

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria ...

Relazione per la prova finale
***«Sistemi di accumulo per impianti di grande potenza:
analisi e confronto di diverse metodologie»***

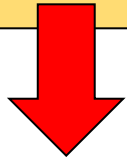
Tutor universitario: Prof. Lazzaretto

Andrea

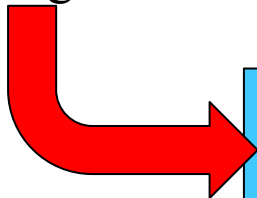
Laureanda: *Carbone Giulia*

Padova, 13/07/2023

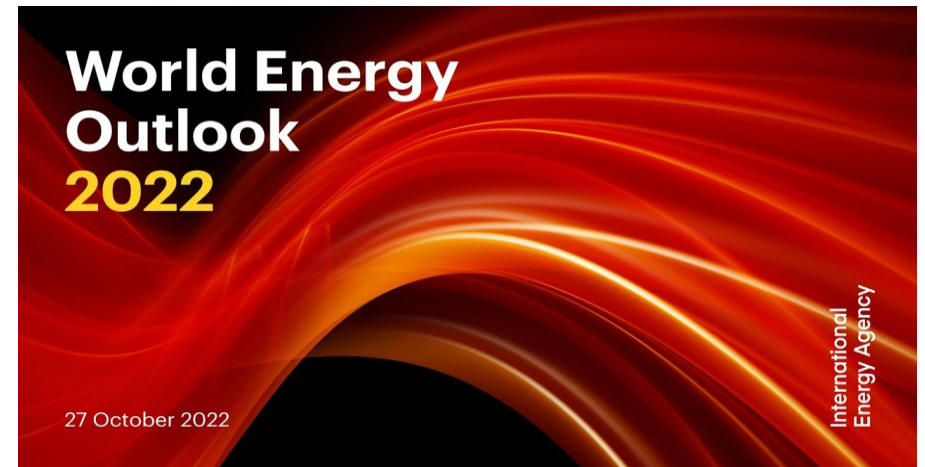
La **riorganizzazione** del sistema energetico e del sistema produttivo è necessaria e urgente



I fossili sono ancora la base della produzione energetica, nonostante l'urgenza di azzerare le emissioni



Il conflitto tra Russia e Ucraina ha reso ancora più evidente questa **dipendenza**



Nonostante
l'**abbondanza**
di rinnovabili

non riescono a rimpiazzare i fossili perché sono



Complessivamente più
costose

Intermittenti

Non omogeneamente
distribuite

**Cosa possiamo
fare**

Iniziare a cambiare il sistema dei consumi dalla base

Continuare a lavorare sull'efficiamento

Rendere sempre più facile ed efficace l'utilizzo delle rinnovabili

Implementare reti trasmissione, sistemi di accumulo,..

**Obiettivo di questa
relazione:** valutazione dei sistemi di accumulo per impianti di grande potenza

Capacità E_{max} [J] o [Wh] (massima energia accumulabile)

Densità di energia $u = \frac{E_{max}}{vol} \left[\frac{J}{m^3} \right]$

Rendimento $\eta = \frac{E_{st}}{E_{ut}}$

Round trip efficiency $\eta_{storage} = \frac{E_{out}}{E_{in}}$

Taglia $P_{max} = \frac{E_{max}}{t_{scarica}}$ [W] (potenza erogabile)

CAES (Compressed Air Energy Storage)

50 - 300MW

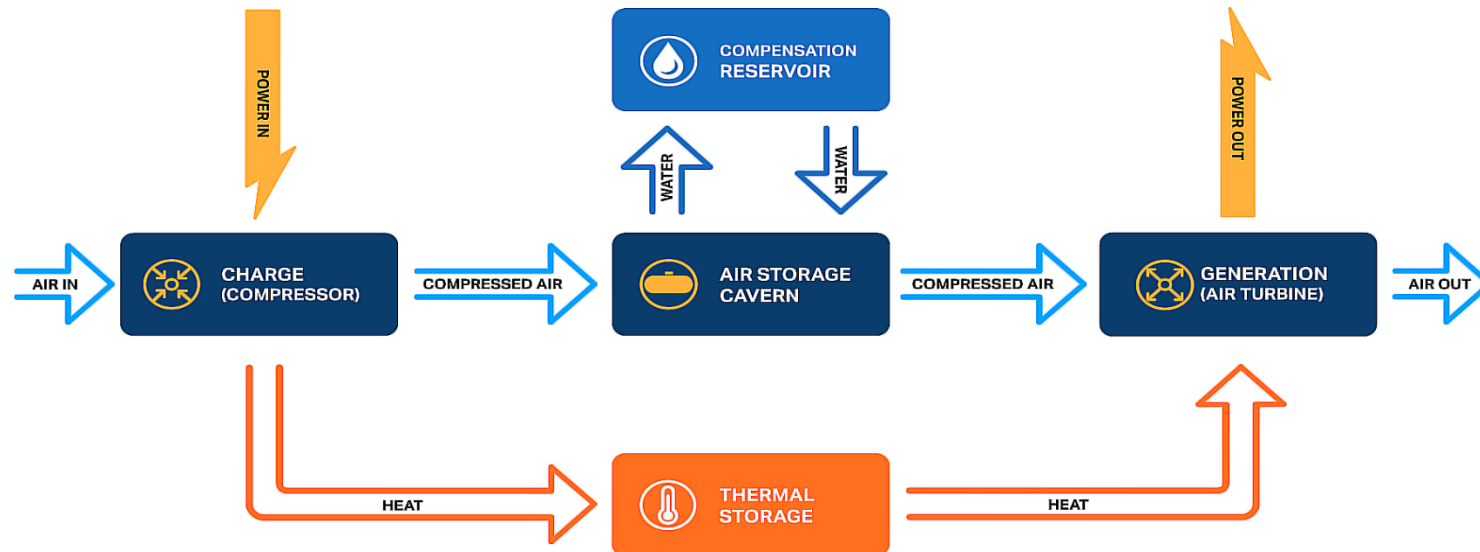
- D-CAES
- A-CAES
- I-CAES

In base alla gestione
del
calore generato
dalla compressione

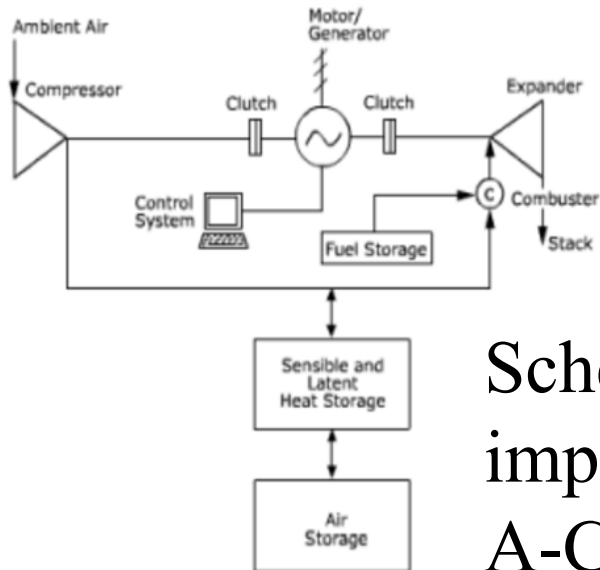


Primo impianto CAES, a Huntorf, Germania

Schema di funzionamento



TIPI DI CAES	CARATTERISTICHE	RENDIMENTO TIPICO	PRO/CONTRO
D-CAES	No TES, gas naturale, scambiatore calore uscita	42% – 54%	Emissioni, η basso, semplice ed economico
A-CAES	TES, eventuale gas naturale	~75%	No o poche emissioni, carburante non necessario, costi TES
I-CAES	TES, ΔT quasi nullo	~80%	Maggior η perchè $\Delta T \cong 0$



Schema
impianto
A-CAES

Toronto Island
Demonstration
Facility,



LAES (Liquid Air Energy Storage)

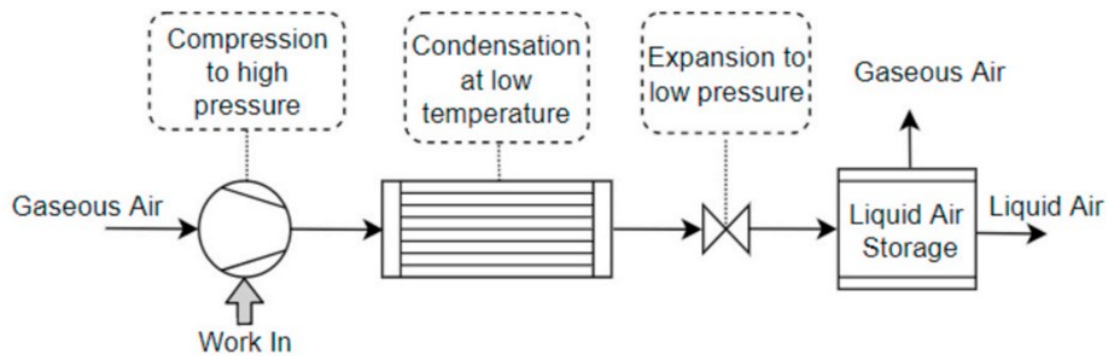
**Max
300MW**



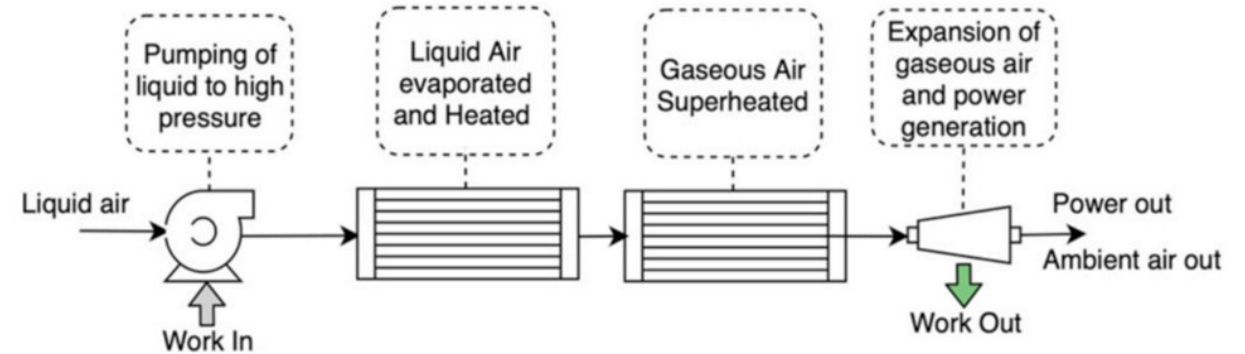
www.dii.unipd.it

Impianto di Highview Power di Manchester

Schema di funzionamento



Fase di carica



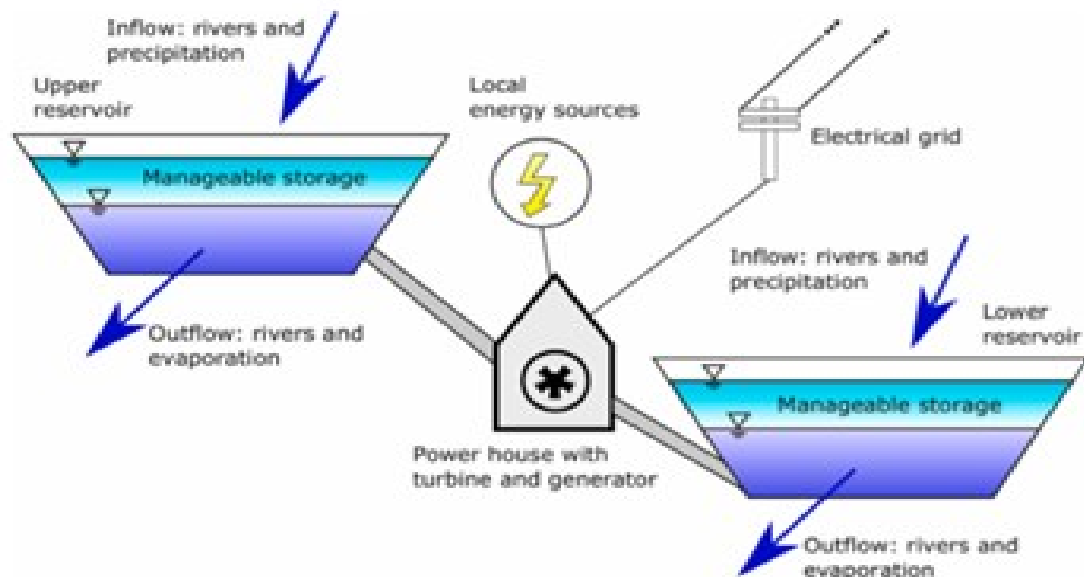
Fase di scarica

**PHES (Pumped
Hydro Energy
Storage)**

**100 – 5000
MW**

$\eta = 65\% - 85\%$

Schema di funzionamento



Fengning Pumped Storage Power Station

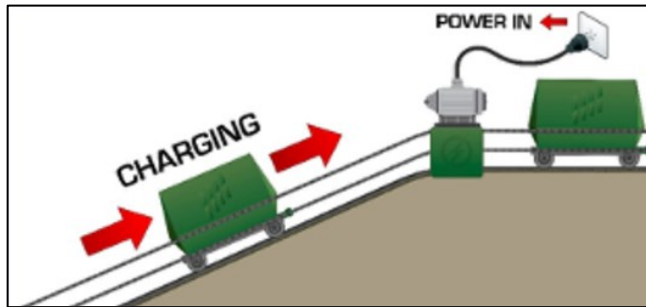
**ARES (Advanced
Railway Energy
Storage)**

5 - 1000MW
 $\eta =$ circa 60%
(max 78%)

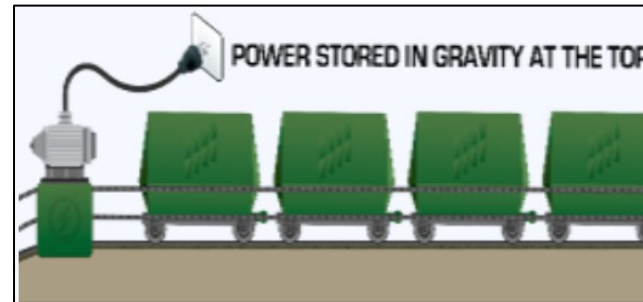


Impianto sperimentale ARES di Tehachapi (California -USA)

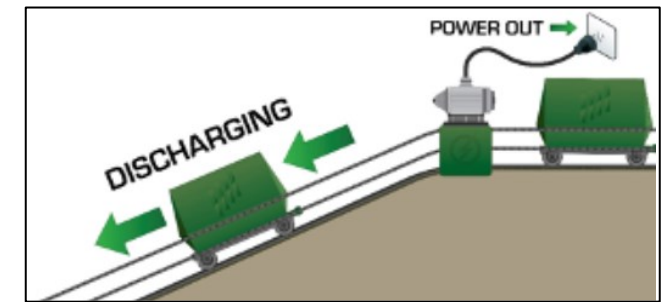
Schema di funzionamento



Fase di carica



Accumulo



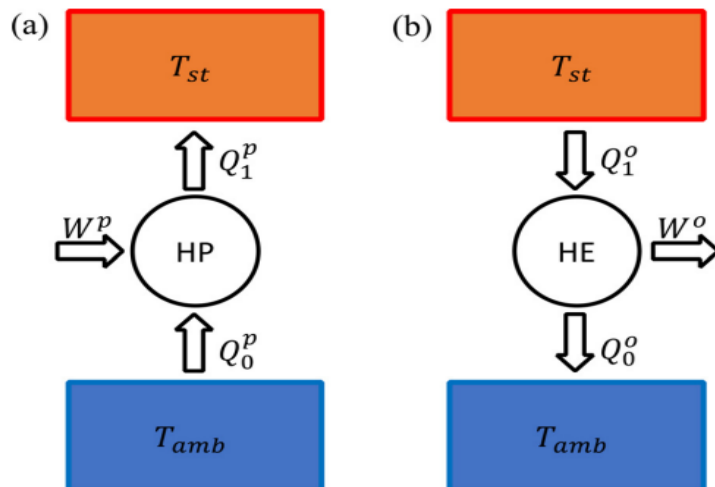
Fase di scarica

TES (Thermal Energy Storage)

- Sensibile $Q = \Delta T \cdot m \cdot c_p$
- Latente $Q = L \cdot m$
- Chimico *Energia di reazione*

500kWh
 $\eta = \text{max } 60\%$

Schema di funzionamento (sensibile)



Prototipo impianto Antora

ANTORA

Sistema di accumulo a calore sensibile

materiale scelto da scaldare



**BLOCCHI DI
CARBONIO**

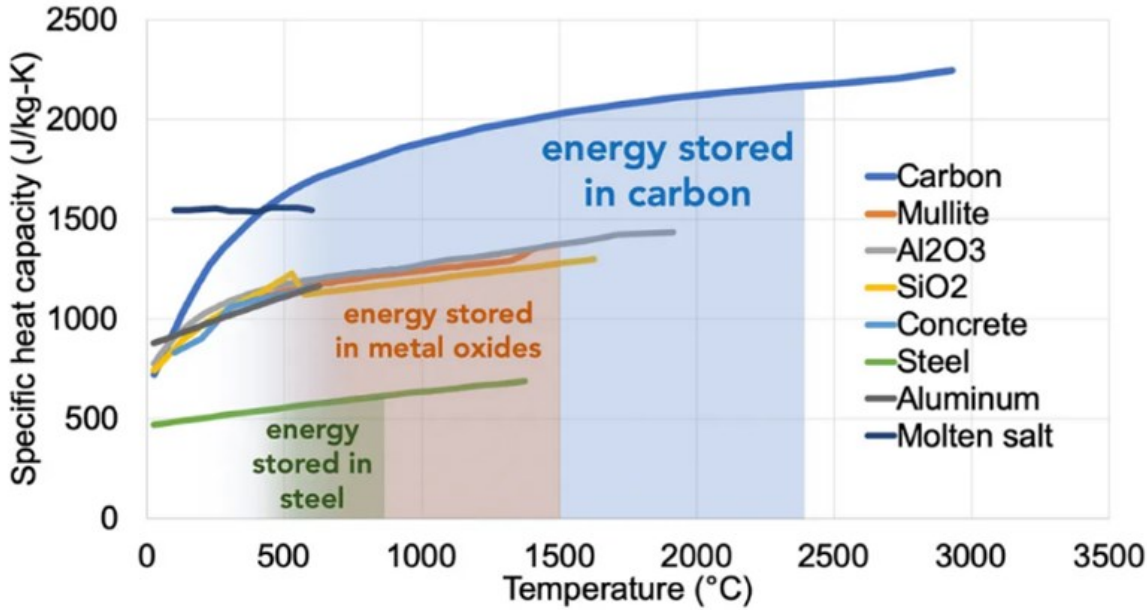
Capacità
termica
elevata

Altissima
T di
fusione

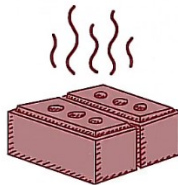
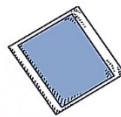
Buona
conduttività

Irraggiamento principale
modalità di scambio

3500°C
>>2000°C



Solar Photovoltaic
Cells



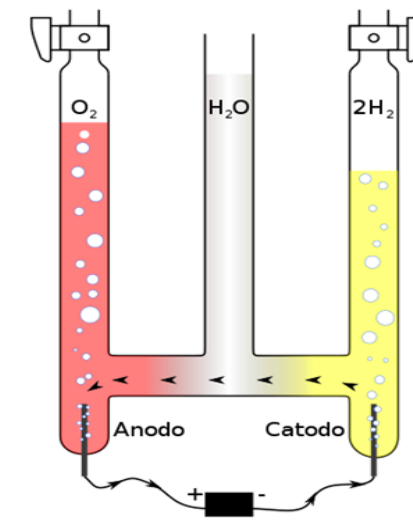
Thermophotovoltaic
Cells

Accumulo con Idrogeno

5 - 1000MW

η complessivo = 30% - 50%

Schema di funzionamento



Cella elettrolitica

www.dii.unipd.it

FASE DI ACCUMULO



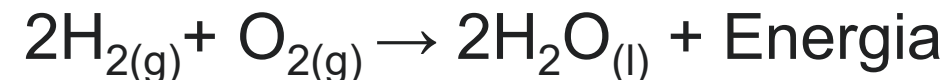
ELETTROLISI DELL'ACQUA

(Una delle modalità)

$\eta = 70\% - 80\%$

Reazione Endotermica

FASE DI SCARICA



SINTESI DELL'ACQUA

$\eta = 50\% - 60\%$

Reazione Esotermica

Tra la fase
di carica e
di scarica



STOCCAGGIO

$\eta = 80\% - 90\%$

Gassoso

- Pressioni elevate (700 bar) perché volume troppo grande

alternativa:
Metanolo

Densità
maggiore,
quindi
pressioni
minori

Liquido

- Temperatura $< -252,5\text{ °C}$
- Pressione ambiente
- Circa 30% energia per raffreddare
- serbatoi isolanti

Solido

Con vettori di
idrogeno organici
liquidi (LOHC)

assorbono idrogeno
↓
REAZIONE DI
IDROGENAZIONE

Rilasciano idrogeno
↓
REAZIONE DI
DEIDROGENAZIONE

- Alte temperature (250-320 °C)
- Catalizzatori costosi
- Additivi non riciclabili

METODO DI ACCUMULO	EFFICIENZA TIPICA	PRO	CONTRO
LAES	-	No limitazioni sito, fornisce sia elettricità che raffreddamento	Rendimenti variabili, anche bassi
D-CAES	42% – 54%	Design semplice, più economico	Emissioni GHG, rendimento basso
A-CAES	max 75%	Rendimento maggiore, no emissioni, non serve carburante (o poco)	Costi aggiuntivi per TES
I-CAES	max 80%		
PHES	65%-85%	Capacità molto grande, rendimento elevato	Bassa densità energetica ($0,273 \frac{Wh}{kg}$), difficile scelta del sito.
ARES	circa 60% (max 78%)	Densità energetica doppia del PHES, rendimento buono per essere nuova	Sito di installazione particolare
TES - PTES	max 60%	Economico, no limitazioni sito, fornisce sia elettricità che calore	Rendimento da migliorare
IDROGENO	30% - 50%	No limitazioni sito, potenzialmente anche per trasporti	Rendimento da migliorare, costi alti accumulo liquido e solido

Rari siti adeguati