

# Le sfide dell'Ingegneria Chimica per la transizione energetica, la sostenibilità e l'economia circolare



**POLITECNICO**  
MILANO 1863



chemeng\_polimi



chemengpolimi

# Idrogeno – Da Commodity a Vettore Energetico

- L'idrogeno attualmente è una **commodity per l'industria chimica** (ammoniaca – cibo!, processi petrolchimici, ...) – ricavato per steam-reforming di idrocarburi – idrogeno «grigio» (emissioni di CO<sub>2</sub>)
- L'idrogeno può anche **immagazzinare una grande quantità di energia per unità di massa** e liberarla senza produzione di CO<sub>2</sub>

Da commodity a **vettore energetico**: come?

**Idrogeno**  
«**turchese**»

Ricavato per pirolisi degli  
idrocarburi

**Idrogeno**  
«**viola**»

Ricavato per elettrolisi  
dell'acqua da energia  
nucleare

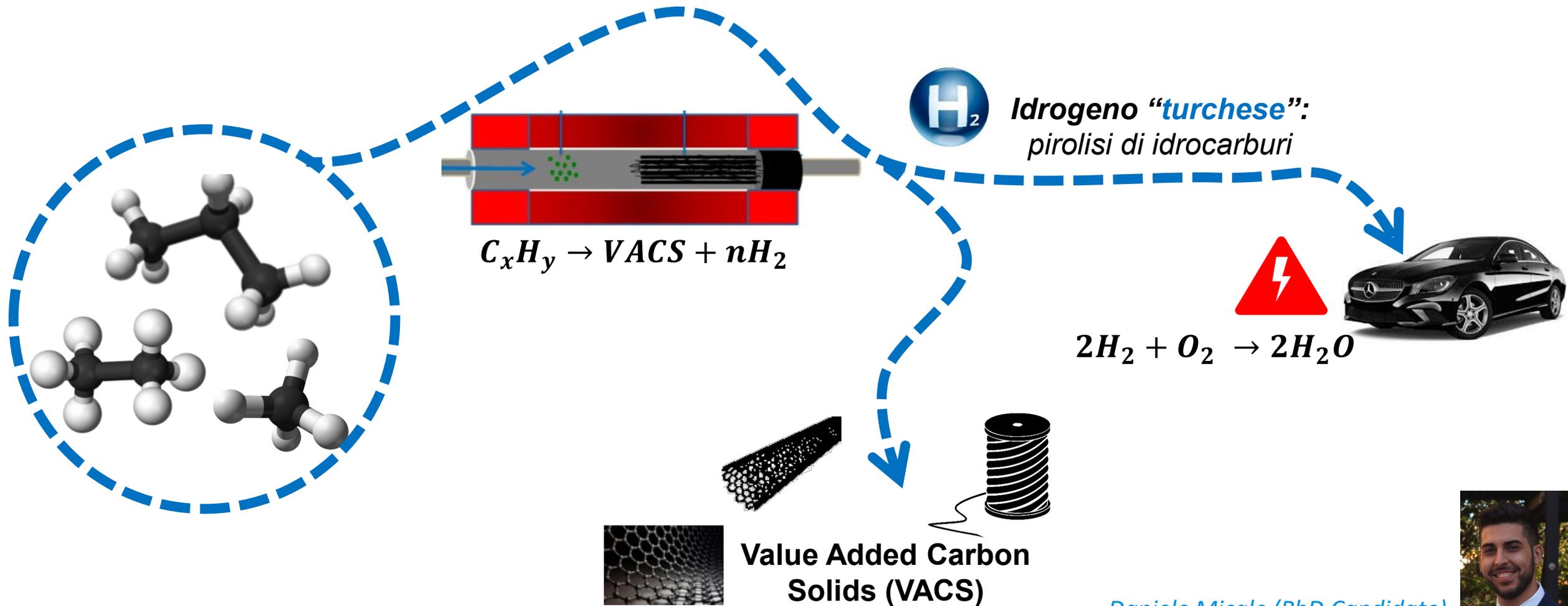
**Idrogeno**  
«**verde**»

Ricavato per elettrolisi  
dell'acqua da energia  
rinnovabile

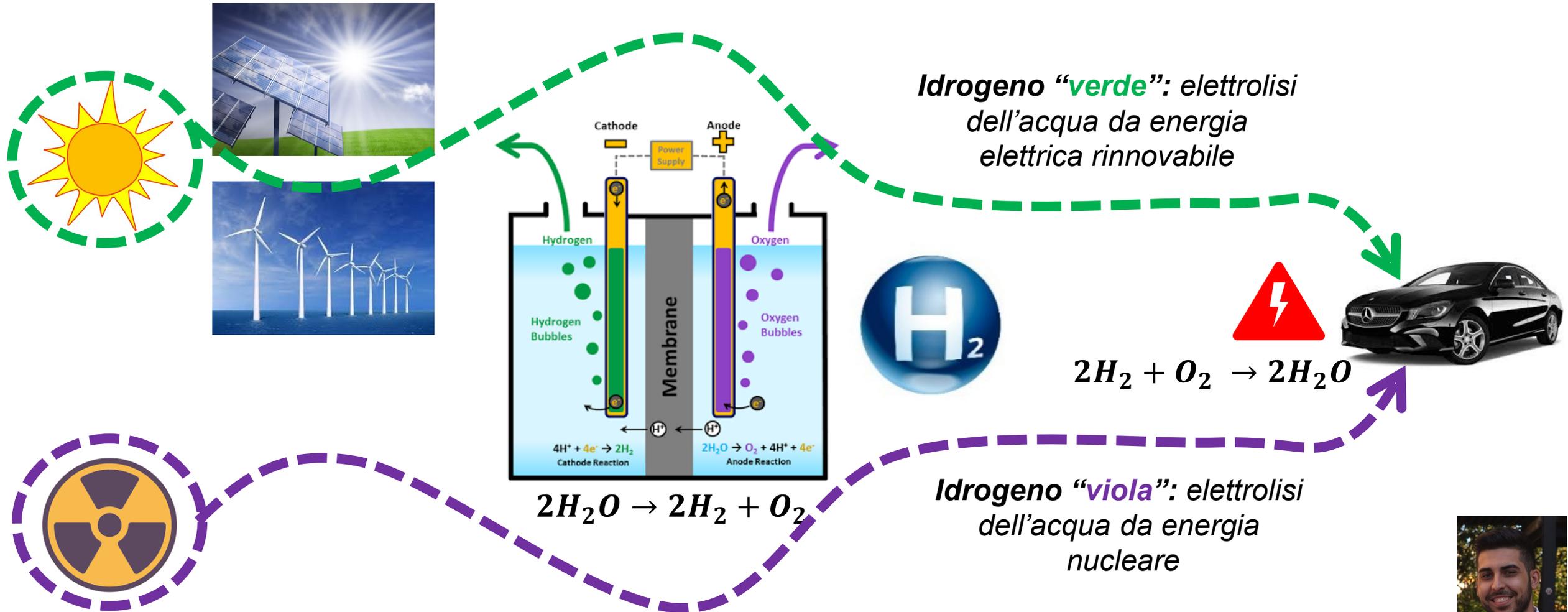
Daniele Micale (PhD Candidate)



# Idrogeno – Da Commodity a Vettore Energetico



# Idrogeno – Da Commodity a Vettore Energetico



Daniele Micale (PhD Candidate)



# Carbon Capture and Storage (CCS)

## What?



CCS is an **emission reduction process** designed to prevent large amounts of CO<sub>2</sub> from being released into the atmosphere. It is considered a key technology to **reduce greenhouse gas emissions**.

## How?



CCS is a **three-step process**, involving:

- capturing the CO<sub>2</sub>;
- transporting it;
- storing it deep underground.

## Why?

**Industries** (cement, iron and steel, refineries, ...) have **inherent CO<sub>2</sub> emissions**.

CCS can provide a **key contribution** to tackling these sectors' emissions, in view of **reducing global warming**.



## Where?

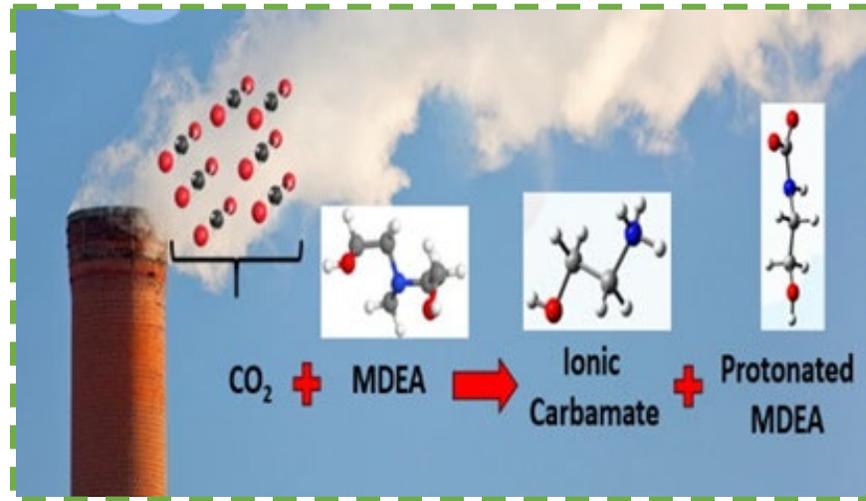


CO<sub>2</sub> can be stored in:

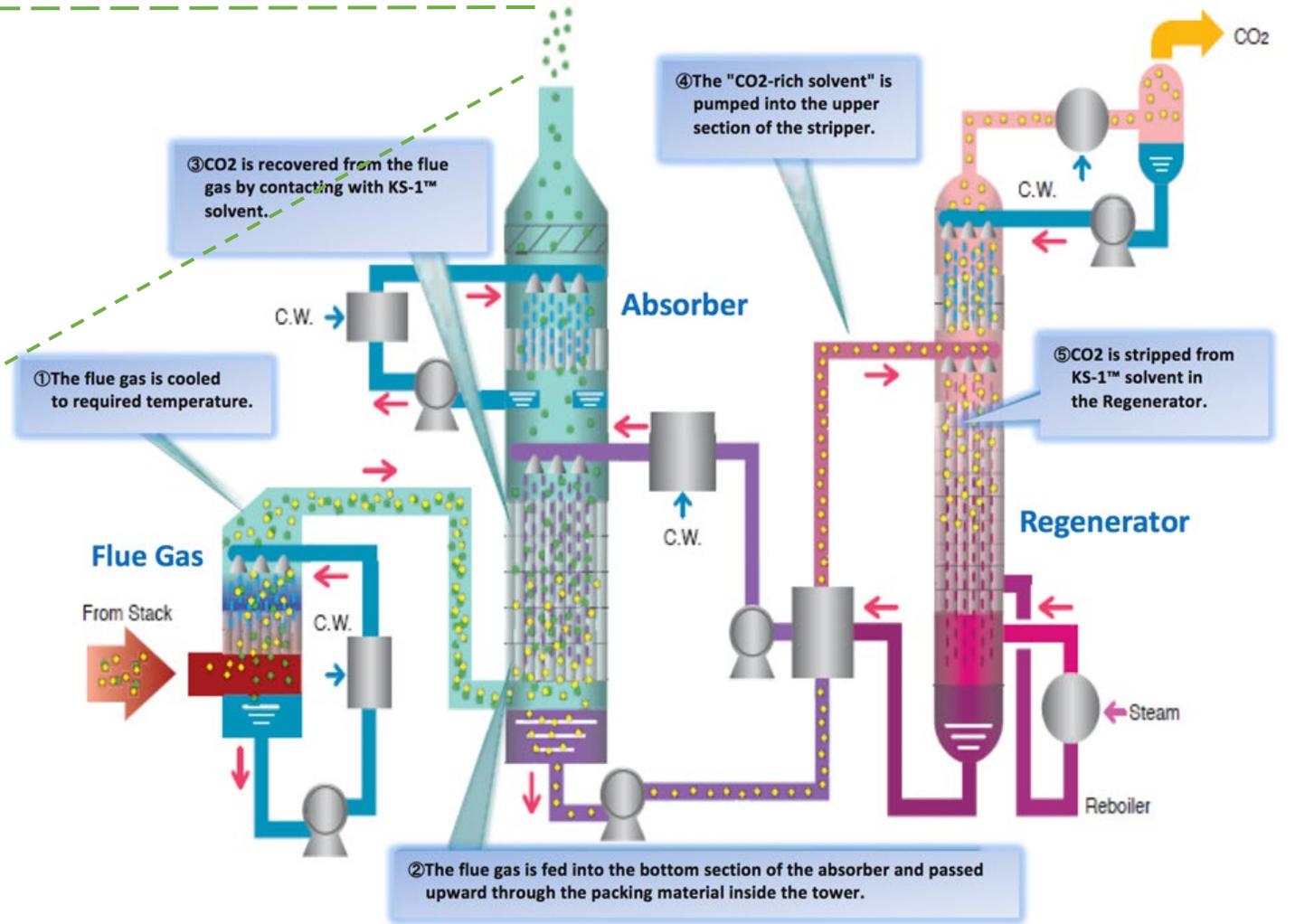
- **deep geological storage;**
- **mineral storage.**

The **North Sea** and the **US Gulf Coast** are believed to contain a large amount of **geological storage space**.

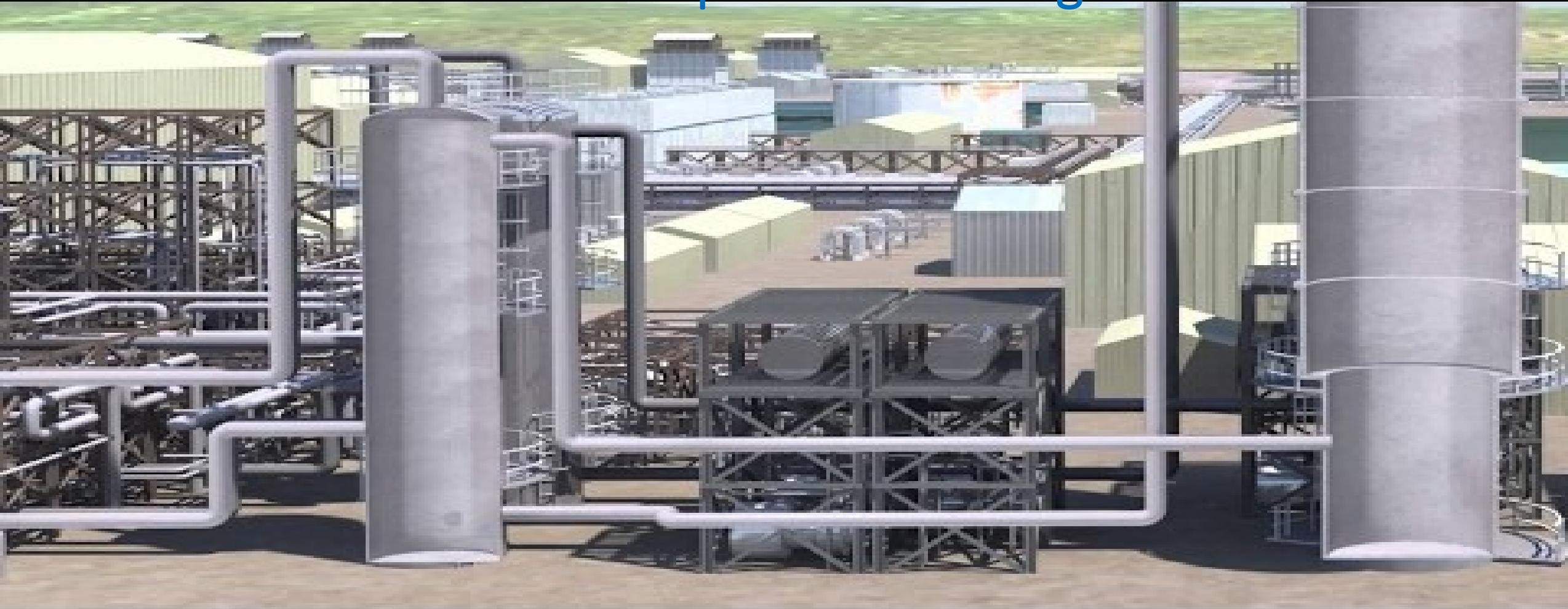
# Carbon Capture: how does it work?



The **correct modelling** and **simulation** of the  $\text{CO}_2$  capture processes is crucial for building the industrial plant!



# Carbon Capture and Storage



# Progettare un impianto chimico utilizzando un simulatore di processo

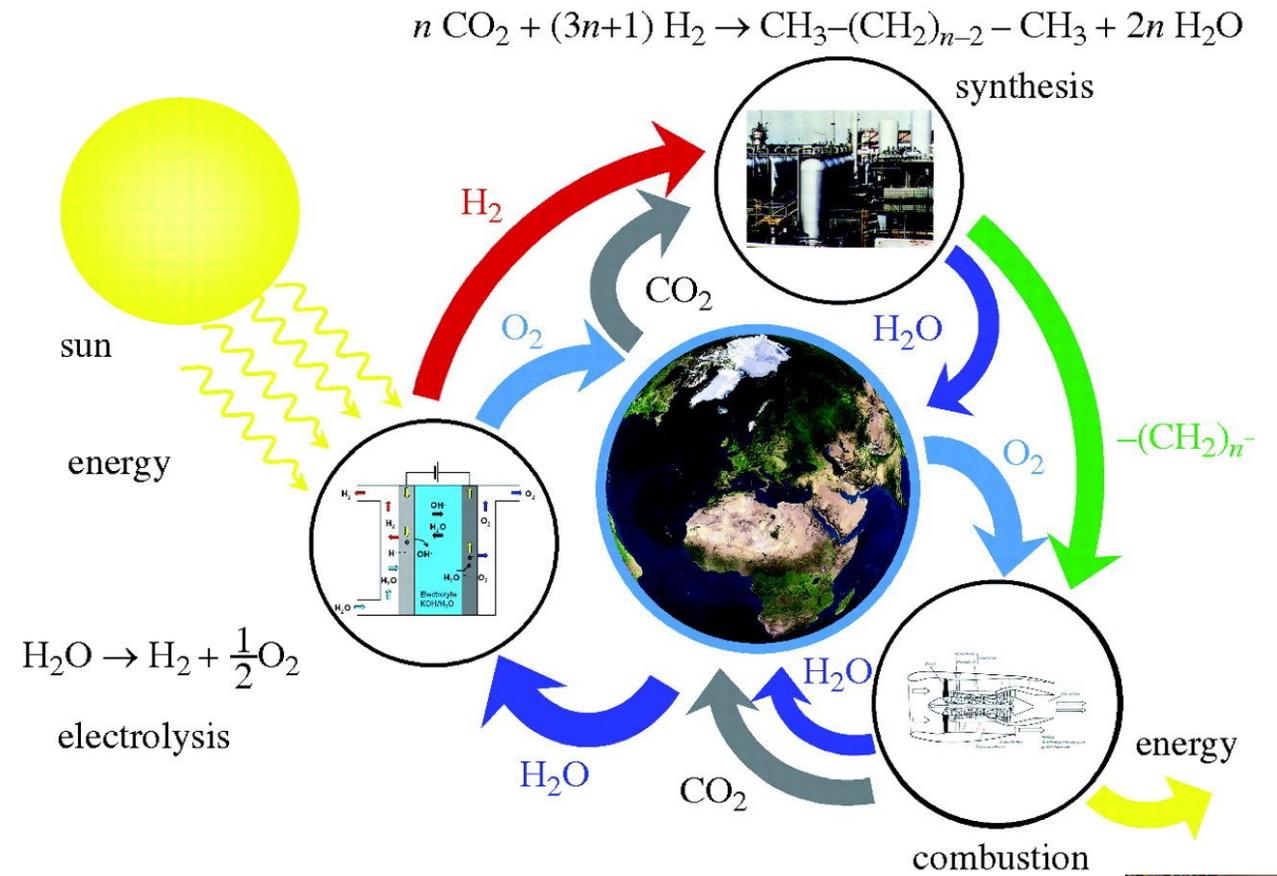
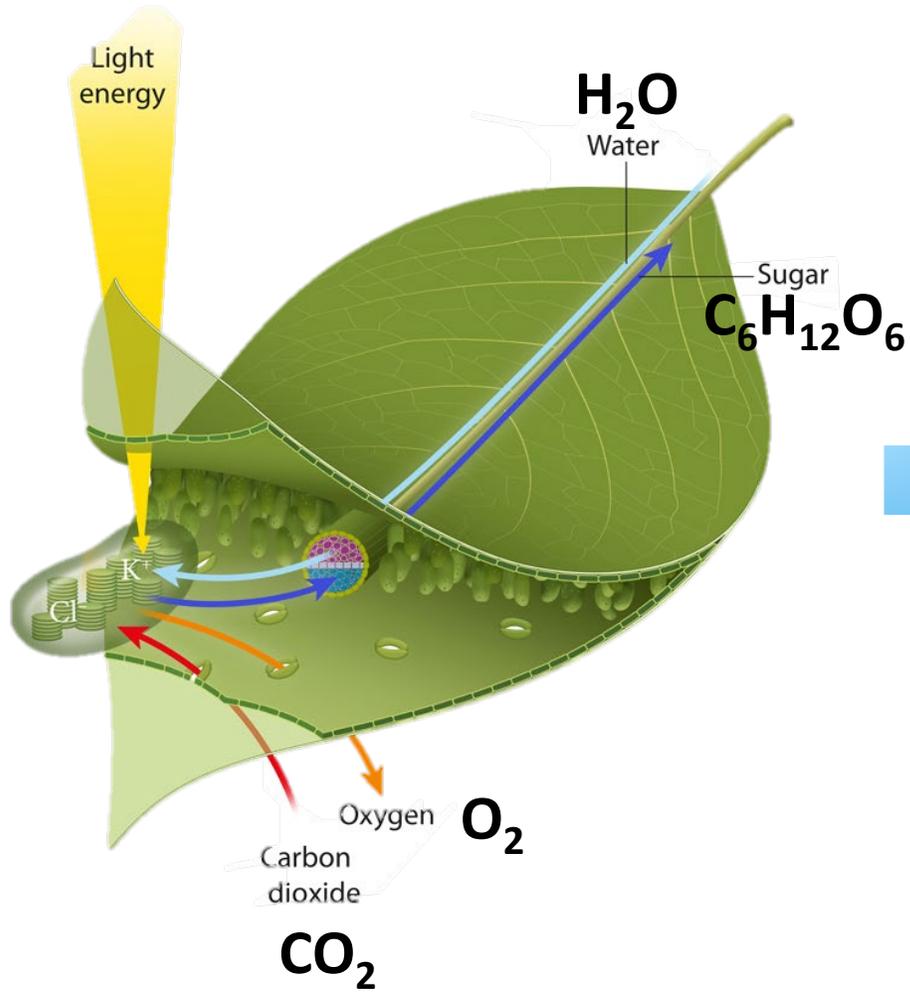


*Dal corso «Process Systems Engineering»*

*Andrea Isella (PhD Candidate)*



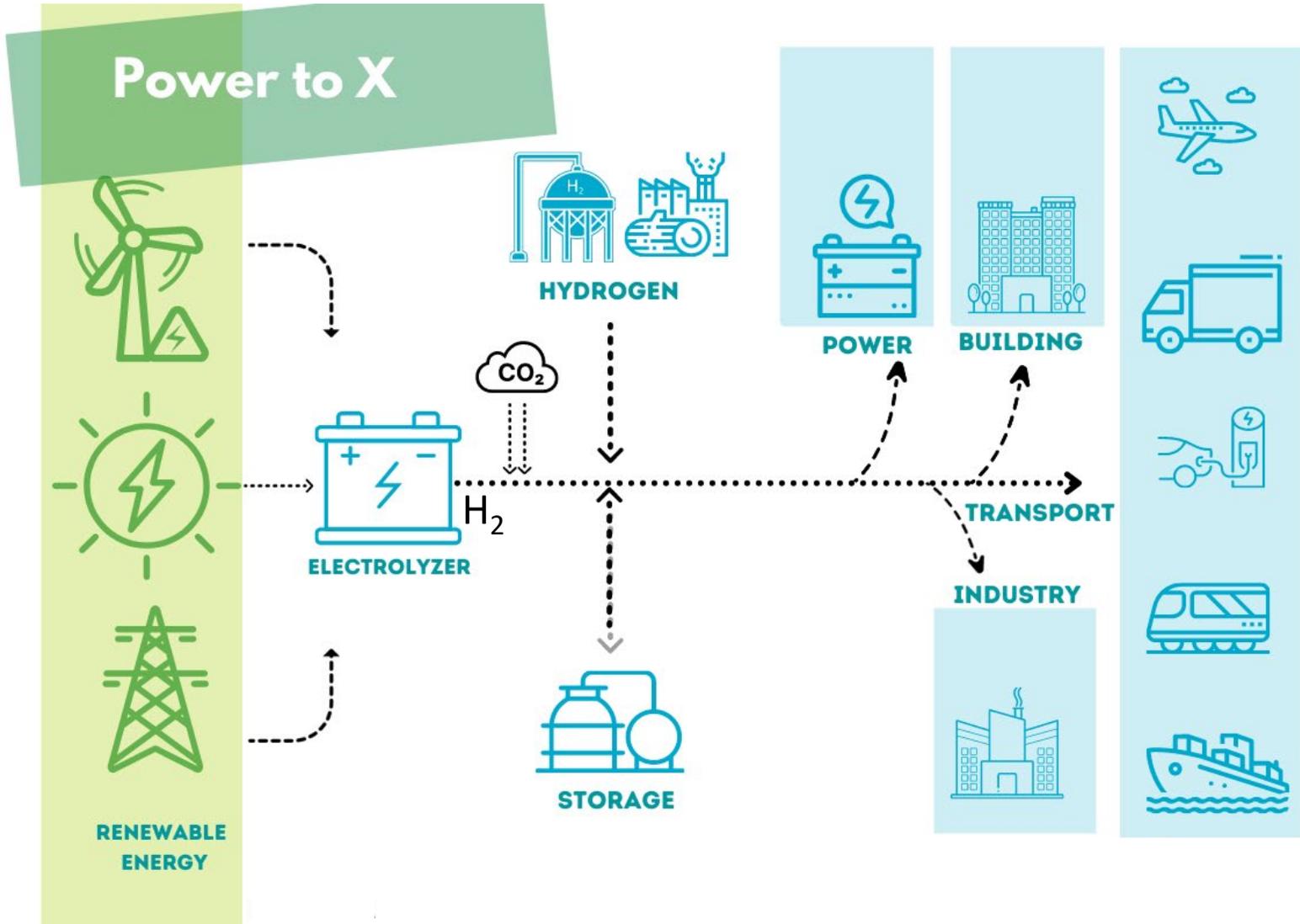
# CO<sub>2</sub> Utilization



Clara Larghi (PhD Candidate)



# CO<sub>2</sub> Utilization

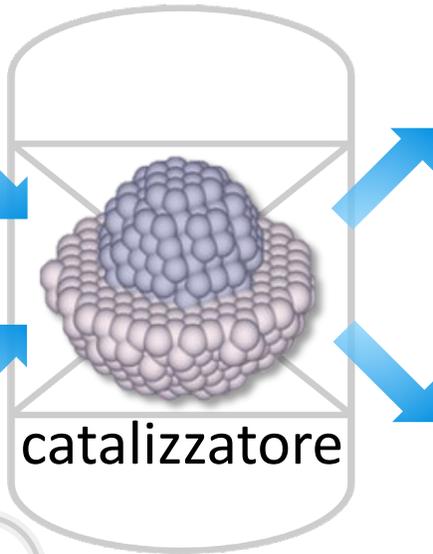
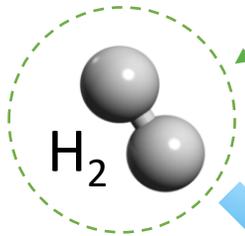
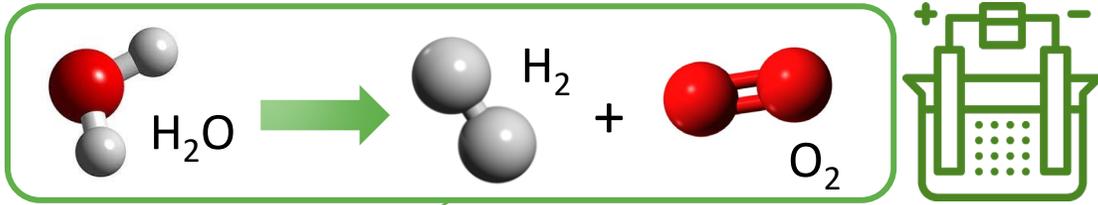


Clara Larghi (PhD Candidate)

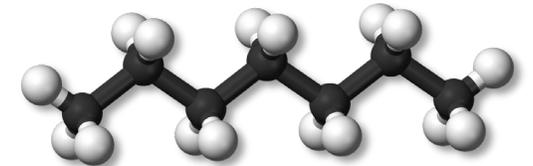
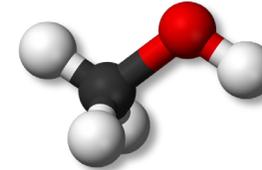


# CO<sub>2</sub> Utilization

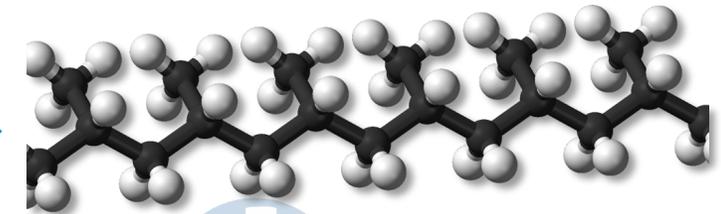
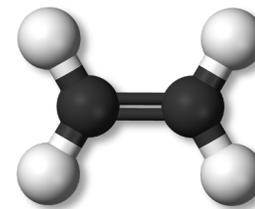
Elettrolisi dell'acqua



Combustibili



Sostanze chimiche di base



Clara Larghi (PhD Candidate)

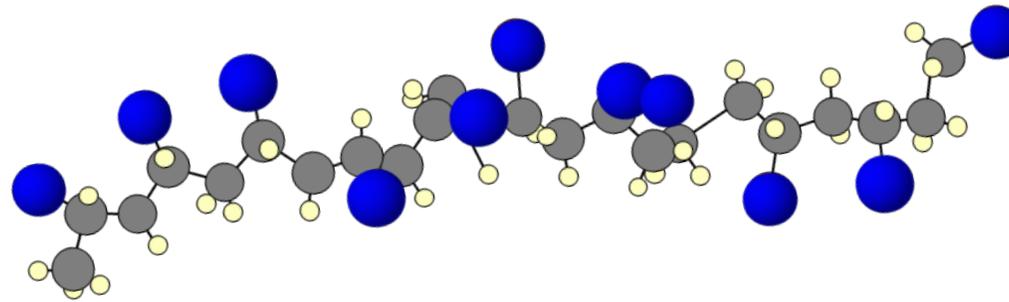
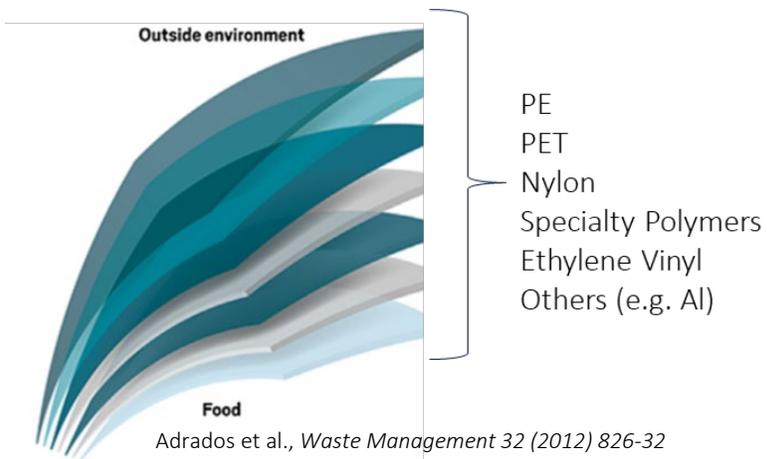


# Riciclo chimico del rifiuto Plastico



<https://www.greenpeace.org/international/campaign/toolkit-plastic-free-future/learn-about-plastic-pollution/>

- ❑ La **plastica** ha permesso enormi sviluppi in campi che vanno dall'aeronautica alla medicina, ma spesso vengono semplicemente abbandonati in **discarica**
- ❑ Il **riciclo meccanico** non riesce a gestire materiali sporchi, contaminati e multistrato, che sono la maggioranza
- ❑ Il **riciclo chimico** permette di trasformare i rifiuti troppo complessi in **nuovi carburanti** o **composti chimici** con cui produrre nuovamente materiali di interesse

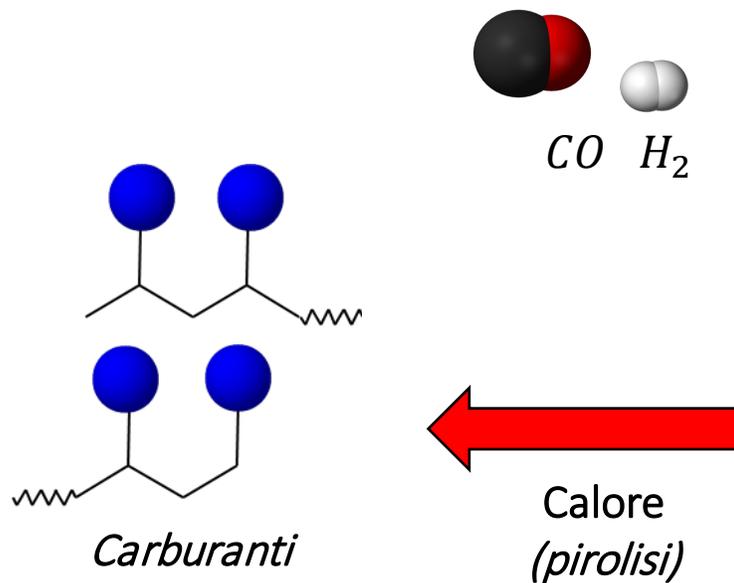


Andrea Locaspi (PhD Candidate)

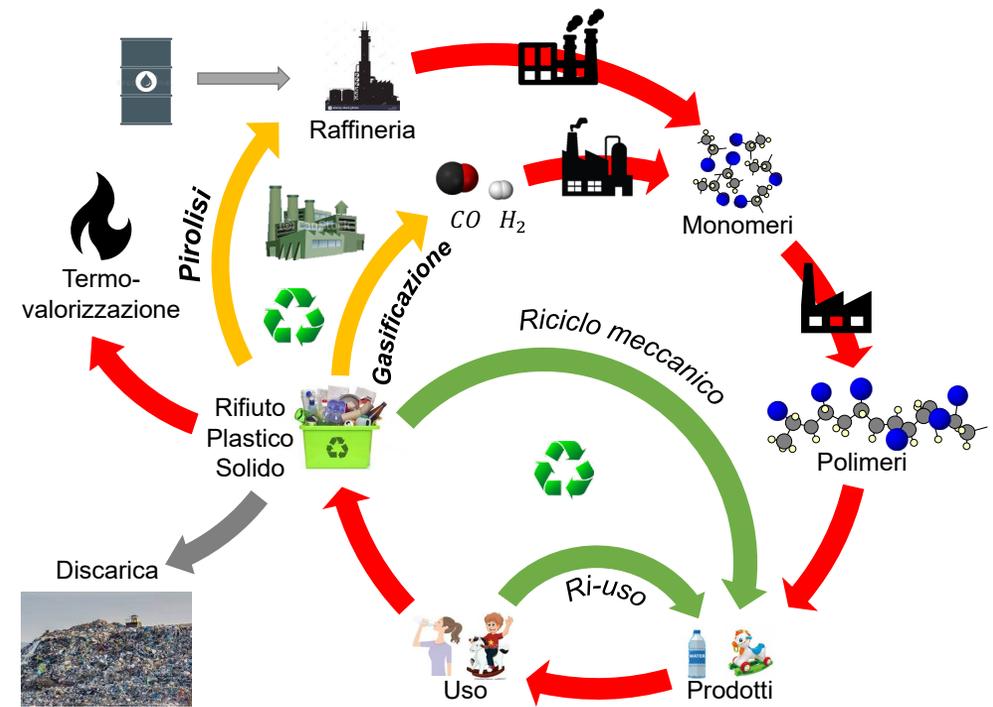
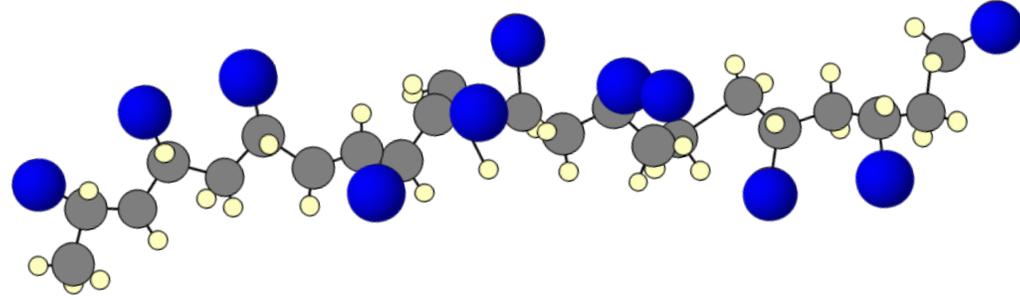


# Riciclo chimico del rifiuto Plastico

- L'idea alla base del **riciclo chimico** è di scomporre la materia plastica in composti chimici più piccoli tornando pian piano indietro ai materiali iniziali con cui è stata prodotta
- E' così possibile **chiudere il ciclo di vita** delle plastiche unendolo al riuso e al riciclo meccanico



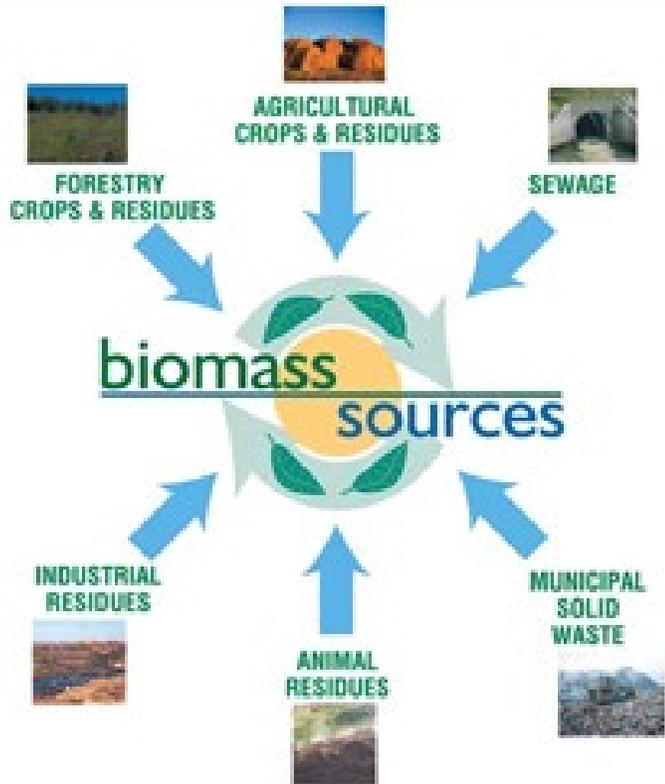
**Acqua/ $CO_2$ /aria + Calore (gasificazione)**



Andrea Locaspi (PhD Candidate)



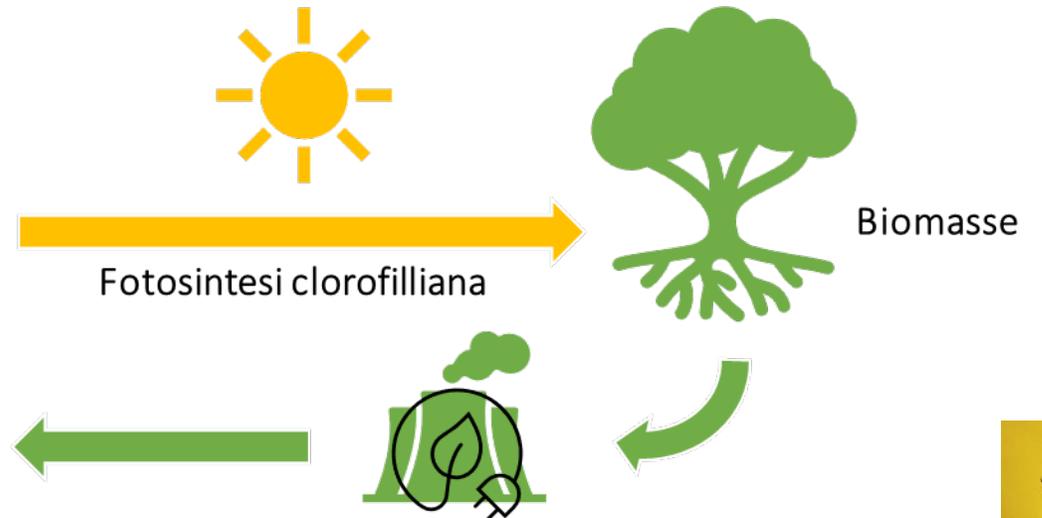
# Le Biomasse: fonti rinnovabili di Energia e Carbonio



<https://www.nrcan.gc.ca/energy/energy-sources-distribution/renewables/bioenergy-systems/biomass-resources/7389>



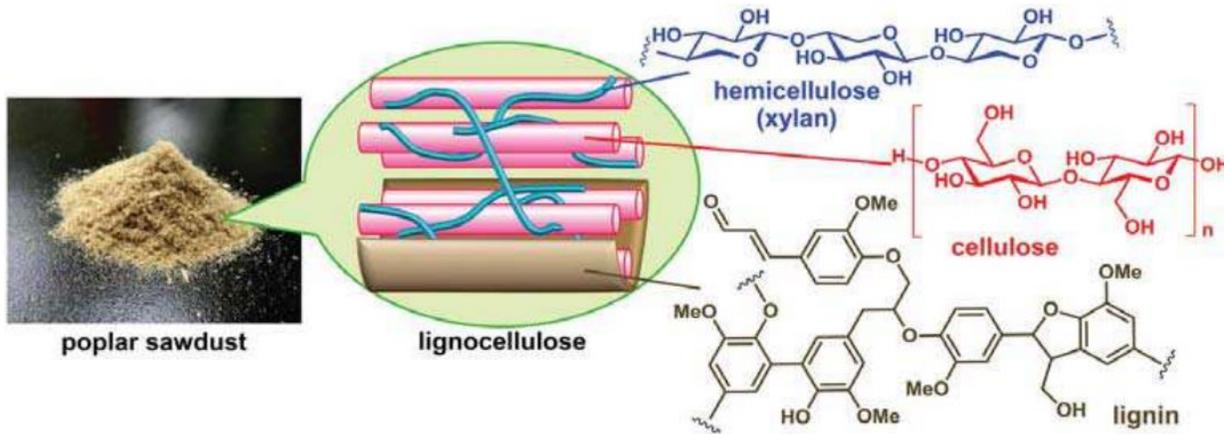
Trasporti,  
Riscaldamento...



Andrea Locaspi (PhD Candidate)

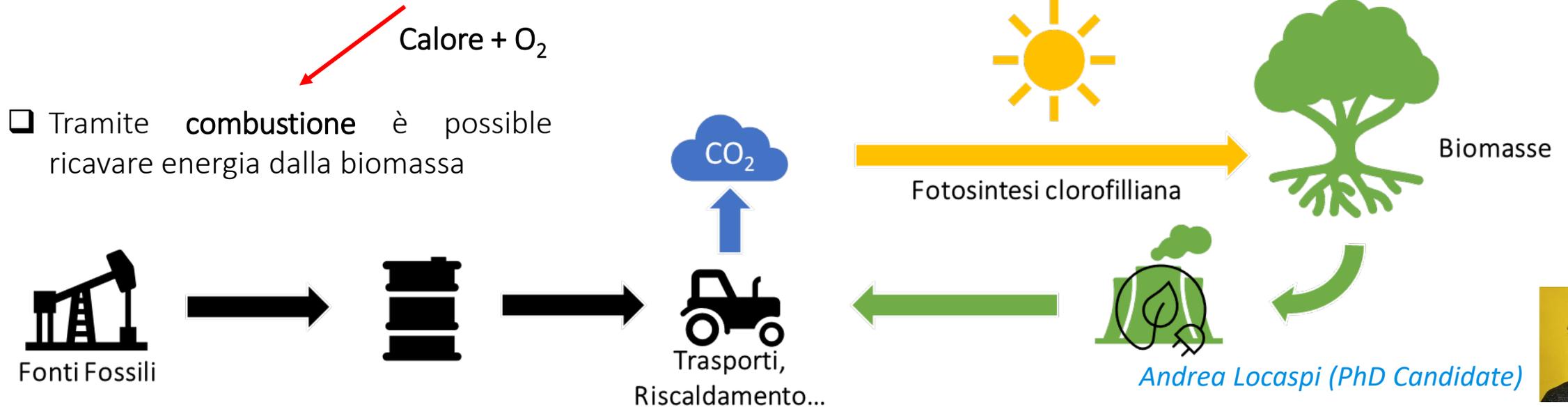


# Le Biomasse: fonti rinnovabili di Energia e Carbonio

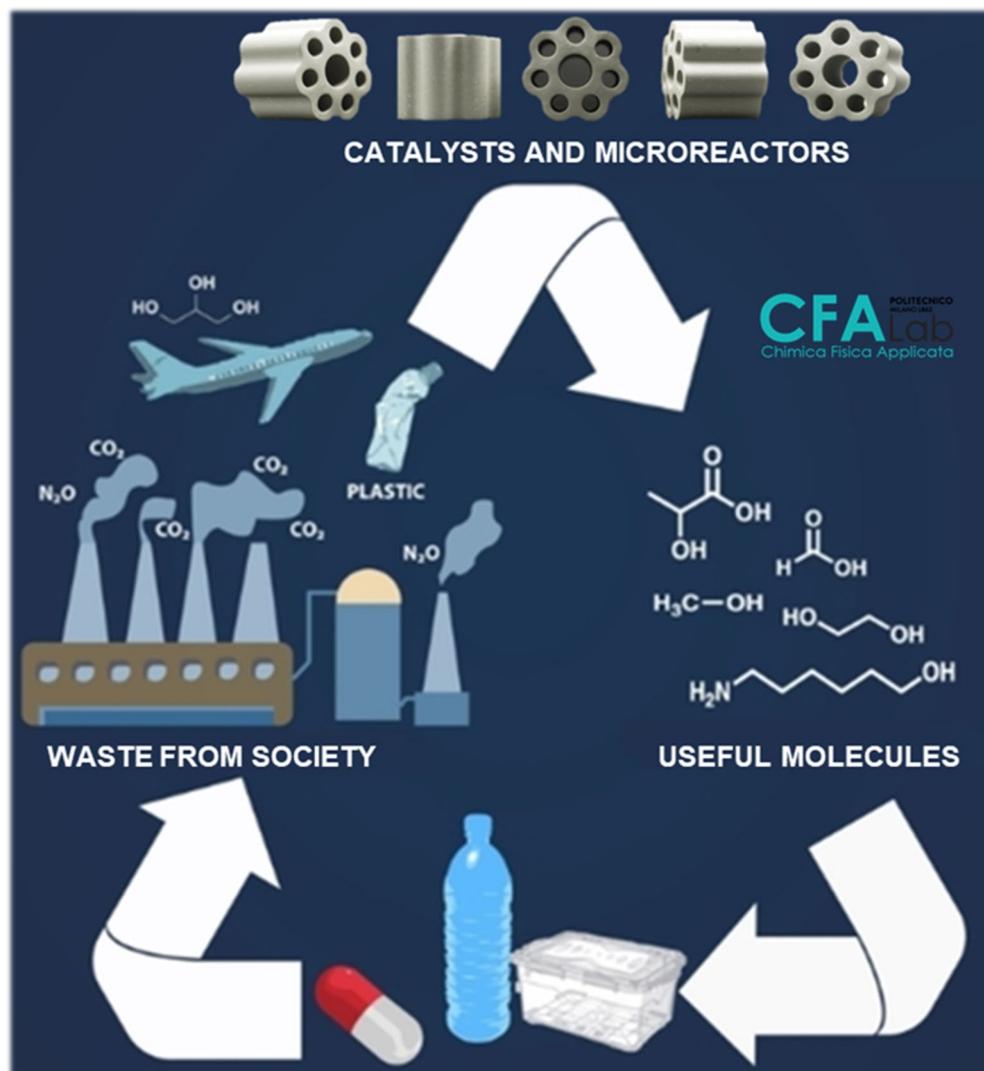


$\xrightarrow[ (+CO_2/H_2O) ]{\text{Calore}}$   Trasformazioni **termochimiche** e **biochimiche** permettono di scomporre la biomassa in composti più piccoli di interesse pratico (combustibili, composti di base, alcol, ...)

$\xrightarrow[ (\text{batteri, enzimi, solventi}) ]{\text{microrganismi}}$



# Catalytic processes to convert the waste into useful molecules



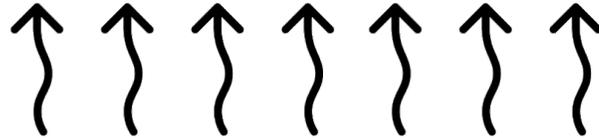
- We design **novel continuous-flow catalytic processes**, including those that transform the “waste” into “value-added molecules”.
- We have pioneered **new types of catalysts**. We look at the properties of these materials at the nanoscale, and we integrate these catalysts in reactors to conduct **green chemical reactions**.
- The work is very **interdisciplinary**. In our lab, we integrate methods from chemistry, physics, materials science, and engineering. We work closely with the European Commission and with several pharmaceutical companies.



*Alessandra Sivo (PhD Candidate)*

# Inquinamento atmosferico

**NO<sub>x</sub> CO<sub>2</sub> SO<sub>x</sub> PM<sub>2.5</sub>**

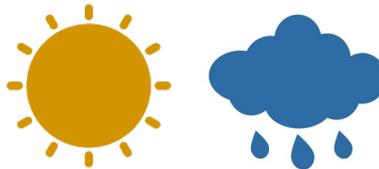


**EMISSIONI**

**ATMOSFERA**

**IMPATTO**

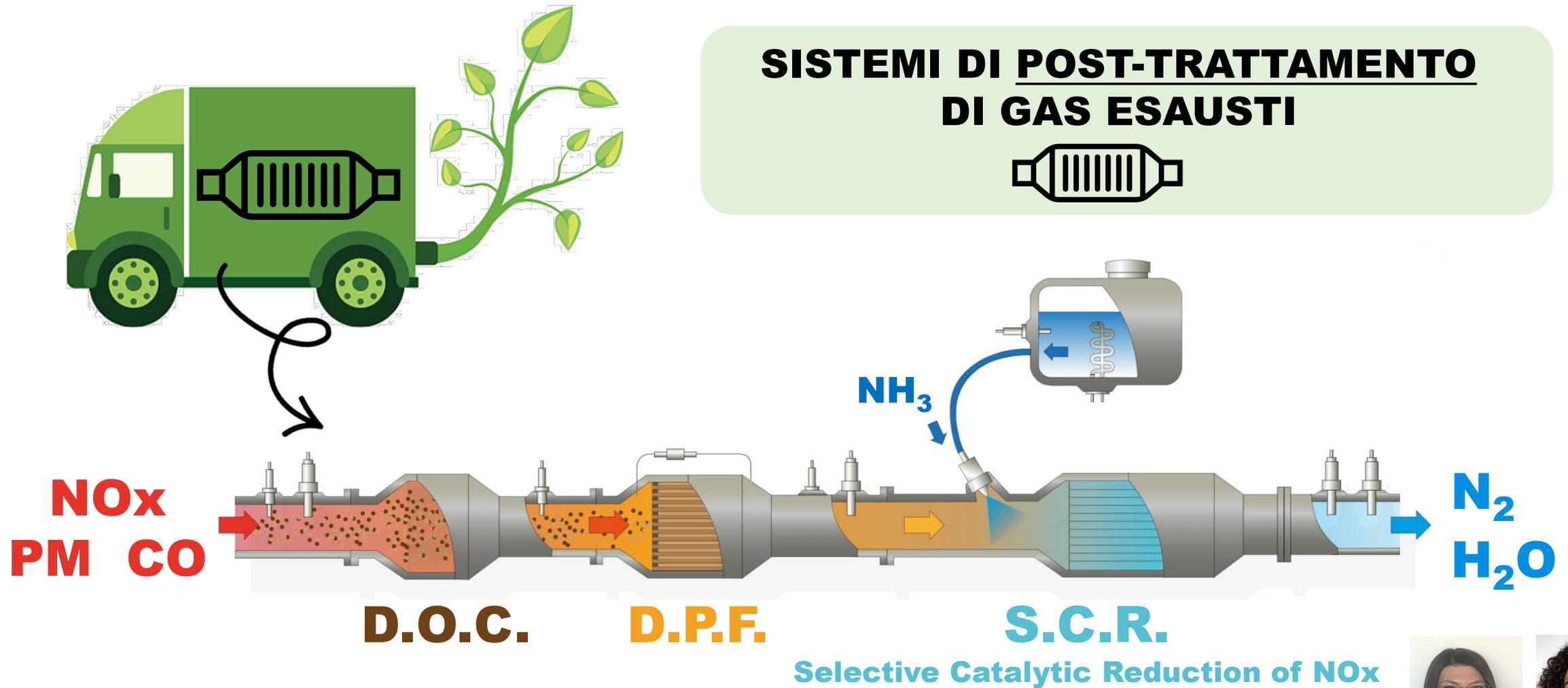
**RADIAZIONI  
FATTORI CLIMATICI**



*Maria Elena Azzoni e Nicole Daniela Nasello (PhD Candidates)*



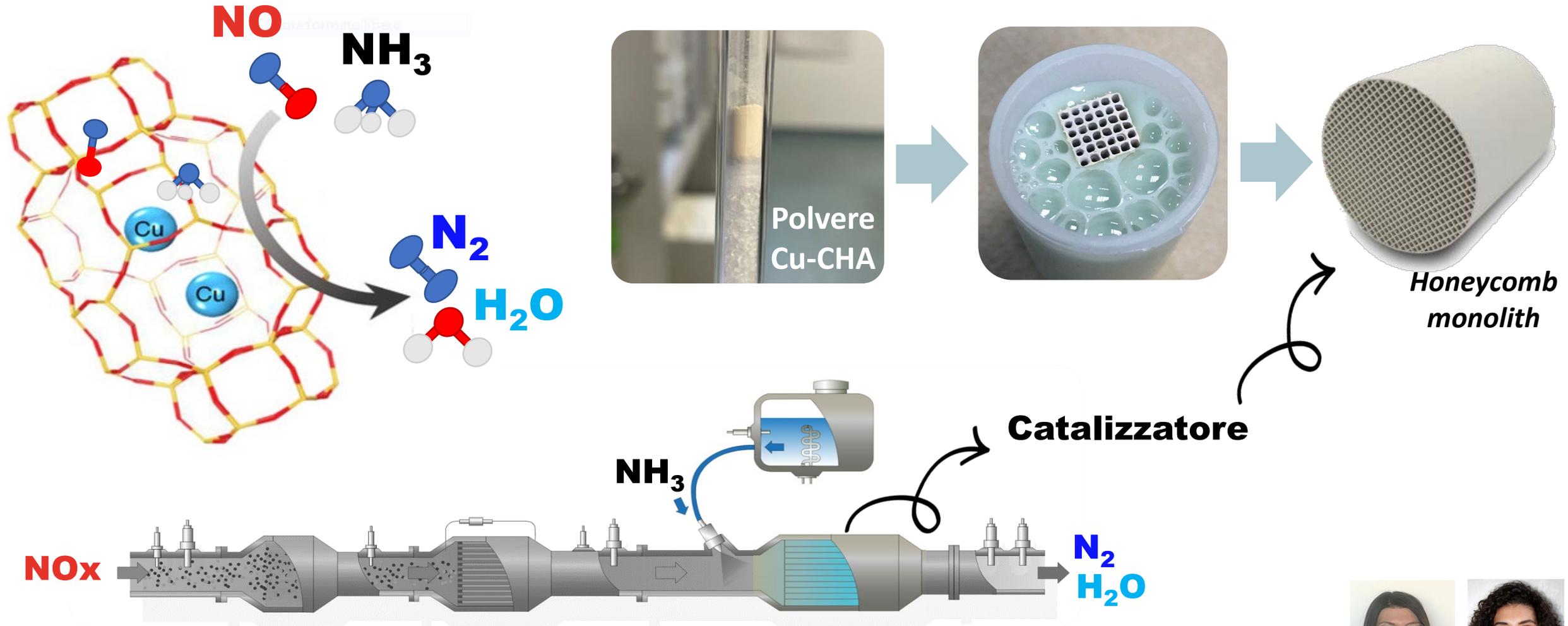
# Catalisi ambientale: abbattimento di inquinanti



*Maria Elena Azzoni e Nicole Daniela Nasello (PhD Candidates)*



# Dov'è l'Ingegneria Chimica?



Maria Elena Azzoni e Nicole Daniela Nasello (PhD Candidates)



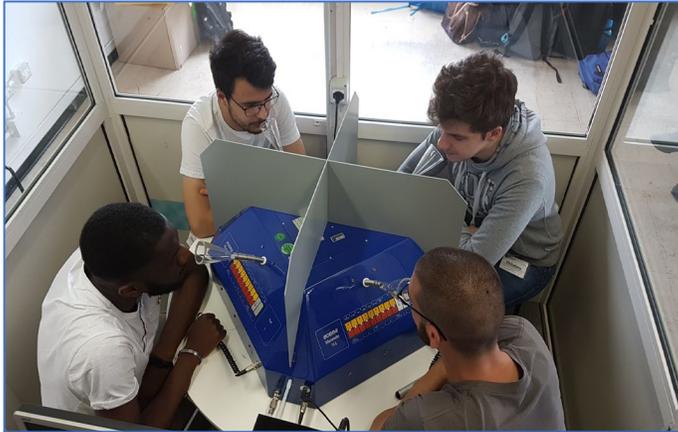
# Monitoraggio Emissioni

**Prelievo**  
di campioni presso le  
sorgenti emissive



# Monitoraggio Emissioni

Analisi olfattometrica



**Caratterizzazione**  
dei campioni prelevati alle  
emissioni



Nasi elettronici e sistemi sensoristici



Analisi chimica



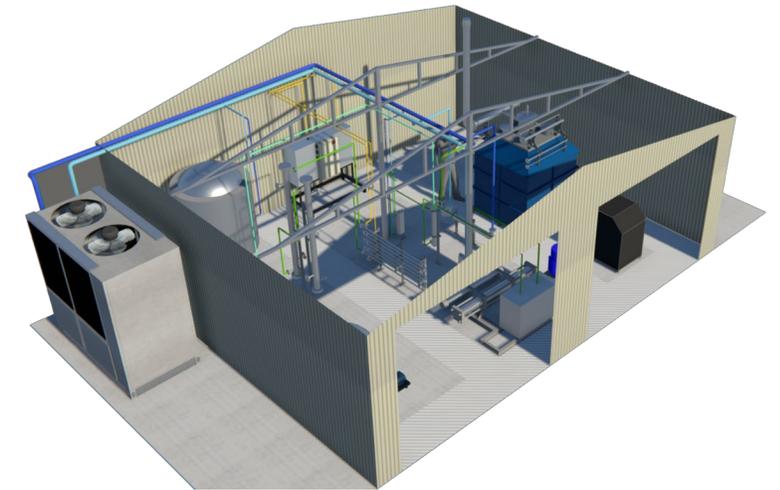
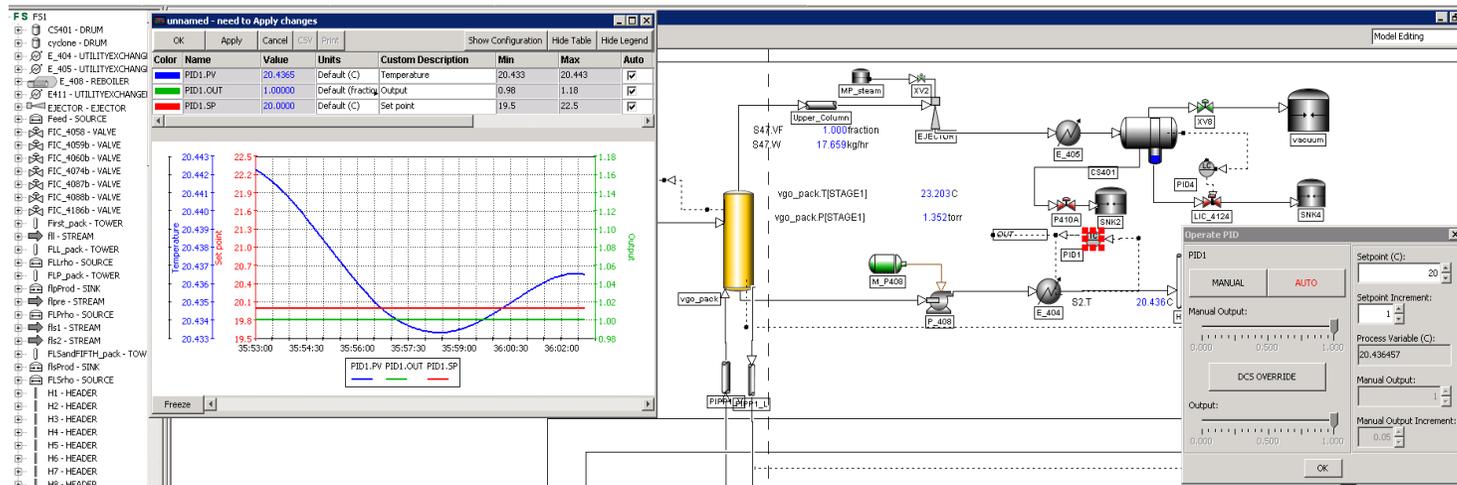
# Monitoraggio Emissioni

Valutazione di impatto olfattivo

Reti di monitoraggio  
in continuo



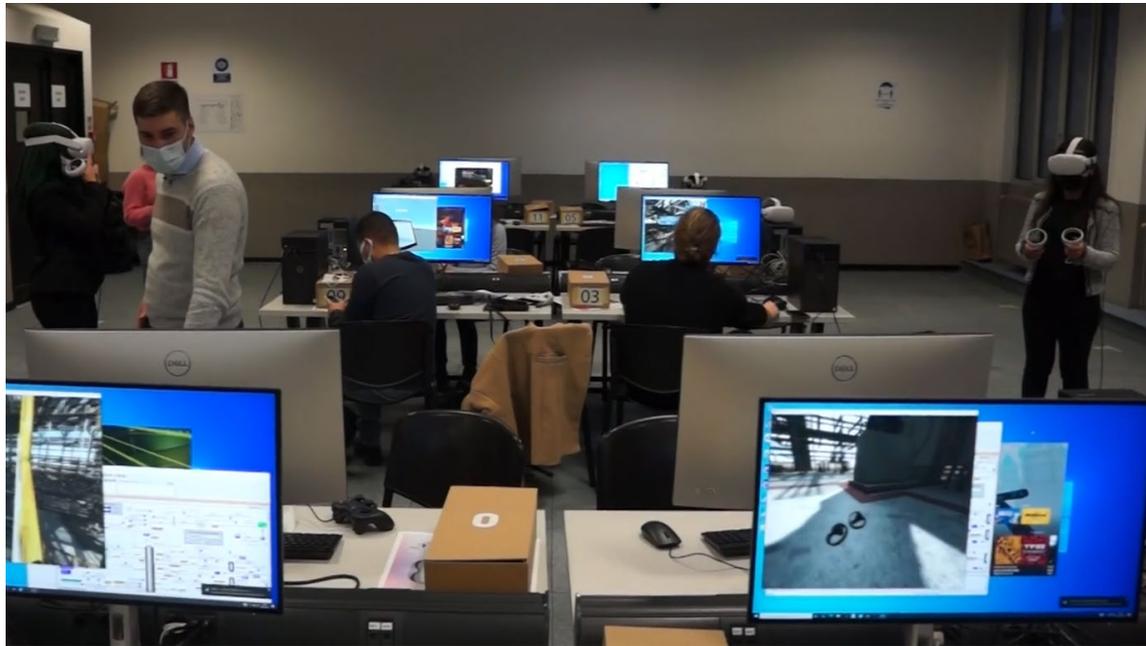
# La digitalizzazione nell'ingegneria Chimica



Modellazione chimico-fisica di sistemi  
complessi (2D digital twin)

Modelli CAD

# Modelli fisici tridimensionali ed interattivi di impianti reali (3D digital twin)



Esperienze di realtà virtuale in impianti realmente esistenti



## Nuovi impianti per l'economia circolare

## Laboratori in impianti industriali

PhD candidates



Andrea Galeazzi



Kristiano Prifti



Matteo Fedeli



Filippo Bisotti



Federico Moretta



Francesco Negri



Anna Nova



Anna Dell'Angelo



# Analisi di sostenibilità di un prodotto industriale tramite LCA

LCA: *life cycle assessment* (valutazione del ciclo di vita)



FASI DEL CICLO DI VITA DEL PRODOTTO

Per ogni **fase del ciclo di vita** è possibile calcolare i **flussi del sistema** e ottenere una valutazione delle **prestazioni ambientali** (in termini di categorie di impatto, per esempio CO<sub>2</sub> equivalente emessa) di un prodotto industriale.

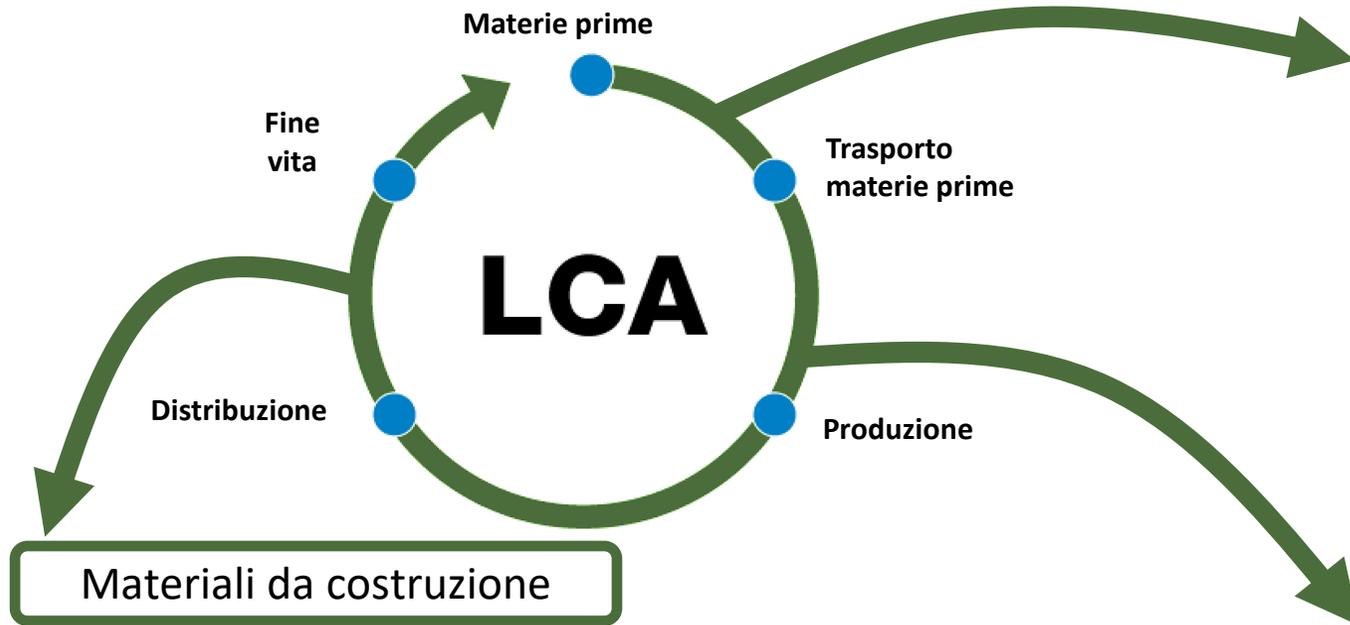


**FLUSSI DEL SISTEMA**  
(applicato a condensatore elettrolitico per l'accumulo di energia rinnovabile)

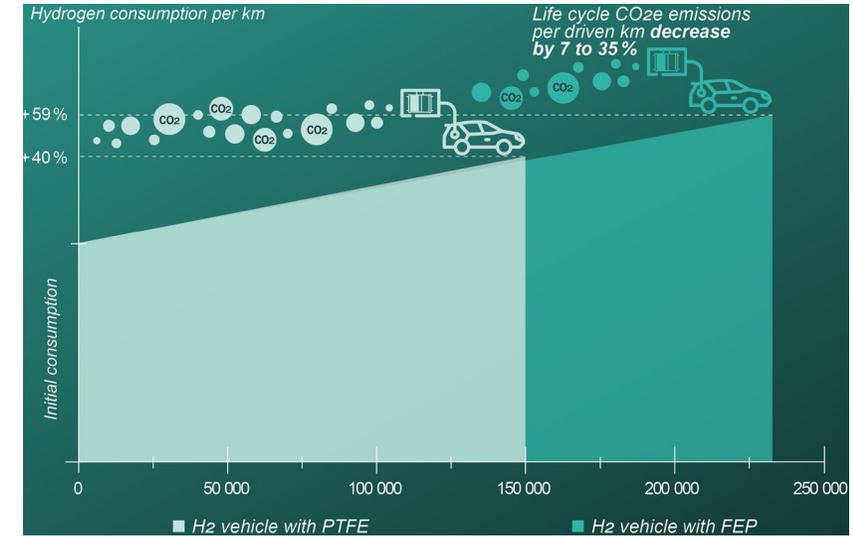
Chiara Moletti (PhD candidate)



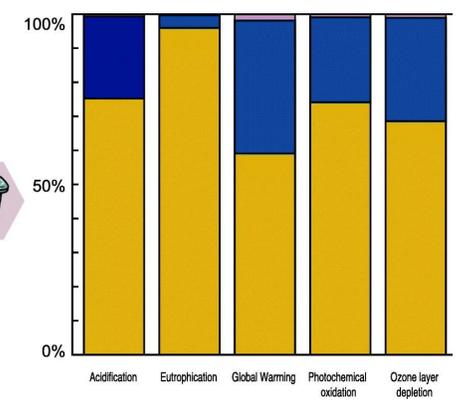
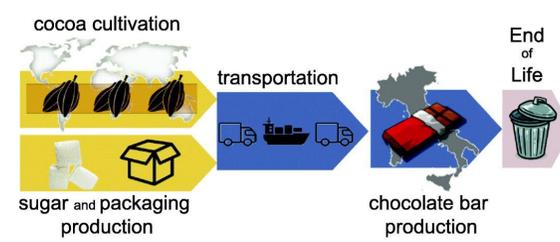
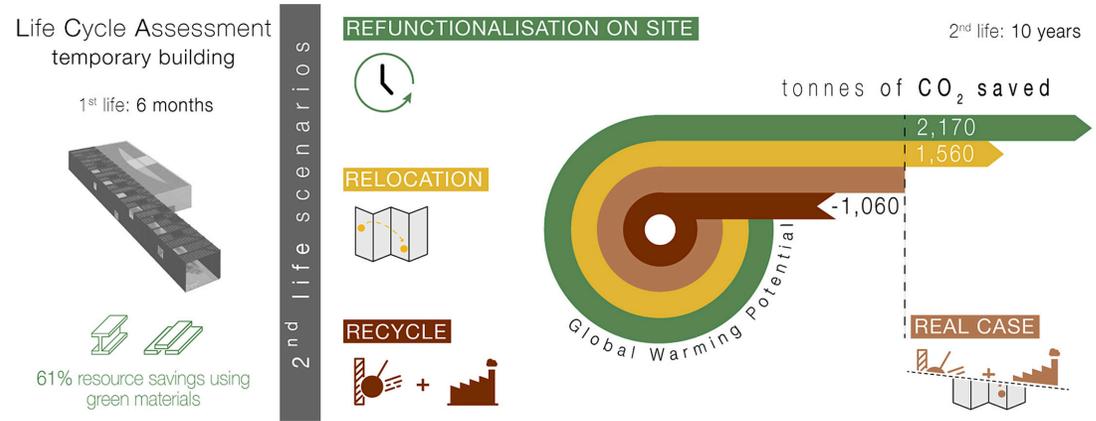
# LCA in diversi ambiti industriali e di ricerca



## Componenti per celle a combustibile



## Industria alimentare



Andrea Basso Peressut (PhD candidate)



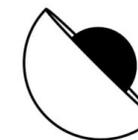
# Analisi del ciclo di vita del processo di produzione di nanoparticelle

La tecnologia si basa sulla variazione delle proprietà chimico-fisiche dell'acqua con la temperatura e la pressione. Tramite queste caratteristiche si ottiene un ottimo controllo delle dimensioni, della morfologia e della purezza delle **nanoparticelle**.

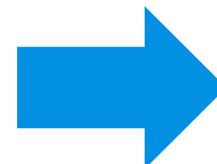
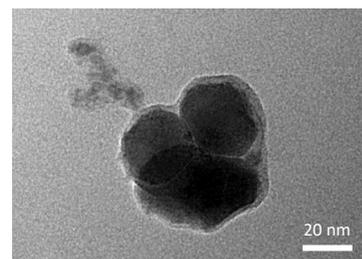
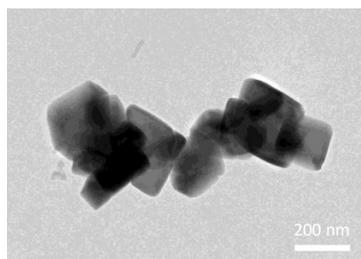
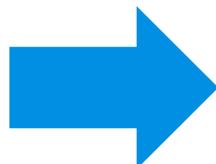
Il processo risulta più **SOSTENIBILE** dal punto di vista ambientale perché si riduce il numero di prodotti chimici e di fasi di lavorazione impiegati.

L'**analisi del ciclo di vita** è volto a valutare l'**impatto ambientale** (produzione di gas serra, consumo di acqua e consumo energetico) dell'intero ciclo produttivo, valutando anche possibili scenari per il fine vita delle nanoparticelle prodotte.

In collaborazione con:



PARTICULAR  
MATERIALS



<https://particularmaterials.com>

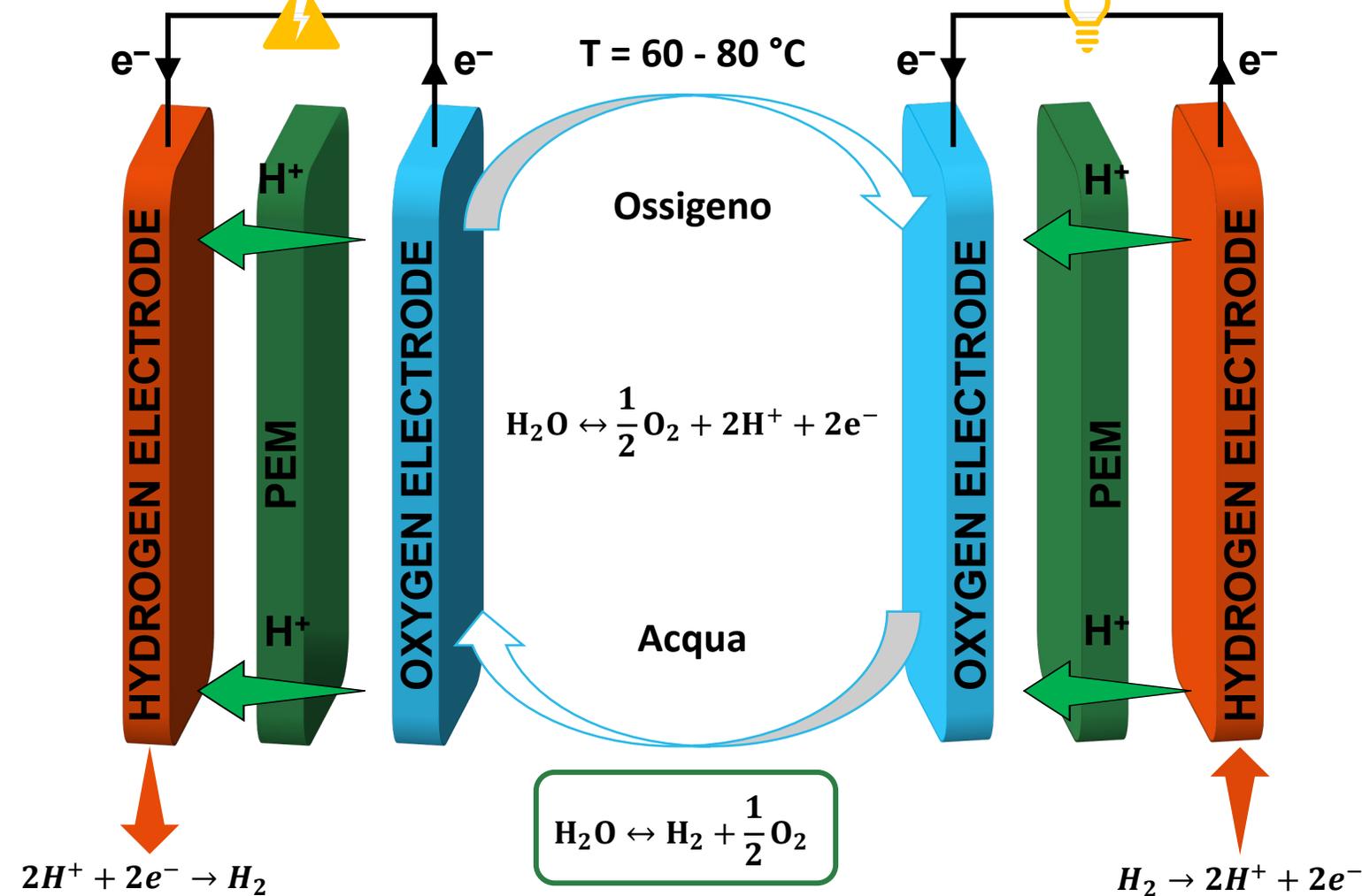
Marco Freschi (PhD candidate)



# Sviluppo di materiali per le energie alternative

**Elettrolizzatore**  
(produzione Idrogeno e Ossigeno)

**Cella a combustibile**  
(energia da idrogeno)

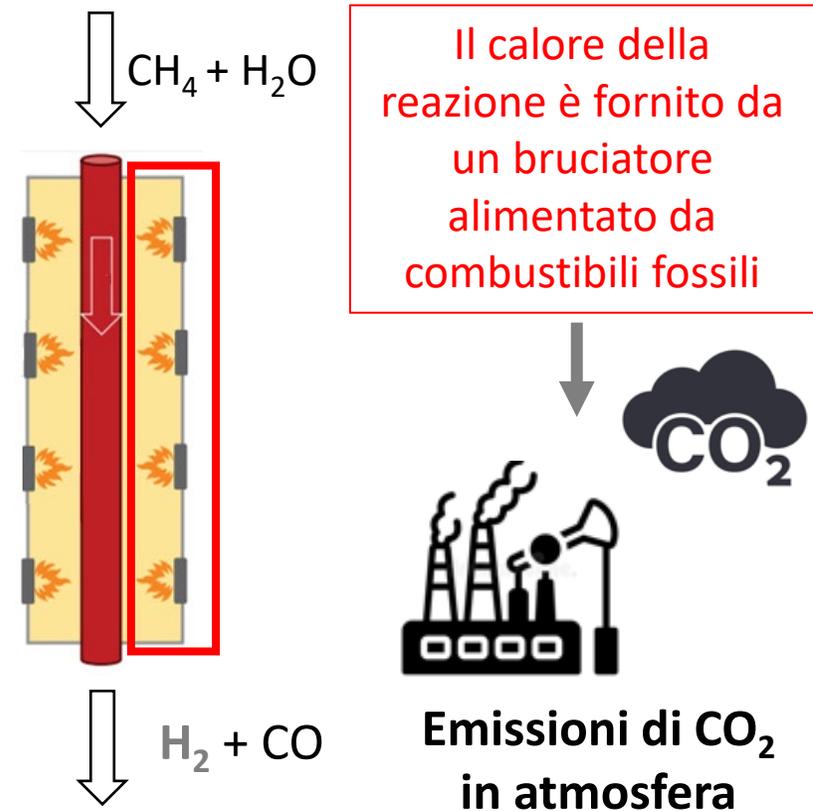


Matteo Di Virgilio  
(PhD candidate)



# Elettificazione dei processi chimici / focus produzione di H<sub>2</sub>

## Tecnologia convenzionale

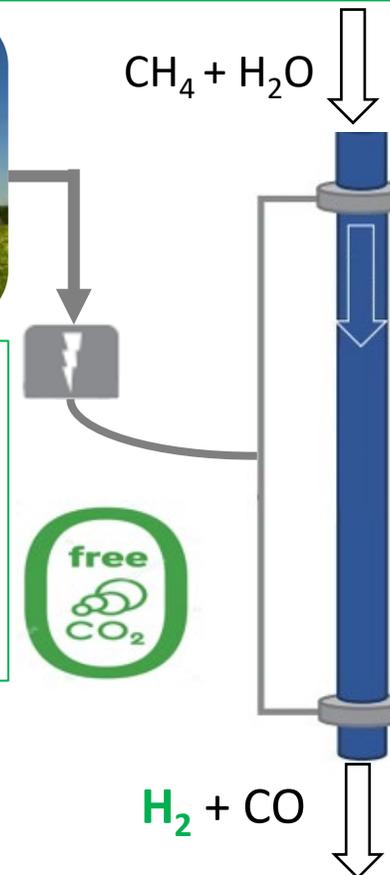


## Tecnologia oggetto di ricerca



L'eccesso di **energia elettrica** prodotta dalle fonti viene sfruttata per fornire il calore necessario alla reazione  
**Joule heating**

**Nessuna** emissione di  $\text{CO}_2$  in atmosfera derivante dalla combustione



Francesca Zaio (PhD Candidate)



# Elettificazione steam reforming di metano

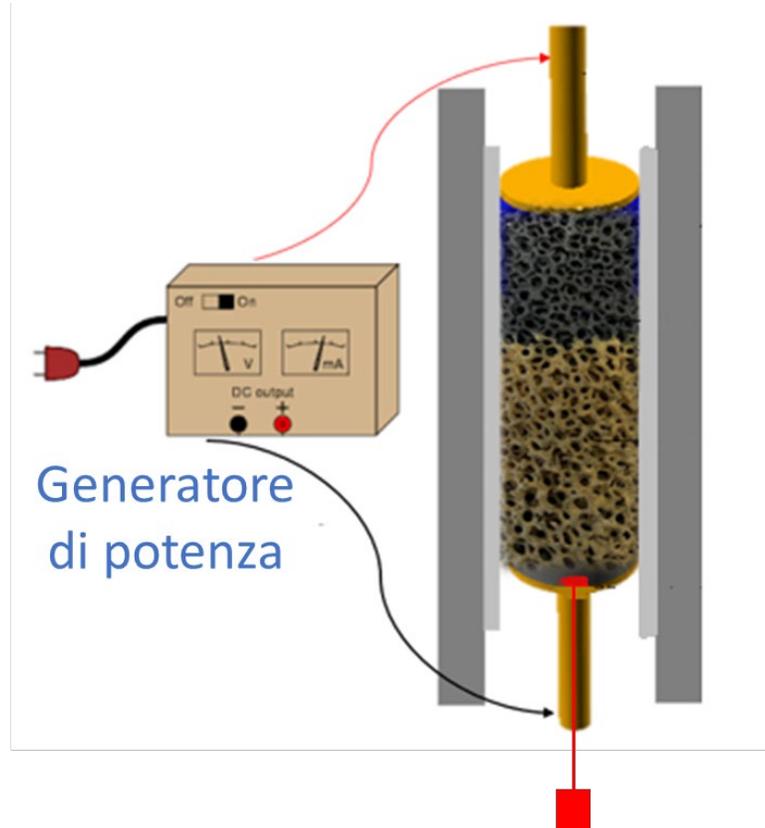
## Preparazione del catalizzatore strutturato



Struttura  
in carburo  
di silicio

Catalizzatore

**Il supporto del catalizzatore  
puo' essere usato anche come  
resistenza elettrica che lavora a  $T > 700\text{ }^{\circ}\text{C}$**



## Valutazione sperimentale di :

- Temperature
- Conversione di metano
- Efficienza di riscaldamento

Francesca Zaio (PhD Candidate)



# Elettificazione steam reforming di metano

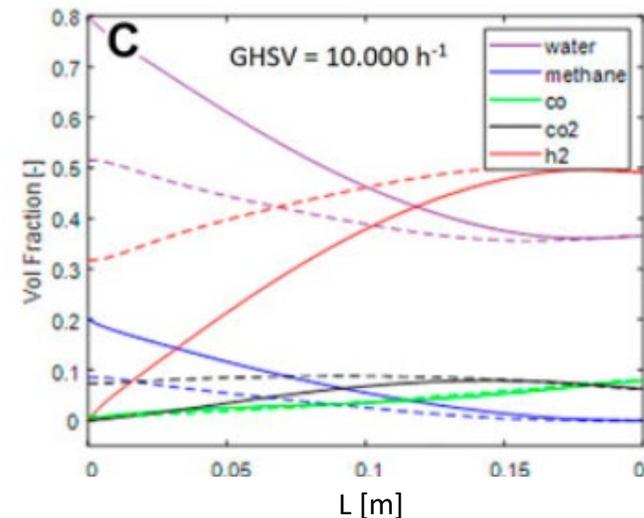
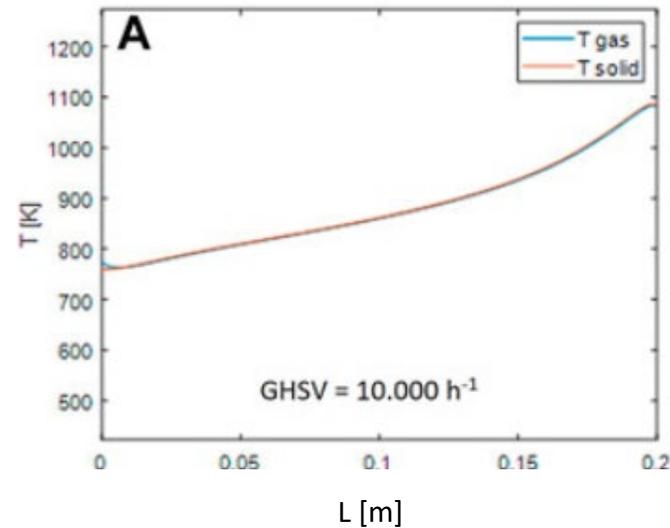
Preparazione del catalizzatore strutturato



Struttura  
in carburo  
di silicio

Catalizzatore

**Il supporto del catalizzatore  
puo' essere usato anche come  
resistenza elettrica che lavora a  $T > 700\text{ }^{\circ}\text{C}$**

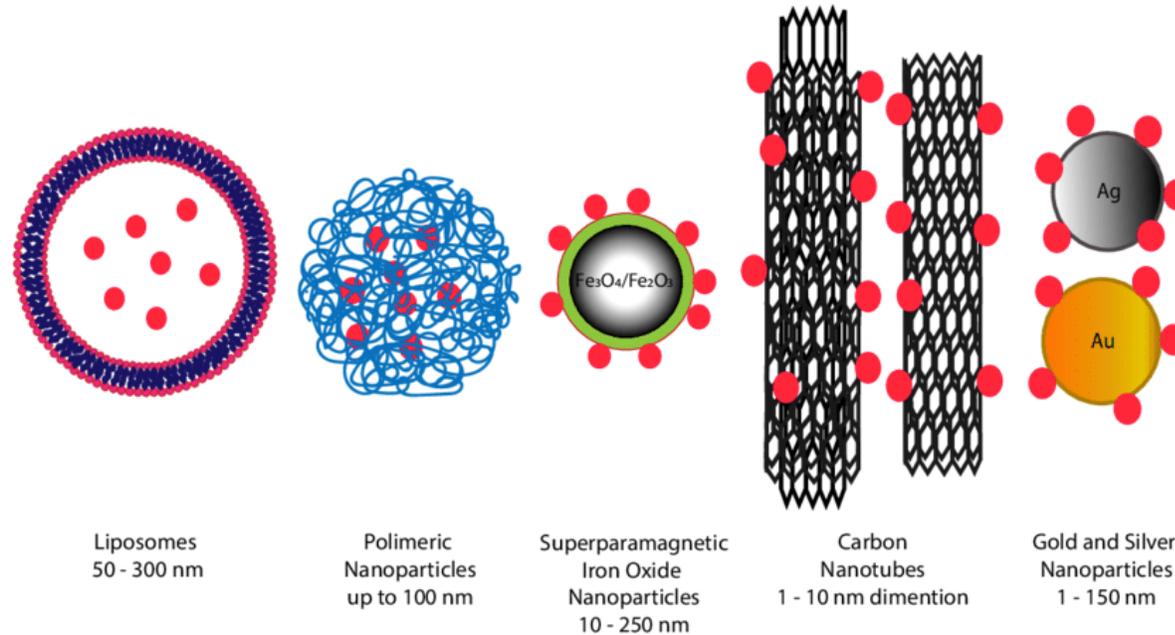


Sviluppo di modelli  
matematici per la  
progettazione di  
sistemi ottimizzati

Francesca Zaio (PhD Candidate)



# Nanoparticelle per applicazioni di drug delivery



*Perché usarle?*

- **Localizzazione** degli **effetti** del farmaco
- **Riduzione** della **quantità** di farmaco usata e degli **effetti collaterali**
- **Riduzione** dei **costi**
- Possibilità di **riutilizzo** di certi dispositivi



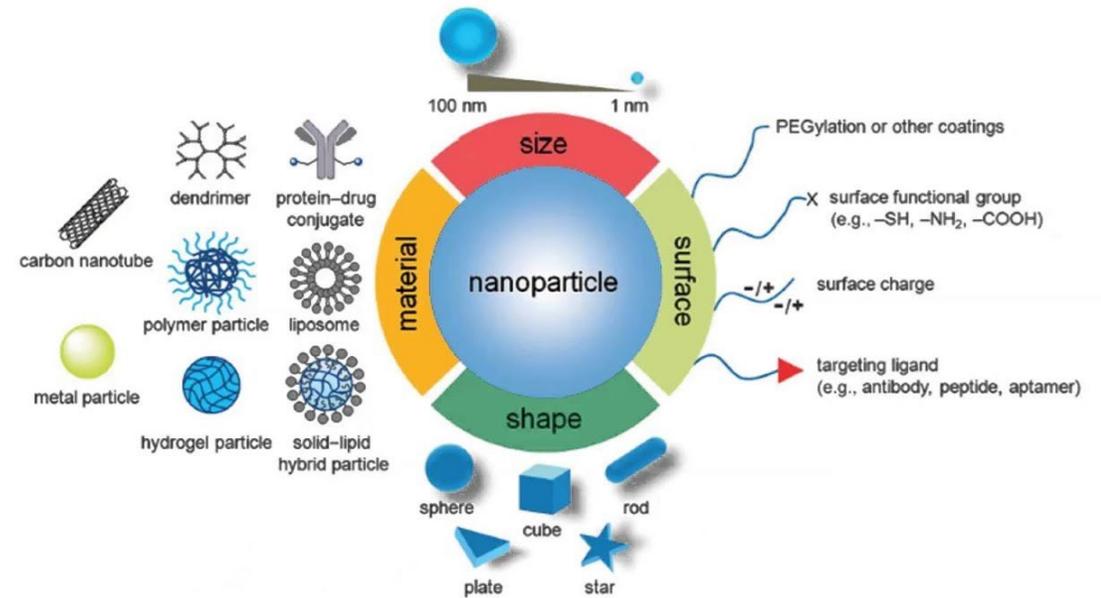
*Filippo Pinelli (PhD Candidate)*



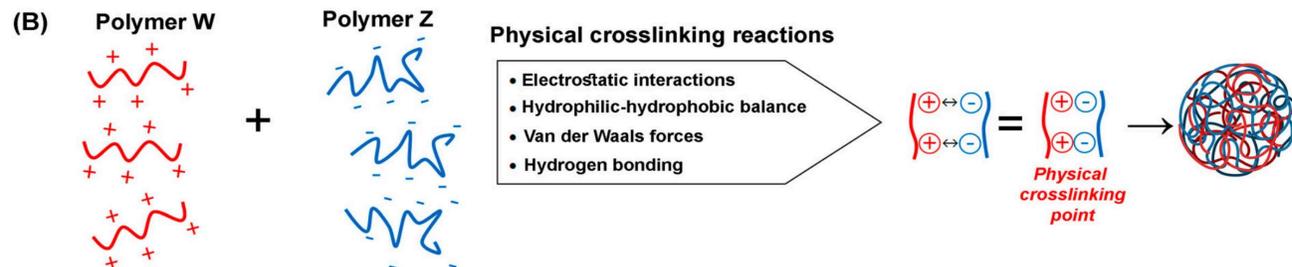
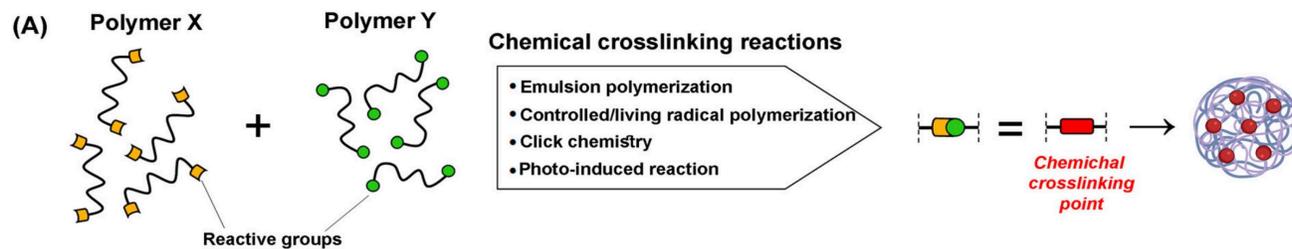
# Sintesi e design di nanoparticelle

Key points per il **design** delle nanoparticelle:

- **Materiale** del sistema
- **Dimensione**
- **Forma**
- **Superficie** e funzionalizzazioni



*Esempi di sintesi di nanoparticelle polimeriche:*



Filippo Pinelli (PhD Candidate)

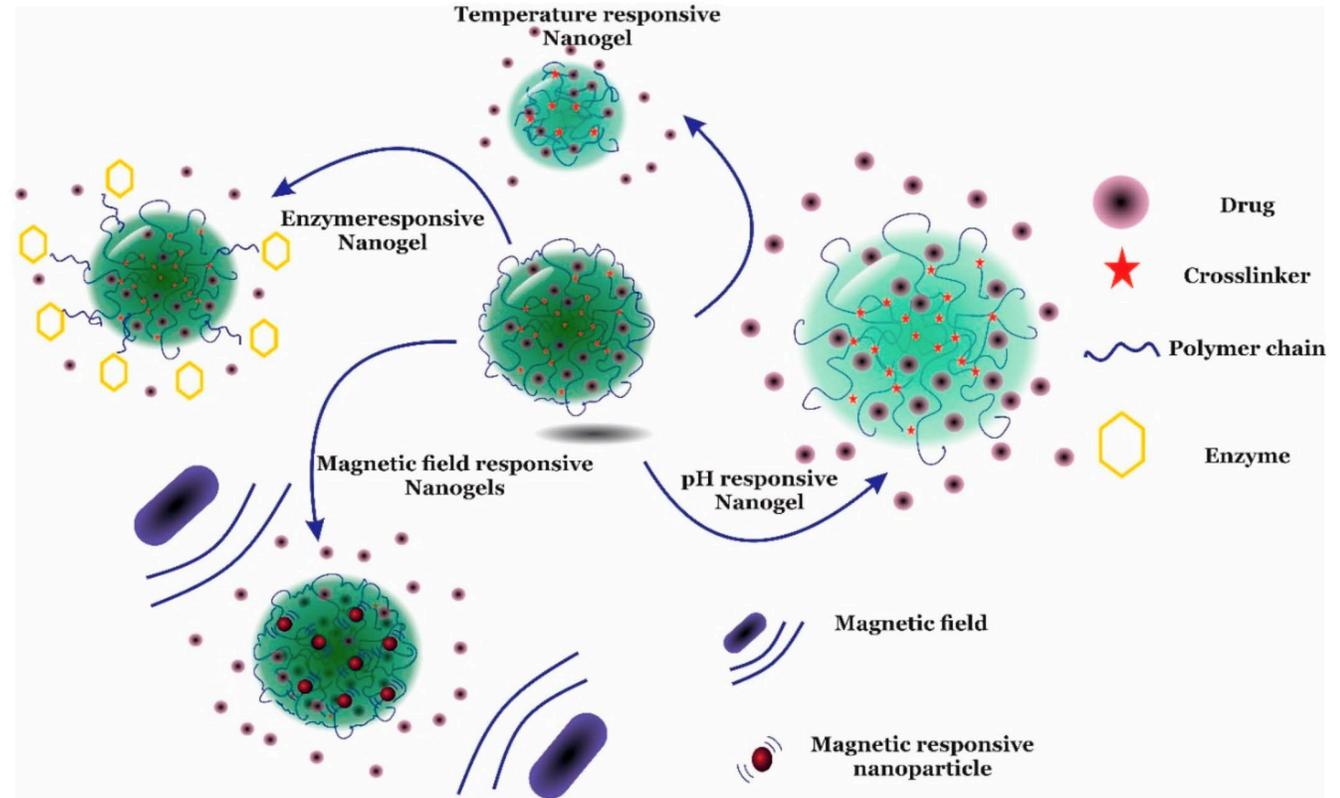
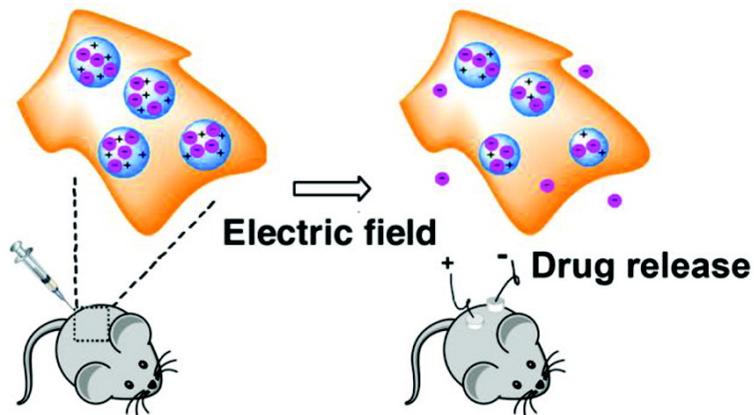


# Utilizzo di nanoparticelle per il drug delivery

Una volta **sintetizzate** e **caricate** del farmaco le NPs vengono **somministrate** per il trattamento di una certa patologia.

*Come rilasciano il farmaco caricato?*

*Esempio di NPs responsive ai campi elettrici:*



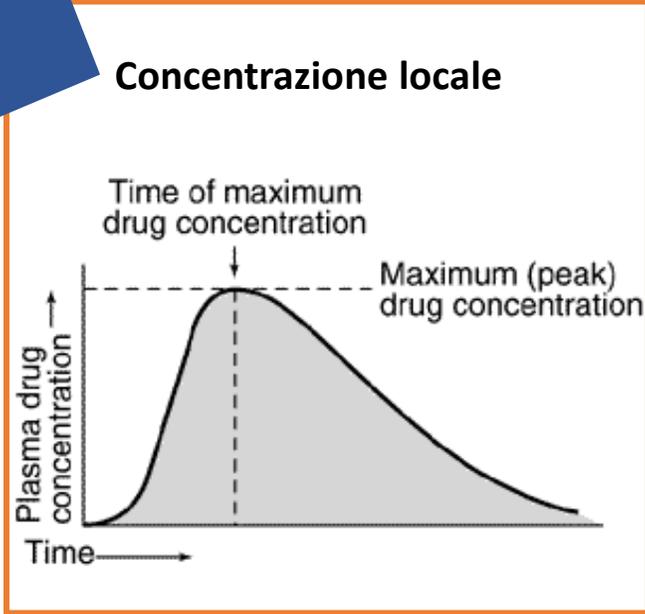
Filippo Pinelli (PhD Candidate)



# Modellare la farmacocinetica e la farmacodinamica

**Farmacocinetica:** bilanci di massa di farmaco nei compartimenti del corpo

«che fine fa questa dose di farmaco?»



**Farmacodinamica:** effetto del farmaco

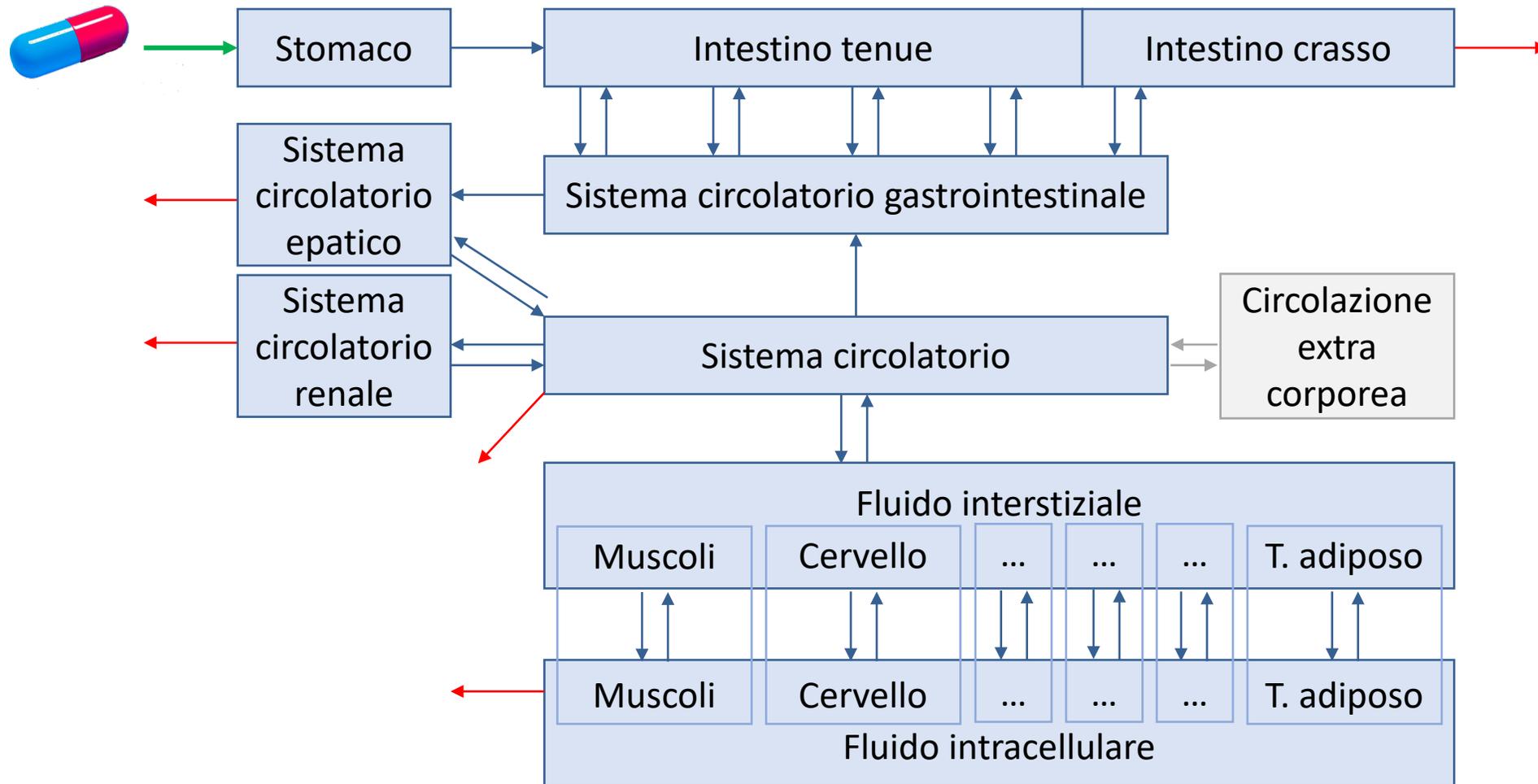
«questa dose avrà effetto?»



*Giuseppe Pesenti (PhD Candidate)*



# Descrivere come il farmaco si distribuisce nel corpo umano



Giuseppe Pesenti (PhD Candidate)



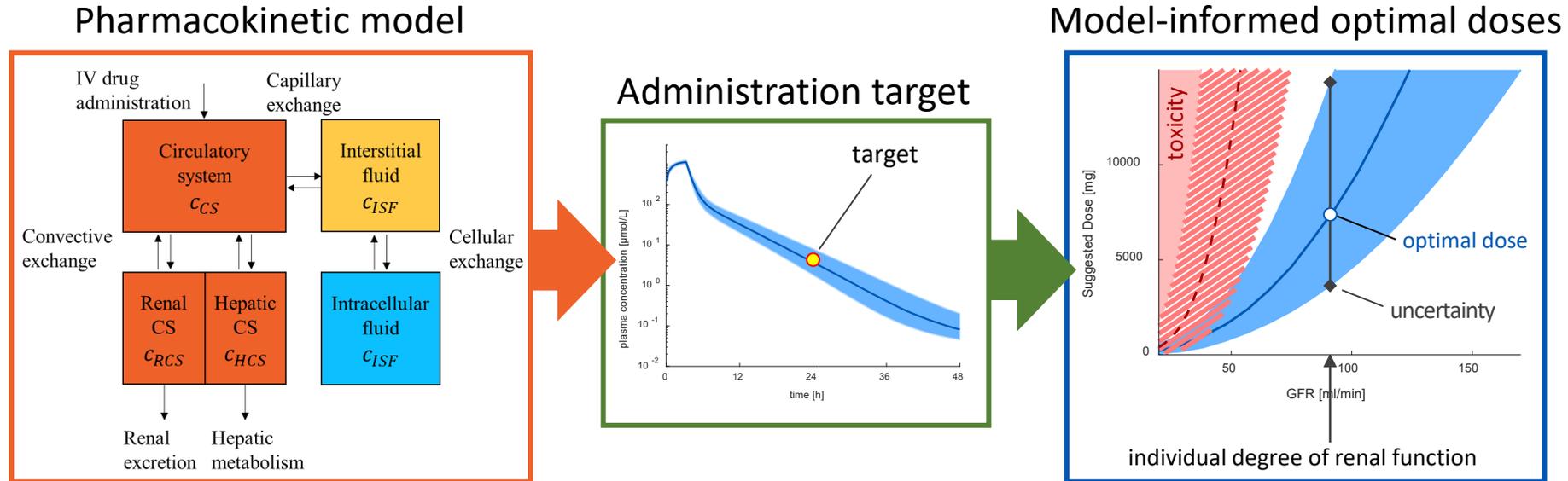
# Suggerire la dose ottimale di farmaco per ciascun paziente



**Dose ottimale**  
«tiene conto delle  
caratteristiche del  
singolo paziente?»

**«Assumere 1 compressa al giorno per una settimana»**

# Suggerire la dose ottimale di farmaco per ciascun paziente



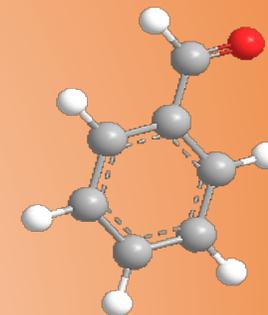
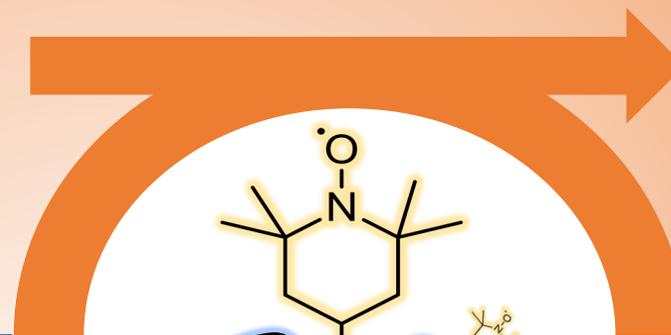
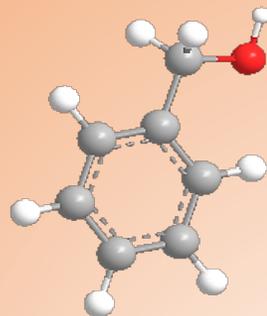
Giuseppe Pesenti (PhD Candidate)



# Il duplice ruolo dei Nitrossil radicali

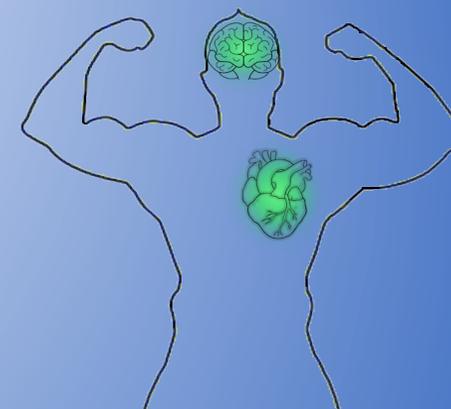
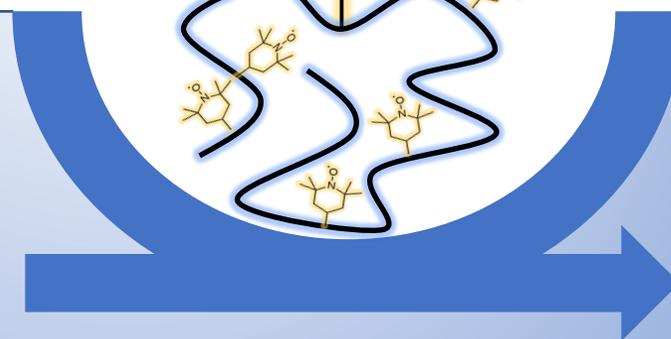
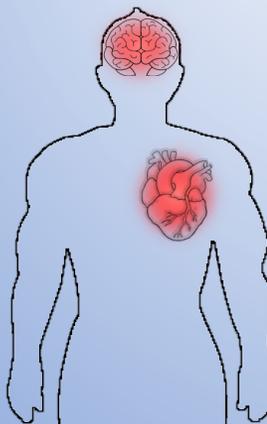
## Attività Pro-ossidante

*Per applicazioni catalitiche in reazioni di interesse industriale*



## Attività Antiossidante

*Per applicazioni cardioprotettive e neuroprotettive*

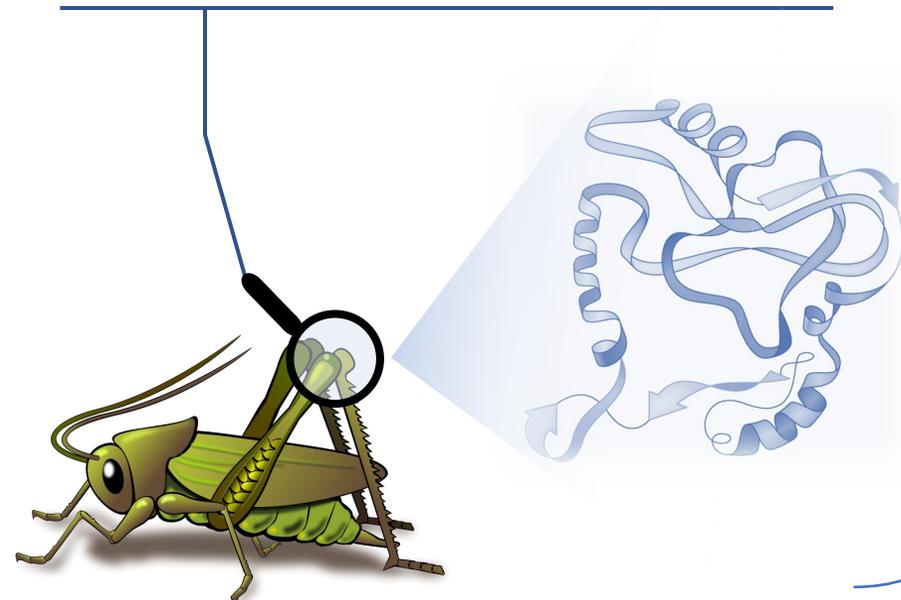


Manfredi Caruso, PhD

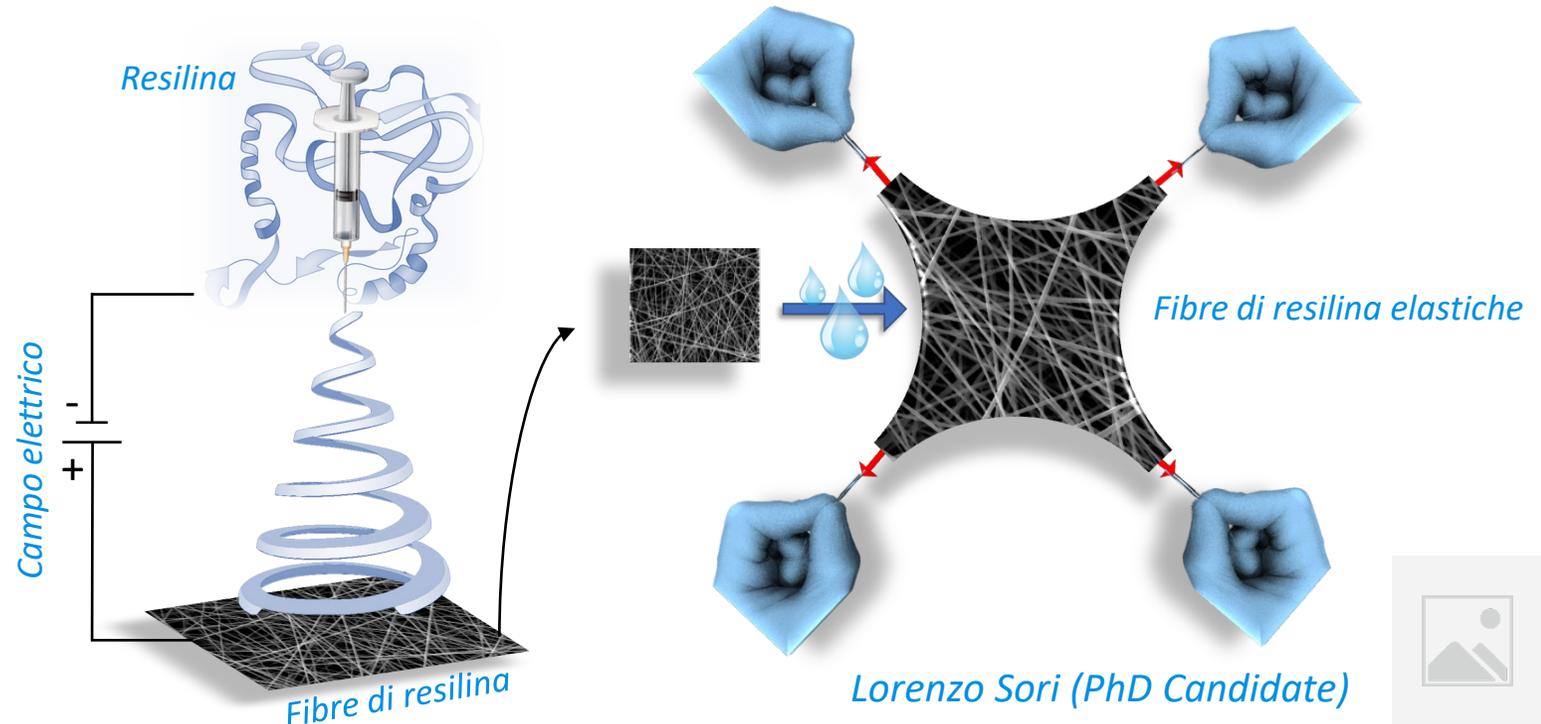


# Bio-materiali ispirati alla natura

- La **resilina** è una proteina presente in molti insetti!
- Grazie alla resilina la cavalletta è in grado di compiere grandi salti.
- È un proteina **elastica e resiliente!** Ovvero in grado di resistere a grandi sforzi prima di rompersi.



- Ispirandoci alla natura e con tecniche specifiche ricreiamo bio-materiali, come gel e tessuti, utilizzando solo una piccola parte di questa proteina **contenendo l'impatto ambientale e i costi di produzione.**
- Questi compositi hanno una vasta gamma di applicazioni in molti settori come: **medicina, elettronica e imballaggi.**

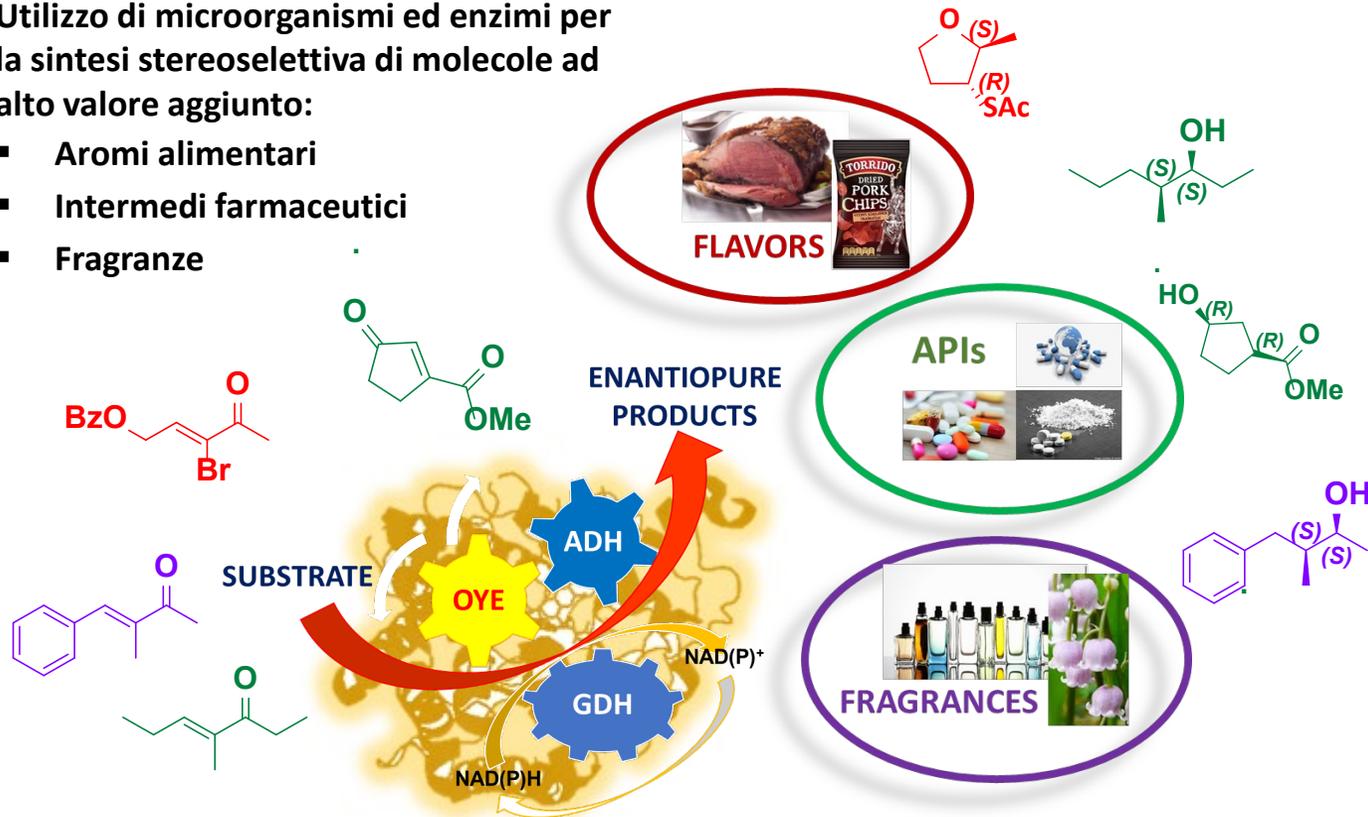


Lorenzo Sori (PhD Candidate)

# Biocatalisi applicata alla Sintesi Organica

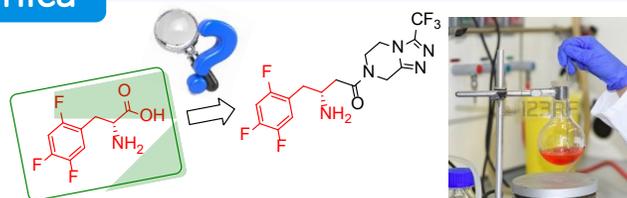
Utilizzo di microorganismi ed enzimi per la sintesi stereoselettiva di molecole ad alto valore aggiunto:

- Aromi alimentari
- Intermedi farmaceutici
- Fragranze



## Sintesi Organica

DESIGN DI NUOVE VIE RETROSINTETICHE



SINTESI E PURIFICAZIONE DI SUBSTRATI DI INTERESSE

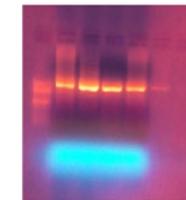


## Microbiologia

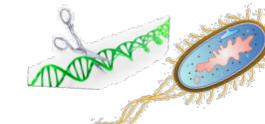


- FUNGHI
- LIEVITI
- BATTERI

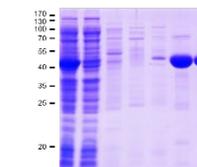
SCREENING DI ATTIVITA' ENZIMATICA



CLONAGGIO



PROTEIN PURIFICATION



## Valorizzazione degli scarti

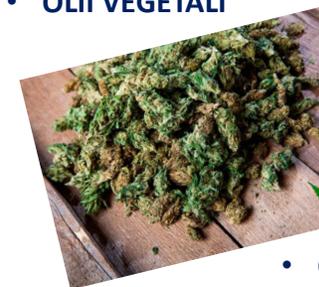


- OLII VEGETALI

TRASFORMAZIONE DI SCARTI INDUSTRIALI IN PRODOTTI AD ALTO VALORE AGGIUNTO



- TREBBIE DI BIRRA



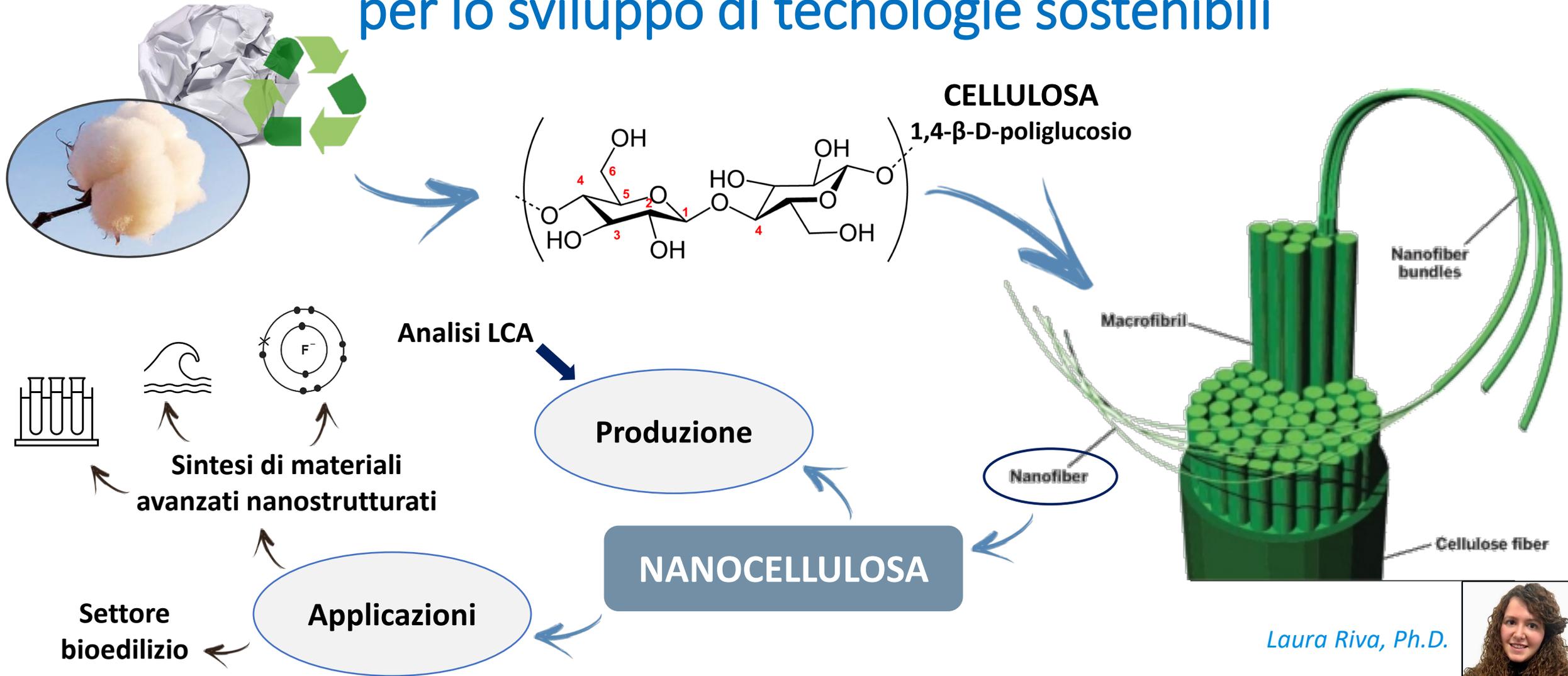
- CANAPA



Danilo Colombo (PhD Candidate)



# Nanofibre di cellulosa da fonti vergini e di scarto per lo sviluppo di tecnologie sostenibili



Laura Riva, Ph.D.

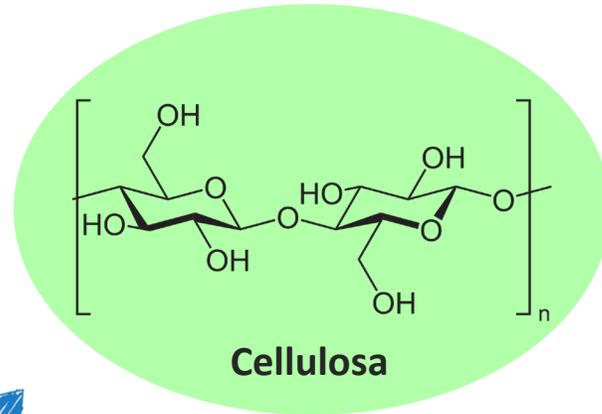


# Nanofibre di cellulosa per la produzione di materiali sostenibili

Cotone

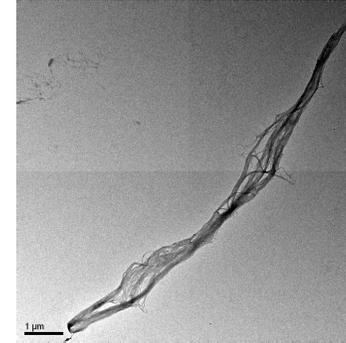
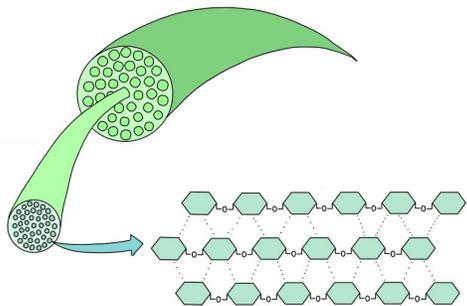


Eucalipto

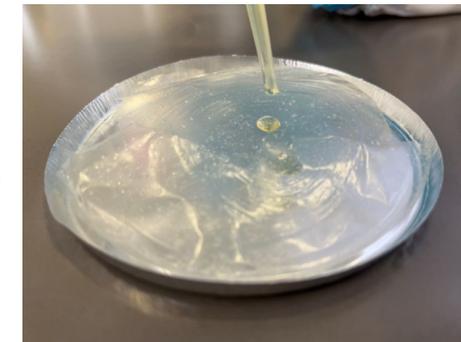


Fibre di cellulosa:

- **Macrofibrille**
- **Microfibre**
- **Nanofibre**



Fibre di nanocellulosa



Film **idrofilici**  
**e/o**  
**idrofobici**  
ad azione  
**barriera**

Additivo per **aumentare** la **resistenza** della carta (sia in umido che a secco)

Gloria Nicastro (PhD Candidate)



