

Accumulatori stazionari a batteria a livello di singoli edifici

SUPSI - DACD - ISAAC
Settore Sistemi Energetici



Stoccaggio a batteria negli edifici per massimizzare l'autoconsumo

Ottimizzazione dell'autoconsumo

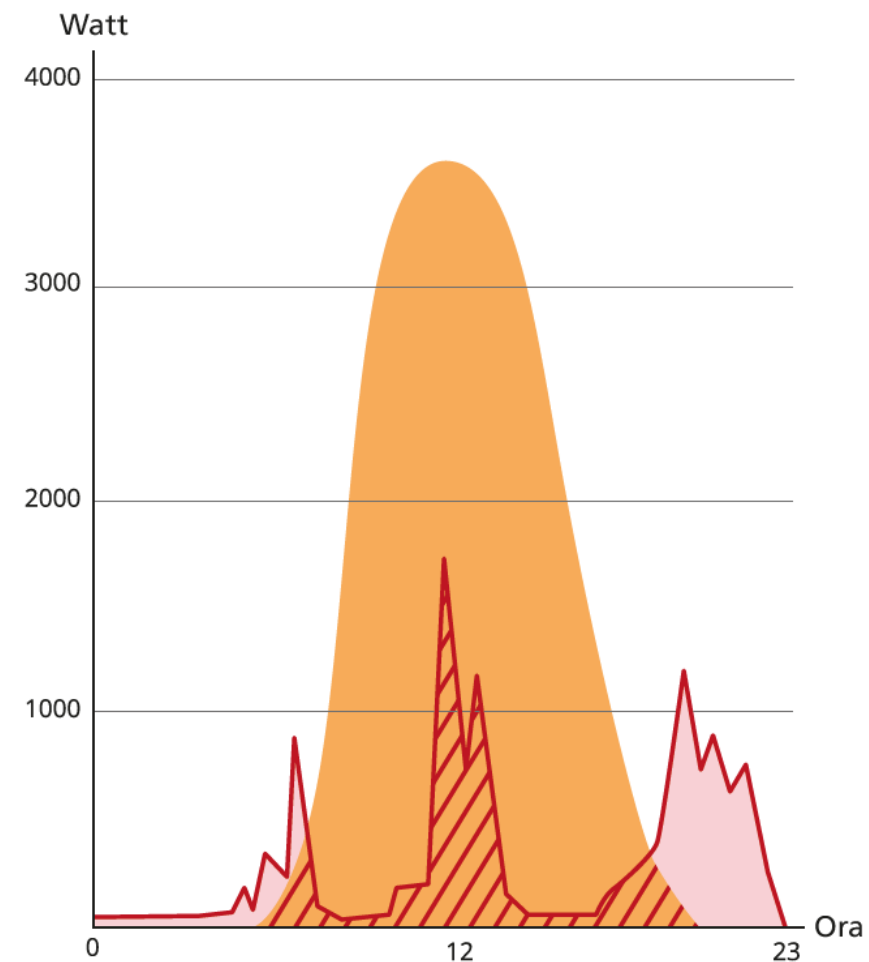
L'autoconsumo di elettricità fotovoltaica prodotta localmente consiste nel consumare sul posto l'energia prodotta simultaneamente dall'impianto solare

È consentito in tutta la Svizzera dall'aprile 2014

Autoconsumare l'energia è vantaggioso economicamente e favorisce una migliore integrazione delle fonti di energia rinnovabili nella rete

$$\text{Percentuale di autoconsumo} = \frac{\text{Autoconsumo} \text{ (hatched icon)}}{\text{Energia solare prodotta} \text{ (orange icon)}}$$

$$\text{Grado di autosufficienza} = \frac{\text{Autoconsumo} \text{ (hatched icon)}}{\text{Consumo complessivo} \text{ (pink icon) + (hatched icon)}}$$



Ottimizzazione dell'autoconsumo

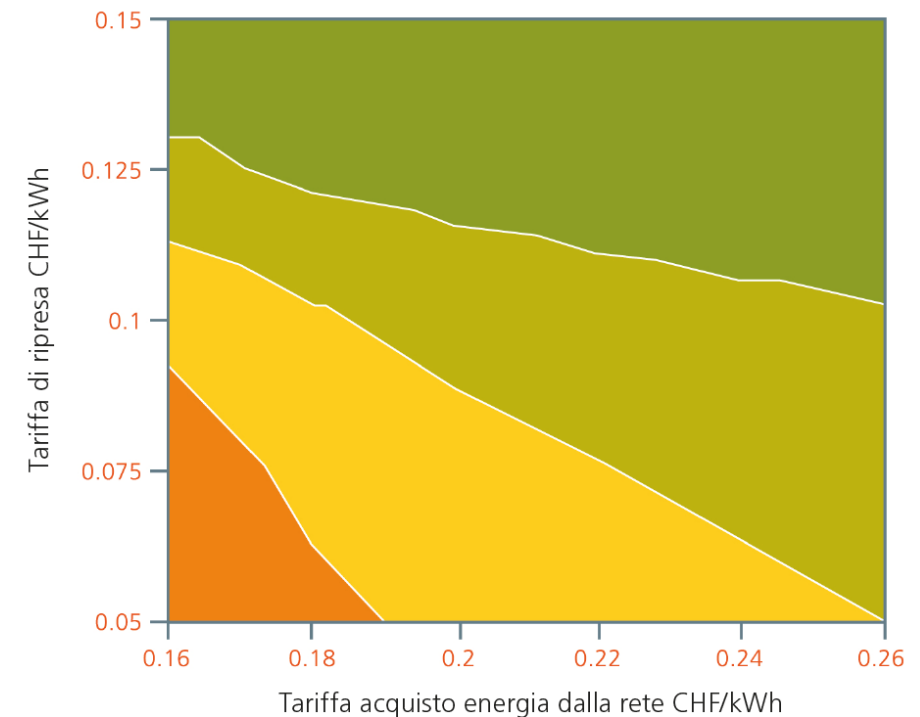
- La tariffa d'acquisto della corrente è tipicamente maggiore della tariffa di ripresa dell'energia solare
- Ciò significa che una maggior percentuale di autoconsumo (e una minore immissione in rete) aumentano la redditività dell'impianto

Link utili:

tariffa elettrica: www.prezzi-elettricit .elcom.admin.ch

tariffa di ripresa: www.pvtarif.ch

Calcolo produzione e redditivit : www.tettosolare.ch
www.svizzeraenergia.ch/calcolatore-solare



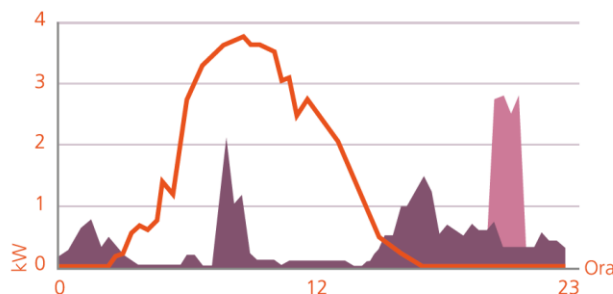
Grado di autoconsumo necessario per un ritorno sull'investimento dell'1% per un impianto fotovoltaico, in funzione della tariffa elettrica e della tariffa di ripresa (ipotesi in tabella 1, fonte: VESE).

60–80%
40–60%
20–40%
0–20%

Ottimizzazione dell'autoconsumo nel residenziale

- Se il consumo annuale corrisponde approssimativamente alla produzione annua di corrente solare e l'autoconsumo non è ottimizzato, un'economia domestica senza accumulatore di energia può consumare simultaneamente circa il 15–30% della propria corrente solare.
- Attraverso l'ottimizzazione, è possibile raggiungere un autoconsumo dal 30 al 70% circa.**

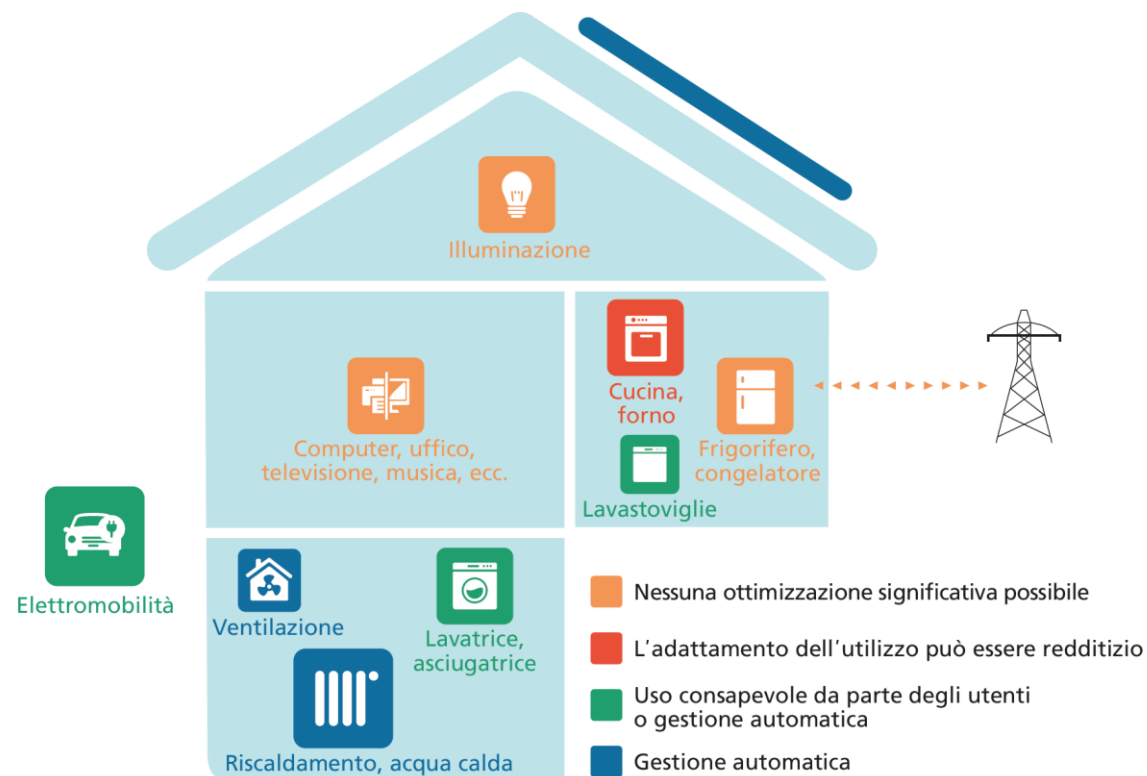
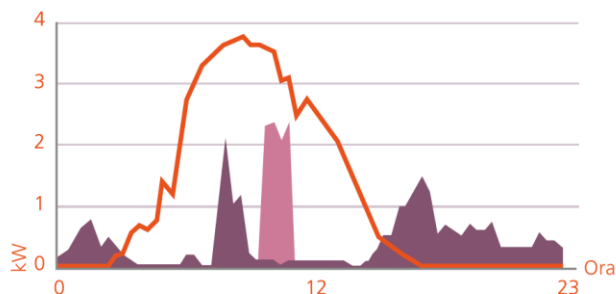
Esempio di casa con il 15% di autoconsumo, bucato (viola) la sera



● Consumo (lavatrice) ● Produzione FV ● Consumo (cucina, luce, elettrodomestici)

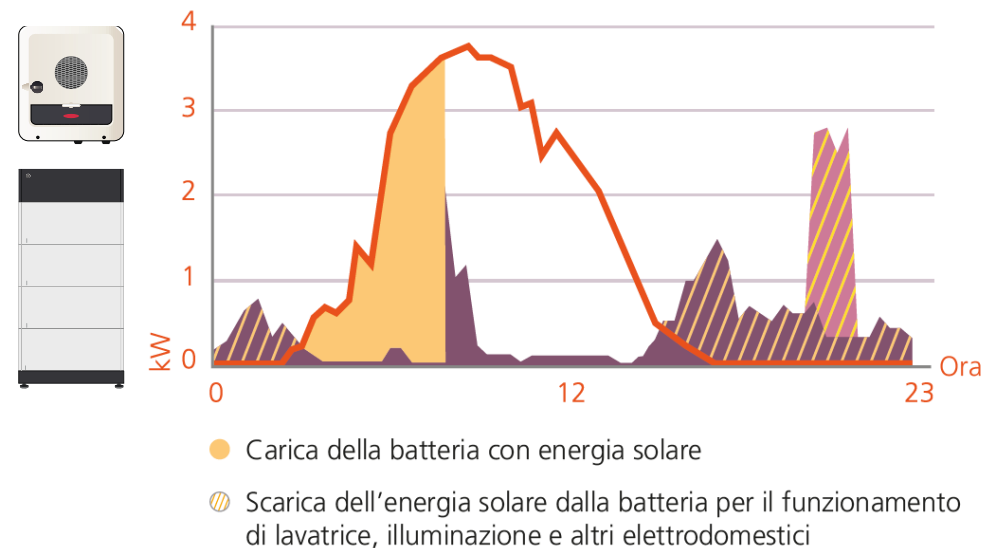
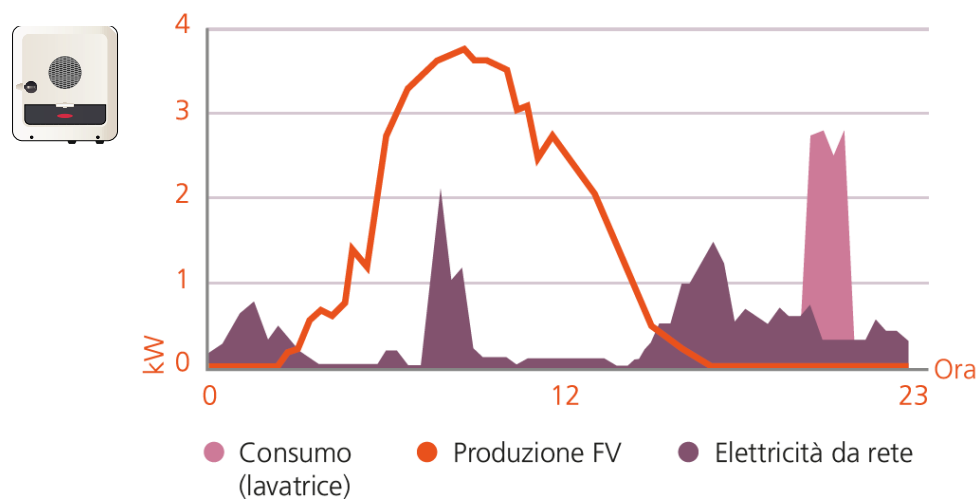
24/10/2023

Stesso esempio con il 25% di autoconsumo, con bucato (viola) durante le ore di sole



Ottimizzazione dell'autoconsumo nel residenziale con batteria

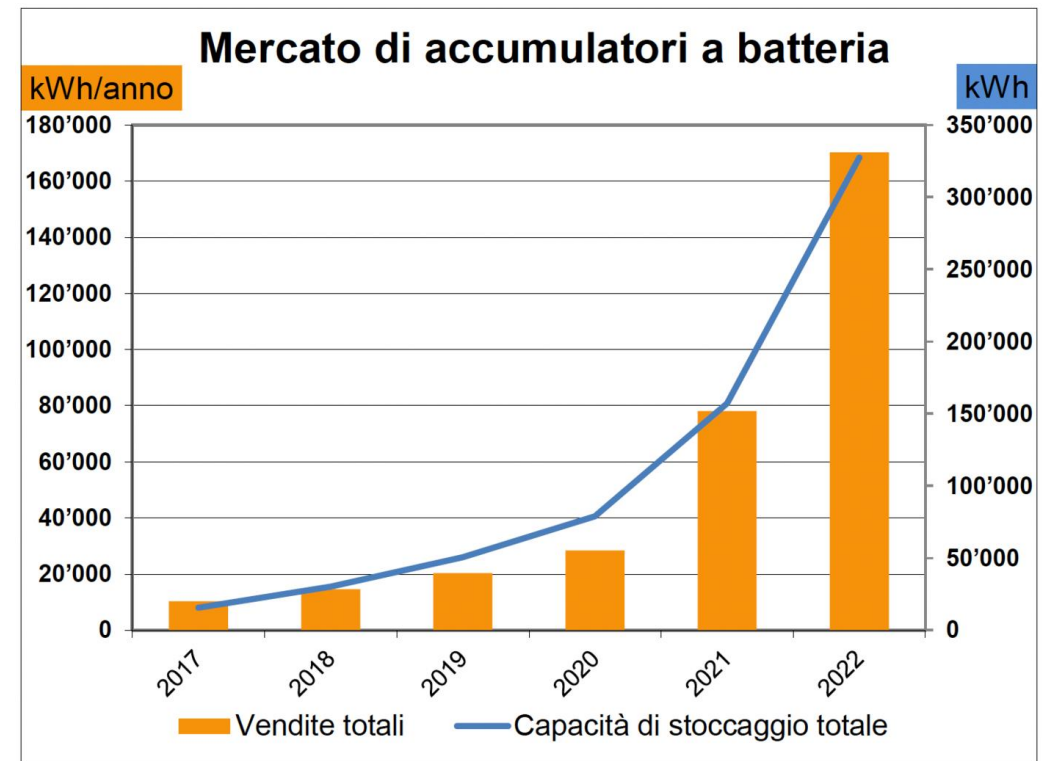
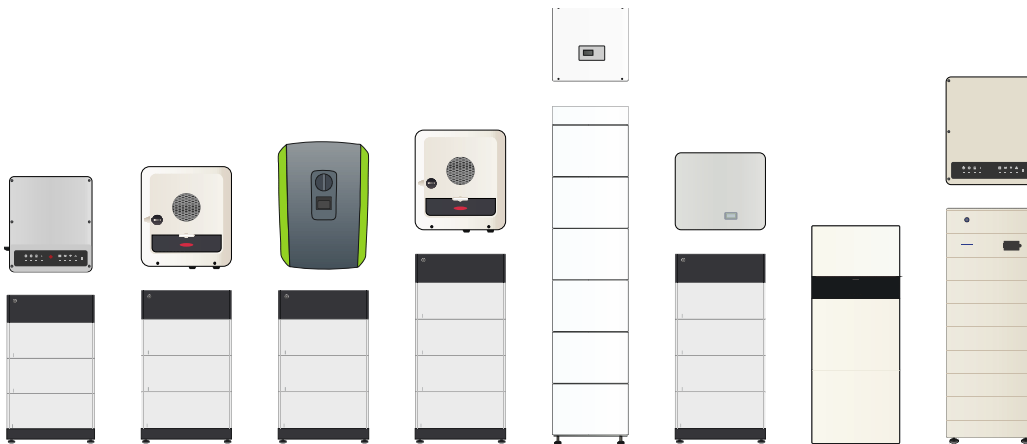
Un ulteriore aumento dell'autoconsumo può essere ottenuto con una batteria che viene caricata durante il giorno con l'elettricità solare e scaricata di sera e di notte



Ottimizzazione dell'autoconsumo tramite accumulo a batteria

In Svizzera questa soluzione è **sempre più richiesta**

Un nuovo impianto fotovoltaico su tre nelle case unifamiliari sarà dotato di un accumulatore a batteria (swissolar)



Batterie agli ioni di litio

Accumulatore elettrochimico agli ioni di litio si sta affermando



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Energie BFE
Sektion Analysen und Perspektiven

13. Juli 2023

Statistik Sonnenenergie

Referenzjahr 2022

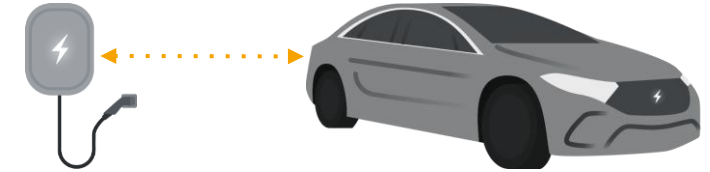
Installierte Kapazität von Speichersystemen nach Technologie im Vor- und Referenzjahr

in kWh

	2021	2022	Veränderung	Veränd. in %
Li-Ionen Speicher	77'870	170'210	92340	+118.6%
Blei-Speicher	240	80	-160	-66.7%
Total	78'110	170'290	92'180	+118.0%

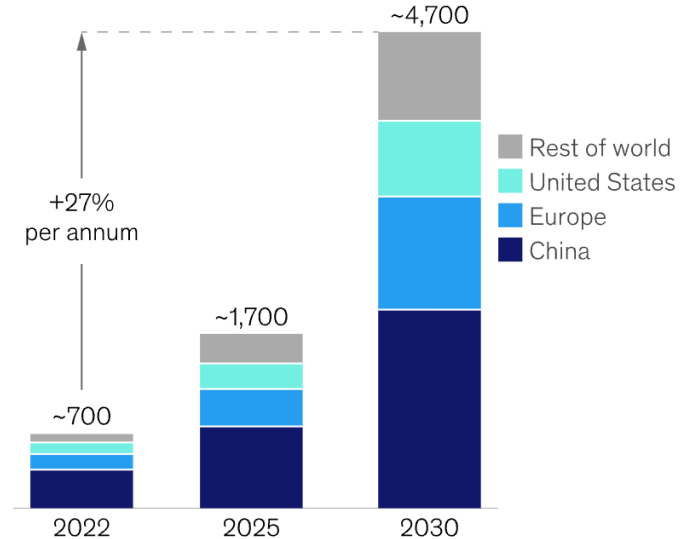
Accumulatore elettrochimico agli ioni di litio si sta affermando

La tecnologia agli **ioni di litio** si sta affermando soprattutto grazie all'enorme spinta data dalla **mobilità elettrica**, per la quale al momento non esistono alternative

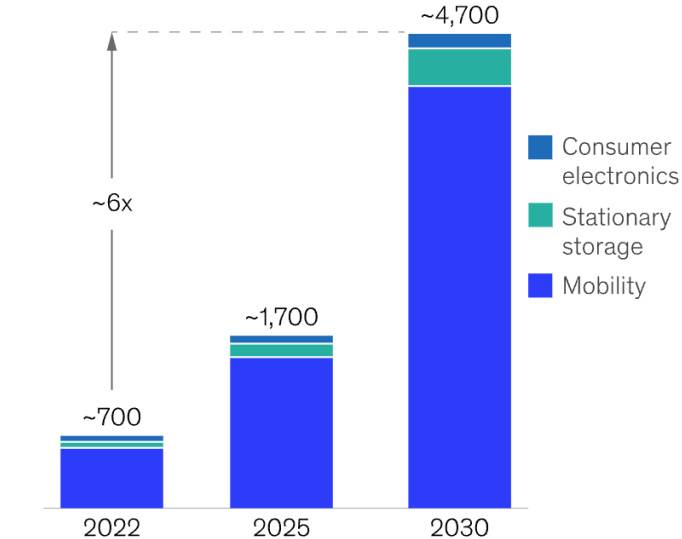


Global Li-ion battery cell demand, GWh, Base case

By region



By sector

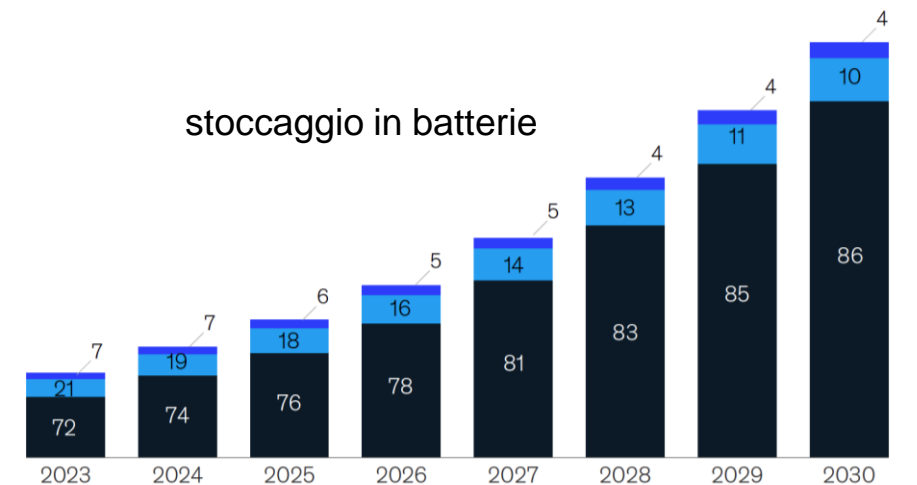


Utility Commercial and industrial Residential

100% in GWh =

110–140 140–180 175–230 215–290 275–370 350–470 440–580 520–700

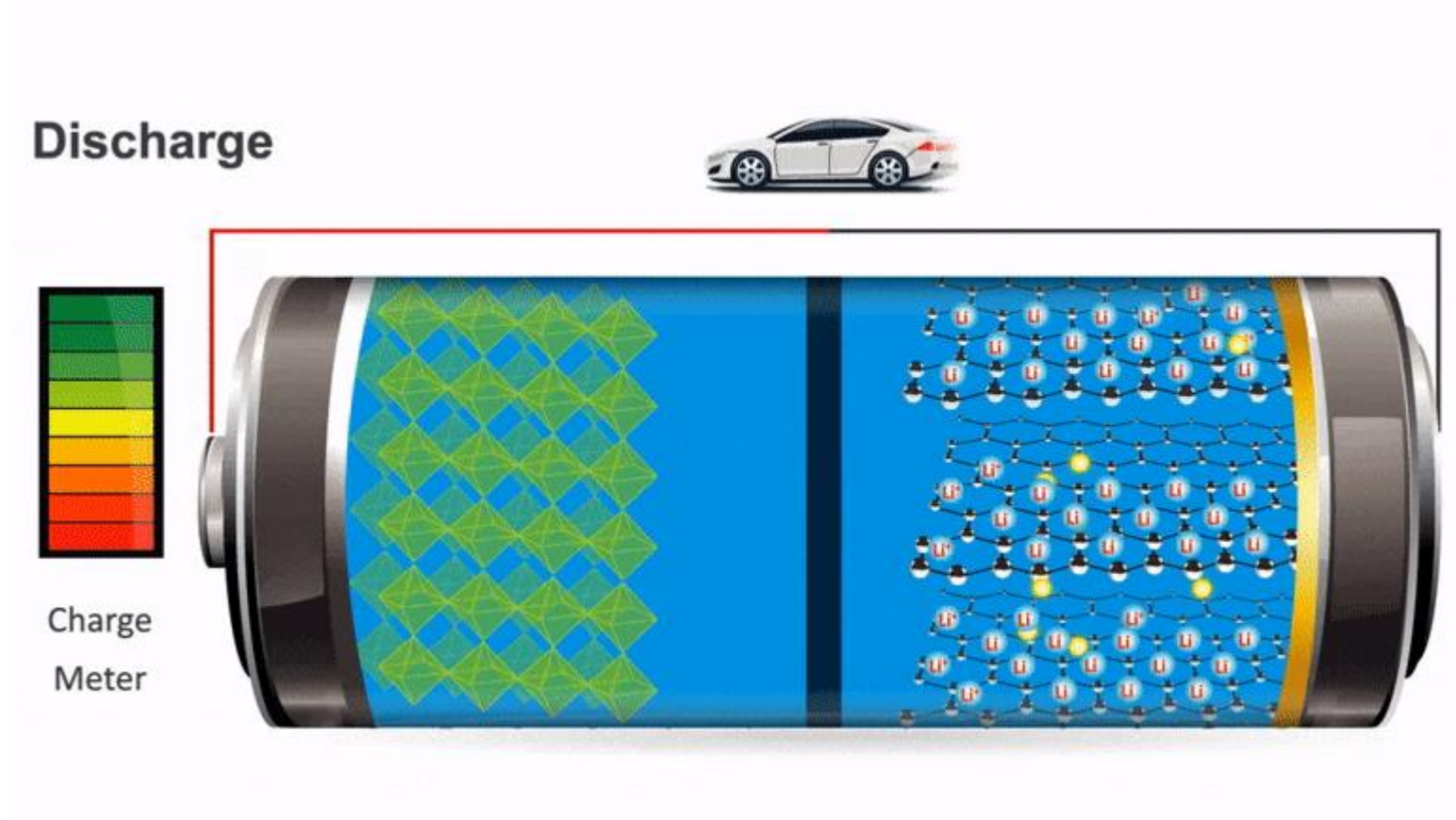
stoccaggio in batterie



¹Including passenger cars, commercial vehicles, two-to-three wheelers, off-highway vehicles, and aviation.
Source: McKinsey Battery Insights Demand Model

Accumulatore elettrochimico agli ioni di litio - principio di funzionamento

- Una batteria agli ioni di litio è un tipo di batteria ricaricabile in cui gli ioni di litio si spostano attraverso un elettrolita:
 - dall'elettrodo negativo (anodo) all'elettrodo positivo (catodo) durante la scarica
 - dall'elettrodo positivo all'elettrodo negativo durante la ricarica.



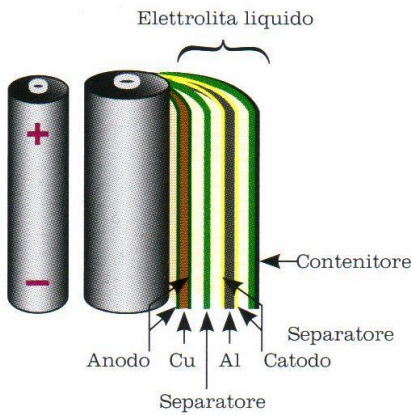
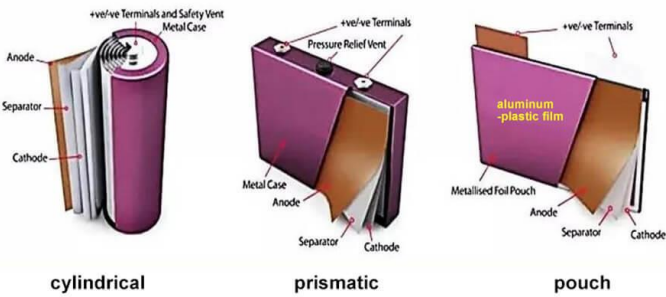
Accumulatore elettrochimico agli ioni di litio - materiali

- Le batterie Li-ion usano un composto di litio intercalato come materiale per l'elettrodo positivo (catodo) e tipicamente la grafite per l'elettrodo negativo (anodo).

Positive electrode			
Technology	Company	Target application	Benefit
Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide NMC , $\text{LiNi}_x\text{Mn}_y\text{Co}_z\text{O}_2$	Imara Corporation, Nissan Motor, ^{[84][85]} Microvast Inc., LG Chem, ^[86] Northvolt ^[87]	Electric vehicles, power tools, grid energy storage	good specific energy and specific power density
Lithium Nickel Cobalt Aluminium Oxide NCA , LiNiCoAlO_2	Panasonic, ^[86] Saft Groupe S.A., ^[88] Samsung ^[89]	Electric vehicles	High specific energy, good life span
Lithium Manganese Oxide LMO , LiMn_2O_4	LG Chem, ^[90] NEC, Samsung, ^[91] Hitachi, ^[92] Nissan/AESC, ^[93] EnerDel ^[94]	Hybrid electric vehicle, cell phone, laptop	
Lithium Iron Phosphate LFP , LiFePO_4	University of Texas/Hydro-Québec, ^[95] Phostech, Lithium Inc., Valence Technology, A123Systems/MIT ^{[96][97]}	Segway Personal Transporter, power tools, aviation products, automotive hybrid systems, PHEV conversions	moderate density (2 A·h outputs 70 amperes) High safety compared to Cobalt / Manganese systems. Operating temperature >60 °C (140 °F)
Lithium Cobalt Oxide LCO , LiCoO_2	Sony first commercial production ^{[98][47]}	broad use, laptop	High specific energy

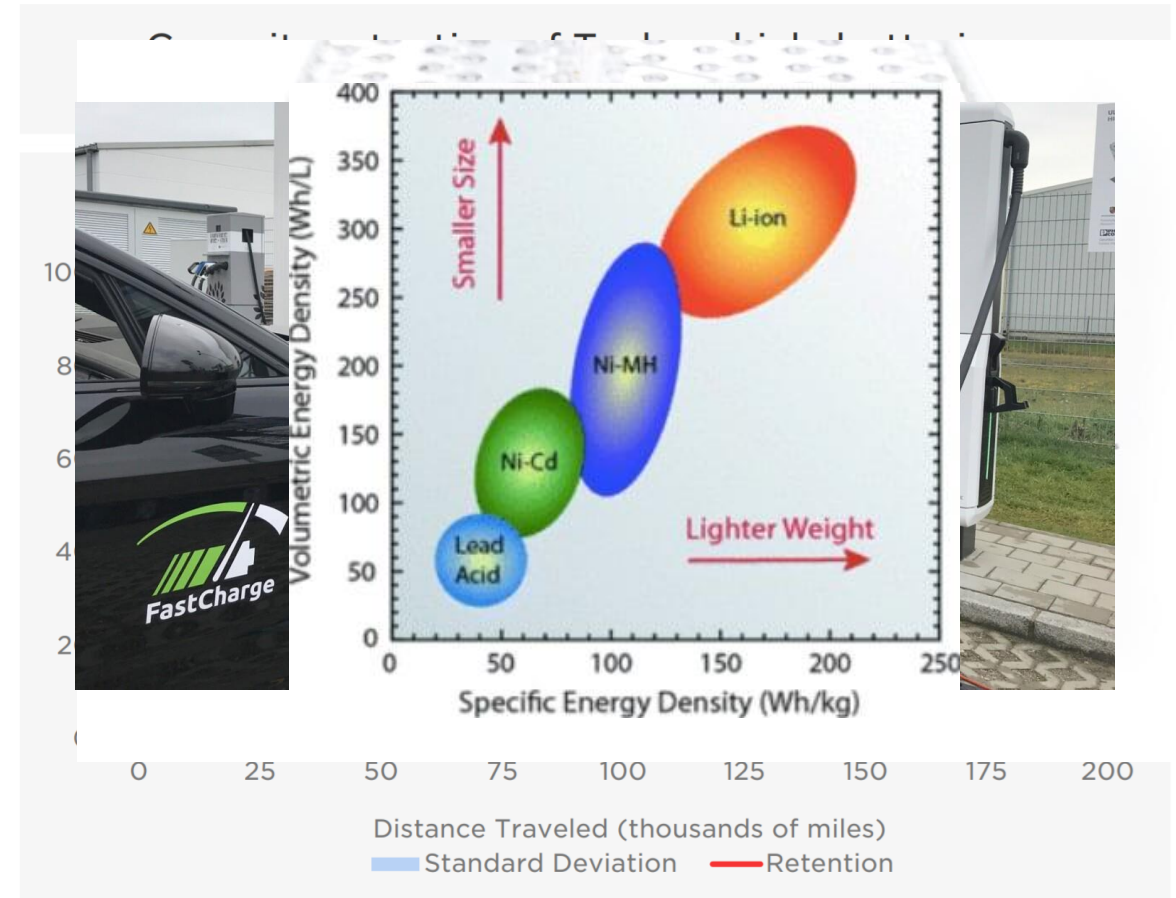
Negative electrode					
Technology	Density	Durability	Company	Target application	Comments
Graphite			Targray	The dominant negative electrode material used in lithium ion batteries, limited to a capacity of 372 mAh/g. ^[33]	Low cost and good energy density. Graphite anodes can accommodate one lithium atom for every six carbon atoms. Charging rate is governed by the shape of the long, thin graphene sheets. While charging, the lithium ions must travel to the outer edges of the graphene sheet before coming to rest (intercalating) between the sheets. The circuitous route takes so long that they encounter congestion around those edges. ^[101]
Lithium Titanate LTO , $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$			Toshiba, Altairnano	Automotive (Phoenix Motorcars), electrical grid (PJM Interconnection Regional Transmission Organization control area, ^[102] United States Department of Defense ^[103]), bus (Proterra)	Improved output, charging time, durability (safety, operating temperature -50–70 °C (-58–158 °F)). ^[104]
Hard Carbon			Energ2 ^[105]	Home electronics	Greater storage capacity.
Tin/Cobalt Alloy			Sony	Consumer electronics (Sony Nexelion battery)	Larger capacity than a cell with graphite (3.5 Ah 18650-type battery).
Silicon/Carbon	Volumetric: 580 W·h/l		Amprion ^[106]	Smartphones, providing 5000 mA·h capacity	Uses < 10wt% Silicon nanowires combined with graphite and binders. Energy density: ~74 mAh/g. Another approach used carbon-coated 15 nm thick crystal silicon flakes. The tested half-cell achieved 1.2 Ah/g over 800 cycles. ^[107]

Three types of packaging for lithium ion batteries



Accumulatore elettrochimico agli ioni di litio - caratteristiche

- Alta densità energetica: 100-265 Wh/kg (piombo acido 25-35 Wh/kg)
- Profondità di scarica (DOD) elevata: ~80% (piombo-acido 50%)
- Cicli di vita elevati: 3000/70% DOD – 10000/80% DOD
- Potenze elevate: rating carica 2C e scarica 3C (piombo-acido 0.1C / 0.2C)
- Necessita di un sistema di controllo (BMS)
- Molto versatile, adatto per piccole e grandi batterie, applicazioni in potenza o energia

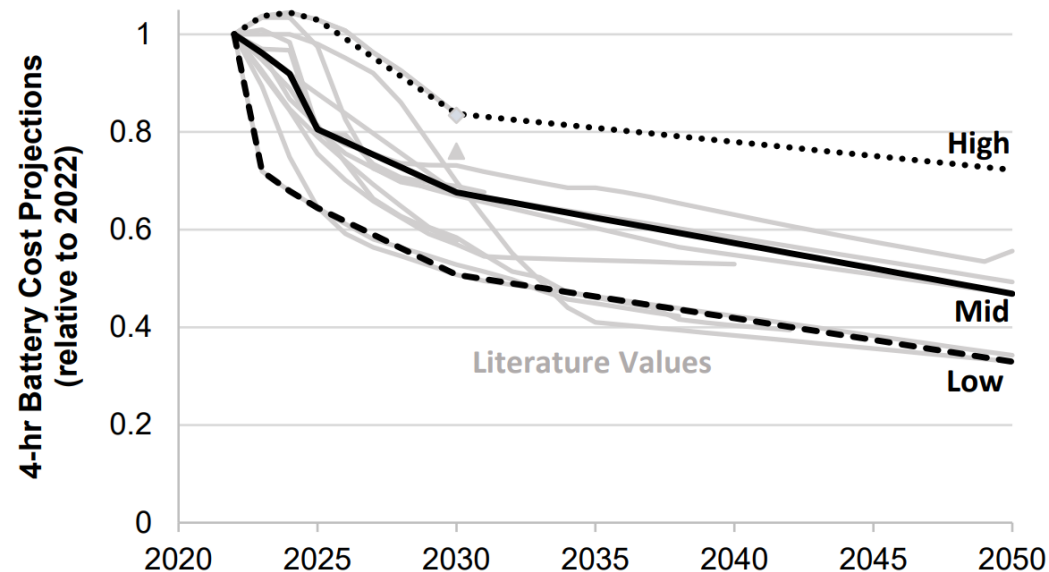


Accumulatore elettrochimico agli ioni di litio – confronto con batterie al piombo

	Batterie al Piombo	Batterie agli Ioni di Litio
Costo	Generalmente più economiche	Generalmente più costose
Riciclabilità	Altamente riciclabili con processi consolidati	Processi di riciclaggio meno consolidati
Robustezza	Tolleranti alla sovraccarica	Richiedono un sofisticato BMS per la sicurezza
Sicurezza	Generalmente sicure	Possono essere inclini a «thermal runaway» e incendi se danneggiate (ma generalmente sicure)
Peso e Dimensioni	Più pesanti e grandi	Più leggere e compatte
Capacità ed Efficienza	Minore densità energetica ed efficienza	Maggiore densità energetica ed efficienza
Prestazione in potenza	Potenze di carica a scarica limitate	Potenze di carica e scarica elevate
Ciclo di Vita	Tipicamente più breve	Tipicamente più lungo
Prestazioni a Basse Temperature	Possono degradarsi	Migliori prestazioni, anche se ridotte

Accumulatore elettrochimico agli ioni di litio - prezzi

Si prevede che il prezzo continui a scendere nei prossimi anni, anche se ha recentemente subito una battuta d'arresto



Battery cost projections for 4-hour lithium-ion systems, with values relative to 2022.

Fonte: NREL

Near-term lithium-ion battery cell and pack price forecast



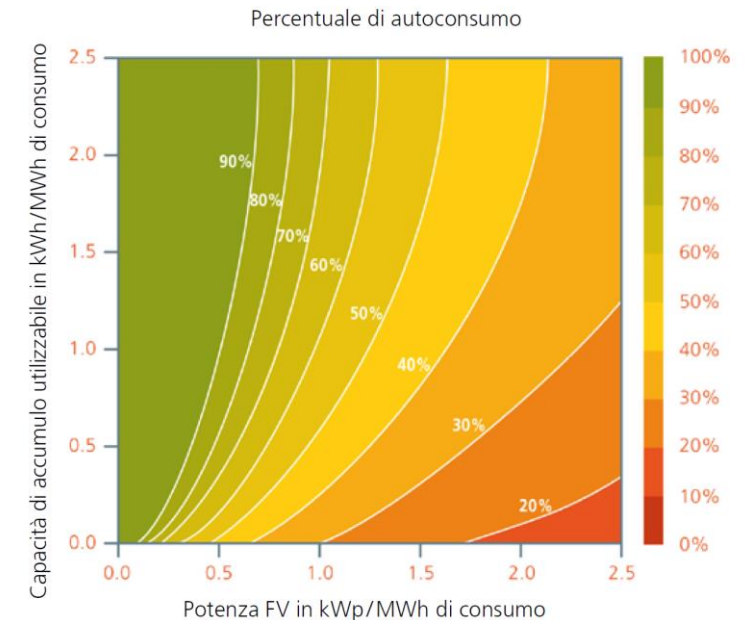
Source: BloombergNEF

Dimensionamento di una batteria

Dimensionamento e accoppiamento dell'accumulo a batteria

- L'accumulo permette di aumentare sia autoconsumo che autosufficienza
- Esistono strumenti che permettono di valutare (nel caso residenziale), il potenziale l'effetto del dimensionamento coordinato di PV e batteria su autocosumo ed autosufficienza

<https://solar.htw-berlin.de/rechner/unabhaengigkeitsrechner/>



Dimensionamento dell'accumulo a batteria secondo SvizzeraEnergia

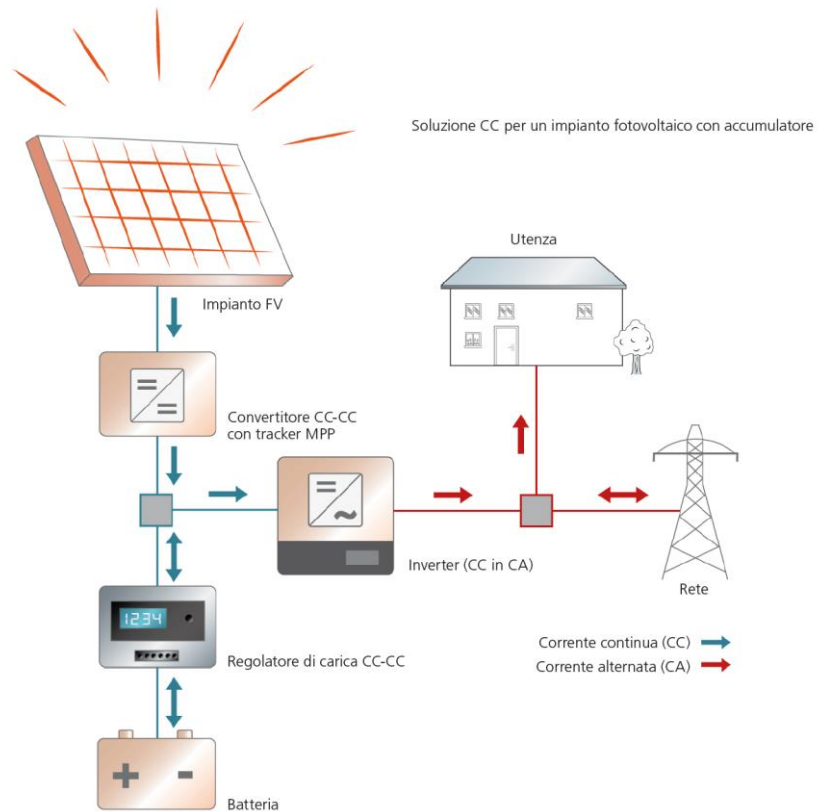
Valori empirici di riferimento

- (a) capacità utilizzabile dell'accumulatore = da 0.1 a 0.15% del consumo annuale di elettricità della famiglia
 - Per esempio 10MWh/a \rightarrow 10-15kWh
- (b) per sistemi (PV) a partire da 5 kWp in su in case unifamiliari: capacità utilizzabile dell'accumulatore = $1,5 \times$ potenza del campo fotovoltaico
 - Per esempio 10kWp \rightarrow 10-15kWh
- il valore di riferimento è quindi il valore più piccolo tra (a) e (b)
- (Si tratta ad ogni modo di valori indicativi. Dal momento che in ogni caso ad oggi non vale la pena installare un accumulo non è semplice giustificare la scelta.)



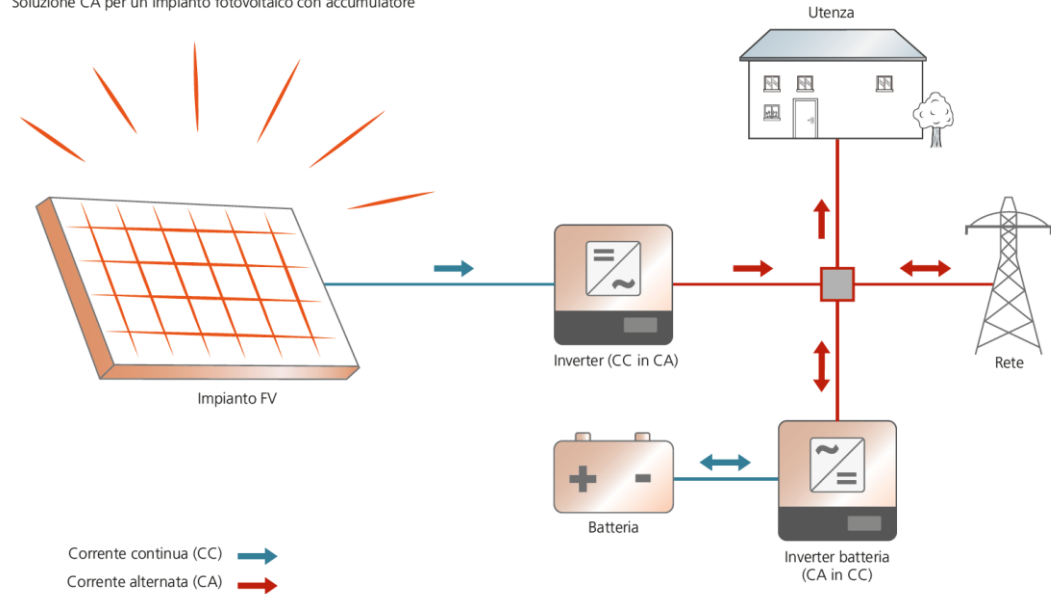
Collegamento elettrico delle batterie

Accoppiamento in corrente continua



Accoppiamento in corrente alternata

Soluzione CA per un impianto fotovoltaico con accumulatore



Collegamento elettrico delle batterie

Su sistemi nuovi prende sempre più piede il collegamento in corrente continua, che garantisce minori costi e maggiore efficienza

A1

B1

C1

C2

C3

C4

C5

D1

D2

Impulso VARTA neo 6

sole soleBatteria 10

KOSTAL PIKO MP plus 4,6-2 (AC) e BYD Battery-Box Premium HVS 7,7

KOSTAL PLENTICORE BI 10/26 e BYD Battery-Box Premium HVS 12,8

KOSTAL PIKO MP plus 4,6-2 (DC) e BYD Battery-Box Premium HVS 7,7

KOSTAL PLENTICORE plus 5,5 e BYD Battery-Box Premium HVS 7,7

KOSTAL PLENTICORE plus 10 e BYD Battery-Box Premium HVS 12,8

Fronius Primo GEN24 6.0 Plus e BYD Battery-Box Premium HVS 7.7

Fronius Symo GEN24 10.0 Plus e BYD Battery-Box Premium HVS 10.2

E1

E2

F1

F2

G1

G2

H1

I1

L1

GoodWe GW5000-EH e BYD Battery-Box Premium HVS 7,7

GoodWe GW10K-ET e BYD Battery-Box Premium HVS 12,8

KACO blueplanet 10.0 TL3 e BYD Battery-Box Premium HVS 10.2

KACO blueplanet 10.0 TL3 e Energy Depot Domus 2.5

RCT Power Power Storage DC 6.0 e Power Battery 7.6

RCT Power Power Storage DC 10.0 e Power Battery 11.5

VIESSMANN Vitocharge VX3 Tipo 4.6A8

Casa Fenecon

SolaX X3-Hybrid-15.0-D e Triple Power T-BAT H 23.0

A1

B1

C1

C2

C3

C4

C5

D1

D2

E1

E2

F1

F2

G1

G2

H1

I1

J1

J2

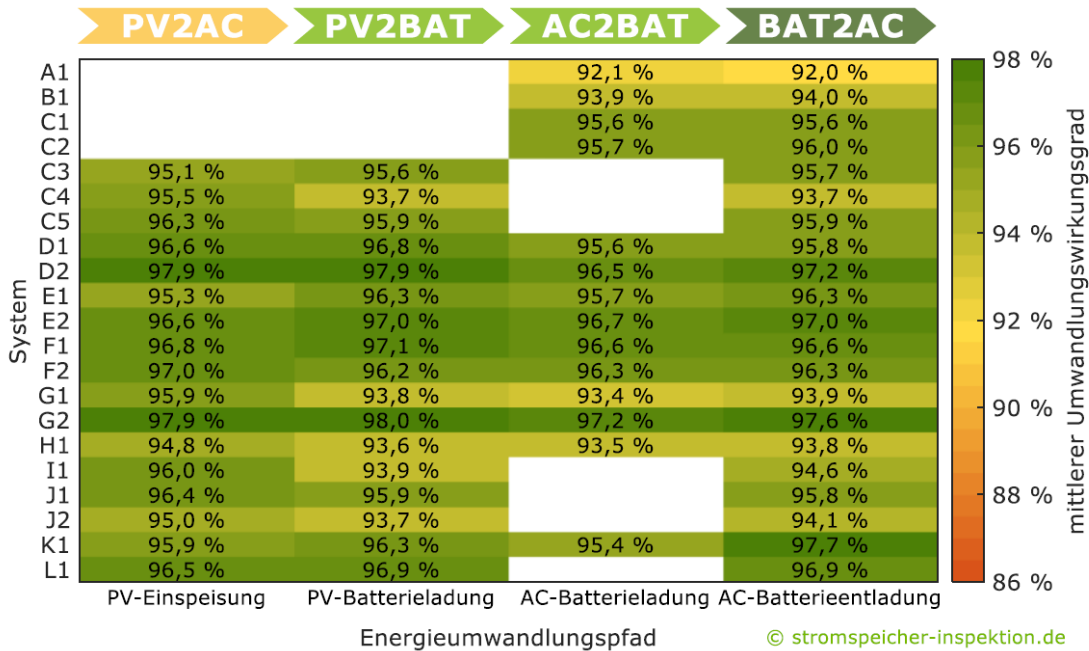
K1

L1

AC-gekoppelte Systeme

DC-gekoppelte Systeme

	Accoppiamento CC	Accoppiamento CA
Vantaggi	<ul style="list-style-type: none">Soluzione compatta con inverter, regolatore di carica e batteriaPer la corrente solare è sufficiente una regolazione della tensione prima dell'accumulo, quindi l'efficienza è tendenzialmente superiorePer i nuovi impianti spesso più economico, un solo dispositivo	<ul style="list-style-type: none">L'inverter può essere scelto indipendentemente dalla batteriaIdeale per impianti fotovoltaici esistentiFlessibile in caso di retrofitPiù flessibilità per la capacità della batteriaGli inverter solari e a batterie possono essere combinati liberamente (anche di produttori diversi)La batteria può anche essere alimentata dalla rete
Svantaggi	<ul style="list-style-type: none">Solitamente la batteria non può essere alimentata dalla rete elettricaTutti i componenti devono essere abbinati in modo ottimale tra loro (anche l'impianto fotovoltaico rispetto alla batteria)Ampliamento a posteriori difficile	<ul style="list-style-type: none">Efficienza tendenzialmente leggermente inferiore rispetto ai sistemi CCTendenzialmente più costoso e complesso, perché si tratta di due dispositivi separati: inverter solare e inverter per le batterie



Collegamento elettrico delle batterie - rendimenti

Come per il PV, il rendimento è funzione della potenza, è quindi importante non sovradimensionare l'inverter/charger

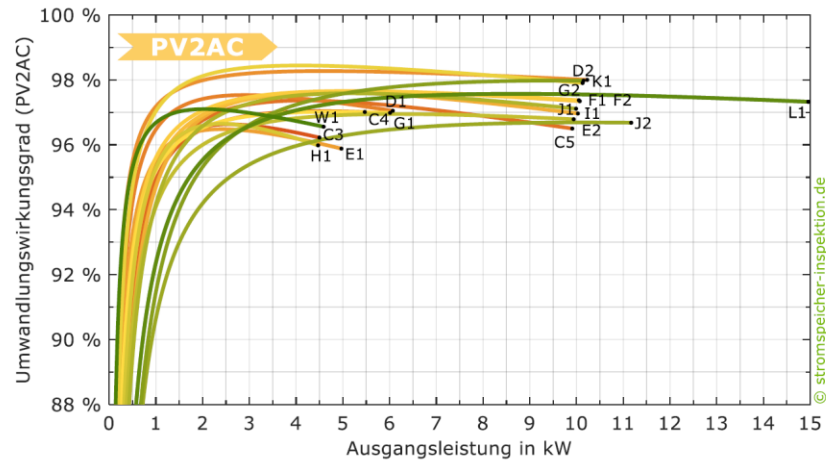


Bild 36 Wirkungsgradkennlinien der PV-Einspeisung (PV2AC) der DC-gekoppelten Systeme sowie der PV-Wechselrichter W1 und W2.

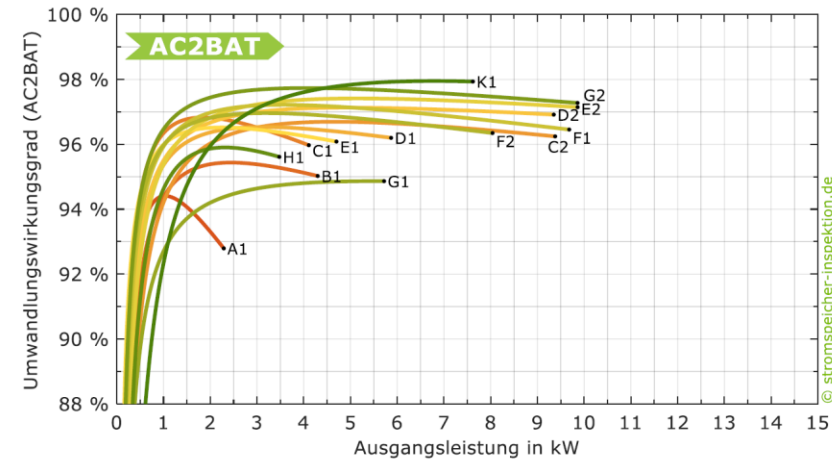
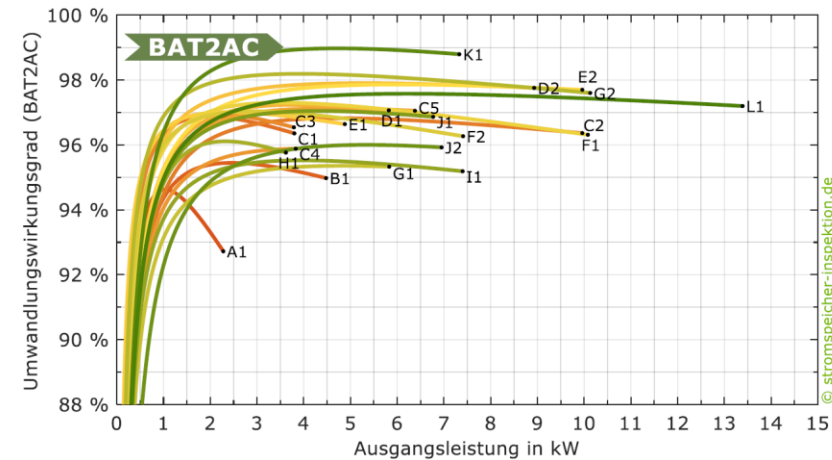
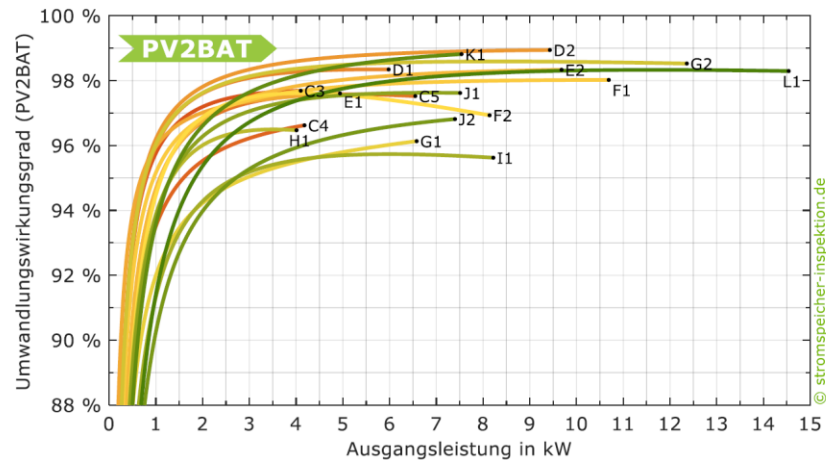


Bild 38 Wirkungsgradkennlinien der AC-Batterieladung (AC2BAT) der AC-gekoppelten Systeme sowie der DC-gekoppelten Systeme D1 bis H1 sowie K1.



Quanto sono redditizie le batterie?

spoiler: non lo sono... o almeno non lo sono per chi le compra ;-)

Batterie residenziali - costi

Il modo standard di valutare l'economicità di sistema di stoccaggio dell'energia consiste nel calcolare il costo livellato dell'accumulo o levelized cost of storage (LCOS)

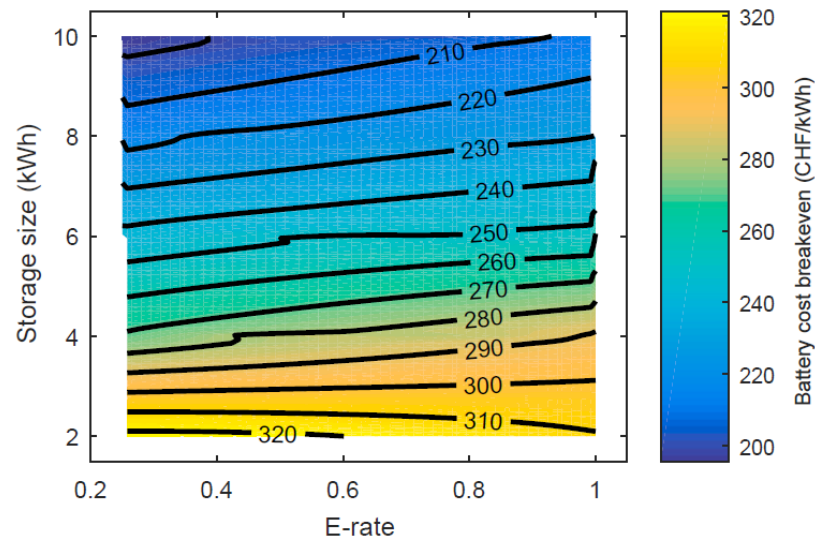
$$LCOS \left[\frac{CHF}{kWh} \right] = \frac{C_{investimento} + C_{carica} + C_{manutenzione} + C_{smaltimento}}{E_{scaricata}}$$

Per essere redditizio, l'LCOS dev'essere minore del prezzo d'acquisto dell'energia

https://colab.research.google.com/github/supsi-dacd-isaac/teaching/blob/main/2023SelfConsumption/LCOS_batteria.ipynb

Batterie residenziali - costi

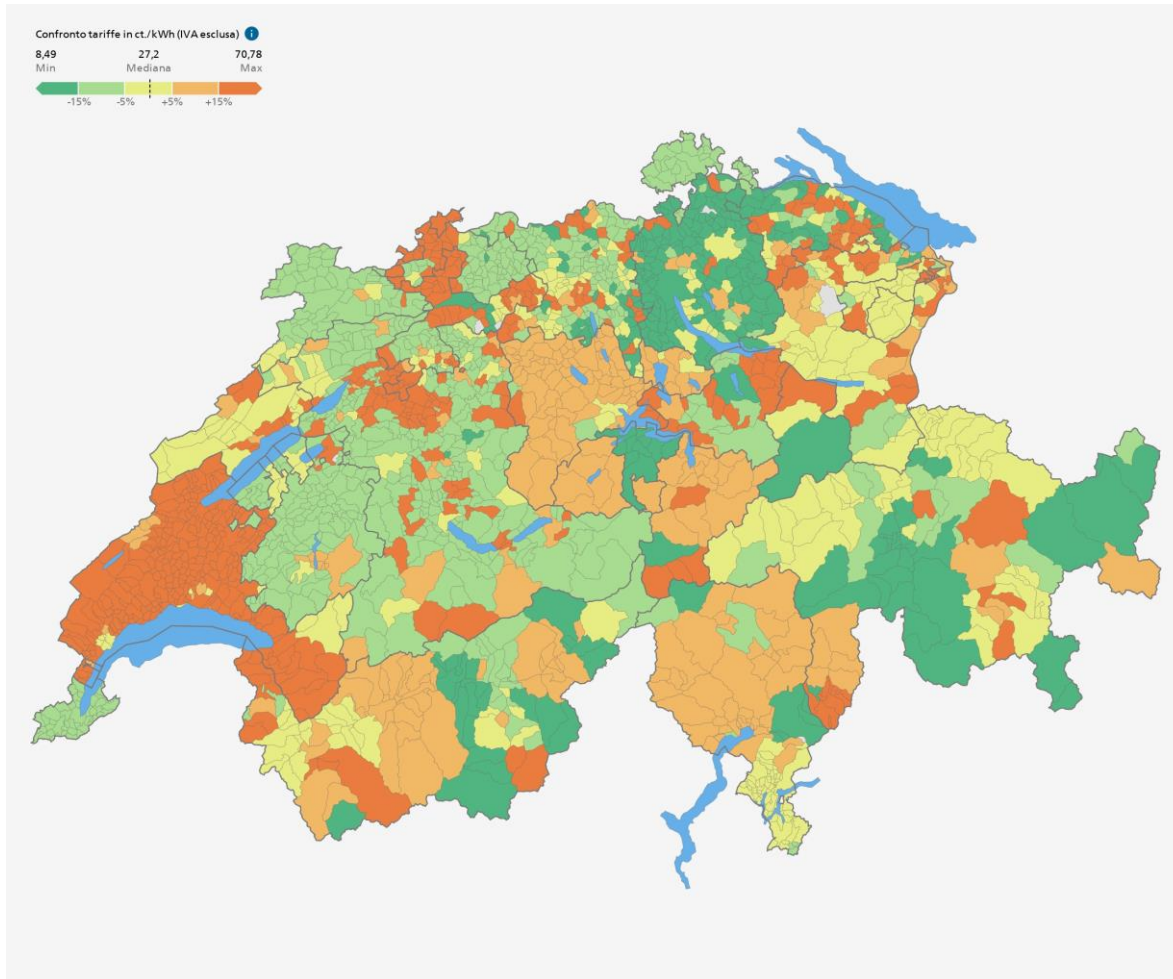
Esempio di calcolo di costo massimo della batteria per un'abitazione con 10kW di PV, termopompa e boiler elettrico



Stesso calcolo per la batteria di quartiere del progetto LIC

Battery capacity [kWh]	break-even price for a life of 10 years [CHF/kWh]	break-even price for a life of 15 years [CHF/kWh]
15	313.8	448.8
36	303.8	434.5
60	285.7	408.7
120	235.8	337.4
180	184.5	263.9
240	140.3	200.7

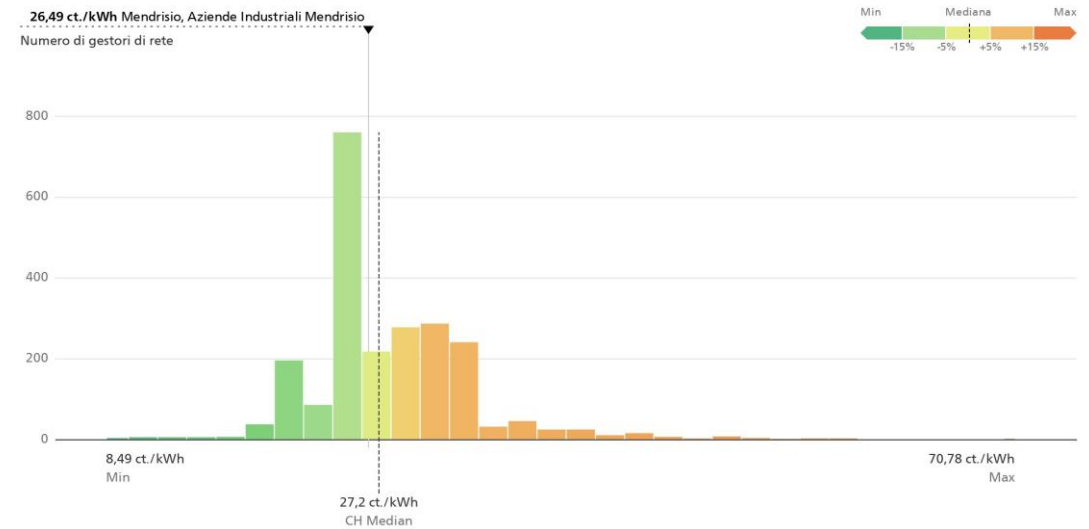
Prezzi dell'elettricità in Svizzera per il consumatore finale



Distribuzione dei prezzi ⓘ

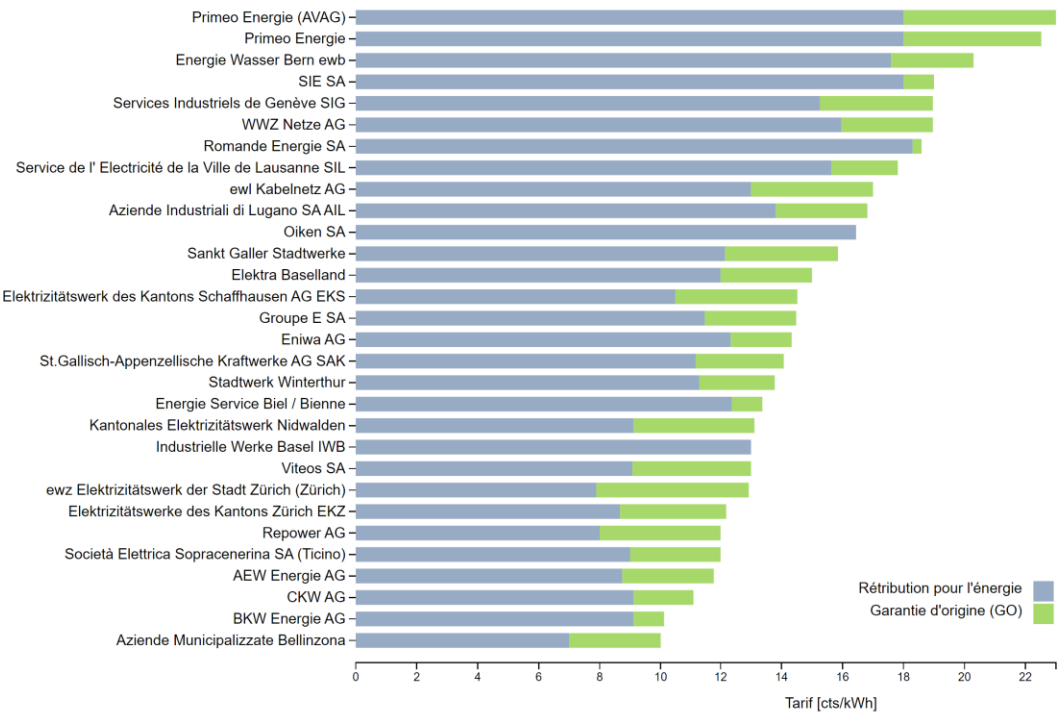
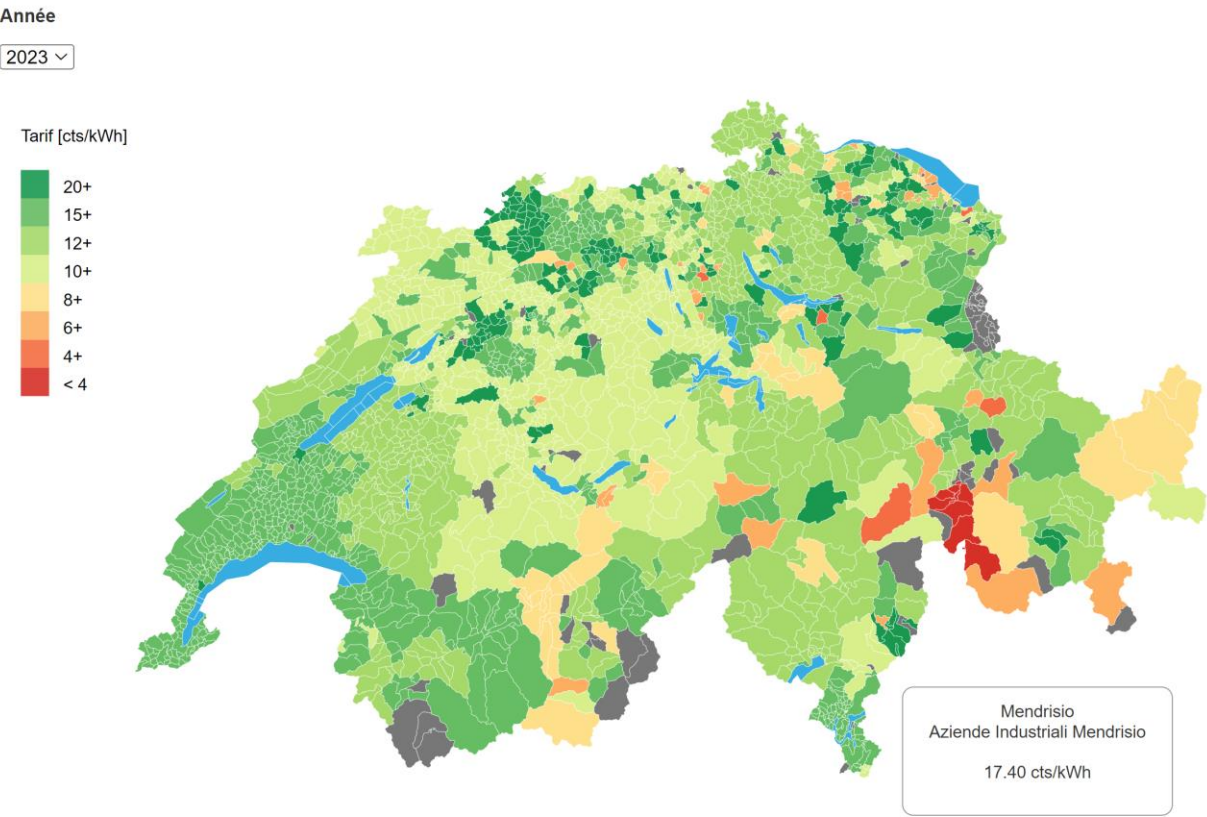
Anno: 2023, Categoria: H4, Prodotto: Standard, Componenti di prezzo: Totale

26,49 ct./kWh Mendrisio, Aziende Industriali Mendrisio
Numero di gestori di rete



Commissione federale dell'energia elettrica Elcom - Confronto tariffe in ct./kWh (IVA esclusa)

Prezzo di ripresa del fotovoltaico in svizzera

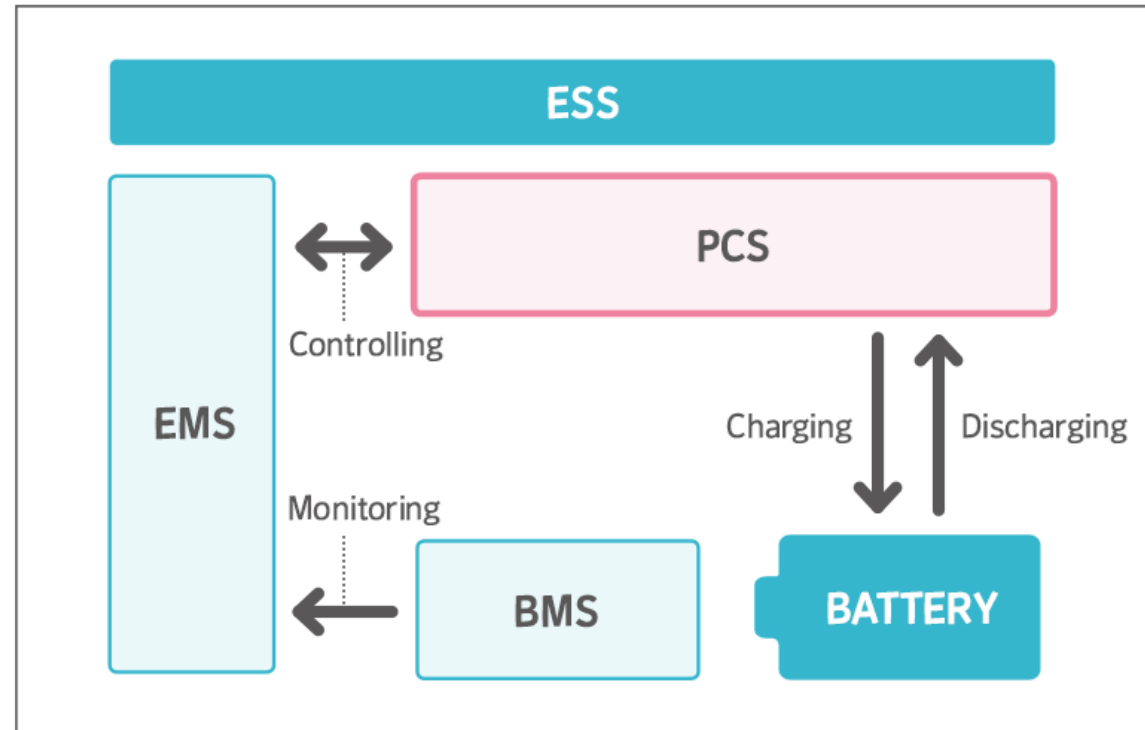


Controllo di batterie

Ottimizzazione dell'autoconsumo tramite accumulo a batteria – sistemi di controllo

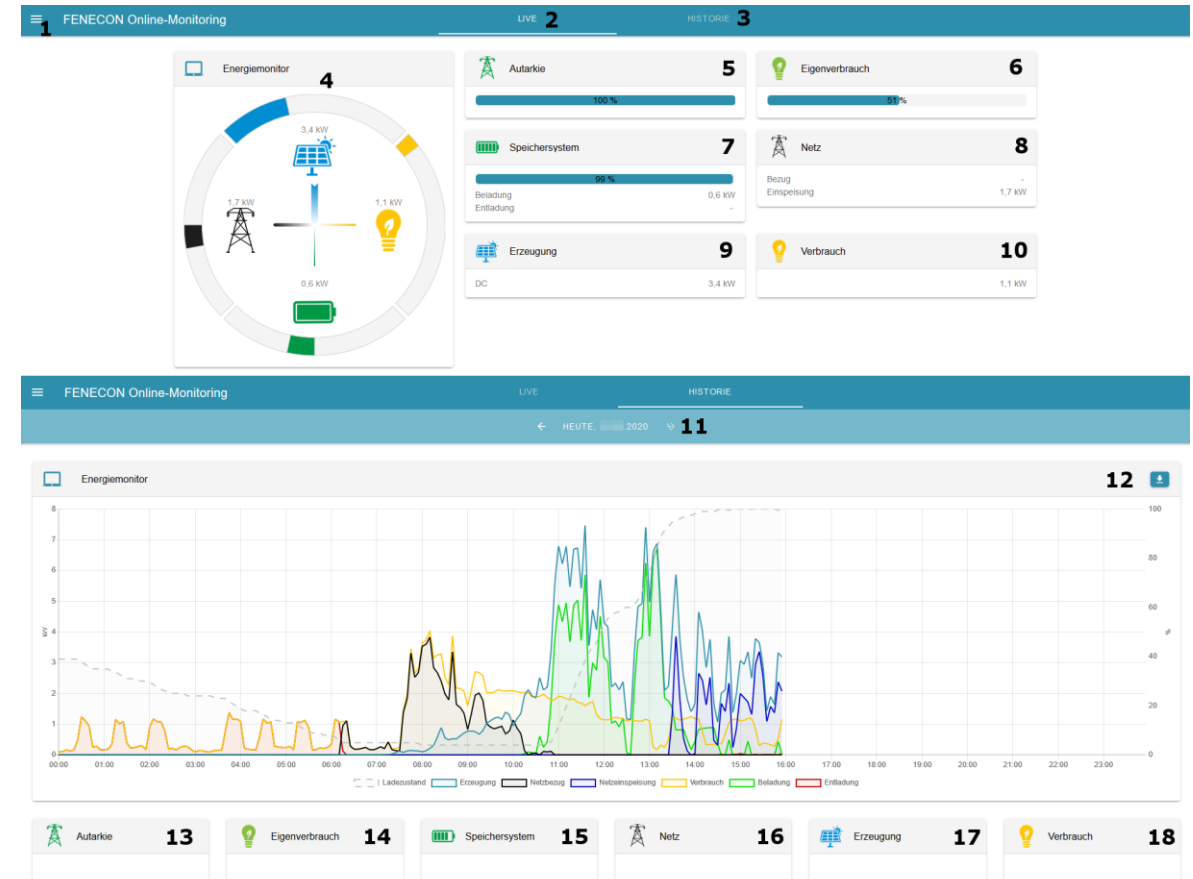
Il controllo della carica e scarica della batteria è condiviso tra:

- battery management system (BMS)
- energy management system (EMS)



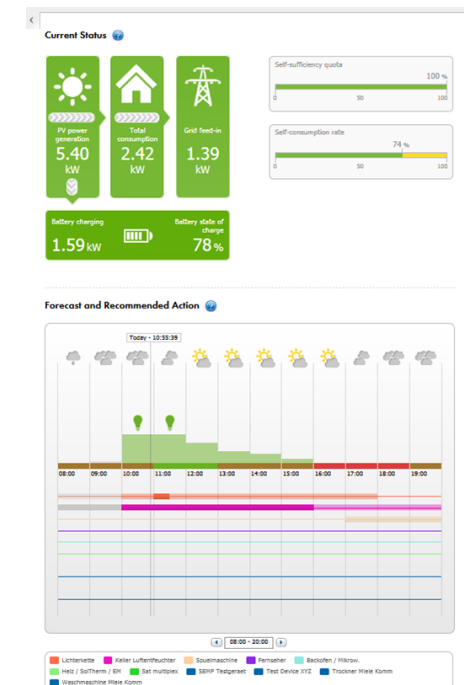
Ottimizzazione dell'autoconsumo tramite accumulo a batteria – EMS

- L'EMS è il sistema decisionale generale del sistema di accumulo di energia
- Si interfaccia con
 - PCS
 - BMS
 - Altri sensori come per esempio contatori di PV ed edificio
 - Servizi esterni (per esempio meteo)
- Calcola le strategie di controllo ottimali in funzione di
 - massimizzazione dell'autoconsumo
 - minimizzazione dell'impatto sulla rete
 - massimizzazione della durata di vita della batteria
- Fornisce un'interfaccia utente per il monitoraggio ed la scelta delle strategie di controllo



Ottimizzazione dell'autoconsumo tramite accumulo a batteria – sistemi di controllo

- Per poter meglio pianificare la carica e la scarica della batteria è però necessario utilizzare degli algoritmi in grado di:
 - Prevedere
 - La produzione di energia fotovoltaica
 - I consumi di eventuali altri carichi controllabili
 - I consumi dell'edificio
- Esistono diversi tipi di algoritmi con diversi gradi di complessità, i più complessi fanno uso delle previsioni meteo, altri si basano semplicemente sullo storico dei dati
- Sul mercato esistono già vari prodotti che offrono l'ottimizzazione dell'autoconsumo controllando sia l'accumulo, che termopompe ed elettrodomestici

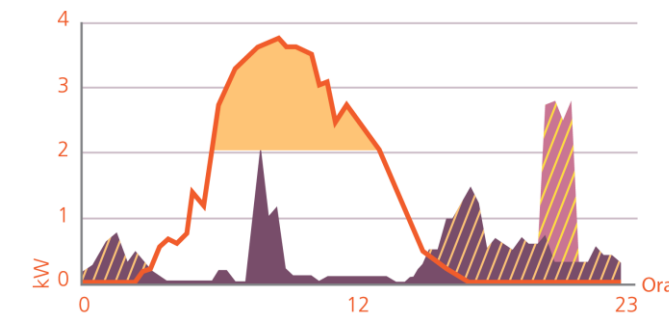
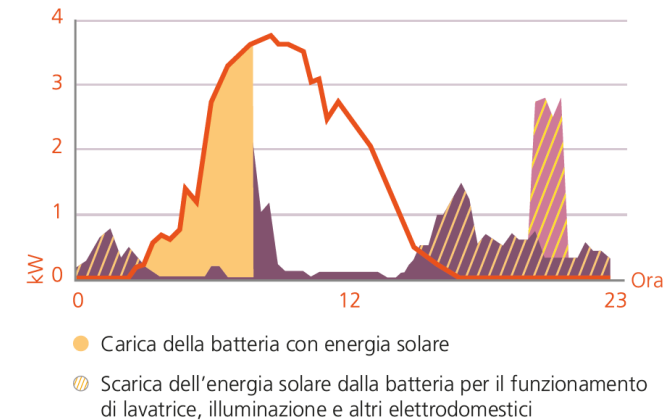


Ottimizzazione dell'autoconsumo tramite accumulo a batteria

Un aumento dell'autoconsumo può essere ottenuto con una batteria che viene caricata durante il giorno con l'elettricità solare e scaricata di sera e di notte... ma

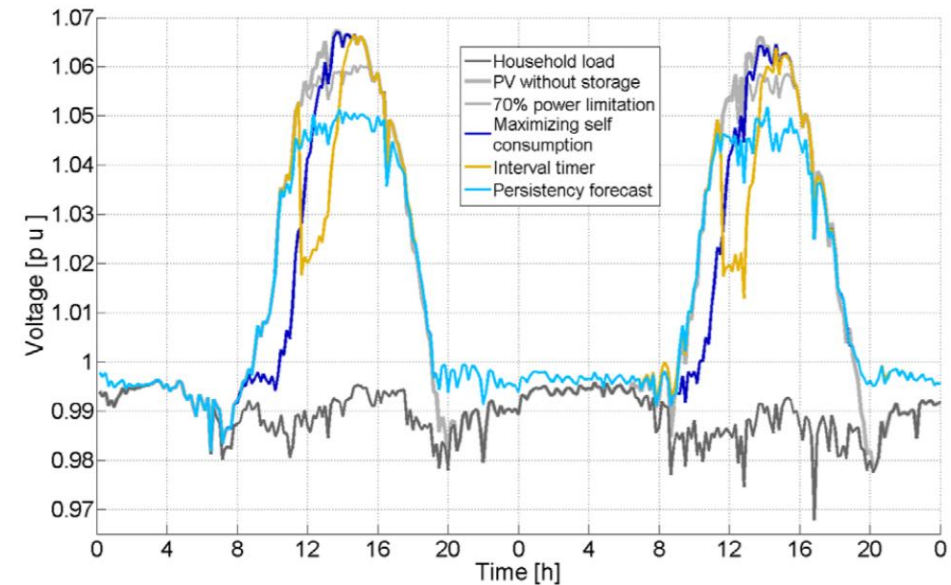
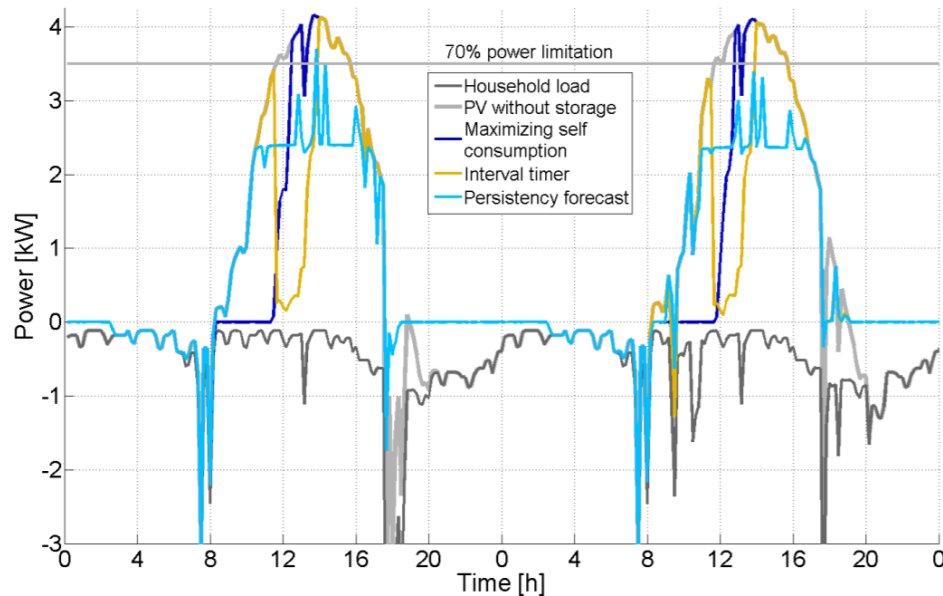
L'autoconsumo dovrebbe però essere fatto:

- **tenendo conto di eventuali altri carichi flessibili che possono essere spostati**
 - Per carichi differibili è sempre meglio autoconsumare direttamente il PV che passare dalla batteria
- **in modo più consapevole degli effetti sulla rete**
 - Al momento non sempre si è incentivati a farlo
- **È necessario che l'utente venga incentivato a farlo!**



Ottimizzazione dell'autoconsumo tramite accumulo a batteria – algoritmi di controllo

- Per poter meglio pianificare la carica e la scarica della batteria è però necessario utilizzare degli algoritmi in grado di:
 - Prevedere
 - La produzione di energia fotovoltaica
 - I consumi dell'edificio
 - Pianificare in modo ottimale la carica e la scarica della batteria
- Esistono diversi tipi di algoritmi con diversi gradi di complessità, i più complessi fanno uso delle previsioni meteo, altri si basano semplicemente sullo storico dei dati



Ottimizzazione dell'autoconsumo tramite accumulo a batteria – algoritmi di controllo peak shaving

Alcuni produttori offrono algoritmi di controllo per peak shaving

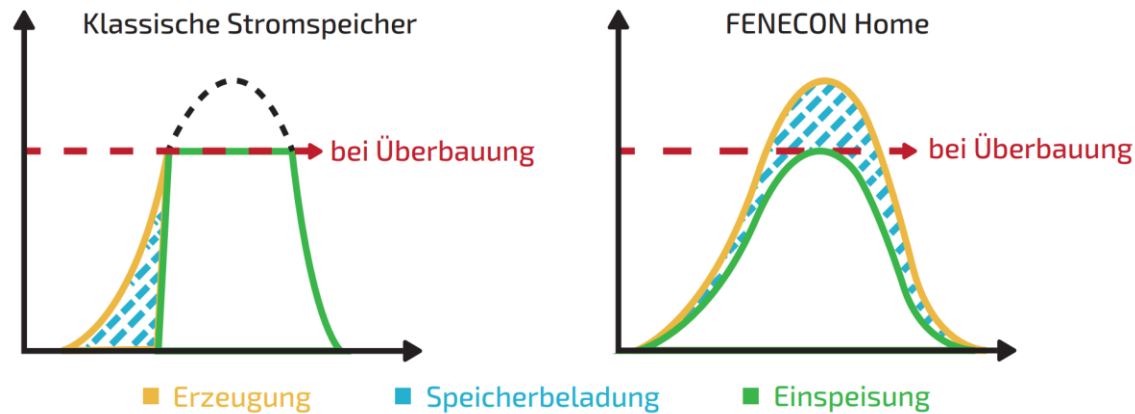
L'attuale sistema di fatturazione rende molto complesso garantire un risparmio in bolletta garantendo il comfort (senza disconnettere carichi)

Controllare una batteria in modo da garantire il livellamento dei picchi è difficile!



<https://grafana.hivepower.tech/d/VS4dB3jZz/pcc-and-battery?orgId=1&from=1691465632807&to=1691888461778>

Ottimizzazione dell'autoconsumo tramite accumulo a batteria – algoritmi di controllo valley filling



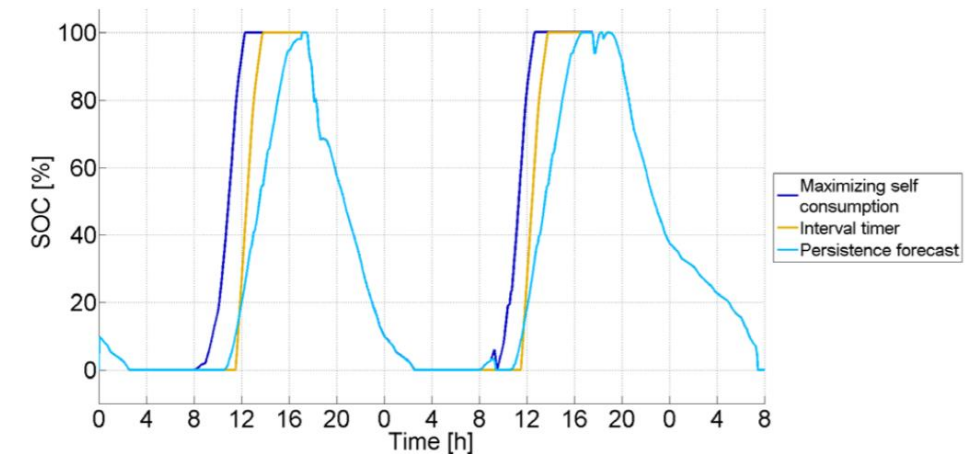
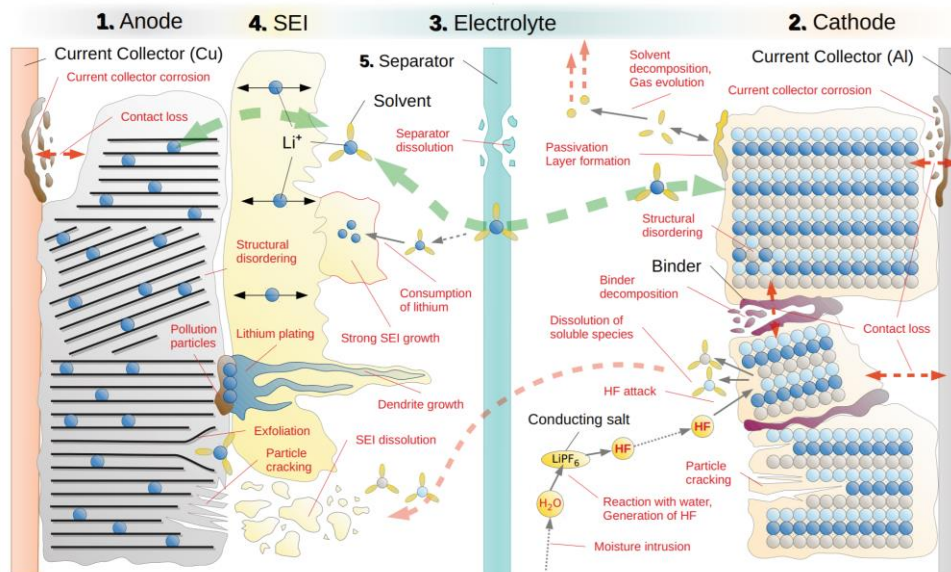
- Alcuni produttori offrono algoritmi di controllo per valley filling
- L'attuale sistema di fatturazione non premia valley filling
- Controllare una batteria in modo da garantire il livellamento dei picchi di iniezione meno difficile rispetto al livellamento del picco (e vi è sempre la possibilità di limitare l'iniezione PV controllando l'inverter)



Ottimizzazione dell'autoconsumo tramite accumulo a batteria – durata di vita

Le strategie di carica e scarica della batteria dovrebbero anche tenere conto dell'invecchiamento della batteria

Ritardare la carica della batteria ha un effetto positivo sulla sua durata di vita



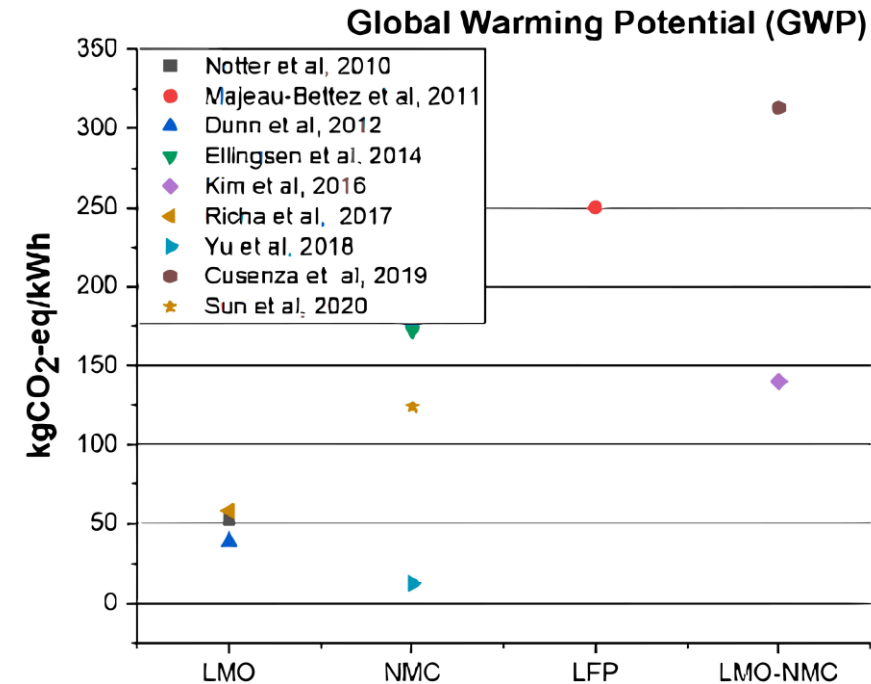
Analisi del ciclo di vita e impatto ambientale delle batterie

Impatto ambientale della batterie agli ioni di litio

- Oggi per produrre **1kWh** di batteria agli ioni di litio vengono emessi approssimativamente **150kg di CO₂**
 - Per una home battery da 10kWh equivale a guidare un'auto a benzina (che emette 124gCO₂/km) per 12096km!
- Per essere sostenibile a livello ambientale, durante la sua vita la batteria dovrà quindi permettere di risparmiare più di 150kg di CO₂ al kWh
 - Se il kWh di batteria permettesse di sostituire il carbone con energia solare:
 3000 cicli ~3.15MWh di energia solare richiesta e
 2,85MWh di energia rilasciata
 Carbone 820gCO₂/kWh
 Fotovoltaico 45gCO₂/kWh
 $0.820 * 2850 - 0.045 * 3150 = 2195 \text{ kg/CO}_2$
- Ma è applicabile alla Svizzera?

<https://app.electricitymaps.com/zone/CH>

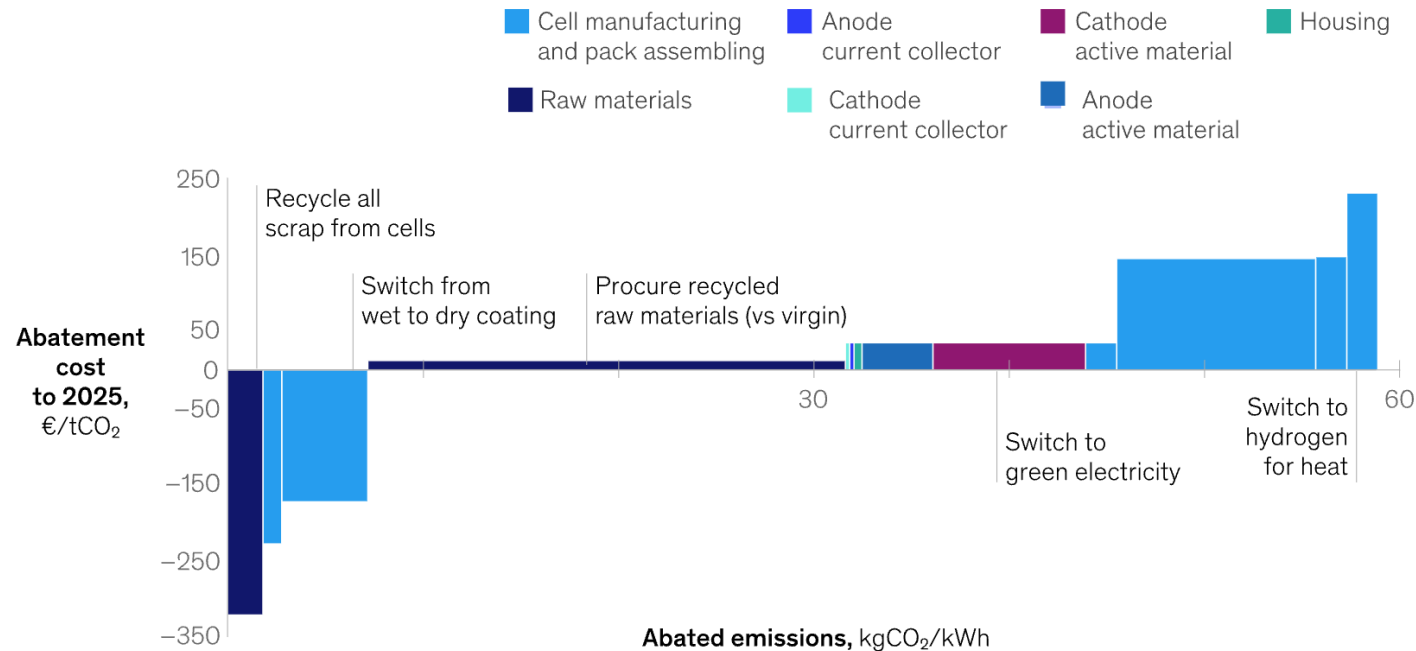
24/10/2023



Impatto ambientale della batterie agli ioni di litio

Il potenziale di riduzione delle emissioni è buono

L'Europa si è data degli obiettivi chiari sia sulla riduzione del livello di emissioni per la produzione di batterie e sul riciclaggio delle batterie usate



¹Scope 3 emissions are the result of activities from assets not owned or controlled by the reporting organization but that have indirect impacts in its value chain. Suppliers are assumed to be in China for all components.
Source: Catalyst Zero, McKinsey, 2022; McKinsey MineLens, 2022; McKinsey analysis for 2025

TIMELINE – ARTICLE 7, ANNEX II

Carbon footprint for industrial and EV batteries



TIMELINE – ARTICLE 8

Recycled content in industrial, EV and automotive batteries



<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/HTML/?uri=CELEX:32023R1542>

Tecnologie alternative e future

Accumulatore elettrochimico – evoluzione futura delle batterie agli ioni di litio

Le batterie agli ioni di litio, benché siano una tecnologia matura saranno ulteriormente migliorate allo scopo di:

- Migliorare la densità energetica ✓
- Aumentare la sicurezza ✓
- Aumentare le prestazioni in carica e scarica ✓
- Allungare la durata di vita ✓
- Diminuire i costi ✗

Una delle tecnologie più promettenti sono le

Batterie allo stato solido

Innovations in the battery industry affect all cell components.

Common battery chemistries and form factor available

	2010s		2020s		2030s	
1 Cathode	LCO ¹	LMO ² LFP ³ NMC ⁴ /NCA ⁵	LFP ³ NMC ⁴ /NCA ⁵	LFP ³ NMC ⁴ /NCA ⁵ LMFP ⁶ /LMNO ⁷	NMC ⁴ /NCA ⁵ LMFP ⁶ /LMNO ⁷ Sulphur	LMFP ⁶ /LMNO ⁷ Sulphur
2 Separator/ electrolyte	Polymer/Liquid	Polymer/Liquid	Polymer/Liquid	Polymer/Liquid	Polymer/Liquid Advanced liquid Semi-solid	Advanced liquid Semi-solid Solid
3 Anode	Graphite	Graphite	Graphite	Graphite Graphite and silicon	Graphite and silicon Lithium metal Silicon anode	Lithium metal Silicon anode
4 Casing	Cylindrical	Cylindrical Pouch	Prismatic Cylindrical Pouch	Prismatic Cylindrical Pouch	Cylindrical Pouch Prismatic	Cylindrical Pouch

¹Lithium cobalt.
²Lithium manganese oxide.
³Lithium, iron, phosphate.
⁴Lithium, manganese cobalt.
⁵Lithium, nickel, cobalt, aluminum oxide.
⁶Lithium manganese iron phosphate.
⁷Lithium, manganese nickel oxide.
 Source: McKinsey Battery Insights, 2022



Accumulatore elettrochimico – evoluzione futura – altre chimiche

Batterie di flusso (rechargeable flow batteries (RFB), redox flow batteries)

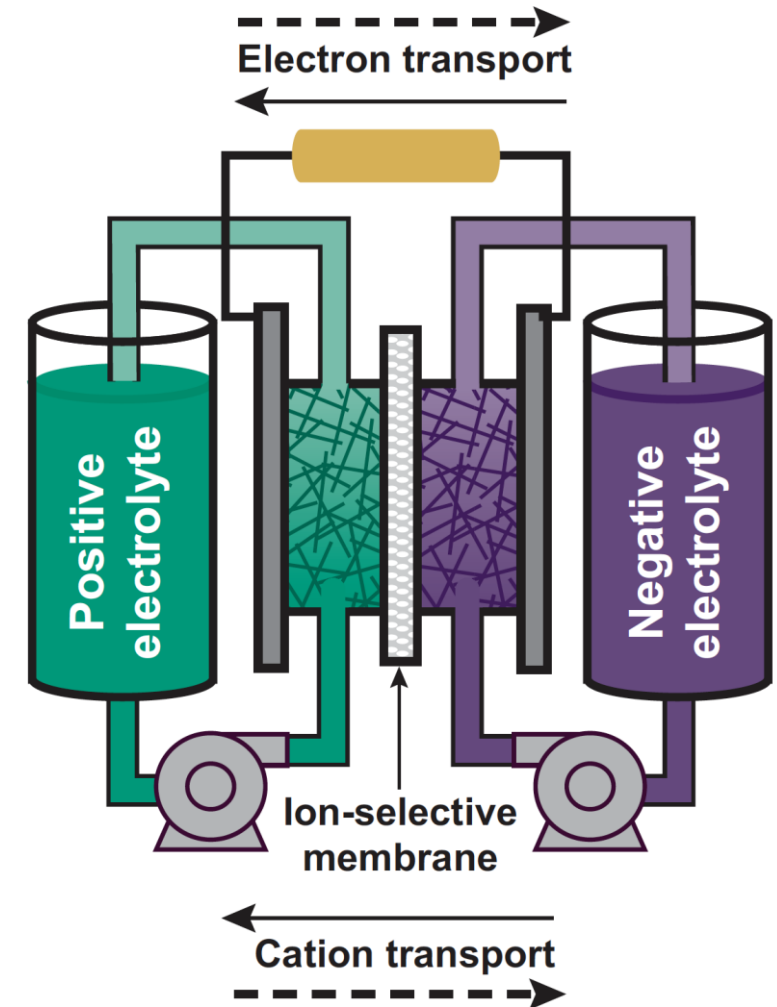
Il principio di funzionamento di una batteria a flusso redox (RFB) prevede il flusso di soluzioni elettrolitiche liquide contenenti specie redox-attive attraverso una cella, dove subiscono reazioni di riduzione e ossidazione agli elettrodi per rilasciare o immagazzinare energia elettrica

Vantaggi:

- Scalabilità
- Flessibilità
- Autoscarica nulla
- Sicurezza

Svantaggi:

- Densità energetica inferiore
- Costi elevati
- Complessità (non adatta a edifici piccoli)
- Disponibilità commerciale limitata



Accumulatore elettrochimico – evoluzione futura – altre chimiche

Batterie agli ioni di sodio

Il principio di funzionamento è identico a quello della batterie agli ioni di litio, con la difficoltà che gli ioni di sodio sono più grandi di quelli di litio

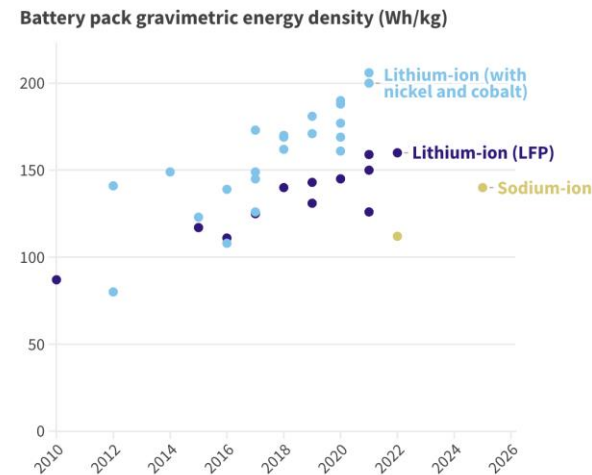
Vantaggi:

- Disponibilità praticamente infinita di sodio
- Potenziale riduzione dei costi a medio termine
- Migliori prestazioni a basse temperature
- Miglior sicurezza

Svantaggi:

- Densità energetica inferiore
- Minor numero di cicli
- Disponibilità commerciale inesistente

Energy density of lithium- and sodium-based batteries



Source: BNEF • Chart by Casey Crownhart, MIT Technology Review
Sodium-ion data for 2025 is a projection from BNEF. Lithium with nickel and cobalt includes both NMC and NCA.

02-09-2021 | [Battery](#) | News | Article

CATL Introduces First Generation Sodium-ion Battery

Author: [Patrick Schäfer](#)

🕒 1 min reading time

Battery manufacturer CATL has introduced a sodium-ion battery. It is said to offer high energy density as well as fast charging capability and to have very good thermal stability.



CATL's sodium-ion battery © CATL

The sodium-ion battery from Contemporary Amperex Technology Co. limited (CATL) has a similar operating principle to the lithium-ion battery. However, compared to lithium ions, sodium ions have a larger volume and higher requirements for structural stability and kinetic properties of materials. To increase the capacity, CATL used Prussian-white material with higher specific capacity at the cathode and redesigned the structure by rearranging the electrons. For the anode material, CATL developed a porous hard carbon material to guarantee storage and cycling stability.

The energy density of the sodium-ion battery cell unveiled at CATL's "Tech Zone" event reaches up to 160 Wh/kg, according to the manufacturer. The battery can be charged to 80 % SOC in 15 min at room temperature. At an ambient temperature of -20 °C, the capacity retention rate is said to be more than 90 %. The development target for the next generation of sodium-ion batteries is an energy density of over 200 Wh/kg.

Domande?



Grazie per l'attenzione!