

Università di Bologna
Corso di Laboratorio di Making – Dip. Di Informatica

Relazione Progetto:
“Deumidificatore Smart DIY”

Daniele Russo – mat. 0001186664

27 05 2025

Sommario

INTRODUZIONE.....	3
ANALISI DI MERCATO	3
<i>Prodotti chimici.....</i>	3
<i>Prodotti elettronici non smart.....</i>	4
<i>Prodotti elettronici smart</i>	4
DISCLAIMER.....	5
LA MIA SOLUZIONE.....	6
LISTA DEI COMPONENTI	6
PROTOTIPI CASE	6
<i>Versioning del case.....</i>	7
SCHEMA ELETTRICO	8
CODICE	9
INTERFACCIA LOCALE	9
BOT TELEGRAM	10
RACCOLTA DATI E ANALISI.....	11
<i>Collaudo.....</i>	12
<i>Consumi.....</i>	13
<i>Dimensionamento dissipatore</i>	14
<i>Rilevazioni fonometriche.....</i>	14
CONCLUSIONI	16
SVILUPPI FUTURI.....	16

Introduzione

Come studente fuorisede, mi sono scontrato con un problema comune a molti colleghi: all'interno della stanza dell'appartamento in cui vivo, l'umidità raggiungeva spesso l'80%, rendendo l'ambiente freddo e favorendo la formazione di muffa sulle pareti, nonostante i tentativi di ricambio dell'aria e i conseguenti cali di temperatura. Questa situazione mi ha spinto a cercare una soluzione pratica ed economica per risolvere tale problema. È nato così il progetto di un deumidificatore smart, progettato per essere economicamente accessibile, modulare e controllabile da remoto via smartphone. L'obiettivo è offrire a chi vive in spazi ridotti, uno strumento efficace per migliorare la qualità dell'aria, senza i costi proibitivi dei dispositivi commerciali, trasformando un disagio quotidiano in un'opportunità di innovazione concreta e replicabile. Prima di esporre la mia idea è opportuno vedere cosa ci offre il mercato, ovvero diversi prodotti con diverse funzionalità a seconda della fascia di prezzo, dai più accessibili (sotto i 35,00 €) ai medio gamma (tra i 70,00 € e i 150,00 €) fino ad arrivare ai dispositivi "smart" con connettività a costi elevati (oltre 150,00 €). Questo progetto mira a colmare il divario tra le due prime fasce, realizzando un deumidificatore smart DIY (Do It Yourself) con controllo via WiFi/Bluetooth a un costo medio di 50,00€, utilizzando componenti modulari e open-source.

Analisi di mercato

Sono stati individuati tre tipologie di prodotto in ambito deumidificazione, con tre fasce di prezzo differenti:

- Prodotti chimici
- Prodotti elettronici base
- Prodotti elettronici Premium

Per ognuna di queste categorie sono state individuate delle caratteristiche tecniche con cui poter effettuare una comparazione equa:

- **Capacità di deumidificazione**, espressa in litri al giorno.
- **Volume**: la quantità d'aria che riesce a trattare, espressa in m³.
- **Funzionalità**: quali sono le funzionalità che il prodotto ci mette a disposizione .
- **Assorbimento**: il consumo energetico, espresso in Watt.
- **Rumorosità**: quanto rumore produce l'apparecchio in funzione, espresso in dB-A.
- **Costo**: range medio dei modelli, espresso in €.

Partiamo fornendo una piccola descrizione per ognuno di queste tipologie.

Prodotti chimici

Questi prodotti (Figure 1 e Figure 2) includono sacchetti, contenitori o dispositivi ricaricabili che assorbono l'umidità tramite cristalli idrofili o gel di silice. Sono silenziosi, poiché non hanno parti meccaniche, ma hanno una capacità limitata e richiedono manutenzione, come la ricarica o la sostituzione del materiale assorbente. Spesso includono profumi, come lavanda, per neutralizzare odori. Sono ideali per spazi molto piccoli, come armadi o angoli di bagno, e non sono adatti a deumidificare intere stanze.

Caratteristiche medie riassuntive:

- **Capacità di deumidificazione**: bassa, circa 0,5 litri .
- **Volume**: piccolo, circa 15m³.
- **Funzionalità**: nessuna oltre alla deumidificazione.
- **Assorbimento**: nessuno (0W).
- **Rumorosità**: assente, senza parti meccaniche (0dB-A).
- **Costo**: il prezzo medio è stimato tra i 10 e i 30 €.



Figure 1 - Classico prodotto a base di cristalli idrofili



Figure 2 - Classiche bustine di gel silice

Prodotti elettronici non smart

Questi modelli (Figure 3 e Figure 4) sono portatili, con capacità di deumidificazione che variano dai 10 ai 20 litri al giorno, adatti per spazi fino a 30-40 m³. Offrono funzionalità come timer, display digitale per monitorare l'umidità, ruote per facilitare lo spostamento e serbatoi d'acqua estraibili da 1 a 2 litri, con possibilità di drenaggio continuo. Il consumo energetico è medio-alto. Il livello di rumore varia, ma si attesta intorno ai 35-60 dB, rendendoli adatti anche per uso notturno.

Caratteristiche medie riassuntive:

- **Capacità di deumidificazione:** 10-20 litri al giorno.
 - Capacità serbatorio: 1L-2L.
- **Volume:** fino a 30-40 m³.
- **Funzionalità:** timer, display digitale, ruote, serbatoio estraibile, drenaggio continuo.
- **Assorbimento:** 90-400 W.
- **Rumorosità:** 35-60 dB-A.
- **Costo:** il prezzo medio stimato è tra i 60,00€ e i 180,00 €.



Figure 3 - Deumidificatore CONOPUPlus 3L



Figure 4 - Deumidificatore TUKIMA 1,8L

Prodotti elettronici smart

Questi modelli (Figure 5 e Figure 6) preservano tutte le funzionalità dei deumidificatori elettronici, aggiungendo il controllo remoto via smartphone, notifiche sull'umidità e integrazione con sistemi domotici. La capacità di deumidificazione può arrivare fino a 60 litri al giorno, con serbatoi a partire da 2 litri e drenaggio continuo. Sono adatti per spazi fino a 50-60 m³. Il consumo energetico è simile ai modelli elettronici, ma spesso ottimizzato per l'efficienza grazie alle funzionalità smart.

Caratteristiche medie riassuntive:

- **Capacità di deumidificazione:** 20-60 litri al giorno.
 - Capacità serbatorio: 2L-6L.
- **Volume:** fino a 50-60 m³.
- **Funzionalità:** controllo remoto via app, compatibilità con Alexa/Google Assistant, timer, display digitale, ruote, serbatoio estraibile, drenaggio continuo.
- **Assorbimento:** 200W-800W, con ottimizzazioni smart.
- **Rumorosità:** simile, intorno ai 40-50 dB.
- **Prezzo medio:** il prezzo medio è stimato tra i 150 e i 400 €.



Figure 5 - Deumidificatore Pro Breeze 4L



Figure 6 - Deumidificatore Klarstein 2,5L

Disclaimer

I produttori testano i deumidificatori in condizioni controllate: temperature stabili (es. 27°C), umidità elevata (80-90%) e ambienti sigillati. Questi parametri, però, raramente replicano l'uso domestico.

Ad esempio:

- Uno studio di Energy Vanguard su un deumidificatore GE ha evidenziato questa discrepanza, infatti, mentre la scheda tecnica indicava un valore di deumidificazione pari a **52 litri/giorno**, i test reali hanno registrato appena **38 litri**, con funzionamento continuo in una stanza con porte aperte, temperature variabili durante l'arco della giornata e umidità inferiore al 60%¹.
- Il consumo energetico, pertanto, può aumentare del 20-30% se il dispositivo lavora ininterrottamente per compensare prestazioni inferiori a quelle attese.

Fonti esperte confermano che le specifiche vanno interpretate con spirito critico:

1. **ENERGY STAR:** dal 2019, i test ufficiali simulano condizioni più realistiche (es. 18°C invece di 27°C), smascherando l'inefficacia di molti modelli²;
2. **Consumer Reports:** il 18% dei deumidificatori sviluppa guasti entro 5 anni, spesso legati a componenti critiche come pompe d'acqua o compressori, che compromettono le prestazioni promesse³.

¹ Energy Vanguard – Studio sull'efficienza reale dei deumidificatori -

<https://www.energyvanguard.com/blog/measuring-the-efficiency-of-a-room-dehumidifier/>

² Modifiche normative del DOE - https://www.energystar.gov/products/dehumidifier_testing_and_capacity

³ Consumer Reports – Studio sull'affidabilità dei deumidificatori -

<https://www.consumerreports.org/appliances/dehumidifiers/most-and-least-reliable-dehumidifier-brands-a1116513556/>

La mia soluzione

L'idea è quella di poter costruire il proprio deumidificatore con la minor spesa possibile. Ovviamente, per raggiungere tali risultati, è stato effettuato uno studio approfondito dei fenomeni termico-igrometrici in gioco e sono stati sviluppati diversi prototipi del case per poter arrivare a un risultato accettabile e funzionante. Per conciliare tale idea con i principi di riutilizzo, sono stati utilizzati diversi componenti derivati da una scheda madre con socket AM2, che altrimenti sarebbe stata smaltita.

Lista dei componenti

Per la realizzazione del progetto sono necessari i seguenti componenti:

Articolo	Quantità	Prezzo Amazon	Prezzo aliexpress
Esp32	1	6,5 €	2,59 €
Sensore AHT25	2	7,99 €	3,64 €
Modulo relè	1	1,52 €	2,89 €
Level shifter 3,3v 5v	1	1,4 €	0,11 €
Multiplexer I2C	1	1,6 €	0,42 €
Alimentatore 12V 5A	1	14,98 €	7,39 €
DC-DC stepdown converter	1	2,8 €	1,27 €
Cella Peltier TEC1-12706	1	4,5 €	2,06 €
Totale		41,29 €	20,37 €

La Scheda Madre AM2 è una ASROCK N68-S ed è reperibile su eBay per circa 25,00€.

Ai fini di facilitare la prototipazione si è scelto l'acquisto dei componenti su Amazon, il quale, non essendo un rivenditore al dettaglio, ha consentito l'acquisto di un numero maggiore di pezzi, utili sia in caso di problemi sia per realizzare altri prototipi su richiesta.

I costi realmente sostenuti sono stati:

Articolo	Quantità	Prezzo
Alimentatore 12V 5A	1	14,98 €
ESP32	3	23 €
DC-DC stepdown	2	5,59 €
Sensore AHT25	2	7,99 €
Cella Peltier TEC1-12706	2	9,00 €
Multiplexer I2C	5	8 ,00€
Level shifter 3,3v 5v	5	7 ,00€
Totale		75,56 €

Prototipi case

Sono state realizzate tre versioni del case, in quanto, a seguito di test, si sono effettuate delle migliorie al modello iniziale. Il modello è stato pensato in maniera da essere modulabile, sia per facilitare la stampa, sia per velocizzare la prototipizzazione, con il fine di non dover ristampare tutto per apportare una singola modifica. Il modello è composto da:

- **Bicchiere superiore:** dove vengono racchiusi i dissipatori con la ventola, la cella Peltier e i due sensori di temperatura, uno per il lato caldo e uno per il lato freddo.
- **Bicchiere intermedio:** dove c'è il convogliatore di acqua con l'ugello di espulsione dell'acqua.
- **Bicchiere inferiore:** dove è contenuta tutta l'elettronica e la logica di funzionamento.

Versioning del case

Bicchiere superiore

Le varie versioni hanno riportato i seguenti difetti:

- Versione 1: mancanza di un fissaggio per il radiatore.
- Versione 2: mancanza di una separazione tra lato aria calda e fredda. Questo portava all'evaporazione dell'acqua precedentemente condensata, vista la temperatura di $\sim 50^\circ$ nel bicchiere superiore.
- Versione 3: valutando l'aerodinamica di una ventola (Figure 7), si è deciso di cambiare anche il disegno per l'area in ingresso, affinché migliori l'air flow. Per la modifica della parte superiore ci si è basati sulle seguenti simulazioni del flusso.

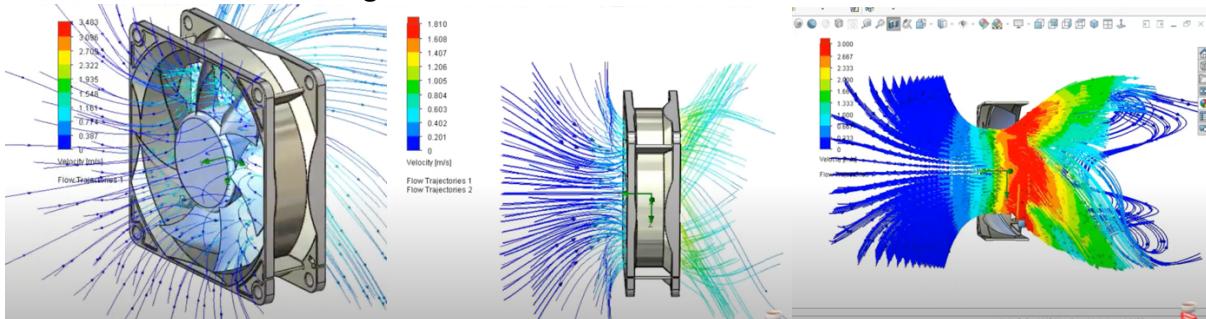
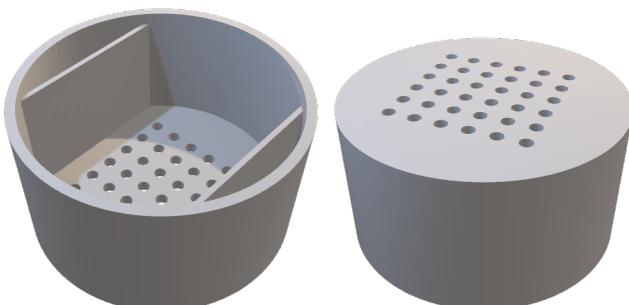


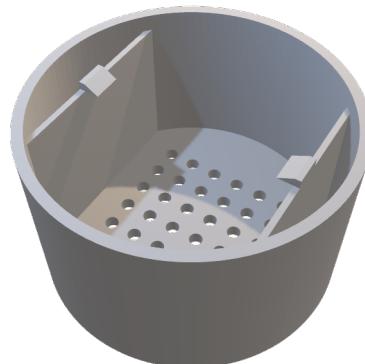
Figure 7 - Aerodinamica di una ventola

Di seguito sono riportati i modelli delle varie versioni:

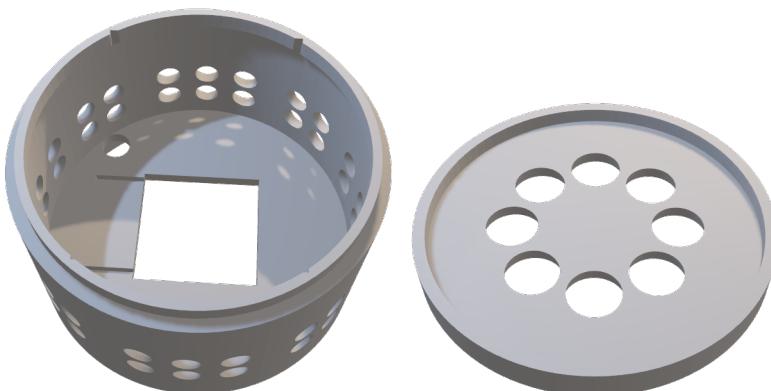
Versione 1



Versione 2



Versione 3



Bicchiere intermedio

Le varie versioni hanno riportato i seguenti difetti:

- Versione 1: mancanza del foro passacavi.
- Versione 2: il foro passacavi era troppo piccolo e il piano inclinato era troppo poco spesso, portando a poca rigidità del piano.

Di seguito sono riportati i modelli delle varie versioni:

Versione 1



Versione 2



Bicchiere inferiore

La prima versione ha riportato dei difetti, quali: uno spazio interno molto ridotto e la mancanza di fori di ventilazione. Di seguito sono riportati i modelli delle varie versioni:

Versione 1



Versione 2



Schema elettrico

Lo schema elettrico raffigurato in Figure 8 è il frutto di due iterazioni di progettazione. La prima risultava inefficace in quanto le connessioni dei sensori, del modulo relè e del multiplexer, erano state collegate alla 3,3V e l'ESP32 non era in grado di erogare tensione sufficiente per tutti. Ciò portava ad una caduta di tensione e allo spegnimento del sistema. Tale problematica si è risolta collegando tutti i sensori e attuatori alla 5V, ottenendo il seguente schema.

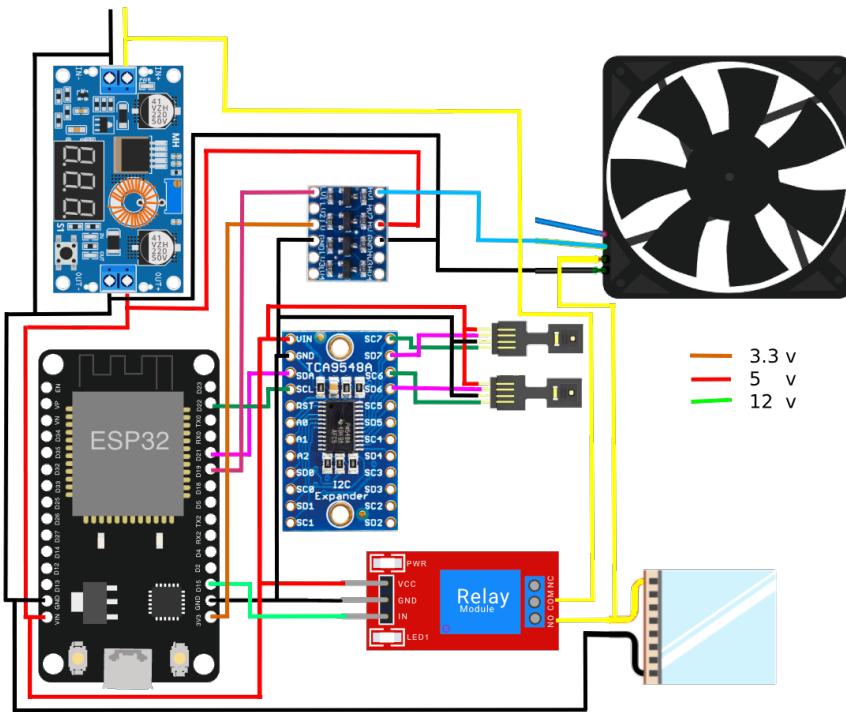


Figure 8 - Schema circuito elettrico deumidificatore

Codice

Il codice è reperibile alla seguente repository Git-Hub:

https://github.com/DanyR2001/Laboratorio_di_making/tree/main

Attraverso Arduino IDE, è possibile flashare il codice. Inoltre, nella repository sono reperibili il codice per il testing ambientale oltre ai vari file .stl pronti per la stampa.

Interfaccia Locale

Una volta avviato il deumidificatore, attraverso il mapping DNS non è necessario conoscere l'IP del dispositivo, ma basta connettersi attraverso il browser all'indirizzo

<http://esp32.local/>

per avere accesso all'interfaccia web, dalla quale è possibile controllare il dispositivo.

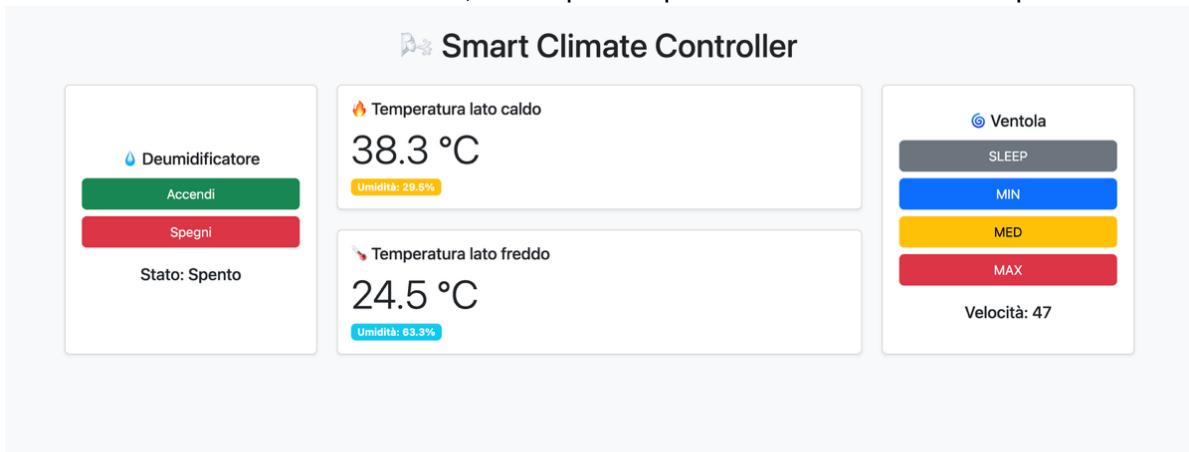


Figure 9 - Interfaccia locale deumidificatore

Da questa schermata (Figure 9) possiamo spegnere e riaccendere il deumidificatore, vedere le temperature dei sensori posti sulle masse radianti, sia dal lato caldo che dal lato freddo, e settare la velocità della ventola.

Bot Telegram

Per creare il Bot bisogna andare su Telegram e cercare “BotFather”. Questo Bot ci permetterà di creare il nostro Bot, la lista dei comandi, la descrizione e altre impostazioni, come si può vedere in Figure 10 e Figure 11:



Figure 10 - Creazione di Bot



Figure 11 - Aggiunta informazioni Bot

Gli utenti possono usufruire degli stessi servizi sopra citati, anche da remoto. Per evitare modifiche malevoli, viene fatto un controllo sull’ID Telegram. Questo ID va aggiunto nel file config.h. Il risultato finale è il seguente:



Raccolta Dati e Analisi

Per verificare il corretto funzionamento teorico del progetto, si è analizzato il fenomeno di condensazione dell'acqua tramite il diagramma psicrometrico (Figure 12), che mostra come in ambiente invernale (20 °C e umidità relativa 80%) sia necessario portare la temperatura a circa 16 °C per iniziare a condensare.

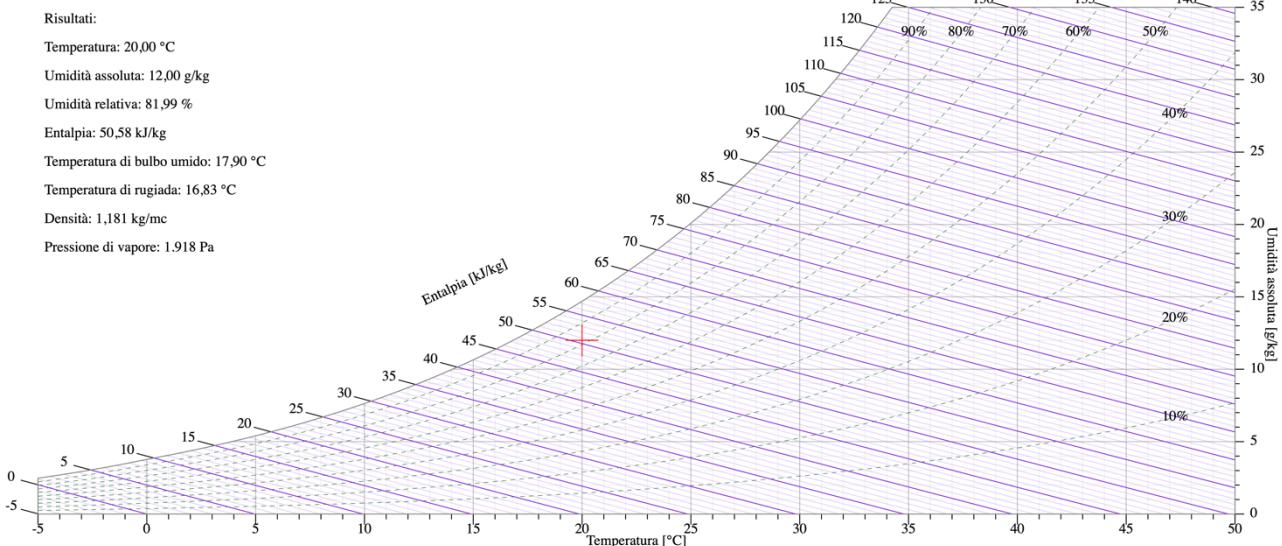


Figure 12 - Diagramma psicrometrico

Le misure effettuate con la termocoppia sul lato freddo del dissipatore, hanno evidenziato una temperatura variabile tra 0 °C e 18 °C, in funzione della velocità della ventola e della potenza assorbita dalla cella Peltier. In particolare:

- Con la velocità massima della ventola, il lato freddo può raggiungere da 0 a 1 °C (come si può vedere in Figure 13), ma ciò porta alla formazione di brina (ghiaccio), che ostacola lo scambio termico e impedisce la raccolta dell'acqua liquida.



Figure 13 - Misurazione temperatura radiatore lato freddo con la massima velocità della ventola

- In condizioni normali (Figure 14), con velocità media o al minimino, si mantiene una temperatura compresa tra gli 8 °C e i 18 °C, sufficiente per condensare l'umidità e mantenerla tra il 55% e il 65%, ideale per uso domestico.



Figure 14- Misurazione temperatura radiatore lato freddo con velocità media della ventola

Collaudo

In data 15/05/2025 si è effettuata una prova di utilizzo tramite un altro ESP per misurare la temperatura e l'umidità ambientale. Contestualmente si è aggiornato il codice del deumidificatore per esporre un metodo in locale attraverso il quale poter acquisire la temperatura e l'umidità dei vari sensori. Questo metodo è richiamabile in modalità GET al seguente indirizzo:

<http://eps32.local/localSensors>.

Questo lavoro di circa dieci ore ha prodotto il grafico in Figure 15, il quale riporta l'umidità presente nei radiatori, sia dal lato caldo che da quello freddo, ottenuta grazie al metodo GET .

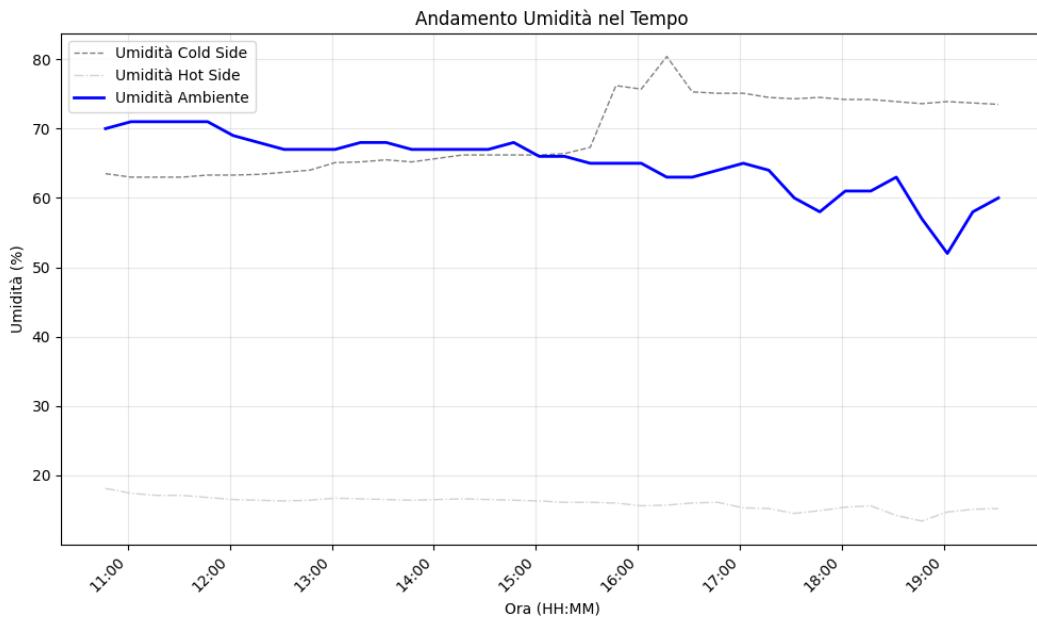


Figure 15 - Grafico andamento umidità giornaliero

Come si può vedere, il trend dell'umidità è in discesa e questa diminuisce di circa il 10%, che per una stanza di circa 50 m^3 equivale a rimuovere 150ml di vapore acqueo. C'è da notare che questo non è un buon periodo per effettuare un collaudo accurato, in quanto le temperature esterne e l'umidità non sono particolarmente rilevanti come in inverno o in estate. Inoltre, non si può escludere che non siano stati commessi errori strumentali e ambientali, nonostante la

massima attenzione posta nel ridurre al minimo le interazioni sia con l'esterno che con la camera.

Consumi

In Figure 16 è riportata una sintesi visiva delle principali caratteristiche prestazionali di una cella Peltier, in funzione della corrente applicata e dello sbalzo termico tra lato caldo e lato freddo. Il pannello è suddiviso in quattro grafici:

1. Potenza frigorifera (Q^c) vs ΔT : mostra come la capacità di asportazione di calore dal lato freddo diminuisca linearmente all'aumentare della differenza di temperatura, per diverse correnti di alimentazione.
2. Potenza di scarto (Q^h) vs ΔT : evidenzia il calore complessivo rilasciato sul lato caldo, che dipende sia dall'energia elettrica consumata sia dal calore estratto, e come questo tenda a ridursi con ΔT crescente.
3. Tensione di alimentazione (V_{in}) vs ΔT : illustra la leggera crescita della caduta di tensione necessaria a mantenere la corrente impostata, man mano che la cella affronta uno sbalzo termico più elevato.
4. Coefficiente di prestazione (COP) vs I: permette di identificare per ogni ΔT la corrente ottimale che massimizza l'efficienza del modulo Peltier, evidenziando il rapido degrado del COP se si eccede la corrente ideale.

Questi grafici, presi nel loro insieme, forniscono un quadro esaustivo per dimensionare correttamente la cella Peltier, bilanciare potenza di raffreddamento ed efficienza energetica, e scegliere il punto di funzionamento più vantaggioso in base alle esigenze di applicazione.

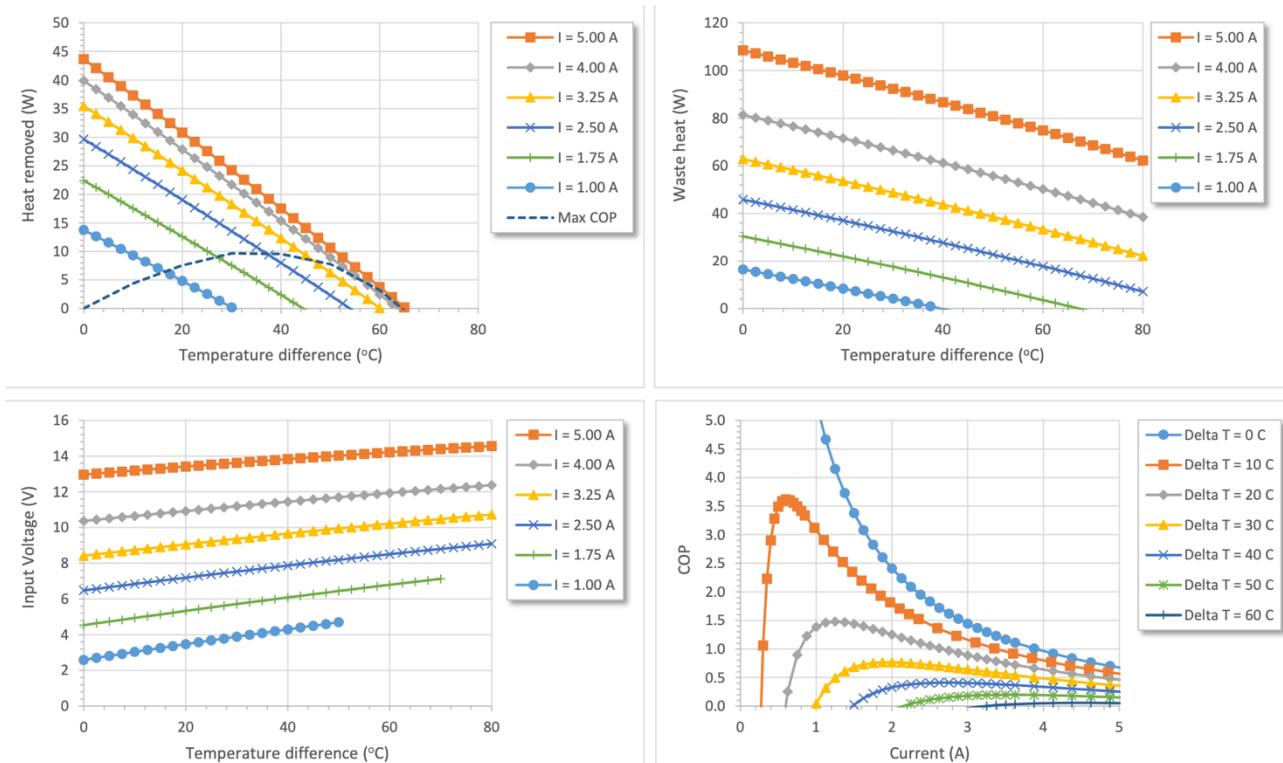


Figure 16 - Grafici specifiche cella Peltier

Le prestazioni della cella Peltier sono state analizzate a $\Delta T \approx 35^\circ\text{C}$:

- A 1A si ottengono solo ~2 W di raffreddamento ma con COP $\approx 2,0$,
- Nella zona ottimale (2,0–2,5 A) si raggiungono 7–12 W di raffreddamento con COP compreso tra 0,7 e 0,8,

- Spingendosi a 5A, si possono ottenere fino a 20 W, ma il COP crolla sotto 0,4, rendendo l'uso poco efficiente.

Pertanto, in configurazione 12 V × 5 A con dissipatore da 80–95 W, la scelta più bilanciata resta lavorare tra 2,0 e 2,5 A, ottenendo circa 10 W di potenza di raffreddamento con consumi contenuti e condensa liquida facilmente gestibile.

Dimensionamento dissipatore

I dissipatori del lato caldo e del lato freddo sono stati presi da una scheda madre ASROCK N68-S (Figure 17), e sono rispettivamente evidenziati in rosso e in blu.



Figure 17 - Scheda madre ASROCK N68-S

Il dissipatore è pensato per una CPU da 95 W TDP (Thermal Design Power), quindi è dimensionato per smaltire in sicurezza i circa 90 W totali, prodotti da una cella Peltier. Quest'ultima è da 60 W elettrici, con COP medio di 0,5, e riesce a mantenere la temperatura sotto i 50 °C anche in pieno regime. Probabilmente il dissipatore per il lato freddo è leggermente sottodimensionato.

Rilevazioni fonometriche

Per valutare l'impatto acustico del deumidificatore durante il funzionamento, sono state effettuate misurazioni del livello sonoro emesso alle diverse velocità di ventilazione. Le misurazioni sono state eseguite utilizzando un telefono non calibrato, posizionato a una distanza standard di 1 metro dal dispositivo, utilizzando l'applicativo [Decibel X](#).

Il livello sonoro è stato misurato in dBA (decibel ponderati A), che rappresenta l'unità di misura comunemente utilizzata per quantificare il rumore ambientale. La scala dBA applica una ponderazione che riflette la sensibilità dell'orecchio umano alle diverse frequenze, attenuando le frequenze molto basse e molto alte a cui l'udito è meno sensibile (Figure 18).

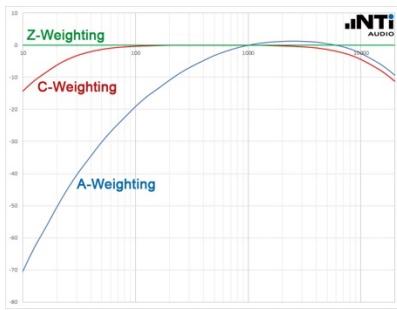
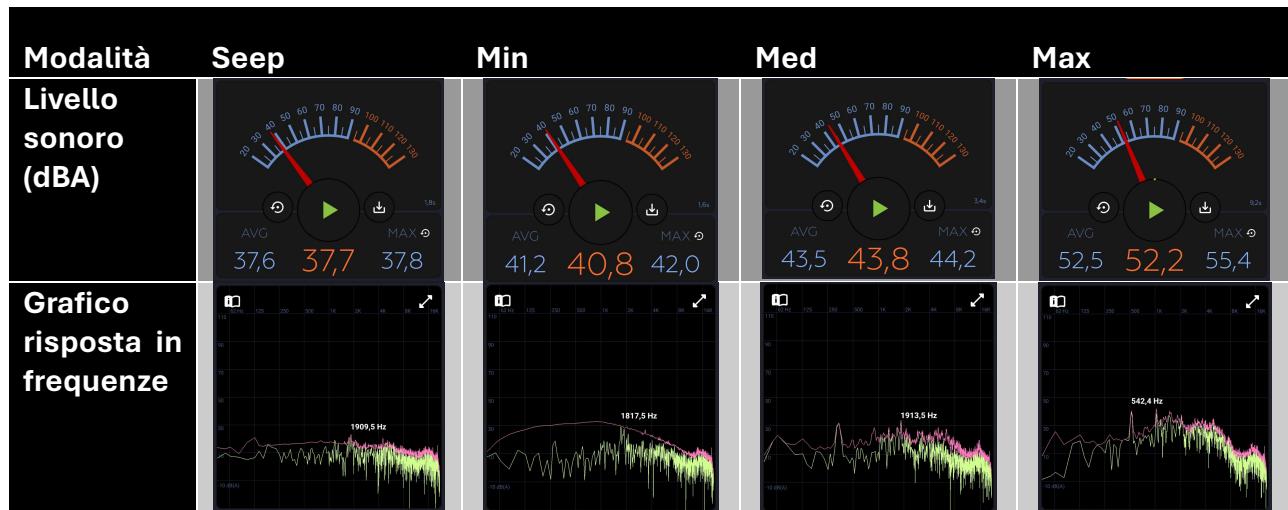


Figure 18 - Misurazioni pesate del suono

Questa metrica è particolarmente rilevante per valutare il comfort acustico in ambienti domestici, dove è importante considerare la percezione soggettiva del rumore da parte degli utenti. Per contestualizzare i risultati, si consideri la seguente classificazione:

- 30 dBA: equivalente a un sussurro o al rumore di fondo di una biblioteca;
- 40 dBA: paragonabile a una conversazione a basso volume;
- 50 dBA: simile al rumore di un condizionatore domestico o di un frigorifero;
- 60 dBA: paragonabile a una normale conversazione;
- 70 dBA: livello di un aspirapolvere o di un traffico stradale moderato;

I risultati delle misurazioni alle diverse velocità di funzionamento sono i seguenti:



I risultati mostrano che anche alla massima velocità, il dispositivo mantiene un profilo acustico accettabile per un ambiente domestico (52 dBA), paragonabile a un condizionatore di qualità medio-alta. La modalità Sleep, con 37,7 dBA, risulta adatta per l'uso notturno, essendo relativamente silenziosa e paragonabile al rumore di fondo di un ambiente tranquillo. Le modalità intermedie (Min e Med), con livelli sonori rispettivamente di 40 e 43 dBA, offrono un ottimo compromesso tra prestazioni di deumidificazione e comfort acustico, restando al di sotto della soglia di disturbo tipica di una normale conversazione.

Nel complesso, il profilo sonoro del deumidificatore DIY risulta competitivo rispetto ai prodotti commerciali della stessa categoria, che tipicamente operano tra i 35 e i 60 dBA alla massima potenza, confermando la validità della progettazione anche sotto l'aspetto del comfort acustico.

Conclusioni

Dall'intero percorso di progettazione, caratterizzazione e test si evince che il deumidificatore basato su cella Peltier ha raggiunto il massimo delle prestazioni fisicamente possibili per questa tecnologia. Con un singolo modulo alimentato a 12 V/5 A e un dissipatore CPU da 80–95 W TDP, il sistema opera al suo punto di equilibrio ottimale (2,0–2,5 A), garantendo circa 10 W di potenza di raffreddamento e un'efficace estrazione di umidità (0,3–0,4 L/giorno), con consumi contenuti. Nei prodotti commerciali mid-range e high-end si osserva quasi sempre l'impiego di due moduli Peltier in cascata o di dissipatori di dimensioni molto più grandi, proprio per superare i limiti intrinseci di potenza e rendimento termico di un singolo modulo. Inoltre, facendo reverse engineering non si è potuto non notare il posizionamento verticale del modulo, e non orizzontale come nella soluzione proposta, oltre ad uno specifico radiatore con una forma di parallelepipedo (Figure 19) atta a massimizzare la caduta dell'acqua.



Figure 19 - Dissipatori specifici per deumidificatori

Il progetto del deumidificatore presentato dimostra quindi di essersi spinto al limite di quanto ragionevolmente ottenibile con un design DIY: aggiungere ulteriori celle o aumentare drasticamente la superficie di scambio porterebbe sì a un maggior raffreddamento, ma a costi, complessità e inefficienze che vanificherebbero il vantaggio di un dispositivo compatto, silenzioso ed economico. In conclusione, l'architettura qui proposta rappresenta il best-in-class per soluzioni Peltier mono-modulo in ambito domestico, confermando la validità dell'approccio “smart DIY” e ponendo un solido termine di paragone per futuri sviluppi tecnologici.

Sviluppi futuri

Il pregio più grande di questo progetto risiede nella sua natura completamente open-source e modulare, che consente a chiunque – appassionati, maker o piccole realtà produttive – di prendere quello che si è fatto e personalizzarlo a piacimento. Tra i possibili sviluppi futuri, un primo filone consiste nell'implementare una scheda SD o un servizio cloud per lo storico dei dati di temperatura e umidità, corredata da dashboard e grafici che mostrino l'andamento nel tempo e facilitino l'analisi delle prestazioni stagionali. Un secondo ambito di miglioramento riguarda l'hardware: si potrebbe sperimentare un dissipatore di dimensioni maggiori, magari con heat-pipe integrate, fino all'adozione di un sistema a doppia cella Peltier in configurazione cascata o parallela, per spingere ulteriormente il fronte freddo mantenendo una buona efficienza complessiva. Infine, sul versante software, un'interfaccia web più evoluta o un'app mobile dedicata potrebbero offrire una serie di controlli avanzati – programmazioni orarie, notifiche push al superamento di soglie, algoritmi di apprendimento per ottimizzare automaticamente duty-cycle e cicli di sbrinamento – trasformando il deumidificatore smart DIY in una piattaforma realmente “intelligente” e scalabile.