

TECNOLOGIE INNOVATIVE PER L'ACCUMULO

01.07.16



Luigi Crema, *head of ARES – Applied Research on Energy Systems*

Vice Chair ENERGY PILLAR – N.ERGHY, Research grouping FCH JU

ACCUMULI DI ENERGIA,

Per le rinnovabili, per le reti

RIDUZIONE
EMISSIONI
CO2

ENERGIA DA
FONTI
RINNOVABILI

ARIA PULITA



TECNOLOGIE
ATTUALI COSTOSE

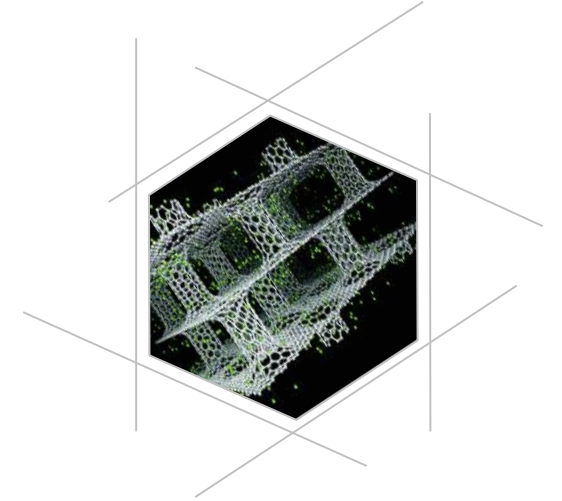


PROBLEMATICHE
TECNOLOGICHE



SETTORE INDUSTRIALE
IN FASE DI SVILUPPO

LE SFIDE NEL MERCATO DELL'ENERGIA FUTURO



PROBLEMA

#1

INTEGRAZIONE DI
FONTI RINNOVABILI E
CURTAILMENT
DELL'ENERGIA

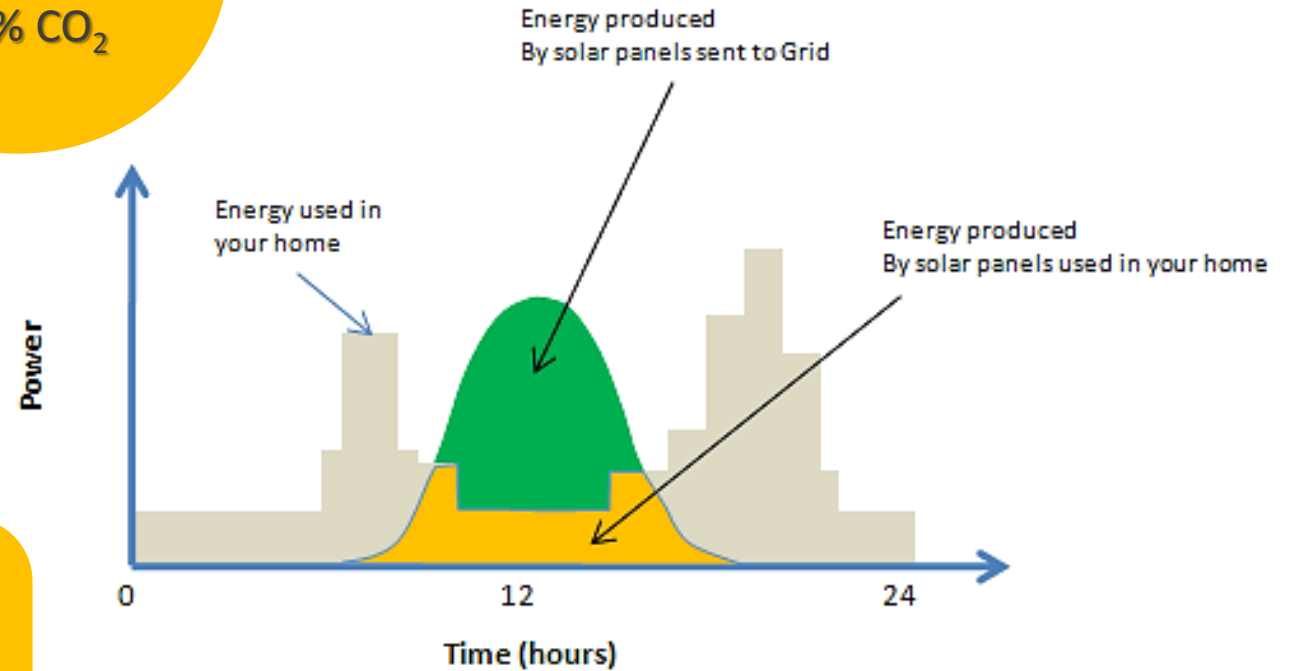
EU 2030

+27% REN
+27% EFFICENZA
-40% CO₂

EU 2050

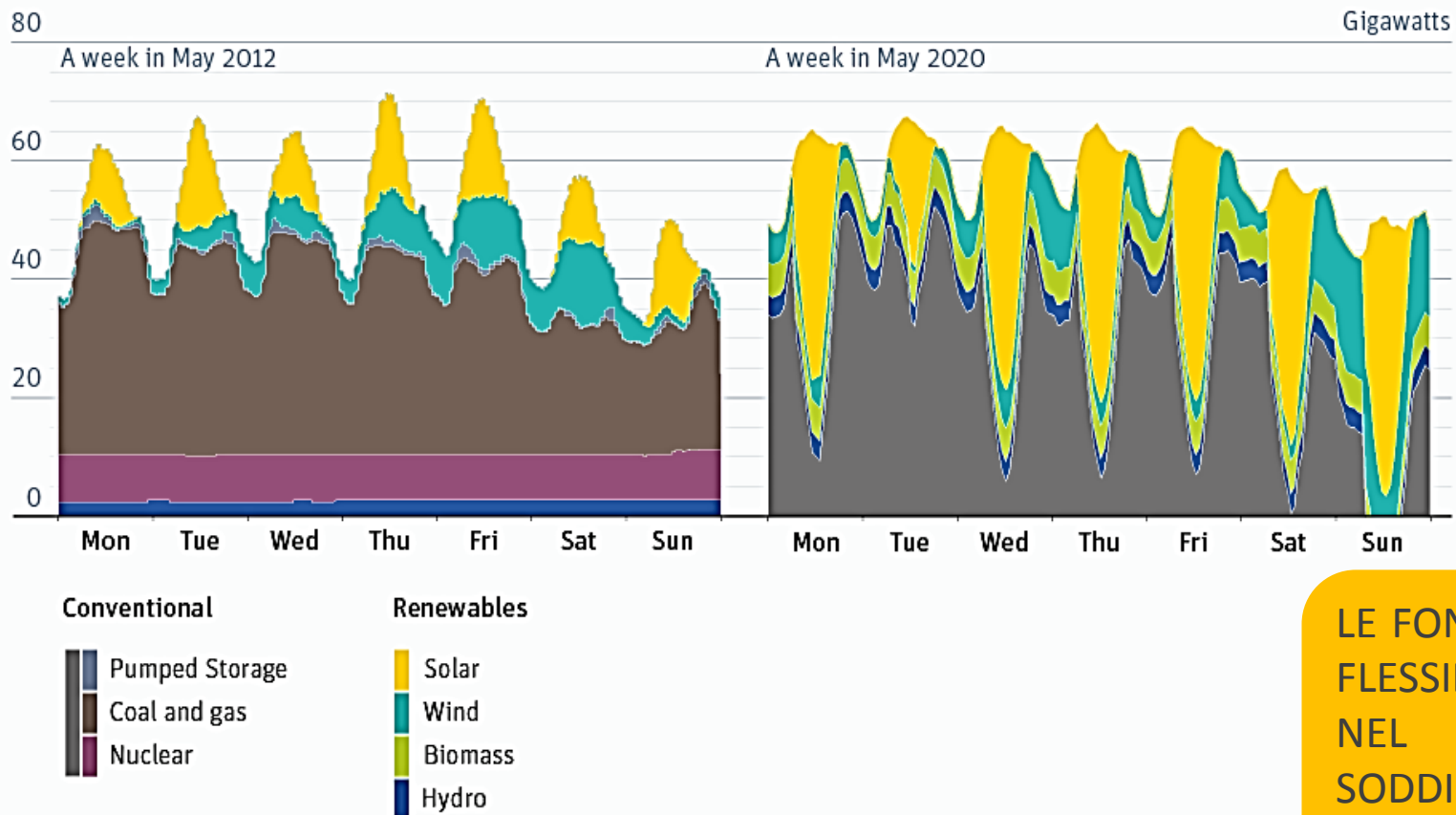
-80% CO₂

QUANDO LA PENETRAZIONE DI MERCATO DI RISORSE VARIABILI E INTERMITTENTI INIZIERA' A CRESCERE, NON POTRANNO PIÙ ESSERE GESTITE SOLO AUMENTANDO L'INTELLIGENZA DELLA RETE, MA POTRANNO ESSERE SEMPRE PIÙ SOGGETTE A «CURTAILMENT»



Source: <http://www.letitgo.com.au/>

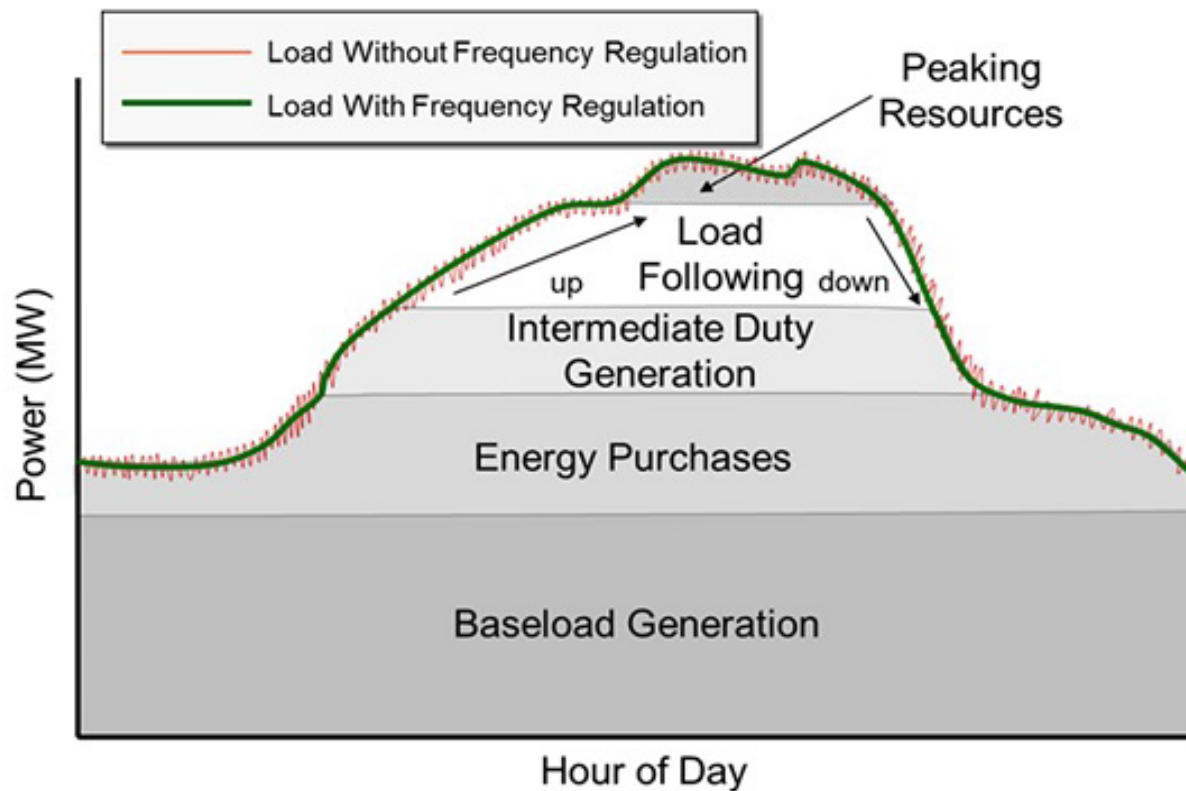
RICHIESTA DI POTENZA IN DUE SETTIMANE, DEL 2012 E DEL 2020, IN GERMANIA



PROBLEMA #2

CONNESSIONE
FLESSIBILE FRA
PRODUZIONE
(intermittente) E
CONSUMO (su richiesta)

LE FONTI RINNOVABILI RICHIEDONO UN BACKUP FLESSIBILE, PER AVERE MAGGIOR PENETRAZIONE NEL MERCATO. ALTRIMENTI POSSONO SODDISFARE I CONSUMI BASE RALLENTANDO SVILUPPI E INTERESSE DEI MERCATI



Source: E&I Consulting

Figure 1. "Electric Resources Stack" and hourly system load for one day.

PROBLEMA #3

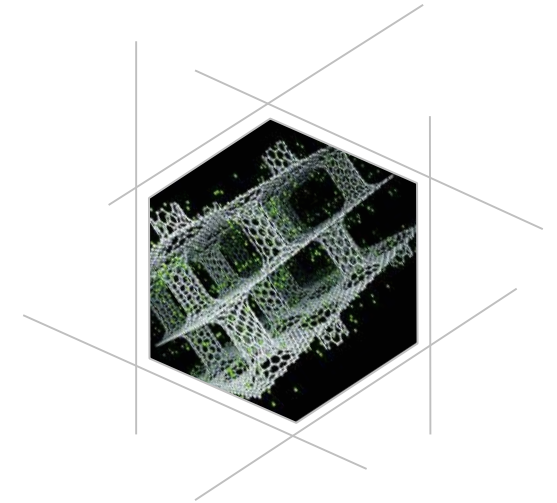
- SICUREZZA DELLA FORNITURA
- BILANCIAMENTO E EFFICIENZA DELLE RETI DI TRASMISSIONE E DISTRIBUZIONE

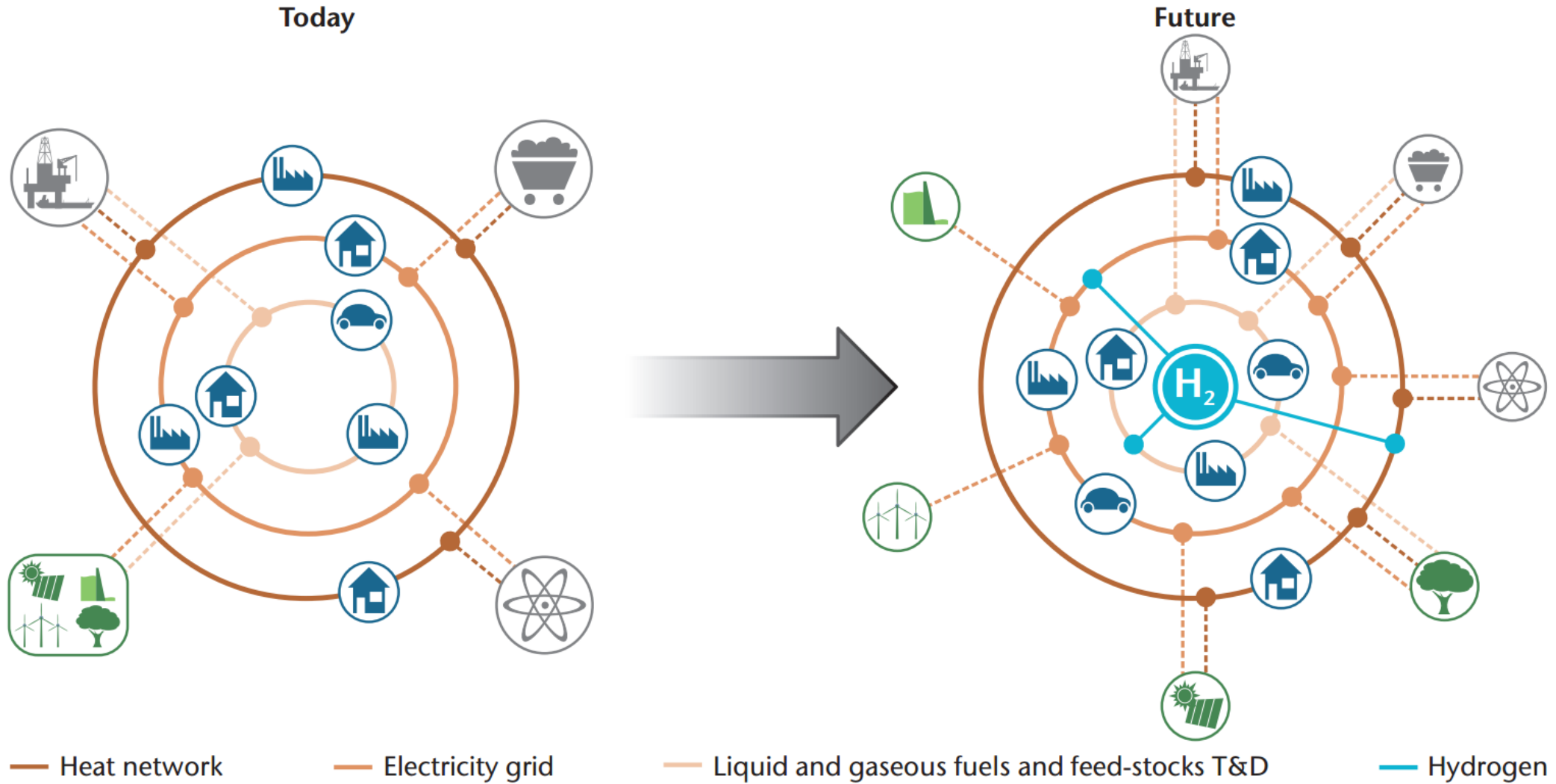
SENZA IL SUPPORT DEGLI ACCUMULI DI ENERGIA, CI POTREBBERO ESSERE PROBLEMI DI STABILITA' DELLA RETE E DI FORNITURA DELL'ENERGIA.

MOLTI SERVIZI DI RETE POSSONO ESSERE ALIMENTATI DA ACCUMULI, COME L'APPIATTIMENTO DEI PICCHI, L'INSEGUIMENTO DEI CARICHI, IL BILANCIAMENTO DELLA RETE, GENERAZIONE DI MEDIA POTENZA, APPROVVIGIONAMENTO ENERGETICO

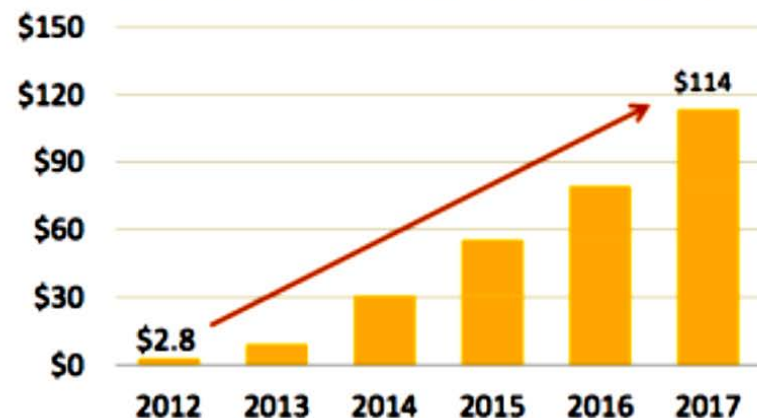
ACCUMULI di ENERGIA

- MERCATI
- PROSPETTIVE



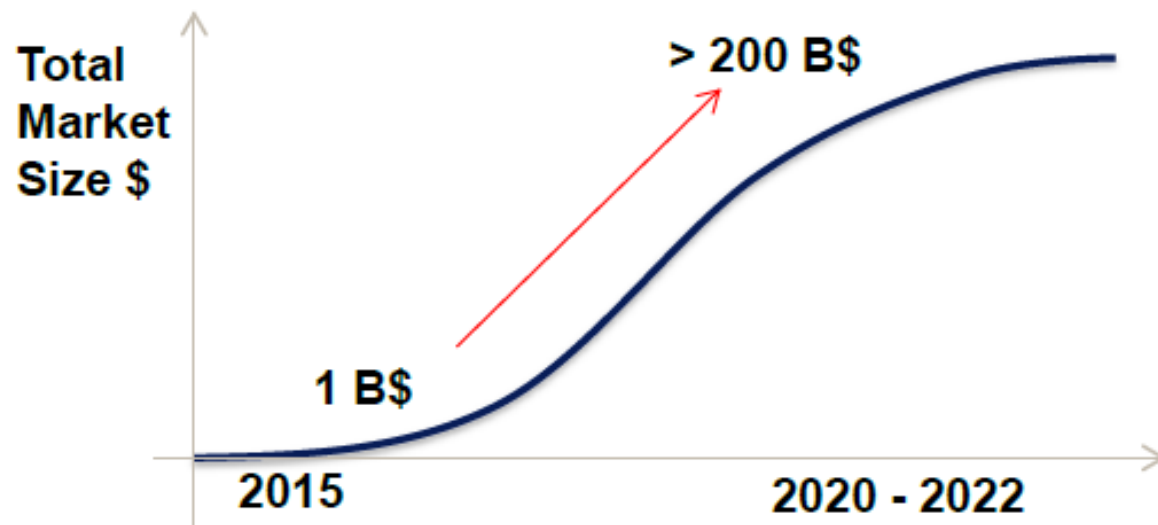


Grid-Scale Energy Storage (\$B)



- **Lux Research** – \$114 B by 2017
- **Piper Jaffrey** – \$600 B market over 10-12 years
- **Boston Consulting Group** – \$400 B market by 2020
- **EPRI/DOE** – annual savings of \$50 billion/year via energy storage

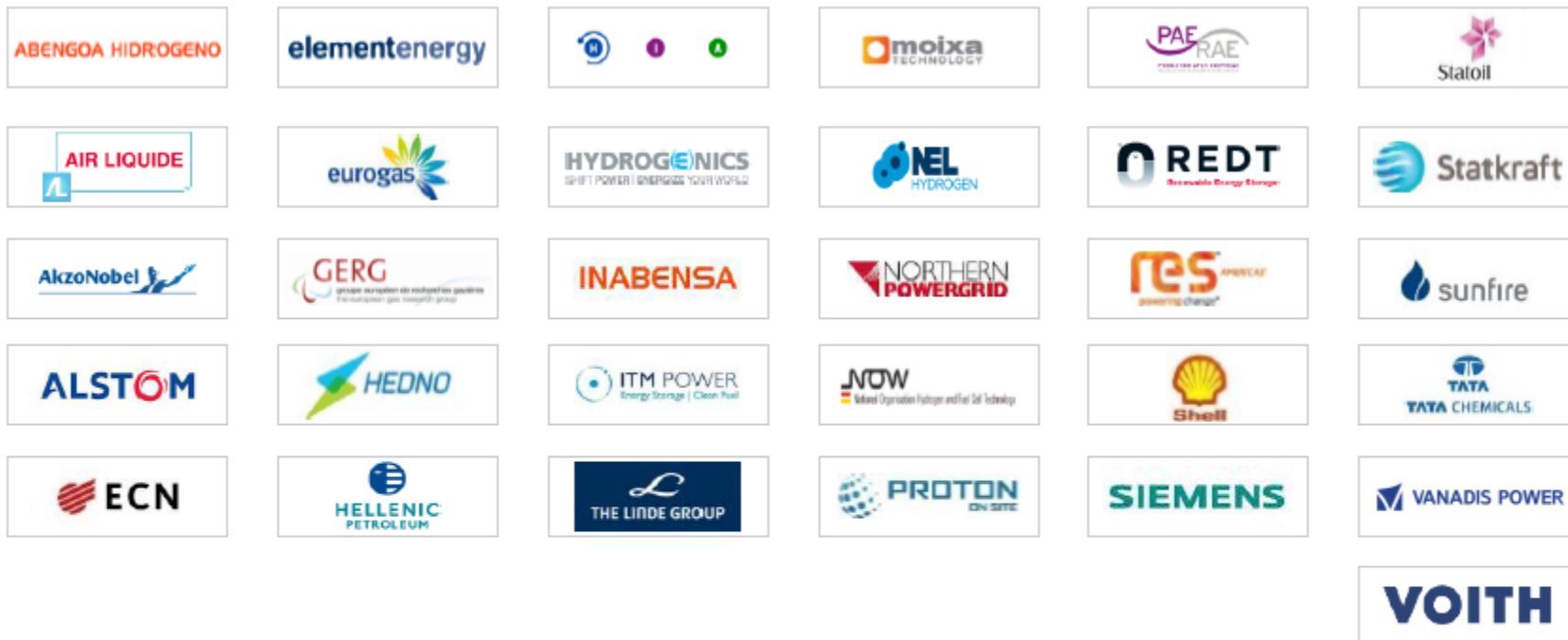
McKinsey research indica gli **ACCUMULI DI ENERGIA** come una *key disruptive technology* per la prossima decade con un impatto mondiale di **\$B 100-600**.



Il mercato Europeo è tra il 30-40% del mondiale.
(circa \$B 80-160)

Totale mercato raggiungibile entro il 2020:
\$B 200-400

Authors of the study



Financially supported by



Supported by



Analytical support provided by

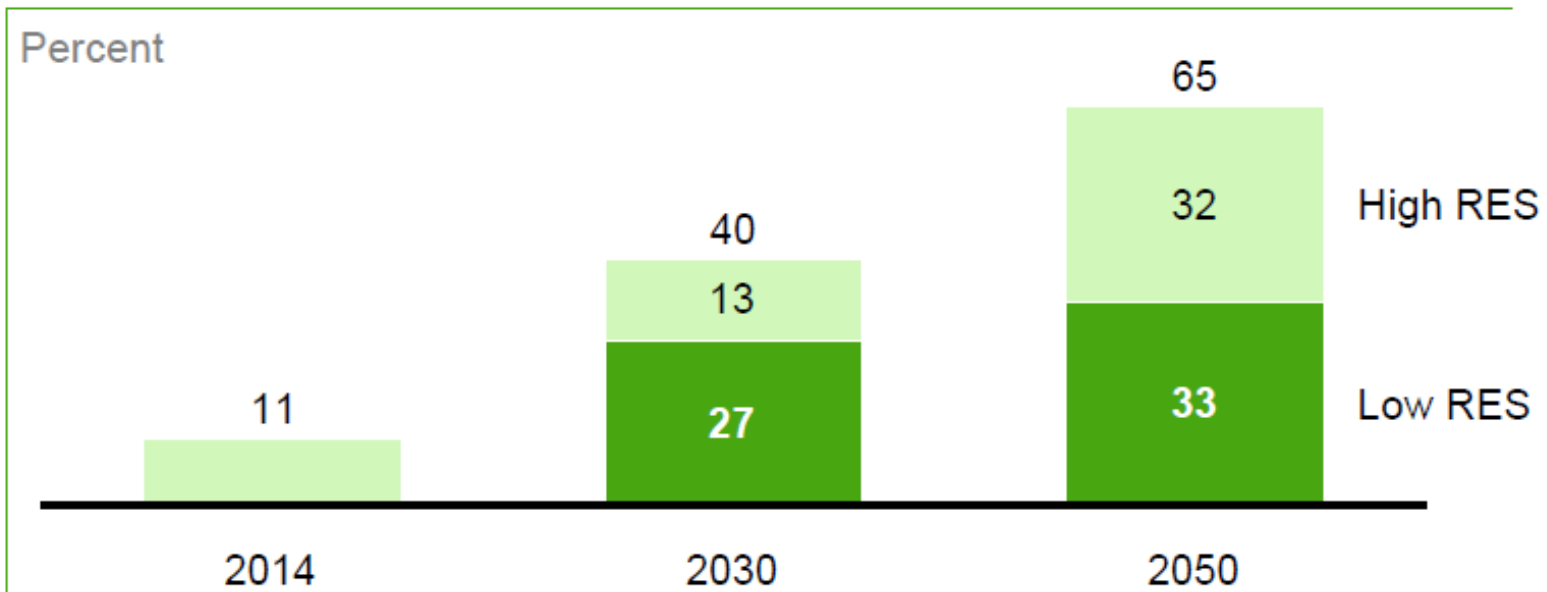
McKinsey&Company

EU E FCH JU HANNO
COMMISSIONATO UNO STUDIO
SULLA COMMERCIALIZZAZIONE DI
ACCUMULI DI ENERGIA IN EU

LO STUDIO E' STATO REDATTO DA
McKINSEY, SUPPORTATO DA
ESPERTI EUROPEI DALLA RICERCA
E DALL'INDUSTRIA

LO STUDIO E' STATO FINALIZZATO
ALL'INIZIO DEL 2015 E
PRESENTATO A BRUXELLES NEL
MARZO 2015

Frazione di fonti RES intermittenti nella generazione di potenza, EU27+2



Contesto: la crescita delle rinnovabili diminuirà la prevedibilità della generazione di potenza

Da ...

Percorsi guidati dai consumi

>50% necessità di generazione NON RES

Implicazioni

Diminuisce la prevedibilità delle necessarie fonti fossili

L'uso di fonti rinnovabili diminuisce

... a

Percorsi guidati dalla fornitura

~15% richiesta di generazione NON RES

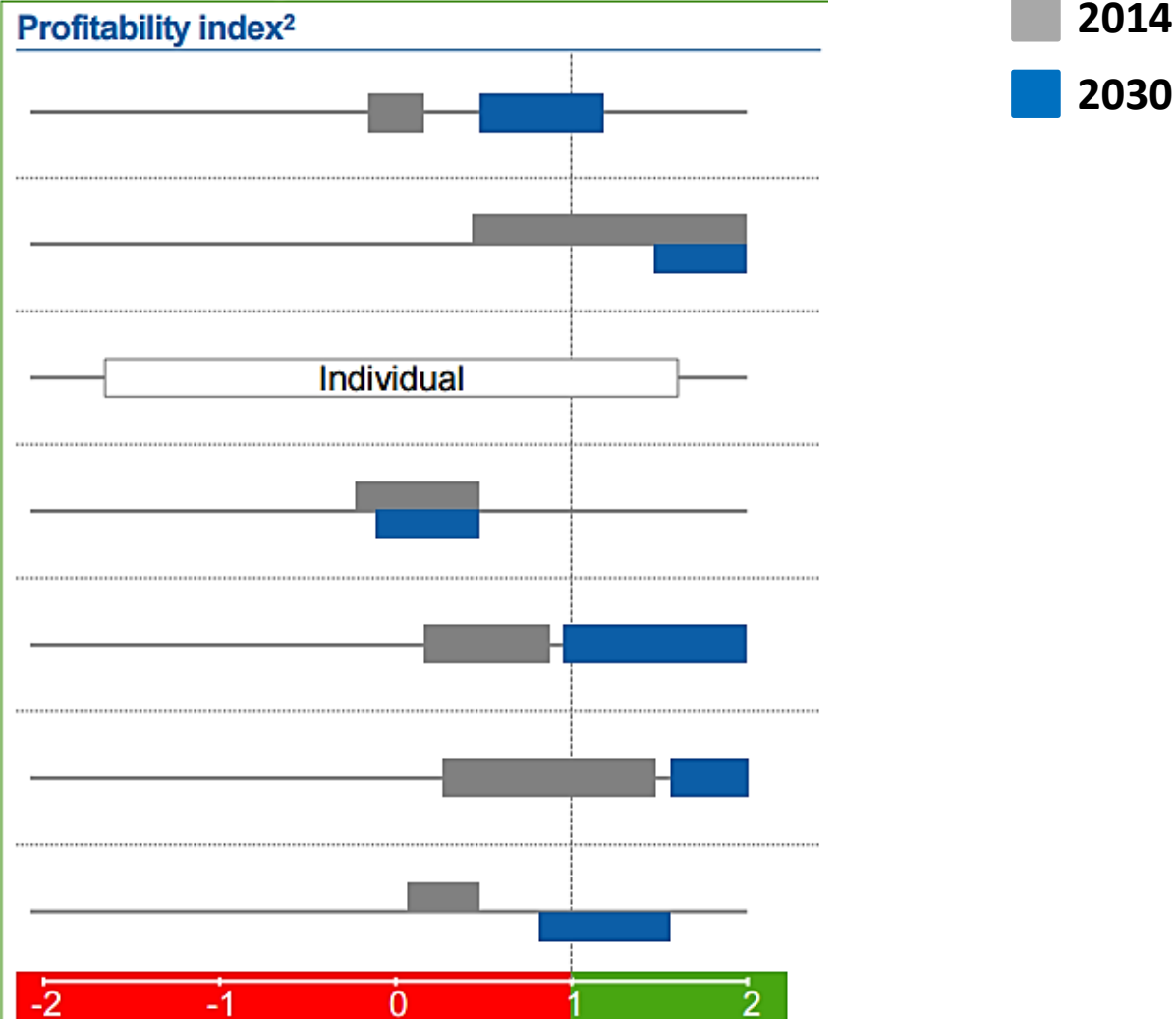
I PRINCIPALI RISULTATI DELLO STUDIO

- » 1. La domanda di sistemi power-to-power (P2P) con accumulo di energia per spostamento dei consumi nel tempo può aumentare fino a 10x entro il 2050
- » 2. La domanda di accumulo sarà la maggiore nei sistemi a Isola e minore nei paesi con grandi riserve idriche
- » 3. Un backup da fonti fossili sarà necessario con un eccesso di produzione anche con 10x degli attuale sistemi P2P
- » 4. Conversione e accumulo su energia termica può ridurre la produzione fossile, ma manterrà l'eccesso di energia. La conversione su idrogeno per altro utilizzo fuori dal settore elettrico può ridurre l'eccesso di energia, ma non annullare la produzione fossile
- » 5. Soluzioni commercialmente sostenibili di accumulo saranno disponibili nel breve periodo
- » 6. Cambiamenti normativi saranno la chiave per il business sugli accumuli

FONTE: Commercialization of Energy Storage in Europe, March 2015

http://www.fch.europa.eu/sites/default/files/CommercializationofEnergyStorageFinal_3.pdf

- | | | |
|---|---|---|
| 1 |  | Accumulo P2P usato per spostamento energia [nel giorno] |
| 2 |  | Accumulo P2P come riserva secondaria della rete |
| 3 |  | Accumulo P2P per gestione energia linee T&D |
| 4 |  | Accumulo P2P per ridurre «curtailment» energia eolica |
| 5 |  | Accumulo P2P per valorizzare produzione parchi eolici |
| 6 |  | Accumulo P2P integrato con PV residenziale |
| 7 |  | Elettrolizzatore per conversione di elettricità in idrogeno |



1 Assuming current network fees, WACC of 8%, electricity price development according to archetype modeling

2 NPV of project cash-flows excluding initial outlay divided by initial outlay. Profitability index greater than 1 denotes positive NPV, range based on values for different storage technologies

Quesiti principali

»1

Fino a che punto l'accumulo sarà in grado di aiutare l'integrazione di energie rinnovabili nell'orizzonte 2030 – 50?

»2

Quali sono le opportunità e i mercati iniziali per l'accumulo di energia e quali le azioni per raggiungerli?

Conclusioni principali

Nel 2050 ci sarà una domanda 10x della capacità installata di sistemi P2P. Tuttavia questa capacità diminuirà solo parzialmente la necessità di combustibili fossili tanto quanto l'eccesso di energie da fonti rinnovabili. La conversione a calore può ridurre la necessità di generazione non-rinnovabile, la conversione a idrogeno permetterà di utilizzare tutto l'eccesso di energia

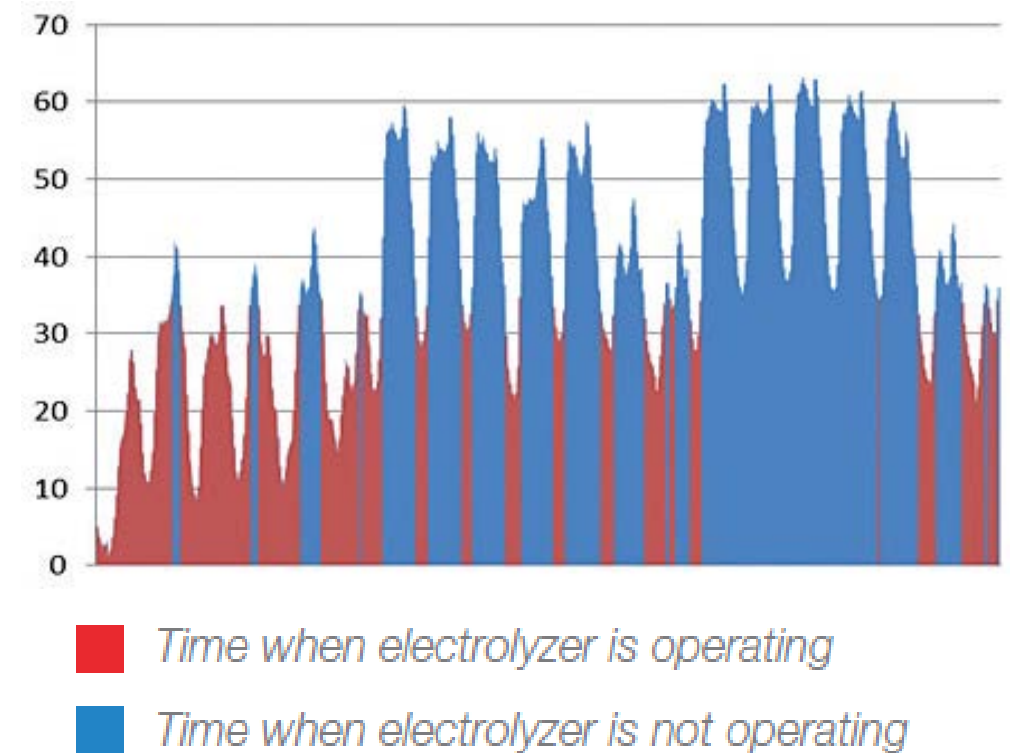
Gli utilizzi di breve-termine nelle reti elettriche possono essere mercati iniziali (e.g. spostamento nel tempo nei sistemi a isola, fornitura di riserva di frequenza, accumulo domestico abbinato al fotovoltaico). Le normative dovrebbero permettere agli accumuli di competere sullo stesso livello rispetto ad altre opzioni di flessibilità

Fornire IDROGENO a basso costo, preferibilmente rinnovabile

- Aumentare l'efficienza della produzione dell'idrogeno principalmente tramite elettrolisi dell'acqua in abbinamento a fonti rinnovabili, con riduzione dei costi di investimento e operativi

Integrare l'IDROGENO nel Sistema elettrico futuro

- Dimostrare sulla larga scala la fattibilità di utilizzare l'idrogeno per supportare l'integrazione delle energie rinnovabili nel Sistema elettrico, incluso l'utilizzo di un Sistema di accumulo vantaggioso



Fonte: <http://www.fch-ju.eu/publications/commercialisation-energy-storage>

ACCUMULI DI ENERGIA

- PROSPETTIVE
- OPPORTUNITA'

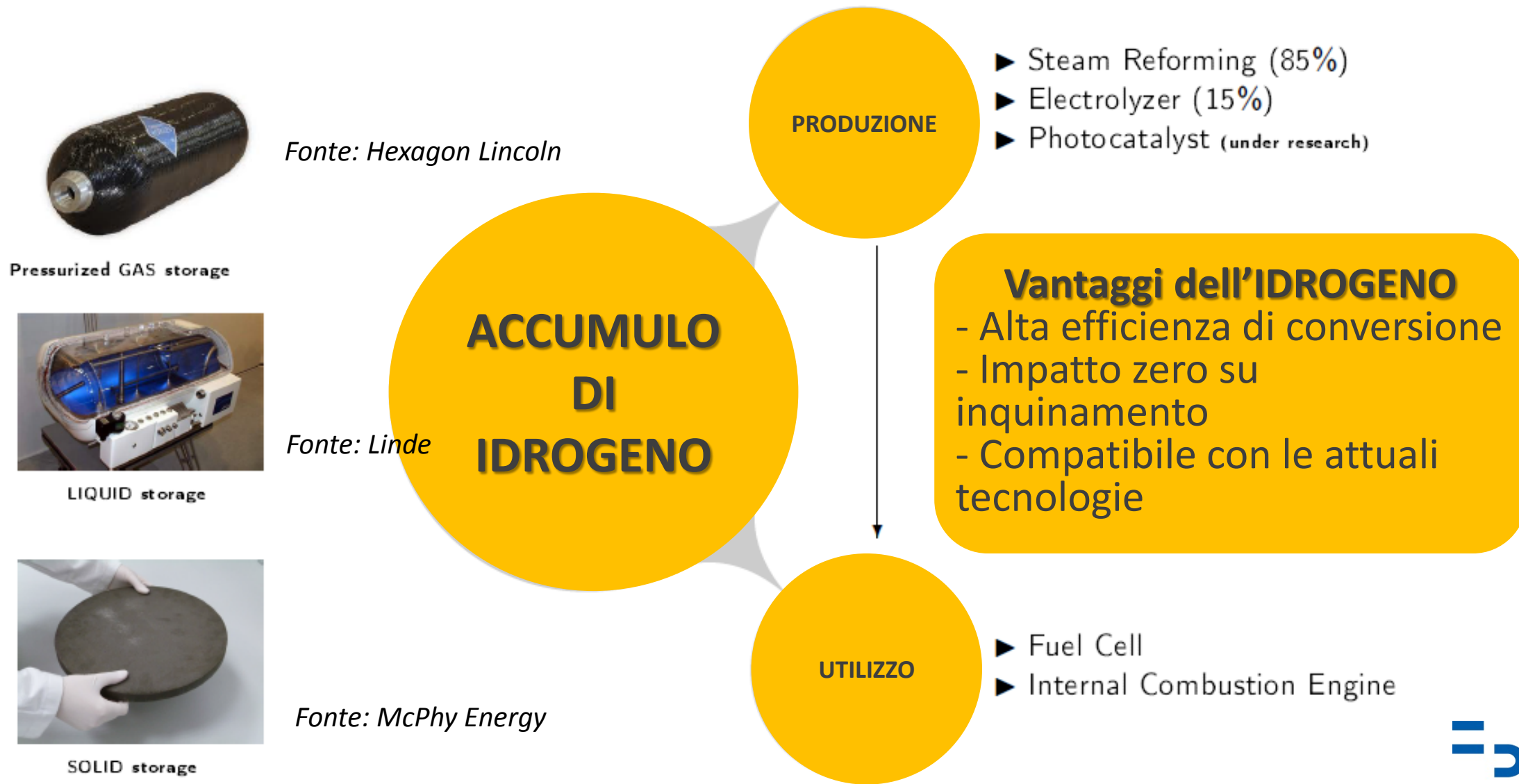


Overview of technology LCoEs for power and energy intensive applications

EUR/MWh

	Power intensive application example (1h of storage)				Energy intensive application example (8h of storage)				Long-term storage (2000h of storage)
	2013		2030		2013		2030		2030
	Low	High	Low	High	Low	High	Low	High	Low
Li-ion	138	573	38	106	181	754	76	218	1000s
NaS	N/A	N/A	N/A	N/A	196	269	42	68	1000s
Flow-V	155	238	57	97	148	239	50	96	1000s
Lead	211	379	59	110	114	262	39	98	1000s
CAES-A	27	N/A	19	N/A	49	N/A	37	N/A	1000s
LAES-A	40	82	32	66	71	166	57	133	1000s
PHES	18	28	18	28	24	42	24	42	>400
P2P H ₂	Electrolyzer and CCPP with salt cavern storage considered for P2P H ₂ - suitable for longer term storage								140

SOURCE: LCoE model; ISEA RWTH; 2012: Technology overview on electricity storage, coalition input



ACCUMULO DI IDROGENO

IDRURI
COMPLESSI

- ▷ Alanate
- ▷ N-derivates
- ▷ BoroHydrides

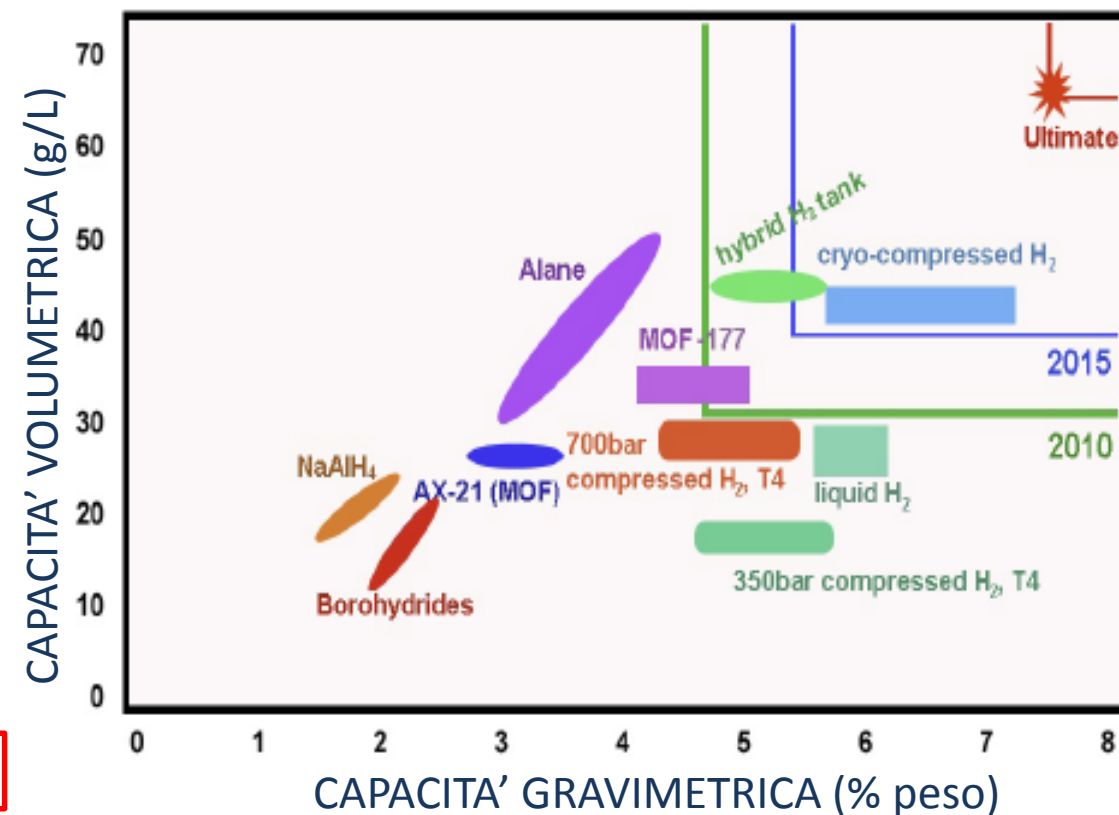
IDRURI
INTERSTIZIALI

- ▷ MgH_2
- ▷ PdH_x

MATERIALI
MICROPOROSI

- ▷ MOFs
- ▷ Carbon-based

PRESTAZIONI e TARGET del DOE



Hydrogen storage materials, Daren P. Broom, Springer (2011)

The research leading to these results has received funding from the European Union's Seventh Framework Programme (FP7/2007-2013) for the Fuel Cells and Hydrogen Joint Technology Initiative under grant agreement nr. 303472.

High Energy DENsity Mg-Based metal hydrides storage system



Funded from the European Union's Seventh Framework Programme (FP7/2007-2013) for the Fuel Cell and Hydrogen joint Technology Initiative under grant agreement n° 303472



FUEL CELLS AND HYDROGEN
JOINT UNDERTAKING

ACRONIMO: **EDen**

TITOLO COMPLETO: High **E**nergy **DEN**sity Mg-Based metal hydrides storage system

Grant agreement no.: 303472



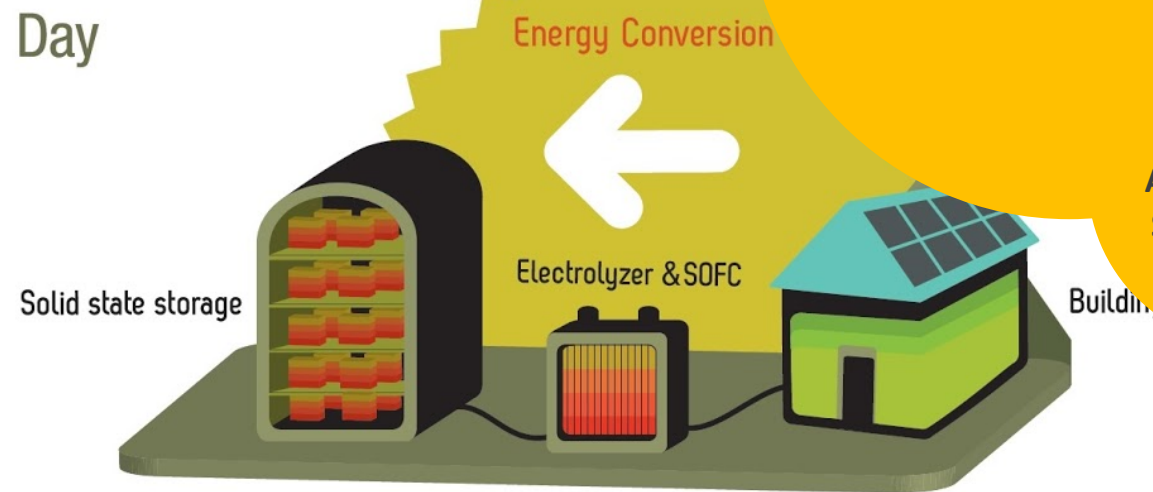
PARTNER	NOME	ACRONIMO	PAESE
1 (Coordinator)	Fondazione Bruno Kessler	FBK	Italy
2	MBN Nanomaterialia SPA	MBN	Italy
3	Cidete Ingenieros SL	CIDETE	Spain
4	Matres SCRL	MATRES	Italy
5	Panco GmbH	PANCO	Germany
6	Universidad de la Laguna	ULL	Spain
7	Joint Research Centre – Institute for Energy and Transport	JRC	Netherland

MODELLO P2P

1. L'extra produzione quotidiana viene convertita dall'Elettrolizzatore in idrogeno dall'acqua
2. Durante la reazione di accumulo dell'idrogeno, calore esotermico può essere estratto dal sistema
3. Secondo necessità, il Sistema di accumulo desorbe idrogeno per la generazione attraverso la SOFC
4. Allo stesso tempo, energia termica viene generata dalla pila a combustibile, utilizzata per mantenere la velocità di desorbimento costante



Day



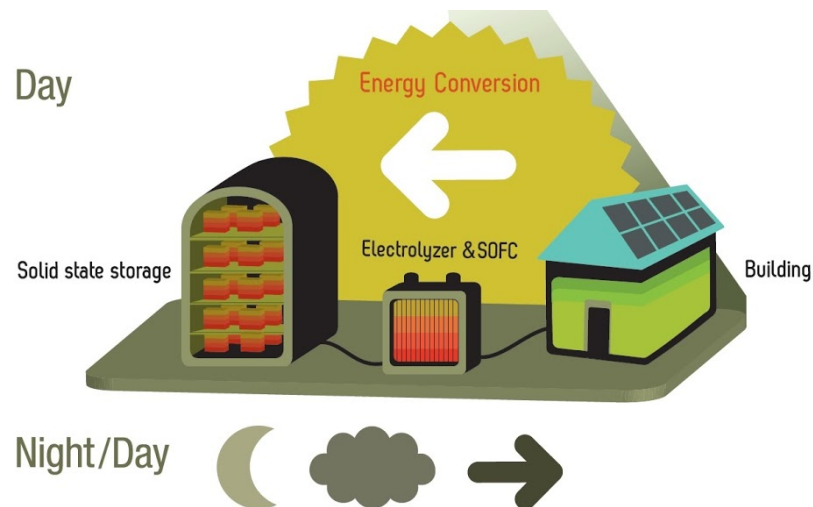
Night/Day



TARGET DI PROGETTO

10 kWh accumulo
2 – 5 kW di potenza

PER EDIFICI E
APPLICAZIONI
STAZIONARIE



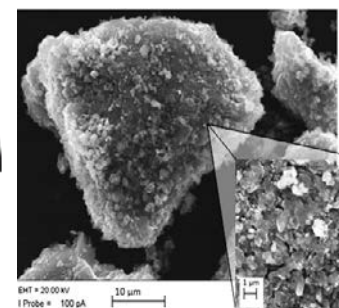
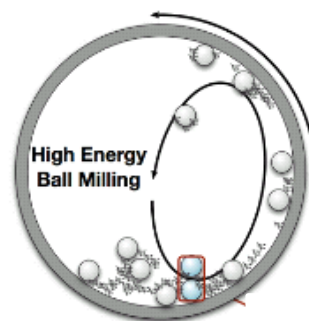
OBIETTIVO COMPLESSIVO

Sviluppare un nuovo materiale di con elevate capacità di accumulo, in grado di gestire in tempo reale applicazioni a livello distribuito, inserite in un design di tank specific e collegato a un Sistema di fornitura energetica in grado di accoppiare fonti variabili / intermittenti con la domanda di energia locale (edifice, piccolo utenze).

Storage Properties

	Unit	Value
Gravimetric Capacity	kgH ₂ /kg (%)	7.1
	kWh/kg	2.4
Volumetric Capacity	kgH ₂ /l	0.13
	kWh/l	4.4
Operating T	°C	320
Max Delivery pressure	bar	2
Min Charging Pressure	bar	3
Desorption rate*	gH ₂ /min	> 1

* For 1kg of material, at 320 °C and 1.2 bar (0.2 barG).

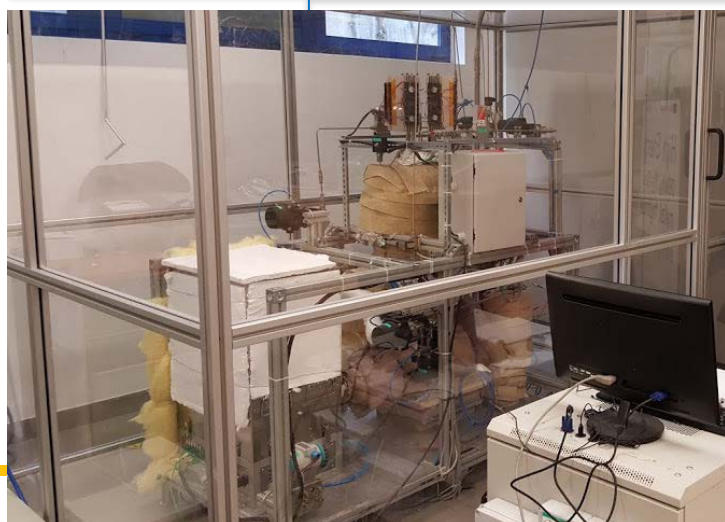
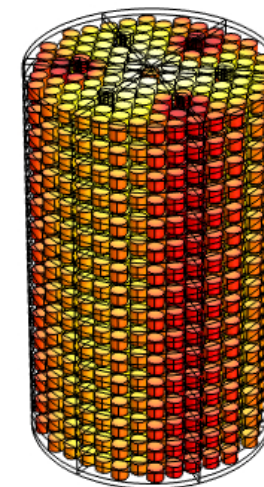


TARGET 1. MATERIALE, Best candidate: ED011

TARGET 2. TANK DI ACCUMULO

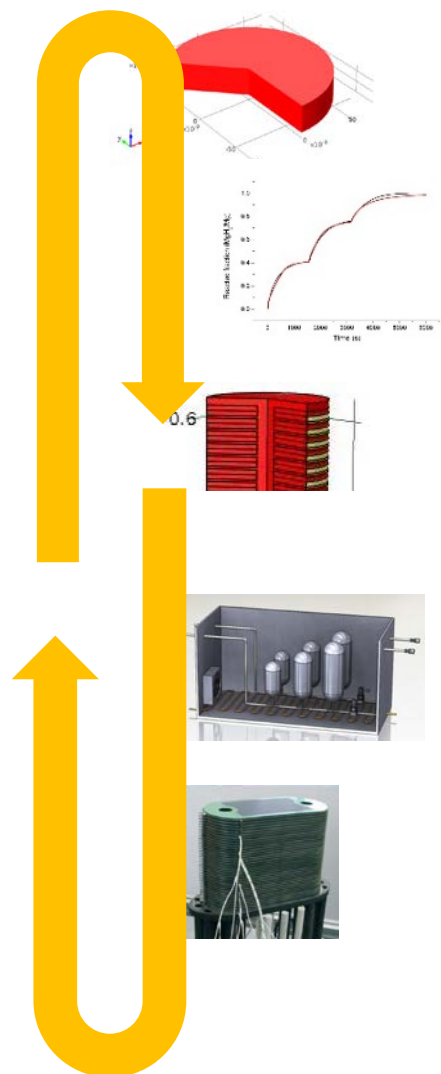
- Design completamente innovativo
- Gestione del calore con CELLA A OSSIDI SOLIDI reversibile
- integrazione di HEAT PIPES, MATERIALI DI IMPACCHETTAMENTO, INTERNO CON MATERIALI A DENSITA' VARIABILE PER IL TRASFERIMENTO DEL CALORE

MATERIALE TOTALE: 10 kg
GRADIENTE TERMICO: $\sim 1^{\circ}\text{C}$
CINETICHE DI REAZIONE A/D: > 3 g/min
UTILIZZO COMBUSTIBILE: 90%



TARGET 3. SISTEMA INTEGRATO

- Power input (modalità elettrolisi): $2,5 \text{ kW}_{\text{el}}$
- Power output (modalità FC): $1,5 \text{ kW}_{\text{el}}$
- portata idrogeno: 20 NI/min H_2 (circa 1mol)
- EFFICIENZA P2P: 25%
- Prototipo tank - volume effettivo: $20 \text{ l} \Rightarrow 720 \text{g H}_2$,
- Circa 8000 NI H_2 , con autonomia per 10h (a pieno carico)



**SIMULAZIONE
NUMERICA**

Modello fisico basato sulle termodinamiche e le cinetiche di reazione del material di base

**Validazione
sperimentale**

Validazione del modello fisico
attraverso test su scala laboratorio

**Sviluppo del MATERIALE /
Sviluppo del TANK**

Miglioramento delle cinetiche di
reaizone e delle proprietà del material
combinato con il Sistema di accumulo

**Validazione del
MATERIALE / TANK**

Validazioni del material finale attraverso indagini
volumetriche

**Integrazione di
SISTEMA**

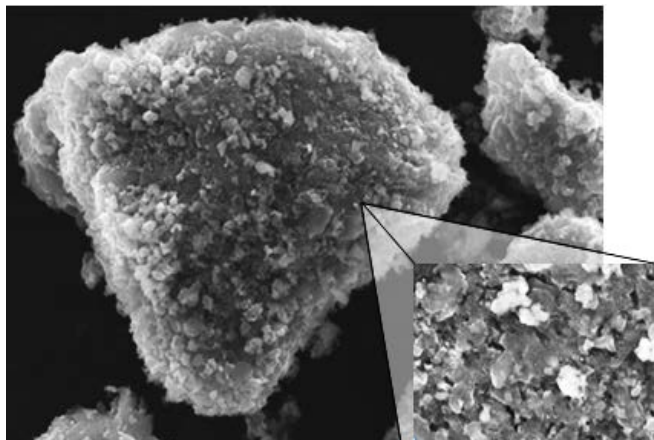
Integrazione complete tra il TANK e la SOFC e
complete gestione del CALORE e dell'IDROGENO

DIMOSTRAZIONE FINALE

Test finali in un ambiente di scala reale

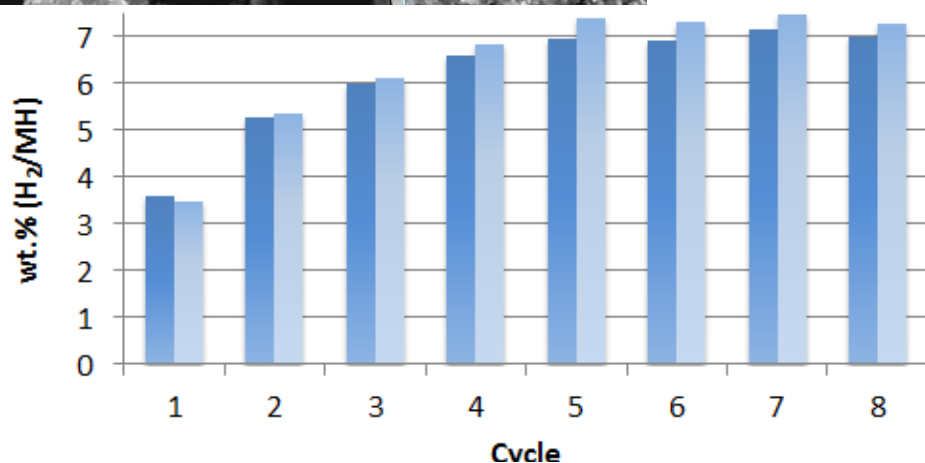
ED011 – MAGNESIO NANOSTRUTTURATO

Catalizzato con Niobium Pentoxide



CAPACITA'
 • 7.1 wt.%

RATE DI DESORBIM.
 • 3 gH₂/min

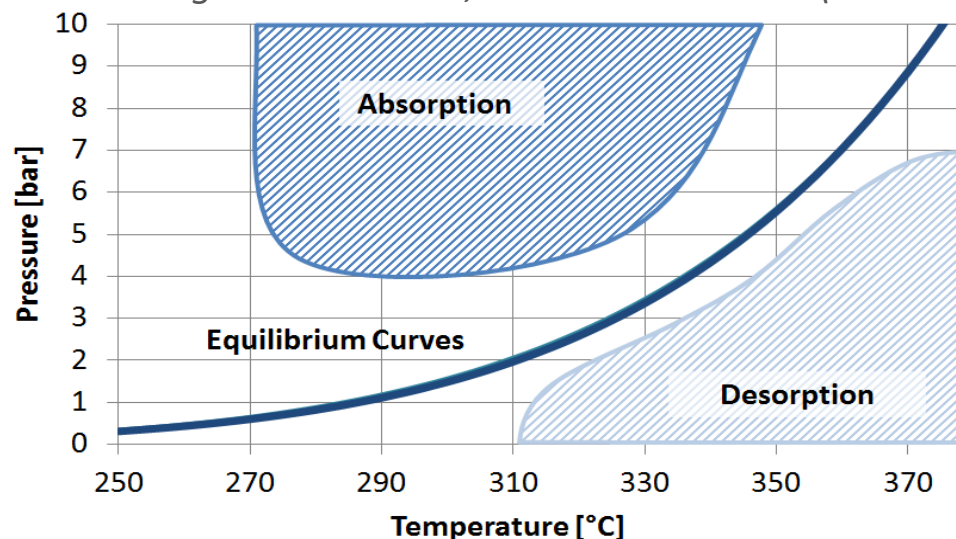


CAPACITA' DI ACCUMULO GRAVIMENTRICA MISURATA DURANTE ATTIVAZIONE E CICLAGGIO DEL MATERIALE. BLUE SCURO PER ASSORBIMENTO, BLUE CHIARO PER DESORBIMENTO

Proprietà di accumulo

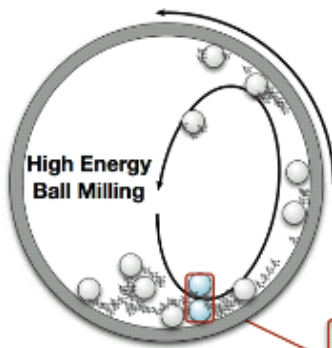
	Unità	Valore
Gravimetric Capacity	kgH ₂ /kg (%)	7.1
	kWh/kg	2.4
Volumetric Capacity	kgH ₂ /l	0.13
	kWh/l	4.4
Operating T	°C	320
Max Delivery pressure	bar	2
Min Charging Pressure	bar	3
Desorption rate*	gH ₂ /min	> 1

* PER 1kg DI MATERIALE, A 320 °C E 1.2 BAR (0.2 barG).

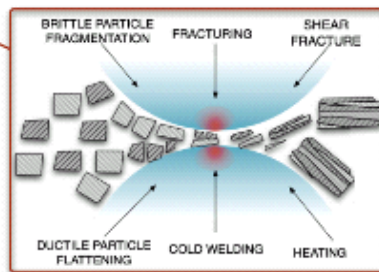


RANGE DI LAVORO SUGGERITI PER IL MATERIALE ATTIVATO IN ADSORBIMENTO E DESORBIMENTO

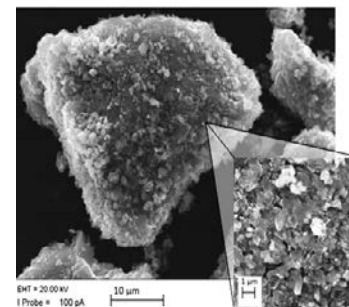
**MAGNESIO
+ CATALIZZATORE
+ ADDITTIVI**



HEBM
FILIERA AD ATMOSFERA
INERTE



ED011
MAGNESIO NANOSTRUTTURATO
PER ACCUMULO DI IDROGENO



MIGLIORATE
CONDUCEBILITA'
TERMICA E STABILITA'
MECCANICA

ED011 in Pellets



DOPO CICLAGGIO PRIMA CICLAGGIO

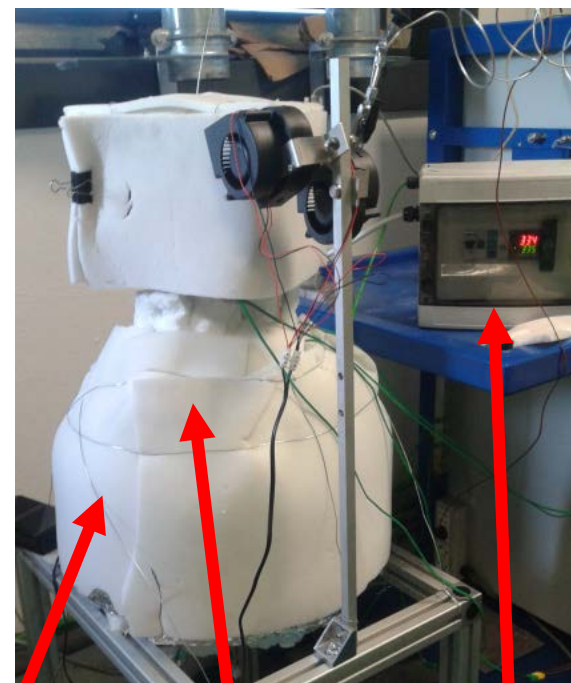
**PROCESSO DI
CONSOLIDAMENTO**

	Unità	Target	Prototipo	Note
CAPACITA' DI ACCUMULO	wt.%	> 4.0	-	This prototype not address this target
DENSITA' IDROGENO	g/l	40	37	Referred to layer volume
IDROGENO ACCUMULATO	g	150*	184.6	
RATE DI DESORBIMENTO	g/mi n	0.38*	0.6 - 0.7	Values referred to validated working conditions

* = a quarter of target for final tank

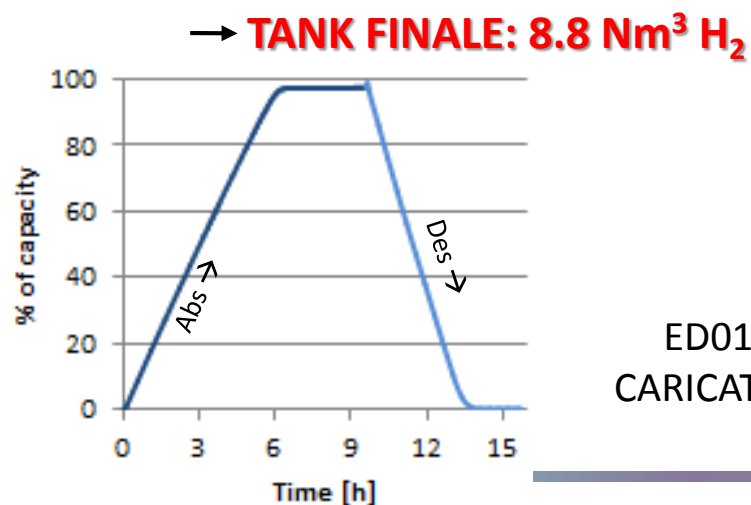
PESO TOTALE DEL MATERIALE: 6 kg

TOTALE ENERGIA ACCUMULATA: ~ 15 kWh



CAPACITA': 2.2 Nm³ H₂

TEMPERATURA MEDIA DI LAVORO 330 °C,



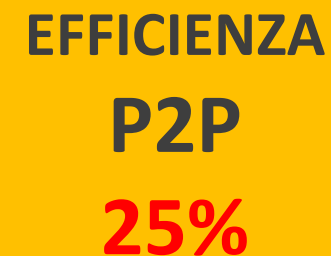
ED011 Pellets
CARICATI NEL TANK

ISOLAMENTO
ESTERNO

SISTEMA DI
GESTIONE
DEL CALORE

GESTIONE DEL CALORE

- SCAMBIATORI DI CALORE A HEAT PIPE
- BRUCIATORE H2 CATALITICO
- PRE SCAMBIATORI DI CALORE
- RECUPERO DI ENERGIA TERMICA (MODALITA' SOE)



DEMO IN BARCELONA



Barcelona, verso una città energeticamente autosufficiente

Elevata consapevolezza sociale e ambientale, promozione del risparmio e efficienza energetica; introdurre lezioni imparate sulle energie rinnovabili, promuoverle, sviluppare servizi energetici di alta qualità per tutti i cittadini

ALTA VISIBILITA' PER LA TECNOLOGIA



**AMBIENTE
TECNICO
MUNICIPALITA'**



**SISTEMA
EDEN**

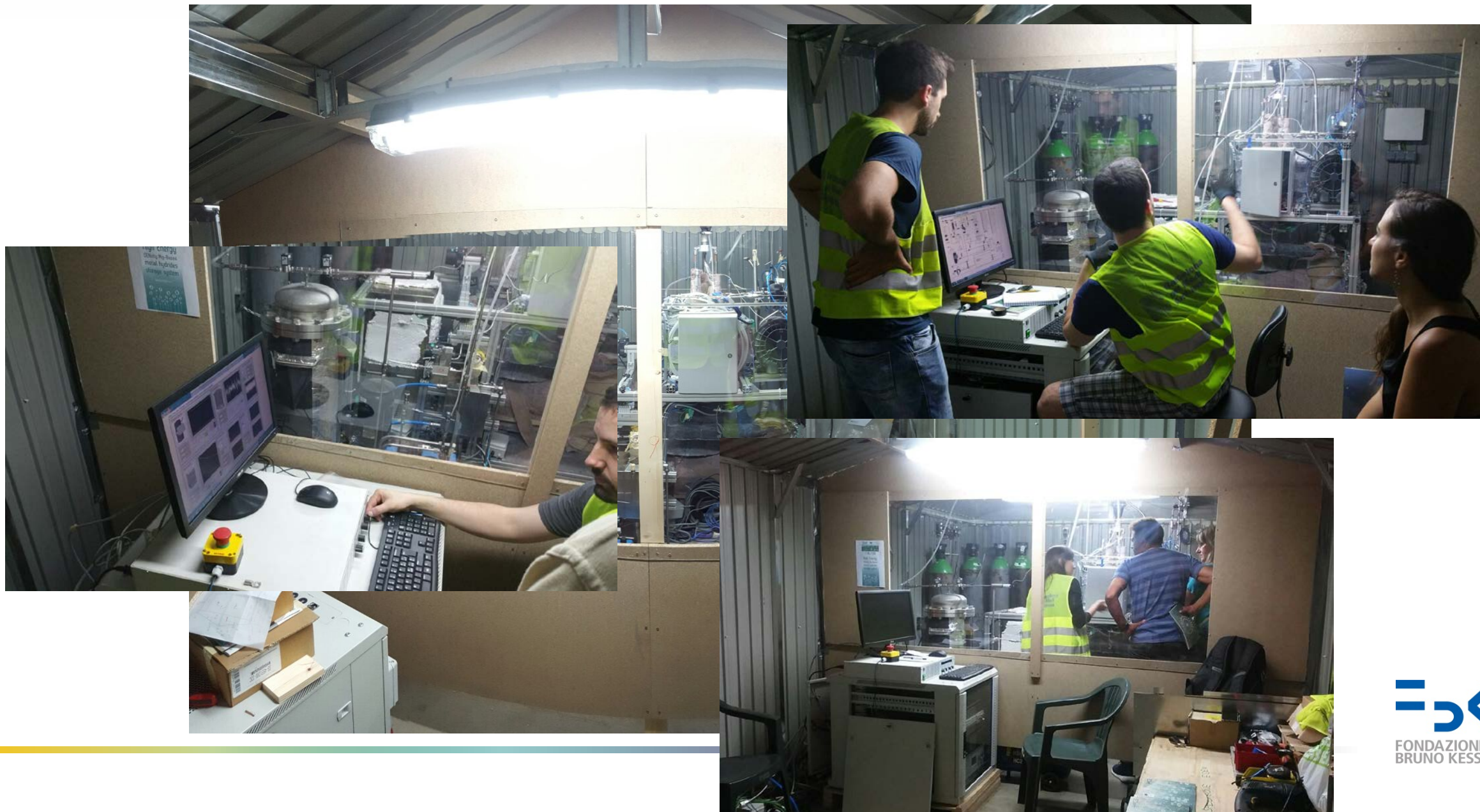


**SITO DEMO
SOTTO IL
PARCO**

**SISTEMA PV
DIURNO**



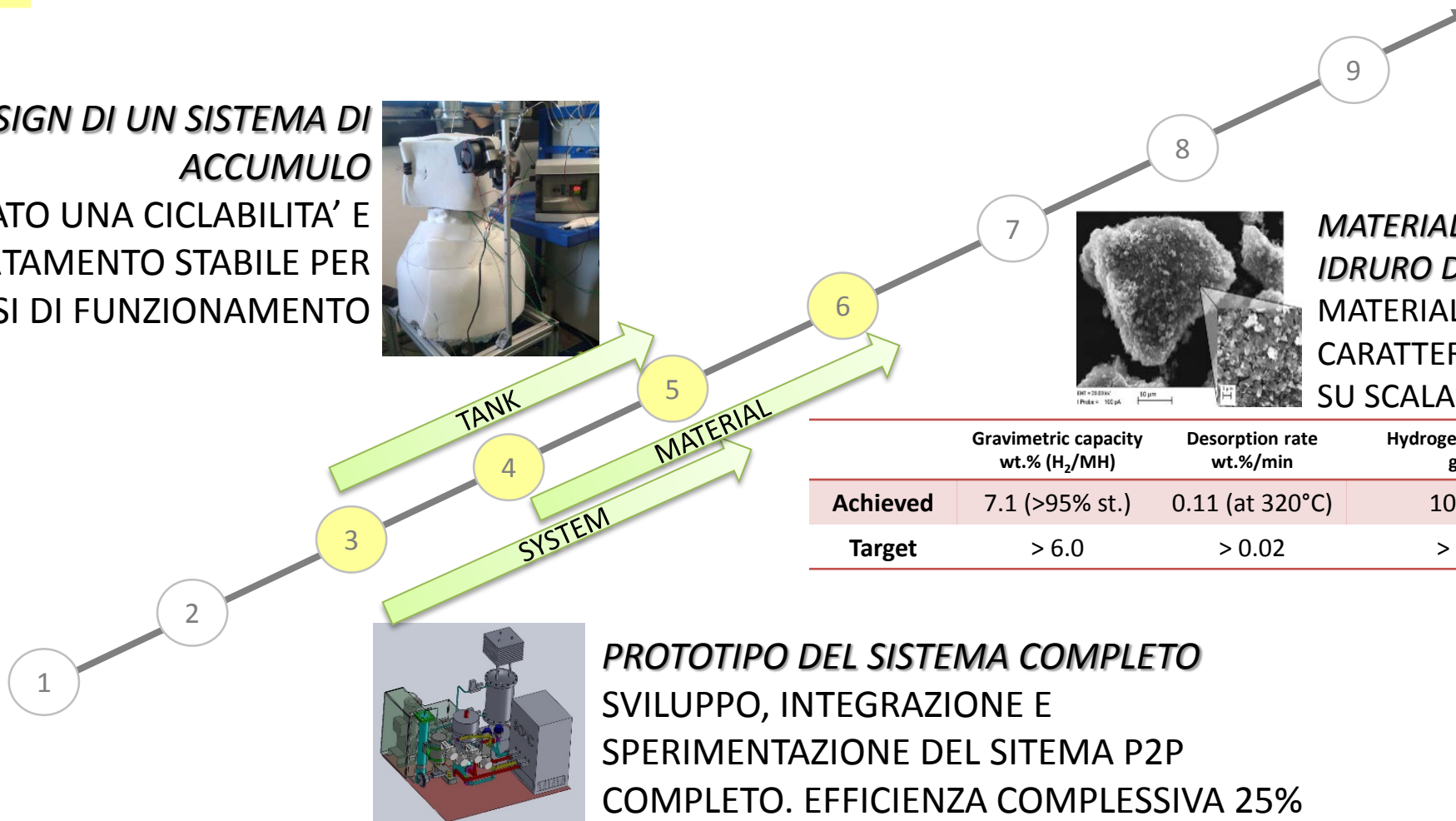
**RICARICA DI
VEICOLI
ELETTRICI**



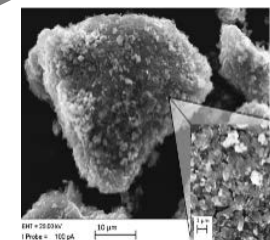
TRL SCALE

MERCATO

**DESIGN DI UN SISTEMA DI
ACCUMULO**
HA DIMOSTRATO UNA CICLABILITA' E
COMPORTAMENTO STABILE PER
DIVERSI MESI DI FUNZIONAMENTO



**MATERIALE DI ACCUMULO IN
IDRURO DI MAGNESIO**
MATERIALE COMPLETAMENTE
CARATTERIZZATO E DIMOSTRATO
SU SCALA REALE



	Gravimetric capacity wt.% (H ₂ /MH)	Desorption rate wt.%/min	Hydrogen density g/l	Material cost €/kg
Achieved	7.1 (>95% st.)	0.11 (at 320°C)	109.9	≈ 80*
Target	> 6.0	> 0.02	> 80	< 30

PROTOTIPO DEL SISTEMA COMPLETO
SVILUPPO, INTEGRAZIONE E
SPERIMENTAZIONE DEL SISTEMA P2P
COMPLETO. EFFICIENZA COMPLESSIVA 25%

IDEA

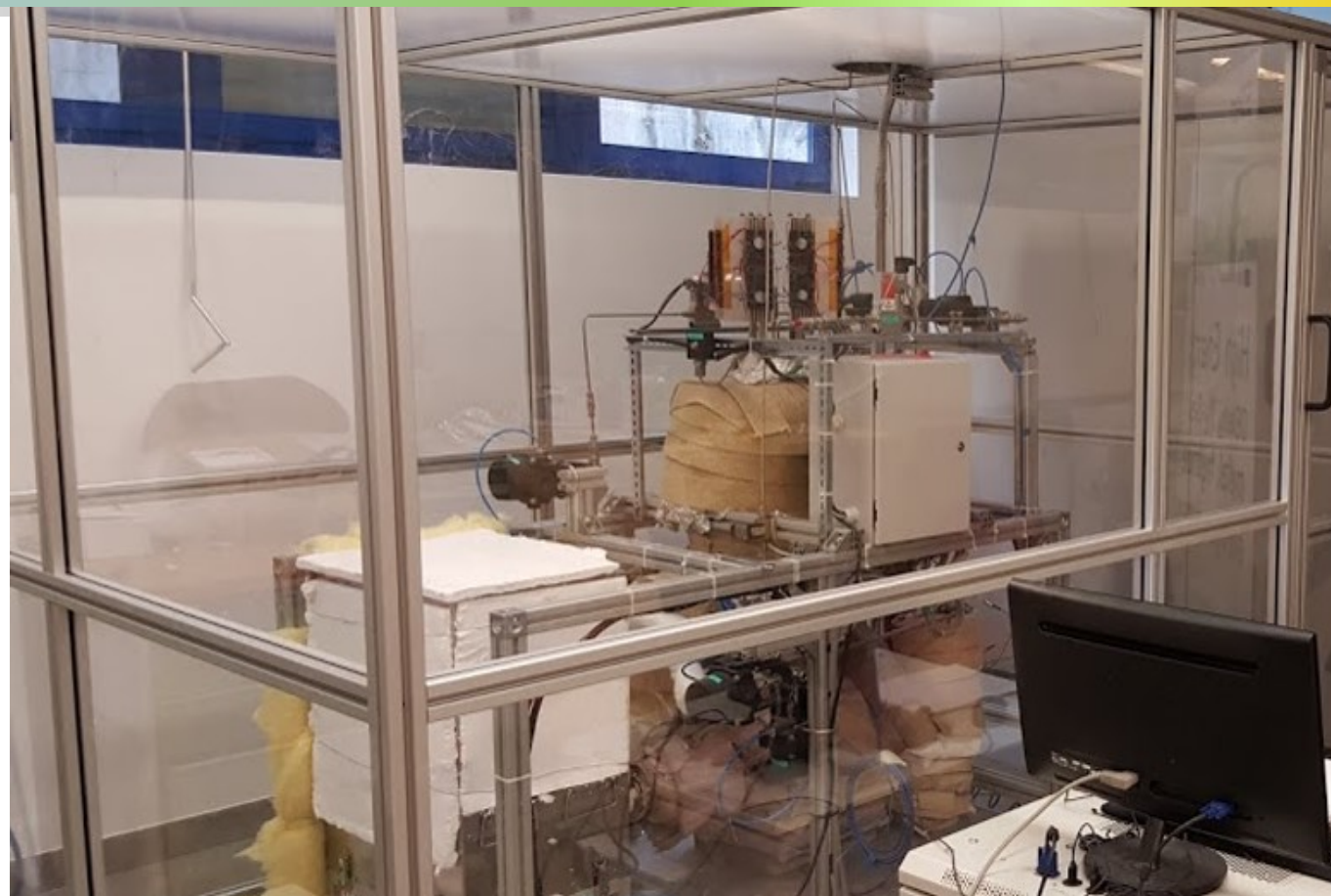
TECNOLOGIA
COSTRUZIONE DI UN
SISTEMA TECNOLOGICO



END USER
TRADER del SISTEMA /
ESCO



MERCATO
SISTEMI a ISOLA, P2P



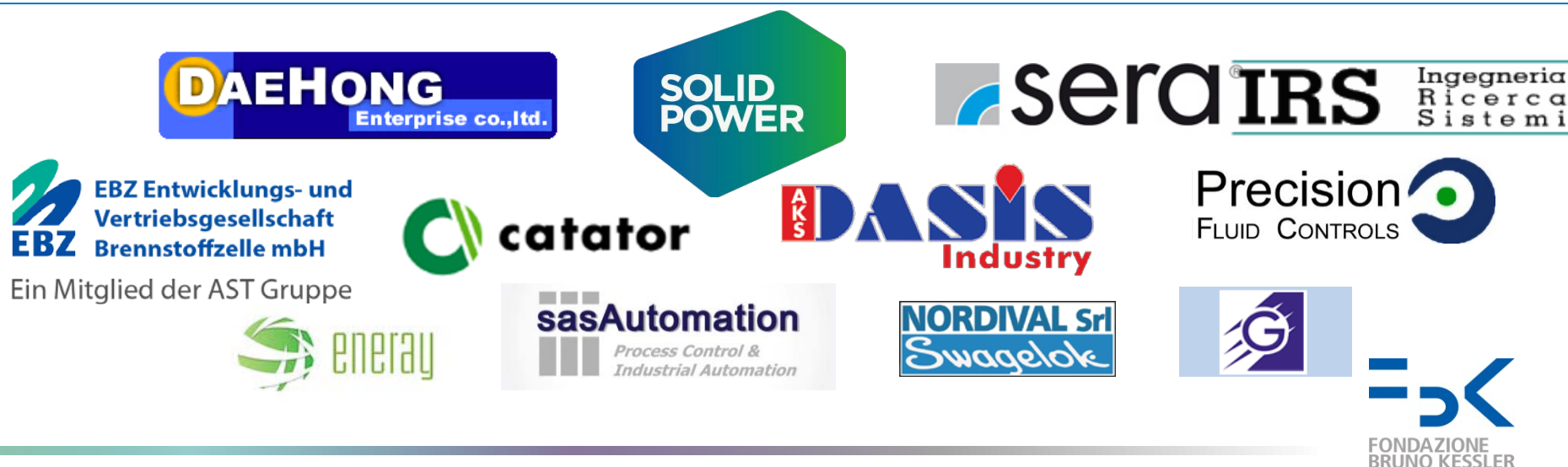
CASHFLOW:

- VENDITA DIRETTA AL MERCATO
- MODELLO ESCO, il fornitore paga la tecnologia, il cliente paga l’energia

EDEN: 1° SISTEMA P2P CON INTEGRAZIONE DI ACCUMULO H2 IN STATO SOLIDO SU IDRURO DI MAGNESIO E UNA CELLA SOC REVERSIBILE CON GESTIONE DEL COMBUSTIBILE E DEL CALORE

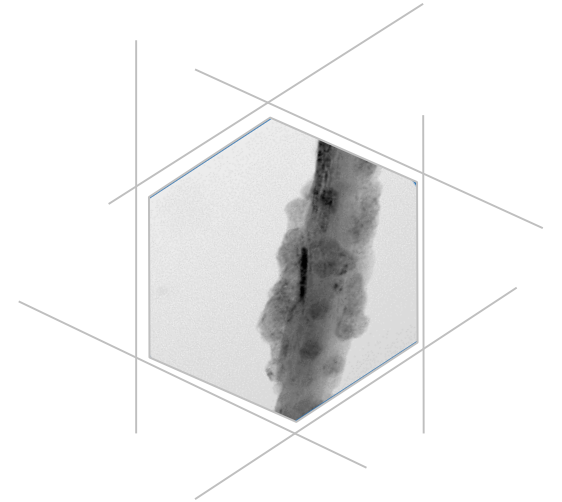
- **MBN – ED011** MATERIALE DI ACCUMULO A CATALOGO DOTATO DI DATASHEET TECNICO
- REALIZZAZIONE DI UNA **FILIERA INDUSTRIALE** PER LA PRODUZIONE DEL MATERIALE E LO SVILUPPO DELLA TECNOLOGIA
- **PIANI FUTURI: PROGETTO DEMO** PER PORTARE IL SISTEMA EDEN DA TRL5 A TRL7, IN PARALLELO A SVILUPPI SPECIFICI PRESSO I PARTNER PER MIGLIORARE PRESTAZIONI E DESIGN

TECHNOLOGY
TRANSFER
BOARD



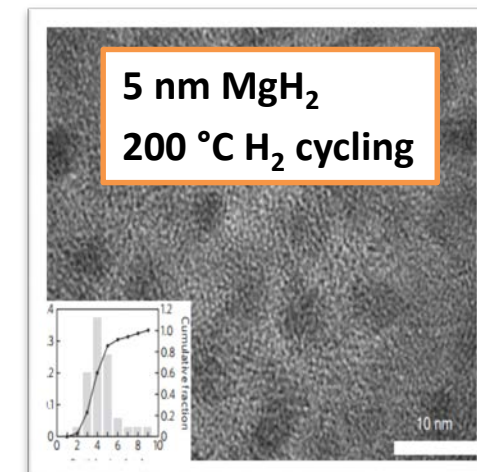
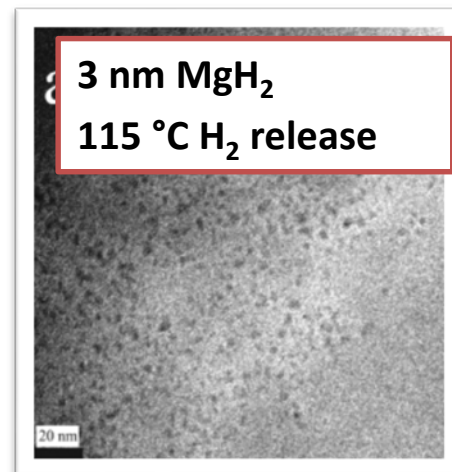
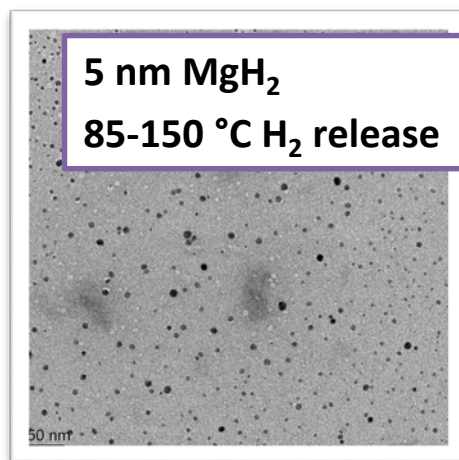
NUOVI MATERIALI

- Nanostrutture complesse
 - di idruri e graphene



Nonostante l'alta capacità, l' MgH_2 ha temperature operative alte ($>300^\circ\text{C}$) che ne possono limitare l'interesse di mercato

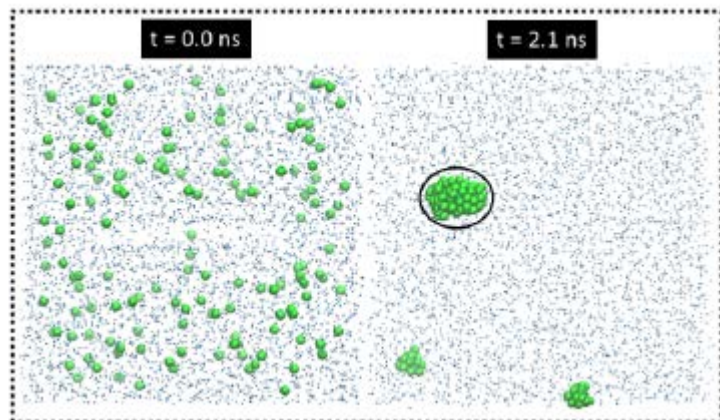
Può esseremigliorato tramite nanostrutturazione



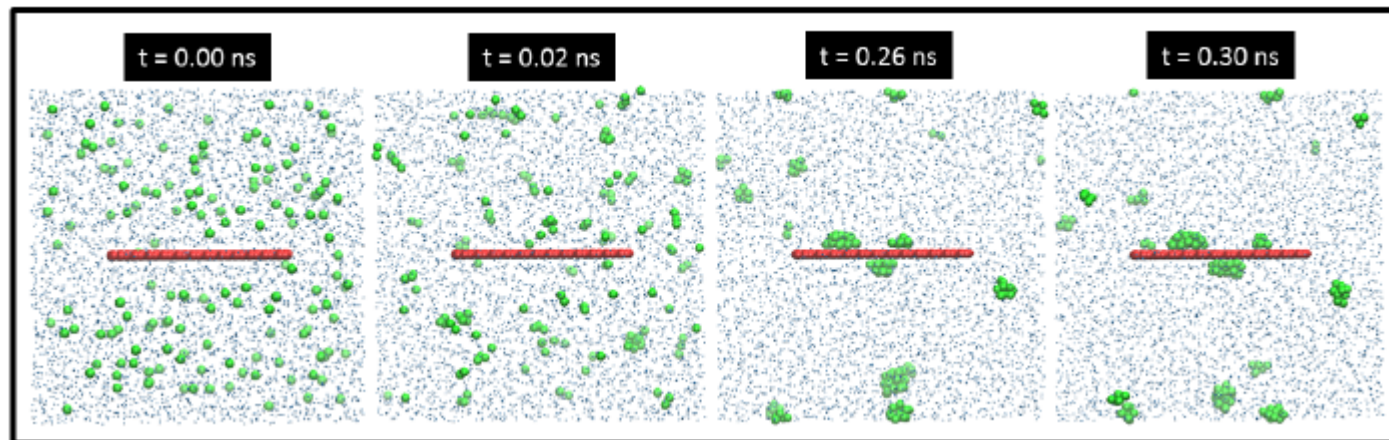
K. F. Aguey-Zinsou and J. R. Ares-Fernandez, Chem. Mater., 20, 376 (2008)

S.B. Kalidindi et al, Inorg. Chem., 48, 10856 (2009)

K.J.Jeon et al, Nature Materials, 10, 286 (2011)

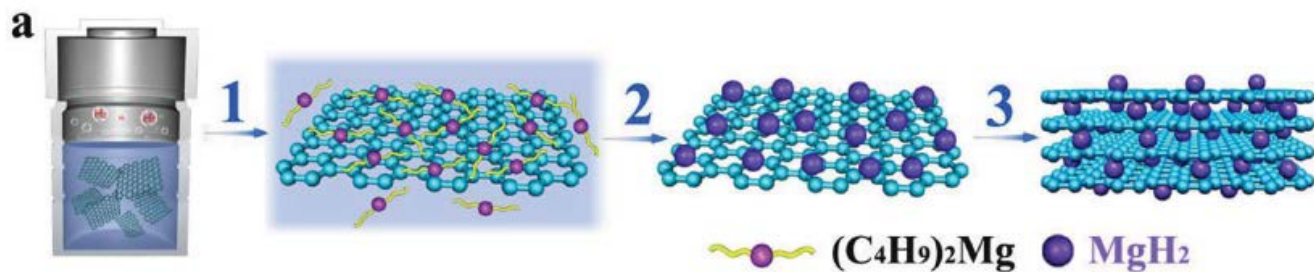


Senza graphene

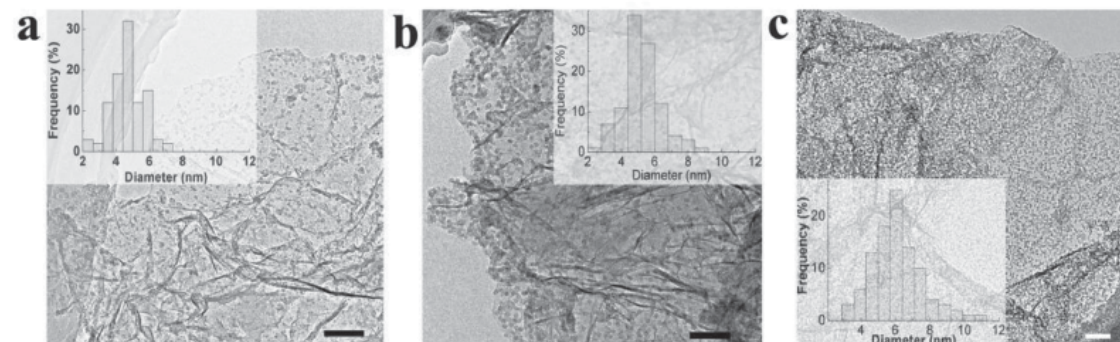


Con graphene

Liu et al, Chem. Commun., 2015, 51, 2429

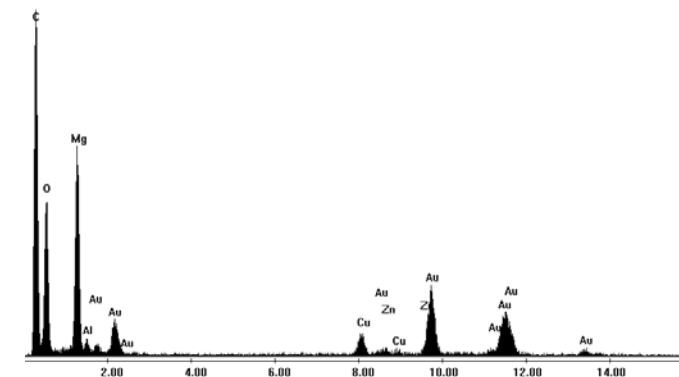
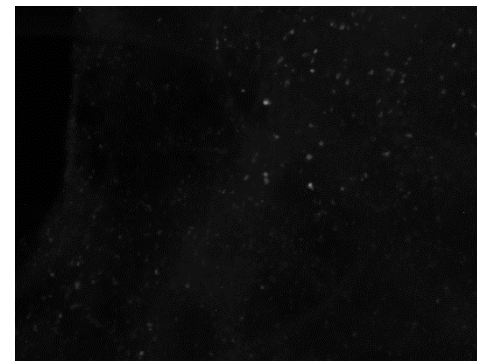
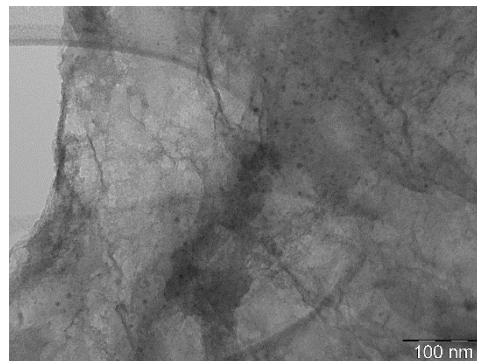


In cyclohexane, graphene powders from chemical intercalation of graphite and rapid thermal shocks up to 75 wt% MgH_2 or around 5.7 wt% H_2 capacity

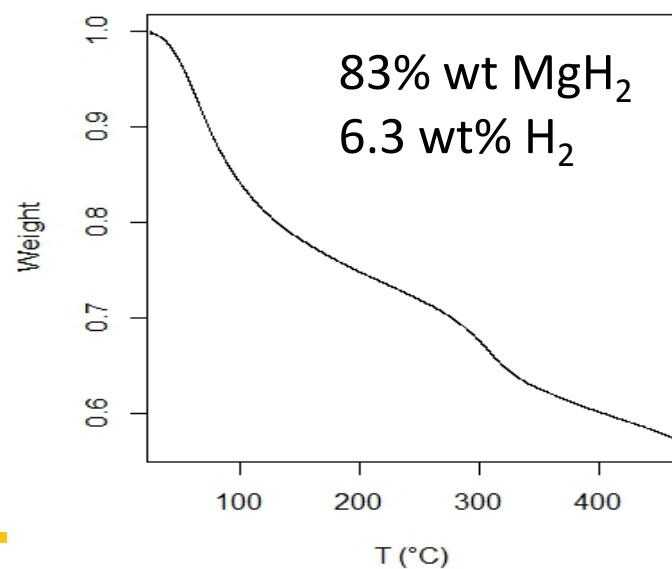


Xia et al, Advanced Materials, 2015, 27(39), 5981

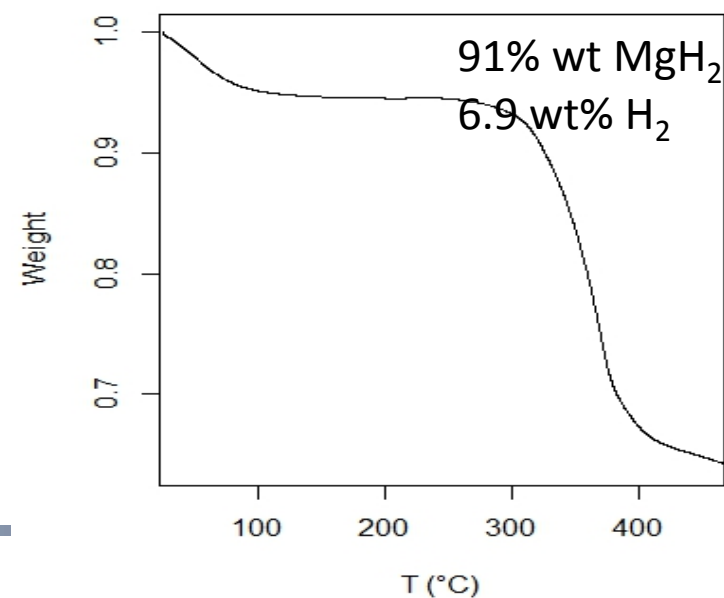
10 mg in 50 ml
THF,
sonication 1 hour

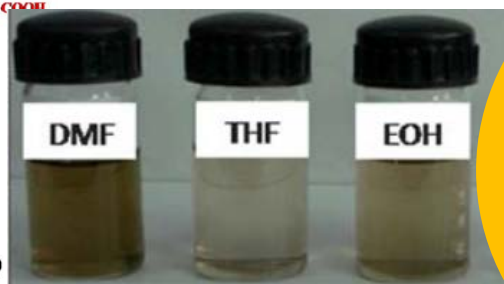
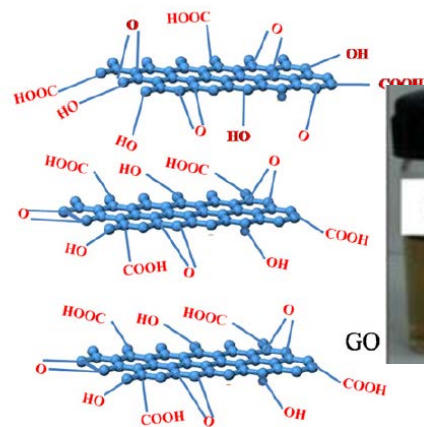


1:5(GNP:MgH₂)



1:10(GNP:MgH₂)

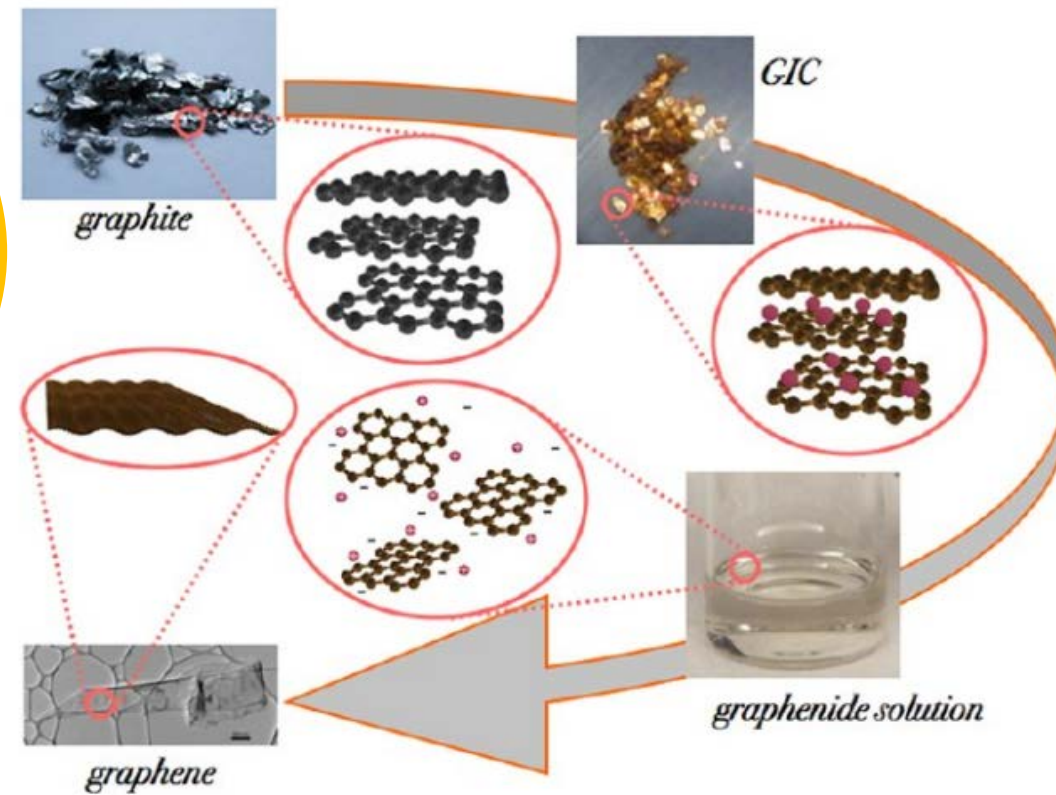
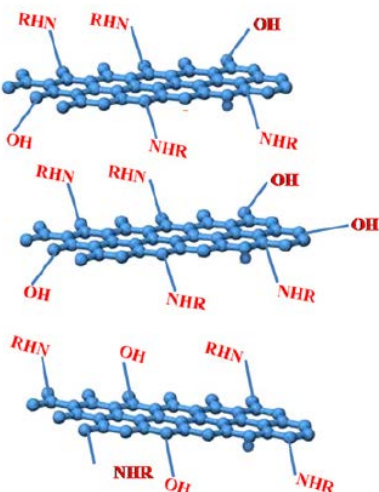




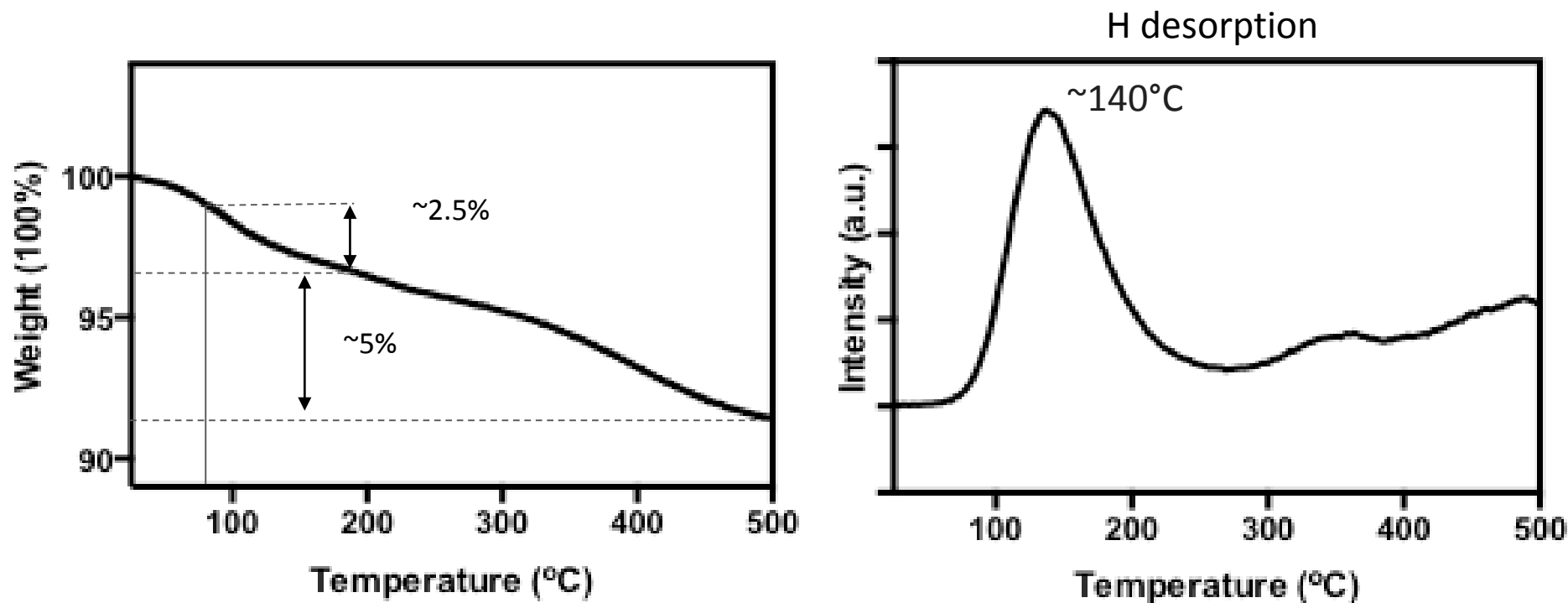
**Consolidamento
del processo di
reazione e
upscaling**



Chaudury et al, J. Mater. Chem., 2012, 22, 21032



Penicaud et al, Acc. Chem. Res., 2013, 46 (1), pp 129–137



La TGA mostra che il ~3.5% di Perdita di peso avviene nel range 0 -200°C. La spettrometria di massa individual che la maggior parte della Perdita di H avviene nello stesso range di temperatura.

Design di reattori di scala reale per produzione di materiali nanostrutturati

SPECIFICHE INGEGNERISTICHE

- VOLUME INTERNO: 300 ml
- PESO TOTALE DEL MATERIALE SECCO: ~ 2 g
- MASSIMA PRESSIONE DI LAVORO: 30 Bars
- MASSIMA TEMPERATURA DI LAVORO: 200°C
- GAS DI CARICA: hydrogen, argon
- MATERIALE: SS AISI 316 L
- MIXER PER SINTESI OMOGENEA DEL MATERIALE

OBIETTIVI RAGGIUNTI:

REALIZZATO UN NUOVO
REATTORE IN GRADO DI
SINTETIZZARE MATERIALI SU
SCALA DI GRAMMI



CARATTERISTICHE PRINCIPALI DEL REATTORE

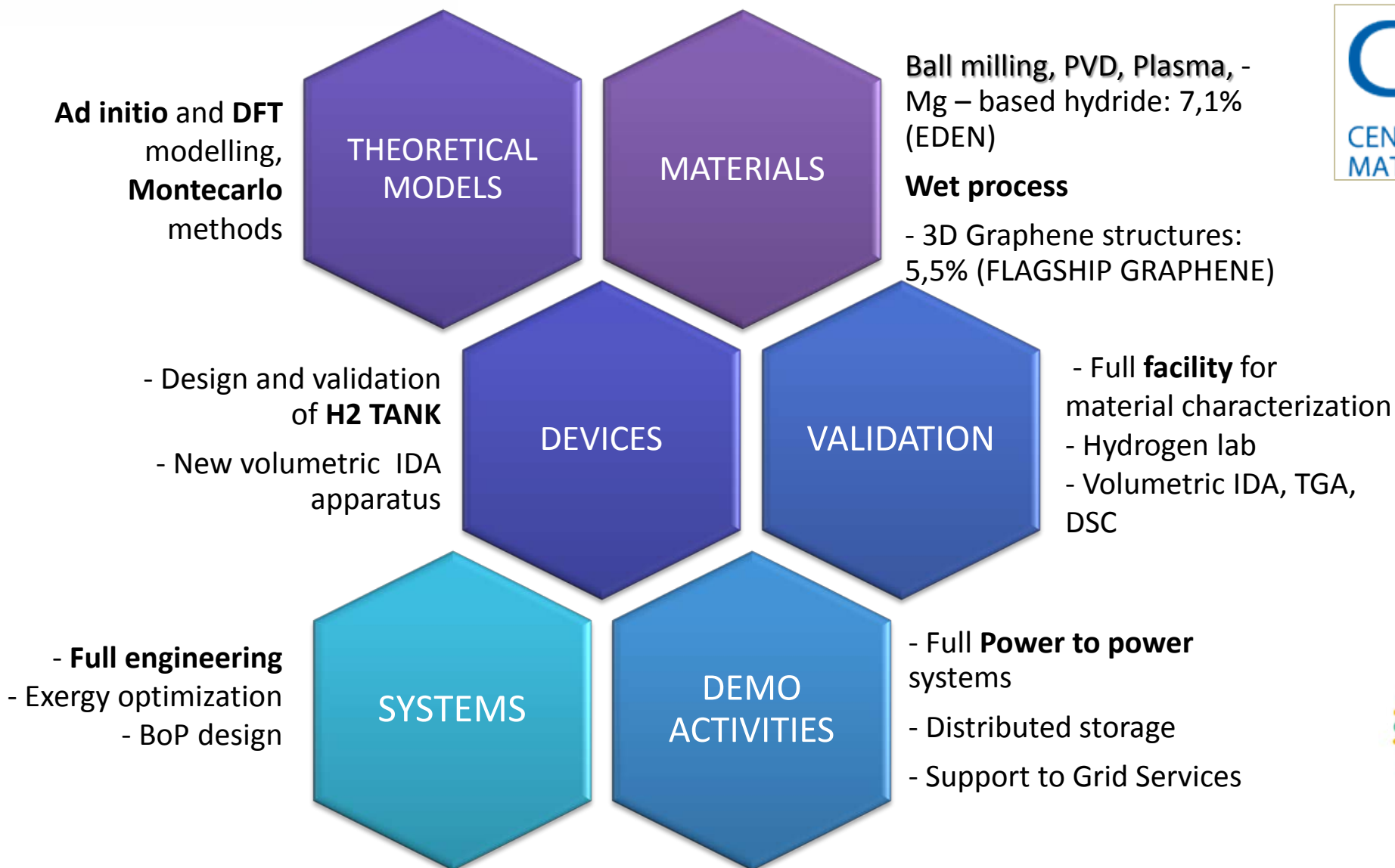
MAGNETIC CUOPLING for MIXER DRIVE: prevent hydrogen leakage

PIPING DESIGN: inlet and outlet in close contact with the synthesis process

MEASURE AND CONTROL of the WET PROCESS: T and p sensors, T control through a PID, control on the drive of the mixer

PASSI FUTURI:

design and realization of a reactor for kg scale production of G-based nanostructures



*“Competenze
eterogee al servizio
di problemi
multidisciplinari”*

VI RINGRAZIO PER L'ATTENZIONE !!!



The research leading to this results has received funding from the European Union's Seventh Framework Programme (FP7/2007-13) for the Fuel Cells and Hydrogen Joint Technology Initiative under Grant Agreement nr. 303472



Luigi Crema, Head of ARES

Ph: +39 (0)461 314922

Mob: +39 335 6104991

Mail: crema@fbk.eu

Web: www.fbk.eu

www.ares.fbk.eu