



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

Giornata di Studio

IDROGENO E TECNOLOGIE PER LA GENERAZIONE ENERGETICA E LA PROPULSIONE NEI TRASPORTI GREEN

25 GENNAIO 2024

Villa Giustiniani-Cambiaso, Aula A7 «Oreste Acton»
Via Montallegro 1, Genova

Produzione e stoccaggio di idrogeno in idruri metallici: Esperienze di laboratorio

Ing. Federico Ferrari

SMEA research group

DIN – Dipartimento di Ingegneria Industriale, Alma Mater Studiorum – Università di
Bologna

Gruppo di Sistemi e Macchine per l'Energia e l'Ambiente (SMEA)

Dipartimento di Ingegneria Industriale (DIN)

Professori ordinari

Prof. Michele Bianchi, Prof. Antonio Peretto

Professori associati

Prof.ssa Lisa Branchini, Prof. Andrea De Pascale,
Prof. Francesco Melino

RTD

Ing. Maria Alessandra Ancona, Ing. Saverio Ottaviano

Assegnisti di Ricerca Post-Doc

Ing. Francesco Falcetelli

Dottorandi

Ing. Riccardo Adinolfi Borea, Ing. Federico Ferrari, Ing. Federico Gianaroli, Ing. Chiara Poletto

Assegnisti di Ricerca Junior

Ing. Riccardo Alleori, Ing. Bruno Cavuoti, Ing. Tania Santangelo, Ing. Davide Scampamorte



Idrogeno: i progetti di ricerca del gruppo

1) **NoMaH** - Novel Materials for Hydrogen storage



Politecnico di Torino



2) **HC-hub-ER** – Hydrogen and Carbon use through Energy from Renewables



3) Ricerca di Sistema Elettrico Nazionale PTR 22-24: **r-SOC technology for P2G**



4) Ricerca di Sistema Elettrico Nazionale PTR 22-24: **Sistemi ibridi di micro-cogenerazione per la valorizzazione di biogas e idrogeno finalizzati alla produzione di acqua calda sanitaria nelle piccole isole**



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

NoMaH – Novel Materials for Hydrogen Storage



01/2023 – 3 y
3 M€

Obiettivi progetto:

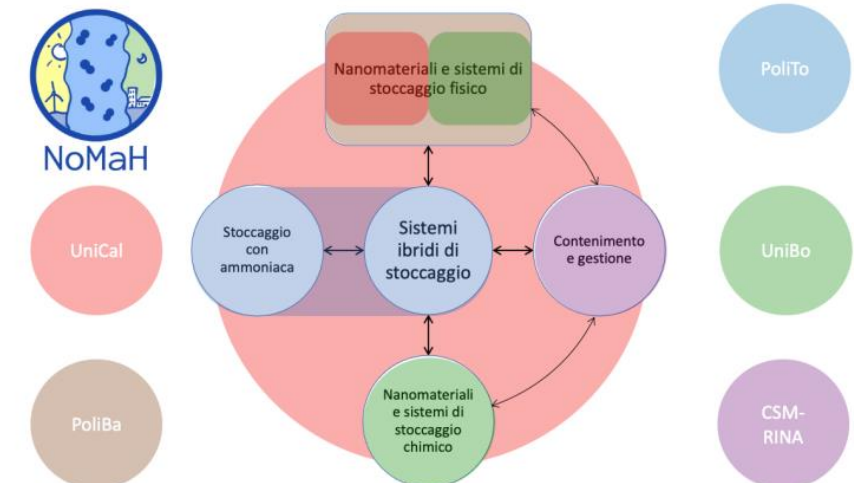
- colmare il gap fra le tecnologie esistenti per l'accumulo dell'idrogeno e le reali necessità per una sua effettiva diffusione per applicazioni nelle comunità energetiche attualmente utilizzando alta pressione o bassa temperatura;
- sviluppare e qualificare sistemi evoluti e/o ibridi sfruttando a pieno la libertà offerta dalla produzione di materiali con struttura e composizione controllata a scala nanometrica (nanomateriali) per sintetizzare nuovi sorbenti per l'idrogeno.

Obiettivi UNIBO – Gruppo SMEA

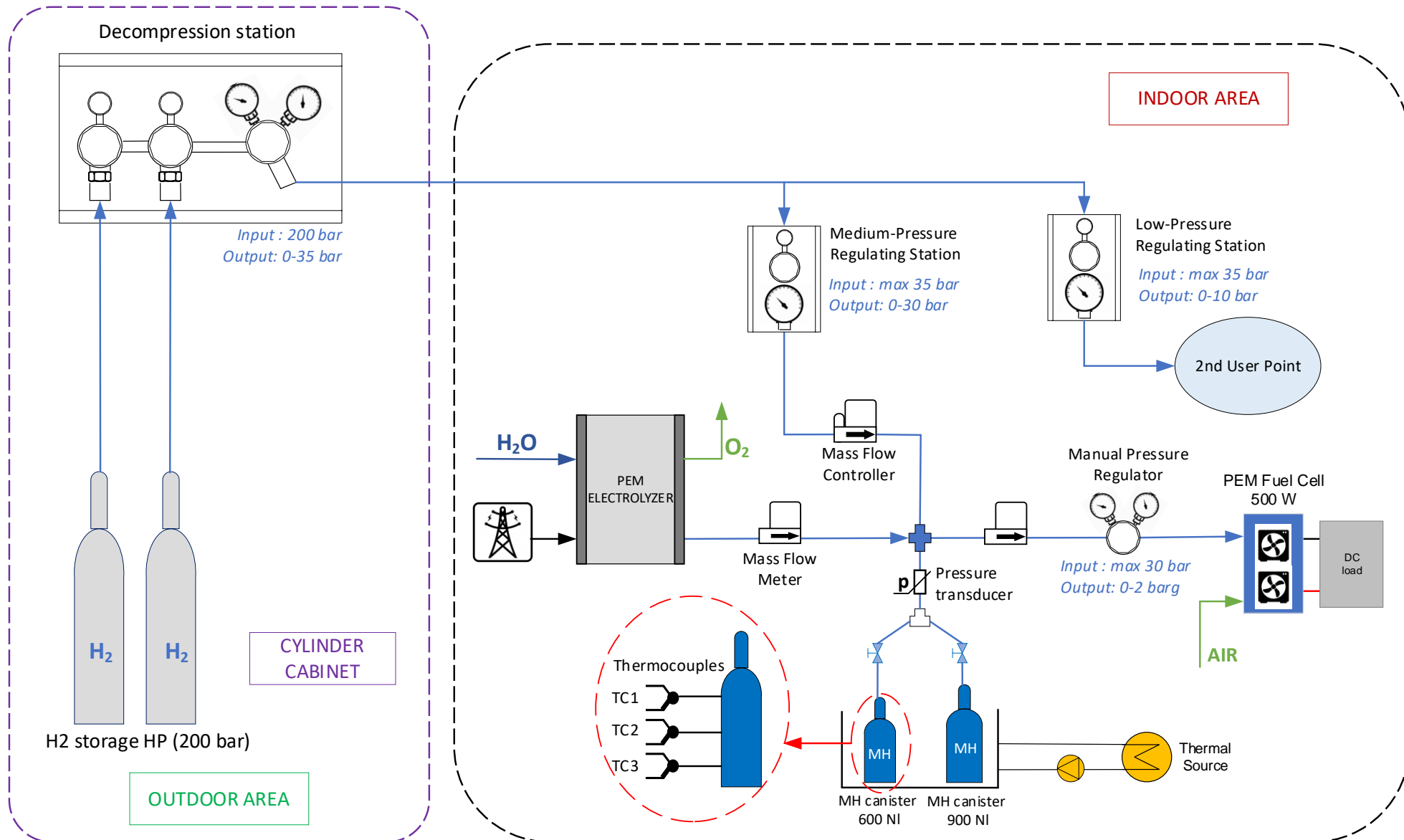
- **Nanomateriali e sistemi per lo stoccaggio chimico di idrogeno:**
 - Modellazione termodinamica dei sistemi di accumulo di tipo chimico;
 - Ottimizzazione sperimentale della gestione delle temperature in fase di accumulo e restituzione per bombole basate su idruri, per pressioni compatibili con quelli dei nuovi elettrolizzatori (fino a 30 bar).

Partners:

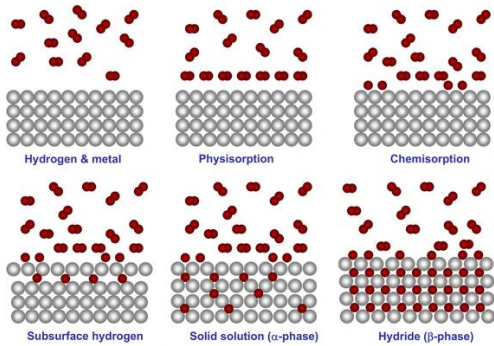
- **UniBo** – DIN, DIFA, CHIMIND
- **UniCal (CAPOFILA)**
- **PoliTo**
- **PoliBa**
- **RINA CSM**



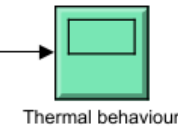
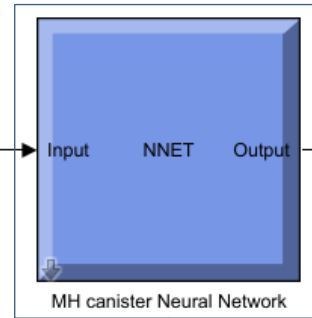
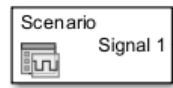
Layout d'impianto



Modellazione termodinamica MH

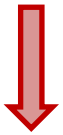


approccio
data-driven



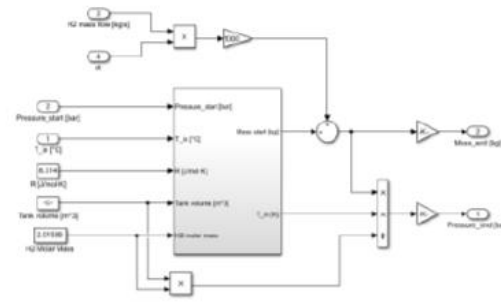
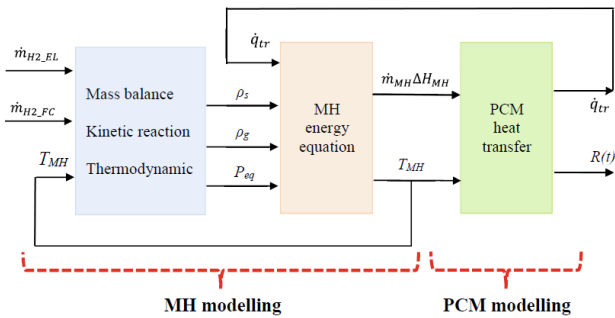
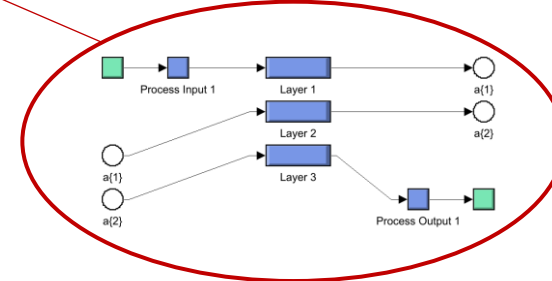
Ottimizzazione
gestione
termica

approccio
analitico



$$\dot{m}_{MH-a} = C_a \cdot \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \ln\left(\frac{P_g}{P_{eq}}\right) (\rho_{sat} - \rho_s)$$

$$\dot{m}_{MH-d} = C_d \cdot \exp\left(-\frac{E_d}{RT}\right) \left(\frac{P_g - P_{eq}}{P_{eq}}\right) (\rho_s - \rho_0)$$



modello di calcolo del serbatoio di
stoccaggio dell'idrogeno

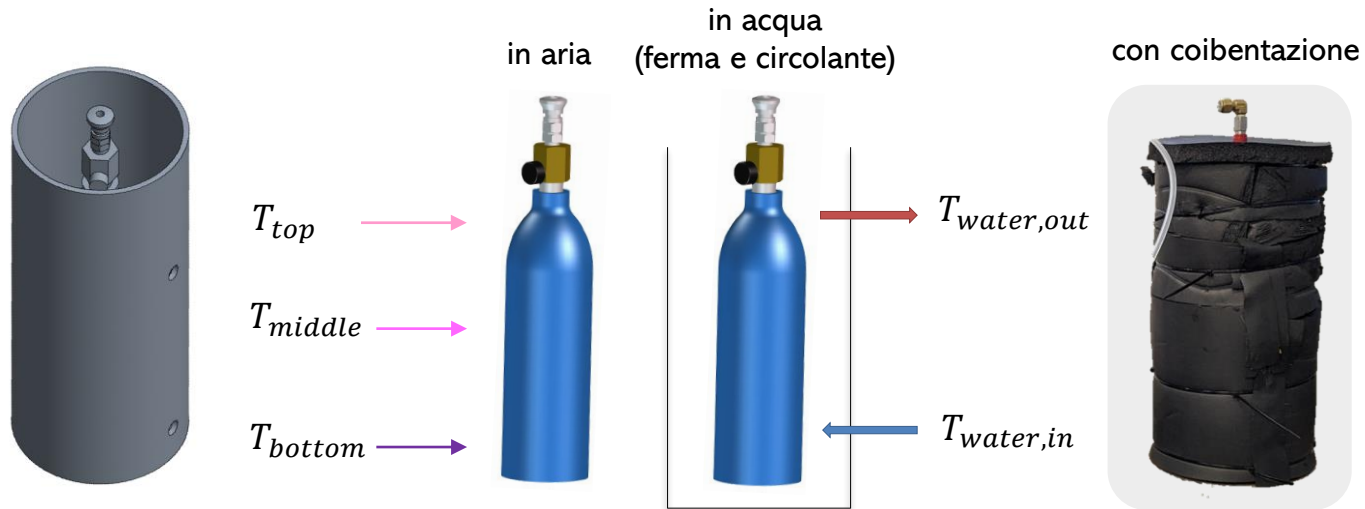


Analisi di scenario ed
integrazione Power-to-X

Fig. 5. Flow chart of mathematical modelling of MH thermal management using PCM in MATLAB.*

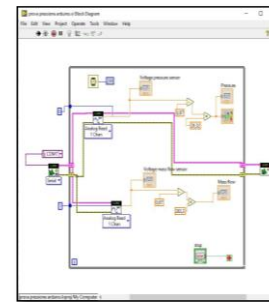
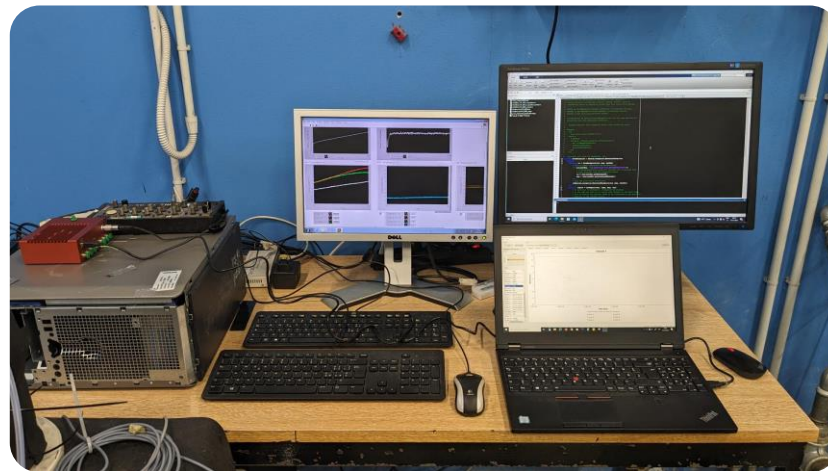


Test preliminari – condizioni operative e DAQs



Grandezze monitorate:

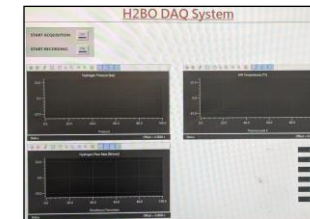
- **Temperature** superficiali bombola e del fluido di raffreddamento/ambiente
- **Pressione** linea H₂
- **Portata** H₂
- **Deformazione meccanica** (μ -strain)



NATIONAL INSTRUMENTS



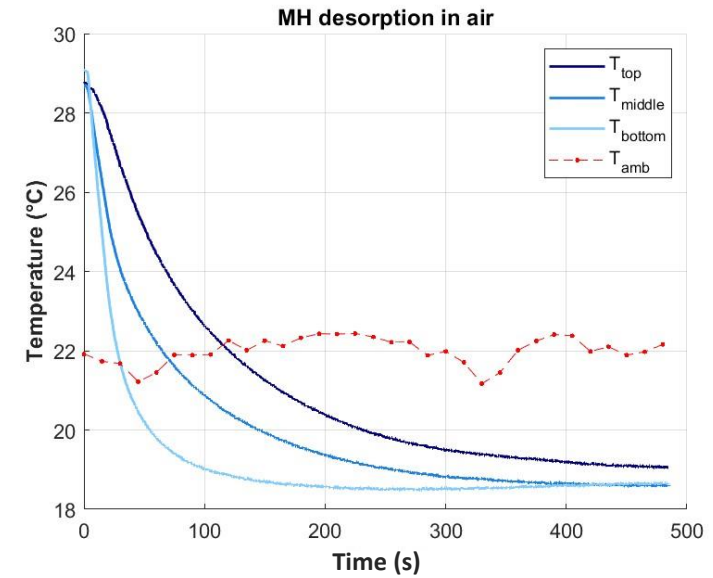
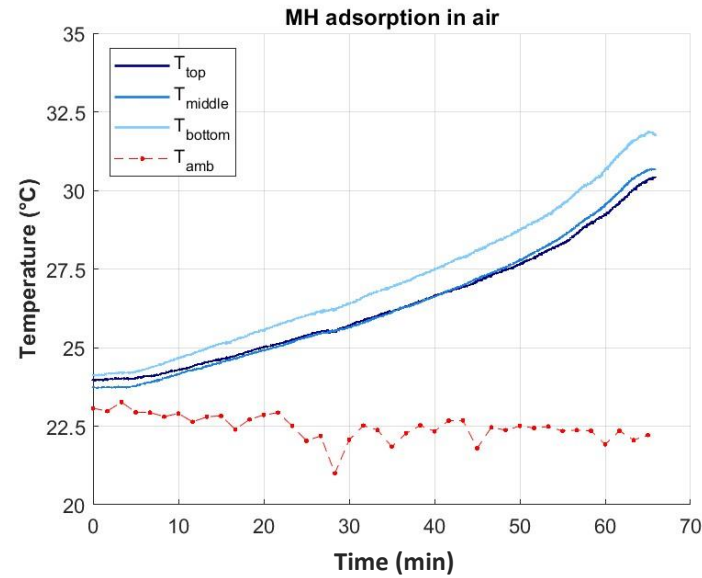
DAQs
LabVIEW®
SimulinkRT®



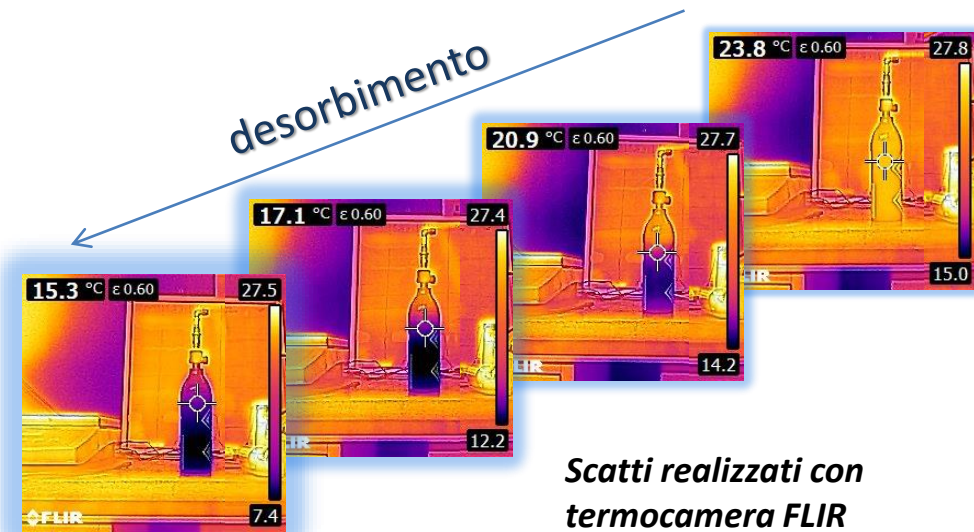
ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

Test preliminari – Analisi delle temperature

Cicli di
adsorbimento
e
desorbimento
dell'idrogeno



Sequenza di scatti durante la fase di desorbimento



Scatti realizzati con termocamera FLIR



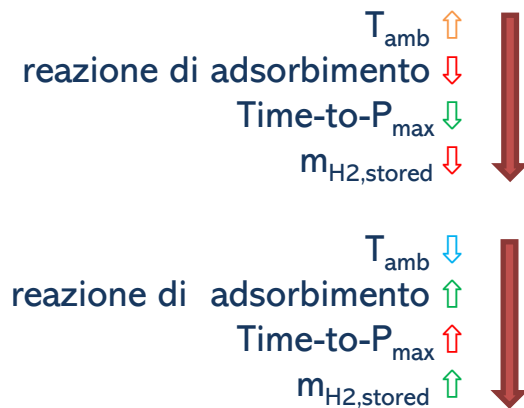
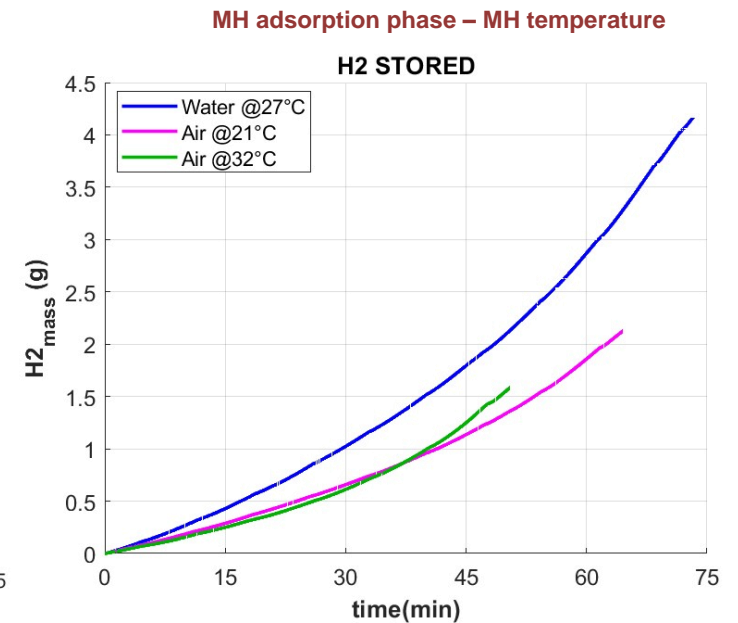
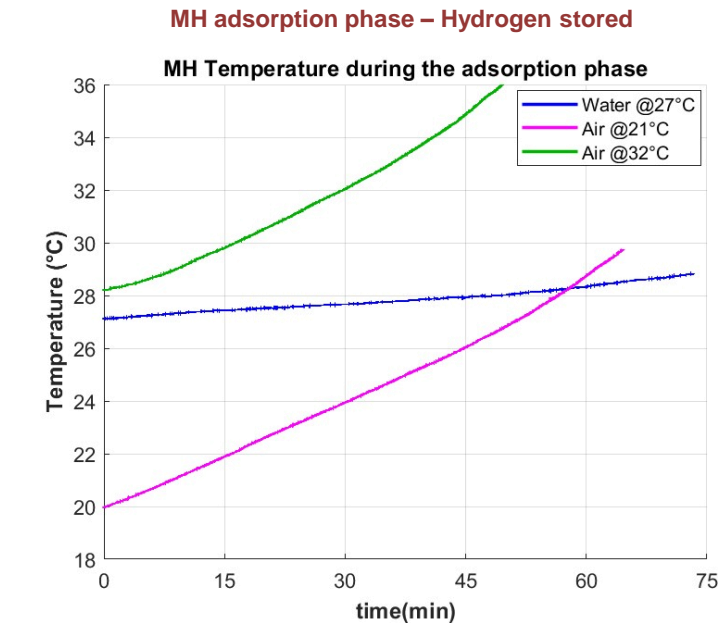
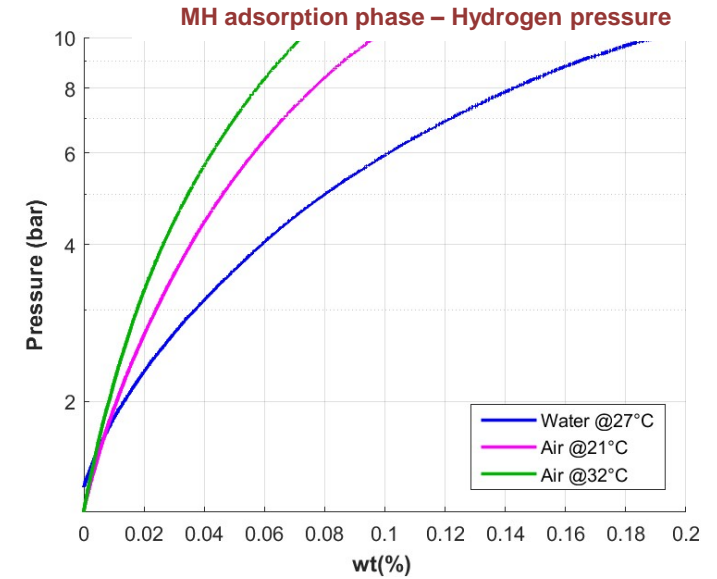
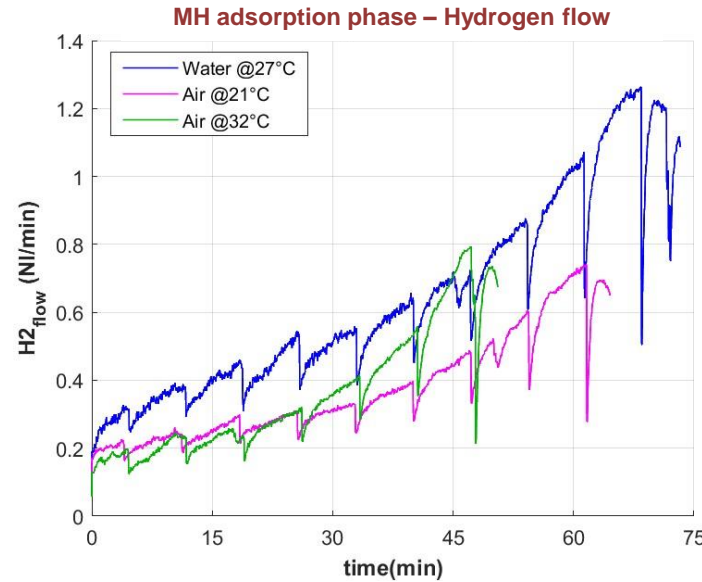
Test preliminari – Accoppiamento con l'elettrolizzatore

Hydrogen generator Sirio 50N ErreDue:

- PEM-LT stack technology
- Nominal power consumption: 2.5 kW
- Max. production rate : 500 NI/h

Condizioni test:

- 1 bombola (200NI)
- $P_{max} = 10$ bar
- Tre livelli di temperatura:
 - In acqua $T = 27^{\circ}\text{C}$ (non circolante)
 - In aria $T = 21^{\circ}\text{C}$
 - In aria $T = 32^{\circ}\text{C}$



Test preliminari – Adsorbimento a 0°C: temperatura superficiale della bombola

Hydrogen generator HG30 Heliocentris:

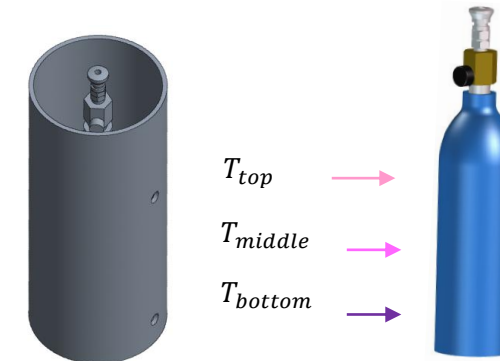
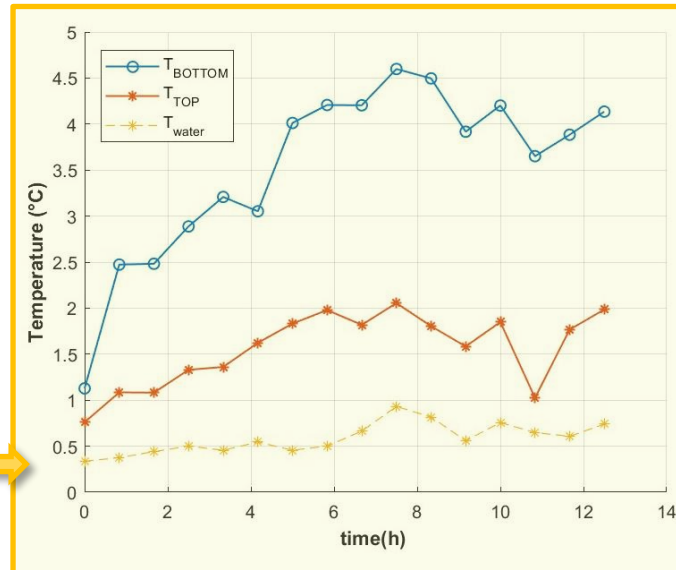
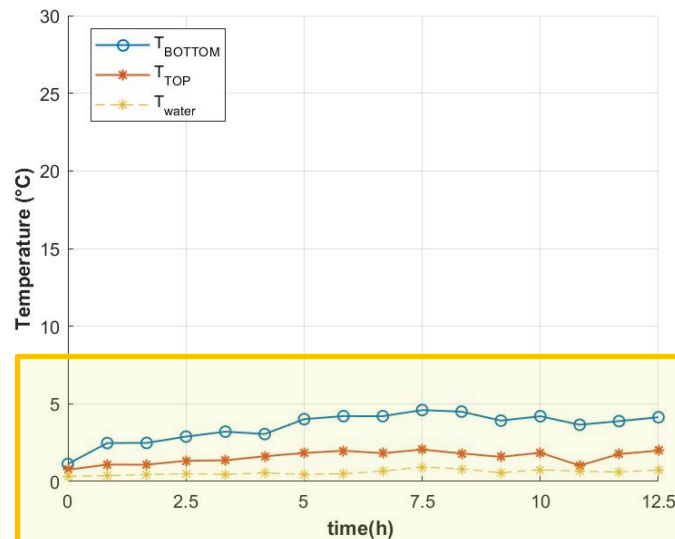
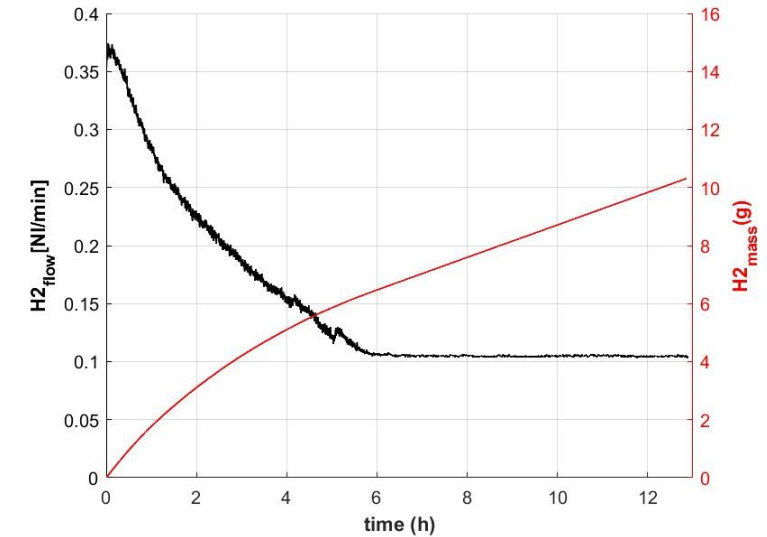
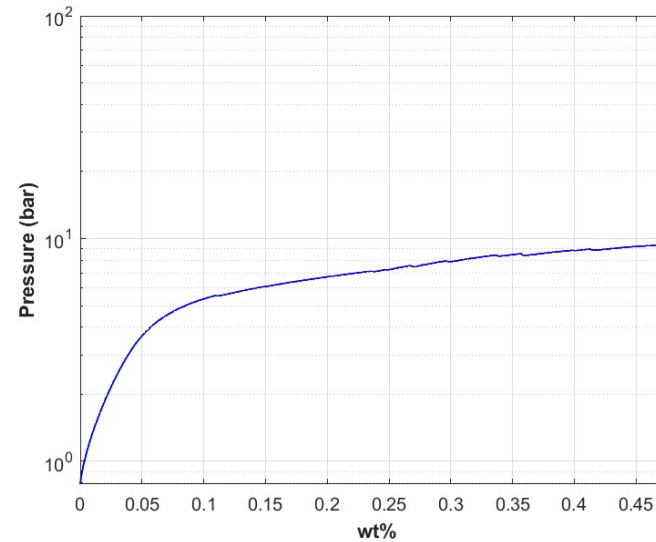
- Nominal power consumption: 300 W
- Max. production rate : 30 NI/h

Condizioni test:

- 1 bombola (200NI)
- In acqua e ghiaccio a $T_{H_2O} = 0^\circ\text{C}$ (non circolante)

Confronto massa idrogeno accumulata:

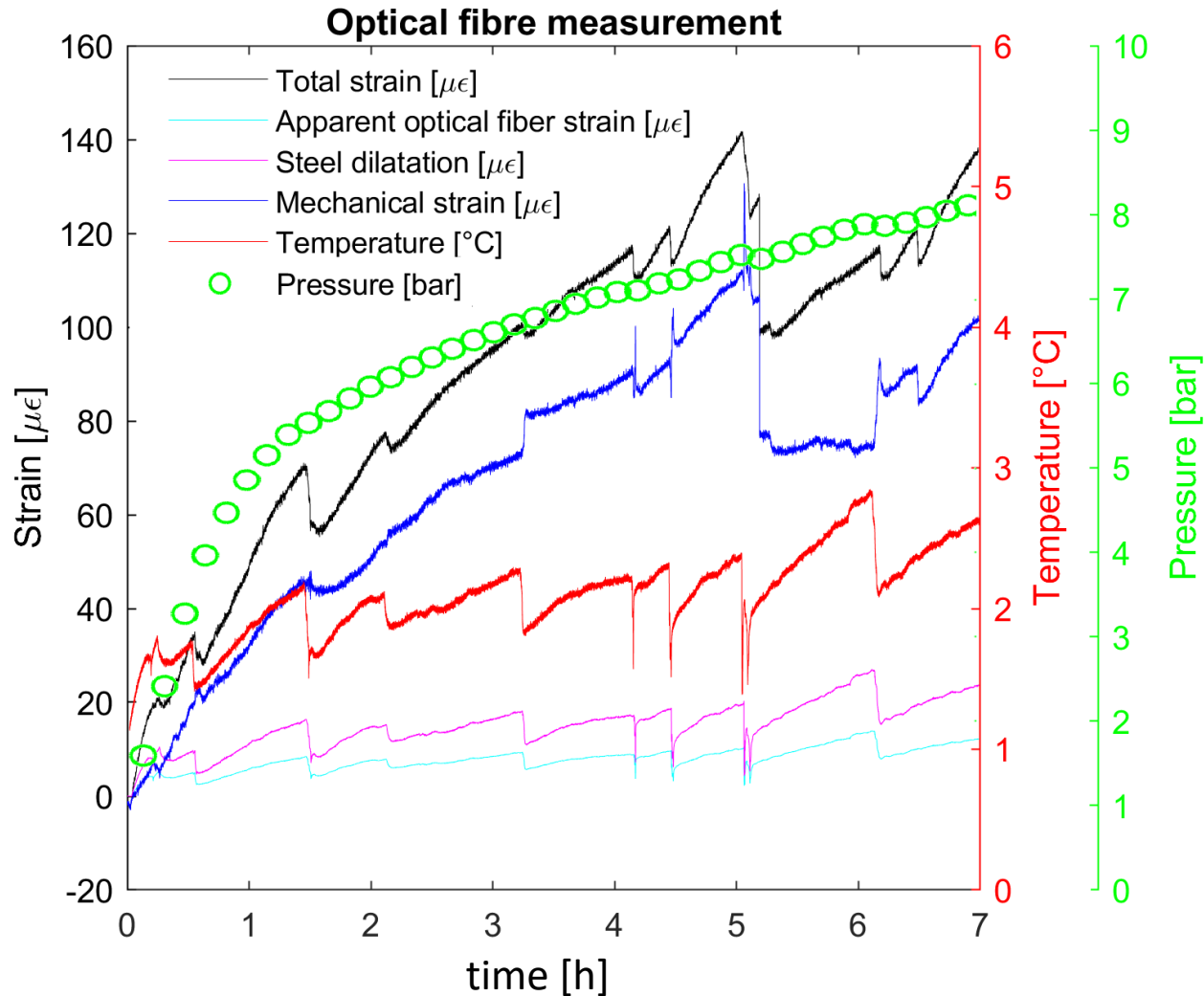
- Da bilancia: $m_{H_2} \approx 12$ g
- Da integrazione portata: $m_{H_2} \approx 11$ g



Ossevabile gradiente termico anche a temperatura controllata e in presenza di coibentazione



Test preliminari – Analisi della deformazione meccanica mediante fibre ottiche



- Andamento delle **deformazioni meccaniche** nel tempo durante la fase di **adsorbimento fino a 10 bar (test a 0°C)**
- Si riscontra una **dilatazione meccanica** dovuta ai fenomeni termici ed all'aumento di **volume degli idruri metallici**.

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = K_\varepsilon \varepsilon + K_T \Delta T$$

ΔT : Temperature change [K]

λ_0 : Nominal wavelength of the fiber [nm]

$\Delta\lambda$: wavelength shift [nm]

ε : strain $\left[\mu\varepsilon = \frac{\mu m}{m} \right]$

K_ε : static strain sensitivity [-]

K_T : static temperature sensitivity $\left[\frac{1}{K} \right]$





ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

Ing. Federico Ferrari

DIN – Dipartimento di Ingegneria Industriale, Alma Mater Studiorum – Università di Bologna

federico.ferrari28@unibo.it

www.unibo.it