

Metodi per immagazzinare l'energia prodotta da fonti rinnovabili





***Nel Dicembre 2015,
195 Paesi nel mondo
hanno adottato il primo
accordo globale per il clima.***

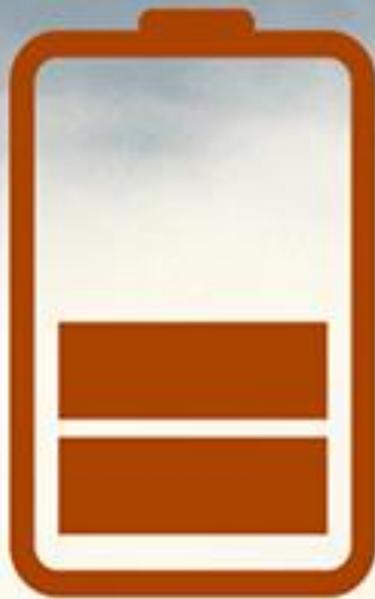


L'Unione Europea è diventata un attore primario per la riduzione delle emission clima-alteranti, con l'obiettivo di raggiungere il 100% (zero emissions) nel 2050. Ciò comporta la definizione di una strategia a lungo termine, con tappe intermedie, che preveda di sostituire le fonti fossili con un'importante contributo di elettrificazione.

Per questo si prevede un vasto sviluppo di sistemi per la generazione energetica da rinnovabili (solare-PV, eolico, idroelettrico, marea-mortice, geotermico,...) anche su grande scala, con la necessità di sviluppare tecnologie di immagazzinamento dell'energia.

La transizione verso una società meno impattante sul clima è un obiettivo urgente ed insieme una opportunità per sviluppare nuovi mercati. Tutti i settori dell'economia ne sono coinvolti: l'industria, i trasporti, gli edifici, l'agricoltura, le foreste, i litorali marini...

*Non c'è generazione da fonti rinnovabili
senza STORAGE !*

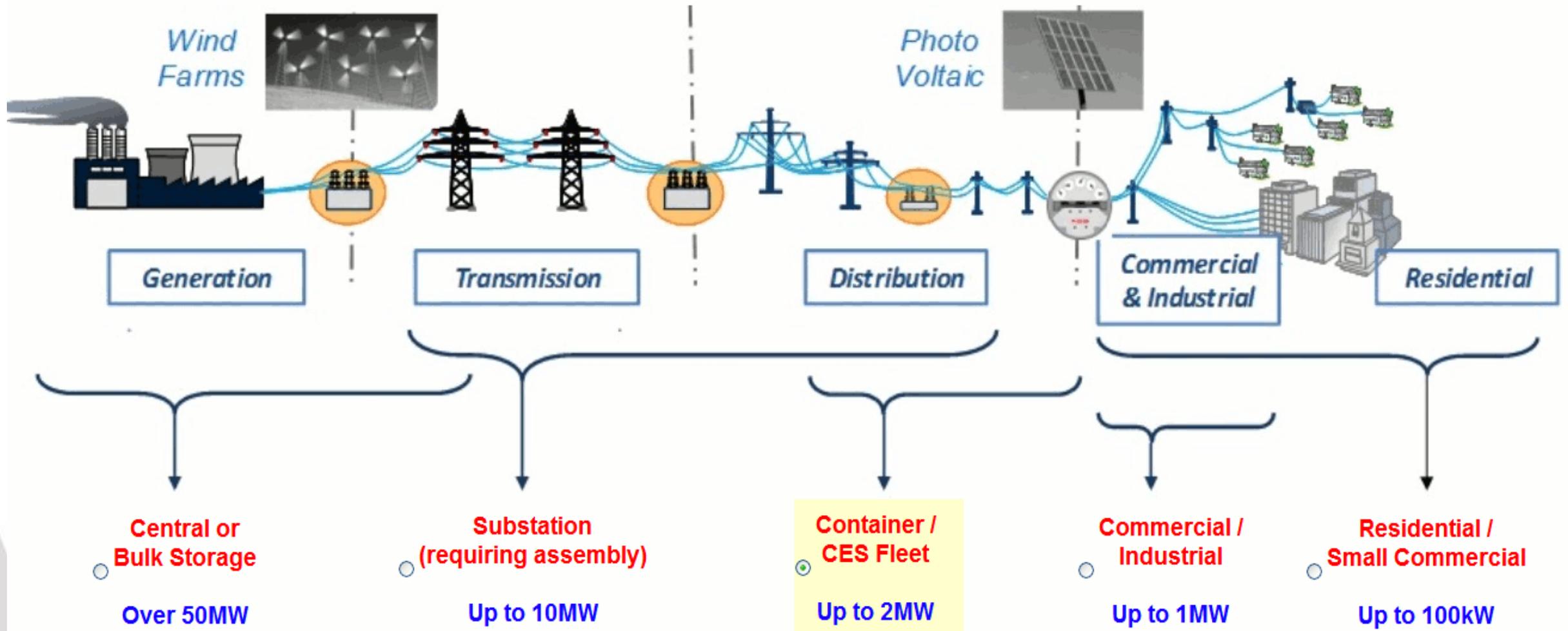


Solare-PV: Intermittente, non predicibile, giornaliero, stagionale...



Sistemi di STORAGE: locazione e dimensioni

Possible Locations for Grid-Connected Energy Storage



Potenza (W) ed Energia (Wh)



Un ragazzo sale correndo la rampa di scale...l'altro sale lentamente. In due compiono lo stesso lavoro impiegando tempi diversi.

Il rapporto tra lavoro compiuto e tempo impiegato a compierlo è la **potenza**

$$P = \frac{L}{t}$$

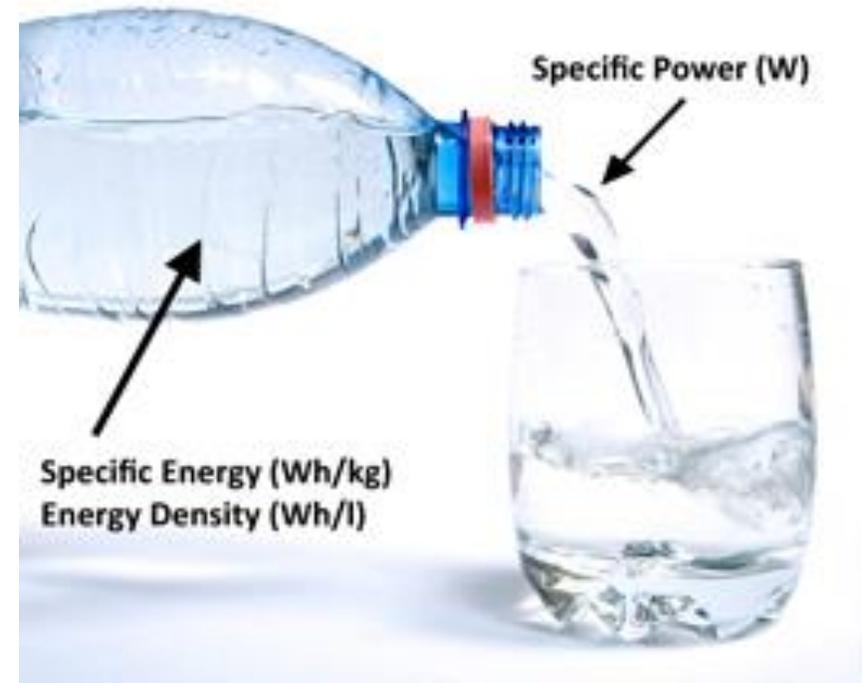
Nel SI l'unità di misura della potenza è il **watt** (W)

Poiché il watt è un'unità di misura piccola molto spesso si usano i multipli di tale unità di misura: 1kW=1000W.

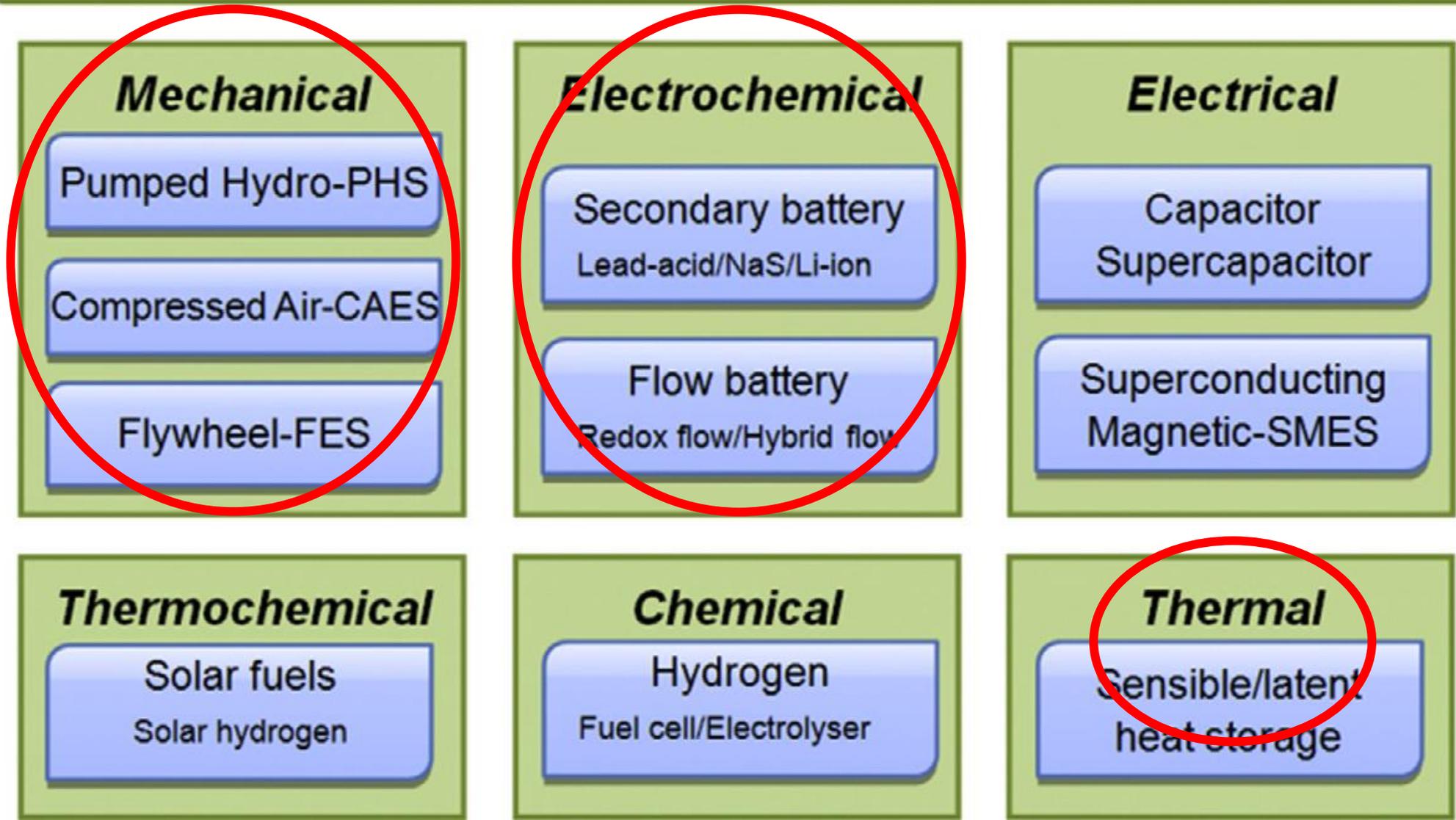
MW= 10⁶

GW= 10⁹

TW= 10¹²



Classification of Electrical Energy Storage Technologies



TRL :

1-2

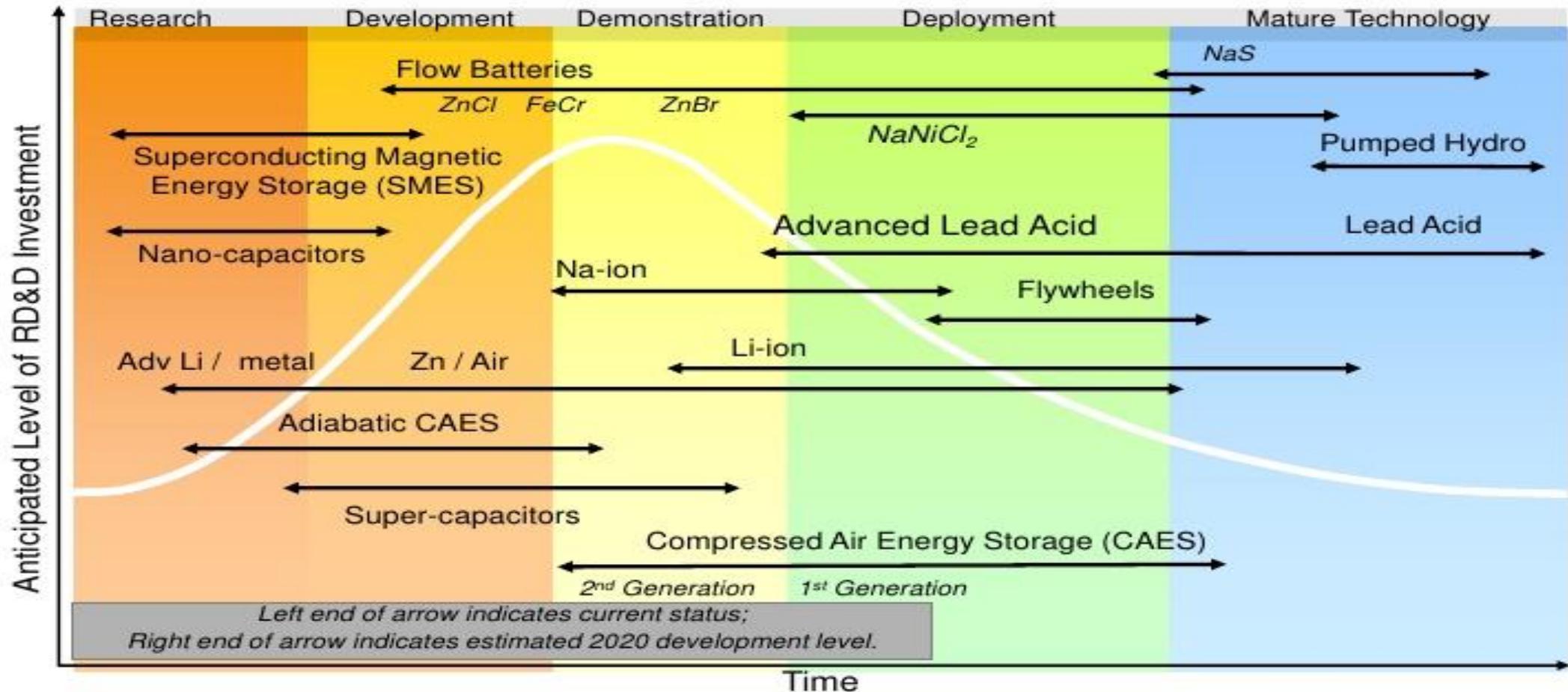
3-4

5-6

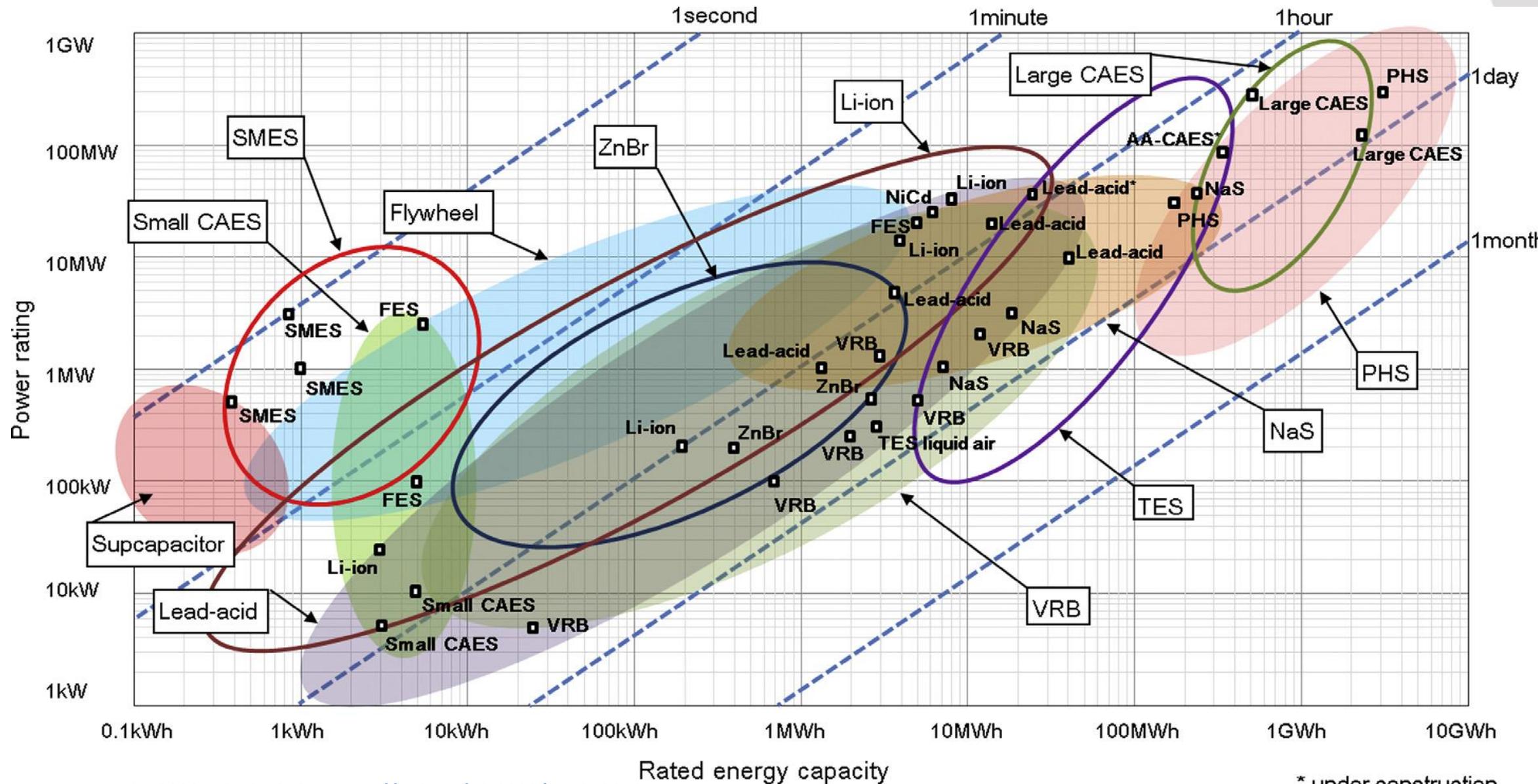
7-8

9

Technology Trends and Readiness Electric Energy Storage Options

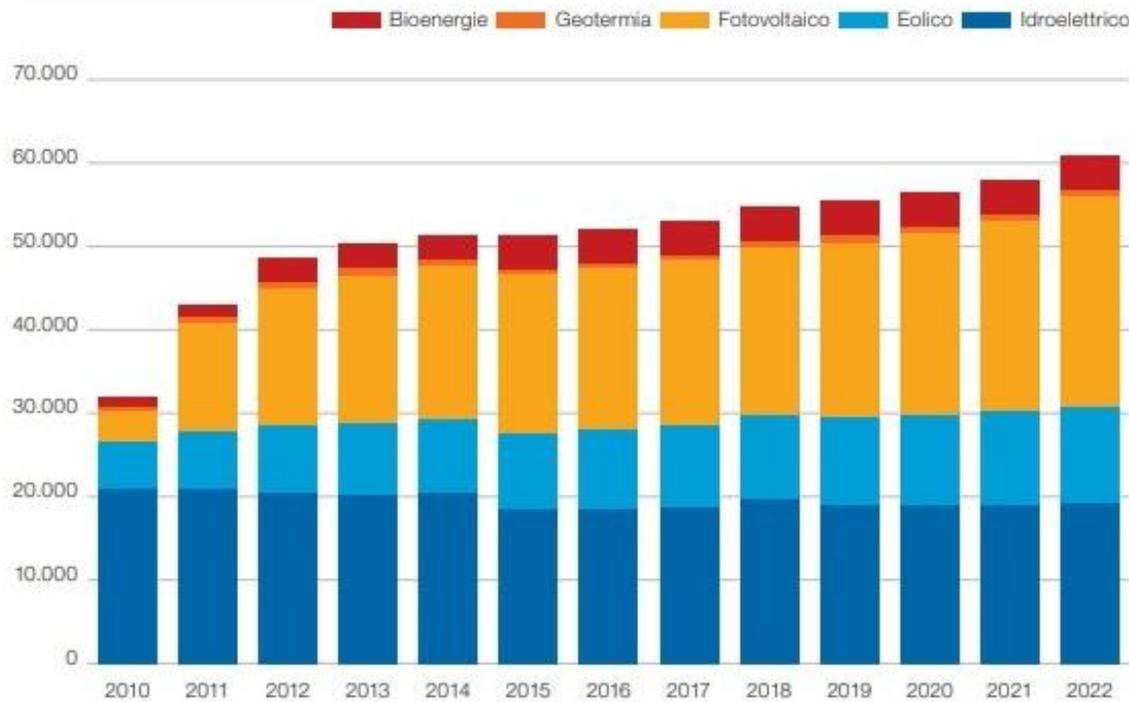


Caratteristiche delle differenti tecnologie (Ragone plot)



Situazione Italiana generazione da rinnovabili e mix energetico (2022)

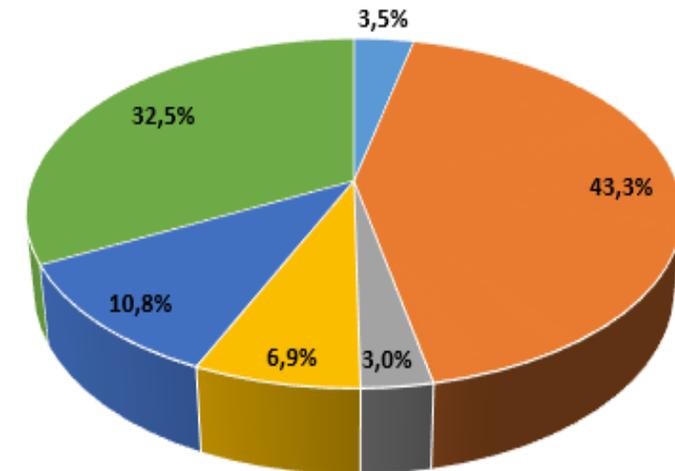
LO SVILUPPO DELLE FONTI RINNOVABILI IN ITALIA, 2010 - 2022 [MW]



60,58 GW

Elaborazione Legambiente su dati Terna

Mix energetico italiano nel 2020



■ Carbone ■ Gas naturale ■ Idroelettrico ■ Solare + eolico ■ Biocombustibile ■ Petrolio

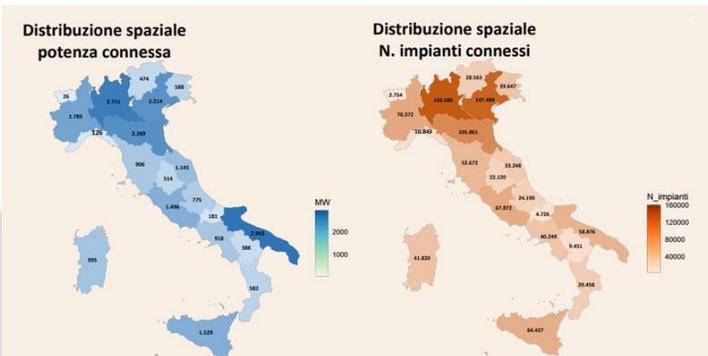
Creazione: 5 aprile 2022

Grafico: Dott. Luca Fusaro - Fonte: International Energy Agency (IEA)

Situazione Italiana accumuli (2022)

A fine primo trimestre 2023, in Italia risultavano installati 311.189 sistemi di accumulo, per una potenza complessiva di 2.329 MW (2.3 GW circa il 4% dell'installato) e una capacità massima di 3.946 MWh, secondo il nuovo aggiornamento del Report "Osservatorio sistemi di accumulo" di ANIE.

Ripartizione tecnologie

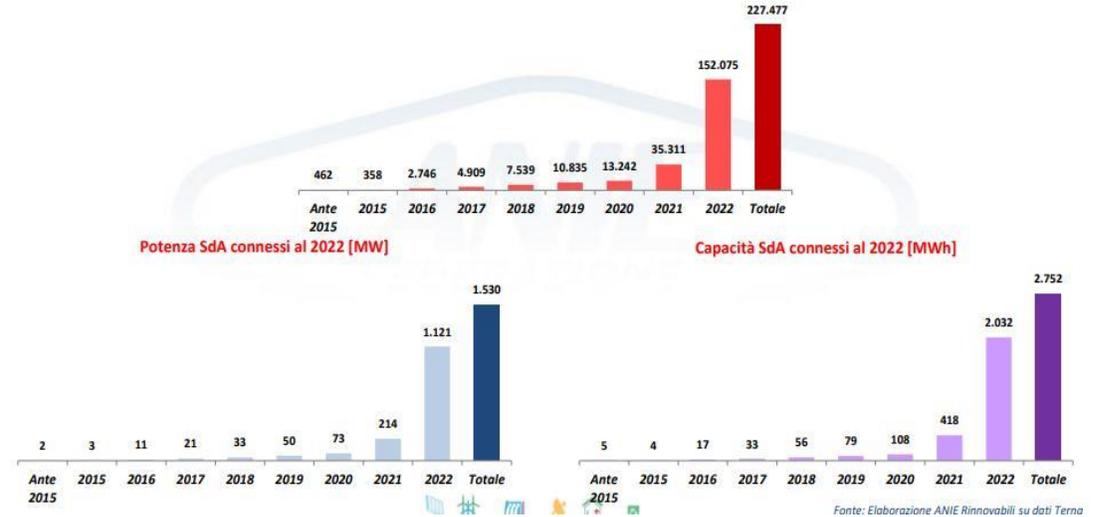


TECNOLOGIA SdA

Tecnologia	N. SdA	Potenza SdA [MW]	Capacità SdA [MWh]
Litio	225.404	1.518,37	2.725,09
Piombo	1.436	4,94	12,22
Altro	637	6,22	14,79
Totale	227.477	1.530	2.752

SISTEMI DI ACCUMULO (SdA) IN ITALIA

N. SdA connessi al 2022

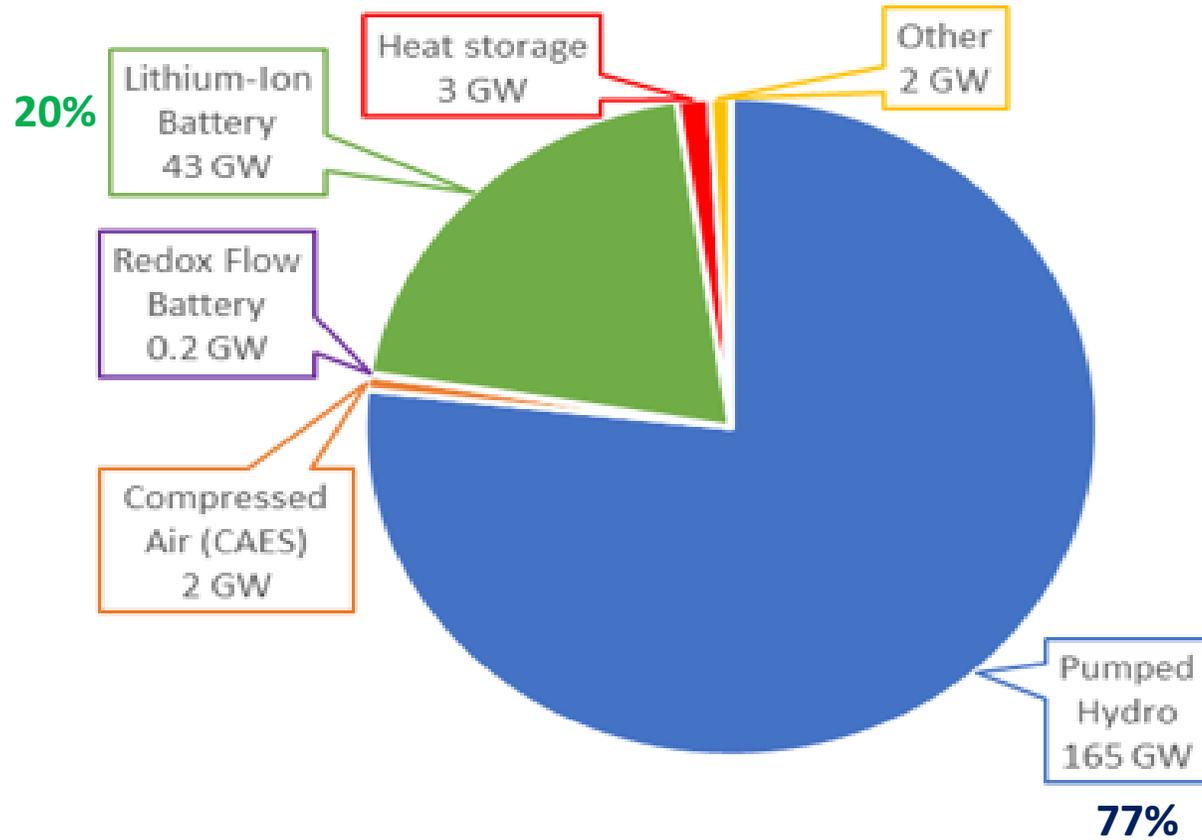


FEDERAZIONE NAZIONALE IMPRESE ELETTROTECNICHE ED ELETTRICHE



Altre tecnologie	N. SdA	Potenza SdA [MW]	Capacità SdA [MWh]
Aria compressa	13	1,55	3,09
Batteria a flusso Poli-Solfuro-Bromuro	3	0,00	0,01
Batteria a flusso Vanadio Redox	1	0,00	0,01
Batteria a volano	221	1,43	2,07
Batteria al Nichel-Cadmio	72	0,49	0,78
Batteria Nichel-idruri	19	0,28	0,74
Batteria Nichel-Zinco	8	0,03	0,09
Batteria Z.E.B.R.A.	50	0,73	1,38
Batteria Zolfo-Sodio	12	0,10	0,13
Idrogeno	39	0,20	4,38
Supercondensatori	198	1,41	2,09
Metallo-Aria	1	0	0

Capacità globale installata nel 2022: 215 GW



161 GW
2018

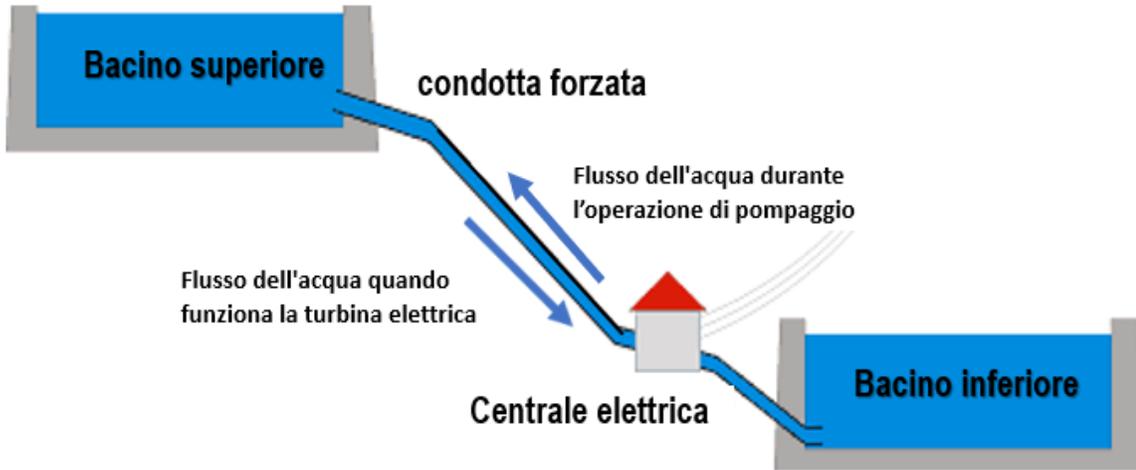


300 GW
2030



325 GW
2050

Come funziona una centrale elettrica ad accumulo con pompaggio



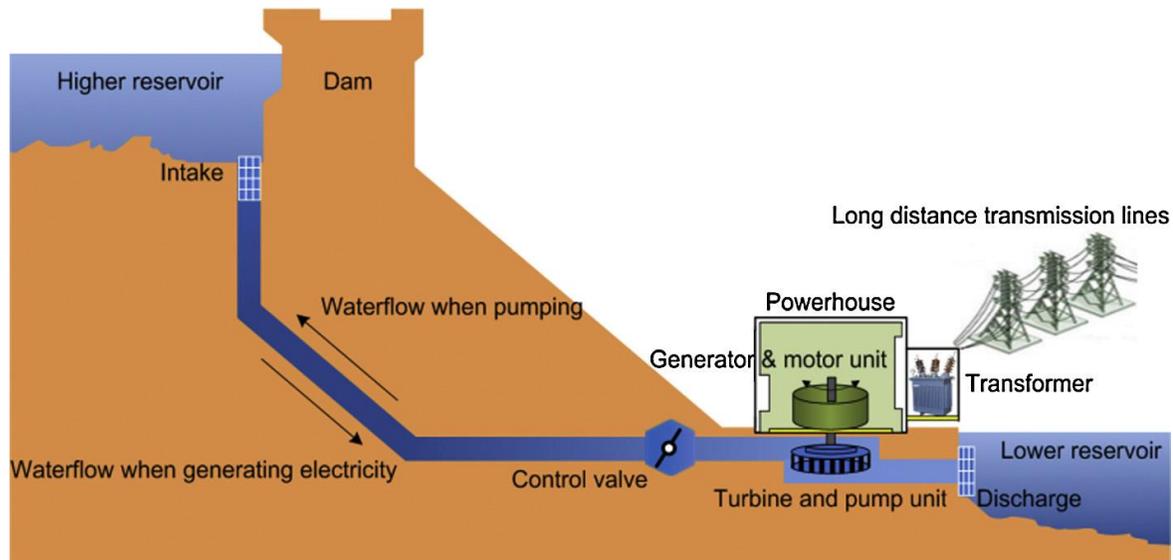
È il primo sistema pensato su grande scala (1 MW-3 GW)
Nasce in Svizzera nel 1907.

Energia potenziale <-> Energia cinetica

L' **energia** dipende dai volumi stoccati,
la **potenza** dipende dal flusso attraverso le turbine
e dal dislivello.

$$P \text{ [kW]} = 9,81 \cdot Q \text{ [m}^3 \text{ /s]} \cdot H \text{ [m]}$$

È un sistema a bassa densità di energia e potenza, con
Efficienze di ciclo del 70% circa, con lunga vita media
(> 40 anni).

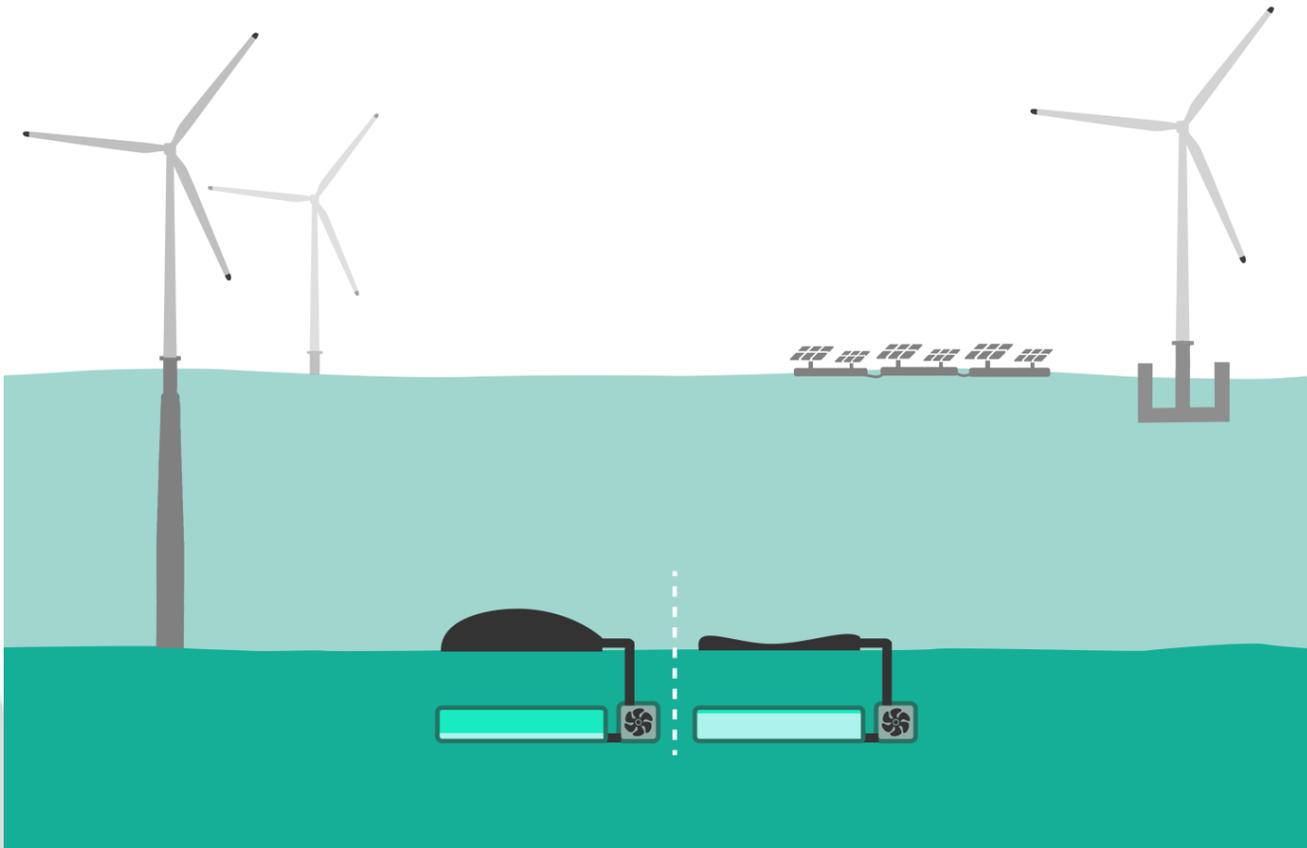


Una diga idroelettrica infondo al mare

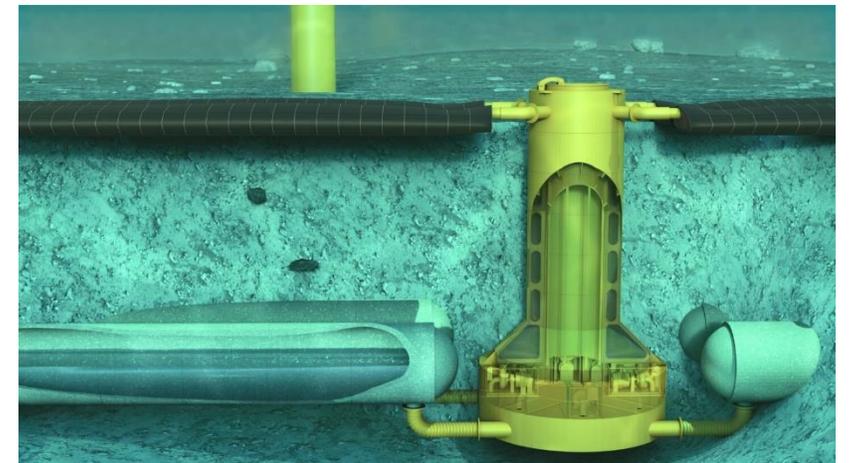
SUBHYDRO by Ocean-Grazer, NL

Si utilizza acqua in un circuito chiuso. L'acqua viene pompata da serbatoi in cemento posti sotto terra, verso l'alto in vesciche flessibili poste sul fondo marino.

Quando è richiesta energia, l'acqua è fatta scendere dalle vesciche ai serbatoi, muovendo turbine multiple che generano elettricità.



Ciascun serbatoio può contenere fino a 20×10^6 L di acqua per stoccare **10 MWh**; con **70-80%** di **efficienza di ciclo**.



Sistemi meccanici gravitazionali

Le aziende **Energy Vault** (CH) e **Gravitricity** (Scotl.) sono pioniere della tecnologia basata sulla gravità, per le utenze di rete. In pratica, una massa di cemento è portata ad una certa altezza e poi fatta cadere con un movimento rotatorio.

La torre di **Energy Vault** è alta 120 mt, e solleva una massa da 35 ton (circa **1 ton stocca 1 MWh**).

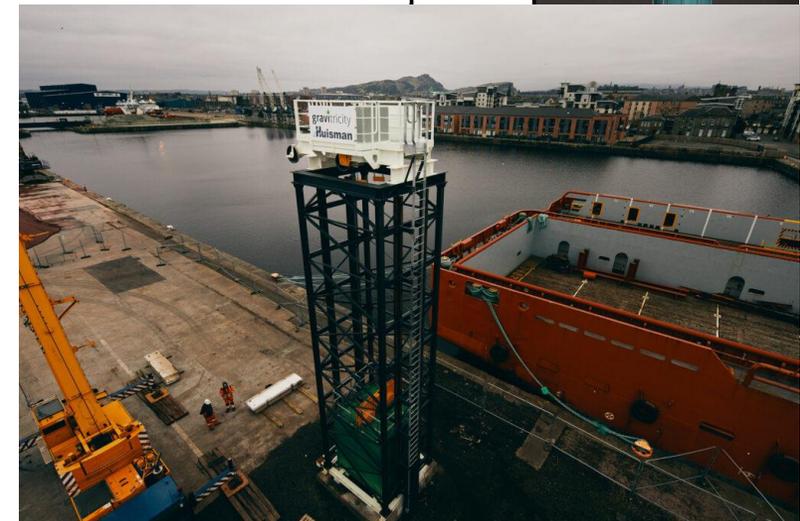
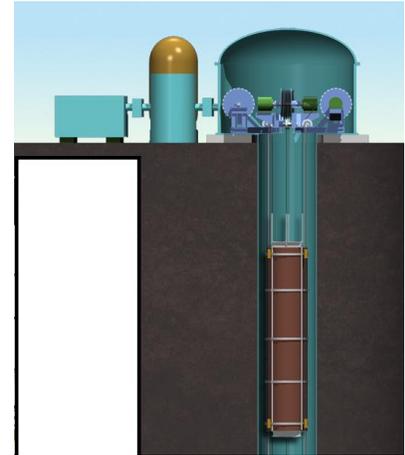
Nella caduta le masse di cemento mettono in rotazione un generatore di corrente.

Nel 2022 EV ha annunciato un nuovo Progetto in Cina da **100 MWh**.



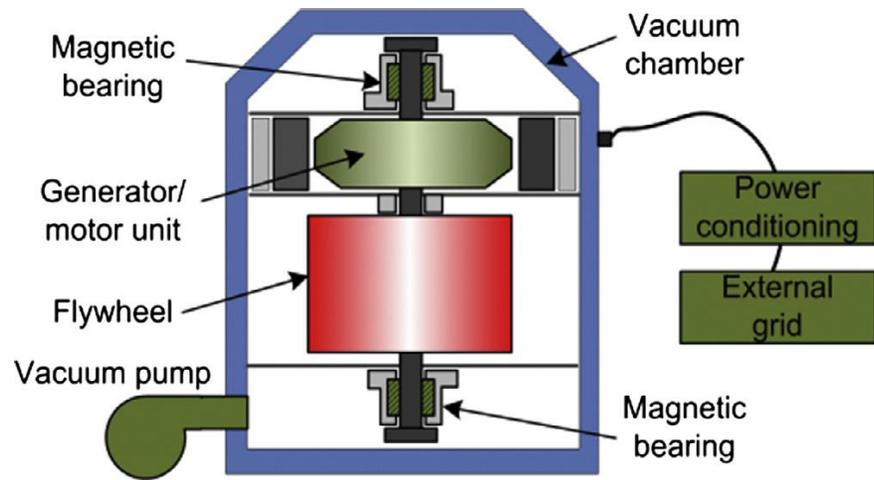
Gravitricity (UK) utilizza miniere decommissionate per far muovere masse da diverse tonnellate, 100 metri sottoterra. Un sistema di verricelli elettrici fa salire la massa in alto, quando viene rilasciata questa ruota in un campo magnetico e genera energia elettrica.

Un prototipo da **250kW e 10 MWh**, è operativo in Scozia al porto di Leith dal 2021, per 8 ore di esercizio. Efficienza > **80%**; ricarica veloce; 30 anni di vita utile.



La batteria a volano

Energia cinetica



La batteria a volano (o FES in inglese cioè Flywheel Energy Storage) è un dispositivo elettromeccanico che immagazzina energia sotto forma di energia cinetica rotazionale. L'idea è accumulare energia ponendo in rapida rotazione un volano in un sistema inerziale.

La quantità di energia immagazzinata dipende dalla velocità di rotazione e dall'inerzia del dispositivo. Il rotore a livelli di carica elevata può operare ad un regime di circa 20.000-50.000 [rpm](#), ovvero circa 333-833 [Hz](#).

Questi sistemi hanno **alta densità di potenza e buona capacità specifica** (si possono accumulare grandi quantità di energia in un oggetto «piccolo»), alta efficienza di ciclo (**95%**) e bassa manutenzione.

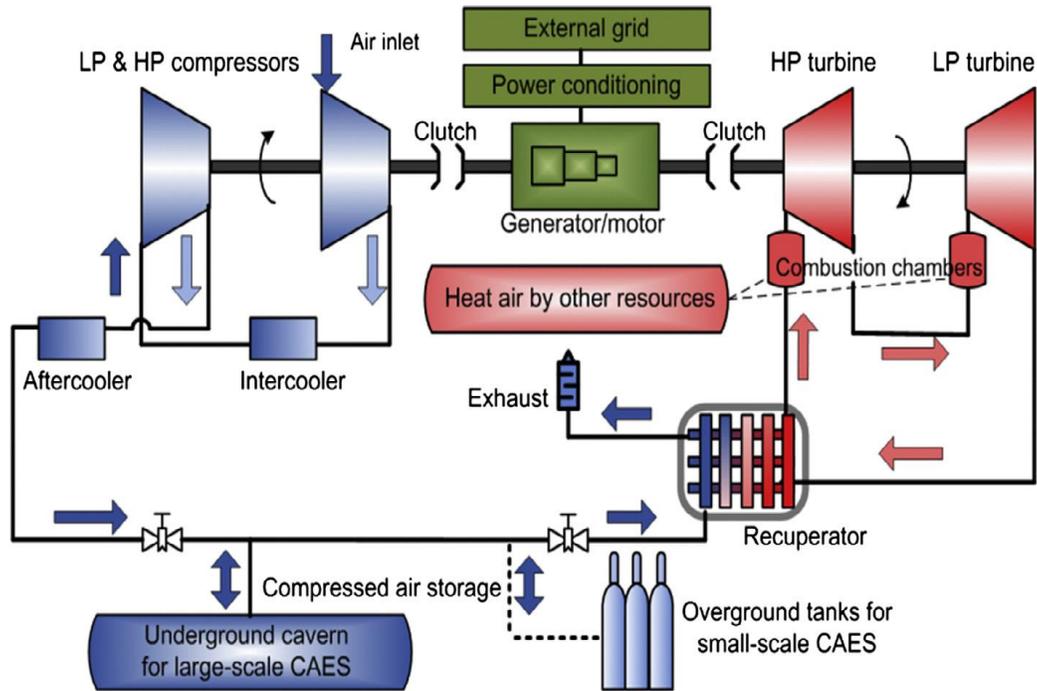
La potenza di un volano può essere di circa **133 kW** una carica può durare senza manutenzione alcuni decenni, il suo tipico ciclo vitale è di 10^7 ricariche complete e la sua ricarica può richiedere anche soli 15 minuti.



AMBER KINETICS 128kW/512kWh

West Boylston Municipal Light and Power Utility installation, MA, USA

Stoccaggio di aria compressa (CAES)



Il surplus elettrico è utilizzato per azionare una catena di compressori che iniettano aria in un serbatoio, che può essere un pacco bombole o una caverna sotterranea.

Quando è richiesta energia, si recupera l'aria che riscaldata si espande azionando turbine per la generazione elettrica con alta densità energetica.

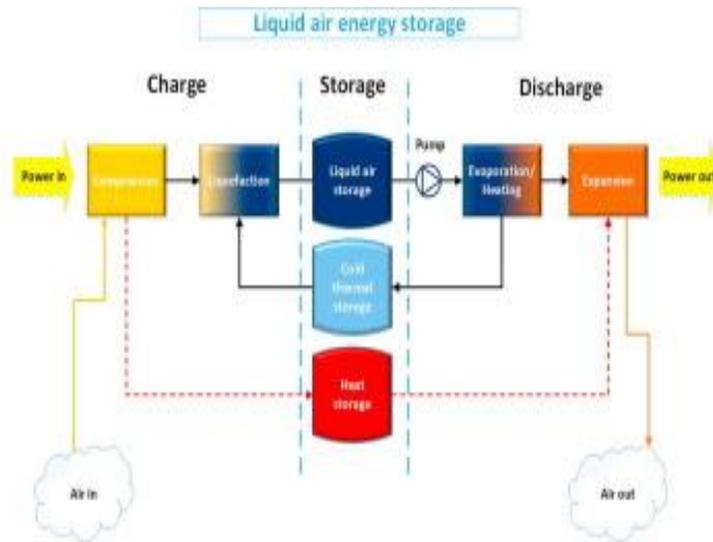
Gli impianti CAES sono tipicamente usati a valle di parchi eolici per livellare i picchi di corrente e controllare le emission in rete.

Le maggiori controindicazioni sono:

- Identificazione di un sito appropriato;
- alti costi di investimento;
- basse efficienze di ciclo (55%) dovute alle perdite di calore => sistemi adiabatici (A-CAES)

- Huntorf -1978, Germany, 580 MWh
- McIntosh - 1991, Alabama-US, 2860 MWh
- Storelectric - 2017 built a 40 MW pilot plant in Cheshire, UK, with 800 MWh
- Hydrostor - 2019 completed the first commercial A-CAES in Goderich, Ontario, with 2.2MW/ 10MWh storage
- In EU, RICAS - 2020 is a project in Austria that uses crushed rock to store heat with improved efficiency. The system was expected to achieve 70%.

Stoccaggio di aria liquida (LAES)



A causa del processo di liquefazione, LAES ha una bassa efficienza di ciclo ma un'alta densità energetica

1 kg air / 0,82 m³

Medium (15 bar)

-190°C

1,1 liters

107 kWh/m³

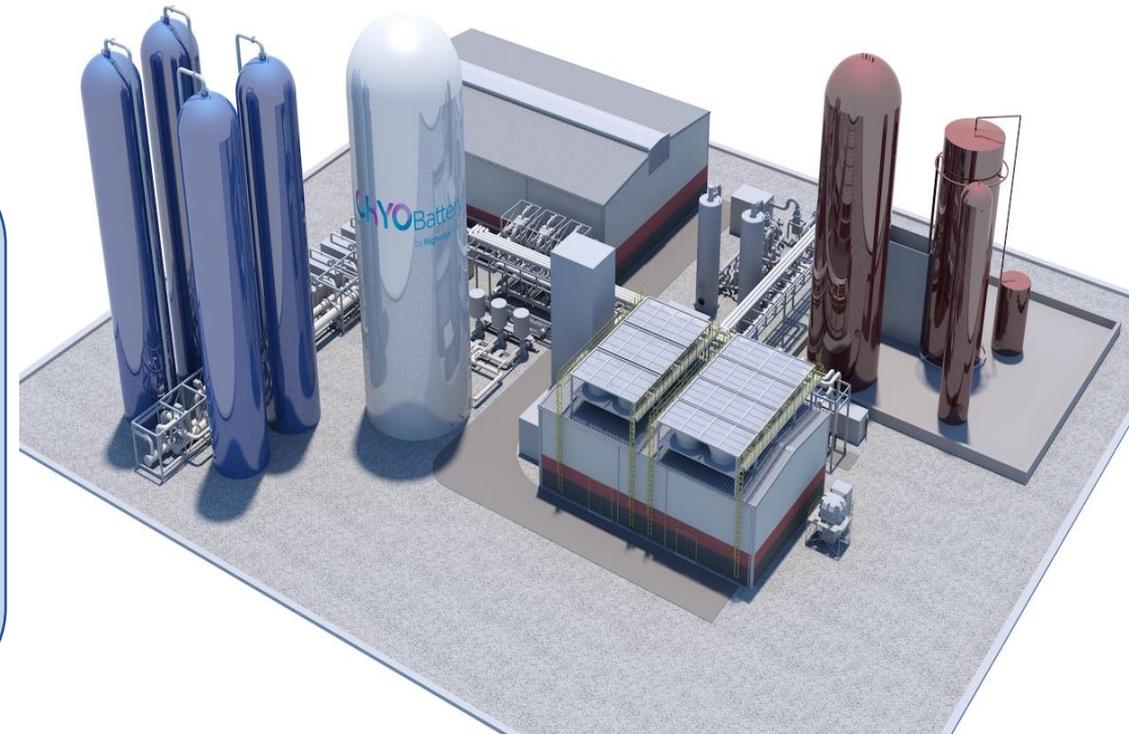
Eff. ~ 60 %

240-640 \$/kWh CAPEX



Pilot plant: 350 kW/2.5 MWh in UK (2011)

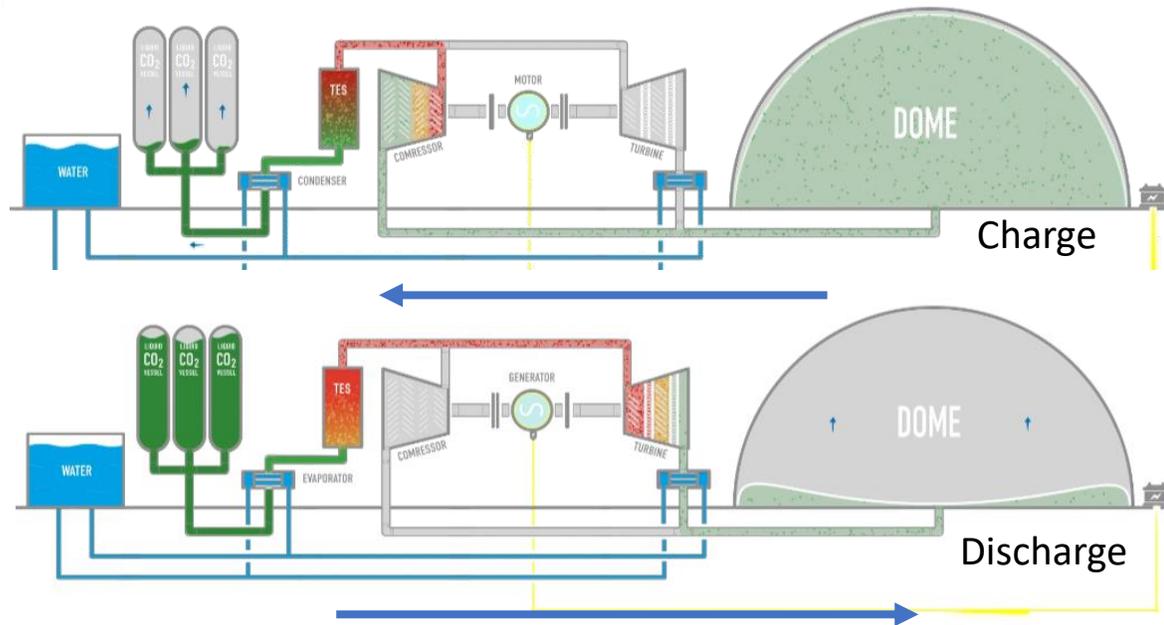
Demo plant: 5 MW /15 MWh in UK (2018)



Una maniera più moderna di stoccare l'aria è di liquefarla raffreddandola a -190°C con l'elettricità in surplus. L'aria liquefatta è mantenuta in serbatoi esterni.

Quando è richiesta energia l'aria è fatta evaporare scaldandola ed inviata alle turbine per la conversione in elettricità. I sistemi LAES sono sempre combinati con un'unità termica per il recupero del calore.

Stoccaggio di CO₂



CO₂ compressa (>5 bar) in forma liquida è usata come fluido di storage, in scarica viene scaldato ed espanso nel DOME dove rimane a T ambiente.

- CO₂ scaricata a pressione atmosferica richiede grandi volumi
- Densità energetica (67 kWh/m³ vs. 107 kWh/m³ LAES)
- Efficienza dichiarata 70%

Energy Dome (Sardegna - Italy)

La “CO₂-Battery” è un sistema di storage di lunga durata su grande scala basato su un processo termodinamico che utilizza CO₂ in differenti stati, in un sistema chiuso.



Solare a concentrazione (CSP)

The sunlight is **reflected** and **concentrated** from a large to a small surface

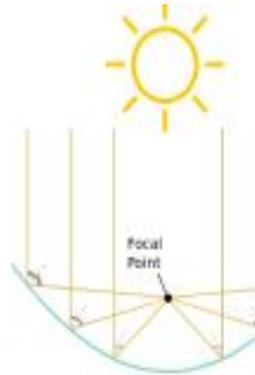
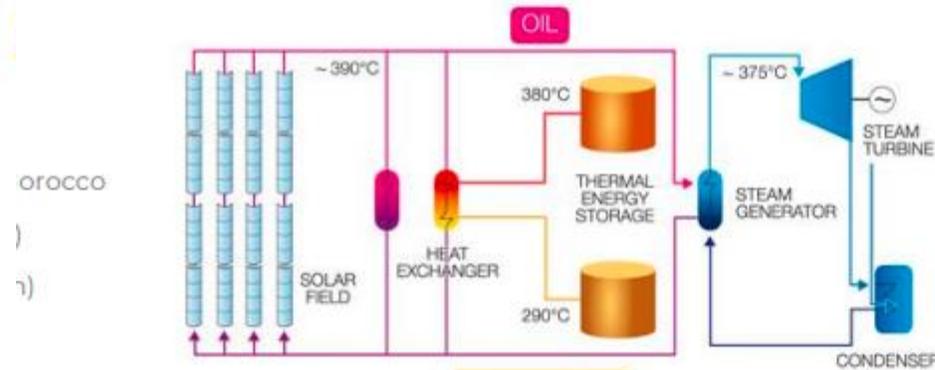


Image sources: Google Maps; Millenium solar

The **heat can be stored** with the inexpensive **Thermal Energy Storage (TES)** for extending working hours at night and balancing the intermittent renewable source

Advantages

- **Zero emission heat** for various applications
- High **dispatchability** of the generated energy
- More **stable** production (large thermal inertia)
- Possibility to be **combined** with fossil fuels or PV



- Total nominal capacity: 510 MW (current world largest CSP plant)
- Additional PV plant : 72 MW
- Operational since 2016
- Thermal oil as HTF
- Molten salts as HSM
- 2-tank indirect TES

Zero emission electricity generation

Conventional thermodynamic cycles convert thermal power to **electric power** by means of steam turbines

Zero emission process heat production

The heat is used to partially or totally feed an **industrial process** (oil & gas, chemical, food, cooling, desalination, etc.)

Stoccaggio di energia termica: TERMOCLINO

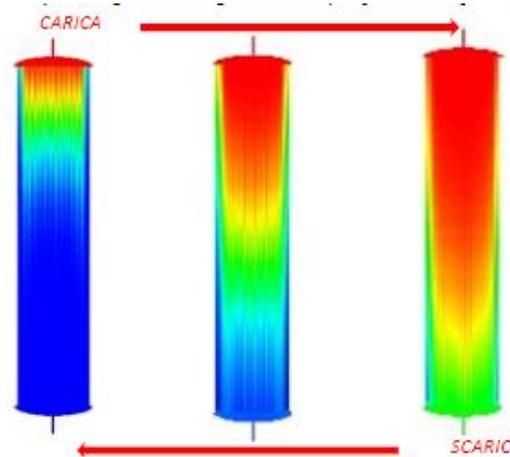
E' possibile utilizzare materiali inerti come sabbia o cemento per immagazzinare energia termica a medie T (250°-550°C).

All'interno si fa scorrere un fluido che trasferisce il calore (**diathermic oil or molten salts**).

Si evita l'impiego di serbatoi a diverse T.

Vantaggi:

- Semplificazione della struttura (vertical tube);
- Materiali abbondanti, non-tossici e poco costosi;
- Sistema modulare per taglie medie;
- Capacità termica > 40 kWhth.



Storage media	Specific Stored Heat ($\Delta T = 100^\circ\text{C}$) (kWh/m ³)	Cost (€/m ³)	Stored Heat Cost (storage medium only) (€/kWh)
Molten salts	70	1700	24
Concrete	30	300	10

