



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

TECNOLOGIE PER ACCUMULO ENERGETICO: UN CONFRONTO

Dipartimento di Ingegneria Industriale DII

Tutor Universitario: Prof. Michele Forzan

Laureando: Alessandro Girardi

Matricola 1196233

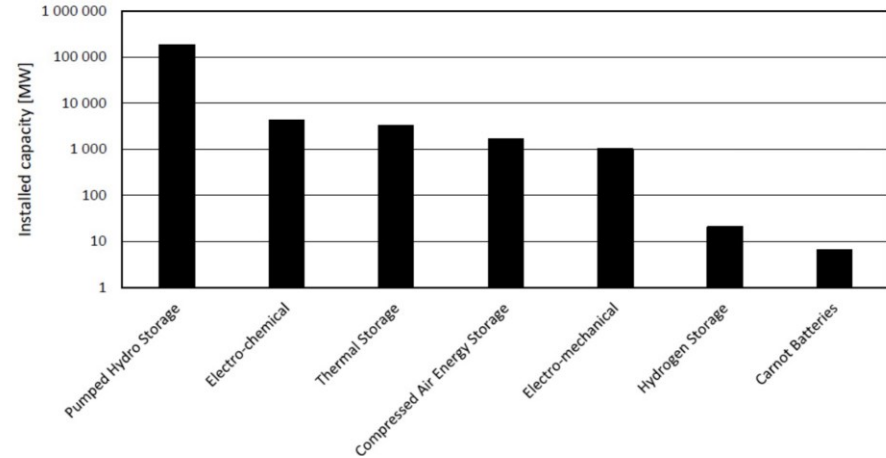
Anno accademico 2022/2023

Perché accumulare l'energia?

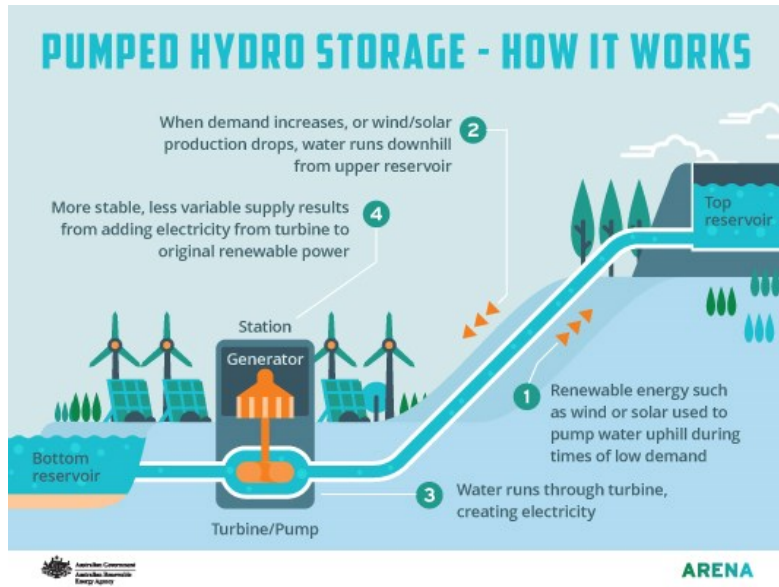
- Aumento costante della domanda
- Incapacità di soddisfare la domanda nei momenti in cui è massima
- Intermittenza delle nuove fonti energetiche → FONTI RINNOVABILI
- Aumento costante della percentuale di energia prodotta da tali fonti inserita nelle reti
- Possibilità di rivenderla in momenti in cui il prezzo è più alto

Metodi di accumulo energetico maggiormente utilizzati

- Pumped Hydro Storage (PHES)
- Electro-chemical
- Thermal Storage
- Compressed Air Energy Storage (CAES)
- Electro-mechanical
- Hydrogen Storage
- Carnot Batteries



PUMPED HYDRO ENERGY STORAGE



- L'energia elettrica viene convertita in potenziale durante la carica e viceversa durante la scarica, tramite un sistema basato su pompe/turbine e due bacini a differenti quote
- Elevate capacità
- Lunga durata degli impianti
- Rendimenti alti (70-80%)
- Scarsa densità energetica
- Energia e potenza strettamente legate alla struttura dell'impianto
- Problematiche ambientali legate alla scelta del sito in cui porre l'impianto

ELECTRO-CHEMICAL: BATTERIE DI FLUSSO

- Particolare categoria di batterie ricaricabili, in cui un elettrolita fluisce attraverso una cella elettrochimica in cui l'energia chimica contenuta nello stesso viene convertita in energia elettrica; la sostituzione dell'elettrolita consente di ricaricare la batteria
 - Energia stoccata e potenza sono indipendenti → batterie di questo tipo sono molto flessibili
 - Ciclo di vita lungo
 - Necessitano di scarsa manutenzione e sopportano bene sovraccarichi e periodi di carica carente
 - Estremamente più complesse di batterie tradizionali (necessitano di sensori, unità di controllo e vasche per l'elettrolita)
 - Scarsa densità energetica
- UTILIZZATE PRINCIPALMETE PER APPLICAZIONI STAZIONARIE DI GRANDI DIMENSIONI → BATTERIA AL VANADIO A DALIAN, CINA (CHE HA COME OBIETTIVO RAGGIUNGERE 200 MW ED 800 MWh)

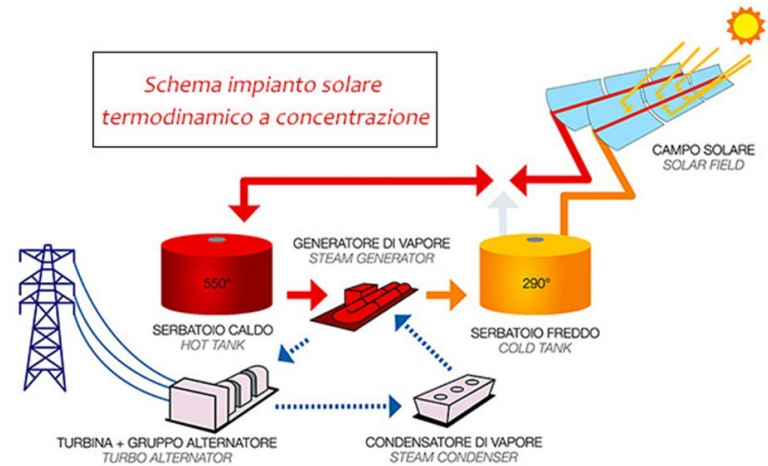
ELECTRO-CHEMICAL: SUPERCONDENSATORI

- Capacità molto elevate (anche oltre 5000 F) → potenze specifiche ed energie elevate rispetto ai condensatori tradizionali
 - Possono essere caricati e scaricati pressoché istantaneamente → POTENZA SPECIFICA ELEVATA
 - Ciclo di vita lungo, anche fino a 20 000 cicli ed oltre i 10 anni, non presentando parti mobili o elementi chimici soggetti a deterioramento
 - Utilizzabili in ampi range di temperature (da -30°C a 75°C)
 - Forte tendenza all'autoscarica con conseguente necessità di essere costantemente ricaricati
 - Tensione nominale bassa
- UTILIZZATI IN APPLICAZIONI DI PICCOLE DIMENSIONI E COME ESTENSIONE DI BATTERIE CON SPUNTI INIZIALI PARTICOLARMENTE ELEVATI

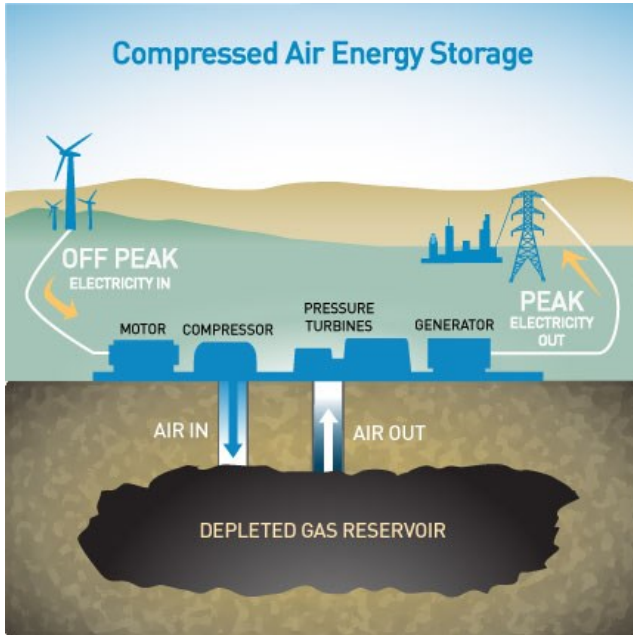
THERMAL STORAGE: IMPIANTI TERMODINAMICI

- Impianti a concentrazione solare in cui il calore raccolto aumenta la temperatura di una miscela di sali sfruttata poi per produrre vapore ed azionare una turbina per la produzione di elettricità
- Rispetto ad impianti solari tradizionali l'accumulo dell'energia termica consente di produrre elettricità anche in periodi di radiazione solare relativa
- Necessità di aree con buona insolazione media annua
- Impianti di grandi dimensioni

→ APPLICAZIONI STAZIONARIE DI GRANDI DIMENSIONI COLLEGATE ALLA RETE ELETTRICA →
PROGETTO ARCHIMEDE

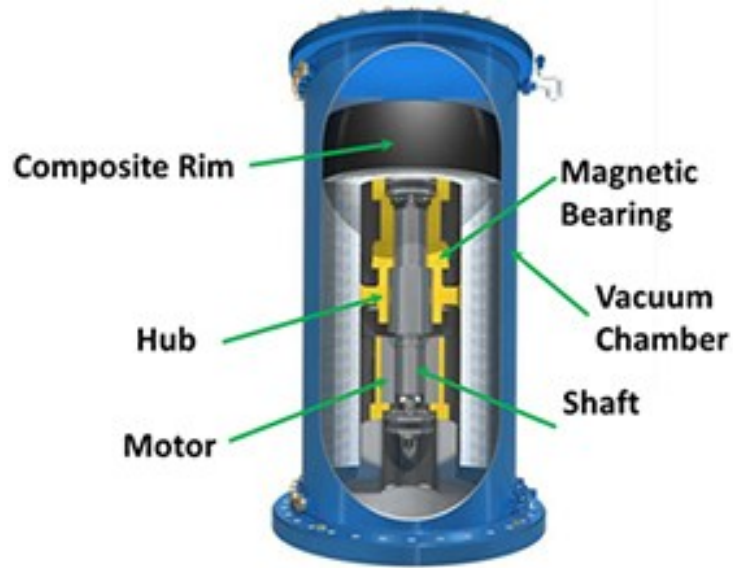


COMPRESSED AIR ENERGY STORAGE



- Funzionamento simile in linea di principio agli impianti PHES, ma ad essere accumulata è aria sotto pressione e non acqua a differenti quote
 - Rendimenti attorno al 42-55% data la necessità di riscaldare nuovamente il gas prima della sua espansione; valori attorno al 70% sarebbero possibili recuperando completamente il calore perso nella compressione
 - Scarsa densità energetica
 - Possibili perdite di gas
 - Necessità di particolare studio ed attenzione nella scelta del sito
- POTENZIALMENTE SFRUTTABILE SIA PER PICCOLI IMPIANTI CHE PER INSTALLAZIONI CHE RICHIEDANO GRANDI RISERVE DI ENENRGIA PER LA RETE ELETTRICA

ELECTRO-MECHANICAL ENERGY STORAGE: FLYWHEEL ENERGY STORAGE SYSTEMS

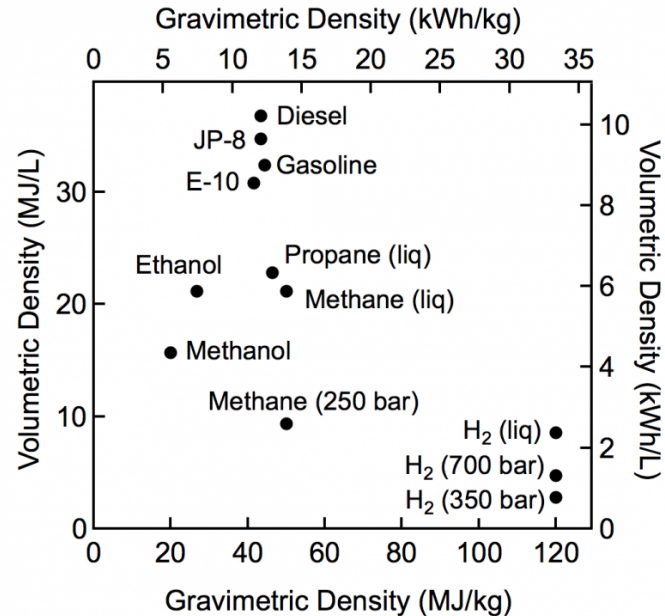


Source: Beacon Power, LLC

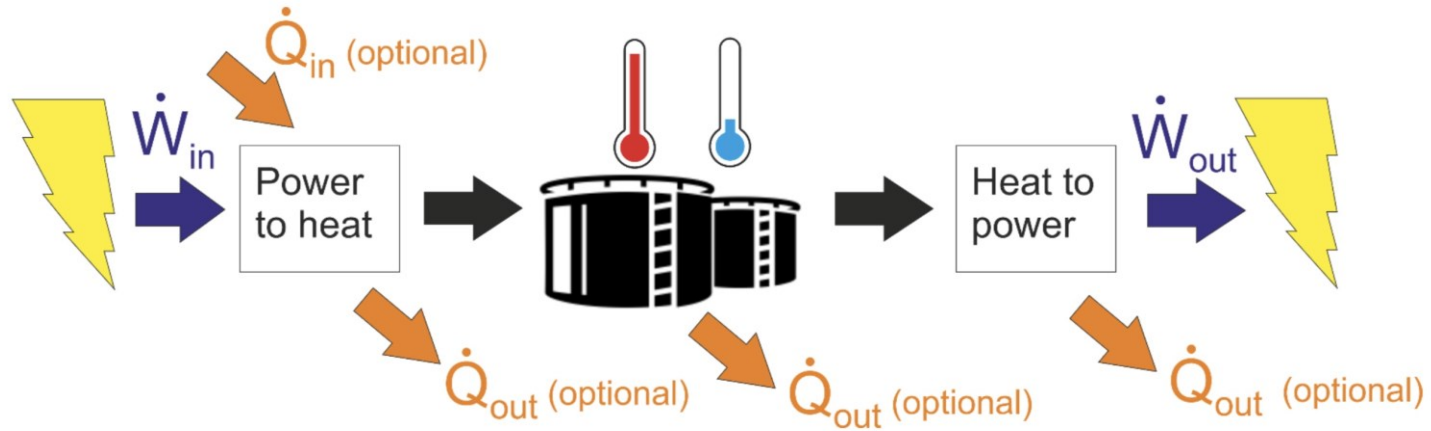
- L'energia elettrica viene convertita in energia cinetica mettendo in rotazione un volano durante la carica; il processo è inverso nel momento della scarica
- Velocità di rotazione e massa influiscono sull'energia accumulabile, ma anche sulle forze che vanno a sollecitare la struttura → sono generalmente preferibili approcci che favoriscano la massima velocità di rotazione possibile
- Lunga durata e tendenza a mantenere le prestazioni anche se usati con frequenza
- Alta densità energetica
- Rendimento elevato
- Tempi di risposta estremamente rapidi
- Necessitano di materiali che resistano alle sollecitazioni e di sistemi di controllo avanzati

HYDROGEN STORAGE

- L'idrogeno tra tutti i combustibili ha il maggior rapporto tra energia e massa
- Prodotto tramite elettrolisi dell'acqua
- Stoccato generalmente ad alta pressione (oppure in forma liquida, ma ciò richiede temperature criogeniche)
- I serbatoi sono ad oggi di grande volume e dunque di difficile applicazione in mezzi di piccole dimensioni
- Rimane una tecnologia di interesse grazie alla capacità decisamente più elevata rispetto alle batterie



BATTERIE DI CARNOT



BATTERIE DI CARNOT

- Ciclo power to heat to power (P2H2P)
- Calore stoccato in sali o substrati solidi (di facile reperibilità)
- Possibilità di riconvertire impianti a combustibile → costo dell'energia più alto, ma costo della conversione inferiore rispetto ad altre soluzioni → costi di accumulo bassi
- Rendimento basso, massimo 40-50% ma spesso anche inferiore: valori attorno al 70% sono stati teorizzati recuperando parte dell'energia persa nel processo e massimizzando il rendimento dei due cicli termodinamici presenti nel processo
- Tecnologia ancora "giovane" ed in fase di studio, non ancora completamente sviluppata

CONFRONTO DEI PRINCIPALI PARAMETRI

TECNOLOGIA	COSTO	CAPACITA'/POTENZA	RENDIMENTO	DURATA
Pumped Hydro	106-200 \$/kWh	>100 MW	70-85%	Più di 30-50 anni
Batterie di flusso	350-600 \$/kWh	Dalian, Cina: attesi 200MW-800MWh	70-80%	Variabile, secondo i cicli
Supercondensatori	Variabile, in genere elevato	Anche oltre 5000F	85-90%	Variabile, generalmente elevata
Termodinamico	20-70 euro/kWh	Anche >100 MW	30-40%	25-30 anni
Compressed Air	118 \$/kWh	Huntorf, Germania: 290MW-580MWh	55%	Circa 30 anni
Flywheel storage	Elevato, minimo 330 \$/kWh	500 kJ/kg, 133 kW	90%	Circa 20 anni
Hydrogen storage	Variabile, secondo stoccaggio	120 MJ/kg, 32 MJ/L	47%	Circa 30 anni
Batterie di Carnot	Valori attesi bassi, tra 12-22 e 50-180 euro/kWh	Previsti 100 MW e 1000 MWh	35% (ottenibile) 70% (teorico)	Elevata, potendo riconvertire altri impianti

GRAZIE PER L'ATTENZIONE
