



MACROAREA DI INGEGNERIA
LAUREA TRIENNALE IN INGEGNERIA ENERGETICA

Sistemi di immagazzinamento di energia elettrica

Tecnologie per uno sviluppo green

Candidato: Andrea Rapisarda
Relatore: Prof. Vittorio Rocco

Anno accademico 2018-2019

Obiettivi tesi:

- ▶ Analizzare i principali **SISTEMI DI ACCUMULO** allo scopo di individuare le **DIVERSE CARATTERISTICHE** e confrontarli a seconda degli indici di prestazione;
- ▶ Valutare lo **SCENARIO** del sistema energetico mondiale;
- ▶ Prevedere scenari futuri sull'utilizzo delle varie **TIPOLOGIE DI SISTEMI** e come possono **RELAZIONARSI** con l'utenza;

Da dove nascono gli Electrical Energy Storage?

- ▶ Le **DIFFICOLTÀ** passate di produrre energia elettrica e conservarla con conseguente **EQUILIBRIO TRA CONSUMO E PRODUZIONE**;
- ▶ A causa dell'**INTERMITTENZA** delle fonti di energia rinnovabile, c'è la necessità di immagazzinare e successivamente convertire in energia elettrica quando ce n'è bisogno;
- ▶ Sviluppare un'economia **NON DIPENDENTE** dal competitivo mercato del **PETROLIO** attraverso l'uso delle risorse rinnovabili;

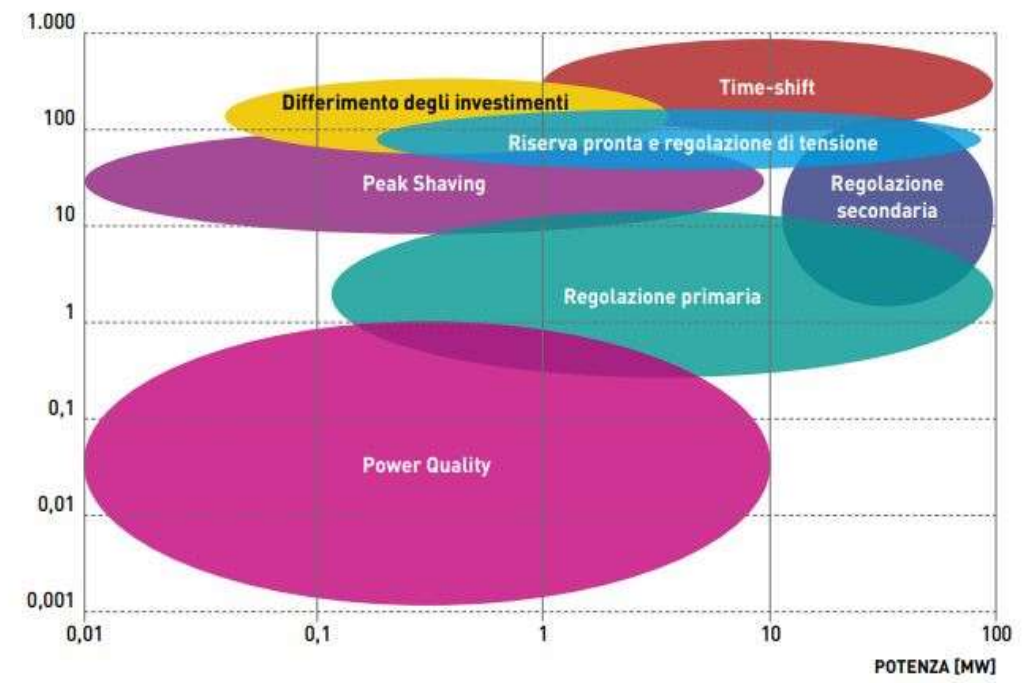
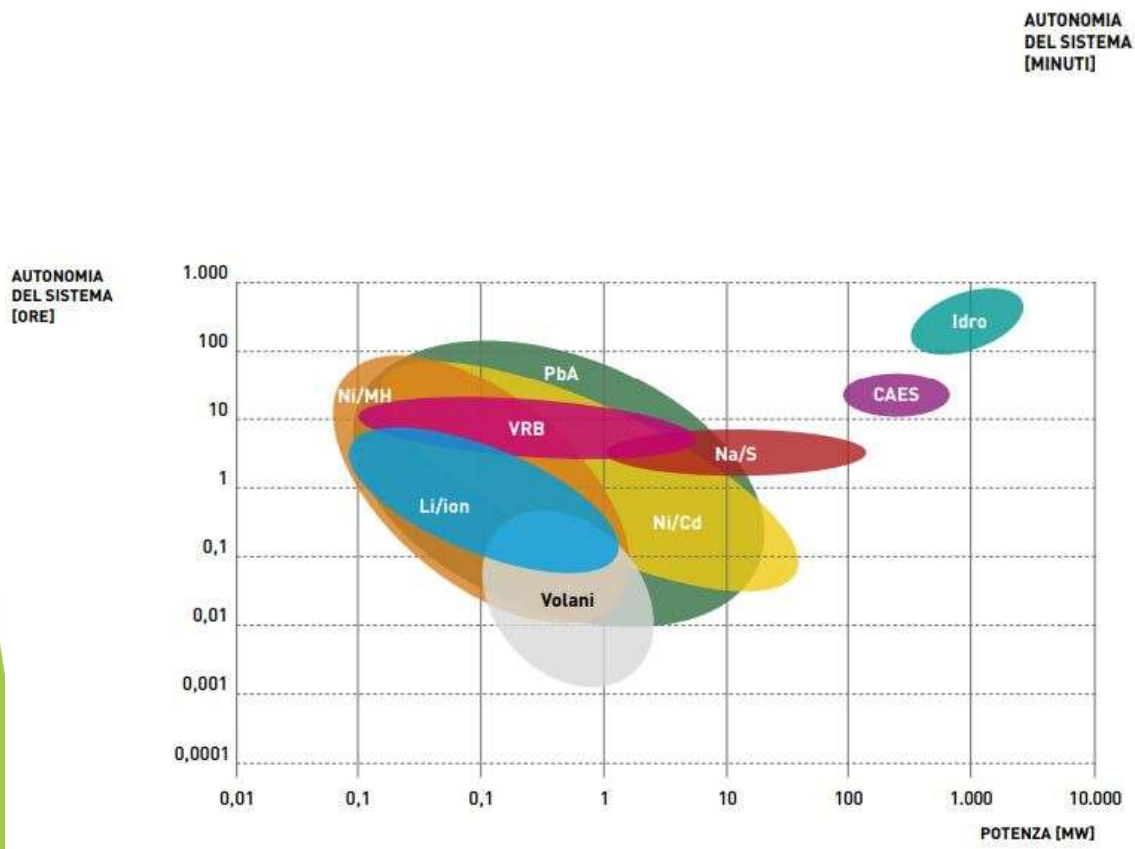
Cosa sono gli EES?

Sistemi che convertono l'energia in una forma che può essere accumulata per poi riconvertirla quando ce n'è bisogno.

Hanno diverse applicazioni, che dipendono dalla potenza e dall'autonomia, per esempio device portatili, veicoli di trasporto, fonti di energia stazionarie



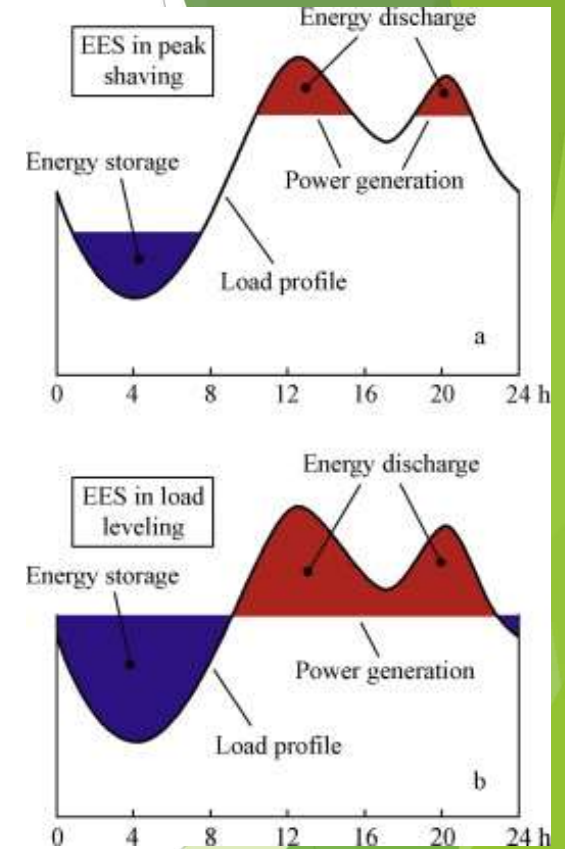
Applicazione dei sistemi di accumulo



3 logiche fondamentali

- ▶ Peak shaving
- ▶ Load leveling
- ▶ Energy price arbitrage

Individuato l'applicazione d'interesse, il dimensionamento risulta dunque funzione della **potenza** ad esso richiesta e dell'**autonomia** che deve garantire. L'**analisi** della tecnologia deve però includere il **tempo di risposta** e **rapporto** potenza erogabile/energia immagazzinabile.



Il rapporto potenza erogabile e energia immagazzinabile permette di quantificare l'attitudine dei diversi sistemi di accumulo a lavorare in potenza piuttosto che in energia.

Prestazioni in potenza

- ▶ Rapporto elevato
- ▶ In grado di erogare potenze elevate in **brevi periodi** di tempo (volani, supercondensatori)

Prestazioni in energia

- ▶ Rapporto basso
- ▶ In grado di erogare determinate potenze con autonomie dell'ordine delle **ore** (PHS, CAES)

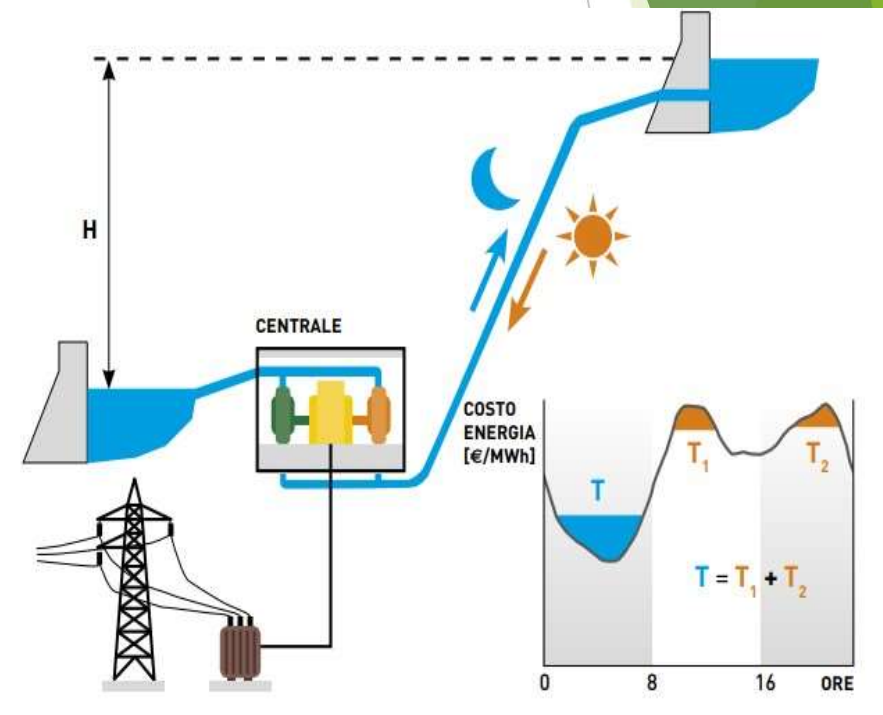
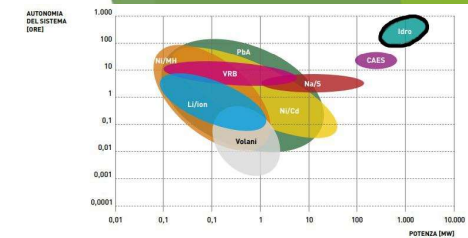
Comparazione dei sistemi di accumulo per applicazioni standard

APPLICAZIONE	Idro	CAES	Na/S	Na/NiCl	Li/ion	Ni/Cd	Ni/MH	Pb/acido	Redox	Volani	SC
Time-shift	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Integrazione rinnovabili (Profilo prevedibile)	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Differimento investimenti rete	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Regolazione primaria	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Regolazione secondaria	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Regolazione terziaria (Riserva pronta)	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Riaccensione sistema elettrico	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Supporto di tensione	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Qualità del servizio (power quality)	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

● Sistema adatto all'applicazione
 ● Sistema meno adatto degli altri all'applicazione
 ● Sistema non adatto all'applicazione

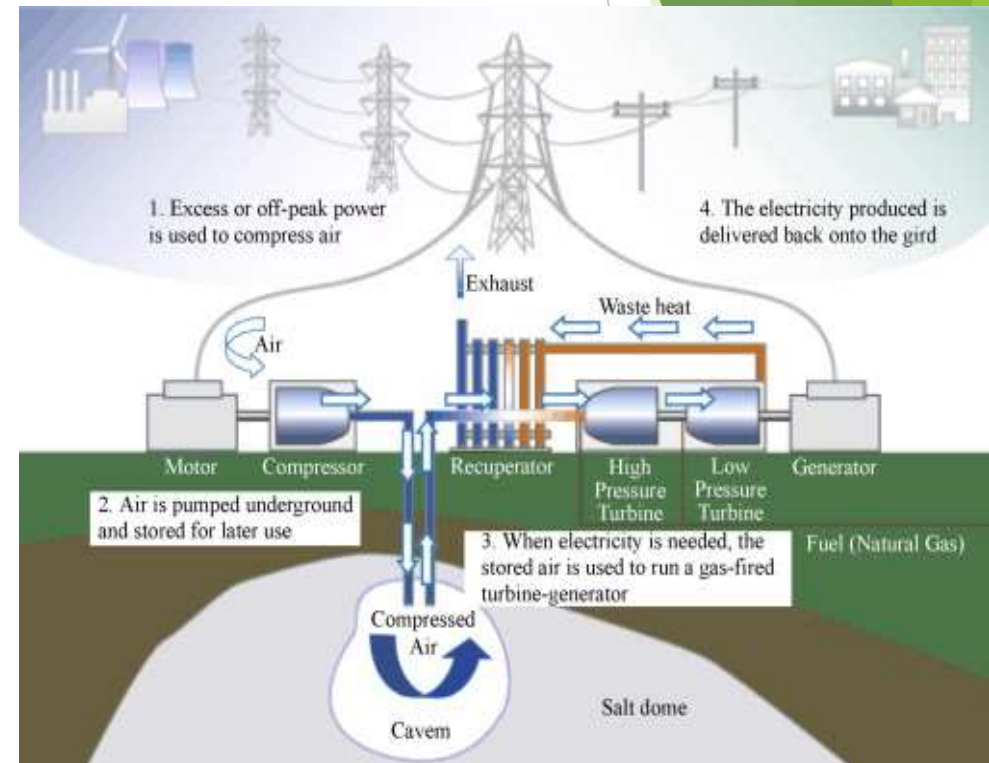
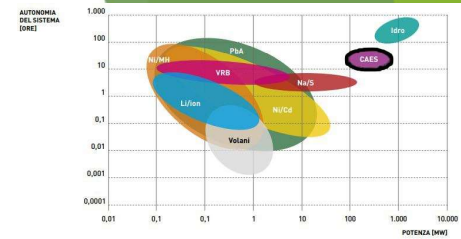
Pumped Hydroelectric Storage

- ▶ **Più implementati** rispetto agli altri EES
- ▶ Tempi di risposta rapidissimi
- ▶ Range di potenza 200MW-3000MW
- ▶ Aspetti negativi: gli alti tempi e costi di produzione, e la creazione di spazi naturali



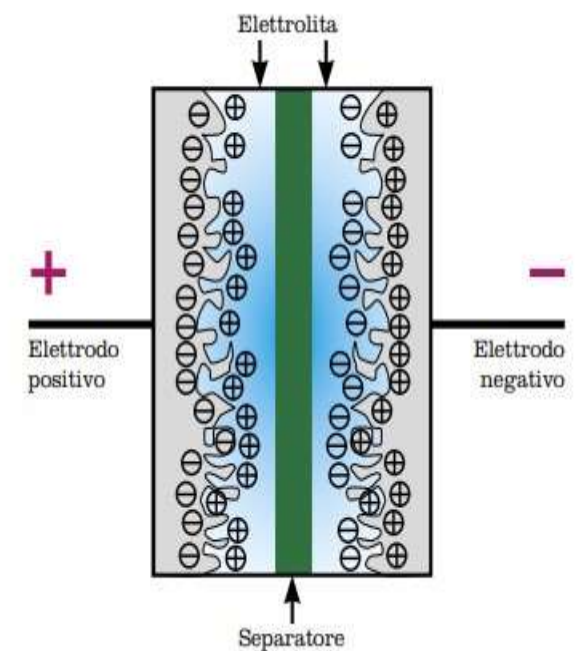
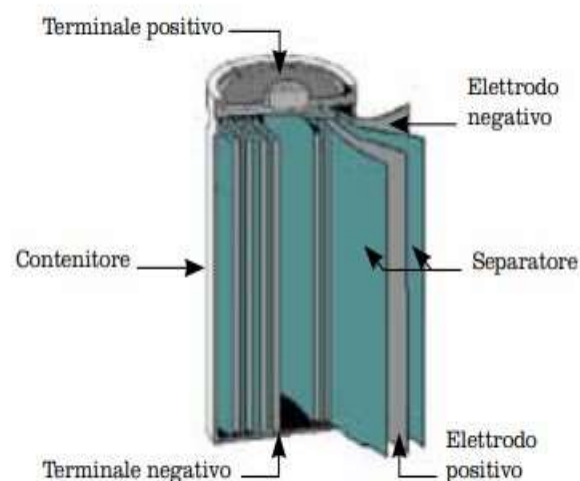
Compressed Air Energy Storage

- ▶ Invio di energia in **larga scala**
- ▶ Impiego di **energia dalla rete** o da impianti rinnovabili per comprimere l'aria
- ▶ Turbina fisicamente **separata** dal compressore (componenti azionati in modo indipendente)
- ▶ Range di potenza 100MW-1000MW
- ▶ Economicamente **favorevoli** solo **se** costruiti in prossimità di miniere, caverne di sale o pozzi petroliferi svuotati



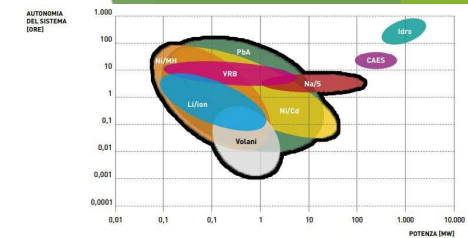
Supercondensatori

- ▶ Dispositivi in grado di immagazzinare energia elettrica in forma elettrostatica
- ▶ Applicando una differenza di potenziale ai terminali avviene la separazione degli ioni
- ▶ Processo facilmente **reversibile** e **rapido**, alto numero di processi carico/scarico, alte potenze
- ▶ **No** processi di ossidoriduzione
- ▶ Interessanti per la trazione elettrica



Accumulatori elettrochimici

- ▶ Reazioni di **ossidazione**: specie che perde elettroni (riducente) e specie che acquista elettroni (ossidante)
- ▶ Ogni reazione di ossidazione **spontanea** può essere sorgente di energia elettrica che può essere catturata con un circuito esterno



Elettrolita acquoso

Alte temperature

Circolazione elettrolita

ioni di litio

Batterie litio-ioni

- ▶ Commercializzate nel 1991 da Sony, ma solo dal 2011 principale alternativa alle Na/S
- ▶ Li elemento molto **leggero**: a parità di volume e di massa garantisce più energia
- ▶ Capace di muoversi all'interno della batteria da un elettrodo all'altro
- ▶ Alta densità di energia (200Wh/kg)

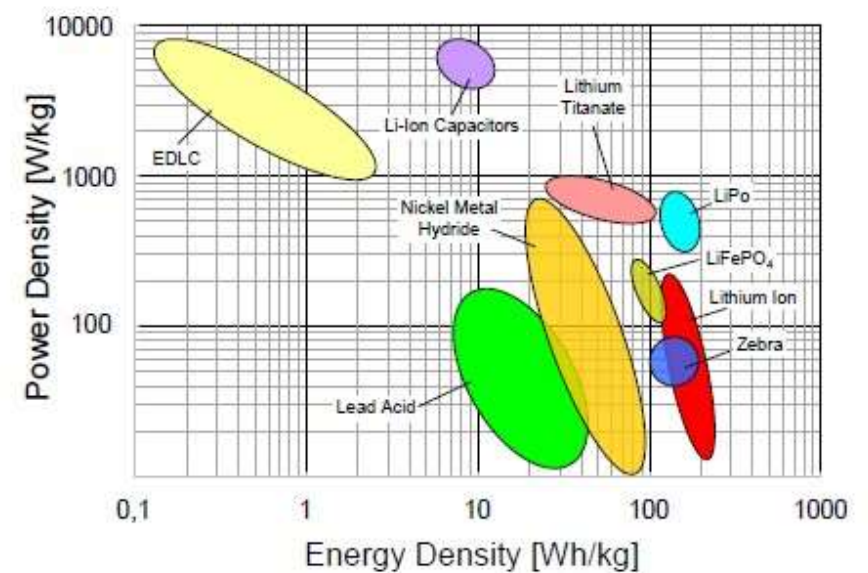
periodo 1
1.008 Atm ±1 1s¹

periodo 2
3 litio 453.65K 4 Be
Li 513 9.012
6.941 0.534 0.98

periodo 3
11 sodio 370.94K 12 Mg
Na 496
22.99 0.968 0.93 24.3

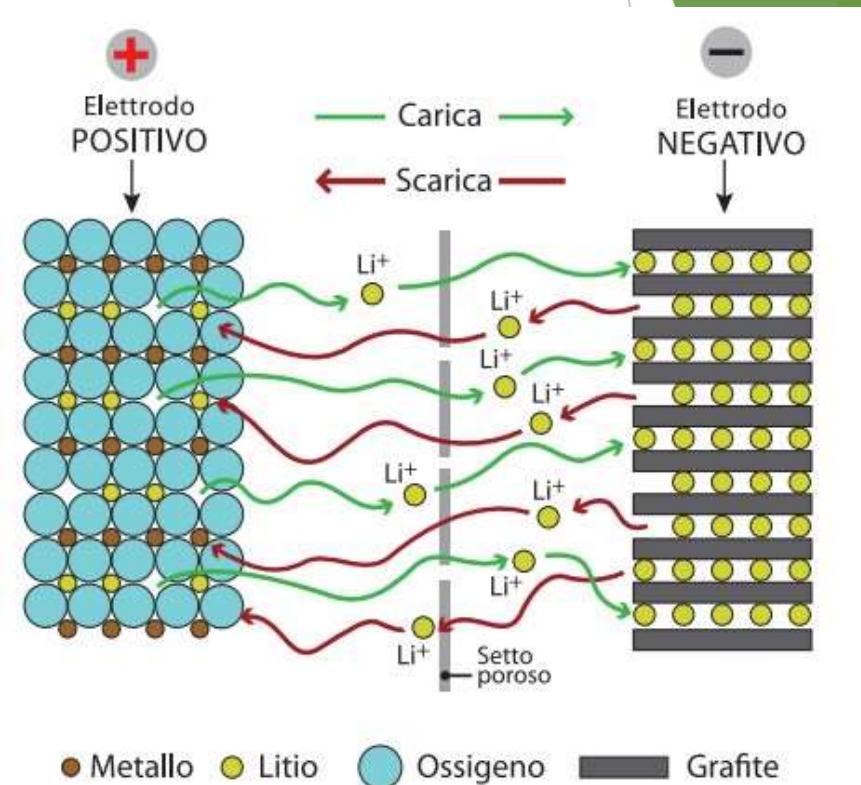
Li +1 [He]2s¹

Na +1 [Ne]3s¹



Come funzionano le batterie litio/ioni

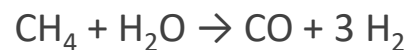
- ▶ **Anodo** in grafite o elemento carbonilico
- ▶ **Catodo** in litio con altro composto e ossigeno
- ▶ **Elettrolita** è un solvente inorganico contenente sali di litio



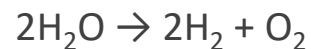
Idrogeno come vettore energetico

IA	
idrogeno	
1	13.99K
H	1312
	0.07
1.008	2.2
Atm	
±1	
1s ¹	
litio	
3	453.65K
Li	513

- ▶ Elemento più abbondante nell'universo
- ▶ Sulla terra si trova in molecole e quindi legato ad altri elementi (H₂O o CH₄)
- ▶ CH₄ è la fonte principale di idrogeno gassoso (processo reforming)



- ▶ Tramite corrente elettrica (elettrolisi)

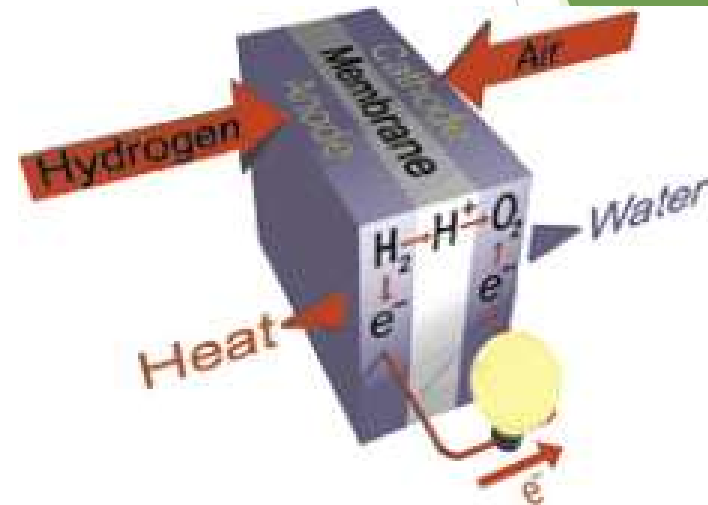


Produzione della corrente attraverso fonti rinnovabili

- ▶ Stoccaggio in forma: liquida o gassosa
 - Liquida: basse temperature (-253°C)
 - Gassosa: altissime pressioni (350-700bar)
- ▶ Problemi di infrastrutture (stazioni di servizio, processo di ricarica delle stazioni)
- ▶ Produzione di idrogeno a «chilometro zero» presso le stazioni

Fuel-cells

- ▶ Differiscono dalle batterie secondarie in quanto **consumano** i reagenti che devono essere reintegrati
- ▶ Varie possibili **combinazioni** di carburante e ossidante.
- ▶ La cella a idrogeno utilizza idrogeno come combustibile (lato anodo) e ossigeno come ossidante (lato catodo)



Smart grid

- ▶ Visione di sistema energetico
- ▶ Reti elettriche che possono integrare intelligentemente le azioni di **tutti** gli utenti ad essa connessi
- ▶ **Necessari** i sistemi di immagazzinamento
- ▶ Distribuzione dell'energia in maniera **bidirezionale**

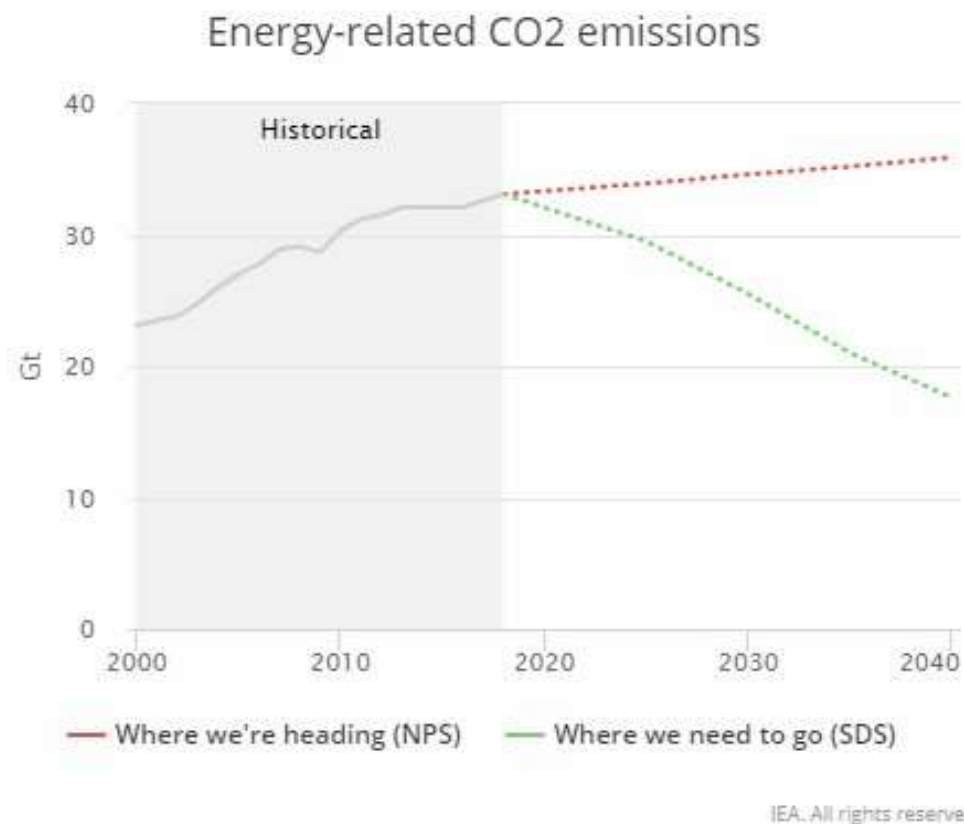


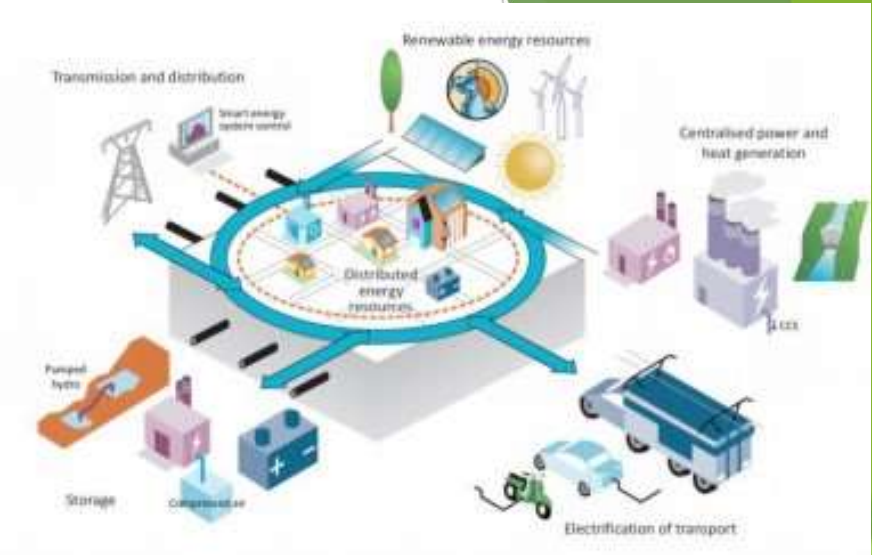
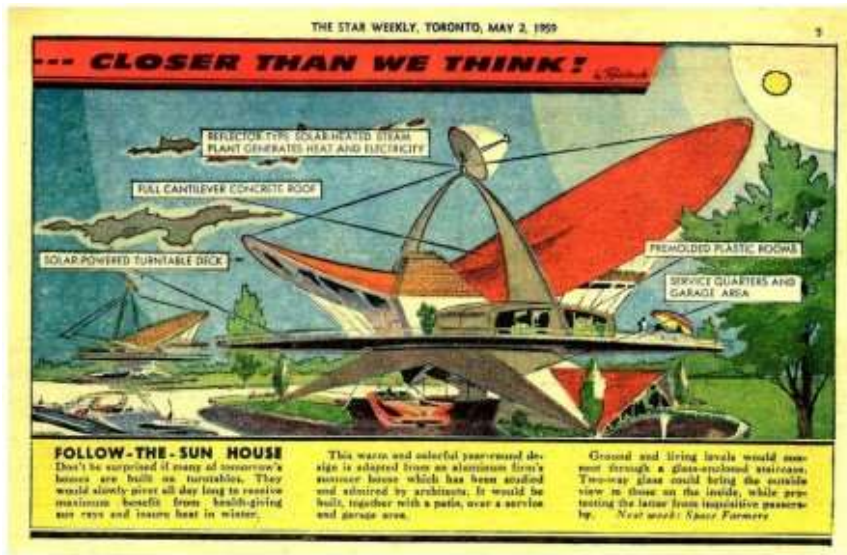
Lo scenario

L'IEA (International Energy Agency) ha offerto un percorso affinché il sistema energetico mondiale possa raggiungere i tre **obiettivi** strategici:

- ▶ **Accesso** universale all'energia
- ▶ **Riduzione** sostanziale dell'inquinamento atmosferico
- ▶ **Accordo** di Parigi ben al di sotto dell'obiettivo climatico di 2°C

In base alle **politiche esistenti (NPS)** annunciate siamo lungi dall'essere sulla buona strada. La Tracking Clean Energy Process valuta lo stato di 45 tecnologie e ne fornisce raccomandazioni su come si può rientrare «in pista» con il Sustainable Development Scenario





1959



Ora



2050?



Grazie dell'attenzione