

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione
Corso di Laurea in Ingegneria Elettronica

Relazione per la prova finale
Progettazione e realizzazione di un sistema di
monitoraggio remoto per arnie

Relatore: Prof. Buso Simone

Laureando: Grizzo Nicola
Matricola n.: 1229028

Padova, 13/03/2026

Le api (*Apis Mellifera*) svolgono un ruolo fondamentale negli ecosistemi e nell'agricoltura.

- 17 milioni di alveari nell'Unione Europea
- 600.000 apicoltori





Criticità delle ispezioni tradizionali

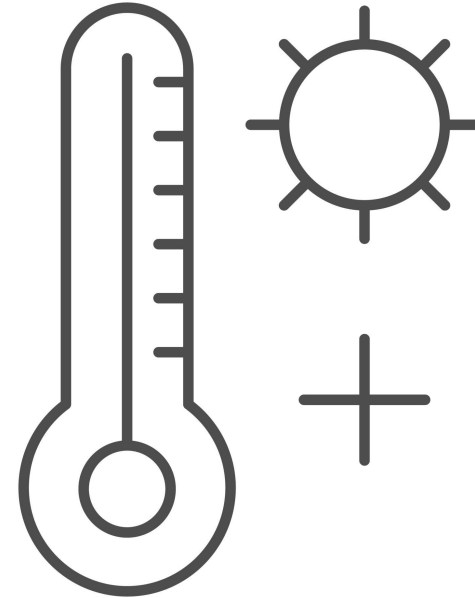
- Controlli a intervalli discreti
- Disturbo della colonia a ogni apertura
- Valutazioni spesso qualitative e soggettive

Vantaggi sistemi di monitoraggio elettronici

- Monitoraggio continuo
- Accesso remoto
- Misure oggettive
- Interventi mirati

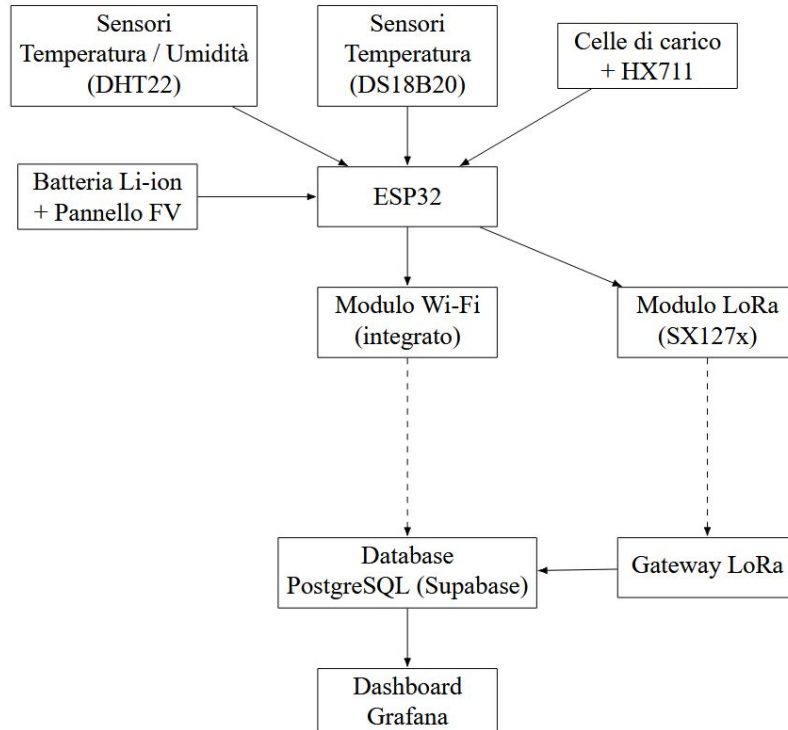
Progettazione e realizzazione di un sistema elettronico per:

- Misura continua di:
 - Temperatura e umidità ambientali
 - Temperatura interna (più punti)
 - Peso dell'aria
- Trasmissione remota dei dati
- Alimentazione autonoma



DESCRIZIONE DEL LAVORO

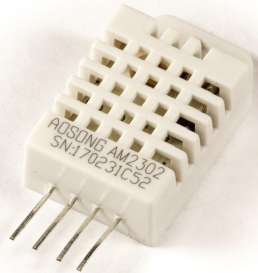
Architettura del sistema



Blocchi principali:

- Sensori
- Microcontrollore ESP32
- Moduli di comunicazione
- Sistema di alimentazione
- Database cloud
- Dashboard Grafana

- DHT22 - Temperatura e umidità dell'aria esterna e interna (principale)
- DS18B20 - Temperatura interna (più punti)



Convertitore analogico digitale HX711

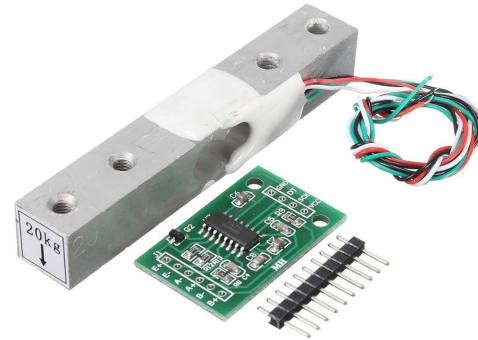
Celle planari

- Forte dipendenza termica
- Non lineare
- Oscillazioni di centinaia di grammi



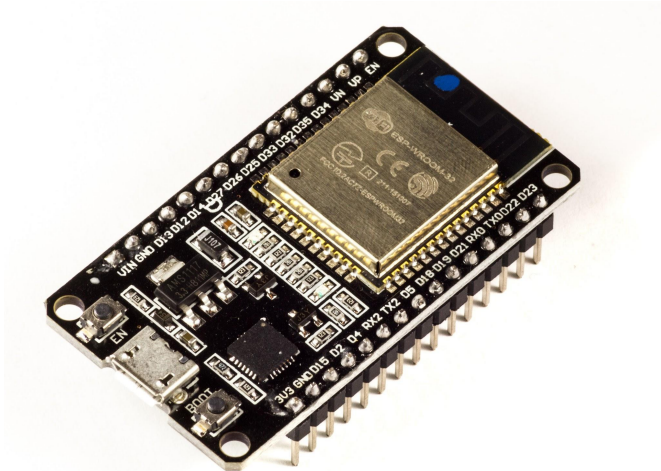
Celle a barra

- Deriva $\sim 5\text{g}/^\circ\text{C}$
- Andamento lineare
- Potenzialmente compensabile



DESCRIZIONE DEL LAVORO

Microcontrollore ESP32



- WiFi integrato
- Bassi consumi in deep-sleep
- Supporto periferiche digitali e ADC
- Framework: ESP-IDF



WiFi

- Invio diretto a database PostgreSQL (Supabase)
- Elevato consumo energetico



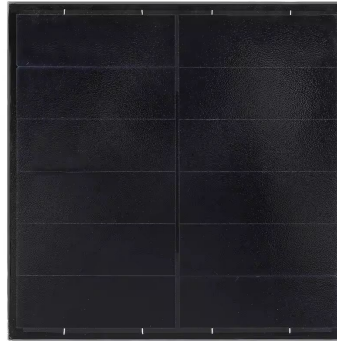
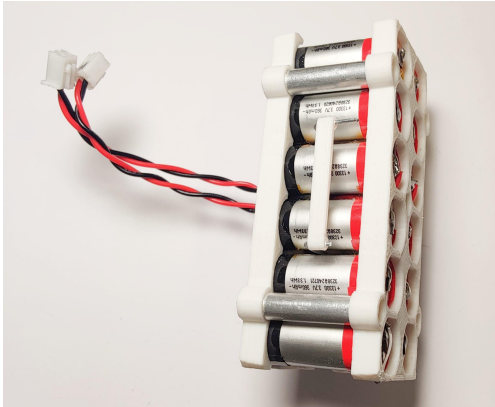
LoRa (SX1278)

- Basso consumo
- Lungo raggio
- Rispetto EN 300 220

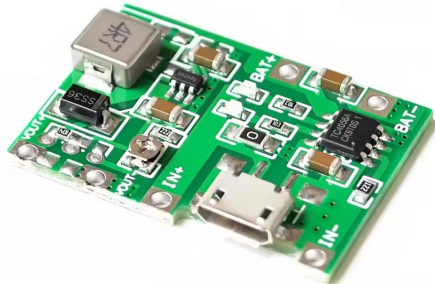


DESCRIZIONE DEL LAVORO

Sistema di alimentazione autonomo



- Batteria Li-ion ~3520mAh effettivi
- Pannello fotovoltaico 6V 5W
- Carica + protezione - TC4056A
- Boost converter 5V - SDB628
- Regolatore 3,3V - LM1117



Livello driver/componenti

- Sensori
- Moduli radio

Livello applicativo

- Acquisizione dati
- Gestione comunicazione
- Struttura dati misure

Controllo principale

- Sequenza operativa
- Deep-sleep





- Database Supabase
- Visualizzazione tramite Grafana
- Accesso remoto ai dati
- Storico e analisi temporale



CONCLUSIONI

Valutazione dei sensori

DHT22

- Letture accurate e affidabili

DS18B20

- Variabilità tra sensori contenuta, letture affidabili

HX711 + celle planari

- Sensibilità elevata a variazioni di temperatura. Non utilizzate

HX711 + celle a barra

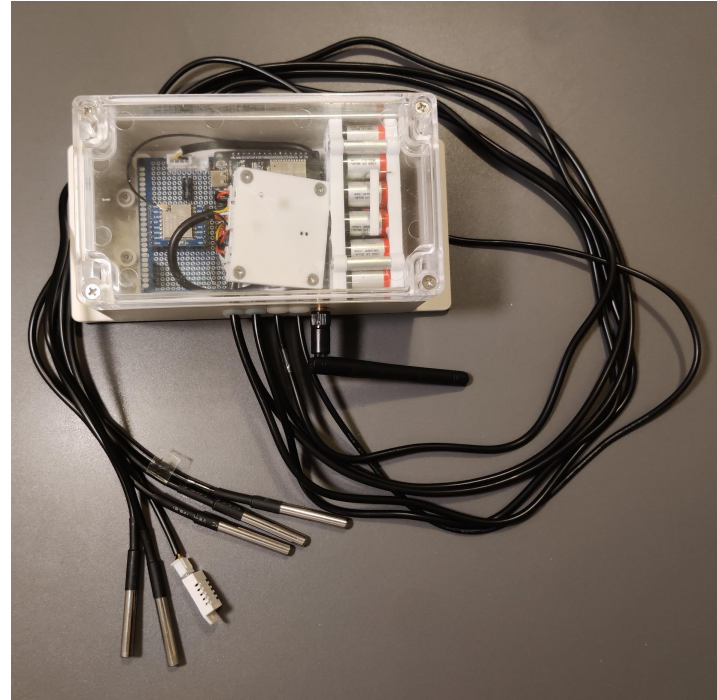
- Comportamento lineare e dipendenza dalla temperatura compensabile



CONCLUSIONI

Considerazioni finali

- Sistema stabile nel tempo
- Comunicazione affidabile
- Alimentazione autonoma
- Monitoraggio non invasivo
- Supporto oggettivo alla gestione dell'arnia
- Acquisizione competenze embedded e IoT



CONCLUSIONI

Sviluppi futuri



- Test prolungati su arnie reali
- Compensazione termica del peso
- Integrazione reti multi-nodo LoRa
- Gestione salvataggio dati in caso di interruzione della comunicazione

