

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale
Corso di Laurea in Ingegneria dell'Energia

Relazione per la prova finale

**RUOLO DEI SISTEMI DI ACCUMULO DI ENERGIA
NELLA TRANSIZIONE ENERGETICA.**

Tutor universitario: Prof. Sergio Rech

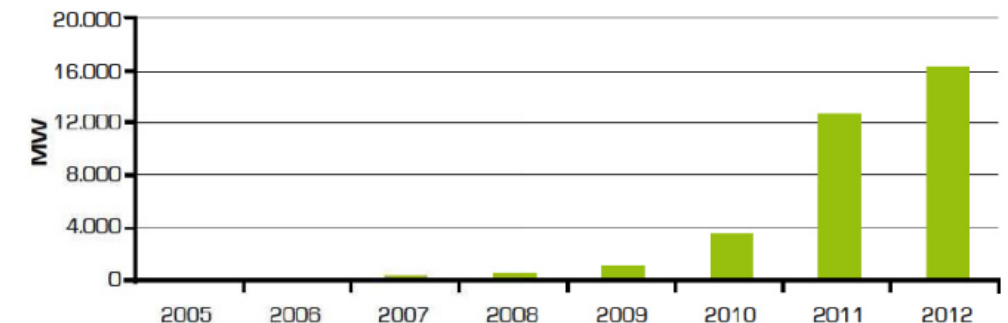
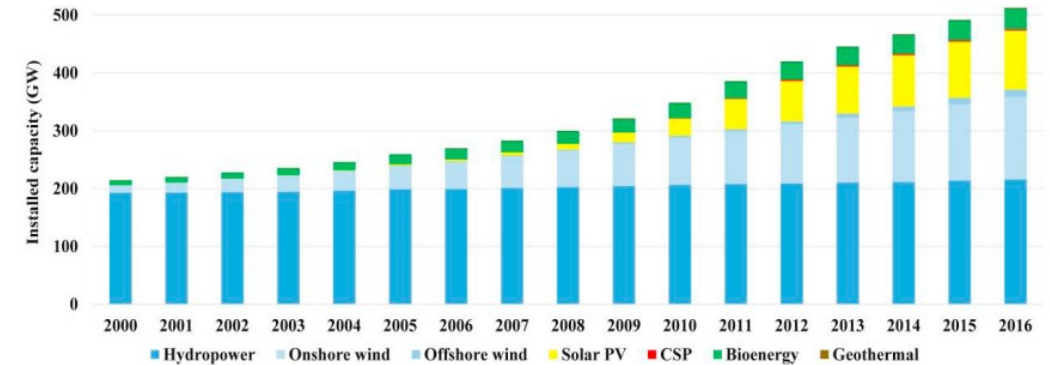
Laureando: Salvatore Longo

Padova, 21/09/2023

Il sistema energetico, seppur in cambiamento, è ancora fortemente ancorato all'utilizzo di fonti fossili nonostante l'urgenza di azzerare le emissioni.

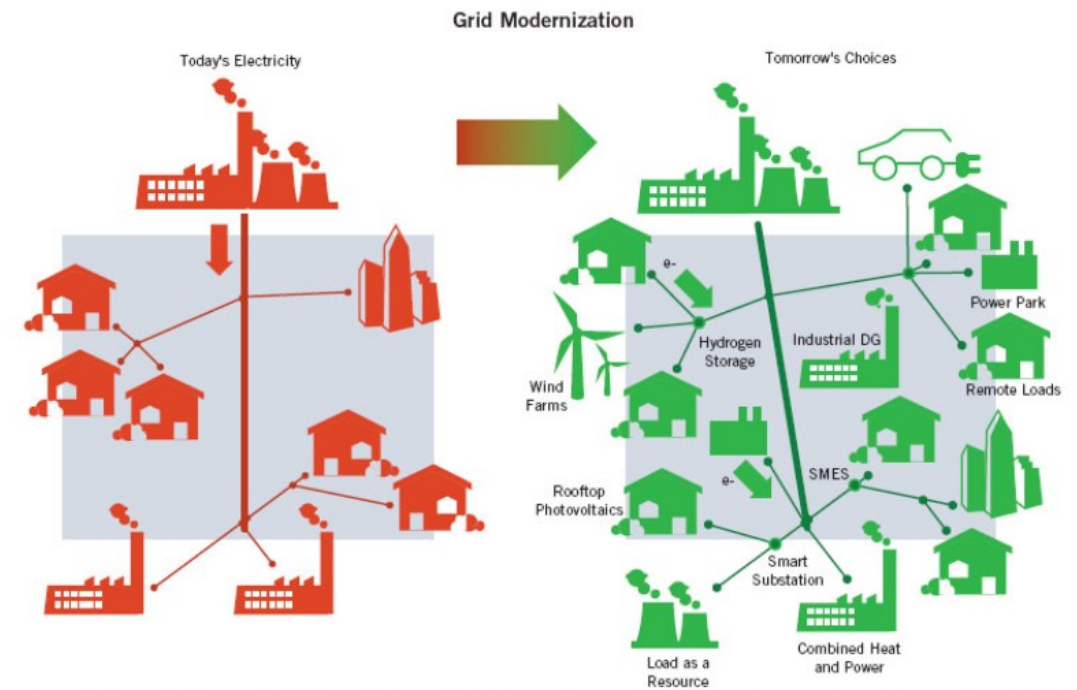
Le **risorse rinnovabili** sono abbondanti ma **intermittenti e costose**. L'energia elettrica prodotta da esse, per sua natura, raramente può fornire una risposta immediata alla domanda poiché queste fonti non garantiscono una distribuzione regolare facilmente adattabile alle esigenze di consumo.

I **sistemi di accumulo** permettono di svincolare, entro i limiti delle loro dimensioni, la generazione dal consumo di potenza. Sono quindi necessari per regolare e **stabilizzare** la rete e rendere più **conveniente** e rapida la transizione energetica. Ad essi è necessario affiancare anche delle strategie di **gestione della domanda** energetica.



Due sono gli obiettivi del seguente lavoro che hanno il fine ultimo di promuovere ed incentivare lo studio e il continuo sviluppo di queste tecnologie:

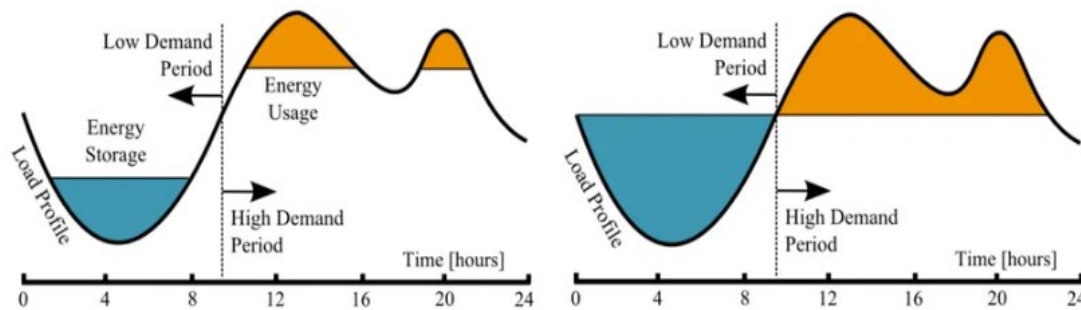
1. Realizzare una classificazione dei sistemi di accumulo in relazione alle funzioni da essi svolte sulla rete al fine di determinare la tecnica più appropriata per ogni tipo di applicazione.
2. Valutare l'impatto economico ed applicativo dell'implementazione di sistemi di accumulo e del demand response in una rete futura alimentata da fonti rinnovabili.



Funzionalità dei sistemi di accumulo



- Energy management
- Integrazione FRNP
- Power quality



Indici di prestazione delle tecnologie



- Capacità di stoccaggio
- Potenza disponibile
- Efficienza
- Cycling capacity
- Tempo di Scarica
- Costi
- Densità di energia
- Perdite di auto-scarica
- Aspetti ambientali

$$E_{st} [Wh]$$

$$P_{max} [W]$$

$$\eta [\%]$$

$$N_{max}$$

$$\tau [s]$$

$$C [$/kWh]$$

$$u [kWh/m^3]$$

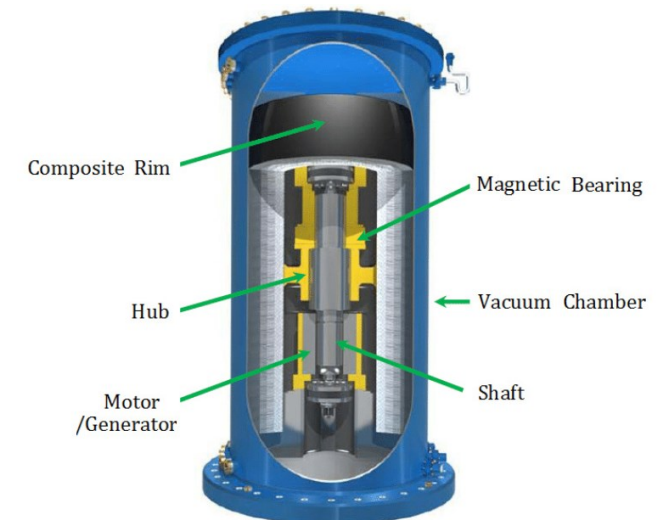
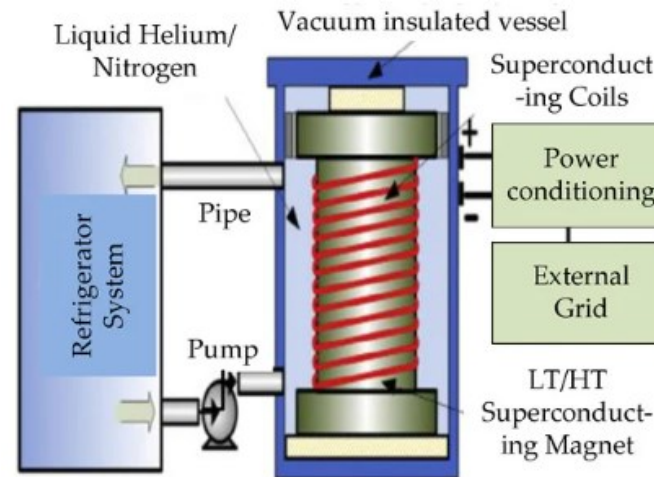
Le batterie utilizzano l'energia elettrochimica per stoccare l'energia elettrica in eccesso (**accumulo elettrochimico**).

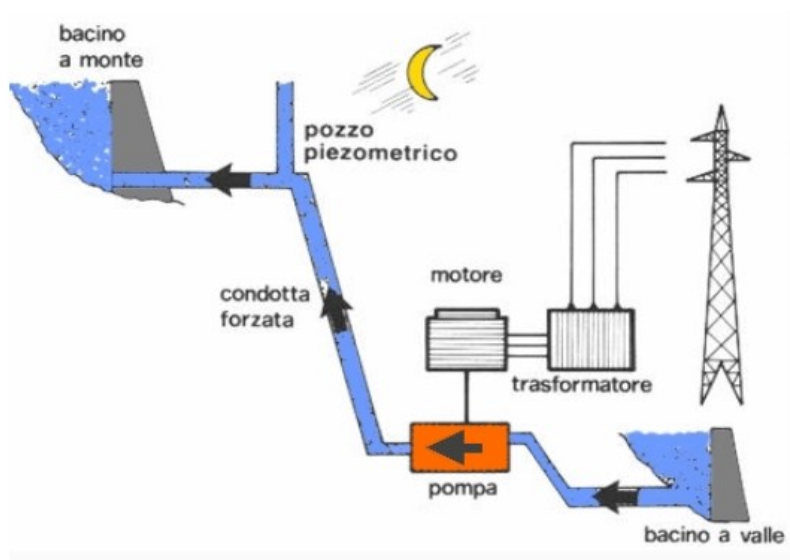
Tecnologia	Efficienza (%)	Densità di energia (kWh/m ³)	Potenza specifica (W/kg)	Durata (n° cicli)	Costo di produzione (€/kW)	Temperatura operativa (°C)
Piombo-acido	70-85	30-50	180-200	200-2000	240-480	18-45
Ioni di litio	95+	200-683	150-300	5000-10000	1000-2000	20-65
Sodio-zolfo	75-90	150-240	90-230	4500	240-400	300-350
Nichel-idruri metallici	65-80	40-110	200-600	300-1800	-	-30--70
Redox al vanadio	70-85	10-40	50-150	12000+	200-800	0-40

- Le **batterie al sodio-zolfo** sono la scelta più vantaggiosa sia in termini economici che applicativi: si prestano sia alla regolazione del carico elettrico su vasta scala che al supporto di impianti a fonti rinnovabili.
- Le **batterie agli ioni di litio** trovano impiego nell'industria dell'*automotive* per via dell'alta densità energetica.
- Le **batterie al piombo-acido** sono economiche ed affidabili ma hanno una scarsa densità di energia, necessitano di manutenzione frequente e sono costruite con materiali dannosi per l'ambiente.
- Le **batterie di flusso redox al vanadio** grazie a una debole degradazione temporale sono adatte all'accumulo a lungo termine (seasonal storage)

- **SMES:** immagazzinano energia in un campo magnetico generato da una bobina superconduttiva
- **Supercondensatori:** sono progettati per immagazzinare energia attraverso processi elettrostatici
- **FES:** l'energia elettrica in eccesso convertita in energia cinetica con la rotazione di un volano

Vantaggi	Svantaggi
Rapida erogazione	Bassa densità di energia
Elevata potenza specifica	Costi elevati
Alta efficienza	
Vita utile lunga	





- **CAES:** rappresentano una modalità per immagazzinare energia elettrica sfruttando le proprietà fluidodinamiche dell'aria.

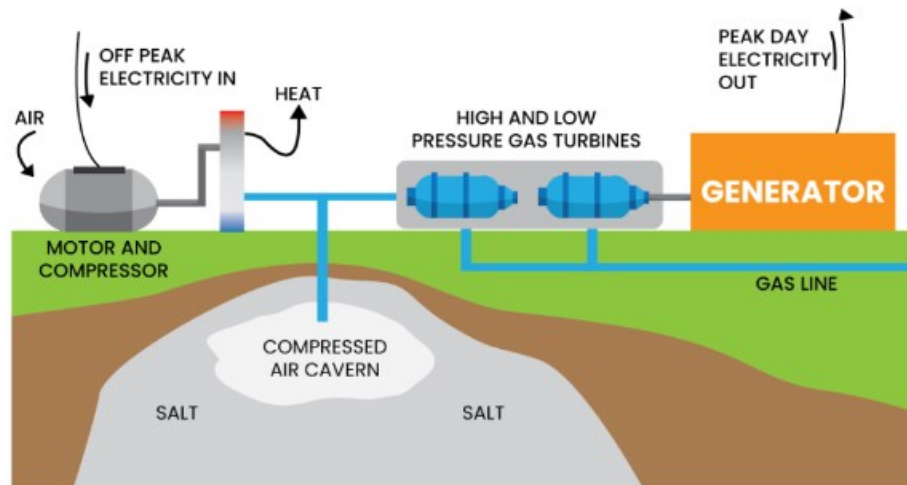


- rapido transitorio di avviamento
- elevato tempo di autonomia
- vita utile piuttosto elevata
- efficienza del ciclo bassa (50%)

- **PHS:** sistemi di accumulo utilizzati per immagazzinare energia in forma di energia potenziale gravitazionale.



- ciclo di vita molto lungo (>50 anni)
- efficienza del ciclo elevata
- tempi di risposta piuttosto rapidi
- costi di investimento iniziale elevato
- notevole impatto ambientale



Un vantaggio del CAES rispetto al PHS è il costo del capitale notevolmente inferiore e la riduzione dell'impatto ambientale in superficie.

Tecnologia	Efficienza (%)	Densità energia (kWh/m ³)	Potenza disponibile (MW)	Durata (n° cicli)	Costo di produzione (€/kW)	Tempo di scarica	Tempo di risposta
Batterie piombo-acido	70-85	30-50	0-30	200-2000	240-480	Da secondi a 10 ore	immediata
Batterie ioni di litio	95+	200-683	0,001-0,1	5000-10000	1000-2000	Da secondi a 8 ore	immediata
Batterie sodio-zolfo	75-90	150-240	0,005-34	4500	240-400	Da secondi a ore	Pochi secondi
Batterie redox vanadio	70-85	10-40	0,025-3	12000+	200-800	Da secondi a 24+ ore	Pochi secondi
Supercondensatori	84-97	10-30	0,001-0,30	100000+	300-2000	Da secondi a minuti	immediata
SMES	85-95	10-100	10-500	100000+	1000-10000	Da secondi a minuti	immediata
PHS	65-85	0,273	100-5000	10000-30000	5-100	1-24+ ore	5-15 minuti
CAES	42-Huntorf	0,122	100-300	8000-12000	15-100	3h-Huntorf	5-15 minuti
Volani	54-McIntosh 88-95	20-80	0,001-20	20000+	1000-5000	26h-McIntosh Da secondi a minuti	immediata

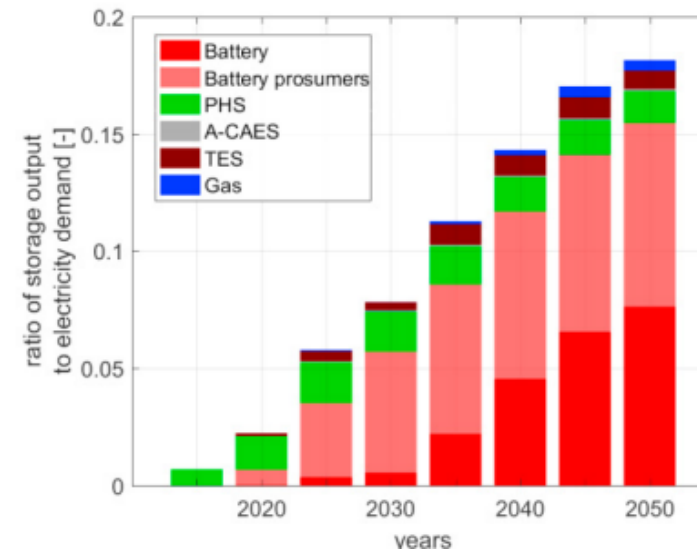
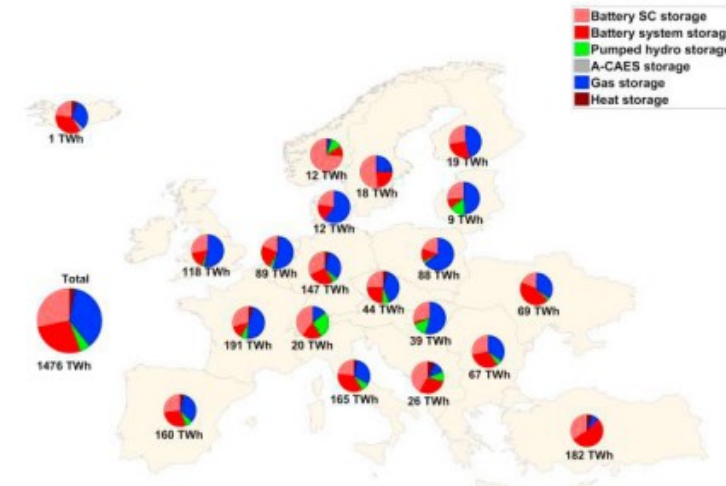
Scenario europeo al 2050 basato al 100% su energie rinnovabili ed implementazione di EES.



Le tecnologie principalmente studiate sono le batterie, lo stoccaggio idroelettrico con pompaggio e lo stoccaggio adiabatico dell'energia con aria compressa.



I requisiti di stoccaggio totali includono fino a 3.320 GWhe di batterie, 396 GWhe di stoccaggio idroelettrico con pompaggio e 218.042 GWh di stoccaggio di gas.



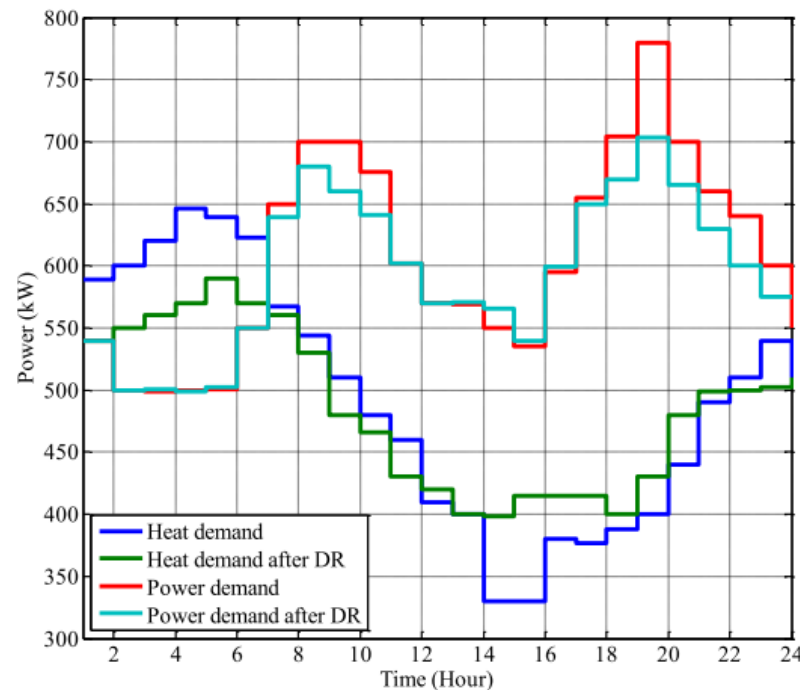
Il *demand response (DR)*, o risposta della domanda, è una strategia utilizzata nel settore energetico che prevede la modifica della domanda di energia elettrica in risposta alle fluttuazioni dell'offerta e alle esigenze della rete elettrica.



Implementazione nella rete per stabilizzare ed abbassare i costi in combinazione ai sistemi di accumulo



3 scenari energetici di un micro-grid:



Scenari	DR	EES	Costi operativi	Penali	Costi ambientali
1.	no	no	£5.543,26	£8.601,42	£132,86
2.	no	si	£5.634,12	£7.632,54	£140,62
3.	si	si	£5.723,21	£7.043,52	£136,95

- Scenario rinnovabile al 2050 **EFFETTI** → Il costo dell'elettricità scenderà dall'attuale livello di **69 €/MWh** a **51 €/MWh** nel 2050 e il costo delle batterie sarà di **75 €/kWh** portando uno sviluppo di queste tecnologie.
- Combinazione di EES e DR **EFFETTI** → Diminuzione della deviazione standard nella richiesta di calore e potenza del **15%**, diminuzione dei costi del **1,82%** e un incremento della produzione da fonti fotovoltaiche e da turbine eoliche del **14,54%** e del **2,42%** rispettivamente.



- **PHS e CAES**: adatti ad applicazioni di time-shift ed energy management ed in supporto ai sistemi di produzione basati sulle fonti rinnovabili.
 - **FES, SMES e supercondensatori**: adatti alla regolazione della frequenza e stabilità del servizio.
 - **Batterie**: adatte ad applicazioni portatili di piccola taglia e potenza.
- È possibile una più **rapida transizione energetica** generata dall'abbassamento dei prezzi dell'elettricità e dalla stabilizzazione della rete.

