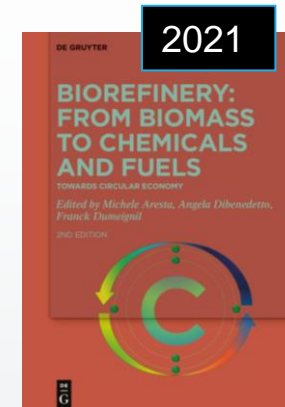
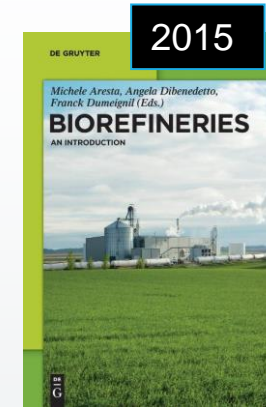
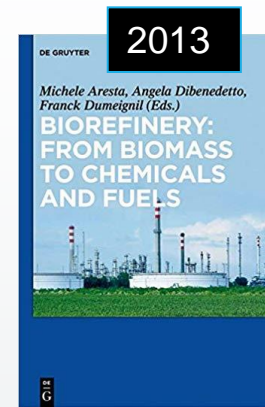
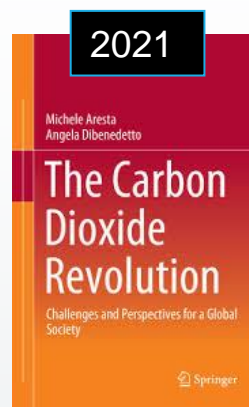
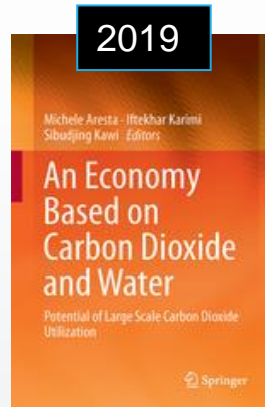
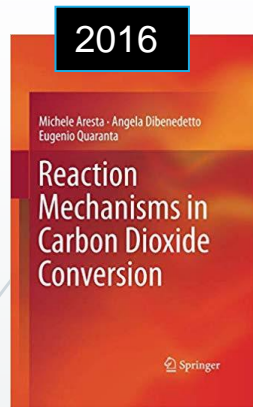
Oltre 300 ricercatori più PhDs e Post-Docs

Riconosciuto nel 2002 dal MiUR come una organizzazione di ricerca pubblica no-profit



# Bibliografia

Numerose visualizzazioni



Energy Technology

DOI: 10.1002/ente.201600610

REVIEW



## Biocatalytic and Bioelectrocatalytic Approaches for the Reduction of Carbon Dioxide using Enzymes

Stefanie Schlager,<sup>\*,[a]</sup> Angela Dibenedetto,<sup>[b]</sup> Michele Aresta,<sup>[b,c]</sup> Dogukan H. Apaydin,<sup>[a]</sup> Liviu M. Dumitru,<sup>[a]</sup> Helmut Neugebauer,<sup>[a]</sup> and Niyazi S. Sariciftci<sup>\*,[a]</sup>

PERSPECTIVE

www.rsc.org/dalton | Dalton Transactions

## Utilisation of CO<sub>2</sub> as a chemical feedstock: opportunities and challenges

Michele Aresta<sup>\*,a</sup> and Angela Dibenedetto<sup>b</sup>

Received 17th January 2007, Accepted 14th May 2007  
First published as an Advance Article on the web 26th June 2007  
DOI: 10.1039/b700658f

ChemSusChem

Chemistry-Sustainability-Energy-Materials



Minireview

## The Future of Carbon Dioxide Chemistry

Prof. Angela Dibenedetto, Dr. Francesco Nocito

First published: 15 September 2020 | <https://doi.org/10.1002/cssc.202002029>

## Tunable mixed oxides based on CeO<sub>2</sub> for the selective aerobic oxidation of 5-(hydroxymethyl)furfural to FDCA in water<sup>†</sup>



From the journal:  
Green Chemistry

Maria Ventura,<sup>a</sup> Francesco Nocito,<sup>b</sup> Elvira de Giglio,<sup>b</sup> Stefania Cometa,<sup>d</sup> Angela Altomare<sup>e</sup> and Angela Dibenedetto<sup>†,abc</sup>

## Journal of Catalysis

State of the art and perspectives in catalytic processes for CO<sub>2</sub> conversion into chemicals and fuels: The distinctive contribution of chemical catalysis and biotechnology

Michele Aresta<sup>a,b,c,\*</sup>, Angela Dibenedetto<sup>c,d</sup>, Eugenio Quaranta<sup>c,d</sup>



Fuel Processing Technology  
Volume 86, Issues 14–15, October 2005, Pages 1679–1693

Utilization of macro-algae for enhanced CO<sub>2</sub> fixation and biofuels production: Development of a computing software for an LCA study

Michele Aresta<sup>\*,†</sup>, Angela Dibenedetto, Grazia Barberio

CHEMICAL  
REVIEWS

2640 Citations

Review

pubs.acs.org/CR

## Catalysis for the Valorization of Exhaust Carbon: from CO<sub>2</sub> to Chemicals, Materials, and Fuels. Technological Use of CO<sub>2</sub>

Michele Aresta<sup>\*,†</sup> Angela Dibenedetto,<sup>‡,§</sup> and Antonella Angelini<sup>†,§</sup>

Mini-review

Received: 6 June 2013 | Revised: 18 September 2013 | Accepted article published: 7 October 2013 | Published online in Wiley Online Library: 14 November 2013

## Use of carbon dioxide as feedstock for chemicals and fuels: homogeneous and heterogeneous catalysis

Angela Dibenedetto,<sup>\*</sup> Antonella Angelini and Paolo Stufano



Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry  
Volume 21, February 2020, Pages 34–43

Review article

## Atmospheric CO<sub>2</sub> mitigation technologies: carbon capture utilization and storage

Francesco Nocito<sup>1</sup>, Angela Dibenedetto<sup>1,2,§</sup>

DIPARTIMENTO DI  
CHIMICA

***ECONOMIA  
CIRCOLARE E RICICLO  
DEL CARBONIO PER LO  
SVILUPPO DI UNA  
CHIMICA SOSTENIBILE***

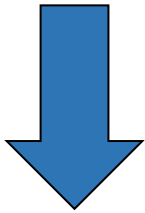
# *Cosa si intende per "sviluppo sostenibile" ?*

Secondo il Rapporto Brundtland si tratta della realizzazione di un equilibrio tra esigenze di tutela ambientale e sviluppo economico che consente di "soddisfare i bisogni dell'attuale generazione senza compromettere la capacità delle future generazioni di soddisfare i propri"



# Che cos'è lo sviluppo sostenibile?

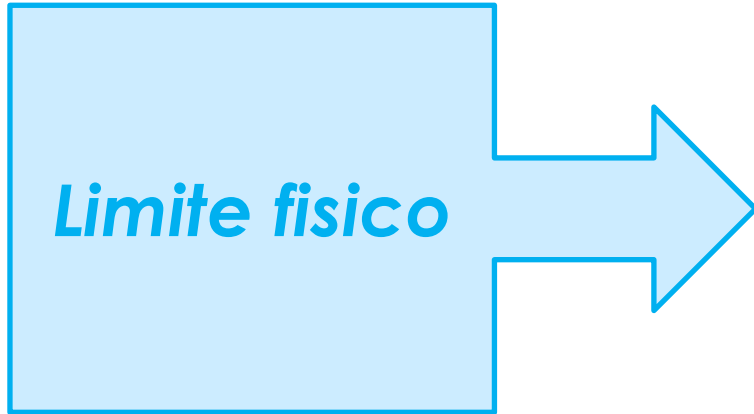
Lo sviluppo implica cambiamento,  
trasformazione



La sostenibilità rinvia all'idea di mantenimento/conservazione nel tempo, e soprattutto nel lungo periodo, delle condizioni esistenti e di capacità di garantire un supporto, un sostentamento, senza produrre degrado.

*Questo conflitto tra i due termini porta ad una idea di miglioramento/modifica mantenendo però nel tempo anche lungo le condizioni che consentono tale miglioramento.*

# I limiti dei processi di sviluppo



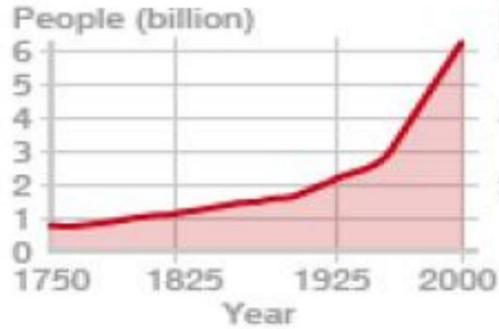
La crescita di un qualsiasi sistema socio – economico non può essere infinita perché si basa sull'utilizzo di risorse di per sé scarse (Meadows, D., Meadows, D., Randers, J., 2006).



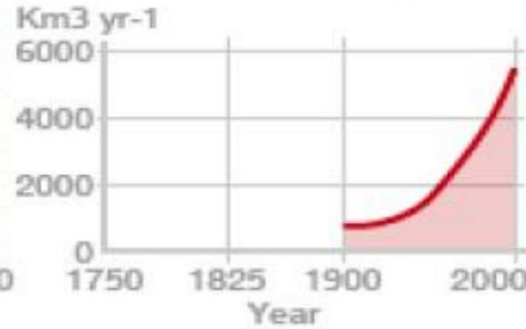
L'iniquità nella distribuzione di ricchezza tra i Paesi, continua ad acuire le differenze tra i Paesi del Nord e del Sud del Mondo.

# Pianeta Terra: sostenibile o no?

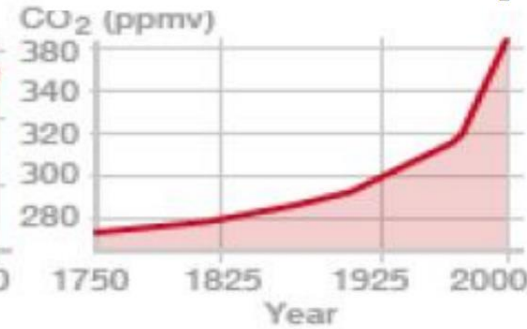
**POPOLAZIONE**



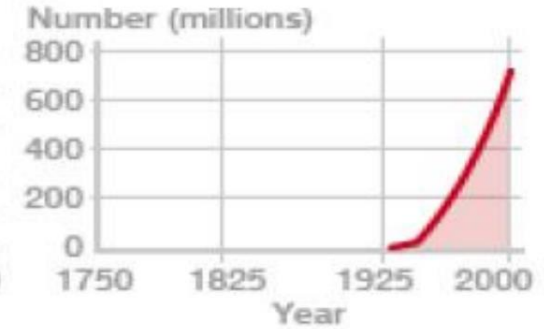
**USO DELL'ACQUA**



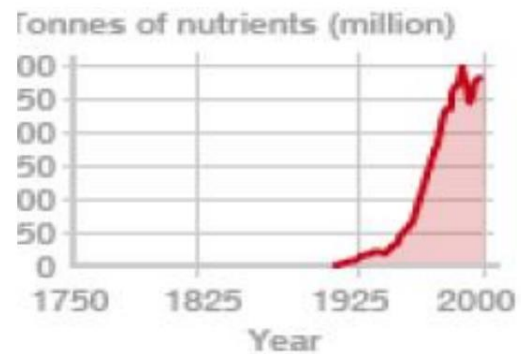
**CONCENTRAZIONE CO<sub>2</sub>**



**NUMERO DI AUTO**



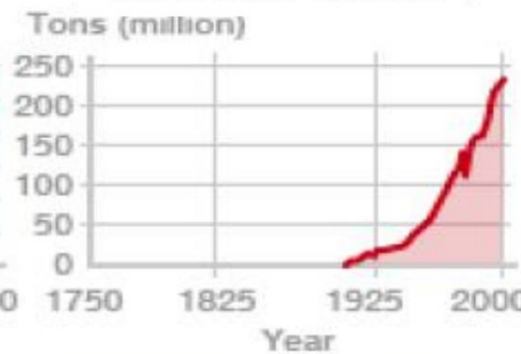
**CONSUMO FERTILIZZANTI**



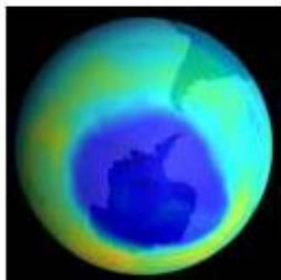
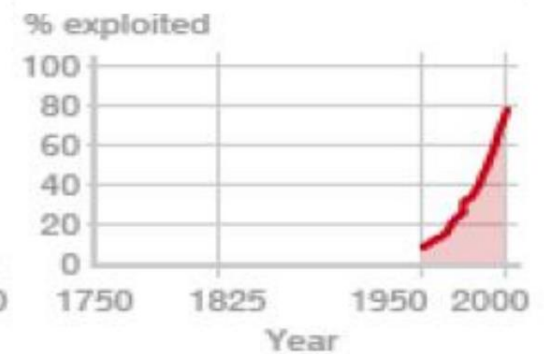
**PERDITA DI FORESTE**



**CONSUMO CARTA**



**PESCA INTENSIVA**





# *Economia lineare: perché non è sostenibile?*



- Un sistema ispirato alla linearità di produzione, consumo e smaltimento, per essere sostenibile dovrebbe disporre di risorse illimitate.
- Le **risorse** sono scarse per definizione e le **attività antropiche**, soprattutto quelle connesse alla *produzione*, provocano o stanno accelerando processi, talvolta irreversibili, di inquinamento nonché la perdita di biodiversità e di interi ecosistemi.

# Società Usa e Getta



14.5 milioni di tonnellate di plastica nel 2018 (PET, HDPE). 28% riciclata

Nel 2019 si è registrato un record di produzione di rifiuti elettronici in tutto il mondo: ben 53,6 milioni di tonnellate di telefoni, computer, elettrodomestici.

Rispetto al 2014 vi è stato un incremento del 21%.

Solo il 7% di quei rifiuti è stato riciclato.



# Passaggio da...



## Economia lineare

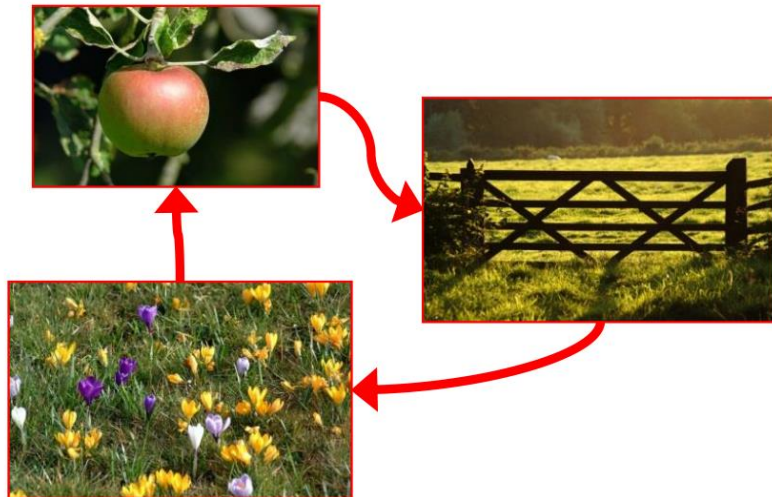
# a...

## Economia circolare



## *Analogia tra sistemi industriali e sistemi naturali:*

- entrambi hanno cicli di energia e nutrienti/materiali.
- strategie della natura per far fronte alla sostenibilità:
  - riciclaggio/decomposizione
  - ripristino
  - conservazione e controllo della popolazione
  - permanenza in loco delle tossine
  - funzione multiple di un organismo



# Un esempio: il riciclaggio dell'alluminio



Per sfruttare al meglio le risorse non rinnovabili, industrie e privati devono attrezzarsi per il riciclaggio dell'alluminio di scarto



Lattine di alluminio pressate e pronte per essere riciclate

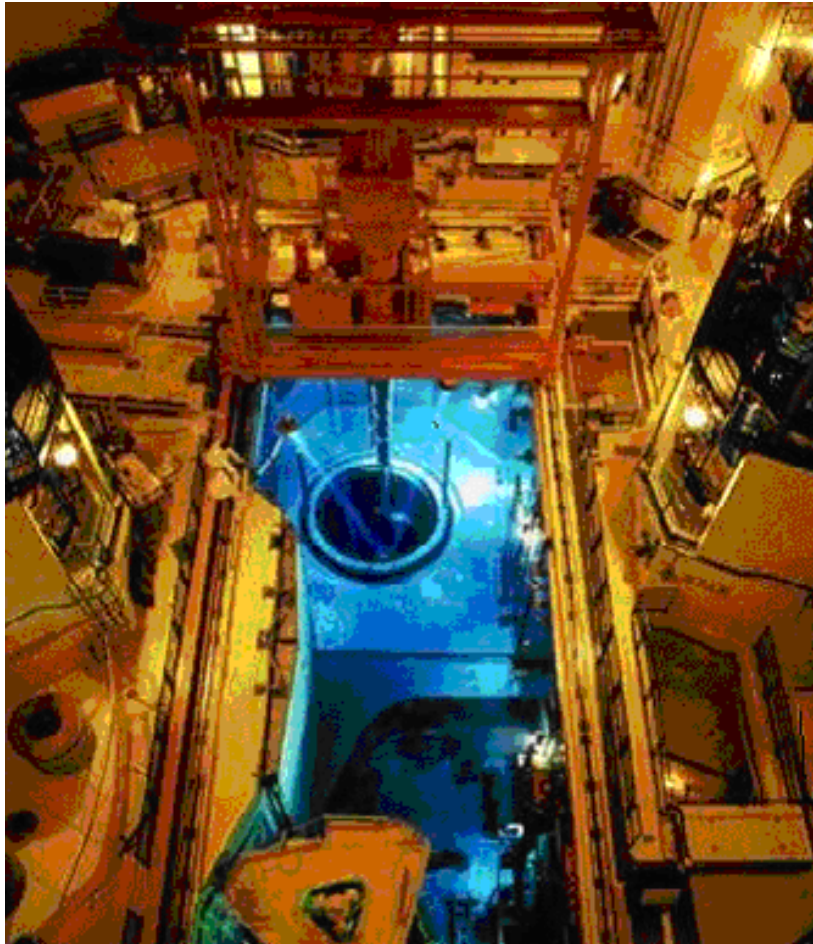


# *Per ridurre il consumo di carbone e petrolio...*

... si potrebbe ricorrere  
all'energia nucleare

*Ma.....*

L'incidente alla  
centrale nucleare di  
Černobyl (1986) ha  
influenzato  
negativamente  
l'opinione pubblica e  
molti Paesi hanno  
bloccato il  
funzionamento delle  
centrali nucleari,  
ritenute pericolose  
per la salute dei  
cittadini e per  
l'ambiente

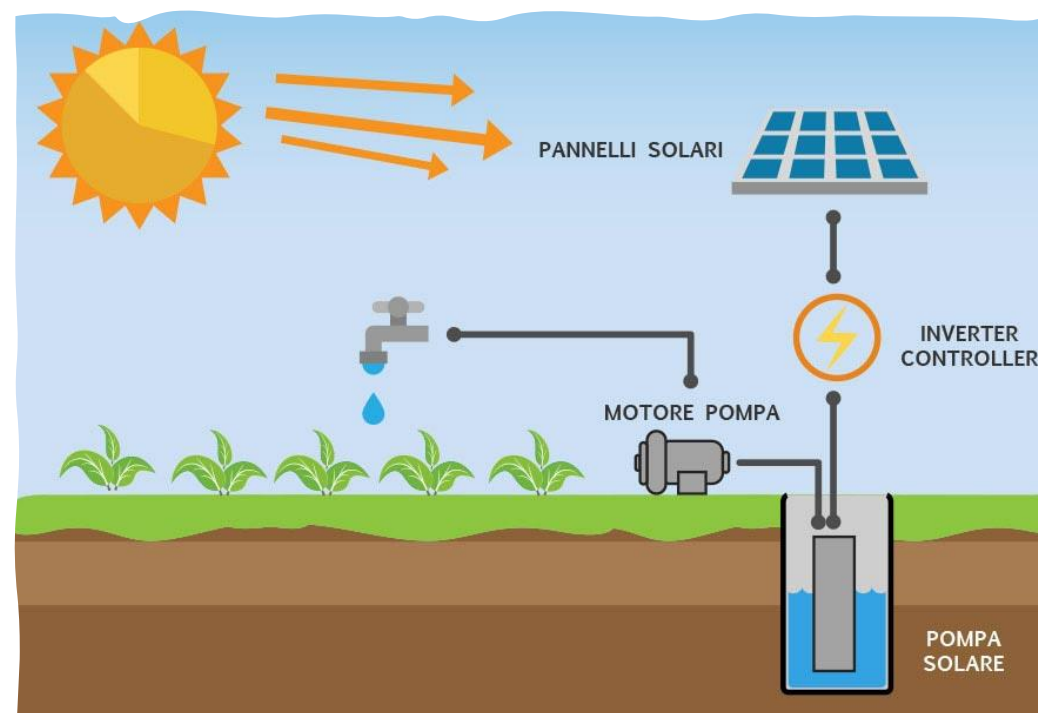
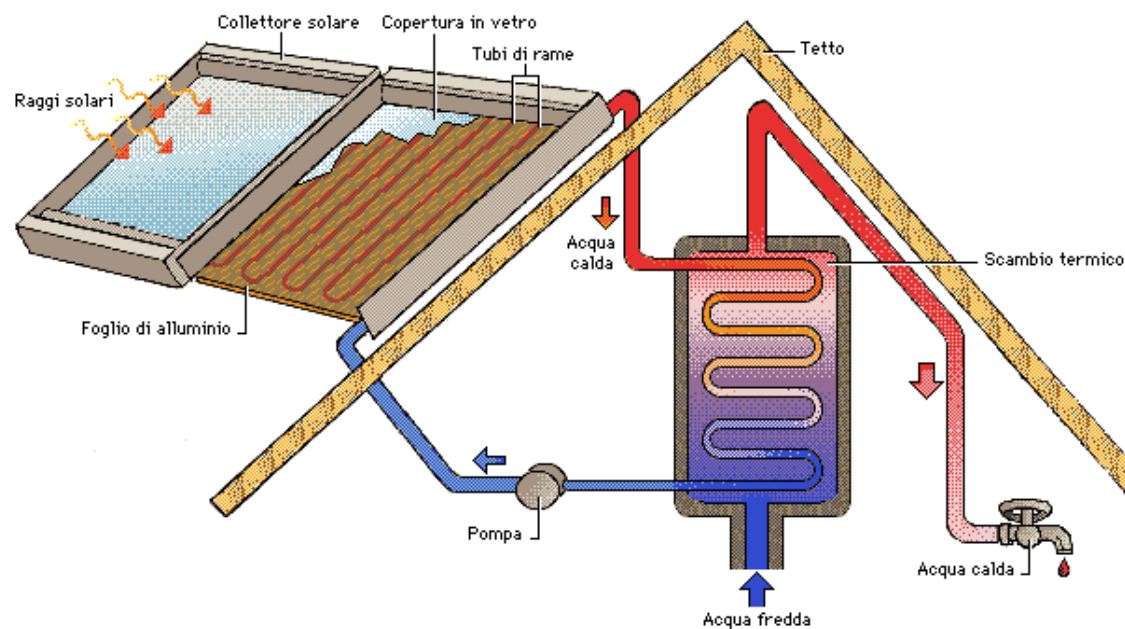


Il foro sul fondo della piscina  
blu è il nucleo, in cui  
avvengono le reazioni nucleari



# L'energia solare

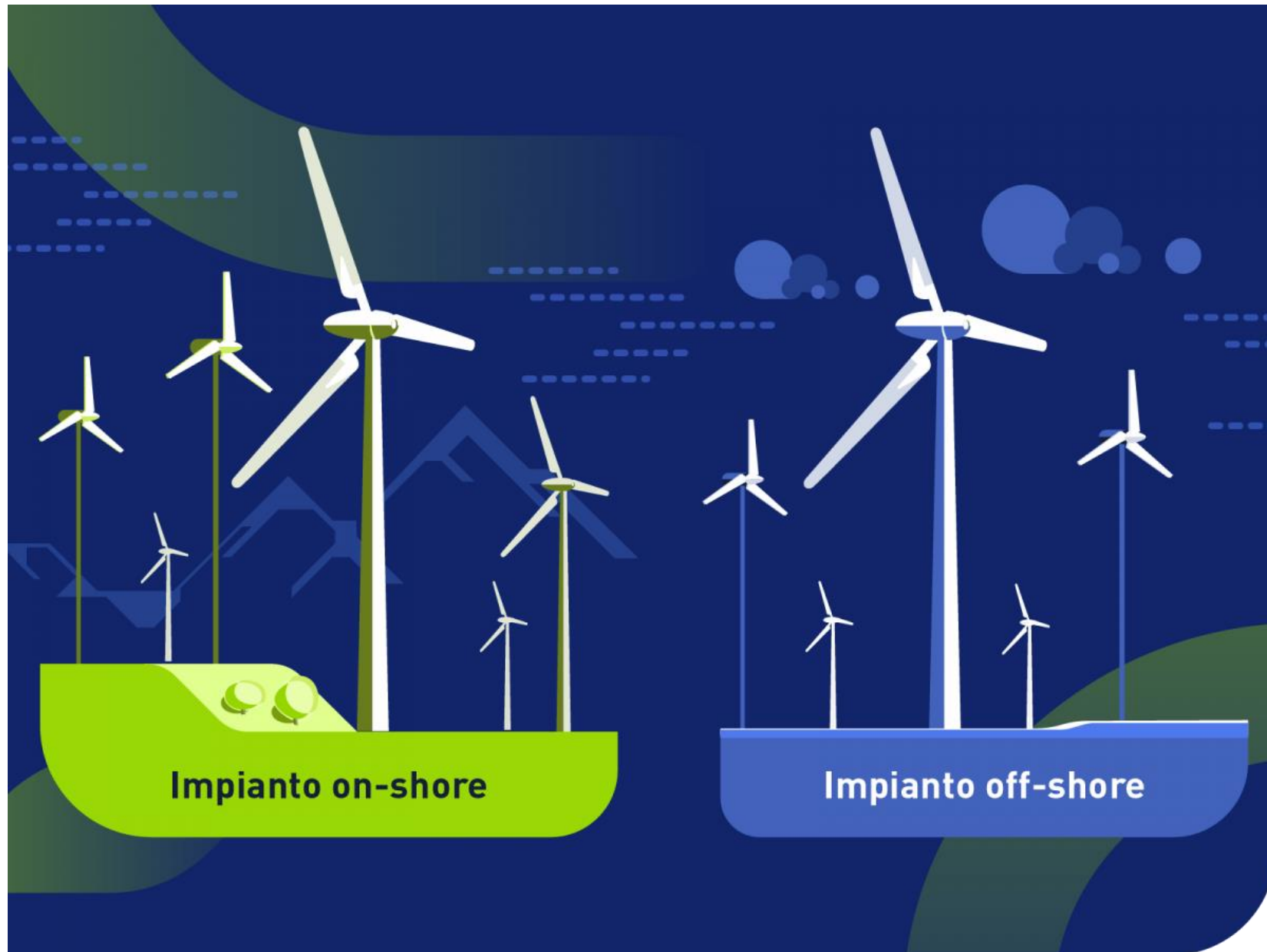
I pannelli solari vengono riscaldati dai raggi del sole e permettono di ottenere energia (acqua calda, riscaldamento e altro)



# *L'energia del vento*

---

- Le centrali eoliche sono formate da torri d'acciaio alte cento metri e munite di eliche con un raggio di 40 metri: secondo alcuni deturpano il territorio; in compenso, però, gli impianti eolici possono essere completamente smantellati senza lasciare danni





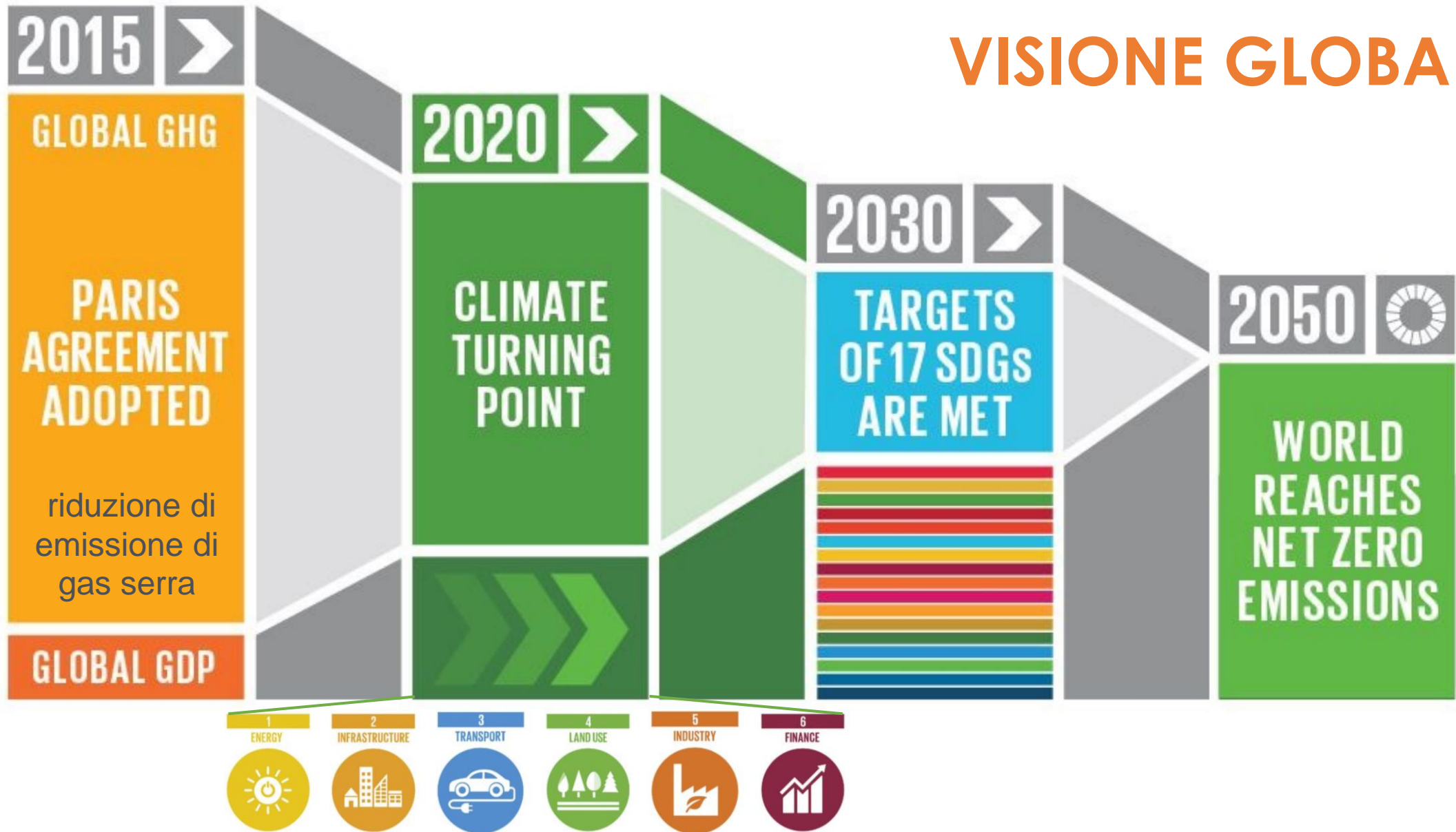
# *L'energia geotermica*

---

- Il calore prodotto dalla crosta terrestre, in alcune zone, affiora in superficie e può essere sfruttato come fonte di energia



# VISIONE GLOBALE

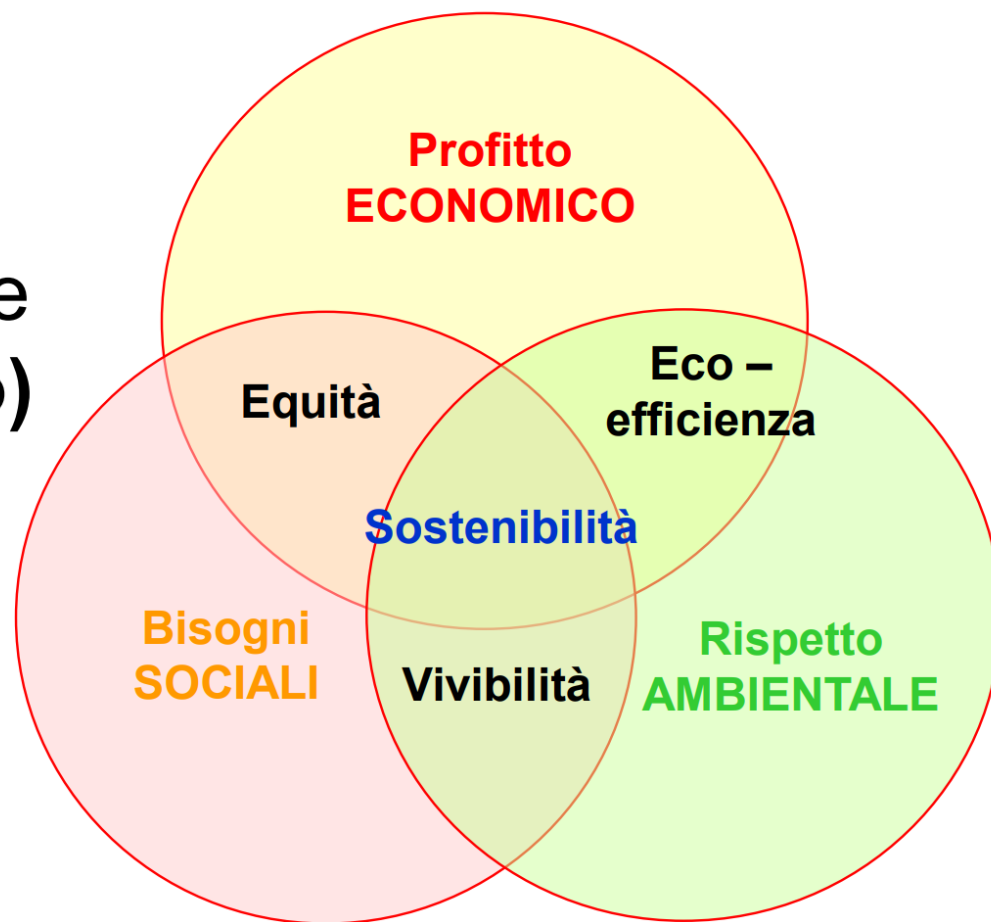


I tre fondamenti della Sostenibilità:

I bisogni della società  
**(l'obiettivo sociale)**

L'impiego efficiente delle scarse risorse  
**(l'obiettivo economico)**

La necessità di ridurre la pressione sull'eco-sistema al fine di mantenere le basi naturali per la vita  
**(l'obiettivo ambientale).**



Nella comunità economica la sostenibilità è etichettata **“the triple bottom line”**

# Chimica e sostenibilità

La sostenibilità per l'industria chimica è un concetto che prevede l'utilizzo e la realizzazione di processi e prodotti che riducano notevolmente le conseguenze negative di natura ambientale, economica e sociale.

## Strategie per la realizzazione di processi sostenibili ed ecocompatibili

- nuovi preparati meno inquinanti,
- riduzione dell'impatto ambientale,
- controllo da parte delle Istituzioni per il rispetto delle norme (che sono sempre più restrittive).

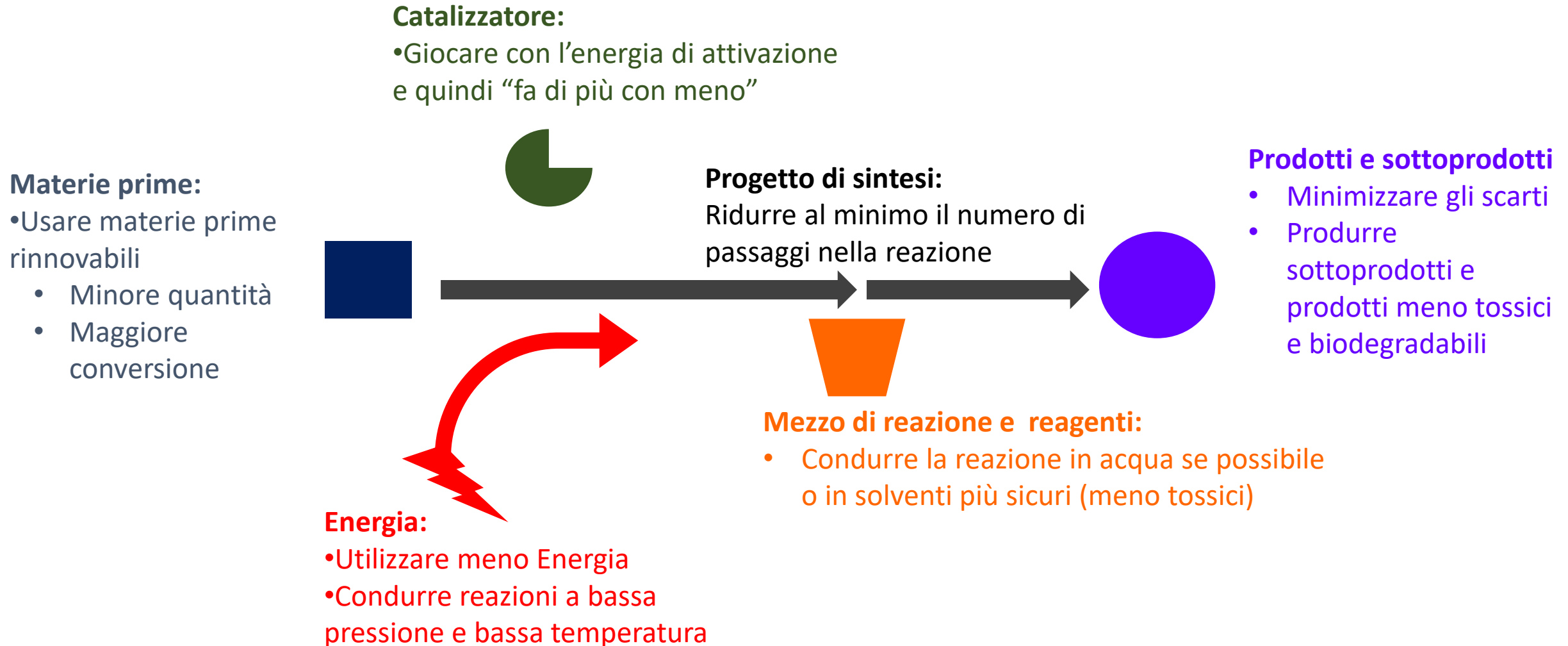


# Elementi chiave in un processo chimico



Come possiamo rendere questo processo **sostenibile**??

# Esempio di processo chimico sostenibile



# Chimica sostenibile e qualità della vita



## Cura della persona e della casa

Cosmetici, profumi, saponi, detersivi, prodotti da bagno, biocidi...



## Trattamento delle acque

Acqua potabile, trattamento acque reflue, tecnologia dissalazione acqua marina, tubazioni in plastica...



## Elettronica e comunicazioni, editoria, sport

Information technology, schermi, cavi, batterie, circuiti integrati, inchiostri, prodotti stampa, attrezzi sportivi...



## Tessile

Abbigliamento impermeabile, antivento, antimacchia, autoriparante, tessuti antimicrobici o antiallergici...



## Abitazione e costruzioni

Isolamento, tubazioni, rivestimenti, cappotto, infissi, vernici, adesivi, condizionamento, dispositivi di sicurezza, pannelli solari, illuminazione...



## Auto e moto

Materiali leggeri, rivestimenti, batterie, catalizzatori, additivi per carburanti, caschi e protezioni, carrozzeria...



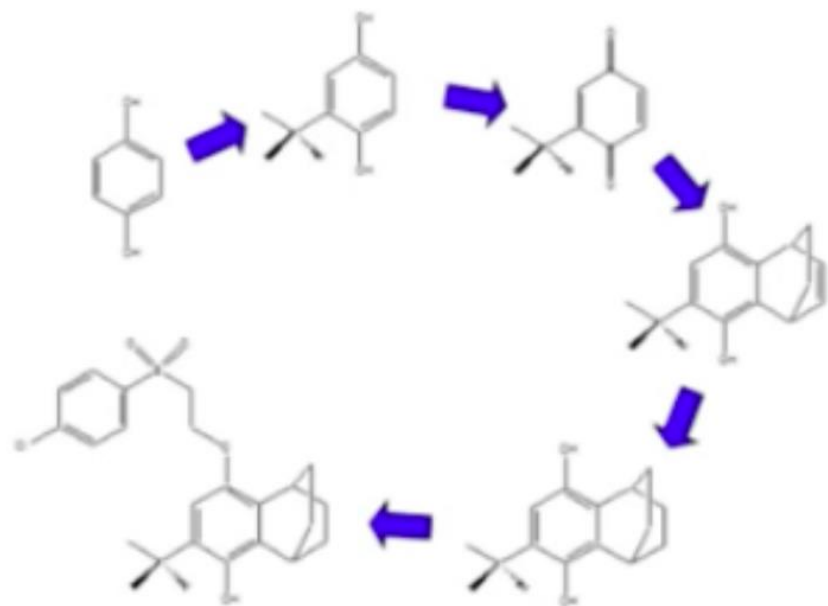
## Agricoltura, alimentazione

Fertilizzanti, agrofarmaci, imballaggi, conservanti, additivi, zootecnia...

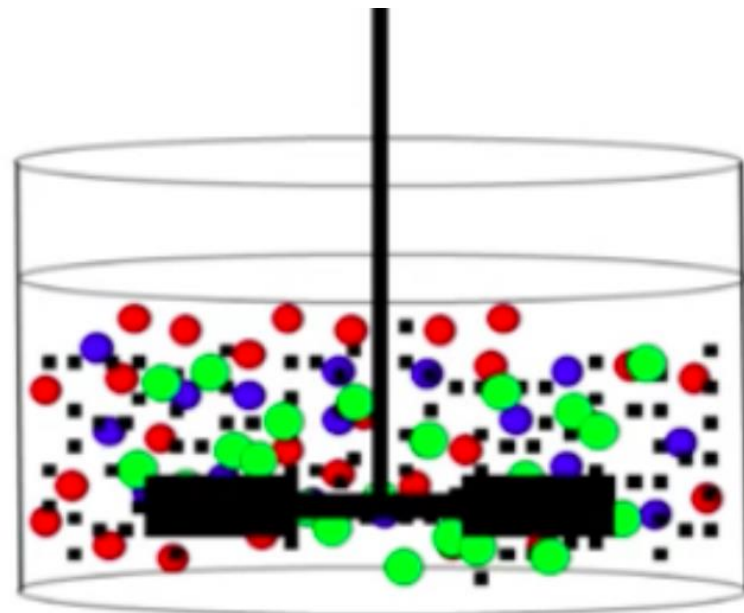


## Salute

Principi attivi, nano e biotecnologie, farmaci di automedicazione, farmaci veterinari, gas medicinali, attrezzature mediche, protesi, immagini mediche, disinfettanti...



**Old Technology**  
Several Solvents  
High Energies  
Hazardous Reagents



**New Technology**  
Aqueous Conditions  
Low Energies  
Non-hazardous Reagents



# L'innovazione sostenibile è un processo graduale

## Caffe decaffeinato

Uso di solventi organici



Piante decaf



Uso di fluidi supercritici

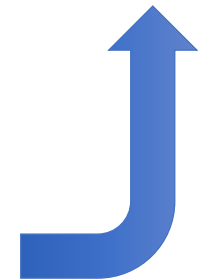


# Detergenti

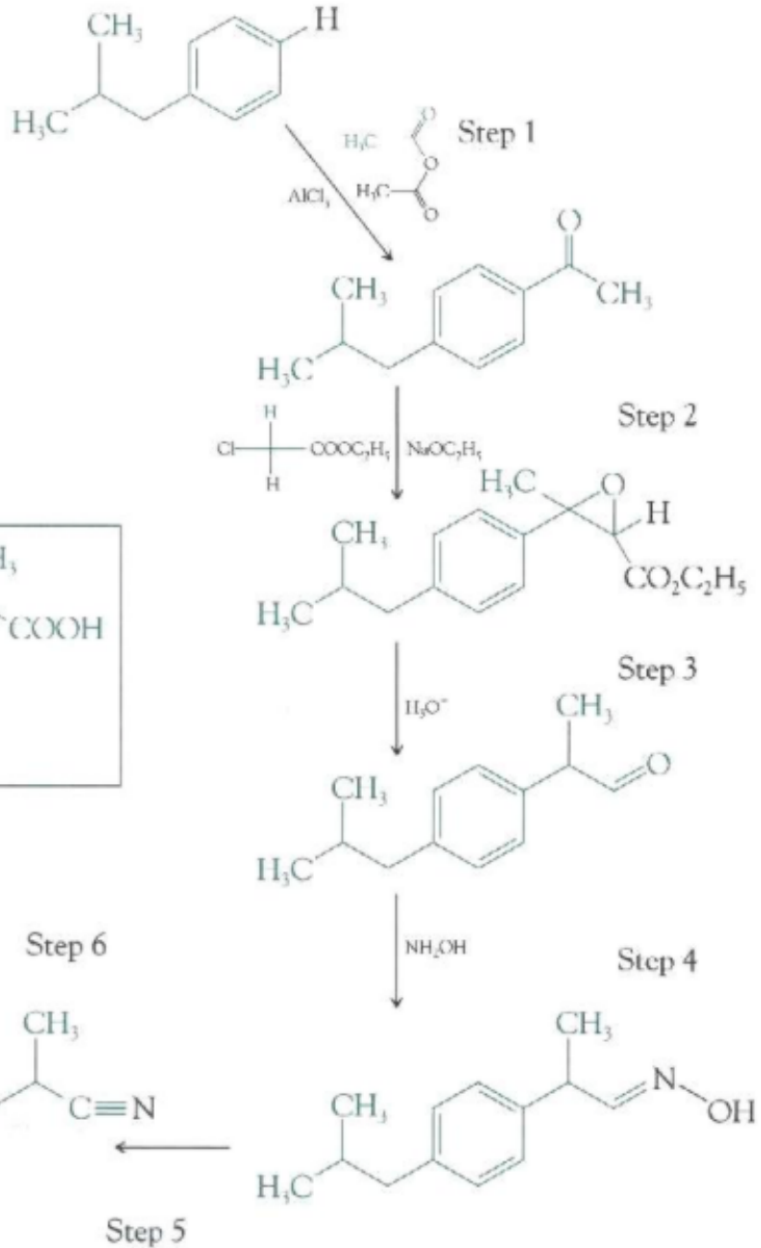
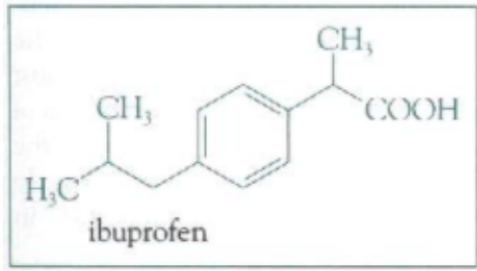
## Innovazione sostenibile è un processo graduale

Grazie al suo formato, il nuovo detergente permette di diminuire nettamente gli sprechi, di ottenere un'efficacia professionale e rendere la pulizia più veloce.

Il prodotto iperconcentrato tutela l'ambiente, grazie alla sua formula che non contiene acqua, al packaging interamente riciclabile e ad una riduzione delle dimensioni che comporta un notevole risparmio di spazio e quindi un'ottimizzazione del carico di trasporto, con conseguenze positive nella riduzione delle emissioni di CO2.

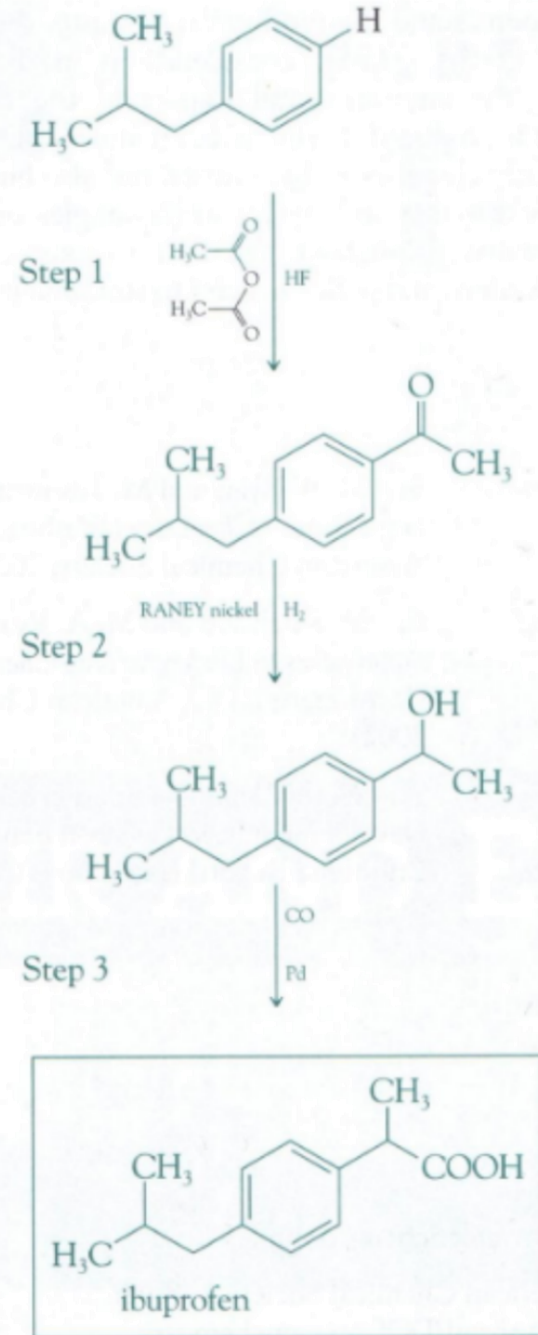


**Produzione di  
ibuprofene  
sintesi classica in 6  
passaggi**



**FIGURE In-1** The Boots Company synthesis of ibuprofen. [Source: M. C. Cann and M. E. Connelly, *Real-World Cases in Green Chemistry* (Washington, DC: American Chemical Society, 2000).]

**Produzione di  
ibuprofene  
sintesi secondo  
green chemistry in  
3 passaggi**



# Principi della *Green Chemistry*

1) Prevenzione	7) <b>Materie prime rinnovabili</b>
2) Economia di atomi	8) Riduzione di rifiuti
3) Reazioni chimiche meno pericolose	9) <b>Catalisi selettiva</b>
4) Prodotti chimici più sicuri	10) Sostanze non persistenti nell'ambiente
5) Solventi e prodotti ausiliari più sicuri	11) Analisi in tempo reale degli effetti inquinanti dei processi chimici
6) Efficienza energetica	12) Chimica più sicura per la prevenzione degli incidenti



# I CONCETTI PRINCIPALI

- Prevenzione
- Economia atomica
- Sintesi meno pericolose
- Maggiore sicurezza nella produzione di sostanze chimiche
- Materie prime rinnovabili
- Uso di prodotti degradabili

**Prevenzione:** è meglio prevenire la produzione di rifiuti piuttosto che trattarli o smaltirli dopo che sono stati prodotti.

**Progettazione di sostanze chimiche più sicure:** i prodotti chimici dovrebbero essere progettati per svolgere la funzione desiderata riducendo al minimo la loro tossicità.

**Economia di atomi:** i metodi sintetici dovrebbero essere progettati per massimizzare l'incorporazione di tutti i materiali utilizzati nel processo nel prodotto finale.

**Solventi e ausiliari più sicuri:** l'uso di sostanze come solventi o agenti di separazione dovrebbe essere evitato quando possibile e reso innocuo quando l'utilizzo risulta indispensabile ("The best solvent is no solvent").

**Sintesi chimica meno pericolosa:** i metodi sintetici dovrebbero essere progettati per utilizzare e generare sostanze che possiedono poca o nessuna tossicità per le persone o l'ambiente.

**Progettazione per l'efficienza energetica:** il fabbisogno energetico dei processi chimici dovrebbe essere ridotto al minimo. Se possibile, i metodi sintetici dovrebbero essere condotti a temperatura e pressione ambiente.

**Progettazione per il degrado:** i prodotti chimici dovrebbero essere progettati in modo che alla fine della loro funzione si scompongano e non persistano nell'ambiente.

**Analisi in tempo reale per la prevenzione dell'inquinamento:** le metodologie analitiche che devono essere ulteriormente sviluppate per consentire il monitoraggio e il controllo in tempo reale, prima della formazione di sostanze pericolose.

**Uso di materie prime rinnovabili:** le materie prime utilizzate dovrebbero essere rinnovabili ogni volta sia possibile.

**Ridurre i derivati:** la derivatizzazione non necessaria dovrebbe essere minimizzata o evitata.

**Chimica intrinsecamente più sicura per una prevenzione più sicura:** i reagenti catalitici (il più selettivi possibile) sono superiori ai reagenti stechiometrici e dovrebbero essere scelte per ridurre al minimo il potenziale di incidenti chimici.

# Economia di atomi e Metrica 1

- Percentuale (Chimica) Resa

$$\text{Chemical Yield} = \frac{\text{mols (g) pdt obtained}}{\text{mols (g) pdt possible}} \times 100\%$$

- Economia di atomi

$$\text{Atom Economy} = \frac{\text{MW}_{\text{desired pdt}}}{\sum \text{MW}_{\text{starting materials}}} \times 100\%$$

- Quanto reagente resta nel prodotto finale

- Efficienza atomica

$$\text{Atom Efficiency} = (\% \text{ Yield})(\text{Atom Economy})$$

# Atom economy and Metrics 2

- Fattore E

$$\text{E - Factor} = \frac{\text{Total Waste (Kg)}}{\text{Product (Kg)}}$$

- Tipicamente dividiamo in due sotto-categorie: rifiuti organici & acquosi
- Meno è meglio

Industry segment	Product tonnage	E factor (kg waste / kg product)
Oil refining	$10^6 - 10^8$	< 0.1
Bulk chemicals	$10^4 - 10^6$	< 1 - 5
Fine chemicals	$10^2 - 10^4$	5 - 50
Pharmaceuticals	$10 - 10^3$	25 - 100

La maggior parte dell'energia usata dall'uomo è ricavata da varie fonti, alcune primarie, altre derivate da queste

### ☒ **Fonti Primarie:**

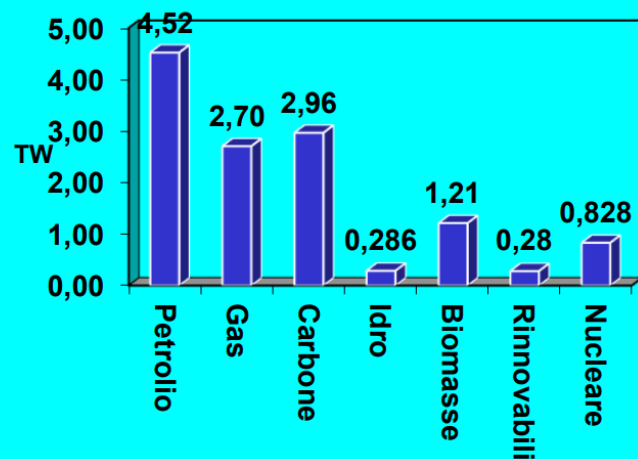
- Energia solare
- Energia lunare
- Energia geo
  - Geotermica
  - Nucleare

### ☒ **Fonti Derivate:**

- **Primo ordine**
  - Combustibili Fossili
  - Biomasse
  - Cadute d'Acqua
  - Maree
  - Vento
  - Onde
- **Secondo ordine**
  - Elettricità
  - Animale
  - Umana

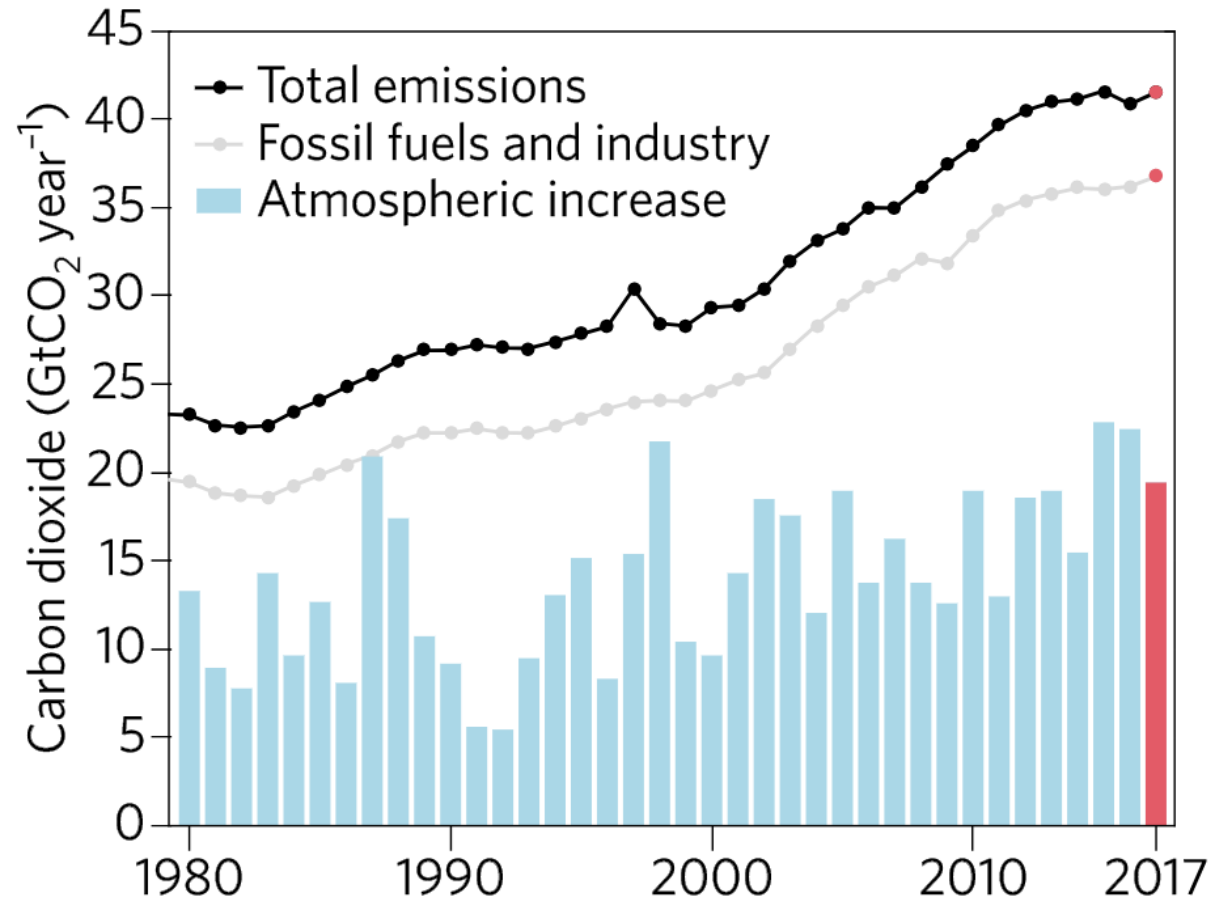
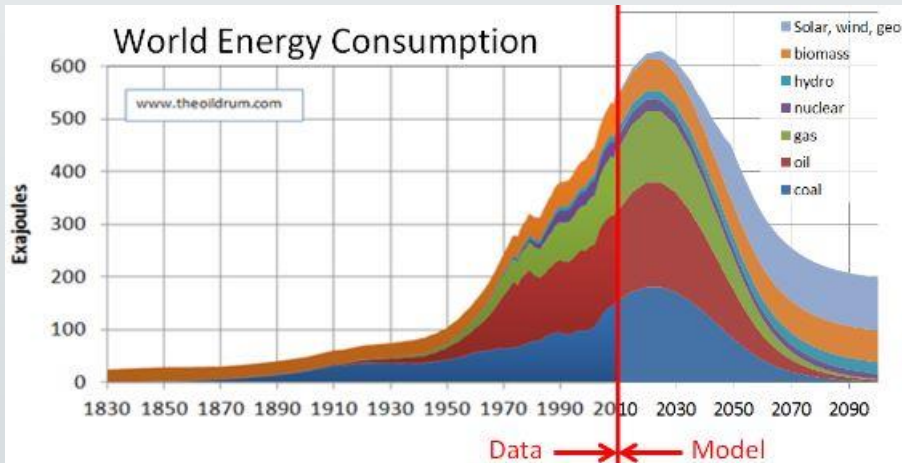
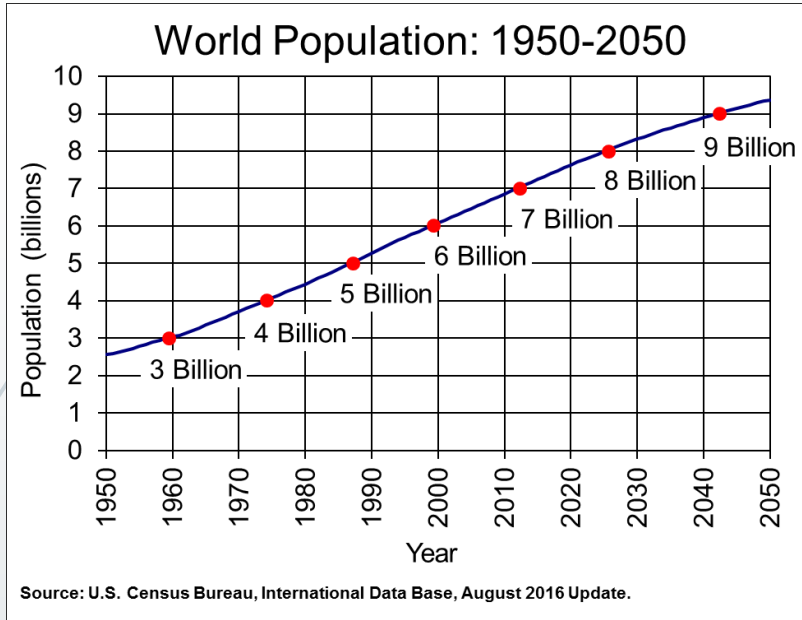
Valori medi della distribuzione dei consumi di energia (in TW)

**Totale: 13.0** ,  
U.S.A.: 3.3 ,  
Italia : 0.25  
(TW = Terawatt)



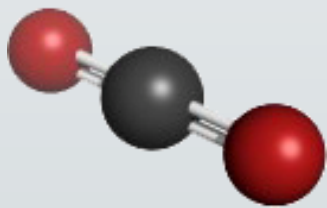


# Società, Energia e CO<sub>2</sub>

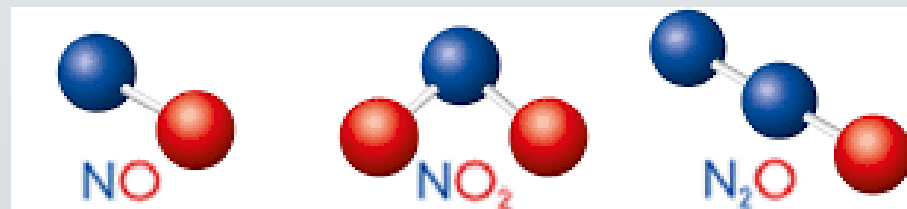


# Emissioni in atmosfera:

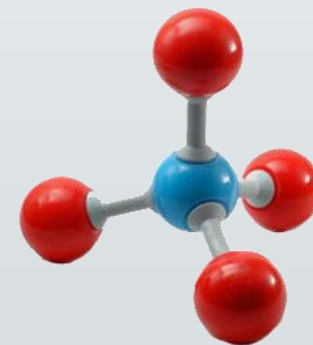
diossido di carbonio ( $\text{CO}_2$ ), ossidi di azoto ( $\text{NO}_x$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ), .....



diossido di carbonio ( $\text{CO}_2$ )



ossidi di azoto ( $\text{NO}_x$ )

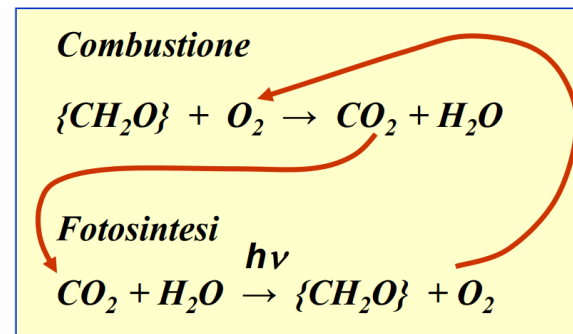
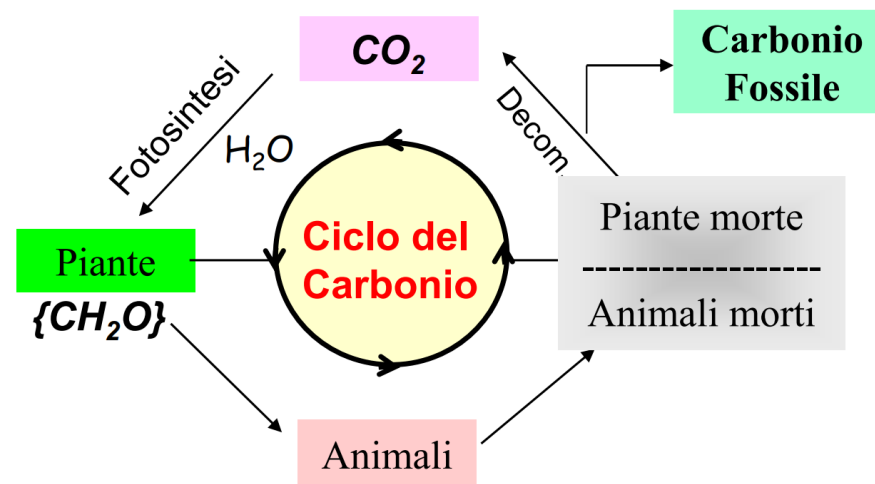


metano ( $\text{CH}_4$ )

L'uso di C fossile e petrolio  
produce una elevata quantità  
di **CO<sub>2</sub>**



# Ciclo del Carbonio



**Dal processo di fotosintesi vengono fissate complessivamente circa  $2 \times 10^{11}$  ton di carbonio all'anno, con un contenuto energetico equivalente a 70 miliardi di tonnellate di petrolio, circa 10 volte l'attuale fabbisogno energetico mondiale**

- Dal punto di vista della economia circolare il **CO<sub>2</sub>** è considerato un «**building block**» e non uno scarto.
- Nell'industria chimica, l'uso di CO<sub>2</sub> per la produzione di alcuni prodotti, è a livello di **scala commerciale**.

Circular  
Economy  
Lab



Carbon Fossile

Working C



Industria Chimica,  
Agricoltura

C spento (CO<sub>2</sub>)

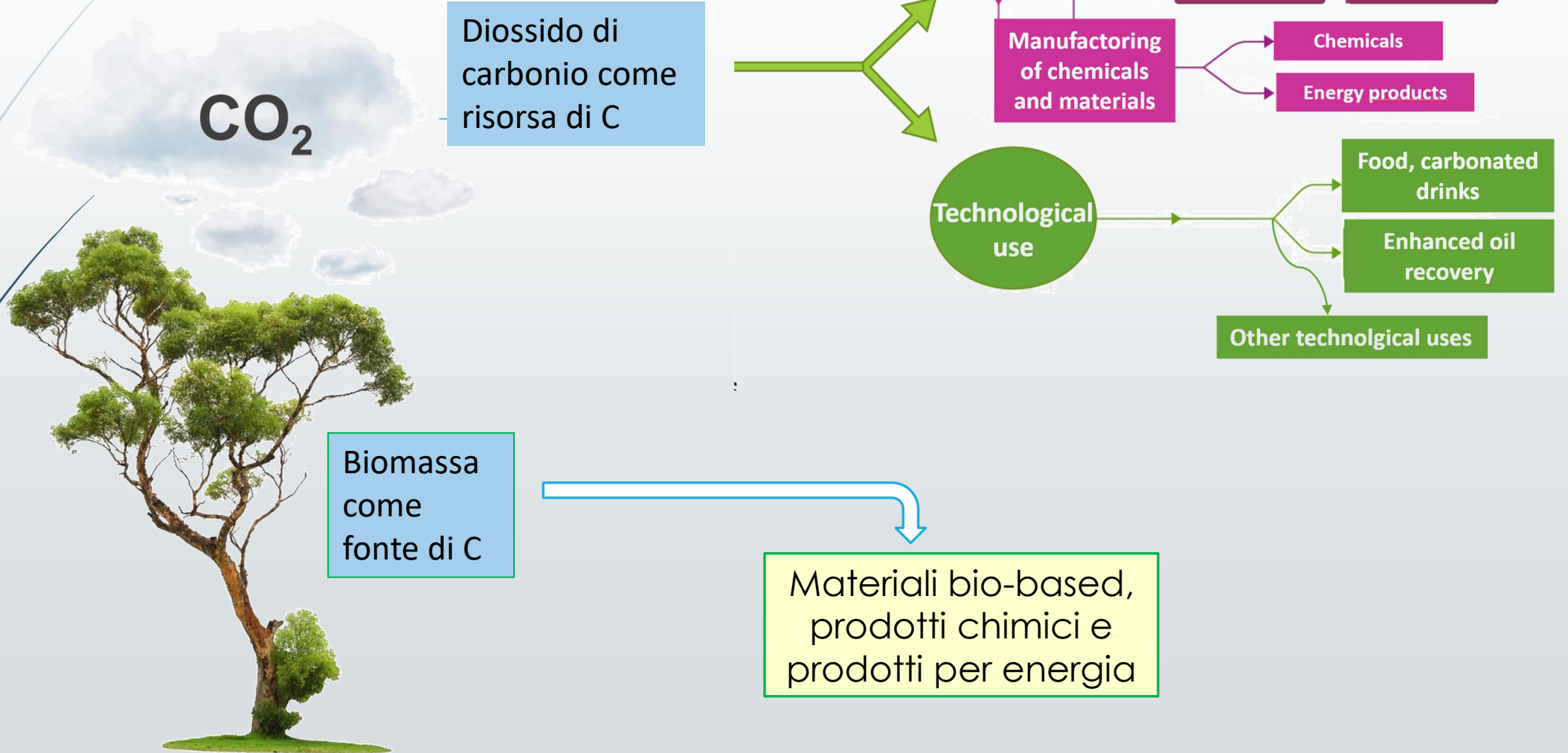
35 Gt<sub>CO2</sub>



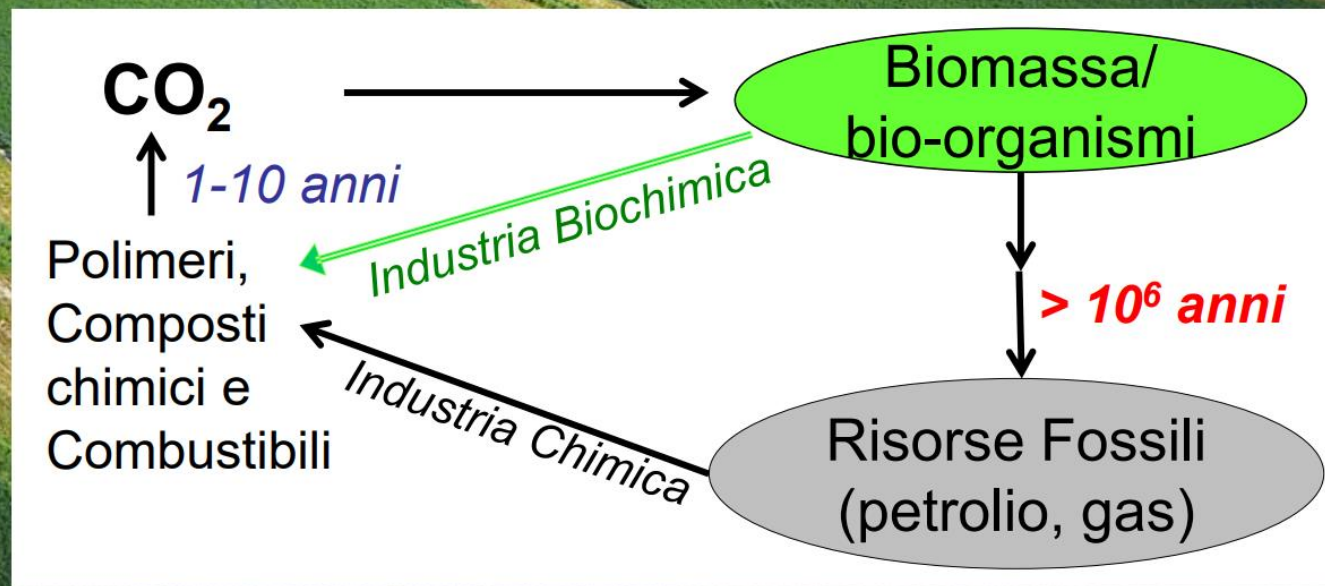
CCS

Il riciclo del carbonio è imperativo CCU

# CO<sub>2</sub> come possibile alternativa al C fossile



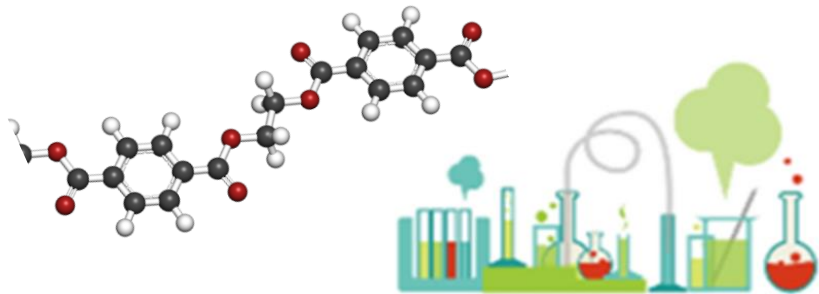
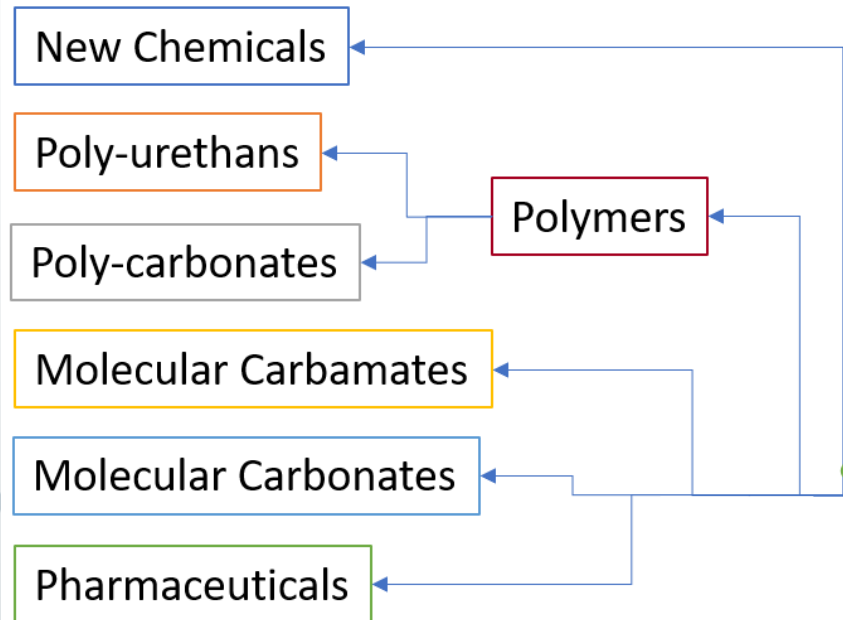
**Produttività media delle risorse agricole e forestali: 10 tonnellate materia secca/ettaro/anno**



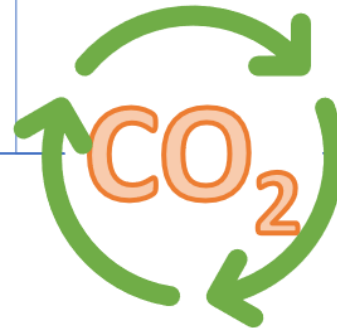
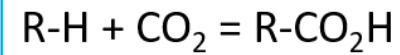
# Classi di reazioni per la conversione di CO<sub>2</sub>

*Bassa energia*

**Class A**



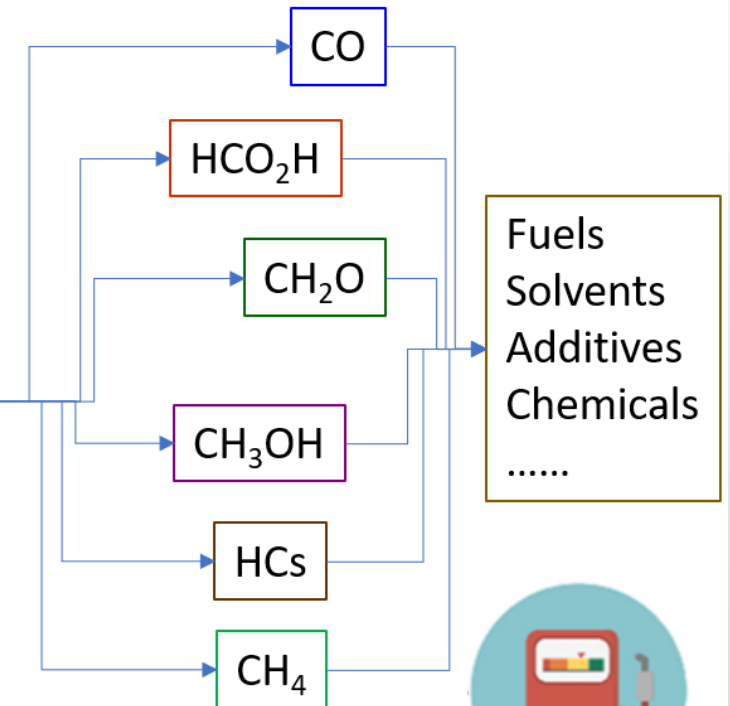
**Class B**



Solar Energy  
Water as H-source

*Elevata energia*

**Class C**





Michele Aresta · Iftekhar Karimi ·  
Sibudjing Kawi *Editors*

# An Economy Based on Carbon Dioxide and Water

Potential of Large Scale Carbon Dioxide  
Utilization

2019

 Springer

## CCU: benefici e prospettive

- Produce prodotti a valore aggiunto da un «rifiuto»
  - Chimica fine, prodotti chimici, materiali, combustibili
- Riduce l'estrazione di combustibili fossili e la dipendenza dalle riserve naturali di carbonio
- Riduce l'immissione di CO<sub>2</sub> nell'atmosfera
- Sfrutta fonti energetiche perenni per la valorizzazione della CO<sub>2</sub>, mimando la Natura
- Può contribuire a sviluppare

**Economia basata su CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O**

Michele Aresta  
Angela Dibenedetto

# The Carbon Dioxide Revolution

Challenges and Perspectives for a Global Society

2021

 Springer

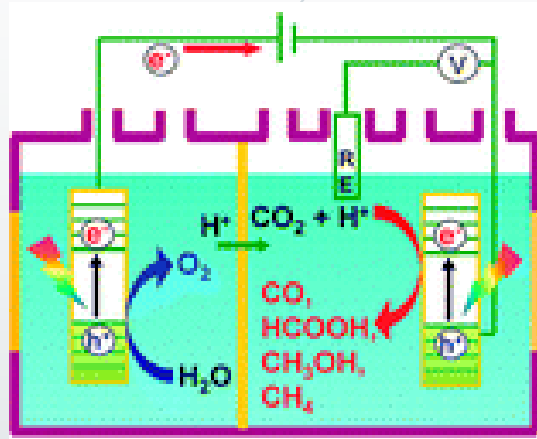
## Nuovi scenari



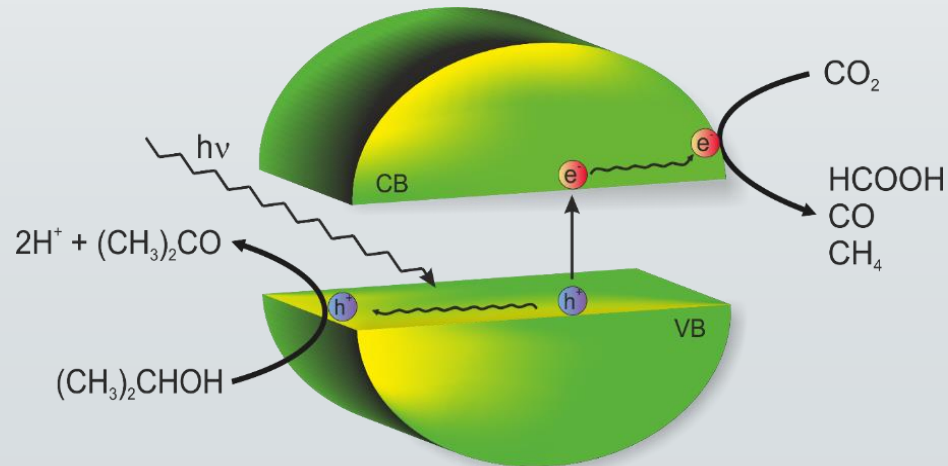
- ❑ Cambio di paradigma nell'approvvigionamento energetico
- ❑ Fonti di energia primaria, utilizzo intensivo e a costi accessibili
  - ❑ Sole
  - ❑ Vento
  - ❑ Stoccaggio di energia solare ed eolica in legami chimici
  
- I processi ad alta energia necessari per la riduzione di CO<sub>2</sub> sono ora possibili grazie all'uso di fonti energetiche non fossili a base di carbonio
- I chimici devono cogliere questa opportunità

# Solar chemistry

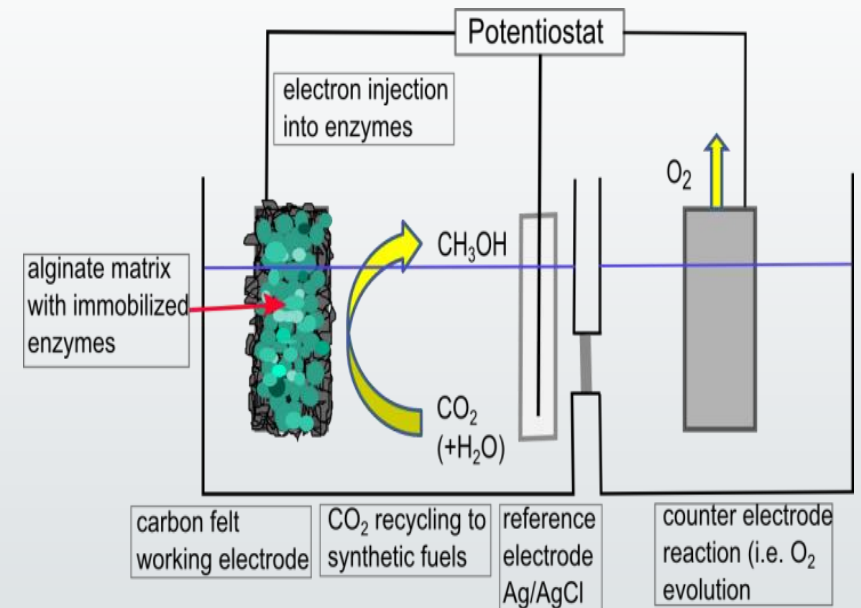
## Fotoelettrocatalisi



## Fotocatalisi



## Fotobioelettrocatalisi



Energy technol. 2016



Call: HORIZON-CL5-2021-D3-03  
Project number: 101083355  
Funded by the European Union



# DESIRED



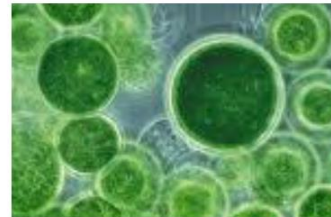
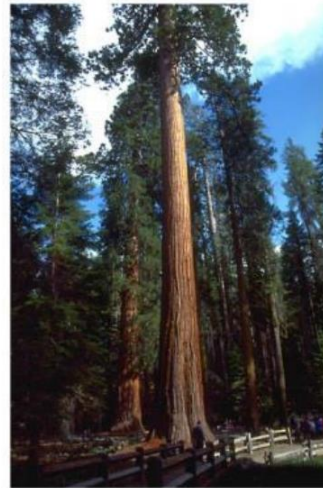
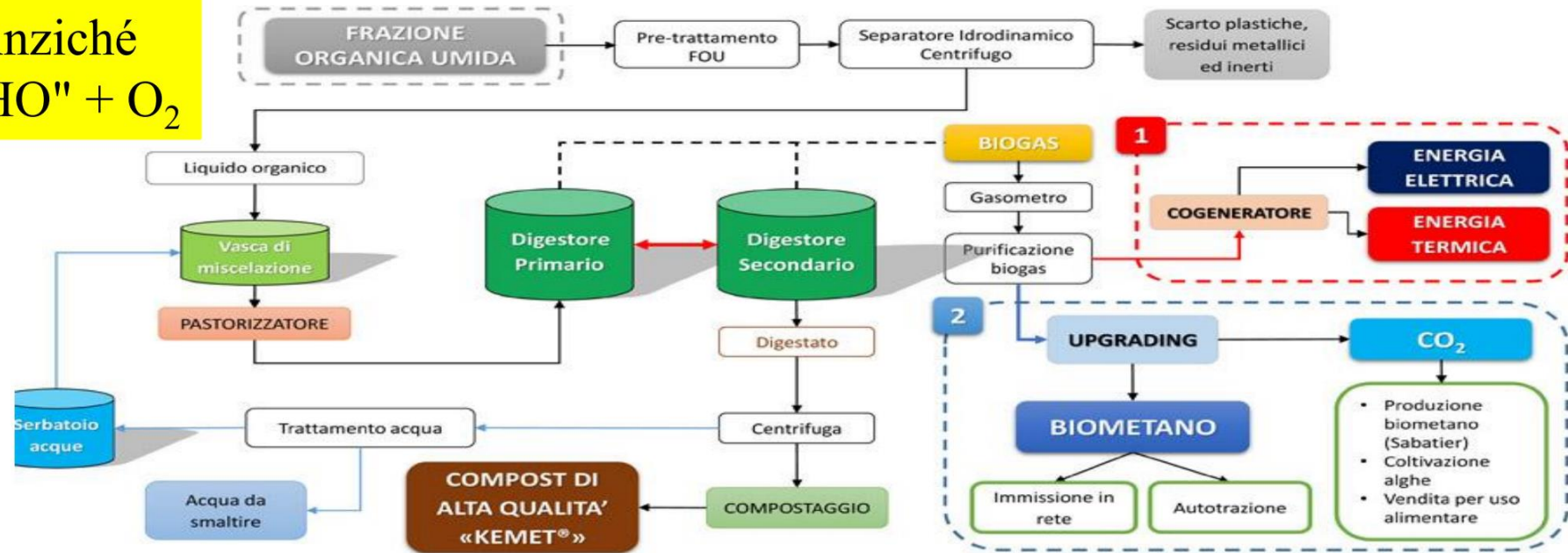
CHARLES  
UNIVERSITY



UNIVERSITY  
OF WARSAW



Anziché  
"CHO" + O<sub>2</sub>



CH<sub>4</sub> + CO<sub>2</sub>

# L'albero della chimica da fonti rinnovabili

## MATERIE PRIME: biomasse

agricoltura scarti  
alimentari rifiuti organici  
alghe silvicoltura



## BIORAFFINERIA



## Prodotti



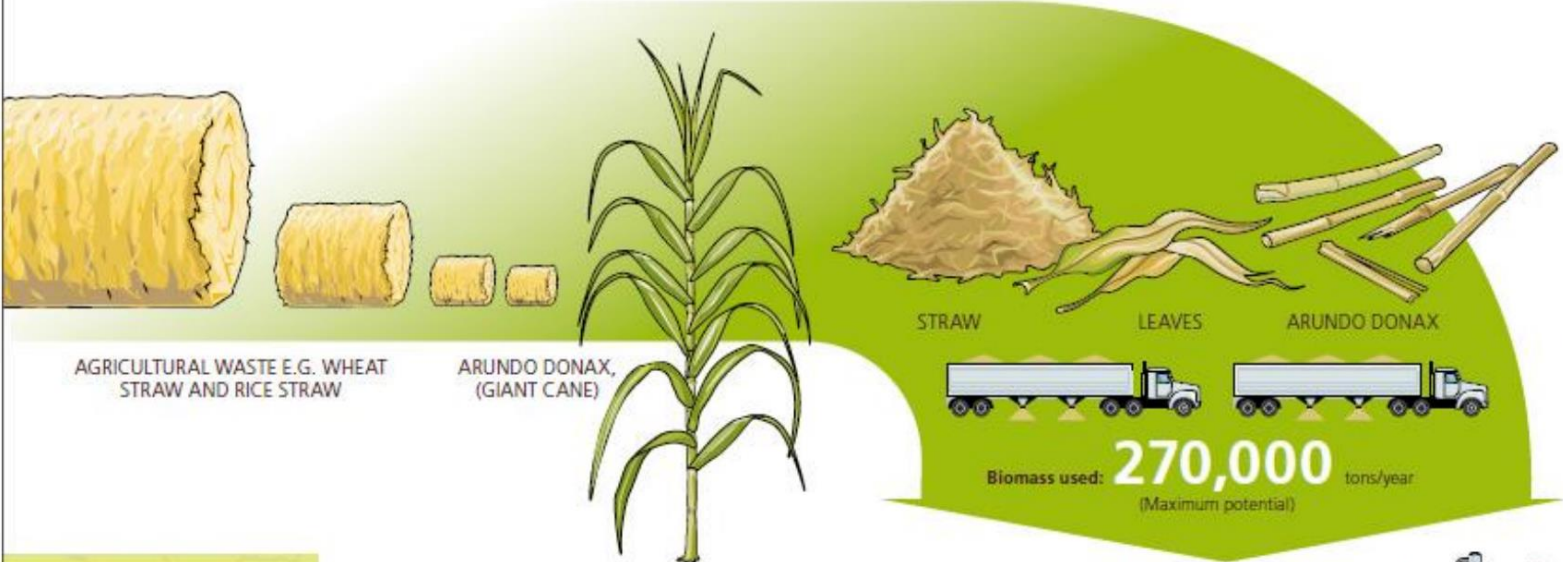
chimica di base plastiche  
e fibre  
catalizzatori e additivi  
oleochimica e lubrificanti  
Solventi  
amidi e derivati  
chimica fine e specialità  
agrofarmaci  
tensioattivi e detersivi  
cosmetici e farmaci

## Energia



# Bioraffineria

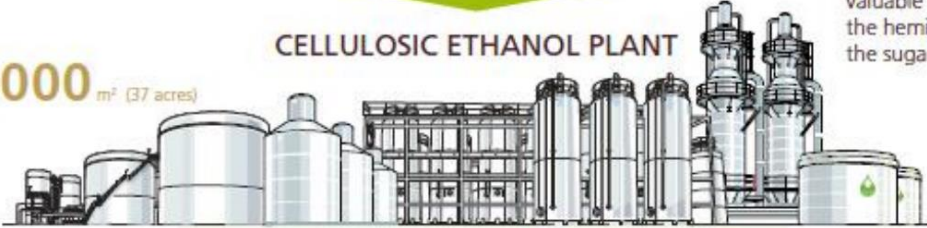
The world's first commercial scale cellulosic ethanol plant is up and running. With a cost of € 150 million it will pave the way for one of the most sustainable alternatives to gasoline. Fuel made from agricultural waste is now a reality.



**100% waste and energy crops**  
The Crescentino plant is a multi-feedstock cellulosic ethanol plant. It can handle agricultural waste from a broad variety of crops e.g. wheat straw and rice straw.

The plant also use energy crops like arundo donax (known as giant cane) as feedstock. The arundo donax is a high yield energy crop that can grow on marginal lands, providing an extra income to the farmers for many years.

**Biomass to ethanol**  
The biomass consists of cellulose, hemicellulose and lignin. With a unique combination of the leading production technology and the most efficient enzymes, we are able to release the valuable sugars from the cellulose and the hemicellulose. In the fermentation the sugars are converted into ethanol.



# Costituenti alimentari della biomassa

**Amido:** 70-75% (frumento)

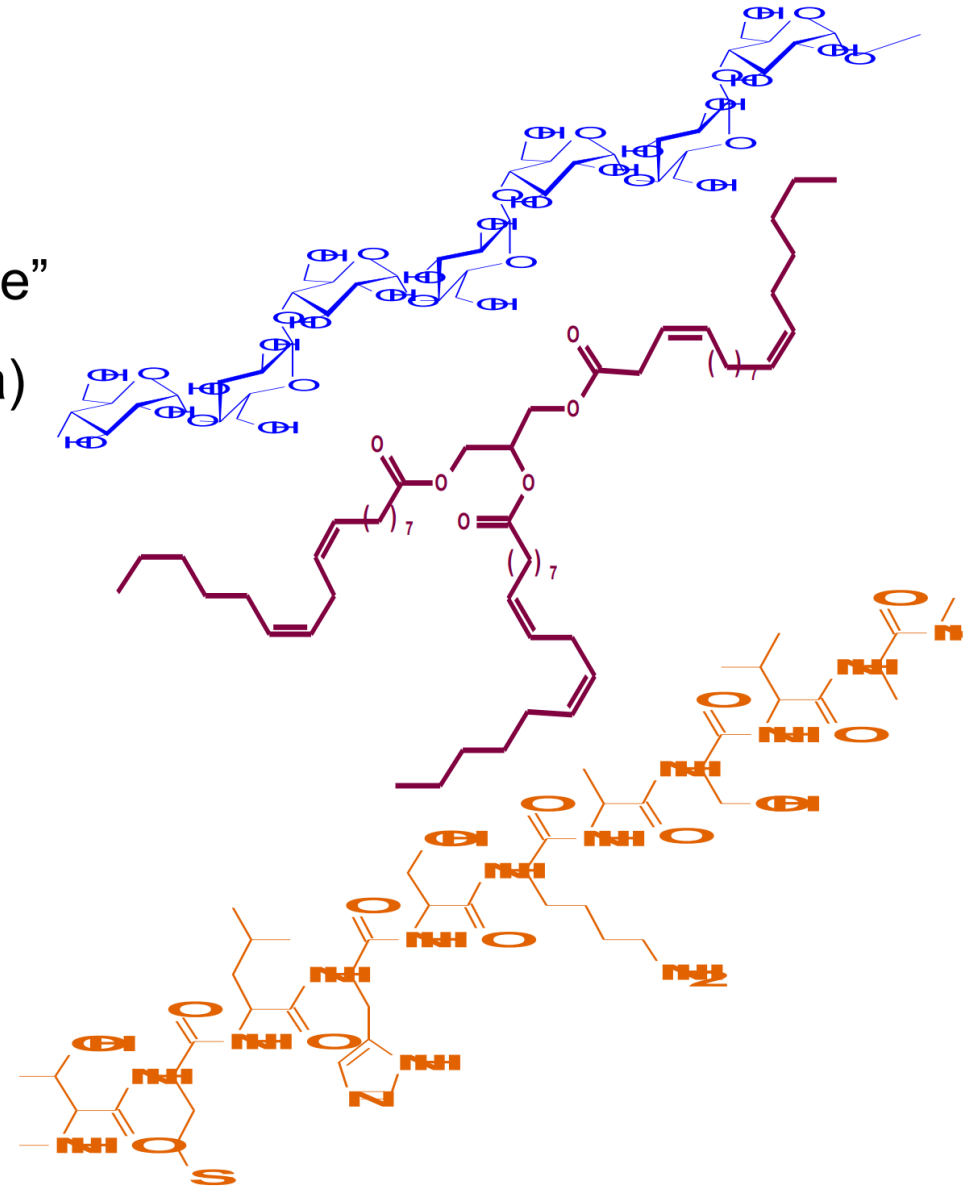
- Rapidamente disponibile e idrolizzabile
- Base per le comuni “bioraffinerie”

**Oli:** 4-7% (frumento), 18-20% (soia)

- Rapidamente separabile dalla pianta
- Base per l’oleochimica e il biodiesel

**Proteine:** 20-25% (frumento), 80% (soia)

- Componente chiave dei cibi
- Applicazioni in prodotti chimici





# Costituenti non alimentari della biomassa

## Lignina: 15-25%

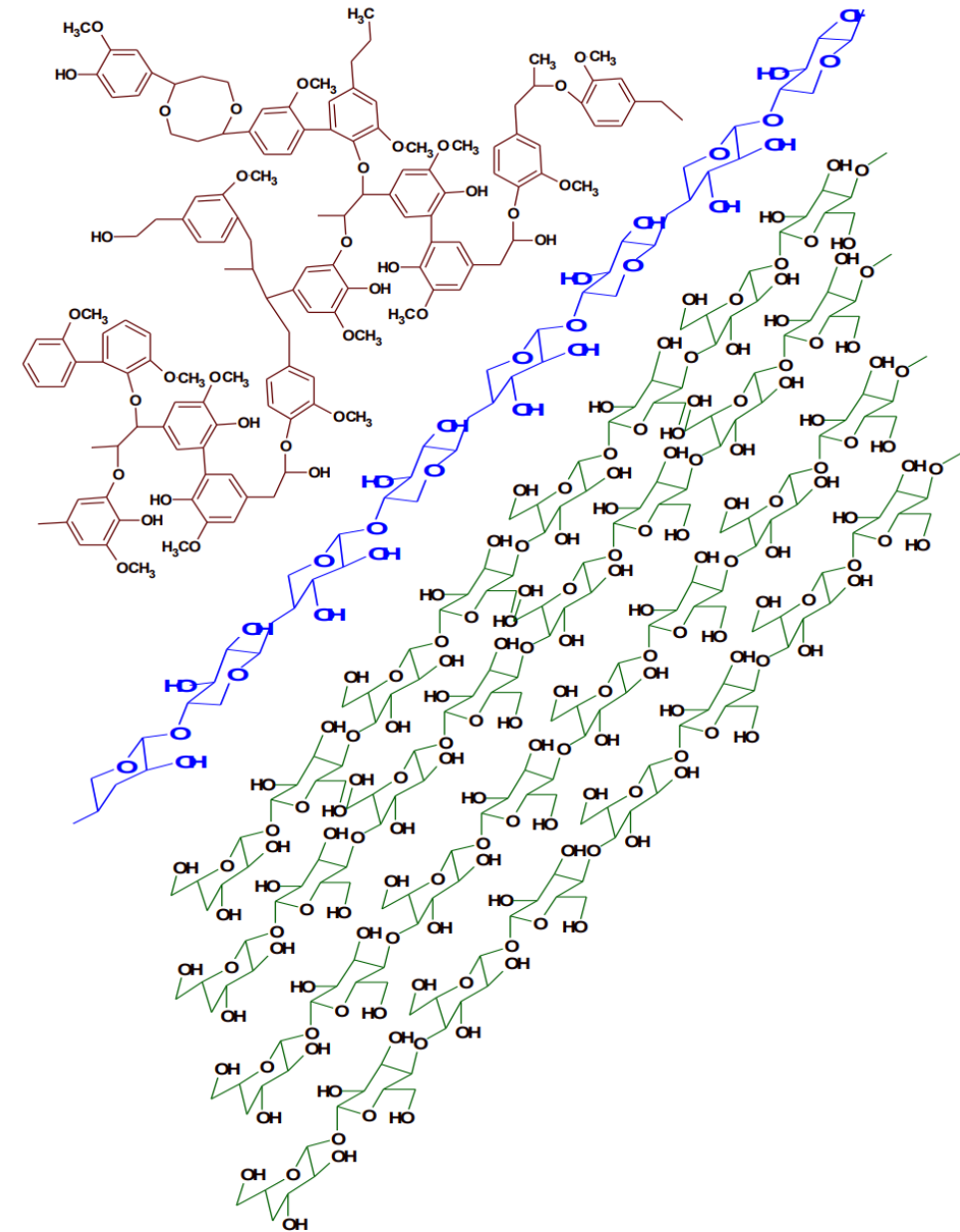
- Complessa struttura aromatica
- Alto contenuto energetico
- Resistente alla conversione biochimica

## Emicellulosa: 23-32%

- Lo xilosio è il secondo zucchero più abbondante nella biosfera
- Polimero di zuccheri a 5- e 6-carboni, marginale alimento biochimico

## Cellulosa: 38-50%

- La forma più abbondante di carbonio nella biosfera
- Polimero del glucosio, valida materia prima biochimica



# BIORAFFINERIA



Piante



Semi



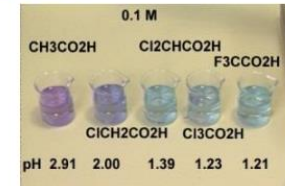
→ Combustibili



→ Solventi



→ Composti Chimici



→ Plastiche



→ Fibre



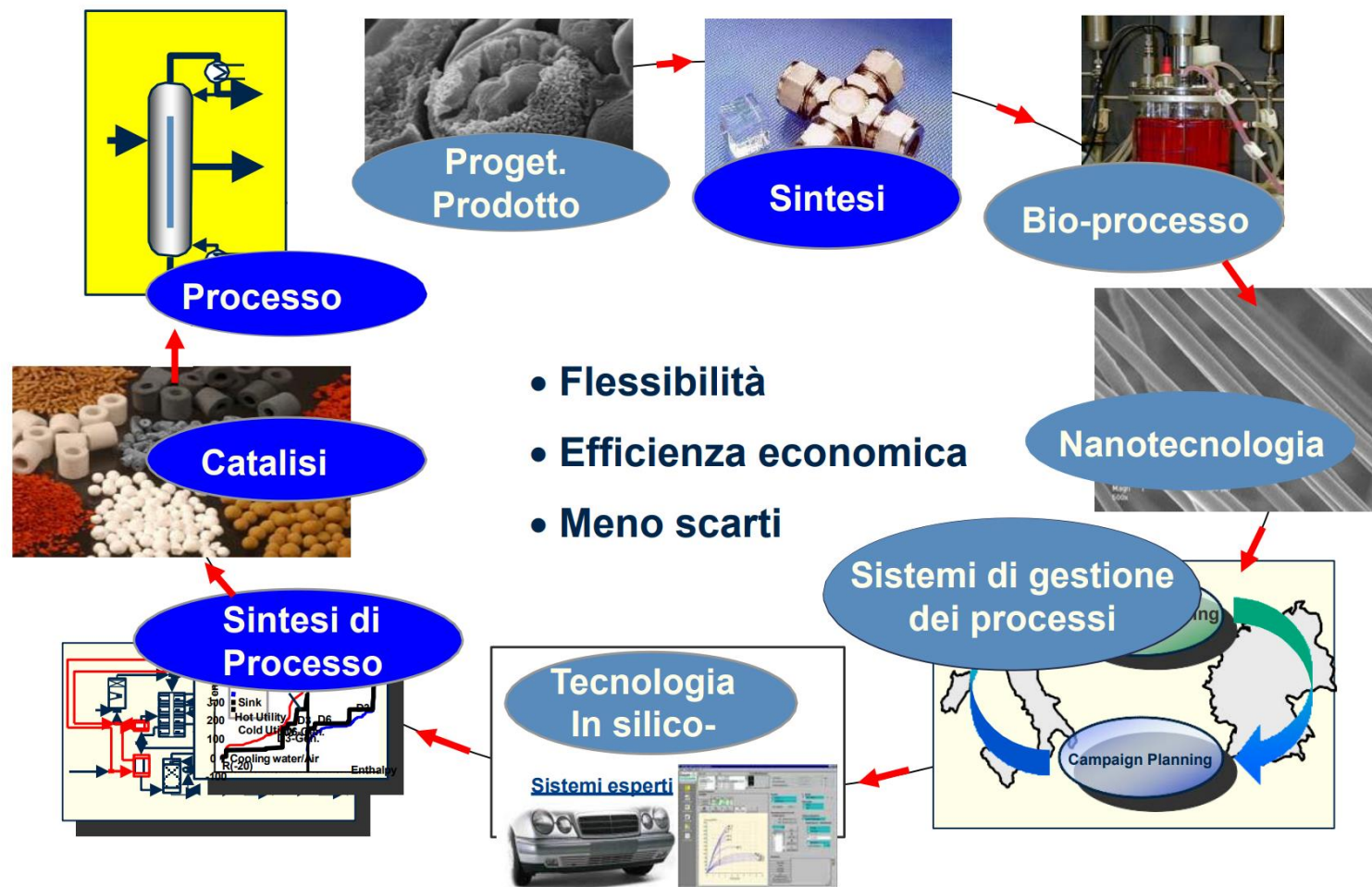
→ Chimica fine



→ Oli



# Integrazione di competenze



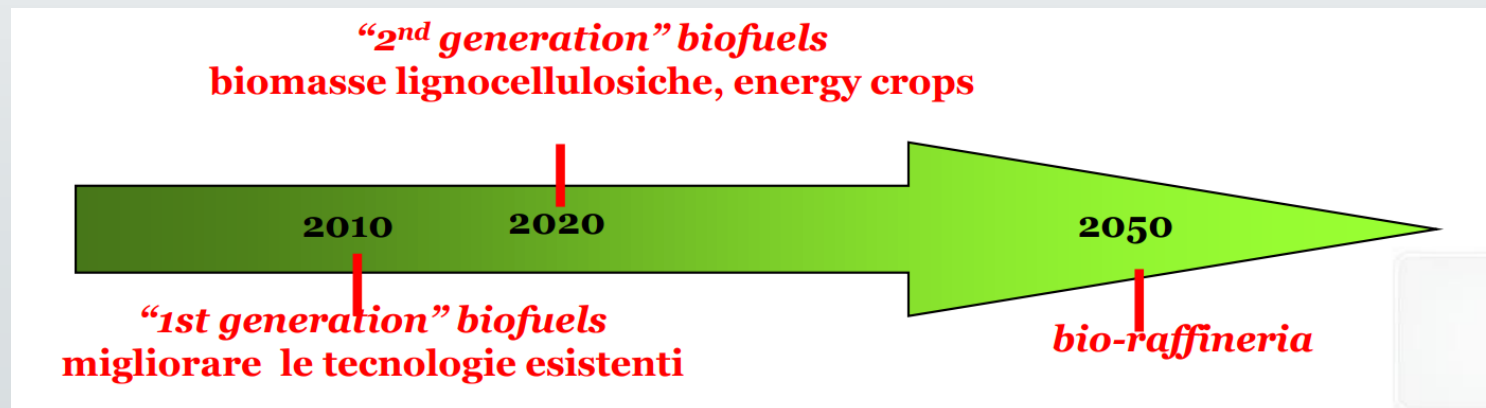


# Tecnologie mature per la valorizzazione energetica di biomasse:

- ▶ combustione diretta:
  - ▶ piccoli impianti ad uso domestico;
  - ▶ impianti per la produzione di calore (mini-teleriscaldamento e teleriscaldamento);
  - ▶ impianti di cogenerazione ;
  - ▶ impianti per la produzione di energia elettrica
- ▶ biocombustibili liquidi di 1° generazione:
  - ▶ biodiesel da specie oleaginose e bioetanolo da specie zuccherine e amidacee
- ▶ biogas:
  - ▶ da fermentazione anaerobica di reflui zootecnici, civili o agroindustriali

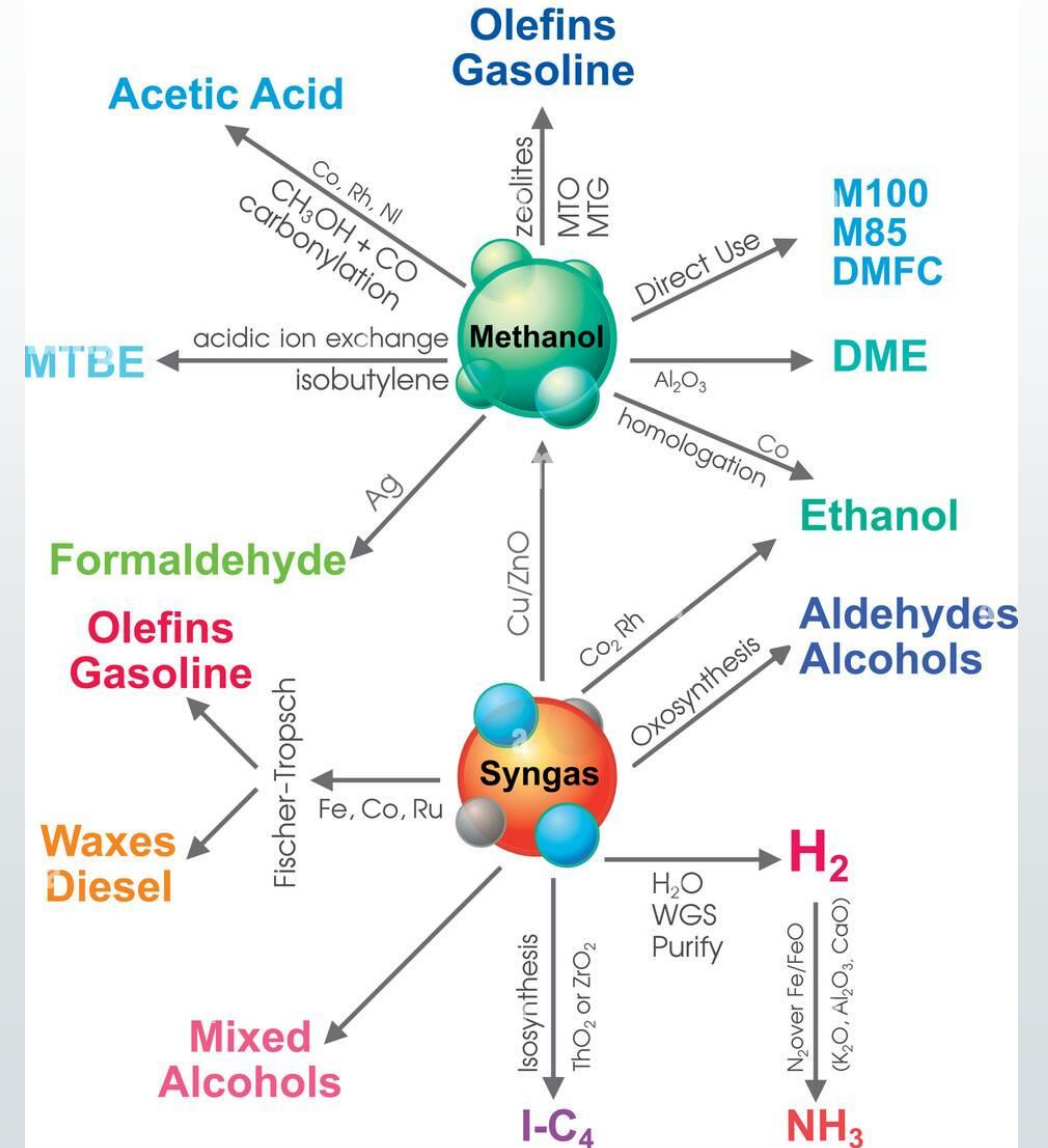
# Tecnologie in fase di sviluppo per la valorizzazione energetica di biomasse:

- ▶ gassificazione: – processo di parziale ossidazione ad alta temperatura → syn-gas
- ▶ pirolisi: – decomposizione termica in assenza di ossigeno → olio di pirolisi
- ▶ biocombustibili liquidi di 2° generazione: – da matrice lignocellulosica (Steam Explosion, gassificazione)

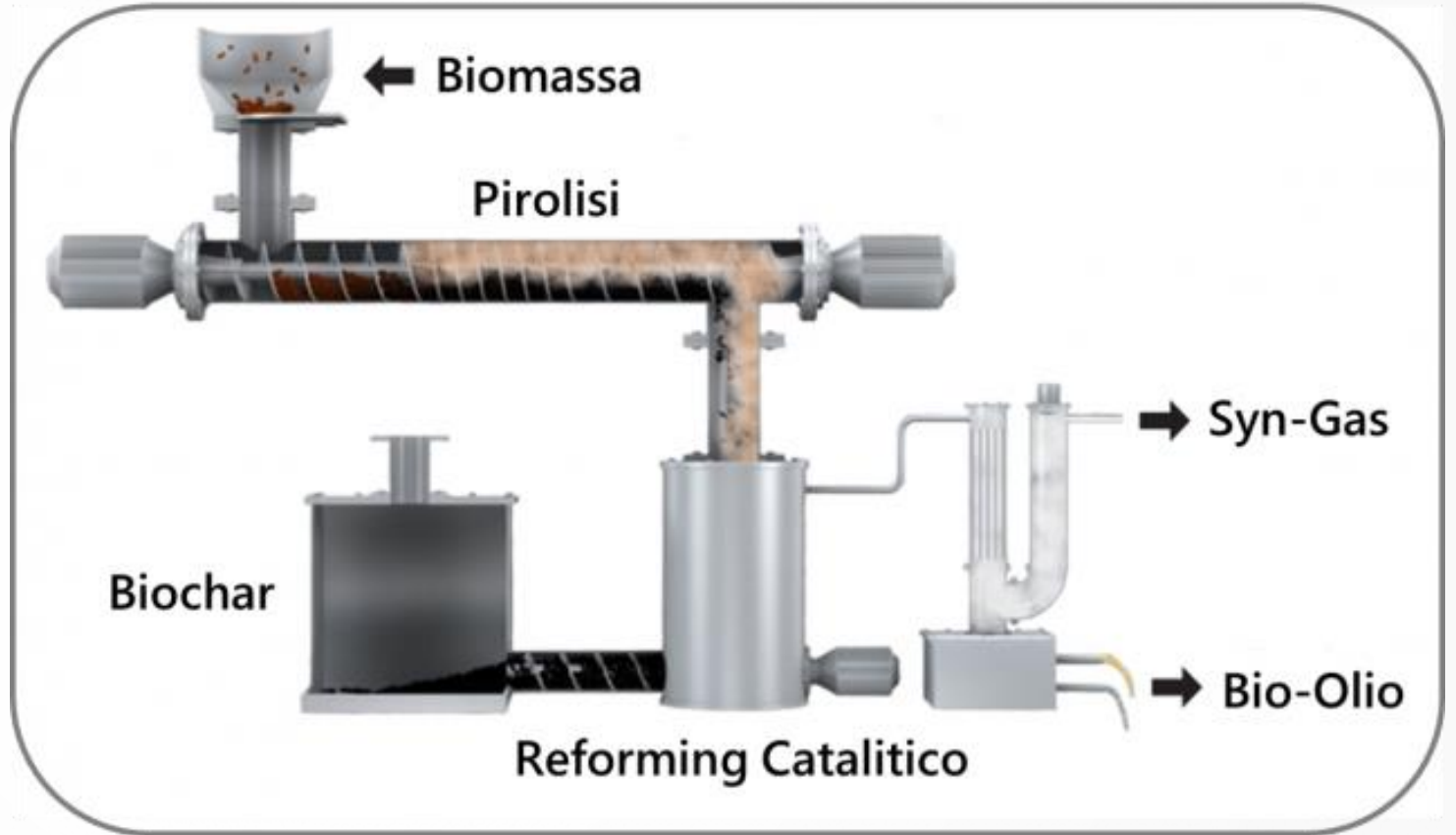


# Products from Syngas

- Il Syngas o gas di sintesi, è un gas combustibile miscela costituita principalmente da idrogeno e monossido di carbonio, e molto spesso alcuni di biossido di carbonio.



# Pirolisi





# Sviluppo delle bioenergie:

- ▶ molteplici aspetti e criticità dipendenti da fattori locali (climatici, agronomici, economici, sociali, ...)
- ▶ aspetti tecnologici
- ▶ valutazione di impatto ambientale dell'intera filiera (LCA) (emissioni indirette e dirette, reflui e materiali di scarto, indicatori energetici)
- ▶ gestione del territorio e delle risorse



# Aspetti da valutare:

- ▶ emissioni, reflui e prodotti di scarto
  - ▶ sistemi di abbattimento e pulizia fumi,
  - ▶ utilizzo/smaltimento prodotti di scarto,
  - ▶ scelta Best Available Techniques
- ▶ produzione centralizzata e distribuita di energia
  - ▶ punti di emissione e qualità dell'aria
- ▶ produzione ed utilizzo dell'energia in ambito locale
- ▶ competitività con il settore alimentare fuel, feed, food, prezzi del mercato



## e l'ambiente....

- ▶ uso del terreno, acqua e biodiversità
  - ▶ tipo di coltura (utilizzo specie locali con anche altre funzioni ecologiche);
  - ▶ tipo di coltura sostituita;
  - ▶ metodo di coltivazione ed accrescimento (limitare uso di fertilizzanti, irrigazione);
  - ▶ metodo di raccolta e trasformazione



**risposte e modelli  
con validità locale**

**costi e incentivi** → alto costo delle bioenergie?  
politiche di incentivazione?

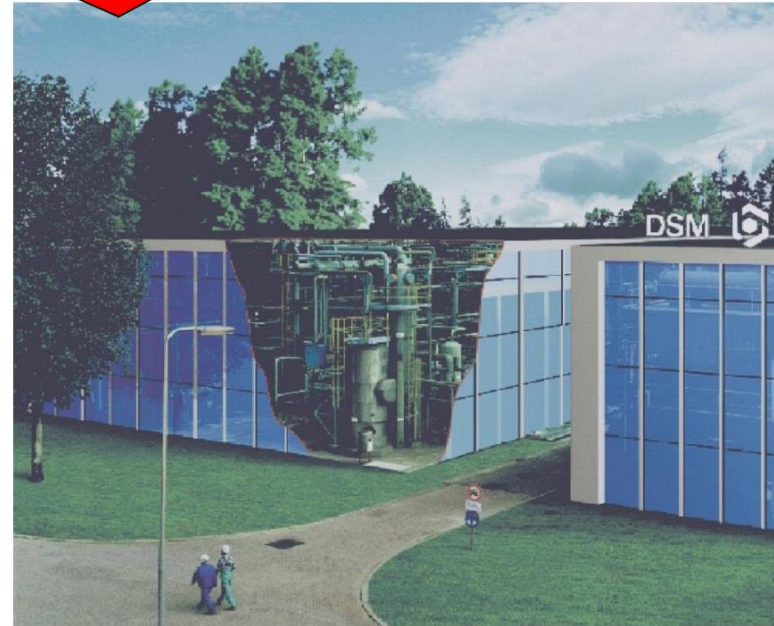
L'energia proveniente da FER incrementerà nel prossimo futuro in risposta a politiche di sviluppo dedicate.

- ▶ E' necessario tuttavia un consumo più consapevole dell'energia da parte dei consumatori finali così da ridurre gli sprechi, efficienza e risparmio energetico.
- ▶ Le bioenergie contribuiranno in modo significativo allo sviluppo delle FER ma:
  - ▶ necessario definire in modo corretto la loro sostenibilità
    - ▶ Ambientale (uso del suolo, filiere del legno a km 0...)
    - ▶ Economica (competitività rispetto ad altre fonti...)
    - ▶ Sociale (ricadute sulle società ad es. emissioni...)
- ▶ Ruolo della ricerca fondamentale per sviluppare nuove tecnologie per l'impiego delle FER

# Apirazione dell'industria chimica

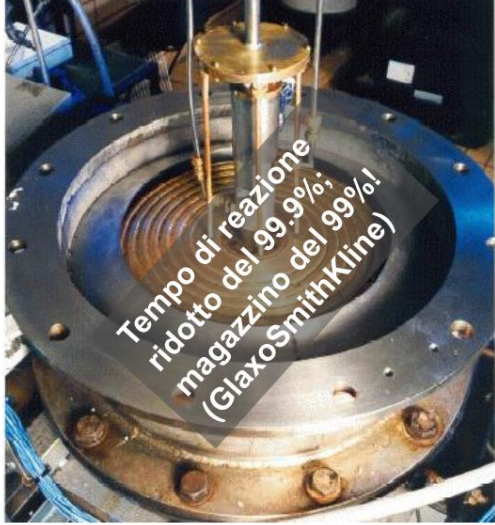


**Dove siamo ...**



**... e dove vorremmo essere**

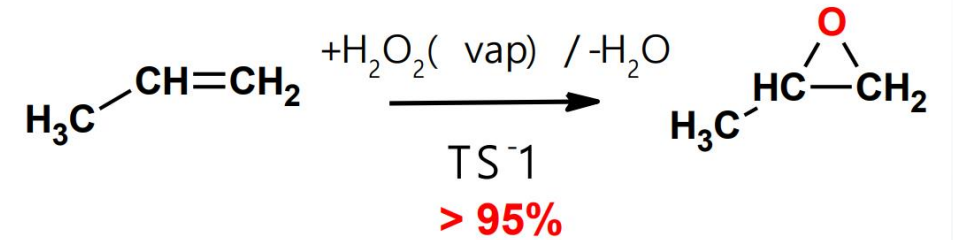
# Intensificazione di processo





## Reattore multistrutturato

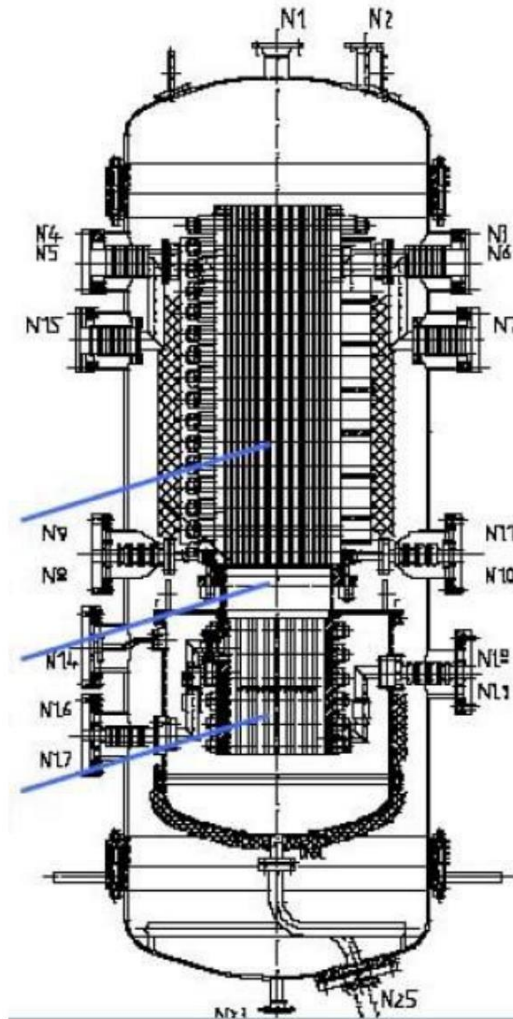
### Modello di Sintesi :



Reazione  
(microstrutturato)

Mescolamento  
(microstrutturato)

evaporazione  $\text{H}_2\text{O}_2$   
(microstrutturato)



### Peculiarità:

- Modulare (operazioni unitarie, capacità)
- Multi-funzione (catalisi e reazione)
- Reazione sotto pressione
- Reazioni in regimi esplosivi

**$\text{H}_2\text{O}_2$  al 100% !!!**

# Reattori industriali



**Farmaci**



**Prodotti chimici  
(acido lattico)**



**Enzimi**

## Azioni quotidiane



CONDIVIDERE  
L'AUTO



RIDURRE L'USO  
DELL'ACQUA



USARE BORSE  
IN TELA



NON SPRECCARE  
IL CIBO



RICICLARE



SPEGNERE LA LUCE  
QUANDO NON  
NECESSARIA



DONARE VECCHI  
VESTITI



USARE LA BICI  
QUANDO POSSIBILE



PIANTARE L'ORTO



UTILIZZARE  
STOVIGLIE  
COMPOSTABILI

Grazie per l'attenzione







DIPARTIMENTO DI  
CHIMICA



# SPRING

*Sustainable Processes and Resources  
for Innovation and National Growth*

Italian Cluster of Green Chemistry

**Vice presidente della  
Conferenza  
Internazionale sulla  
Utilizzazione del  
Diossido di Carbonio**



Bari, Italy - June 25-29

**SET Plan – Gruppo di  
Contatto Nazionale  
sulle CCUS**



**Italian Group on CO<sub>2</sub>**

**RUCADI**

**Recovery and Utilization  
of CARBON DIOXIDE**



**Just Transition Platform**

CHEMICALS



**Gruppo  
Bioeconomia  
Puglia**

**C  
I  
R C C** **Consorzio  
Interuniversitario  
REATTIVITA' CHIMICA e CATALISI**

Generatori di soluzioni