

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica

Relazione per la prova finale

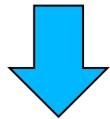
***«Metodi di raffreddamento di batterie
elettriche per uso automobilistico»***

Tutor universitario: Ing. Andrea Diani

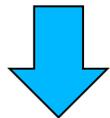
Laureando: *Stefano Businaro*

Padova, 16/ 11/2023

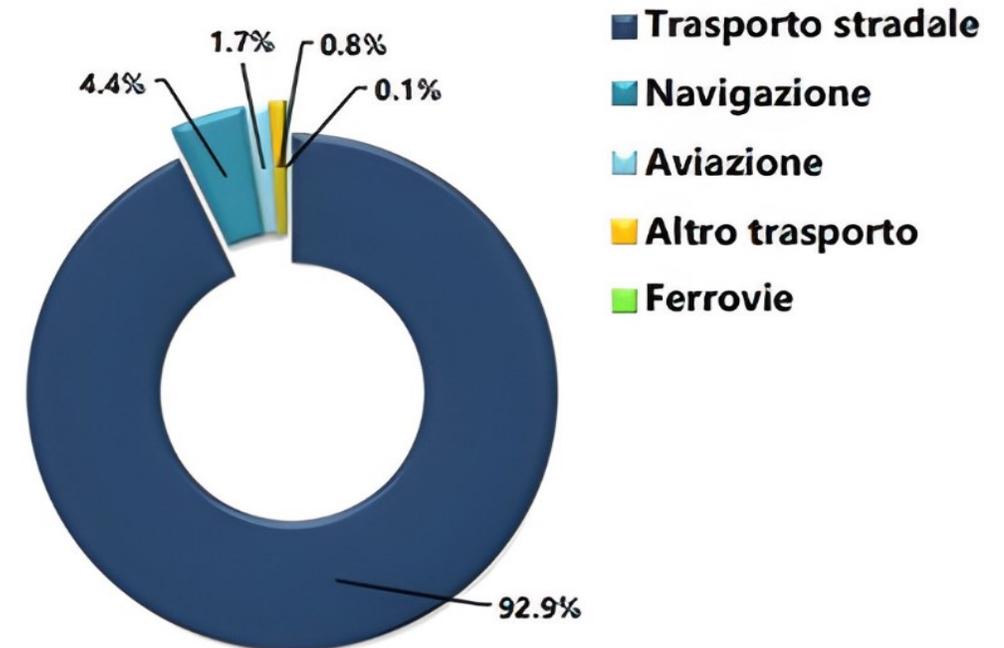
In Italia, quasi il 25% delle emissioni di gas serra totali è da attribuire al settore dei trasporti

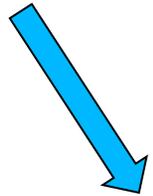
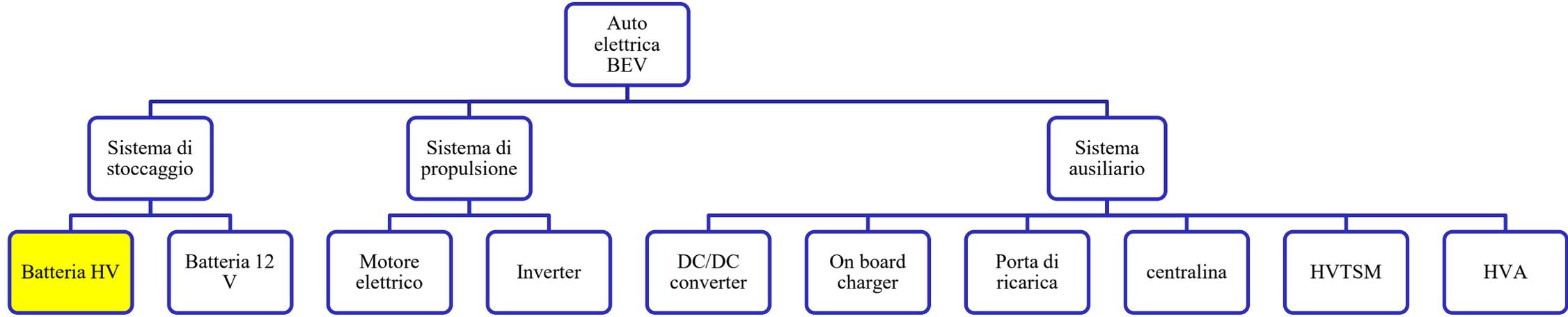


Nuove Norme europee e stop ad immatricolazioni di auto con motore a scoppio dal 2035

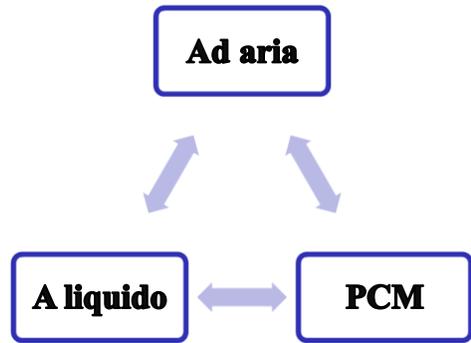


Incremento di vendita di auto ibride ed elettriche





Sistema di gestione termica della batteria BTSM



Batterie elettriche

Composizione chimica

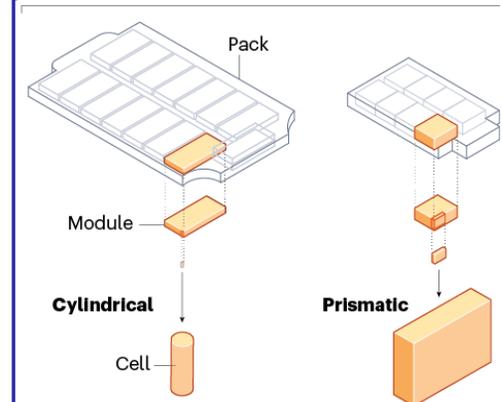
- Al piombo acido
- A base di Nichel
- **A base di litio**

Architetture

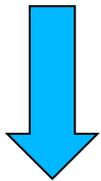
- Cella cilindrica
- Cella a sacchetto
- Cella prismatica

Forme (base)

- Rettangolare
- A T rovesciata
- A croce
- A goccia

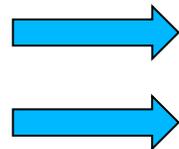


Le batterie agli ioni di litio sono formate da una o più celle. Ognuna di esse è composta a sua volta da tre elementi: un elettrodo positivo chiamato catodo; un elettrodo negativo chiamato anodo; e un materiale conduttore che funge da contatto tra loro, chiamato elettrolita. Durante la fase di carica, il catodo cede alcuni dei suoi ioni di litio, che viaggiando attraverso l'elettrolita, tramite un circuito interno, raggiungono l'anodo, accumulandosi e caricandosi negativamente. Quando il processo si interrompe la batteria è carica. Durante la fase di scarica invece, avviene il processo contrario.

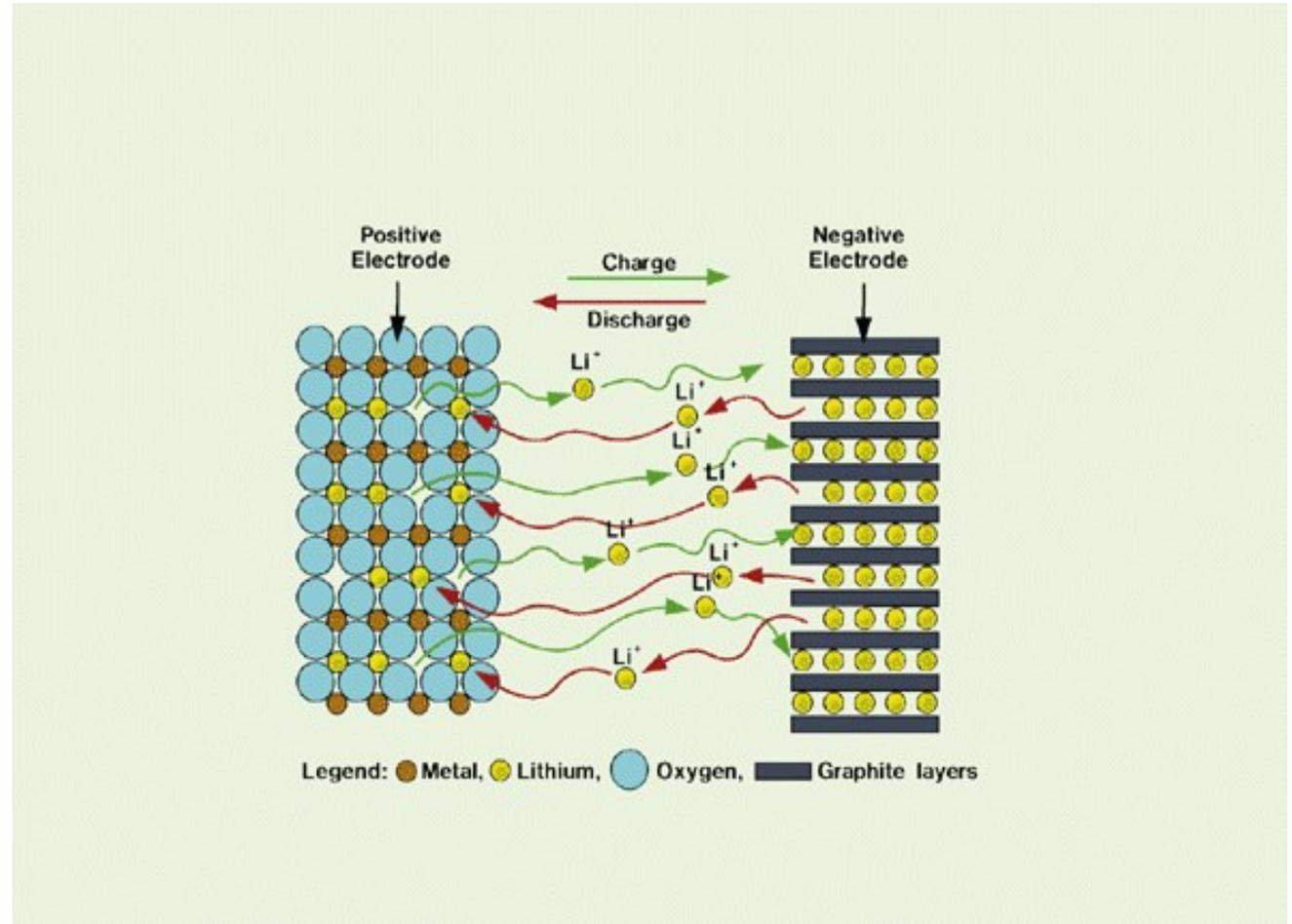


- Reazioni elettrochimiche
- Resistenze interne

Surriscaldamento



- Perdita di capacità
- Riduzione autonomia



Flusso termico: $\frac{d(mc_p T)}{dt} = hA_s (T - T_\infty) + q$ Eq. di bilancio termico a parametri concentrati

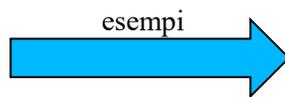
\downarrow \swarrow \longrightarrow
 Energia accumulata dalla batteria calore trasmesso per convezione Viene trascurato

Dove:

- h è il coefficiente convettivo di scambio termico
- A_s è l'area della cella esposta a convezione
- T_∞ è la temperatura ambiente della cella
- q è il calore generato = $I [(U_0 - U) - T \frac{\partial U_0}{\partial T}]$ eq. Di Bernardi

Con:

- U_0 = la tensione a circuito aperto della cella
- U = la tensione della cella in funzionamento
- $\frac{\partial U_0}{\partial T}$ è un valore trascurabile a temperatura ambiente.



- Tesla model S: 7014 celle 1865 con catodo NCA(nichel, cobalto, alluminio): $R_{cella} = 13 \text{ m}\Omega$ e corrente I di scarica continua massima = 20 A
Per cui $q_{max,cella} = 0,013 \times 20^2 = 5,2 \text{ W}$

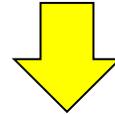
- Tesla model 3: 4416 celle 2170 con catodo NCM(nichel, manganese, cobalto): $R_{cella} = 12 \text{ m}\Omega$ e corrente I di scarica continua massima = 35 A
Per cui $q_{max,cella} = 0,012 \times 35^2 = 14,7 \text{ W}$

Semplificando questa equazione avremo:

$$q = I[(U_{298.15} - U) = I^2 (R_i + R_p) = I^2 R_{cella}$$

Range di temperatura ottimale di
funzionamento:

15 – 35 gradi Celsius



BTSM

Ad aria

- Convezione naturale
- Convezione forzata

A liquido

- Per immersione
- Diretta
- Indiretta

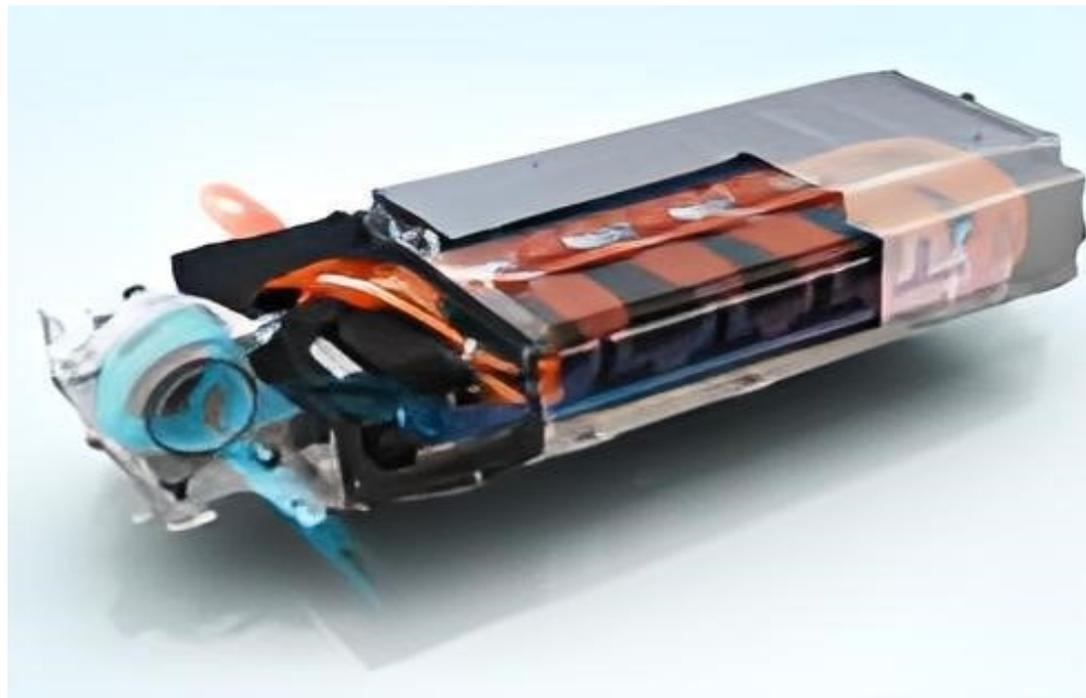
PCM

- Da liquido a gas
- Da solido a liquido

Metodi:

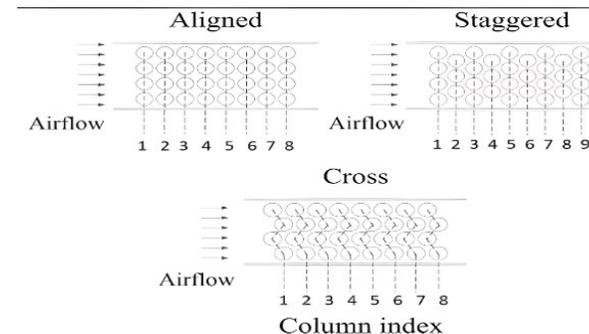
Naturale

il flusso d'aria proviene dall'ambiente esterno e viene convogliato verso la batteria. Utilizzato solamente per batteria a bassa densità di energia, è caratterizzata da un coefficiente di scambio termico convettivo minore rispetto a quello della convezione forzata.



Forzata

il flusso d'aria proviene dal condizionatore del veicolo.



Vantaggi

Velocità di progettazione

Pochi componenti, poco spazio

Costi bassi

- serie
- parallelo

Bassa capacità termica
($cp \cdot m$)

Consumo energetico per la ventola

Agenti inquinanti come la polvere nel pacco batteria

Svantaggi

Per immersione

il pacco batterie è immerso
direttamente in un fluido dielettrico

Diretto

c'è contatto diretto tra le superfici delle batterie
e il fluido refrigerante (dielettrico)

Indiretto

accanto alle batterie vengono
posizionati tubi o piastre in cui
scorre un liquido (per esempio
acqua o glicole).

Vantaggi

Coefficiente di scambio
termico maggiore

Rendimento maggiore

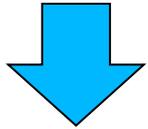
Svantaggi

Progettazione complessa

Costo elevato

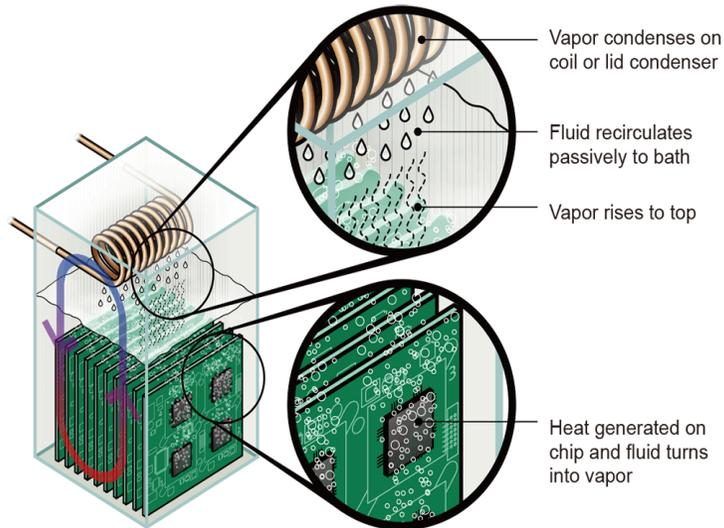
Peso e spazio maggiori

Da liquido a gas

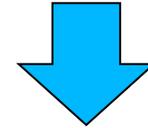


Ad immersione bifase

evaporazione di liquidi bassobollenti

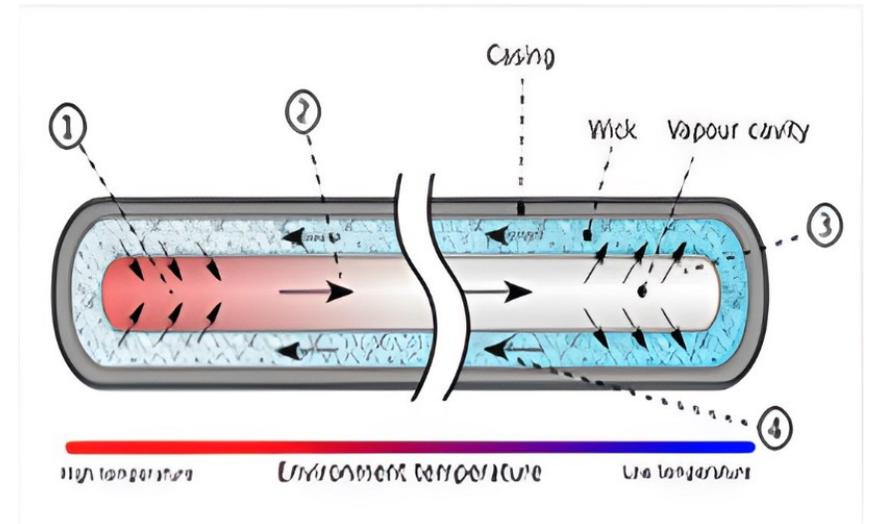


utilizzo del calore latente di cambiamento di fase da liquido a gas/vapore.
(Q da fornire o da sottrarre ad 1 Kg di sostanza affinché avvenga il passaggio di stato richiesto)



Con tubi di calore

consiste tipicamente nel processo di ebollizione e successiva condensazione di un fluido operativo.



Vantaggi

Maggiore semplicità progettuale

Minori costi

Non necessita di consumare energia

Ecologico ed efficiente

Miglior metodo per assorbire o rilasciare grandi quantità di energia termica

Svantaggi

Se tutto il fluido refrigerante nel condotto termico evapora, il processo di condensazione cessa. In questo caso, l'heat pipe conduce calore solamente attraverso il metallo del cilindro. Tale conduzione è però molto esigua rispetto a quella trasferita dal meccanismo vaporizzazione/condensazione

Da solido a liquido

Attualmente, i composti maggiormente studiati sono gli acidi grassi, i sali idratati e le paraffine. Caratterizzati da un punto di fusione compreso tra 30°C e 60°C, sono un'ottima soluzione per mantenere la temperatura in esercizio delle celle nel range ottimale di temperatura. Tuttavia, la criticità più rilevante è la bassa conducibilità termica. Esistono alcune soluzioni che migliorano questa proprietà. Per esempio, si aggiungono, in fase di progettazione, delle alette e dei riempitivi. Anche la tecnologia di imballaggio migliora il rendimento e le prestazioni di tale metodo. In particolare con l'aggiunta di nano piastrine di grafene si è osservato un notevole miglioramento del processo.

Il principale svantaggio è che, se la temperatura del punto di fusione del materiale a cambiamento di fase non corrisponde alla temperatura di esercizio della batteria, questo non sarà utile per il raffreddamento.

Ad aria

quello con l'aria è il più semplice ed affidabile dei tre, tuttavia, non ha un coefficiente termico elevato e per raggiungere una uniformità di temperatura, ha bisogno di implementi quali l'aumento del flusso d'aria e il suo turbinio. Quindi questo non può essere utilizzato in veicoli ad alta energia.

A liquido

Quello a liquido, guardando solamente le prestazioni termiche, è sicuramente il più interessante, data la maggiore capacità termica. Tuttavia, è complesso da realizzare, richiede più spazio visto la mole maggiore di componenti e può causare perdite.

PCM

Anche quello tramite PCM ha molta capacità termica. Inoltre, non consuma energia. In particolar modo, quello basato su tubi di calore è il più promettente anche se per far fronte agli svantaggi sopra citati, deve essere implementato con quello ad aria o a liquido.

Confronto dei tre metodi per il medesimo pacco batteria con una velocità di scarica di 1 C.

metodo di raffreddamento	temperatura più bassa ° C	temperatura massima ° C	differenza di temperatura massima ° C
aria condizionata	31.34	34.76	3.42
raffreddamento a liquido	25.96	28.06	2.10
raffreddamento del tubo di calore	21.61	23.69	2.08

In fase
di
studio:



BTSM combinati



Batterie allo stato solido