



Prove sperimentali di riscaldamento di un veicolo elettrico mediante pannelli riscaldanti installati all'interno dell'abitacolo

Autore: Azhar Alizadah

Elaborato di Laurea in Ingegneria dell'energia

Relatore: Prof. Michele Forzan

Correlatore: Matteo Lazzarin

Introduzione



Auto elettrica utilizzata:
Volkswagen ID.3

Capacità batteria:
58 kWh



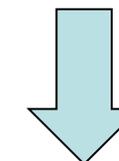
Cella climatica

L'obiettivo del sistema riscaldante è raggiungere la temperatura di comfort di 21°C nel minore tempo possibile e inoltre, far utilizzare meno energia alla batteria per ottenere un risparmio energetico maggiore

INCREASING COMFORT



REDUCING POWER CONSUMPTION



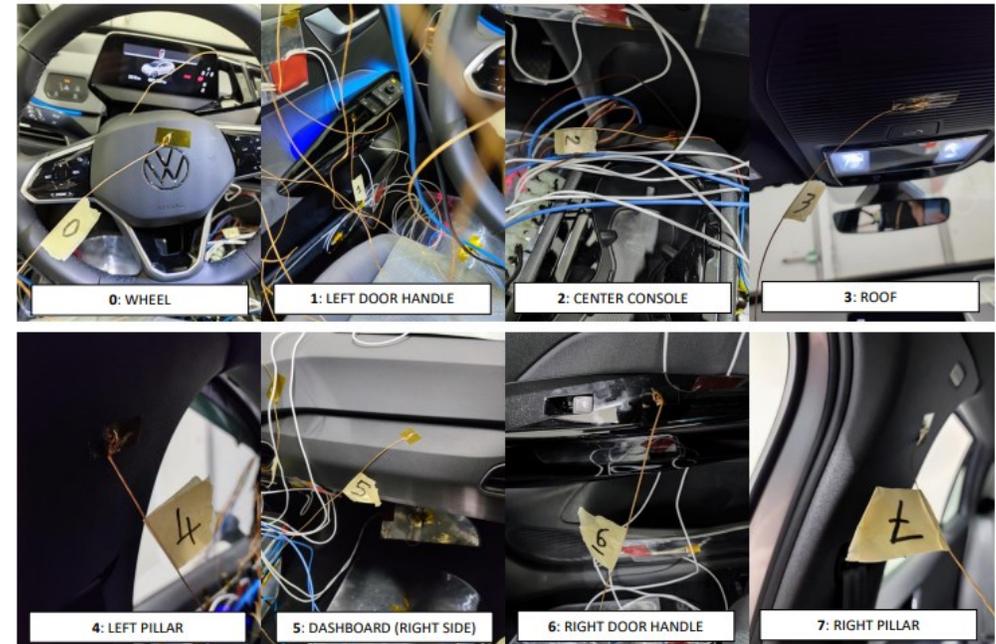
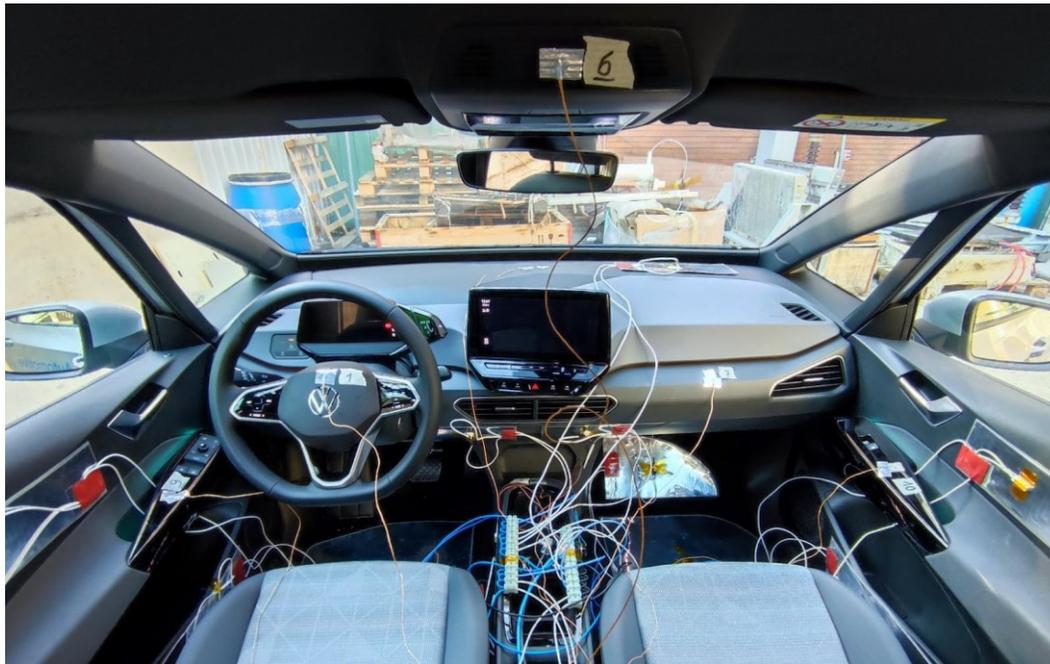
Descrizione prova



Experimental test with HF's

Posizionamento degli heating foils all'interno dell'abitacolo

- Per misurare la temperatura interna dell'abitacolo si è fatto uso di 16 termocoppie, le quali sono state applicate in diverse posizioni
- Per la misura di corrente si è utilizzata una pinza amperometrica



Prova 1: HVAC a -5°C



Gli andamenti della temperatura misurata tramite le 16 termocoppie installate all'interno dell'abitacolo

Asse delle ascisse \rightarrow Tempo

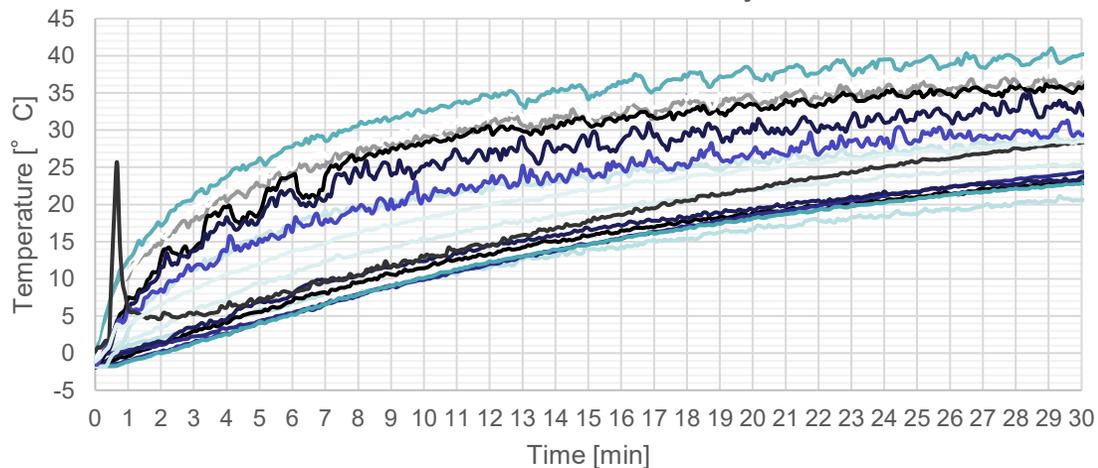
Asse delle ordinate \rightarrow Temperatura

Lo stato di carica della batteria

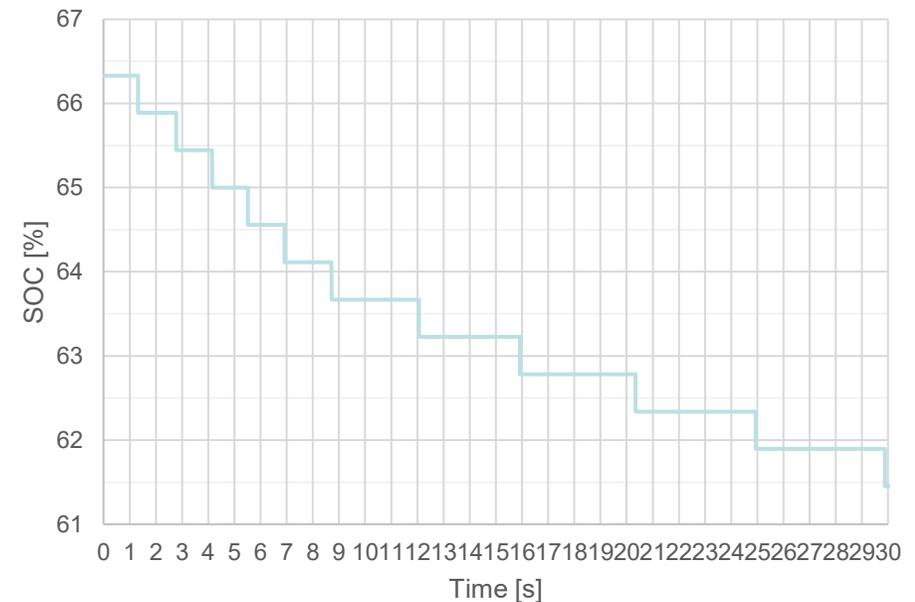
Fase iniziale \rightarrow 66,33%

Fase finale \rightarrow 63,23%

T= -5°C HVAC only



STATE OF CHARGE T= -5°C HVAC



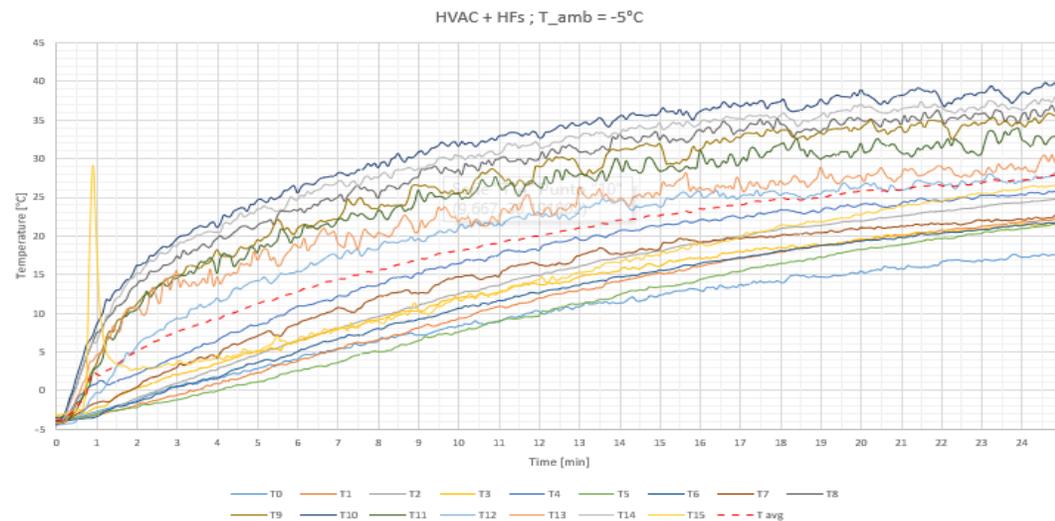
Prova 2: HVAC+HF a -5°C



Gli andamenti della temperatura misurata tramite le 16 termocoppie installate all'interno dell'abitacolo

Asse delle ascisse → Tempo

Asse delle ordinate → Temperatura

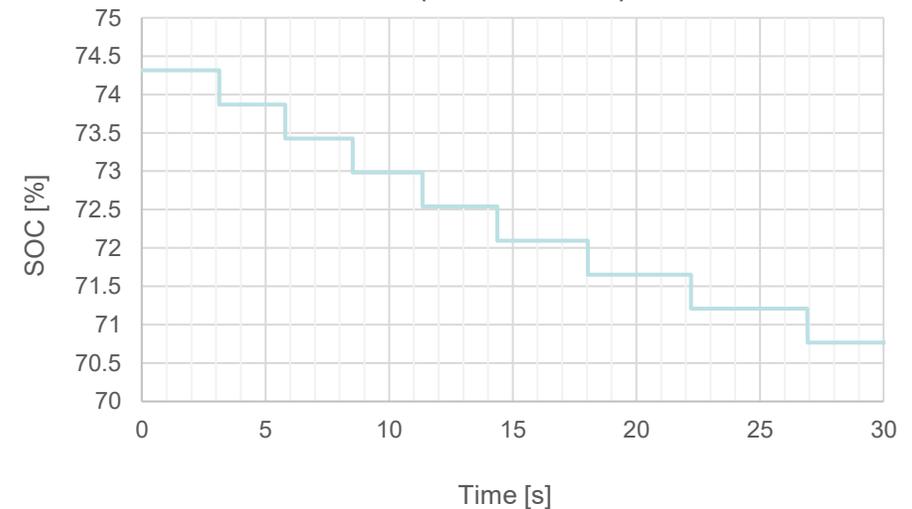


Il consumo della batteria

Fase iniziale SOC → 74,31%

Fase finale SOC → 72,54%

STATE OF CHARGE during Test 1 (HVAC+HF)



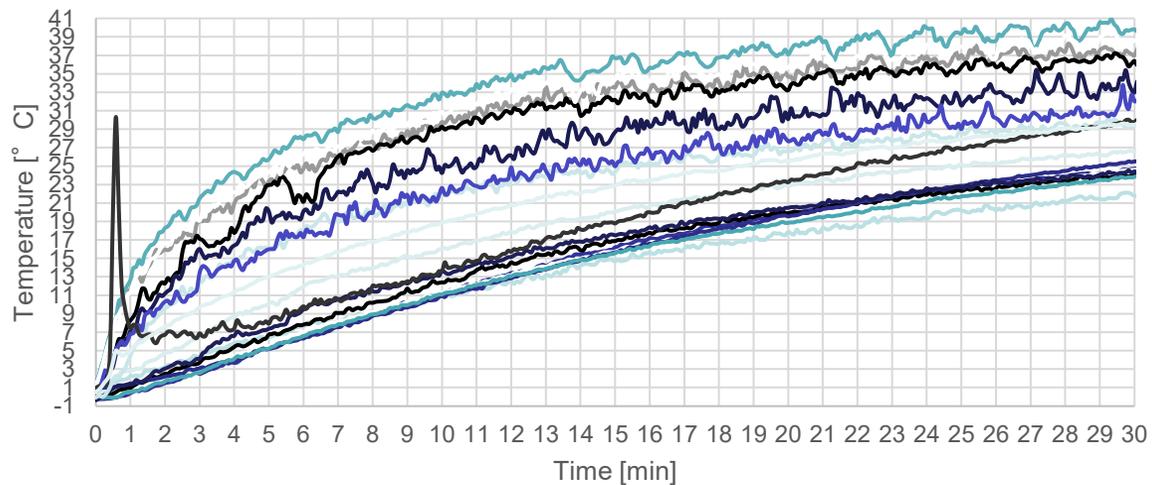
Prova 3: HVAC a 0° C



Gli andamenti della temperatura misurata tramite le 16 termocoppie installate all'interno dell'abitacolo

Asse delle ascisse → Tempo
Asse delle ordinate → Temperatura

T=0° C HVAC only

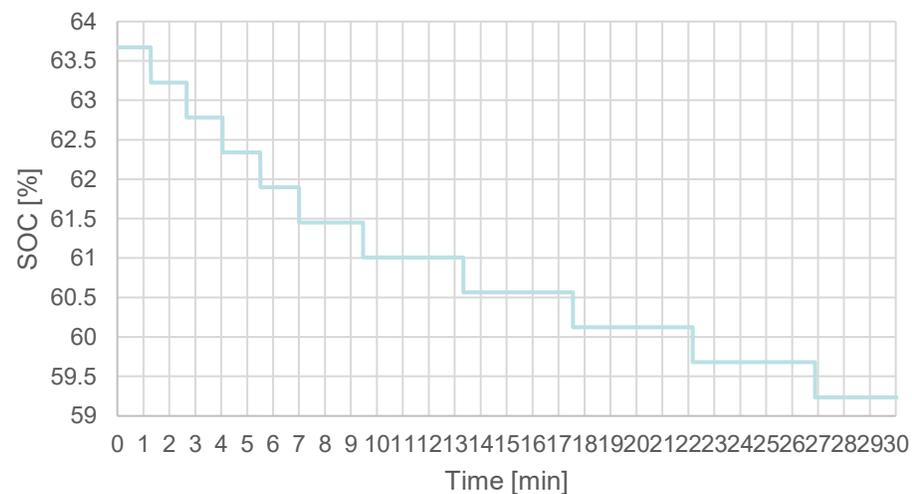


- T0
- T1
- T2
- T3
- T4
- T5
- T6
- T7
- T8
- T9
- T10
- T11
- T12
- T13
- T14
- T15
- T_avg

Il consumo della batteria

Fase iniziale SOC → 63,67%
Fase finale SOC → 60,57%

SOC



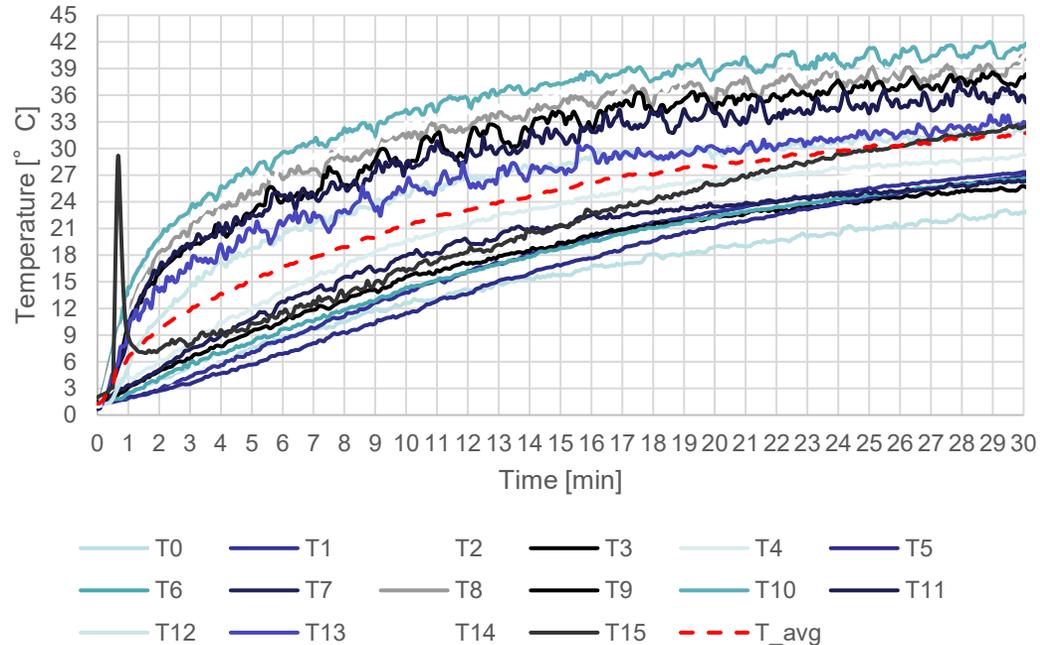
Prova 4: HVAC+HF a 0° C



Gli andamenti della temperatura misurata tramite le 16 termocoppie installate all'interno dell'abitacolo

Asse delle ascisse → Tempo
Asse delle ordinate → Temperatura

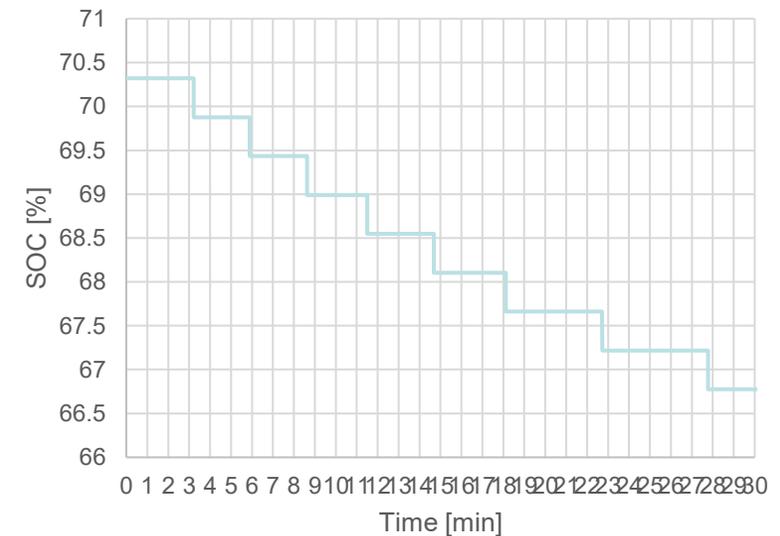
T=0° C HVAC+HF



Il consumo della batteria

Fase iniziale SOC → 70,32%
Fase finale SOC → 68,99%

T=0° C HVAC+HF



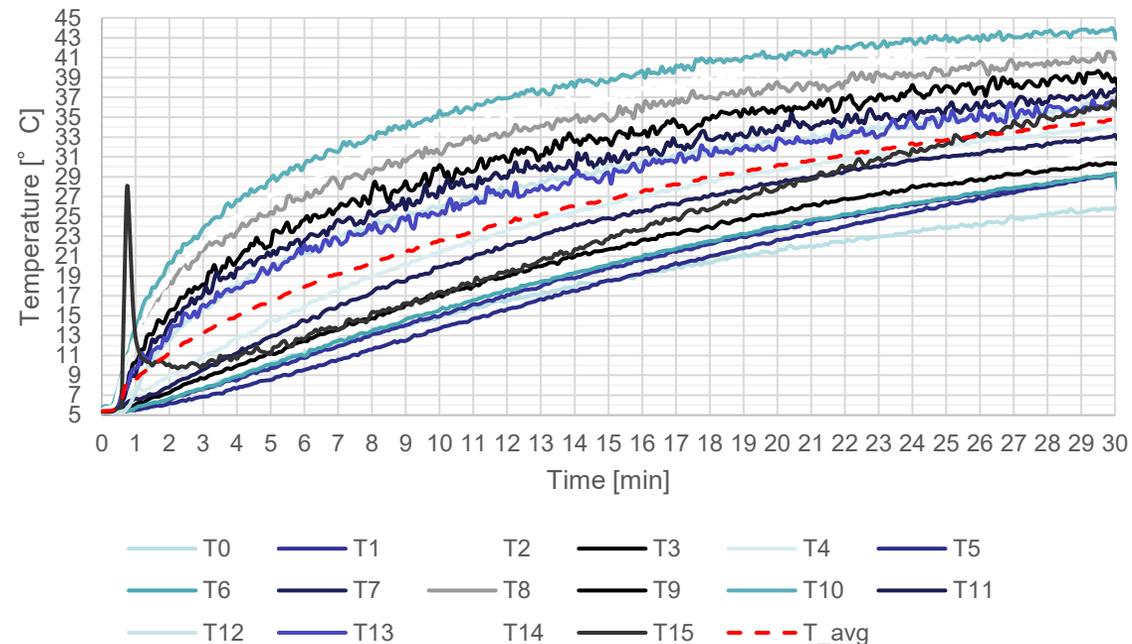
Prova 5: HVAC a 5° C



Gli andamenti della temperatura misurata tramite le 16 termocoppie installate all'interno dell'abitacolo

Asse delle ascisse → Tempo
Asse delle ordinate → Temperatura

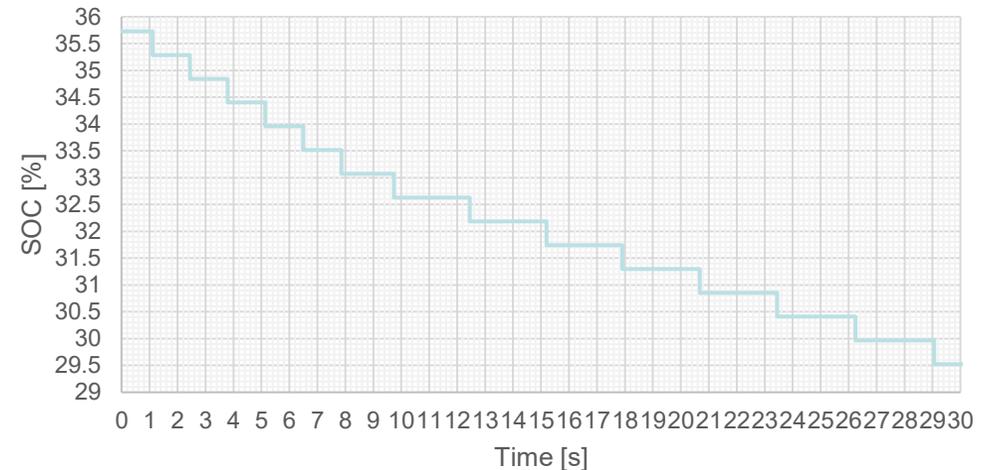
T=5° C HVAC only



Il consumo della batteria

Fase iniziale SOC → 35,73%
Fase finale SOC → 33,07%

T=5° C HVAC only ; Round 1

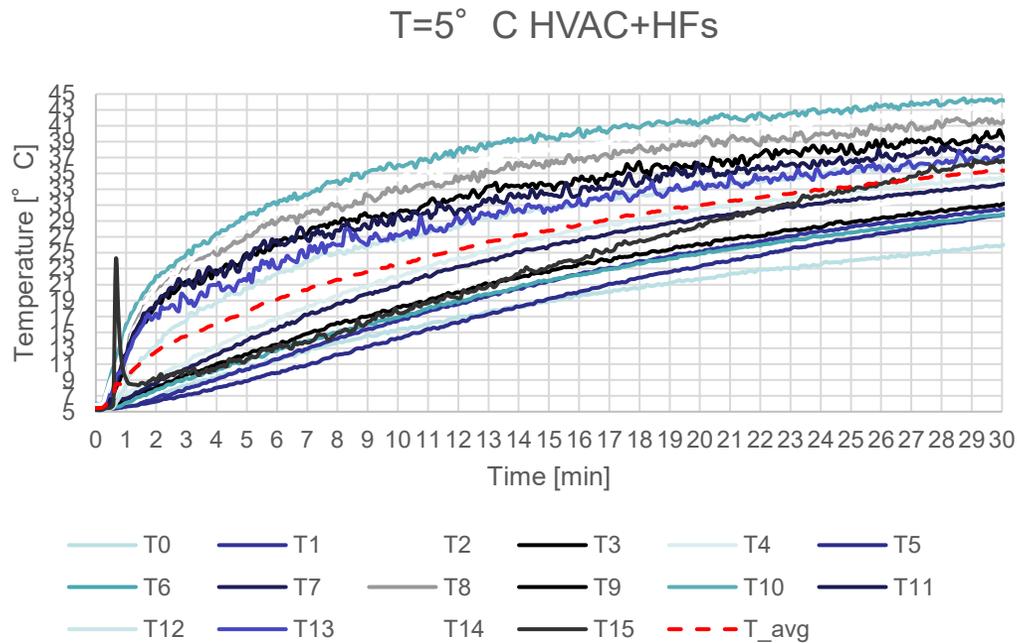


Prova 6: HVAC+HF a 5° C



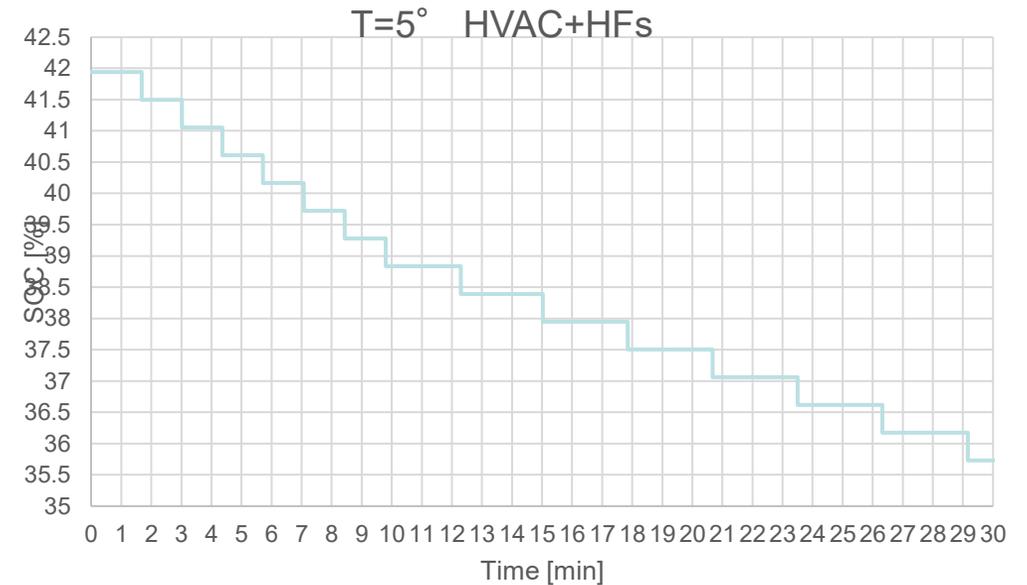
Gli andamenti della temperatura misurata tramite le 16 termocoppie installate all'interno dell'abitacolo

Asse delle ascisse → Tempo
Asse delle ordinate → Temperatura



Il consumo della batteria

Fase iniziale SOC → 41,94%
Fase finale SOC → 39,72%



Risultati delle prove



Test No.	1	2	3	4	5	6
Date	9/12/2021		16/12/2021		20/12/2021	21/12/2021
Type	HVAC+HF _s	HVAC	HVAC+HF _s	HVAC	HVAC+HF _s	HVAC
T _{env} (° C)	-5	-5	0	0	5	5
T _{start} (° C)	-1,4	-1,1	1,3	1,3	5,5	5,4
T _{end} (° C)	21,3	21,0	21,8	21,0	21,1	21,0
Δt (s)	700	820	630	740	450	515
Time saving (s)	120		110		65	
SOC _i (%)	74,31	66,33	70,32	63,67	41,94	35,73
SOC _f (%)	72,54	63,23	68,99	60,57	39,72	33,07
ΔSOC (%)	1,77	3,10	1,33	3,10	2,22	2,66
E _{HVAC} [kWh]	1,03	1,80	0,77	1,80	1,29	1,54
E _{HF} [kWh]	0,10	0,00	0,10	0,00	0,07	0,00
E_{Saving} [%]	37,22		51,7		12,18	

Conclusioni



I buoni risultati ottenuti durante le prove sperimentali incoraggiano la continuazione dello studio e confermano la validità della soluzione adottata come possibile alternativa a quelle attualmente in uso.

Esistono tuttavia alcune **limitazioni nell'approccio seguito**:

- le prove sono state eseguite in ambiente a temperatura controllata;
- le prove si sono svolte in condizioni statiche (a veicolo fermo);
- lo stato di carica iniziale della batteria non era lo stesso per ogni prova.

Alcune **osservazioni**:

- Il BMS (Battery Management System) gestisce in modo diverso il consumo di energia accumulata nella batteria a seconda dello stato di carica e delle condizioni ambientali;
- Il comportamento del sistema proposto potrebbe variare sensibilmente in condizioni dinamiche, soprattutto a velocità sostenute, a causa delle perdite convettive verso l'ambiente esterno.

Sviluppi futuri



- Ulteriori prove statiche in cella climatica
- Prove dinamiche su strada e/o in galleria del vento
- Integrazione degli heating foils nei rivestimenti interni dell'abitacolo
- Sviluppo di una logica di controllo per i riscaldatori
- Prove di comfort termico con passeggeri



Grazie per l'attenzione