



UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTA' DI INGEGNERIA

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Elettronica

**STUDIO, SVILUPPO E VALIDAZIONE SPERIMENTALE DI UN SISTEMA MULTISENSORE
WIRELESS PER L'IAQ**

**STUDY, DEVELOPMENT AND EXPERIMENTAL VALIDATION OF A WIRELESS
MULTISENSOR SYSTEM FOR IAQ**

Relatore:

Prof. Ennio Gambi

Tesi di Laurea di:

Giorgia Pellicciari

Correlatrice:

Prof.ssa Susanna Spinsante

A.A. 2021 / 2022

INDICE

INTRODUZIONE	4
OBIETTIVI	7
1) ACQUISIRE ED ELABORARE I DATI RACCOLTI DAI MULTI-SENSORI CON TECNOLOGIA <i>COOKING CARE</i>	7
2) CARATTERIZZARE IL SENSORE VOC UTILIZZATO NELLA TECNOLOGIA <i>COOKING CARE</i> MEDIANTE IL CONFRONTO CON I DATI ACQUISITI DAL PTR-MS (PROTON TRANSFER REACTION – MASS SPECTROMETRY).	7
3) REALIZZARE UN SISTEMA WIFI DA UTILIZZARE NEL FIELD TEST CHE PERMETTA L’INVIO DEI DATI ACQUISITI DAL MULTI-SENSORE AL CLOUD ELICA.	8
DESCRIZIONE DEL SISTEMA	9
I. COOKING CARE SENSOR.....	9
➤ <i>Dimensioni meccaniche</i>	9
➤ <i>Layout</i>	10
➤ <i>Schematico</i>	11
➤ <i>Bill of materials</i>	12
➤ <i>Sensore di VOC</i>	12
• Descrizione del prodotto.....	13
• Principio di funzionamento.....	13
• Specifiche tecniche.....	14
• Layout.....	15
• Descrizione Hardware.....	15
• Estratto dello schematico relativo al sensore VOC.....	16
➤ <i>Sensore di Temperatura e Umidità</i>	17
• Descrizione del prodotto.....	17
• Principio di funzionamento.....	18
• Specifiche tecniche.....	18
• Layout e dimensioni meccaniche.....	19
• Estratto dello schematico relativo al sensore temperatura e umidità.....	20
➤ <i>Sensore di particolato</i>	21
• Descrizione del prodotto.....	21
• Principio di funzionamento.....	21
• Specifiche tecniche.....	22
• Estratto dello schematico relativo al sensore di particolato.....	23
➤ <i>Caratteristiche elettriche, termiche e consumo in standby</i>	24
• Misure a banco.....	24
• Misure in applicazione.....	25
➤ <i>Alimentazione e comunicazione dati</i>	28
• Alimentazione attraverso main board.....	28
• Alimentazione da Seriale.....	29
II. SETUP DI SVILUPPO.....	30
➤ <i>Setup 1: Validation Plan</i>	30
• Sensore con tecnologia <i>Cooking Care</i>	30
• Real-Time DataLogger.....	31
➤ <i>Setup 2: Field Test</i>	33
• Modulo WIFI ESP8266-01S (AZ-delivery).....	35
a. Descrizione.....	35
b. Modalità di funzionamento.....	35

c.	Schematico	36
d.	Layout	36
e.	Pinout e Setup utilizzato	37
f.	Comunicazione	37
g.	Specifiche tecniche	37
•	Elegoo Mega2560 R3 e FieldTest.ino	38
a.	Descrizione	38
b.	Specifiche tecniche board Elegoo Mega2560 R3	39
c.	Shield con Card SD e Display OLED	40
•	Collegamento Elegoo Mega2560 R3 con ESP8266-01S	40
PROTOCOLLO DI COMUNICAZIONE ONE-WIRE		42
I.	PROTOCOLLO DI COMUNICAZIONE 1-WIRE	42
II.	PROTOCOLLO DI COMUNICAZIONE ONE-WIRE ELICA	44
➤	<i>Interfaccia fisica</i>	44
➤	<i>Architettura</i>	44
➤	<i>Formato dei frame</i>	44
➤	<i>Discovery degli slave e del loro ID</i>	45
➤	<i>Tool per il debug del bus One-Wire</i>	46
•	Bug sulla comunicazione del sensore Cooking Care in setup completo.	49
•	Bug sulla trasmissione di dati dal sensore di temperatura e umidità al multi-sensore Cooking Care	49
ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI DEL VALIDATION PLAN		51
I.	ELABORAZIONE DATI PER LE QUATTRO SCHEDE MULTI-SENSORE	51
II.	CONFRONTO DELLE QUATTRO TEMPERATURE (FIRMWARE 3.0.1)	56
III.	VALUTAZIONE DELL'ACCURATEZZA	56
IV.	BUG NELLA COMUNICAZIONE DEI DATI DI TEMPERATURA E UMIDITÀ	58
PTR-MS		60
I.	PRINCIPIO FISICO DI FUNZIONAMENTO	60
II.	TECNOLOGIA IMPIEGATA	61
III.	PROCEDIMENTO DEL TEST	62
IV.	RISULTATI TEST	66
V.	OSSERVAZIONI	67
COMUNICAZIONE WI-FI DEI DATI E VISUALIZZAZIONE SU CLIENT		69
I.	DESCRIZIONE DELLO SKETCH	70
II.	RISULTATI	79
➤	<i>Prima versione</i>	80
➤	<i>Seconda versione</i>	80
➤	<i>Terza versione</i>	81
CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI		82
BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA		85

INTRODUZIONE

Il tema della qualità dell'aria per ambienti interni (Indoor Air Quality, IAQ) è diventato rilevante alla luce dei recenti eventi che hanno coinvolto l'intero scenario mondiale. La situazione pandemica ha spinto le persone a vivere in maniera diversa non solo quegli ambienti dedicati ad attività sociali, ricreative, uffici pubblici o privati, ma anche le abitazioni. Il conflitto russo-ucraino ha avuto come effetto un ingente rincaro in molti aspetti della vita, portando la popolazione ad osservare comportamenti orientati alla massimizzazione del risparmio energetico al fine di realizzarne quello economico. In tale senso, si rischia di incorrere nel problema dell'eccessiva "sigillatura" degli edifici, causato dal tentativo di evitare dispersioni di calore verso l'esterno delle abitazioni e realizzabile sia attraverso opere edilizie volte a garantire l'appartenenza alla classe A+ della energy label, ma anche, più semplicemente, attraverso un'errata gestione del ricambio di aria, realizzato attraverso l'apertura delle finestre. Come terzo elemento che prende parte in questo scenario, vi è la tendenza a realizzare case "open space", in cui non è insolito trovare cucine di design che uniscono l'area "cooking" con l'area "living", facendo diventare l'ambiente un unico grande spazio. Si comprende che, mai come ora, sia importante affrontare il problema del monitoraggio e del miglioramento della qualità dell'aria presente nella stanza: infatti, in generale, negli ambienti chiusi, l'ossigeno viene gradatamente consumato e in più, la presenza umana, comporta l'emissione di alcuni componenti, quali vapore acqueo, anidride carbonica e diverse sostanze organiche, che ne degradano le proprietà.

Per quanto detto, lo studio dell'Indoor Air Quality è da pensarsi non solo indirizzato ad un'analisi dell'aria cosiddetta "viziata" che si presenta in situazioni quotidiane, ma risulta ancora più rilevante durante la preparazione dei cibi, sia in fase di cottura, che nella fase successiva alla cottura, in cui gli odori più forti risultano ancora persistenti.

Ecco, dunque, che la cappa da cucina diventa protagonista nel controllo dell'IAQ, e non ricopre più esclusivamente la funzione di eliminare i fumi di cottura, gli odori e i vapori che si formano, ma anzi, diventa uno strumento intelligente. Non solo: si può far in modo che tale sistema, grazie alla presenza di sensori e algoritmi evoluti, possa fornire informazioni e funzionalità durante la preparazione dei cibi, come ad esempio determinare lo stato di cottura delle pietanze, evitare la bruciatura dei cibi avvisando l'utente con notifiche su smartphone così da ridurre il rischio di sprecare il cibo e rovinare le stoviglie o, addirittura, comunicare con altri elettrodomestici connessi per implementare funzioni ad oggi impensabili. Un elemento imprescindibile per la maggior parte

degli sviluppi è la connettività, intesa come capacità della cappa, di comunicare con smartphone, sensori o Cloud per scambiare dati e implementare azioni utili.

Il presente progetto di tesi è stato svolto presso Elica S.p.a., una multinazionale con sede a Fabriano (AN). L'azienda è leader mondiale nella produzione di cappe da cucina e piani aspiranti per uso domestico. Elica è presente con i propri brand nella maggior parte dei mercati a livello globale e vanta tra i propri clienti, quelli che sono i maggiori player di elettrodomestici (Whirlpool, Samsung, Bosch, Ikea...).

Gli argomenti che si tratteranno in questo lavoro di tesi ruotano attorno ad una tecnologia innovativa in fase di sviluppo denominata Cooking Care. Tale tecnologia si basa su un multi-sensore sviluppato da Elica in un programma di Open Innovation che ha visto come partner laboratori e startup del territorio nazionale. Si descriverà la tecnologia Cooking Care con un focus sui vari tipi di sensori integrati e il rispettivo principio di funzionamento; si approfondirà il processo di validazione della tecnologia, concentrandosi sui vari protocolli di comunicazione implementati; si descriverà l'attività sperimentale svolta nell'ambito del processo di validazione; infine verrà presentato lo sviluppo di un sistema Wi-Fi che costituisce l'evoluzione del sistema di acquisizione dati finora utilizzato.

In particolare, grazie a quest'ultimo tema, si avrà la possibilità di non limitarsi più al solo salvataggio su memoria locale esterna dei valori captati dal sensore Cooking Care, ma si potrà visionare da smartphone o da personal computer i dati stessi grazie all'implementazione di tale comunicazione Wi-Fi, e ciò avverrà contemporaneamente al reale funzionamento del dispositivo, predisponendo il sistema, quindi, come punto partenza per svariate applicazioni. I dati saranno visualizzati su una pagina web, accessibile da qualsiasi client che sia connesso alla rete Wi-Fi locale, generata da un dispositivo in grado di realizzare ciò, ovvero il modulo ESP8266-01S. Così, usufruendo del protocollo HTTP, necessario per richiedere una pagina HTML da un server e per inviare dati a quest'ultimo, sarà possibile visualizzare i valori acquisiti, attraverso una voluta bufferizzazione, necessaria per poter apprezzare più acquisizioni successive, controllando però di non andare ad appesantire la pagina Web stessa.

Scendendo un po' più nel dettaglio, la presente tesi sarà strutturata in modo che nel primo capitolo si definiranno in maniera esaustiva gli obiettivi prefissati per questo progetto, nel successivo sarà presentato il Cooking Care Sensor per quanto concesso dal vico sulla proprietà intellettuale. Nel terzo si delinearanno, le caratteristiche del protocollo One-Wire attraverso il quale le cappe sono in grado di regolare la comunicazione tra i diversi elementi che le costituiscono. Ovviamente le

informazioni saranno limitate a quanto concesso dal vicolo sulla proprietà intellettuale. Quindi ci si concentrerà su ciò che è stato compiuto sperimentalmente: nel quarto capitolo si illustreranno le acquisizioni e le elaborazioni eseguite sui dati captati dal sensore Cooking Care per valutarne l'accuratezza; quindi, si tratterà la parte dedicata al confronto dei soli valori di VOC acquisiti dai sensori di tre set-up in parallelo, con i valori di VOC forniti dal PTR-MS per apprezzarne la precisione. Il sesto capitolo sarà dedicato al tema della connettività Wi-Fi e alla visualizzazione dei dati su una pagina Web accessibile da un qualsiasi client connesso alla rete locale specifica. Per finire, si concluderà con le osservazioni, con un resoconto degli obiettivi che sono stati raggiunti e con la descrizione delle attività future che saranno svolte per completare tale progetto.

OBIETTIVI

1) Acquisire ed elaborare i dati raccolti dai multi-sensori con tecnologia *Cooking Care*.

L'obiettivo prevede la predisposizione di un set up di quattro sensori che, in parallelo, misurano le variazioni ambientali in un contesto non controllato, così da simulare ciò che accade nel caso d'uso reale. Il test prevede un'acquisizione continua di una settimana. Le grandezze misurate sono:

- a. Temperatura;
- b. Umidità relativa;
- c. Concentrazione di particolato;
- d. Concentrazione di VOC;

Questo consente di valutare la precisione non tanto sul singolo sensore, perché l'input a cui ciascuno è sottoposto risulta essere variabile, cioè, cambia di giorno in giorno non consentendo una misura ripetibile, ma favorendo la possibilità di realizzare confronti tra i quattro sensori che captano le grandezze simultaneamente. Ciò con lo scopo di verificare scostamenti non desiderati tra i valori misurati, in quanto il target è di poter avere sensori che, se sottoposti allo stesso misurando, siano in grado di attribuirgli il più possibile lo stesso valore in output. Quindi, eseguendo acquisizioni con durata di circa una settimana, si andrà a comparare le letture nelle stesse 24 ore, si potranno apprezzare differenti modelli di andamenti della qualità dell'aria nella stanza in relazione alle diverse fasce orarie e se ne dedurranno le opportune considerazioni. Inoltre, sarà possibile valutare l'accuratezza dei sensori in uso grazie al confronto dei valori misurati da quest'ultimi con quelli rilevati dalla sonda tarata "Saveris H3" messa a disposizione da Elica Propulsion Laboratory.

2) Caratterizzare il sensore VOC utilizzato nella tecnologia *Cooking Care* mediante il confronto con i dati acquisiti dal PTR-MS (Proton Transfer Reaction – Mass Spectrometry).

L'obiettivo nello specifico è quello di valutare la precisione dei sensori *Cooking Care* in ambiente controllato, con input fornito attraverso la somministrazione di inquinanti noti, e quindi poter valutare la ripetibilità di uno stesso sensore, poter confrontare le caratteristiche tra i sensori che acquisiscono contemporaneamente e, poter eseguire un confronto qualitativo coi valori del PTR-MS

che, grazie alla sua elevata sensibilità, accuratezza e precisione, è considerabile come lo strumento che fornisce i valori più affidabili circa il fenomeno fisico in studio. Questa attività, dedicata specificatamente al sensore VOC, è fondamentale in quanto si tratta di un componente custom (non commerciale) realizzato appositamente per questa tecnologia e pertanto non è disponibile una documentazione di riferimento che descriva le performance assolute del sensore.

3) Realizzare un sistema WiFi da utilizzare nel field test che permetta l'invio dei dati acquisiti dal multi-sensore al Cloud Elica.

Il Field Test serve per testare la tecnologia Cooking Care nel caso d'uso reale, prima del rilascio in produzione. Viene eseguito su un numero elevato di utenti selezionati (almeno 30), e con l'hardware e il firmware definitivo, accoppiati ad un sistema ausiliario per il trattamento dei dati. Il sistema attuale prevede il seguente setup: scheda main Evo che alimenta il multi-sensore, il quale è connesso alla board di Elegoo Mega R3 in cui è caricato uno sketch che gestisce il parsing dei dati inviati dal sensore e li immagazzina in una memoria SD presente nello shield montato nella board stessa. L'evoluzione che verrà realizzata permetterà di monitorare da remoto i dati acquisiti, bypassando la necessità, da parte dell'operatore, di andare a casa dell'utente per prelevare la memoria SD al termine delle acquisizioni. Per fare ciò, come primo step è stato integrato nel setup il modulo ESP8266-01S, in grado di fornire la connettività richiesta. A questo punto, l'obiettivo richiede di poter visualizzare i valori direttamente su Clients che siano connessi alla rete Wi-Fi fornita dall'ESP. Tali dati saranno accessibili mediante un collegamento realizzato dal browser del Client digitando l'indirizzo IP del modulo WiFi stesso, e ciò senza dover aspettare il termine dell'acquisizione. Si sottolinea che tale obiettivo è importante in quanto si può prescindere dal dover fisicamente prelevare la scheda SD in cui è avvenuto il salvataggio dei dati (questo nel caso in cui ci si stia riferendo al setup 1 in cui è previsto l'utilizzo di Elegoo, e che verrà descritto successivamente), oppure di dover visualizzare l'evoluzione dell'acquisizione tramite pc attraverso il tool aziendale "DataLogger", che consente la creazione di un file .csv in cui vengono salvati i valori (questo nel caso in cui ci si stia riferendo ad una configurazione simile al setup 2, previsto per il Validation Plan, in cui si prescinde dall'uso di Elegoo e che prevede un trasferimento dei dati al pc tramite la connessione seriale, per lo più utilizzata per il debug).

DESCRIZIONE DEL SISTEMA

I. Cooking Care Sensor

Il multi-sensore con tecnologia Cooking Care, è costituito da una scheda elettronica equipaggiata da un microcontrollore (NXP codice: MKE02Z64VLD4) e da diverse unità di sensing (descritte dettagliatamente nei paragrafi successivi). L'obiettivo aziendale è quello di inserire nei prodotti questa tecnologia a partire dal 2024.

Si presentano dettagliatamente le caratteristiche del multi-sensore, elemento attorno al quale è costruito l'intero progetto di tesi.

➤ Dimensioni meccaniche

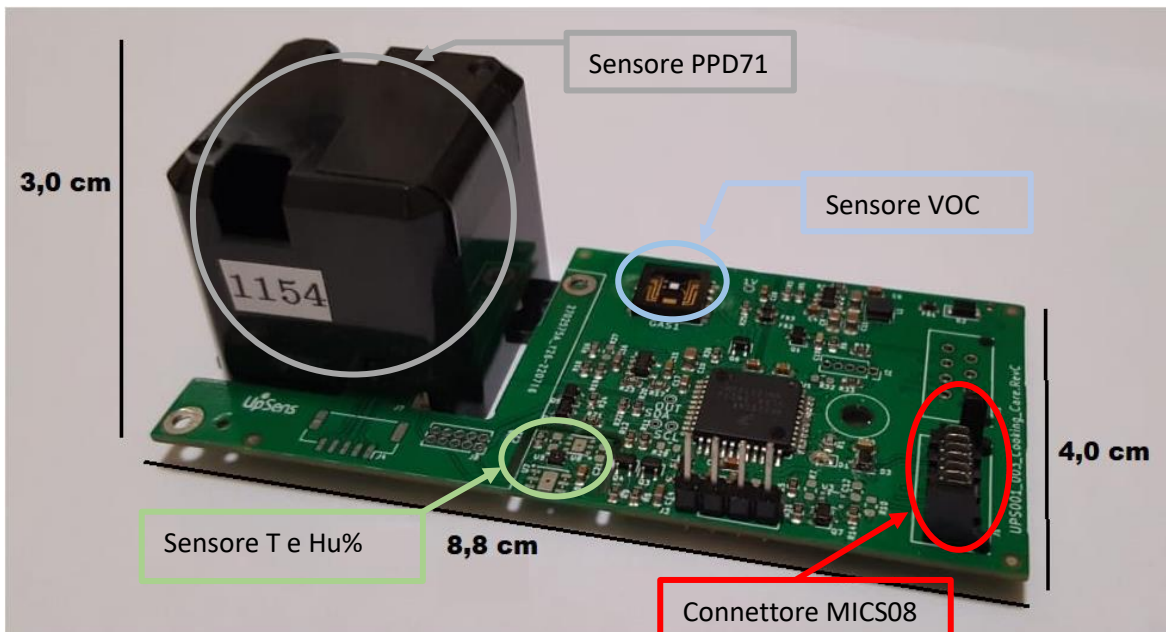


Figura 1 Scheda multi-sensore con tecnologia Cooking Care

➤ Layout

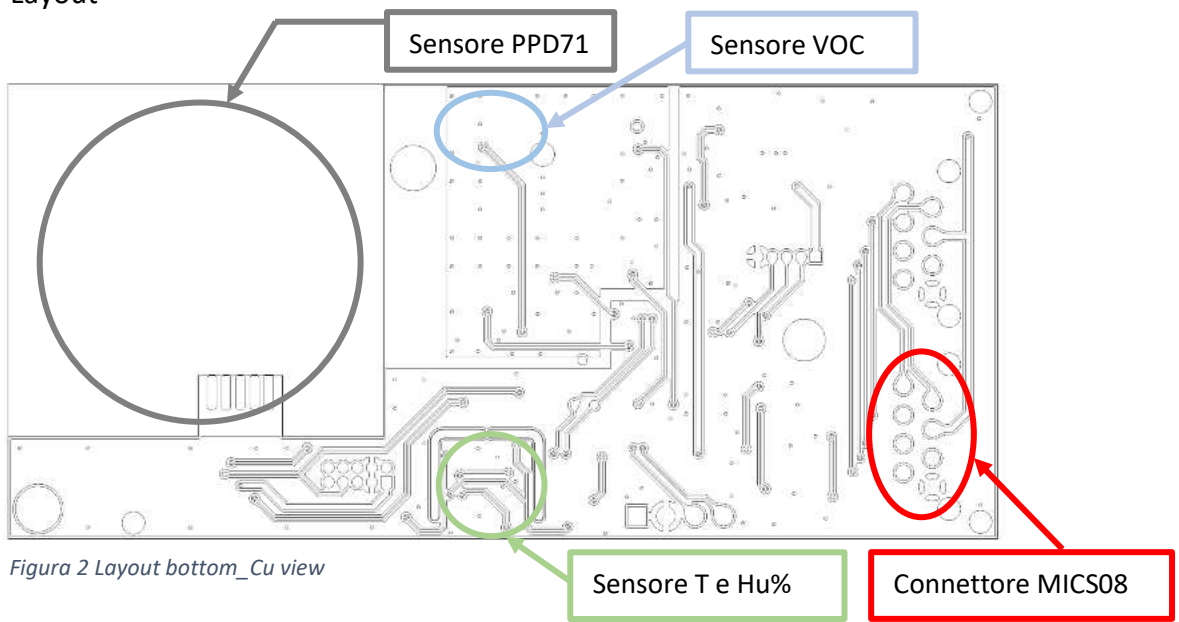


Figura 2 Layout bottom_Cu view

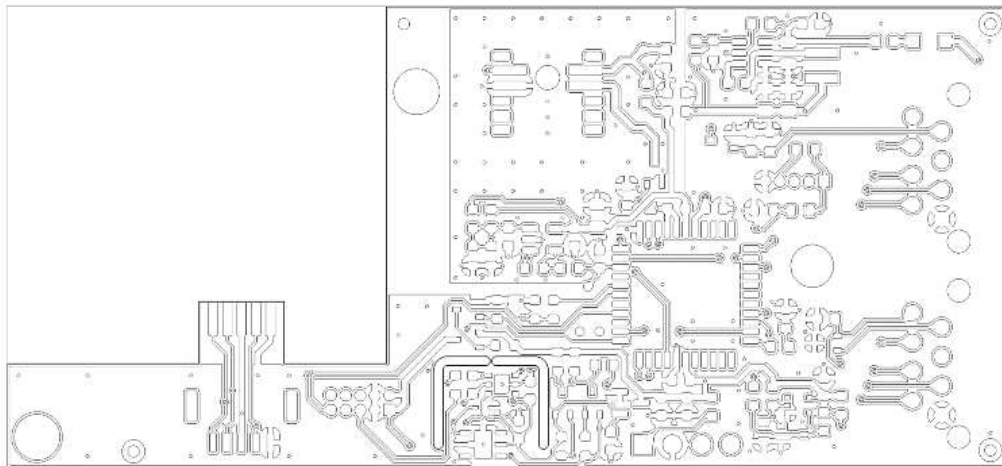


Figura 3 Layout top_Cu view

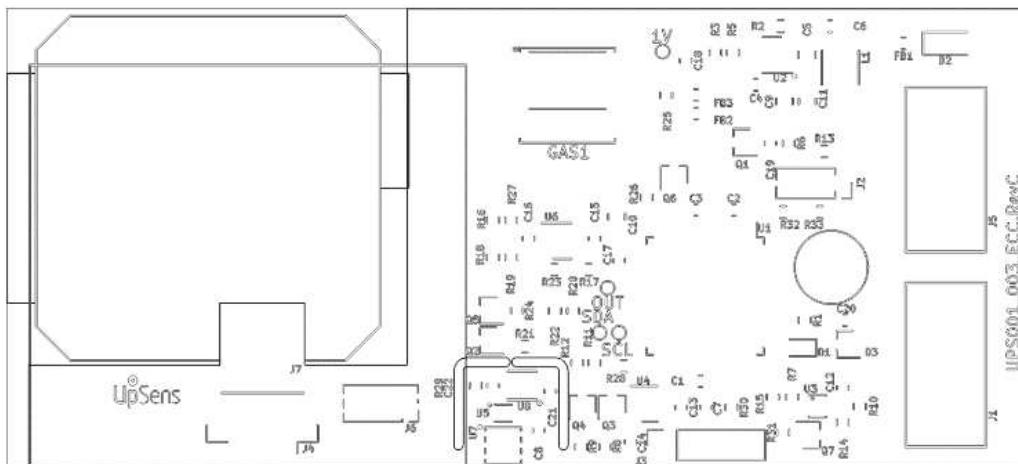


Figura 4 Layout top_Silkscreen view

➤ Schematico

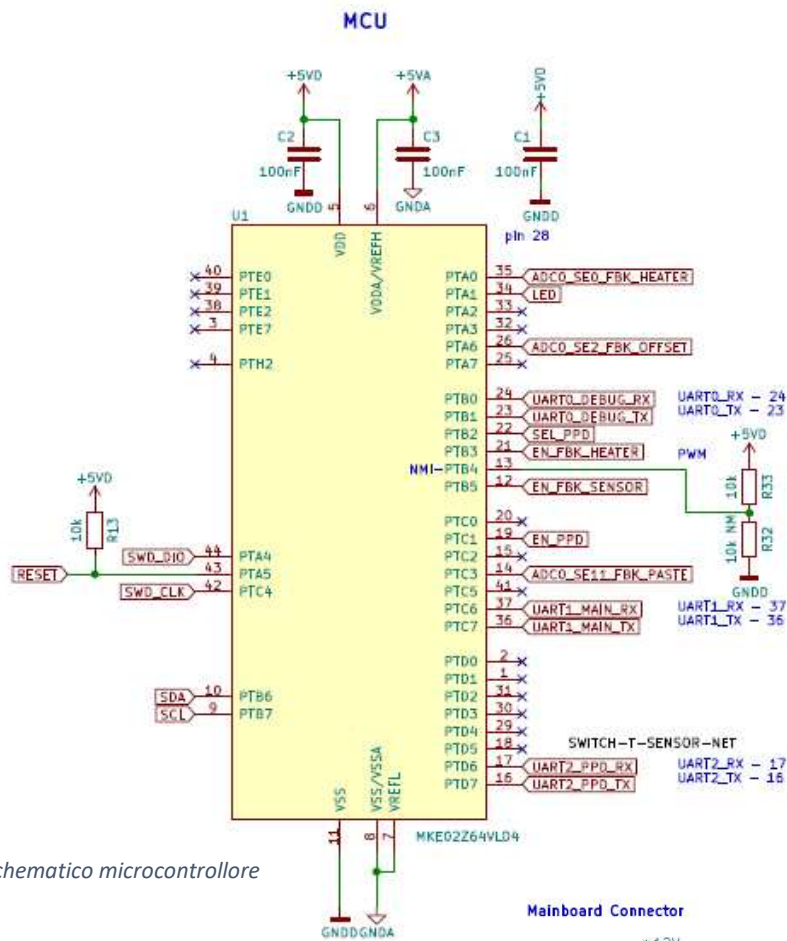


Figura 5 Schematico microcontrollore

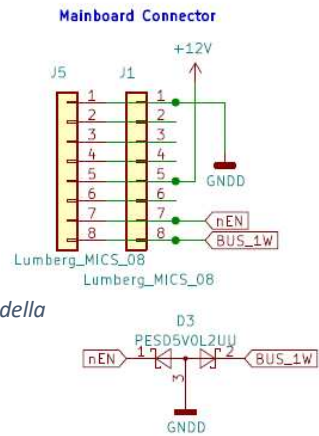


Figura 6 Schematico connettore della main board

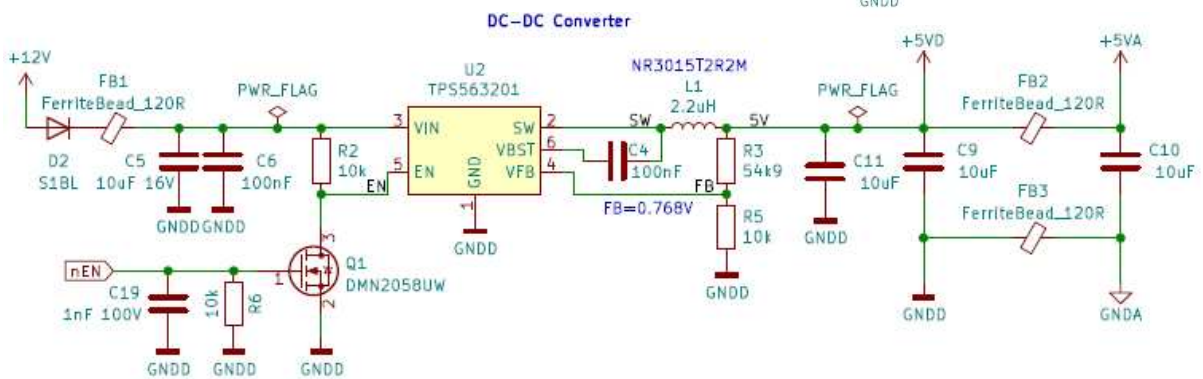


Figura 6 Schematico circuito di alimentazione

➤ Bill of materials

Reference	Description
C1, C2, C3, C4, C6, C8, C13, C15	CAP CER 0.1UF 50V X7R 0603
C7, C14, C16, C17, C18	CAP CER 1UF 25V X5R 0603
C19, C20	CAP CER 1000PF 100V X7R 0603
C5, C9, C10, C11	CAP CER 10UF 16V X5R 0805
R2, R5, R6, R8, R9, R11, R12, R13, R15, R24, R26, R31, R33	RES 10K OHM 1% 1/10W 0603
R1, R17, R23	RES 1.91K OHM 1% 1/10W 0603
R16, R21, R22, R29	RES 33K OHM 1% 1/10W 0603
R18, R19, R20	RES 16.9K OHM 1% 1/10W 0603
R3	RES 54.9K OHM 1% 1/10W 0603
R14	RES 330 OHM 1% 1/10W 0603
R25	RES 39 OHM 1% 1/10W 0603
L1	FIXED IND 2.2UH 1.5A 72 MOHM SMD
D1	LED RED DIFFUSED 1608 SMD
D2	Diodi Standard 100 V 1A A montaggio superficiale Sub SMA
D3	TVS DIODE 5VWM 13VC SOT323
U1	NXP MKE02Z64VLD4_LQFP-44_10x10mm_P0.8mm IC MCU 32BIT 64KB FLASH 44LQFP
U2	TPS563201 - Buck Regolatore a commutazione IC Positivo Regolabile 0,768V 1 Uscita 3A SOT-23-6 Thin, TSOT-23-6
U4	PMIC - Regolatori di tensione - Lineari Positivo Fisso 1 Uscita 300mA SOT-23-3
U5	SHT40 4th Generation, High-Accuracy, Ultra-Low-Power, 16-bit Relative Humidity and Temperature Sensor
U6	MCP6L01Ux-xOT - IC OPAMP GP 1 CIRCUIT SOT23-5
Q1, Q3, Q4, Q5, Q6, Q7	MOSFET N-CH 20V 3.5A SOT323 - Canale N 20 V 3,5 A (Ta) 500mW (Ta) A montaggio superficiale SOT-323
FB1, FB2, FB3	FERRITE BEAD 120 OHM 0603 1LN - 120 Ohms @ 100 MHz 1 Chip e perline di ferrite 0603 (1608 metrico) 200mA 400mohm
Q2	MOSFET P-CH 20V 820MA SOT323 - Canale P 20 V 820mA (Ta) 310mW (Ta) A montaggio superficiale SOT-323
J1, J5	Lumberg_MICS_08
J7	ShinYei PPD71

Figura 7 Bill of materials

➤ Sensore di VOC

Con “Volatile Organic Compounds” si intendono quei composti a base di carbonio che partecipano alle reazioni chimiche atmosferiche.

I VOC sono rilevanti per il presente caso d’uso, in quanto, spesso, le concentrazioni di queste sostanze, sono più elevate negli ambienti interni (fino a dieci volte superiori) rispetto che all'esterno. Ciò è dovuto al fatto che, tali prodotti chimici organici, non solo sono contenuti in svariati prodotti per la casa, come nei prodotti per la pulizia, ma sono generati anche dai processi di combustione che possono avere origine dalla cottura dei cibi, dal fumo di tabacco o dalla presenza degli impianti

di condizionamento. E' scientificamente provato che l'esposizione prolungata delle persone a tali sostanze è correlata all'aumento di problemi di salute.

- Descrizione del prodotto

Il sensore VOC montato nel PCB del Cooking Care è un elemento sviluppato appositamente per questa applicazione, realizzato da un centro di ricerca italiana leader nella sensoristica. Pertanto, non essendo un sensore commerciale, la documentazione tecnica a corredo è riservata.

In particolare, tale dispositivo è un sensore MEMS (Micro-Electro-Mechanical System). La sua struttura è basata su un heater, cioè un piccolo elemento riscaldante, alloggiato sotto una membrana di ossido metallico chemio-resistivo (MOX) che rappresenta la superficie reattiva. Tale semiconduttore nano-strutturato è utilizzato come materiale attivo per il rilevamento del gas e il micro-riscaldatore di silicio serve sia per termo-attivare la membrana di ossido, che per migliorare la lettura del segnale andando a ridurre il più possibile eventuali effetti spuri generati dall'ambiente circostante.

Il sensore VOC funziona sia da recettore, in quanto interagisce con i gas presenti nell'atmosfera, che da trasduttore, perché trasduce la precedente interazione in una variazione della sua resistenza elettrica.

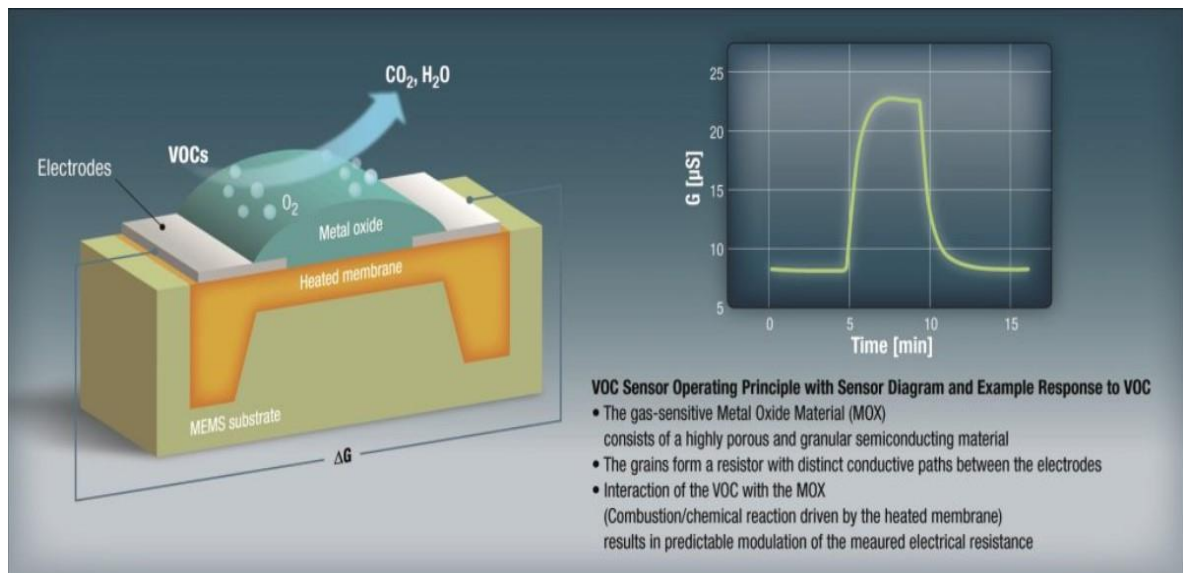


Figura 8 Descrizione del prodotto ed esempio di risposta ai VOC

- Principio di funzionamento

Il materiale MOX (Metal Oxide), si presenta come una membrana di resistenza variabile che risponde alle sostanze chimiche presenti nel gas a cui è esposto. Tale membrana di ossido di metallo, può

essere realizzata con materiali e drogaggi diversi a seconda che si desideri una risposta a determinate classi di gas piuttosto che ad altre (ossidanti o riducenti), chiamate gas target. In altre parole, un sensore MOX cambia la sua resistenza elettrica a seconda della concentrazione di ossigeno sulla sua superficie: i gas ossidanti come NO_x (che forniscono più ossigeno dell'aria ambiente) aumentano la sua resistenza, mentre i gas riducenti come i VOC (che consumano ossigeno), ne riducono la resistenza. Per cui, andando a costruire il substrato utilizzando il materiale adatto a reagire con i VOC, si può osservare che, in un ambiente di aria "pulita", la resistenza MOX può essere di diversi $\text{M}\Omega$, mentre, quando riscaldato e in presenza del gas bersaglio, la resistenza del materiale MOX diminuisce in maniera significativa, fino a diverse decine di $\text{K}\Omega$. Viceversa, se l'applicazione di calore viene rimossa e/o il gas di prova viene eliminato, la resistenza MOX ritorna al suo valore iniziale.

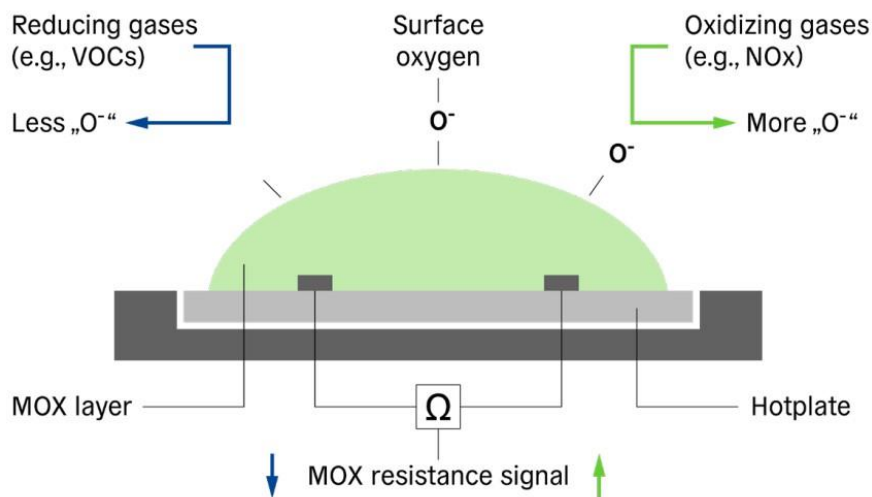


Figura 9 Principio di funzionamento del sensore VOC

- Specifiche tecniche

Dimensione Chip	(2.5 x 2.5) mm ²
Spessore Chip	300 μm
Area di sensing	(1 x 1) mm ²
Gas	VOCs, NO _x , Ozono, SO ₂ , NH ₃ , H ₂ , CO.
Consumo energetico	(50 – 140) mW

Limite di rilevamento	da ppbs to ppms, in relazione al gas analizzato e alla RH%.
-----------------------	--

Figura 10 Specifiche tecniche

- Layout

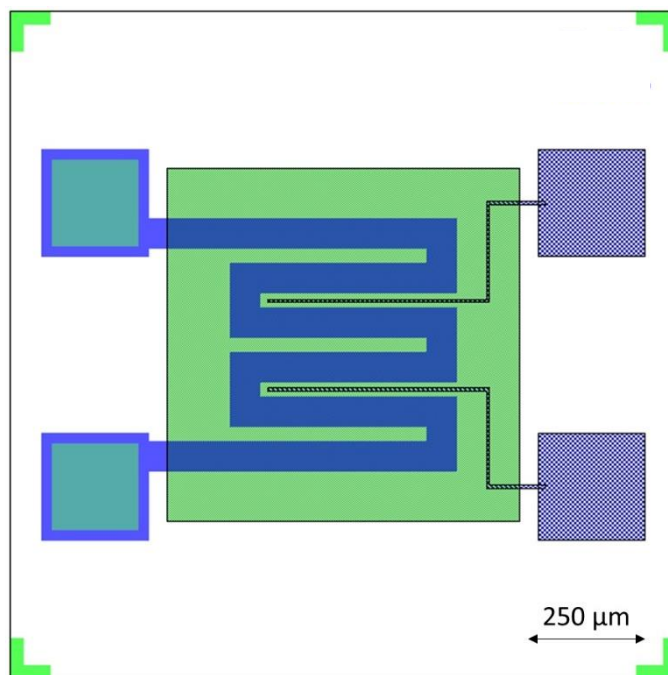


Figura 11 Layout sensore VOC

- Descrizione Hardware

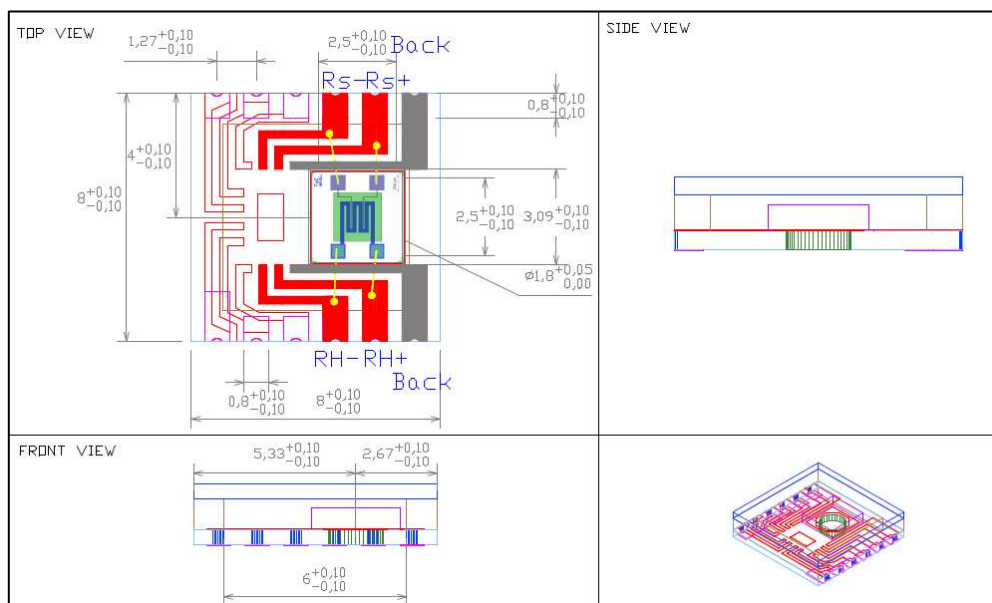


Figura 12 Descrizione hardware sensore VOC

- Estratto dello schematico relativo al sensore VOC

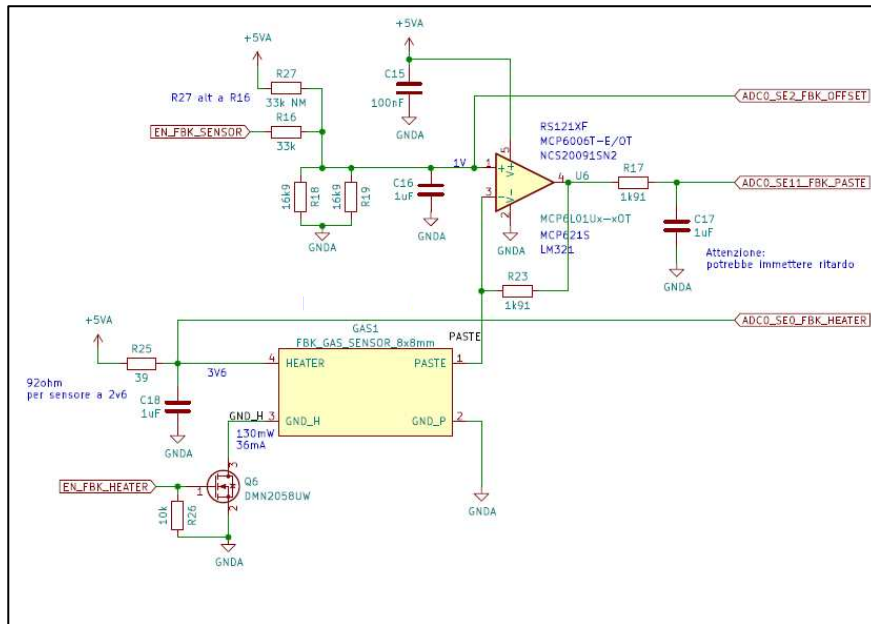


Figura 13 Schematico del sensore VOC collocato nel PCB

➤ Sensore di Temperatura e Umidità

Il sensore montato nel PCB del Cooking Care che misura tali grandezze, è il sensore prodotto da Sensirion, modello SHT40-AD1B-R2.

- Descrizione del prodotto

Il sensore è costituito da due parti: un riscaldatore integrato che consente una diagnostica avanzata, e l'elemento sensore che è progettato per un funzionamento affidabile in ambienti con elevata condensa. L'heater interno ha il compito di consentire il corretto funzionamento del sensore, permettendo di rimuovere la condensa dalla sua superficie, e così, di prevenire anche errori di misurazione. Infatti, il permanere della condensa, sebbene non sia un problema di affidabilità per il sensore, lo renderà non reattivo ai cambiamenti di umidità relativa nell'aria.

Per quanto riguarda il sistema di comunicazione utilizzato tra il micro della scheda multi-sensore e quello del sensore in questione, si impiega il protocollo seriale I²C, adottato per collegare dispositivi a bassa velocità e basato su un collegamento a due fili. Viene riportato lo schematico di tale bus nel multi-sensore.

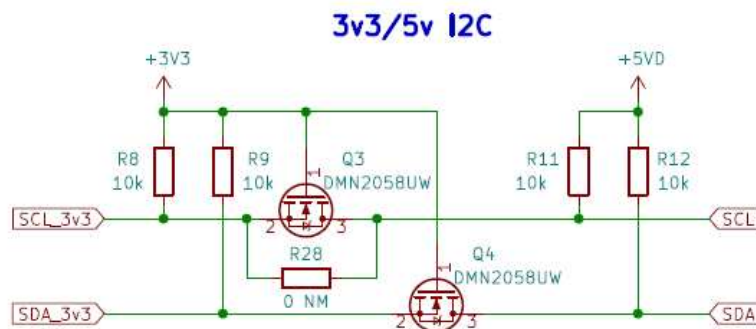


Figura 14 Schematico del bus di comunicazione I2C

In un paragrafo successivo, si prenderà in considerazione un bug riscontrato proprio sul bus di comunicazione di tale protocollo seriale.

- Principio di funzionamento

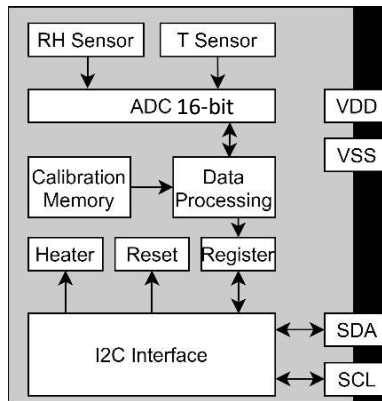


Figura 15 Funzionamento del sensore digitale

I segnali del sensore digitale corrispondono ai seguenti valori di umidità e temperatura:

$$RH = (-6 + 125 \cdot \frac{S_{RH}}{2^{16} - 1}) \%RH$$

$$T = (-45 + 175 \cdot \frac{S_T}{2^{16} - 1}) ^\circ C$$

Dove S_{RH} e S_T sono i valori forniti dall'ADC rispettivamente dell'umidità e della temperatura.

Il divisore, $2^{16} - 1$ evidenzia il campo dei valori rappresentabili avendo a disposizione 16 bit di ADC.

- Specifiche tecniche

Campo di funzionamento umidità relativa	da 0 a 100 %RH.
Condizioni operative raccomandate	da 20 %RH a 80 %RH.
Accuratezza tipica	± 1.8 %RH.
Ripetibilità o precisione (a 25°C e 50 %RH)	0,15 %RH.
Risoluzione (Risoluzione del convertitore A/D)	0.01 %RH.
Tempo di risposta (misurato a 25°C e 1 m/s di flusso d'aria)	$t_{63\%} = 4$ s.
Campo di funzionamento temperatura	da (-40 a 125) °C.

Condizioni operative raccomandate	da 5 °C a 60 °C.
Accuratezza tipica	±0,2 °C.
Ripetibilità o precisione	0,07 °C.
Risoluzione (Risoluzione del convertitore A/D)	0.01 °C
Tempo di risposta	$t_{63\%} = 2 \text{ s.}$
Tensione di alimentazione	V_{DD} da 1,08 V a 3,6 V con valore tipico di 3,3 V.
Consumo energetico medio ($V_{DD} = 1,2 \text{ V}$ senza riscaldatore)	1,4 μW .

Figura 16 Specifiche tecniche

- Layout e dimensioni meccaniche

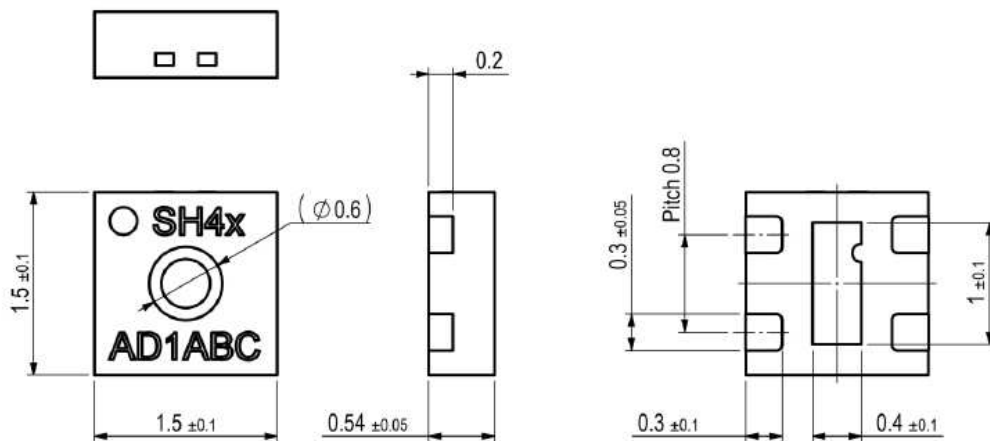


Figura 17 Layout e dimensioni meccaniche

- Estratto dello schematico relativo al sensore temperatura e umidità

T/HU Sensor

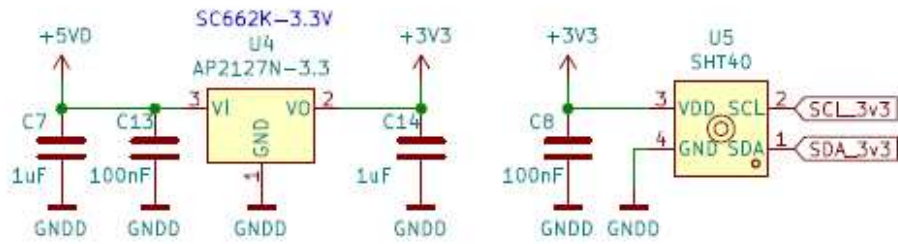


Figura 18 Schematico del sensore T/RH collocato nel PCB

➤ Sensore di particolato

Quando si parla di polveri sottili, si fa riferimento al pulviscolo particolarmente fine che può essere respirato, perché leggero a tal punto da restare sospeso nell'aria. Le polveri sottili sono tipicamente presenti anche nei luoghi chiusi: il particolato indoor viene generato, per esempio, dai processi di combustione, durante le cotture, con l'accensione di candele o dalla bruciatura del legno.

Il sensore montato nel PCB del Cooking Care che misura il particolato, è il sensore prodotto da ShinYei avente codice PPD71. In particolare, con PPD si intende Photo Particle Detector, nonché la modalità con cui si effettua il rilevamento del misurando.

• Descrizione del prodotto

Grazie al metodo di rilevazione basato sulla diffusione della luce, il sensore in questione è in grado di individuare le particelle con dimensioni superiori a $0,5 \mu\text{m}$ che si trovano sospese nell'aria. Il risultato della misurazione viene fornito in base alla concentrazione di massa ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

• Principio di funzionamento

Il PPD71 è costituito da un riscaldatore (resistore) che genera una corrente di aria calda ascendente. Un LED produce un fascio di luce infrarossa che viene focalizzato attraverso delle lenti sul punto di rilevamento che si trova al centro della struttura cilindrica del sensore. Le particelle di polveri sottili che si trovano sospese nell'aria, vengono incanalate nel case del sensore e, seguendo il percorso preferenziale fornito dal flusso ascendente, passano attraverso la zona centrale del case, soggetta al rilevamento.

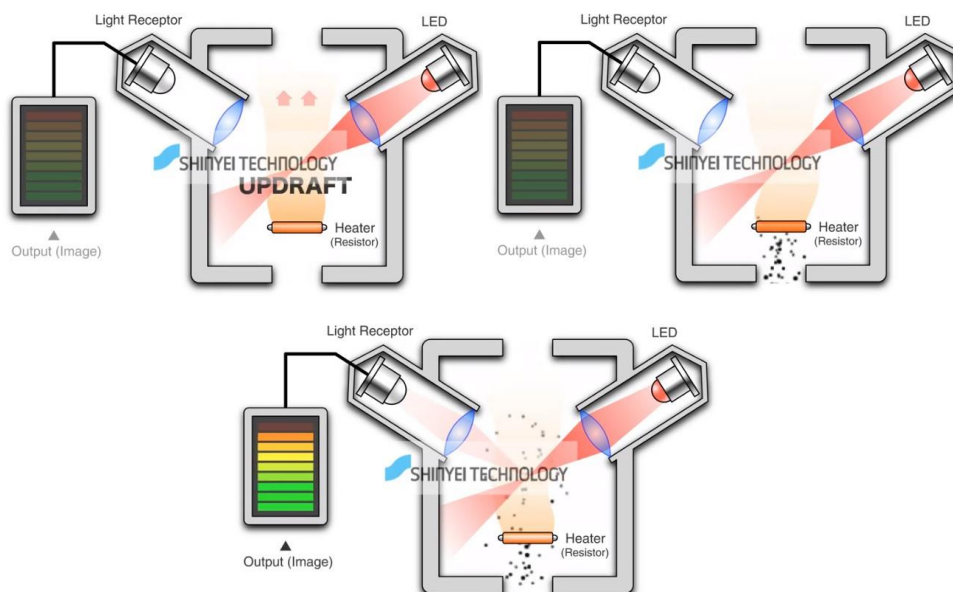


Figura 19 Principio di funzionamento

Tali particelle, quando sono investite dal fascio infrarosso del LED, diffondono la luce. L'intensità di tale luce dipende dalla dimensione delle particelle. Il numero di impulsi della stessa intensità, che si verificano in un determinato periodo di tempo, equivale alla concentrazione numerica. Quindi, il recettore capta la luce diffusa attraverso un secondo sistema di lenti e trasforma il segnale in un impulso elettrico. L'impulso per unità di tempo risulta essere proporzionale alla concentrazione di particelle e, tramite un opportuno circuito di condizionamento, viene convertito in una tensione di uscita. Quando il rapporto dell'impulso diventa alto, si ha la necessità di purificare l'aria.

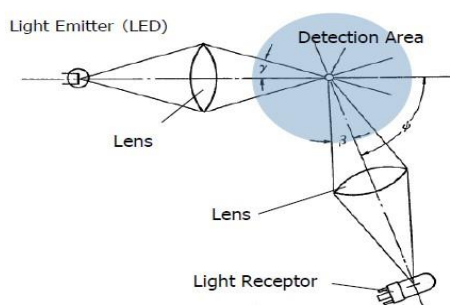


Figura 20 Principio di funzionamento

- Specifiche tecniche

Dimensioni	30(W) × 30(H) × 28(D) [mm]
Dimensioni area sensibile	0,5 μm (circa)
Campo di funzionamento umidità relativa	inferiore al 95%
Campo di funzionamento temperatura	da -10 a 60 °C
Tensione di alimentazione (DC)	5V ± 10%
Consumo energetico	inferiore a 100 mA

Figura 21 Specifiche tecniche

- Estratto dello schematico relativo al sensore di particolato

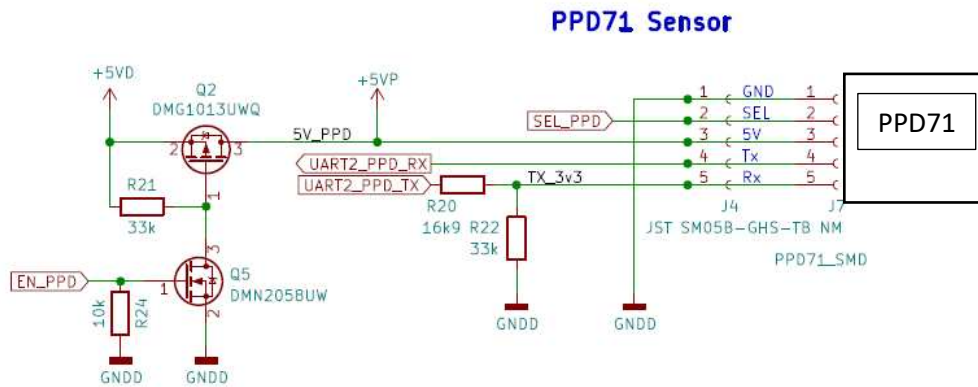


Figura 22 Schematico del sensore PM collocato nel PCB

- Caratteristiche elettriche, termiche e consumo in standby
- Misure a banco

Il sensore Cooking Care, considerato stand alone, e quindi con riferimento unicamente al suo hardware, durante il funzionamento in modalità 'running mode', ha un consumo di corrente pari a 105,64 mA. Quindi, considerando un supply voltage di 5V, si ottiene una potenza assorbita durante il funzionamento, pari a 0,528 W.

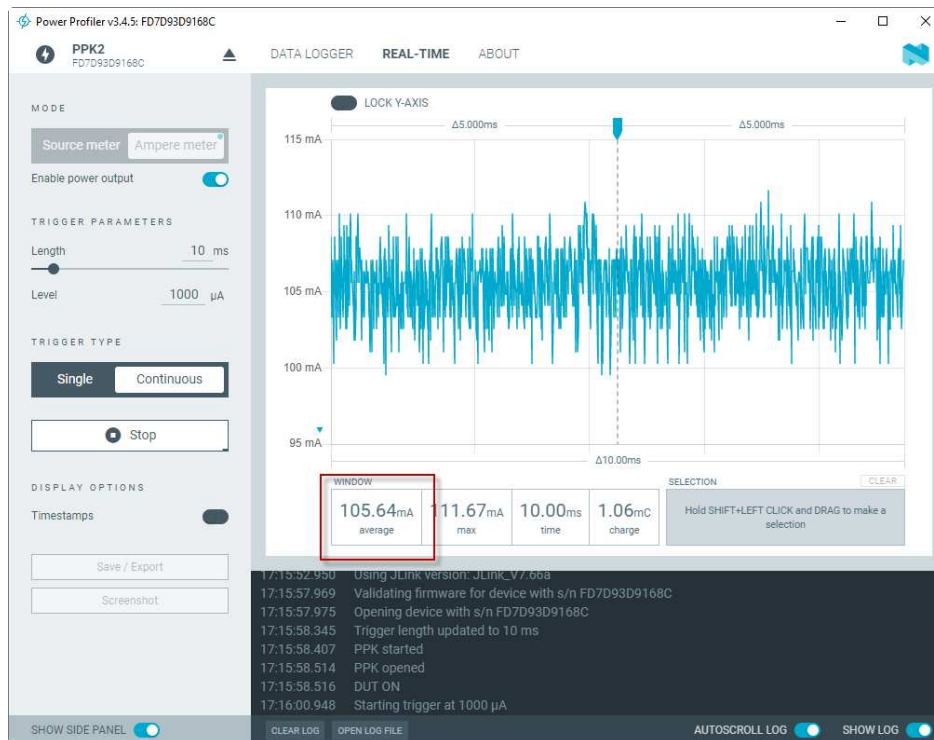


Figura 23 Assorbimento di corrente relativo al setup con multi-sensore Cooking Care stand alone in running mode

Pilotando il multi-sensore Cooking Care in 'low power mode', condizione in cui tutti i sensori on board sono spenti e dunque la funzione Cooking Care non è attiva, si verifica che il consumo di corrente, relativamente al solo hardware della scheda multi-sensore, è pari a 3,53 mA. Questo implica avere un consumo di potenza di 0,018 W a 5 V. Tale prova è importante in quanto le specifiche di progettazione devono risultare compatibili col consumo di energia elettrica nei modi "standby" e "spento" delle apparecchiature elettriche ed elettroniche ad uso domestico. Infatti, secondo quanto riportato nel Regolamento (CE) n. 1275/2008 della Commissione del 17 dicembre 2008 che attua la direttiva 2005/32/CE del Parlamento europeo, il consumo energetico delle apparecchiature in qualsiasi condizione, che forniscono solo una funzione di riattivazione, non deve superare 0,50 W.

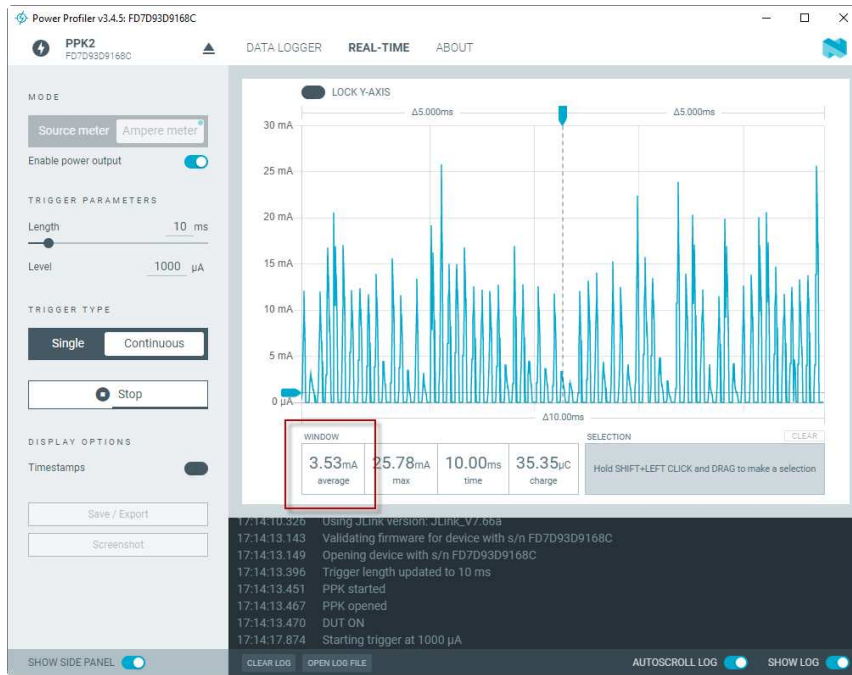


Figura 24 Assorbimento di corrente relativo al setup con multi-sensore Cooking Care stand alone in standby mode

- Misure in applicazione

Durante la modalità di funzionamento “running mode”, si può valutare l’assorbimento del sensore Cooking Care quando è connesso alla scheda Evo, cioè al PCB da cui prende l’alimentazione. Quindi, collegando la scheda Evo al misuratore di potenza digitale WT110/310, si registra un consumo di potenza pari a 1,077 W.



Figura 25 Assorbimento di potenza relativo al setup con multi-sensore Cooking Care connesso alla main board in running mode

Per ultimo, si riporta il consumo di potenza relativamente al set up che prevede la presenza della scheda main connessa al sensore Cooking Care, in modalità “low power”: 0,339 W.



Figura 26 Assorbimento di potenza relativo al setup con multi-sensore Cooking Care connesso alla main board in standby mode

	Assorbimento Running mode [W]	Assorbimento Low Power mode [W]
Misure a banco	0,52	0,02
Misure in applicazione	1,08	0,34

Figura 27 Tabella riassuntiva assorbimento di potenza

Si riportano tre immagini acquisite mediante l’utilizzo della termo-camera FLIR modello T365. Nella prima si riporta la situazione termica in cui il multi-sensore (top view) risulta non alimentato. Nella seconda, si evidenzia il comportamento termico del sensore Cooking Care (top view) dopo 20 minuti di alimentazione e di acquisizione attivata: le regioni che presentano una temperatura maggiore sono quelle riportate in figura, e cioè la parte di regolazione della tensione, l’heater del sensore di temperatura e umidità, l’heater del sensore di VOC, la piedinatura JST di connessione per il sensore di particolato, e il sensore di particolato stesso. Nella terza immagine si riporta la condizione termica della scheda multi-sensore lato bottom, dove in particolare, spicca in rosso il fondo del sensore di

particolato. Essendo tutto in bassa tensione non ci sono dei limiti normativi, l'unico vincolo è dato dal rating termico dei componenti stessi.

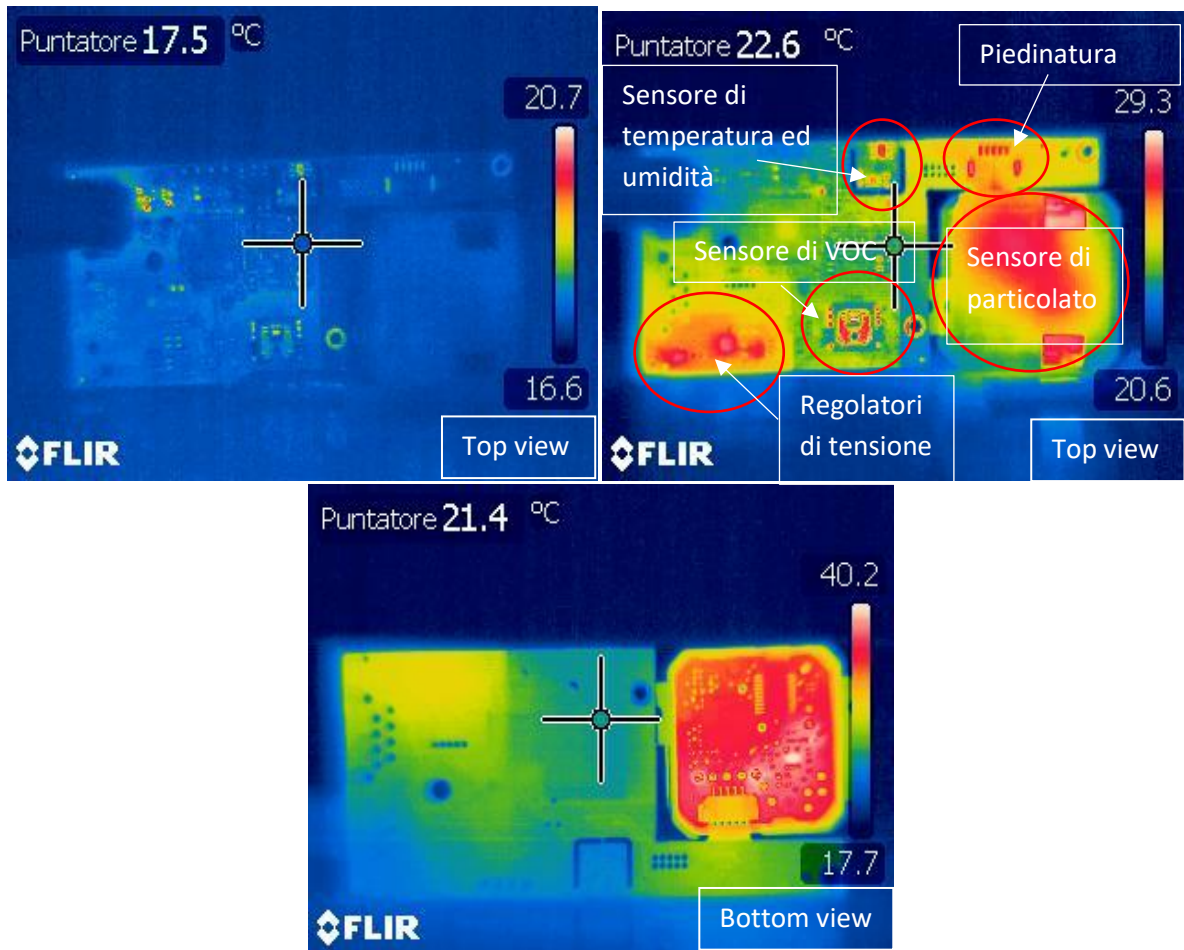


Figura 28 Immagini acquisite mediante l'uso della termocamera

Per quanto riguarda il set up previsto per il Validation Plan che, come verrà illustrato nei seguenti paragrafi, ricrea il sistema cappa dal punto di vista delle connessioni e delle componenti che vengono impiegate, è opportuno ricordare che, in cascata al sensore Cooking Care, e quindi connessa alla scheda Main Evo, sarà presente anche la User Interface. Anche questa unità è alimentata dalla scheda main e comunica con il protocollo One-wire: avrà quindi un suo assorbimento di potenza che, dovrà essere aggiunto ai 0,34W misurati in precedenza. Se ne deduce che, per rimanere sotto la soglia prevista dalla norma dei 0,5 W non dovrà assorbire un valore superiore a 0,13 W.

➤ Alimentazione e comunicazione dati

Per lo sviluppo del Cooking Care e per il debug della sua applicazione, sono previste due modalità operative a cui sono associati due protocolli di comunicazione differenti.

- Alimentazione attraverso main board

L'analisi della comunicazione tra i vari elementi del sistema cappa che sono provvisti di un microcontrollore, permettono di eseguire un'attività di debug a basso livello.

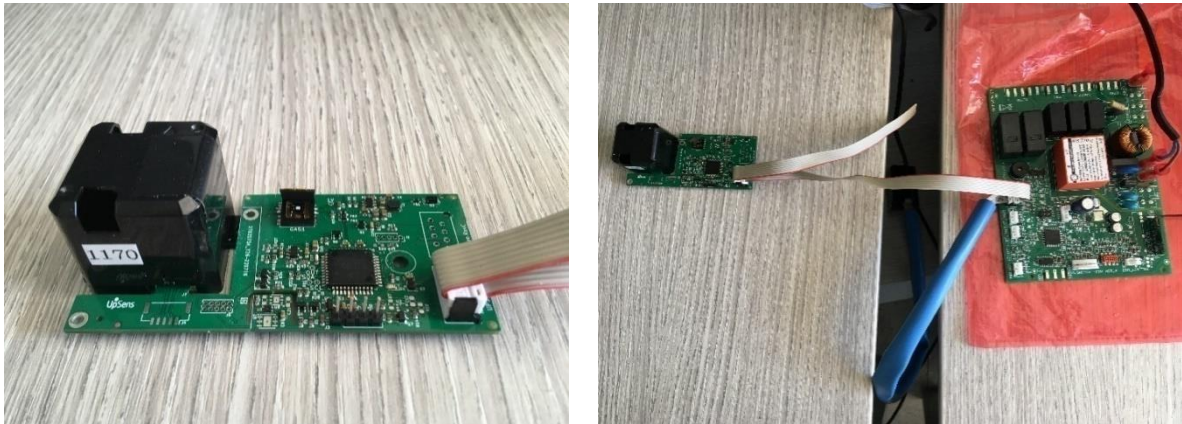


Figura 29 Connettore MICS08 e alimentazione da main board Evo

Il sensore viene alimentato tramite il connettore MICS08 connesso tra la main board EVO e la scheda sensore stessa. Per verificare che il sensore sia alimentato correttamente, si accenderà un led per due secondi e poi inizierà a lampeggiare.

Per quanto riguarda la comunicazione dei dati, questi possono essere scambiati in due modi: il primo è quello che sfrutta il protocollo One-Wire attraverso l'impiego del cavo ad 8 pin connesso sul connettore MICS-08: il cavo che permette lo scambio di informazioni è lo stesso da cui si trae l'alimentazione. Il secondo metodo di comunicazione possibile con questa configurazione prevede l'invio dei dati anche tramite seriale: in questo caso, al cablaggio descritto in precedenza, si aggiunge il collegamento sul connettore di debug della scheda sensore. Si userà quindi, l'apposito cavo che, al secondo estremo, presenta il convertitore USB-seriale così da consentire l'interfacciamento con il PC. In questa modalità di alimentazione, al connettore di debug della scheda multi-sensore, quindi, basterà attaccare GND, RX e TX (non serve connettere il pin dei 5V). In caso non si possa escludere la connessione del pin da 5 V, è comunque possibile utilizzare tale configurazione su tutte le schede perché la parte di alimentazione è di default staccata da resto.

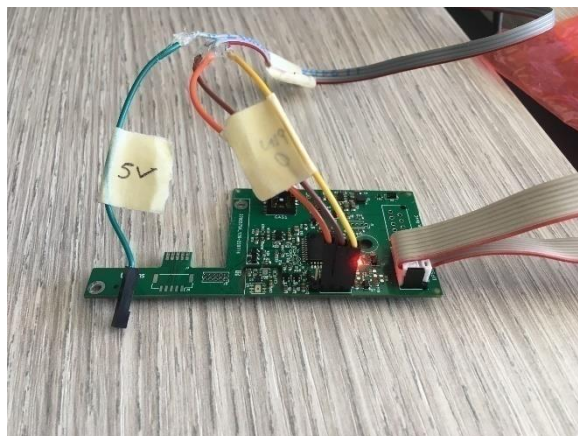


Figura 30 Alimentazione mediante main board Evo e comunicazione dati mediante connessione seriale

- Alimentazione da Seriale

Con questa seconda modalità, è possibile interfacciare direttamente il sensore con il computer mediante l'utilizzo del solo convertitore USB-Seriale, prescindendo dalla connessione con la scheda Evo.

Affinché il sensore venga alimentato correttamente, il cavo di debug sarà connesso su ogni pin previsto dal connettore della scheda multi-sensore: 5V, GND, TX, RX. All'altra estremità del cavo, dovrà essere presente il convertitore USB-seriale. Gli scopi del presente progetto di tesi, prevedono la presenza della scheda Evo, pertanto questa modalità di alimentazione non è stata implementata.

In questo caso, comunque, la comunicazione dei dati avverrà esclusivamente tramite l'utilizzo del protocollo seriale.



Figura 31 Alimentazione e comunicazione dati esclusivamente via connessione seriale

II. Setup di sviluppo

Vengono quindi riportati i due setup di test. Il primo è utilizzato per il Validation Plan, il secondo per il Field Test. Il Validation Plan è il processo che serve per validare l'HW e il FW della tecnologia Cooking Care, con particolare attenzione a: affidabilità della tecnologia, lettura dei dati dei sensori in diverse condizioni operative, stabilità della comunicazione mediante il protocollo One-Wire, ecc. Il Field Test serve a testare la tecnologia in applicazione reale prima che venga rilasciata la versione di produzione: oltre per verificare l'HW e il FW, si impiega per fare un debug degli algoritmi implementati e valutare altri aspetti come usabilità e consumer experience.

➤ Setup 1: Validation Plan

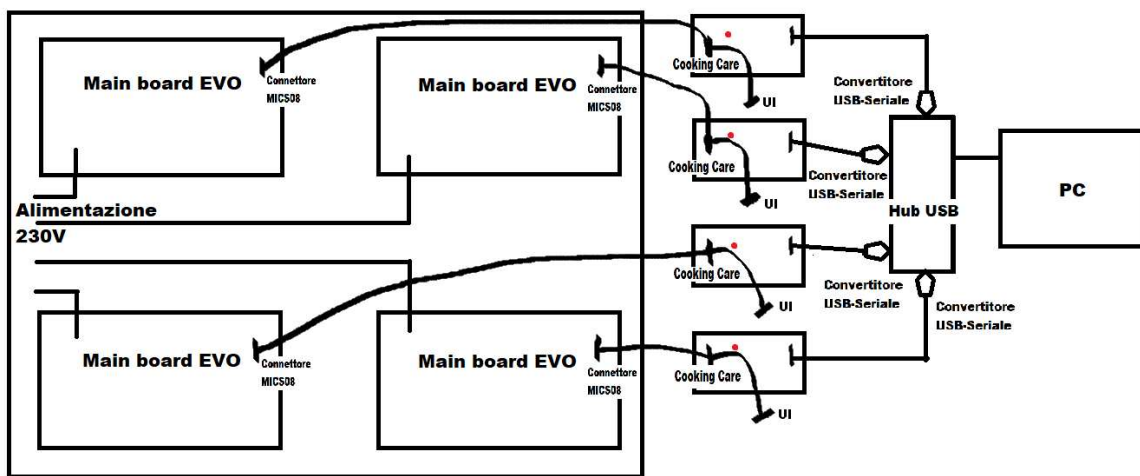


Figura 32 Schema a blocchi per il Validation Plan

- Sensore con tecnologia Cooking Care

Il setup descritto è stato ricreato a banco così da realizzare l'acquisizione in parallelo da 4 sensori Cooking Care, per il monitoraggio dei dati ambientali. Il fine è quello di realizzare debug, valutare mismatching e compiere testing.

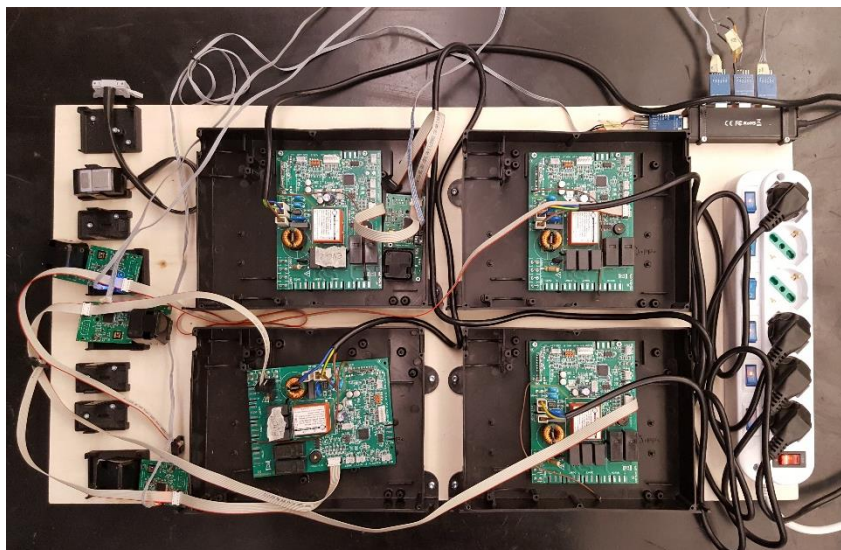


Figura 33 Setup Validation Plan

- Real-Time DataLogger

Il “Real-Time Datalogger 3.0.1.exe” è un software proprietario che serve a visualizzare in tempo reale i dati rilevati dalla scheda multi-sensore. Una volta avviata l’applicazione, si procede col determinare la porta COM corretta dalla quale ci si aspetta di ricevere i dati. A questo punto si devono impostare i parametri necessari per la corretta elaborazione dei dati da parte dell’algoritmo Cooking Care, come ad esempio il tipo di algoritmo da implementare, che si differenzia a seconda che si stia lavorando su un piano a gas o un piano ad induzione.

Una volta confermati i parametri, è possibile iniziare l’acquisizione dati. Nella schermata principale, quindi, verranno mostrati i grafici di umidità (RH), temperatura (T), Composti Organici Volatili (VOC), particolato (PM). Questi sono accompagnati dai valori propri dell’algoritmo sul quale si basa la tecnologia Cooking Care. Inoltre, è possibile visualizzare anche il log delle misure del sensore in tempo reale.

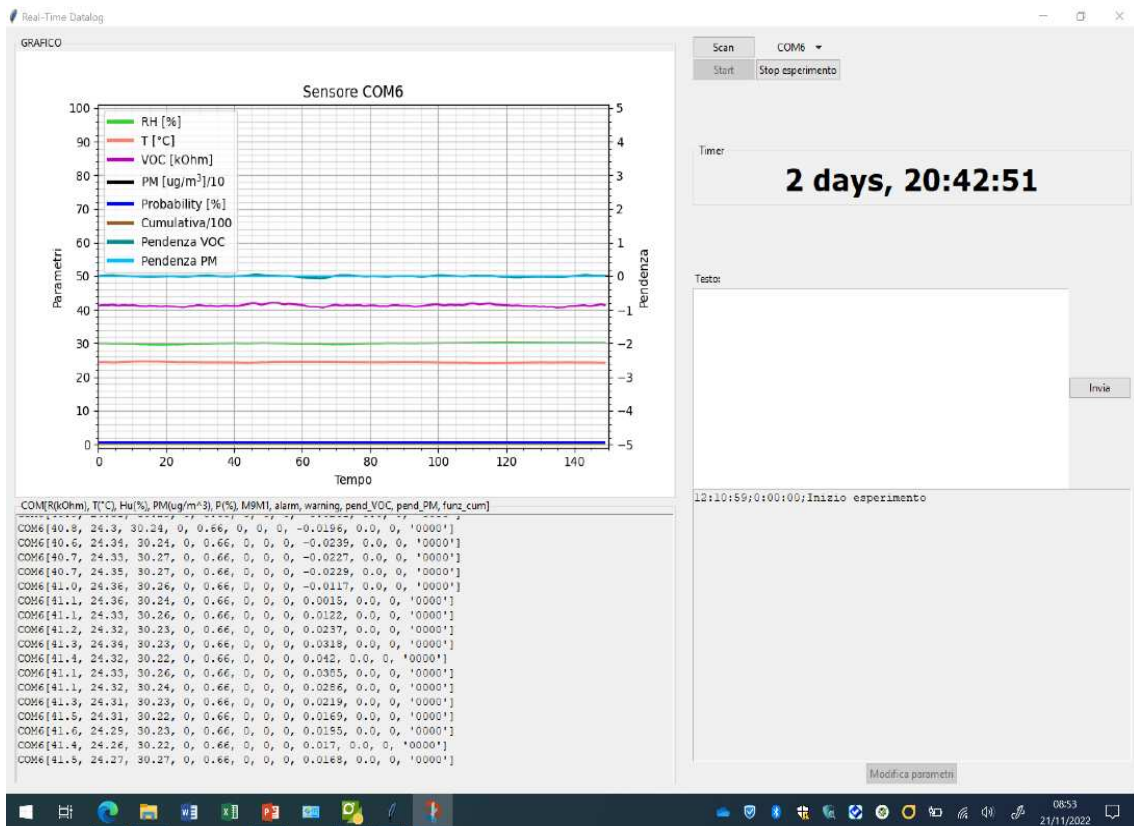
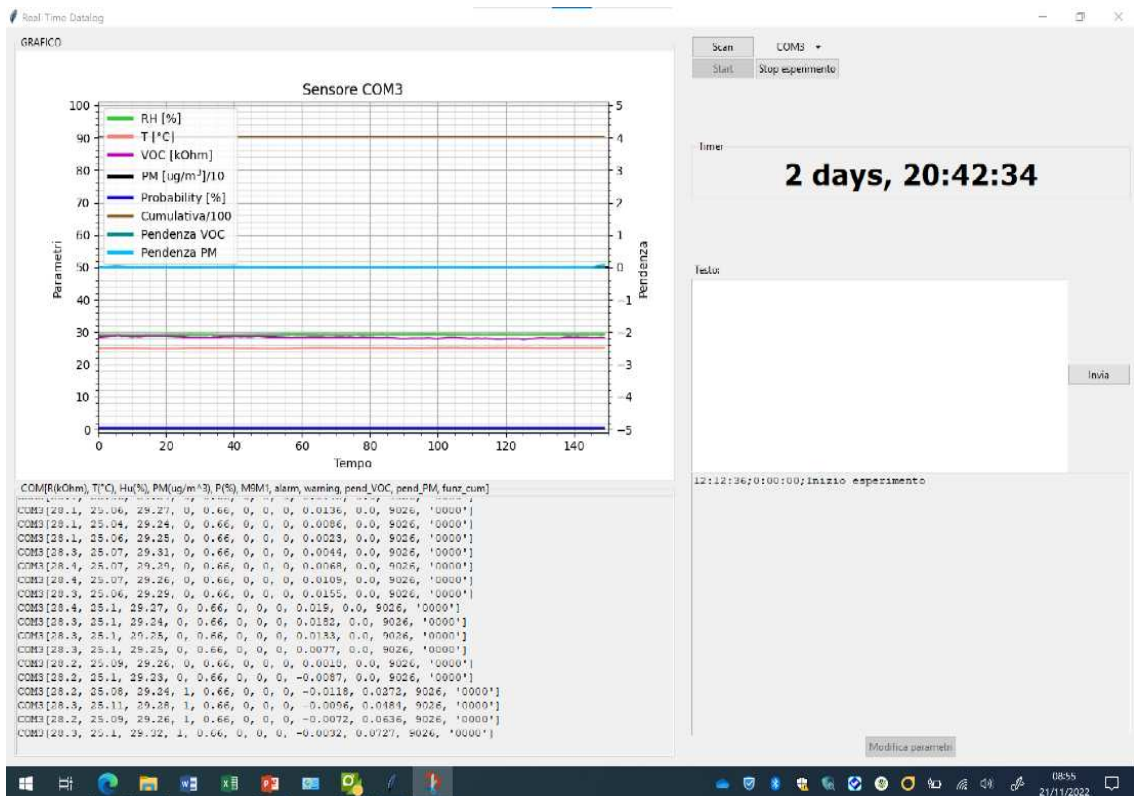


Figura 34 Schermate di due istanze del Real Time Datalogger relative a due sensori Cooking Care comunicanti mediante due COM diverse

➤ Setup 2: Field Test

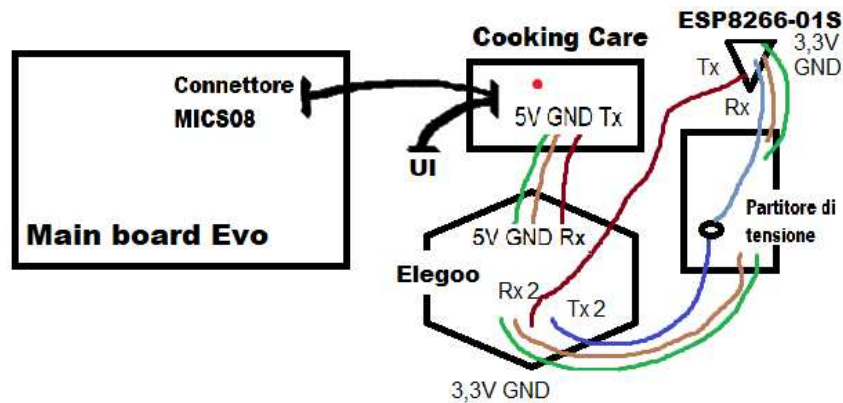


Figura 35 Schema a blocchi Field Test

Il presente setup è usato per implementare un sistema con connettività Wi-Fi, che permetta la visualizzazione dei dati acquisiti dalla scheda multi-sensore in una pagina web accessibile da un client connesso alla rete locale wireless generata dal modulo ESP8266-01S.

Anche in questo secondo setup, è prevista la presenza della scheda Evo che, alimentata a tensione di rete, attraverso un alimentatore switching integrato, fornisce la tensione ai componenti del sistema. In particolare, questo setup prevede la presenza del sensore con tecnologia Cooking Care connesso alla scheda main, sempre grazie al connettore MICS08; quindi, dalla scheda sensore, grazie al connettore di debug e attraverso dei cavi Jumper per BreadBoard, è possibile connettersi alla board Elegoo Mega R3. Ciò avviene impegnando il pin di alimentazione (5 V), di GND e di trasmissione Tx al lato sensore, che vengono connessi rispettivamente alla 5 V della board Elegoo, al GND e al pin di ricezione dati Rx corrispondente al Digital PIN 0.

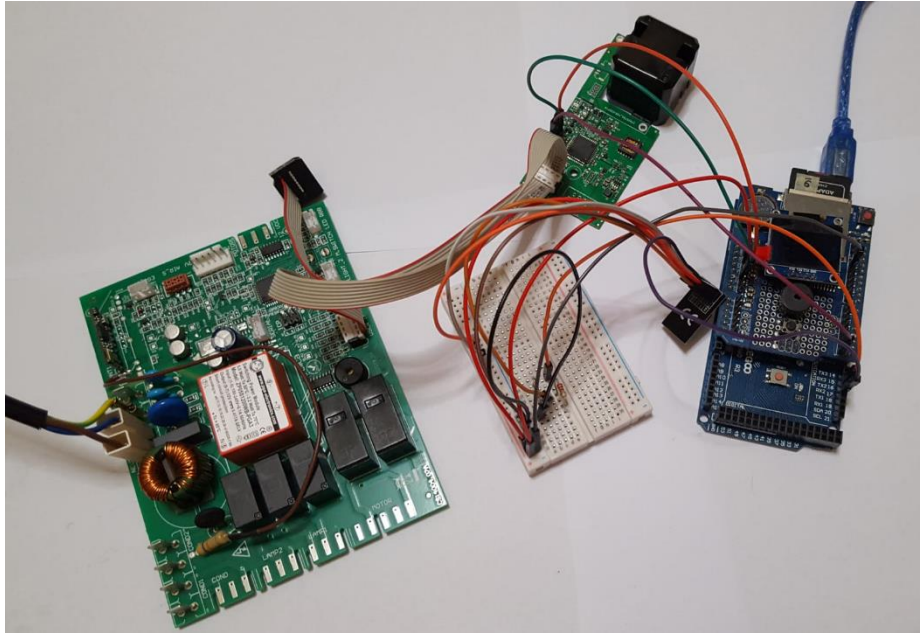


Figura 36 Setup Field Test

A quanto descritto, si aggiunge la presenza del modulo scelto per implementare la connettività Wi-Fi, cioè l'ESP8266-01S, che verrà descritto più dettagliatamente in seguito.

Il pin della scheda Elegoo che fornisce la tensione a 3,3 V, è usato per fornire l'alimentazione all'ESP. Si collegano anche i pin di GND e di trasmissione Tx del modulo, con i pin di GND e ricezione Rx appartenente alla linea di comunicazione seriale2 e corrispondente al pin 17Rx2, presente nella scheda Elegoo. Per quanto riguarda il pin di ricezione dati Rx del modulo WiFi, così come avviene per le altre connessioni messe a disposizione dall'ESP, il collegamento non è diretto con Elegoo, ma viene realizzato su BreadBoard. La motivazione sta nel fatto che in ricezione, l'ESP, accetta segnali a 3,3V, mentre, grazie all'utilizzo di un multimetro, si è constatato che la board Elegoo trasmette a 5 V. Dunque, per rendere i due livelli di tensione compatibili, occorre realizzare un partitore così da abbassare i 5 V a 3,3 V.

- Modulo WIFI ESP8266-01S (AZ-delivery)

a. Descrizione

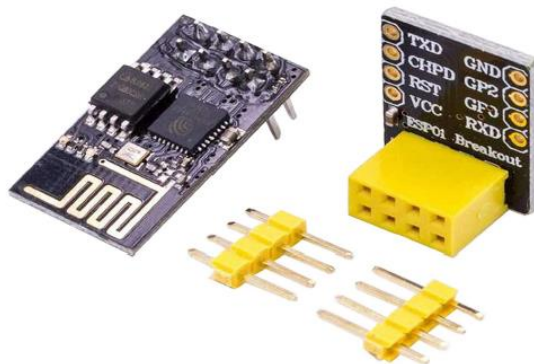


Figura 37 Modulo ESP8266-01S

Il modulo ESP8266-01S è un System on a Chip (SoC), prodotto da Espressif. Consiste in un microcontrollore e un ricetrasmittitore WiFi che permette diverse possibilità di utilizzo, come quelle di connettersi ad una rete wireless nota (modalità di funzionamento da Station), a Internet, ospitare un server web con pagine web personalizzate (modalità di funzionamento da Access Point) e consentire la creazione di una propria LAN così da permettere ad uno smartphone di collegarsi ad esso.

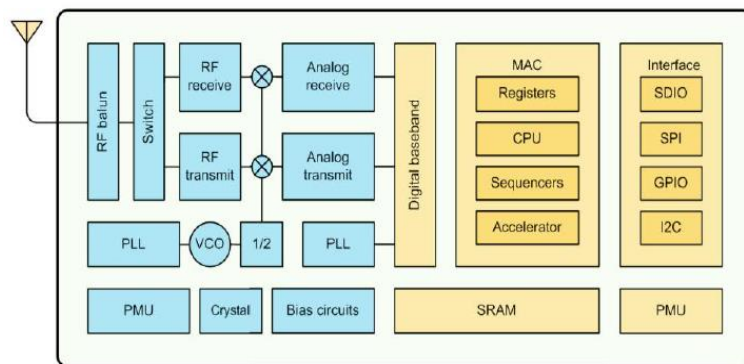


Figura 38 Schema a blocchi ESP8266-01S

b. Modalità di funzionamento

Esistono due modi di programmare l'ESP8266-01S: quello che prevede il funzionamento normale e quello di programmazione. La modalità che si sceglie implica un setup differente. Il primo consiste nell'utilizzare i comandi "AT" (Attention commands), e il secondo prevede la programmazione dell'ESP8266 proprio come un microcontrollore: in questo secondo utilizzo, si esclude l'impiego di una board esterna; il modulo si avvia attraverso un flash esterno e, grazie alla memoria cache

integrata e al processore da 80 MHz, si riscontra un miglioramento delle prestazioni del sistema. Il primo metodo citato, nonché quello implementato per realizzare la connessione Wi-Fi, prevede l'impiego della board ElegooMega R3, e quindi la programmazione della piattaforma stessa.

c. Schematico

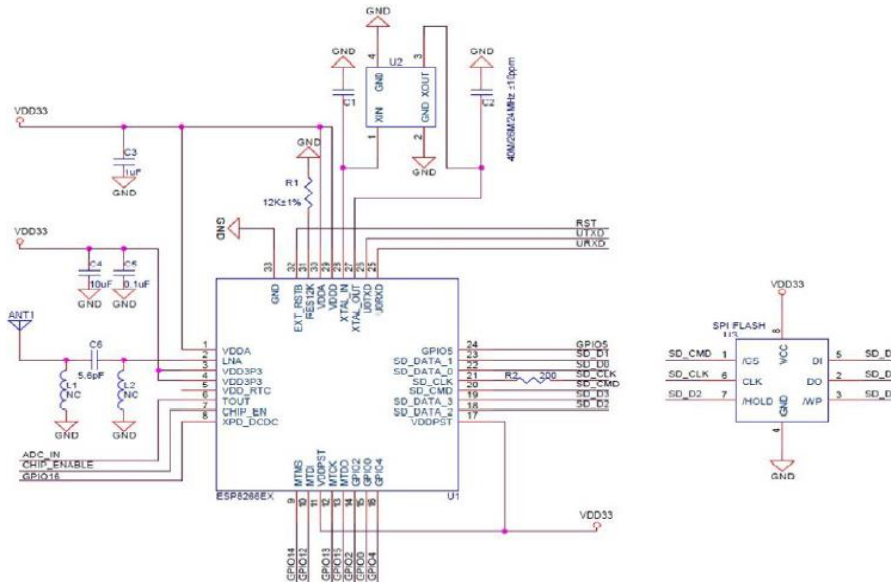


Figura 39 Schematico microcontrollore ESP8266-01S

d. Layout

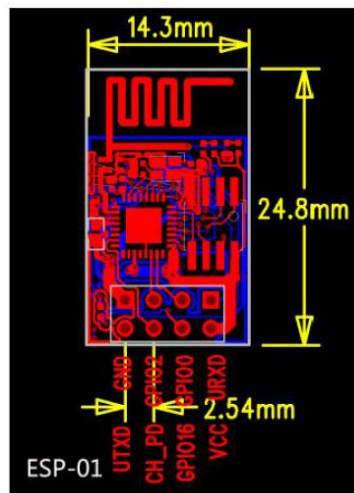
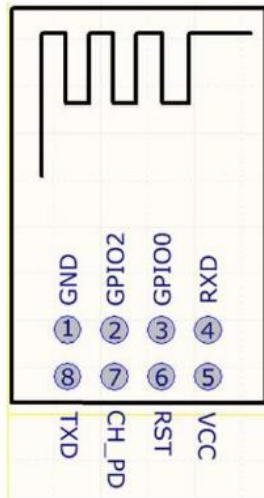


Figura 40 Layout EESP8266-01S

e. Pinout e Setup utilizzato



NO.	Pin Name	Function
1	GND	GND
2	GPIO2	GPIO,Internal Pull-up
3	GPIO0	GPIO,Internal Pull-up
4	RXD	UART0,data received pin RXD
5	VCC	3.3V power supply (VDD)
6	RST	1) External reset pin, active low 2) Can loft or external MCU
7	CH_PD	Chip enable pin. Active high
8	TXD	UART0,data send pin RXD

Figura 41 Pinout ESP8266-01S

L'AZ-Delivery esp8266-01S ha otto pin. Due sono usati per l'alimentazione (VCC e GND); due per la comunicazione seriale (RXD e TXD) e, infatti, impiegati nel collegamento con Elegoo; due come GPIO. Questi ultimi due pin, (GPIO0 e GPIO2), sono utilizzabili come ingressi o uscite digitali nel caso di programmazione diretta del microcontrollore a bordo dell'ESP. Infine, il modulo Wi-Fi ha un pin di ripristino (RST), oltre che un pin denominato CH_PD, per riavviare.

f. Comunicazione

Il modulo possiede di default un firmware preinstallato, fornito dall'Ai-Thinker, attraverso il quale i dispositivi collegati, ad esempio Elegoo, possono comunicare con l'ESP stesso impiegando i comandi AT. In realtà il set di istruzioni AT è relativamente vecchio (circa 30 anni) ed è stato originariamente sviluppato per la comunicazione con i modem. Tuttavia, la sua semplicità e portabilità lo rendono ideale per il suo impiego nell'ESP. Tutti i comandi AT iniziano con "AT+" e sono quindi seguiti dal comando vero e proprio. È anche importante che tutti i comandi AT terminino con un'interruzione di riga, rappresentata del CarriageReturn e LineFeed (CR e NL).

g. Specifiche tecniche

Standard WiFi supportati	IEEE 802.11 b/g/n
Range di frequenza	2.4GHz - 2.5GHz

Tensione di esercizio	3,0 – 3,6 V
Corrente di esercizio	Valore medio: 80mA
Dimensioni	14,3 mm x 24,8 mm x 3 mm
Microcontrollore	Tensilica L106 a 32-bit a bassa potenza integrato
ADC	10-bit Integrato
Protocolli di rete integrati	IPv4, TCP/UDP/HTTP/FTP
Modalità di funzionamento supportate	STA/AP/STA+AP
Sicurezza	WPA/WPA2
Cifratura	WEP/TKIP/AES
Consumo in standby	< 1.0mW
Intervallo operativo di temperatura	da -40 °C a 125 °C

Figura 42 Specifiche tecniche

- Elegoo Mega2560 R3 e FieldTest.ino

a. Descrizione

Come precedentemente illustrato, si è scelto di non andare a programmare direttamente il microcontrollore dell'ESP8266-01S, optando invece per una programmazione tramite piattaforma Elegoo ed interfacciandosi col modulo tramite l'IDE di Arduino sfruttando i comandi AT. Questo perché programmare un MCU è un'attività non scontata: implementare un firmware per un microcontrollore comporta la gestione di più file, librerie e sketch. Nella modalità impiegata, invece, l'ESP è usato come ponte per trasferire i dati dal sensore alla rete locale, senza necessità di scrittura di nuovo codice per la gestione della comunicazione, andando a sfruttare i comandi AT che, tra

l'altro, costituiscono la base delle funzioni messe a disposizione dalle librerie. Questa scelta rende quindi, il codice interfacciabile con eventuali moduli differenti dall'ESP, i quali non avrebbero supportato tali librerie. Inoltre, un altro fattore che ha pesato molto nell'influenzare tale scelta, è stata la presenza dello sketch "FieldTest.ino" sviluppato da UpSens. In tale programma si gestiscono le stringhe di dati inviati dal sensore, se ne esegue il parsing e avviene l'associazione con il relativo timestamp. Oltre a questo, sono presenti le istruzioni per la gestione degli errori, delle eccezioni e degli interrupt. Quest'ultimi sono dei segnali asincroni che vengono generati quando si verifica una variazione di stato su uno dei PIN di Elegoo connessi alla periferica, nonché al sensore: normalmente il microcontrollore esegue le istruzioni all'interno della funzione "void loop()" in modo sequenziale e ripetitivo, ma quando si verifica un interrupt, il flusso delle istruzioni all'interno di tale funzione, viene interrotto e sono invocate altre routine create dall'utente. Quando le routine terminano, il flusso del programma prosegue normalmente. In più il programma si occupa del salvataggio dei dati acquisiti su una memoria SD esterna. Questo salvataggio è funzionale all'elaborazione e al debug, eseguibili in un momento successivo rispetto quello dell'acquisizione. In prima istanza, dunque, è necessario caricare lo sketch sviluppato da UpSense nell'IDE di Arduino, environment compatibile con la scheda Elegoo. Le operazioni previste da questo programma sono le stesse eseguite dal "Real Time DataLogger", a meno dell'evoluzione temporale dei dati. Infine, usufruendo dello strumento "monitor seriale" previsto dall'IDE, è possibile monitorare l'andamento dei valori in associazione ai relativi timestamp. Tali stringhe metadato-valore, vengono salvati su file .csv all'interno della memoria esterna SD, inserita nello shield installato nella scheda Elegoo.

In previsione di un field test, in realtà, risulta poco pratico poter entrare in possesso dei dati immagazzinati nella scheda SD: questa operazione richiederebbe la necessità di reperire fisicamente tale memoria nell'abitazione di ciascuna delle 30 utenze selezionate per tale test. Con queste considerazioni, si comprende il valore aggiunto delle nuove funzionalità Wi-Fi all'interno del programma già esistente.

Concentrandosi sulla descrizione della board Elegoo Mega R3, questa risulta munita di 54 pin I/O digitali, può essere alimentata tramite la connessione USB o con un alimentatore esterno.

b. Specifiche tecniche board Elegoo Mega2560 R3

Microcontrollore	ATmega2560
Tensione di esercizio	5 V;

Tensione di alimentazione	7-9 V;
Pin digitali di I/O	54 (di cui 15 forniscono l'uscita PWM)
Pin di ingresso analogici	16
Corrente per i pin I/O	40 mA
Corrente continua per pin 3.3V	50 mA
Lunghezza	101.5 mm
Larghezza	53.3 mm
Peso	34 g

Figura 43 Specifiche tecniche

c. Shield con Card SD e Display OLED

La piattaforma Elegoo necessita di un'espansione hardware al fine di poter utilizzare la memoria esterna SD. Tale shield viene inserito direttamente nella scheda Elegoo permettendo di aggiungere una grande quantità di spazio di archiviazione per i dati del progetto. La gestione delle funzionalità è semplificata grazie all'apposita libreria disponibile per l'IDE di Arduino, così da consentire operazioni di lettura e scrittura su file della scheda SD.

Nello shield menzionato, si può prevedere l'installazione del Display OLED AZDelivery 0.96 pollici controllato tramite l'interfaccia I²C. Grazie all'utilizzo combinato delle due librerie "Adafruit GFX" e "Adafruit SSD1306", il display può essere programmato rapidamente.

Lo sketch FieldTest.ino prevede anche la gestione di tali operazioni di salvataggio su SD e visualizzazione degli interrupt sul display.

- Collegamento Elegoo Mega2560 R3 con ESP8266-01S

Il livello logico di uscita predefinito di Elegoo è 5V mentre i pin TX e RX dell'ESP8266-01 supportano tensioni di 3,3 V e comunque non superiori a 3,6 V. Per evitare danni, si crea un partitore di tensione fra il Tx di Elegoo e l'Rx dell'ESP utilizzando un resistore da 1kΩ e 2,2kΩ per ridurre il segnale a 3,3 V. Nell'altra linea (Rx di Elegoo collegato al Tx dell'ESP), non è necessario nessun componente aggiuntivo, in quanto l'uscita Tx del modulo a 3.3V funziona senza problemi con l'ingresso Rx di

Elegoo. Successivamente, si inizializza l'ESP-01: si collegano il pin CH-PD e il pin di RST all'alimentazione a 3,3 V. Ovviamente il GND del modulo è connesso col GND della board e si ha un collegamento diretto anche tra i pin di Vcc, tensione fornita già a 3,3 V da Elegoo.

PROTOCOLLO DI COMUNICAZIONE ONE-WIRE

Il protocollo "One Wire" è un protocollo proprietario di Elica. Tale sistema si basa sull'uso del protocollo UART, la comunicazione è di tipo half-duplex NRZ (ricezione e trasmissione non possono avvenire contemporaneamente e il segnale non prevede il livello di tensione zero ma solo quelli alto e basso), la trasmissione è bidirezionale e a singolo filo (one wire).

I. Protocollo di comunicazione 1-Wire

Il protocollo "One-Wire" è una derivazione di quello sviluppato dalla Maxim Integrated (ex Dallas Semiconductor), noto con il nome di "1-Wire bus". La trasmissione avviene tra un dispositivo detto "master", che controlla uno o più dispositivi detti 'slave', che condividono il bus col primo. In ogni sistema che utilizza il protocollo 1-Wire, qualsiasi dispositivo ha il suo ID e nessun altro elemento può avere un ID uguale. Questa caratteristica permette al dispositivo master di selezionare un determinato slave tra quelli presenti nello stesso bus.

Nello stato di "Idle", ovvero quando non c'è comunicazione, la linea è posta alla tensione positiva. In questo stato, il dispositivo slave immagazzina carica elettrica in un condensatore interno. Quando inizia la trasmissione, il bus viene posto a livello basso e in questa seconda fase in cui ha luogo la comunicazione, il dispositivo si autoalimenta utilizzando la carica precedentemente immagazzinata nel condensatore interno.

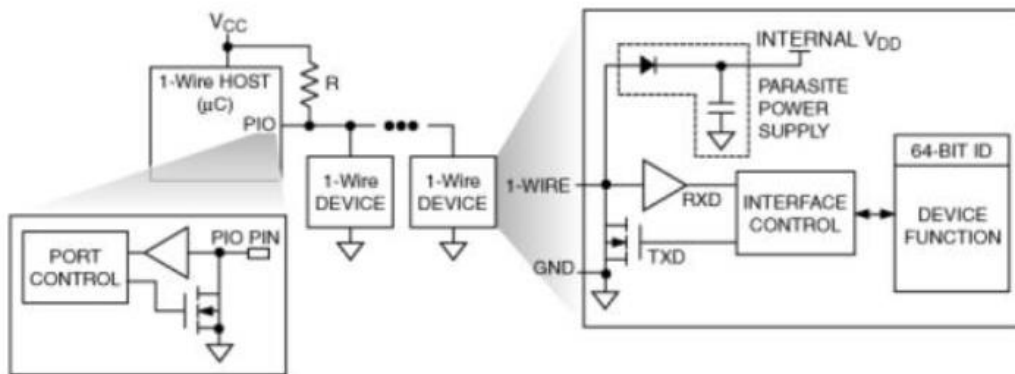


Figura 44 Schema a blocchi del sistema 1-Wire e struttura Master-Slave

Non è richiesto un clock di sistema in quanto la sincronizzazione avviene con il fronte di discesa del bus quando pilotato dal master. Per trasmettere/ricevere il singolo bit, si utilizza un impulso, per cui, nell'insieme, le forme d'onda che si susseguono nel bus durante la comunicazione, sono simili

ai segnali PWM. In particolare, per rappresentare un bit "0" si utilizza un impulso "largo" mentre per il bit "1" si utilizza l'impulso "stretto".

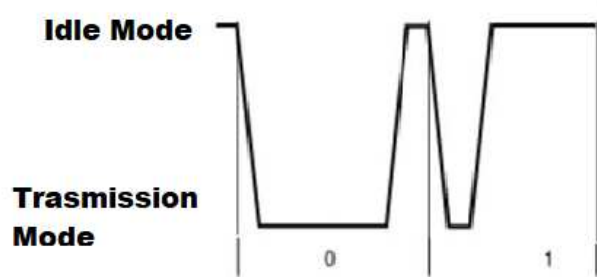


Figura 45 Impulsi rappresentativi del bit 0 e del bit 1 nella comunicazione 1-Wire

Con l'impiego del protocollo 1-Wire, la prima azione che si effettua sul bus, necessaria per le successive comunicazioni, è la selezione dei dispositivi slave (discovery dei nodi): in un sistema con diversi slave, tale fase prevede un primo momento in cui tutti i dispositivi periferici rispondono al segnale di sincronismo inviato broadcast dal master (segnale di Reset), che consiste in un impulso di durata definita che mette a livello basso il bus per un tempo noto, e, al termine del quale, il master rilascia il bus, e ogni singolo slave risponde con un "impulso di presenza", realizzato mediante l'impegno del bus stesso; il secondo momento, è quello in cui si effettua la comunicazione vera e propria, selezionando uno specifico slave mediante il suo ID. Tale ricerca è compiuta dal master mediante un algoritmo di ricerca binaria. Quando uno specifico slave è selezionato, il master utilizza comandi dedicati per spedire o leggere dati da esso. Nello stesso tempo, tutti gli altri dispositivi slave, presenti sulla linea ma non selezionati dal master, ignorano la comunicazione.

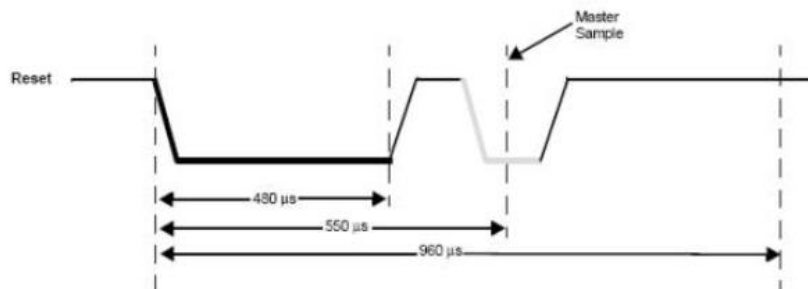


Figura 46 Diagramma temporale del bus nella fase di Reset del protocollo 1-Wire

II. Protocollo di comunicazione One-Wire Elica

➤ Interfaccia fisica

Il connettore per la connessione dei vari dispositivi è il Lumberg MICS 08, che presenta la seguente piedinatura:

- 1-> GND;
- 5-> +12 V (corrente di picco max. 250 mA);
- 7-> Comando di spegnimento per il modulo con connettività (attivo alto, 3,3 V o 5 V);
- 8-> segnale dati One-Wire (normalmente alto, 3,3 V o 5 V).

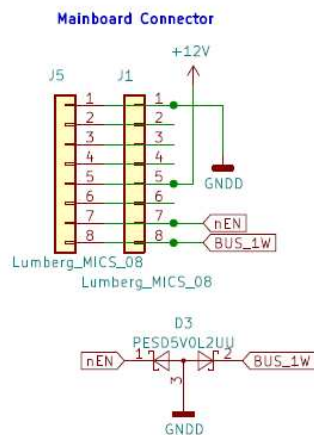


Figura 47 Schematico connettore MICS08

➤ Architettura

Viene utilizzata una struttura "round-robin", in cui ogni dispositivo può comunicare durante il suo turno, con ciascuno degli altri partecipanti. L'elemento con ID = 1 è sempre presente perché assume il ruolo di master nella comunicazione ed è rivestito dalla scheda main Evo. Tale dispositivo rileva gli altri nodi che sono connessi al bus e che possono essere in numero non maggiore di 7: oltre alle periferiche in bassa tensione (nonché gli slave), controlla anche i carichi in alta tensione della cappa, tipicamente il motore elettrico e le luci. Tale fase di discovery, si verifica all'accensione e periodicamente ogni 30 sec, questo per verificare che tutti i dispositivi collegati siano ancora disponibili. Così facendo, il master riserva un time slot per ogni nodo slave. In base alla priorità di comunicazione, uno slave può utilizzare il proprio slot temporale per *rispondere a richieste* precedenti o per *trasmettere il proprio stato* ad altri dispositivi.

➤ Formato dei frame

Ogni frame della comunicazione è composto da:

- Token (inviato dal nodo master con ID = 1 e trasmesso ogni 10 ms): contiene un primo byte per il segnale che nel 1-Wire era chiamato Reset, nonché quel segnale che permette il sincronismo; un secondo byte contenente l'ID del nodo che è autorizzato a trasmettere in quel time slot;
- Messaggio principale o richiesta (inviato dal nodo autorizzato a trasmettere in quel time slot);
- Acknowledge o risposta (inviato dal nodo destinatario del messaggio principale).

La struttura che viene utilizzata in ogni messaggio prevede dei campi definiti a livello di trasporto (in verde) e dei campi necessari per rappresentare il payload dei dati (in arancione). Ovviamente questi ultimi sono specifici per ogni tipo di messaggio:



Figura 48 Struttura dei Frame One-Wire

Dove:

- Tr/Dst (1 byte), contiene ID del mittente e l'indirizzo di destinazione;
- Type (1 byte), che indica il formato del payload (8, 16 o 32 bit), il tipo di operazione, cioè lettura/scrittura/risposta/trasmissione/acknowledge;
- Payload (la struttura differisce a seconda che si tratti di un messaggio a 8, 16 o 32 bit e a seconda che sia un messaggio di richiesta di lettura, richiesta di scrittura, risposta ad una precedente richiesta di lettura, un aggiornamento dello stato);
- CheckSum (1 byte, somma modulo 256 dei campi precedenti, per garantire la sicurezza di tutti i bit).

➤ Discovery degli slave e del loro ID

La selezione dei nodi nella rete viene eseguita sia all'accensione, dove il master invia tutti i token possibili (al massimo 7) e attende una risposta da ogni nodo per confermare se questo esiste, sia periodicamente durante il funzionamento, cioè ogni 30 sec. Il Reference ID (RefID) di ogni nodo, è incluso nella risposta formulata durante la fase di discovery.

All'avvio del sistema, il dispositivo con ID = 1, che è sempre presente, invia ad ogni altro nodo (ID = 2...7), in maniera broadcast, un pacchetto token contenente il segnale di sincronismo e la sua "Ident

Table". Questa operazione viene ripetuta più volte così da garantire che ogni dispositivo slave possa rispondere all'appello. Alla ricezione di questo pacchetto, che è un broadcast quindi ogni dispositivo slave deve essere in grado di decodificarlo, ogni altro dispositivo pubblicherà la sua Ident Table nel suo specifico time slot, similmente a ciò che avviene in una comunicazione TDM, e sempre in modalità broadcast. La procedura di discovery dei nodi si ripeterà periodicamente e se un nuovo nodo inizierà a rispondere alla selezione in un secondo momento rispetto all'avvio, verrà aggiunto nell'elenco dei nodi presenti, mentre, se un nodo che era stato individuato precedentemente smette di rispondere ai check periodici successivi, viene comunque mantenuto nella lista dei nodi presenti.

➤ Tool per il debug del bus One-Wire

Per la fase di debug, è stato sviluppato un software, scritto in linguaggio Python, in grado di associare alle forme d'onda presenti sul bus, tutte le variabili e i corrispondenti RefID degli attori in gioco, andando a fare un parsing dei pacchetti che vengono trasmessi.

Tale strumento, in prima approssimazione, va a sostituire l'analizzatore logico, il quale verrà impiegato unicamente in caso di problemi, malfunzionamenti o anomalie riscontrate precedentemente col tool in questione. Si riportano due schermate di tale software. Nella prima si può osservare un ciclo di discovery iniziato dalla Main Board con ID 01.

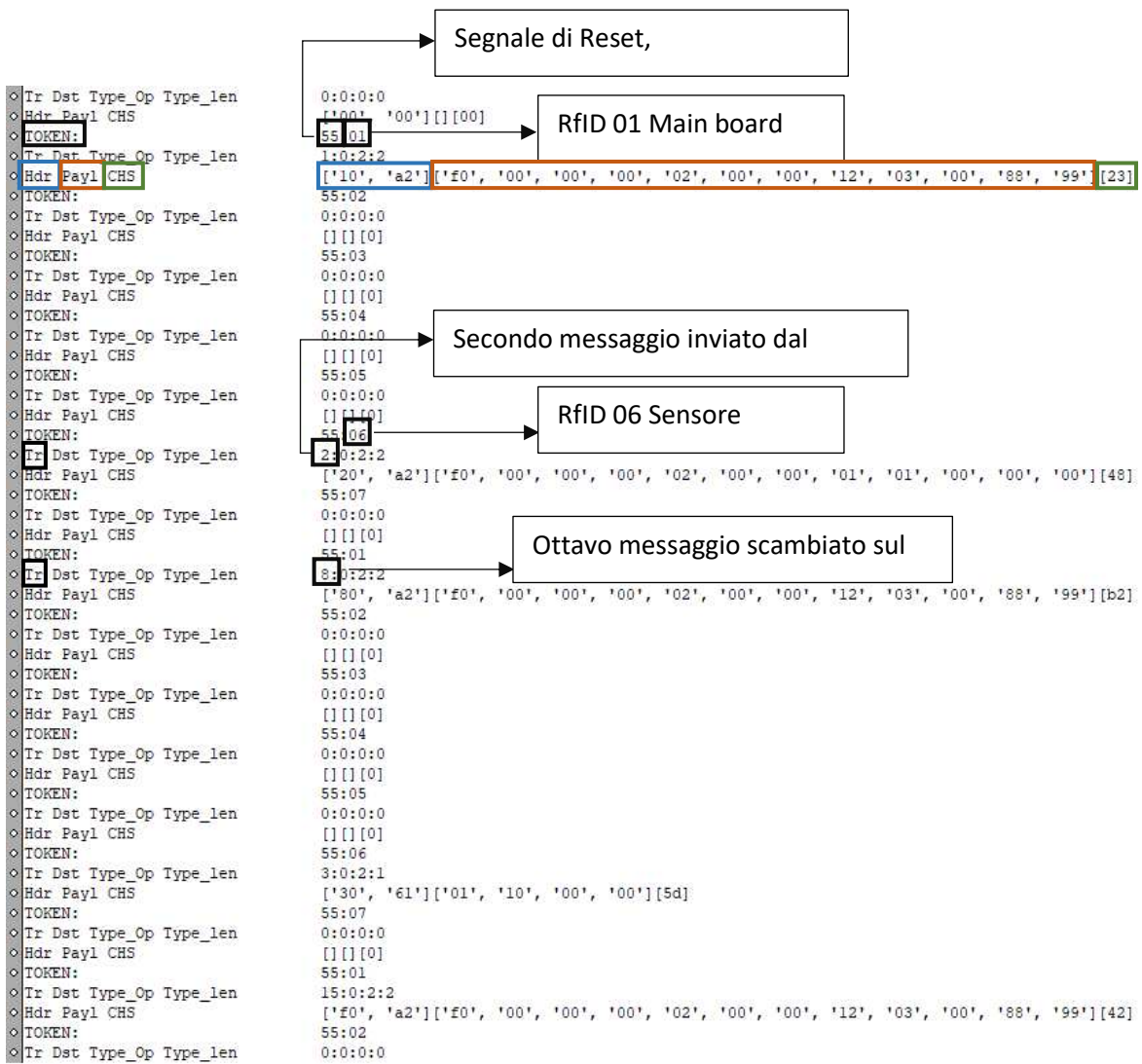


Figura 49 Schermata del software di debug. Fase di Discovery delle periferiche

Nella seconda schermata si evidenzia il secondo step della comunicazione, cioè quello in cui il master e gli slave presenti (in questo caso Main Evo con ID 01 e sensore Cooking Care con ID 06) si scambiano i token e i frame dei pacchetti contenenti le informazioni.



Figura 50 Schermata del software di debug. Fase di comunicazione tra main board con ID 01 e sensore Cooking Care con ID 06

Ogni 10 ms, ID 01 trasmette un TOKEN contenente un byte dedicato al segnale di sync e un byte dedicato all'identificazione dell'elemento a cui spetta la trasmissione. A questo, segue la trasmissione del frame:

- 'Tr': il primo valore, se associato ad ID 01, indica il numero di messaggi totali scambiati sul bus (essendo in esadecimale, dopo 15, l'enumerazione ricomincerà da 1), se associato ad un altro slave, come ad esempio ID 06 (cioè al sensore Cooking Care), indica il numero di volte che tale elemento ha risposto al messaggio di selezione inviato dalla Main.

- 'Dst': se il messaggio è broadcast (0) o se è destinato ad uno specifico slave (1-7).
- 'Type_Op': indica il tipo di operazione da realizzare. Il valore esadecimale esprime se il payload conterrà una richiesta di lettura, di scrittura, una risposta o comunicazione broadcast (a seconda dell'ID di destinazione), oppure un ACK (ad esempio, con il valore 2 riportato nelle schermate, si indica una risposta a comunicazione broadcast).
- 'Type_Len': cambia a seconda del formato dei dati del payload (8-bit, 16-bit, 32-bit). Per dati di 8-bit, come riportato nelle schermate, si ha che il valore 1 corrisponde al codice ACK (2 coppie RefID – dati, per un totale di 4 byte); il valore 2 indica che il payload conterrà un messaggio di scrittura, risposta o trasmissione, con lunghezza totale di 4 byte articolati in 2 coppie RefID – dati; il valore 4 indica che ci si aspettano quattro coppie RefID - dati (8byte totali).

Nella terza riga della comunicazione, si evidenziano tra parentesi quadre i tre campi corrispondenti rispettivamente all'header, al payload vero e proprio e al checksum.

Attraverso tale software, sono stati studiati e risolti due bug.

- Bug sulla comunicazione del sensore Cooking Care in setup completo.

Descrizione del bug: durante le prove eseguite sul setup completo, (UI con ID 02, motore con ID 03, modulo Wi-Fi con ID 04 e sensore Cooking Care con ID 06), il sensore Cooking Care non termina la trasmissione dei dati. Esaminando il file di log ottenuto con il software, si notata un'assenza di quegli RefID appartenenti agli slave a cui sarebbe spettato il turno di comunicazione sul bus. L'ultimo elemento riscontrato ad impegnare il bus è il sensore Cooking Care. Inizialmente quest'ultimo assume un comportamento tale per cui, durante il time slot ad essa riservato, va ad impegnare il bus correttamente, cioè ponendolo ad un livello logico basso, ma, al termine della sua finestra temporale, cioè quando il livello logico del bus dovrebbe tornare alto, il livello di tensione rimane, invece, ad un valore basso, e cioè di canale impegnato, non permettendo quindi la cessione del time slot allo slave successivo, e dunque impedendo il suo turno di trasmissione. La root cause è stata determinata e tale bug è in fase di risoluzione.

- Bug sulla trasmissione di dati dal sensore di temperatura e umidità al multi-sensore Cooking Care

Descrizione del bug: dopo un tempo variabile di funzionamento il sensore Cooking Care smetteva di trasmettere i dati di temperatura e umidità.

L'origine e la soluzione del problema saranno affrontati nello specifico nel capitolo 5. Una volta trovata la soluzione, si è utilizzato il software per controllare a basso livello il corretto flusso di informazioni presenti sul bus, confrontando il firmware prima e dopo la risoluzione del bug stesso.

ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI DEL VALIDATION PLAN

Nella fase di Validation Plan relativa alla qualifica dei sensori, oltre alla prova vita della durata di 12 settimane in camera climatica, è previsto un test preliminare per valutare l'andamento delle grandezze in ambiente reale.

Il setup allestito permette l'acquisizione di dati da quattro sensori con tecnologia Cooking Care comunicanti in parallelo con il software "Real Time Datalogger". Sotto si riporta il risultato di tale test: in totale sono 180 ore di acquisizione continuative.

I. Elaborazione dati per le quattro schede multi-sensore

- a. Durata: 180 ore
- b. Ambiente: ufficio
- c. Sample time: 2 secondi

Si riportano, quindi, gli andamenti delle grandezze acquisite dalle quattro schede multi-sensore con firmware 3.0.1.

Scheda multi-sensore #11

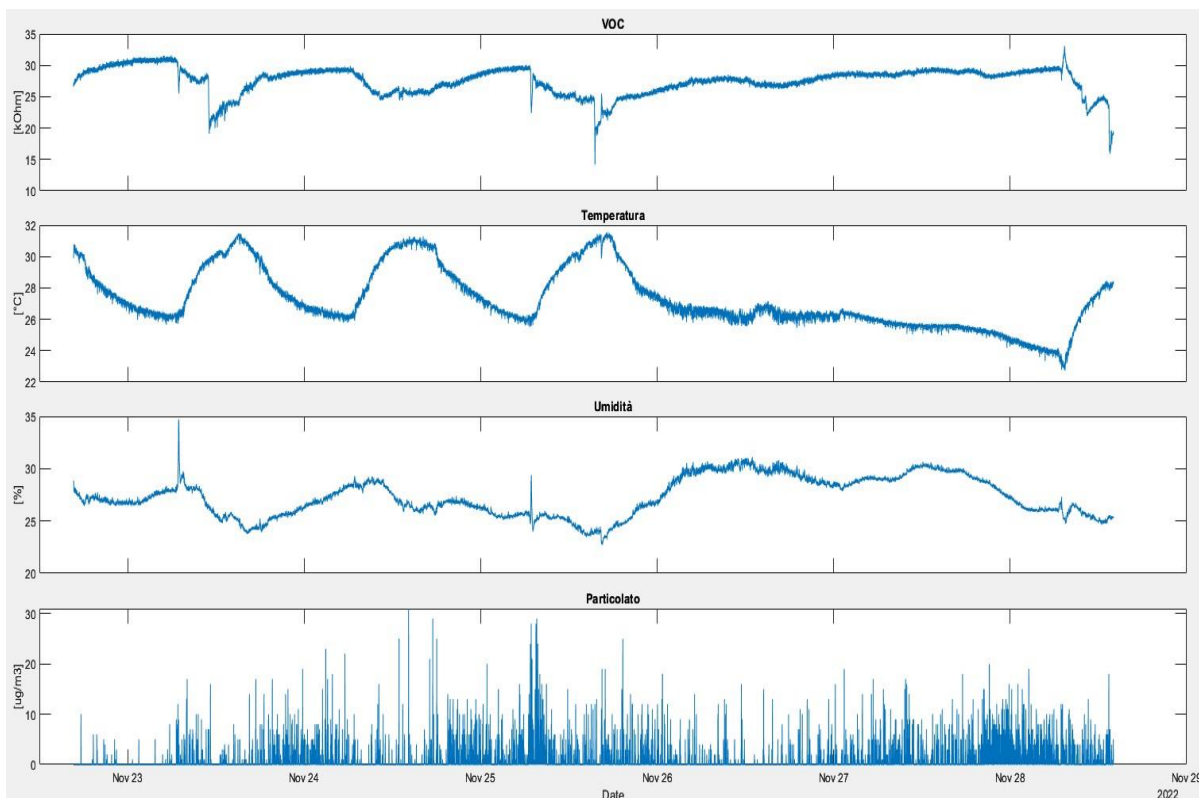


Figura 51 Dati misurati dal multi-sensore #11. VOC, temperatura, umidità relativa e particolato

Scheda multi-sensore #1

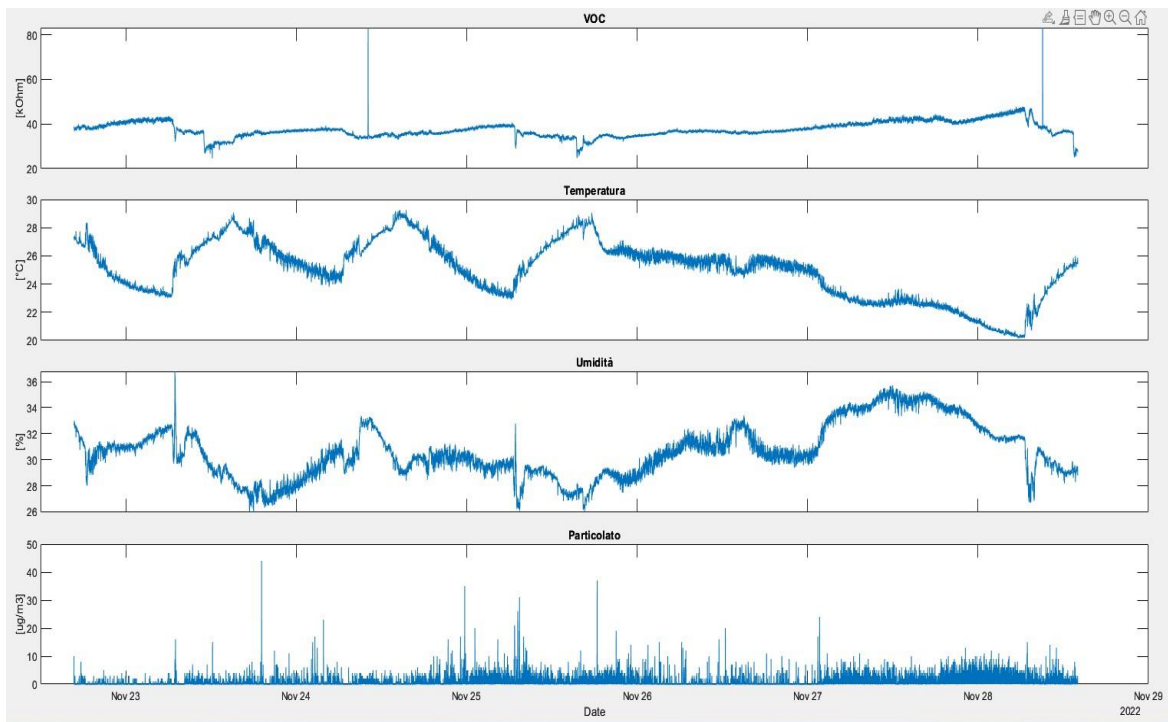


Figura 52 Dati misurati dal multi-sensore #1. VOC, temperatura, umidità relativa e particolato

Scheda multi-sensore #17

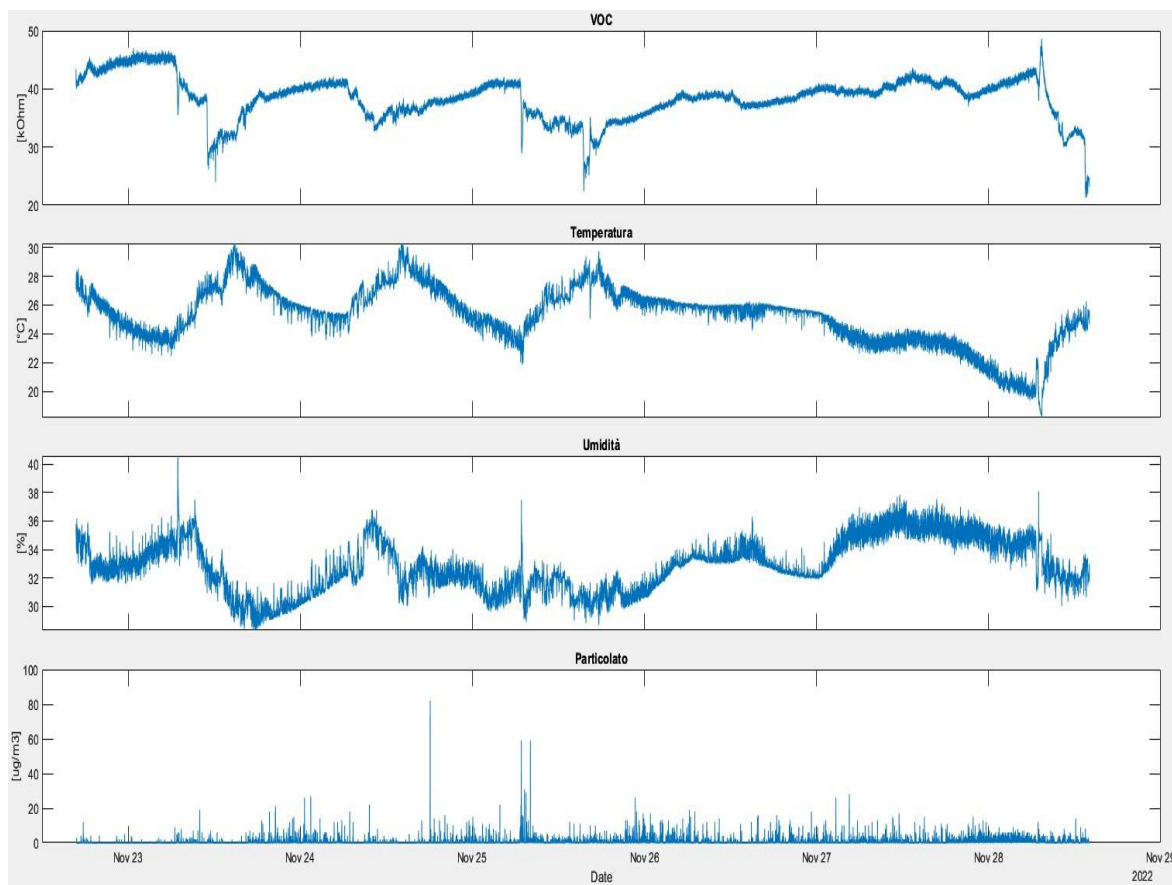


Figura 53 Dati misurati dal multi-sensore #17. VOC, temperatura, umidità relativa e particolato

Scheda multi-sensore #19

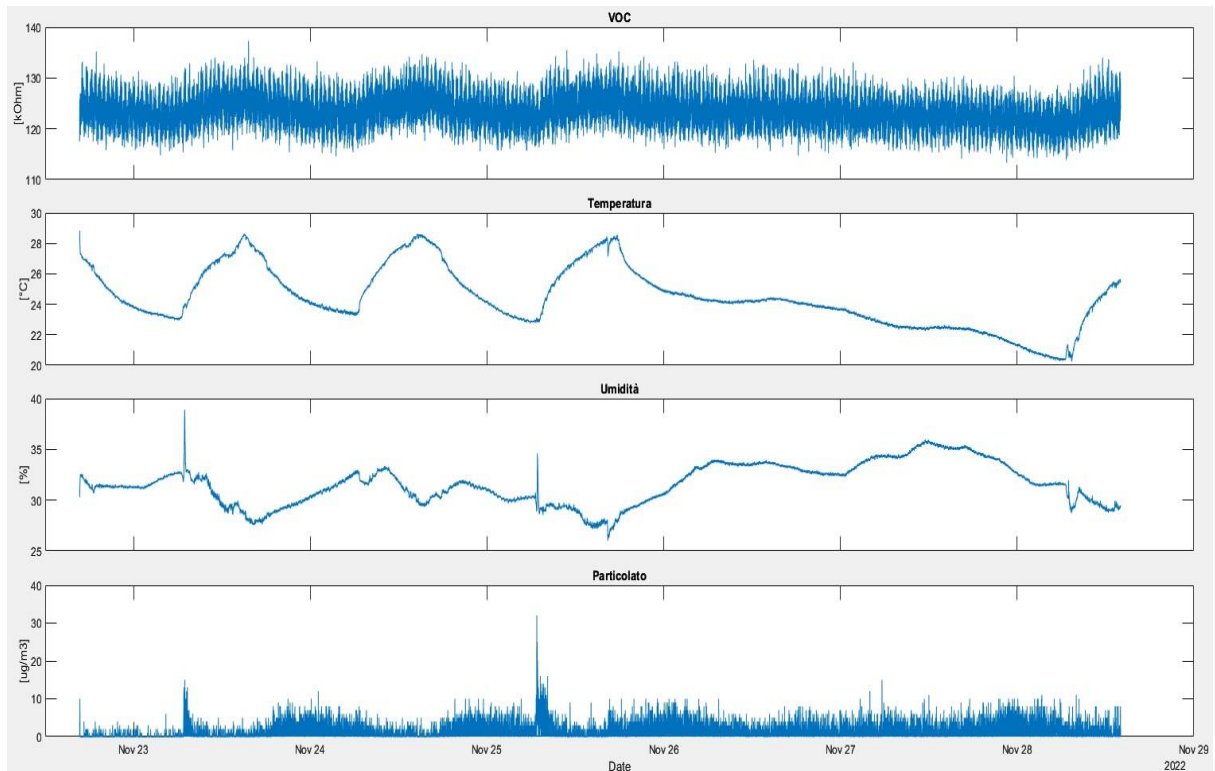


Figura 54 Dati misurati dal multi-sensore #19. VOC, temperatura, umidità relativa e particolato

Come spiegato negli obiettivi, con la prova svolta in ambiente non controllato, non è possibile valutare la ripetibilità della misura di un sensore, perché il misurando non è noto.

Questi dati sono utili per il confronto tra le caratteristiche dei vari sensori: in riferimento a temperatura e umidità, si nota dai grafici, che la tendenza generale è simile per le quattro schede, ma si riscontrano anche delle differenze da un sensore all'altro, date da errori sistematici e dall'accuratezza. Ad esempio, per il sensore #11 si ha una temperatura media di 27.3°C, una umidità di 27.3%, un valore medio resistivo (VOC) di 27.5 kΩ. Per il sensore#1, nello stesso periodo di tempo si ha una temperatura media di 25.3°C, una umidità di 32.9%, un valore medio resistivo (VOC) di 38.4 kΩ. Per ovviare al problema si potrebbe pensare di agire lato software e andare a controllare il bias che altera il valore di riferimento. Inoltre, si evidenziano curve più rumorose di altre. Ciò potrebbe essere riconducibile alla presenza di un rumore elettronico introdotto dall'alimentazione e che potrebbe variare in base alla main Evo che si utilizza, visto che ogni sensore è alimentato da una differente. Quindi, per verificare che non sia la scheda di alimentazione Evo ad introdurre rumore, si dovrebbe ripetere il test cambiando i sensori associati, così da verificare se il rumore persiste o come si modifica. Uno studio più approfondito potrebbe essere condotto andando a misurare il periodo delle oscillazioni: se le oscillazioni sono ampie, la causa potrebbe essere

riconducibile al rumore termico; se le oscillazioni sono rapide, il problema è da ricercare nella componentistica (sensore, DCDC, mainboard, ecc.).

Relativamente ai dati sul VOC, si nota che il sensore Cooking Care #19 presenta un andamento molto più piatto rispetto alle altre tre schede Cooking Care. Le cause potrebbero essere diverse. Innanzi tutto, il livello di rumore è molto più elevato rispetto agli altri tre Cooking Care, e questo non permette di apprezzare le variazioni del misurando correttamente. Il sensore di VOC è un sensore analogico e per tanto, per leggere la resistenza, utilizza un circuito basato su ADC, OP-AMP, MOS e resistenze, facendo sì che sia più soggetto al rumore elettronico. Detto ciò, un motivo per cui la curva è molto piatta, potrebbe essere riconducibile ad una dinamica troppo lenta che determina l'incapacità di rispondere repentinamente alle variazioni del misurando. In alternativa, tale comportamento anomalo, si potrebbe ricondurre ad una vera e propria corruzione del substrato MOX del sensore. Sempre con riferimento alla curva di VOC, si nota che il valore medio per il #19 è molto maggiore rispetto al valore medio registrato per gli altri sensori Cooking Care, questo potrebbe far supporre l'esistenza di una correlazione tra il rumore e il valore della resistenza iniziale del sensore. Infatti, il valore della baseline attorno al quale oscilla il valore misurato, varia considerevolmente da sensore a sensore e questo dipende dalla composizione della pasta utilizzata per realizzare il substrato MOX.

Dai grafici, inoltre, si possono dedurre altre informazioni circa la correlazione tra l'orario e i valori misurati: l'acquisizione è stata fatta partire nel pomeriggio di una giornata lavorativa, seguita da altre tre giornate di lavoro. Infatti, si evidenzia un andamento ciclico delle grandezze di VOC, temperatura e umidità, influenzate sia dalla presenza (o assenza) delle persone, che dall'attivazione (o disattivazione) dell'impianto di climatizzazione: nella mattinata si evidenzia un andamento decrescente nella curva dei VOC, un andamento crescente nella curva di temperatura e, un andamento decrescente di umidità. Nelle ore serali e notturne, il valore di resistenza dei VOC torna ad essere elevato, ad indicare la presenza di una minore concentrazione di inquinanti, la temperatura scende e l'umidità aumenta. Questo andamento qualitativo è lo stesso per tutte le alternanze di giornate lavorative. Nel fine settimana, l'andamento delle curve risulta essere molto più stazionario, con i VOC e l'umidità che crescono lentamente e la temperatura che decresce altrettanto lentamente, fino alla mattina del lunedì in cui vengono riaccesi i riscaldamenti, evento che determina una nuova diminuzione dell'umidità, un incremento della temperatura e una diminuzione dei VOC.

II. Confronto delle quattro temperature (firmware 3.0.1)

Si nota come la tendenza delle curve, rappresentanti la temperatura misurata dai quattro sensori nell'arco di 24 ore, sia pressoché la stessa. Il sensore Cooking Care #11 presenta un valore medio più elevato, ma si potrebbe intervenire correggendo il bias e riportandolo al valore medio degli altri sensori che invece sono allineati.

Andamento delle temperature misurate dai sensori #1, #17, #19, #11

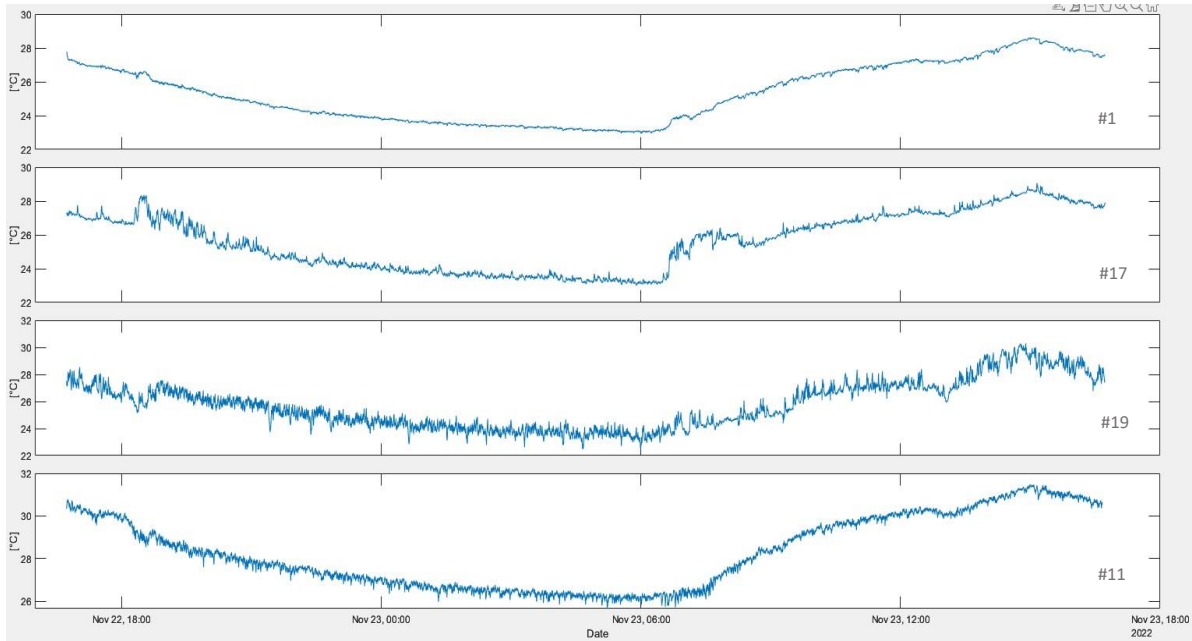


Figura 55 Dati di temperatura misurati dai multi-sensori #1, #17, #19, #11.

III. Valutazione dell'accuratezza

E' stata realizzata una sessione di acquisizione dati ponendo le quattro schede multi-sensore in lettura contemporaneamente con la sonda tarata "Saveris H3" (matrice "1037" e scadenza di taratura il 12/04/2023). Tale prova è stata possibile grazie all'opportunità di accedere alla strumentazione di proprietà del "Elica Propulsion Laboratory (EPL)", laboratorio all'avanguardia a livello globale, in grado di certificare prodotti sempre più innovativi grazie agli accreditamenti riconosciuti (Accredia, UL (Underwriter laboratories), Witnessed Manufacturing Test dal CQC che dipende dal China Certification & Inspection Group) rispondenti alle normative in materia di sicurezza, risparmio energetico e compatibilità elettromagnetica.

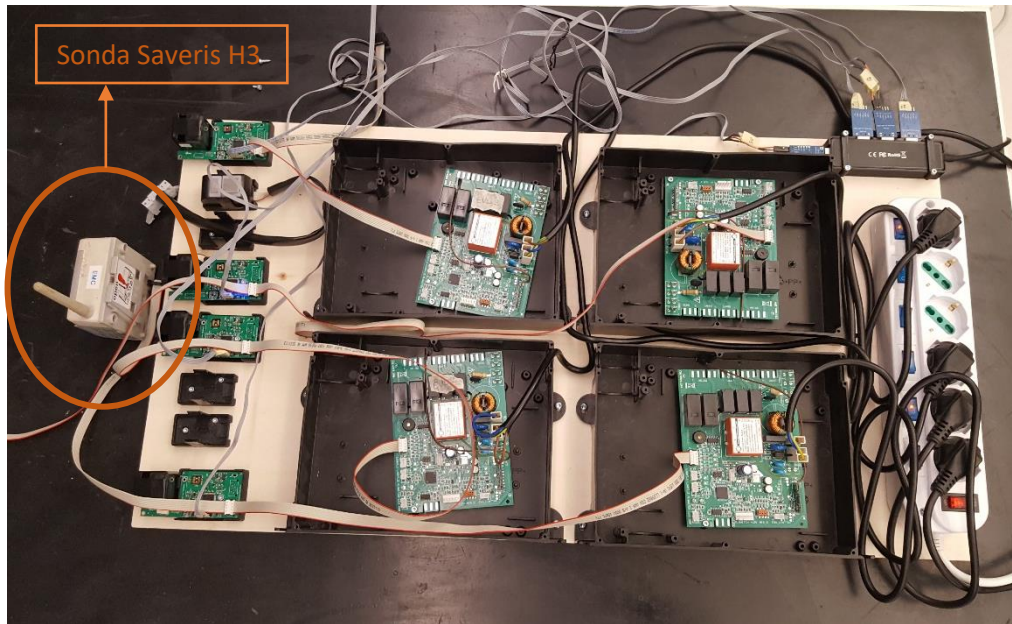


Figura 56 Setup per il confronto della temperatura e dell'umidità con la sonda tarata Saveris H3

Temperatura - NTC	
Campo di misura	-20 a +50 °C
Precisione	±0,5 °C
Risoluzione	0,1 °C

Umidità - capacitivo	
Campo di misura	0 a +100 %UR
Precisione	±3 %UR at +25 °C ±0,03 %UR/K ±1 digit
Risoluzione	0,1 % / 0,1 °Ctd

Figura 57 Dati tecnici del sensore di temperatura e umidità della sonda "Saveris H3"

Quindi, assumendo le letture eseguite dalla sonda come valori target, è possibile monitorare lo scostamento tra l'andamento desiderato e quello reale dei quattro sensori in caratterizzazione. Da sottolineare, vi è il fatto che il sampling time della sonda tarata è di 5 minuti, mentre quello dei sensori è di 2 secondi. Pertanto, tra i dati dei sensori, si è deciso di selezionare unicamente quei timestamps che risultavano coerenti con il tempo di campionamento della sonda.

Di seguito si riportano due grafici contenenti i confronti tra le misure di temperatura e umidità rilevate dai sensori Cooking Care e i valori captati dalla sonda Saveris H3. Si evidenzia una tendenza simile tra i valori registrati dai sensori e i valori di riferimento, ma esiste uno scostamento evidente tra il valore medio della sonda (20,05°C) e quello dei sensori. In particolare, il valore medio registrato dal sensore #2 è di 29,29°C (sensore Cooking Care con valore medio più alto), mentre quello registrato dal sensore #3 è di 25,15°C (sensore Cooking Care con valore medio più basso).

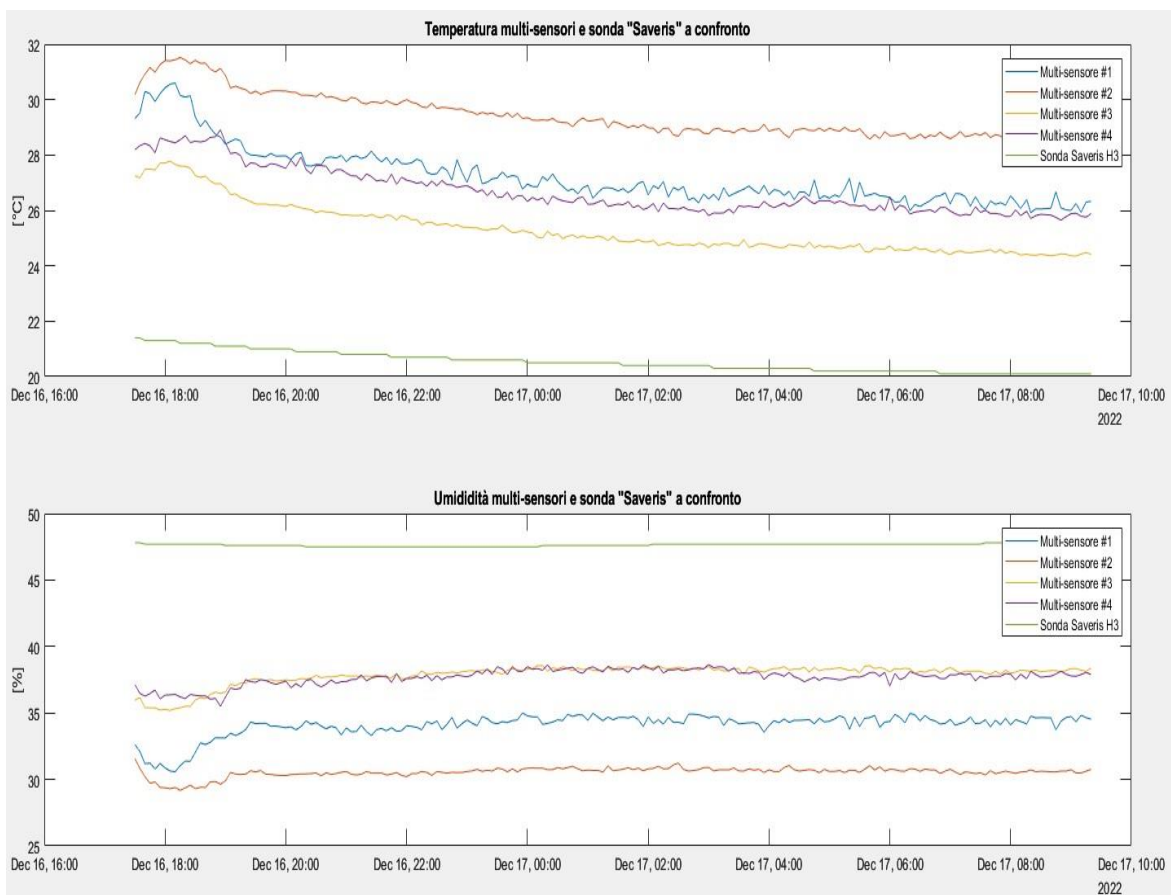


Figura 58 Confronto tra i dati acquisiti dai sensori e quelli della sonda tarata Saveris H3

IV. Bug nella comunicazione dei dati di temperatura e umidità

Inizialmente, le prime acquisizioni compiute con i sensori sono state eseguite basandosi sulla versione 3.0.0 del firmware sviluppato da UpSens e caricato nel microcontrollore del sensore. Andando a rielaborare i dati e, in particolare, graficando i valori di temperatura e umidità, si è notato che la trasmissione di queste ultime due grandezze si interrompeva.

Dopo dei test effettuati con il FW 3.0.0, si è notato che i valori di temperatura e umidità non venivano visualizzati correttamente indipendentemente dal setup impiegato, purché provvisto di scheda main Evo. Questo significa che, indipendentemente dalla modalità di store dei dati, e quindi sia che il salvataggio avvenisse su SD o mediante il Real Time DataLogger, la comunicazione di tali grandezze non era affidabile. Poiché questa anomalia veniva riscontrata solo su tale sensore e non sui sensori di PM o VOC, il problema poteva essere circoscritto alla comunicazione del dato alla mainboard Elica, quindi ad un problema del bus I²C.

Attraverso un'analisi più approfondita, si è capita l'origine del problema: la main board Elica comunica in broadcast tutti i pacchetti dati riferiti alle periferiche collegate ad essa. Il sensore Cooking Care, per capire quando viene interrogato, deve leggere qualsiasi pacchetto inviato dalla mainboard. Poiché il protocollo di comunicazione Elica prevede un invio di dati ogni 10ms, la scheda multi-sensore attiva un interrupt da parte del microprocessore, che blocca la lettura dei sensori di cui è costituita. Se tale bloccaggio della lettura avviene nel momento in cui è stato inviato un pacchetto parziale, la lettura del pacchetto successivo, da parte del sensore di temperatura e umidità, avviene in maniera errata, quindi il sensore non risulta più sincrono rispetto al protocollo di comunicazione.

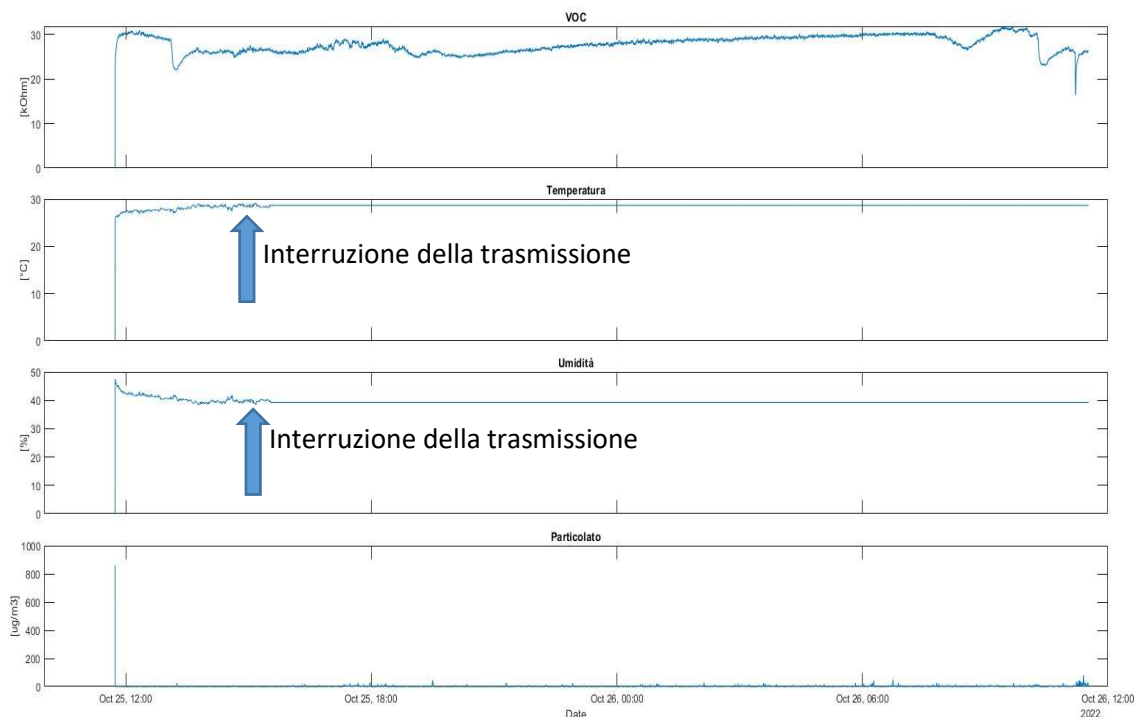


Figura 59 Evidenza del bug durante la trasmissione dei dati di temperatura e umidità

Quindi, si è provveduto a correggere il problema direttamente lato firmware, facendo in modo che, una volta eseguite le istruzioni previste dall'interrupt, si ristabilisse la trasmissione tra il sensore di temperatura - umidità e il microcontrollore stesso. Successivamente a questa modifica, quindi, è stato aggiornare il firmware alla versione 3.0.1, e di riprogrammati i sensori mediante l'utilizzo del programmatore.

PTR-MS

Proton-Transfer-Reaction Mass Spectrometry (PTR-MS) è una tecnica di chimica analitica che si basa sulla spettrometria di massa a ionizzazione chimica, e viene utilizzata per il monitoraggio simultaneo e in tempo reale dei Volatile Organic Compounds (VOCs) presenti nell'aria.



Figura 60 Foto del PTR-MS

I. Principio fisico di funzionamento

Lo strumento è costituito da tre elementi principali: una sorgente ionica, un tubo di deriva e un sistema di analisi. La prima fase si realizza nella sorgente ionica e prevede la generazione degli ioni reagenti, cioè gli ioni idronio (ovvero H_3O^+ prodotti dalla “protonazione” dell'acqua in fase gassosa). La seconda fase prevede la ionizzazione chimica dei VOC che si realizza nel tubo di deriva. Questi due momenti sono dei processi controllabili individualmente e risultano essere spazialmente separati. Ciò permette di avere condizioni costanti e ben definite in ciascuno, rendendo possibile la determinazione delle concentrazioni assolute senza l'uso continuo di gas standard.

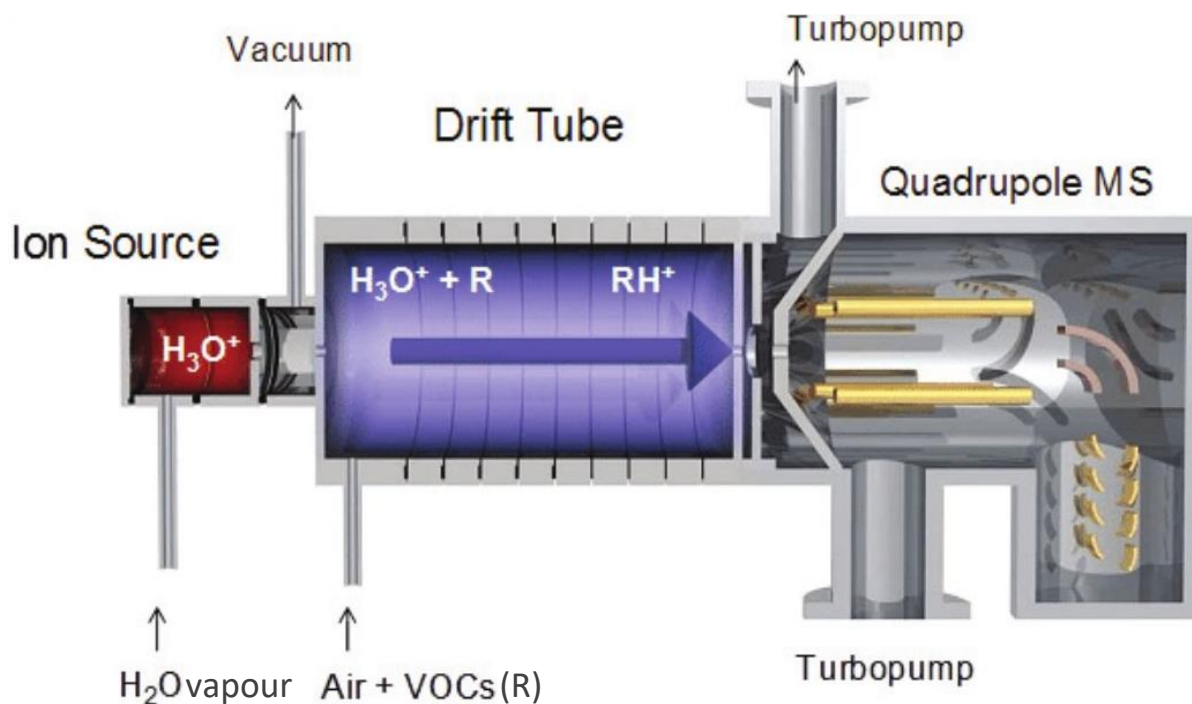
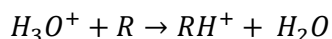


Figura 61 Elementi costitutivi del PTR-MS

Nella prima fase, detto H_3O^+ lo ione reagente e chiamando R il componente VOC presente in tracce da selezionare, ha luogo il processo di “trasferimento del protone” che è regolato dalla seguente reazione:



se l'affinità protonica di R è maggiore dell'affinità protonica di H_2O , la reazione è energeticamente possibile: questa proprietà fa sì che le molecole di VOC riescano a reagire a discapito delle altre molecole che sarebbero comunque presenti anche in caso di aria pulita.

$$[RH^+] \approx [H_3O^+][R]kt$$

Dove $[H_3O^+]$ è la densità degli ioni reagenti in assenza di molecole del gas target, $[RH^+]$ è la densità degli ioni prodotto, 'k' è la costante di velocità di reazione, 't' è il tempo medio necessario agli ioni per attraversare la regione di reazione e $[R]$ è la concentrazione assoluta dei componenti VOC. Quest'ultima può essere calcolata.

II. Tecnologia impiegata

Il vapore acqueo viene ionizzato sfruttando un tubo cavo in cui, grazie ad un catodo, ha luogo ad una scarica a microonde. Dopo la scarica viene utilizzato un tubo di drift. Grazie all'elevata purezza

degli ioni reagenti, non è necessario un filtro tra la sorgente ionica e il tubo di deriva nel quale avviene la reazione. Tale filtro, se presente, andrebbe a ridurre il segnale di questi ioni H_3O^+ , per cui, la sua assenza, permette di ottenere una sensibilità maggiore. Per quanto detto l' H_3O^+ può essere iniettato direttamente nel tubo di deriva, il quale aspira continuamente l'aria contenente i VOC.

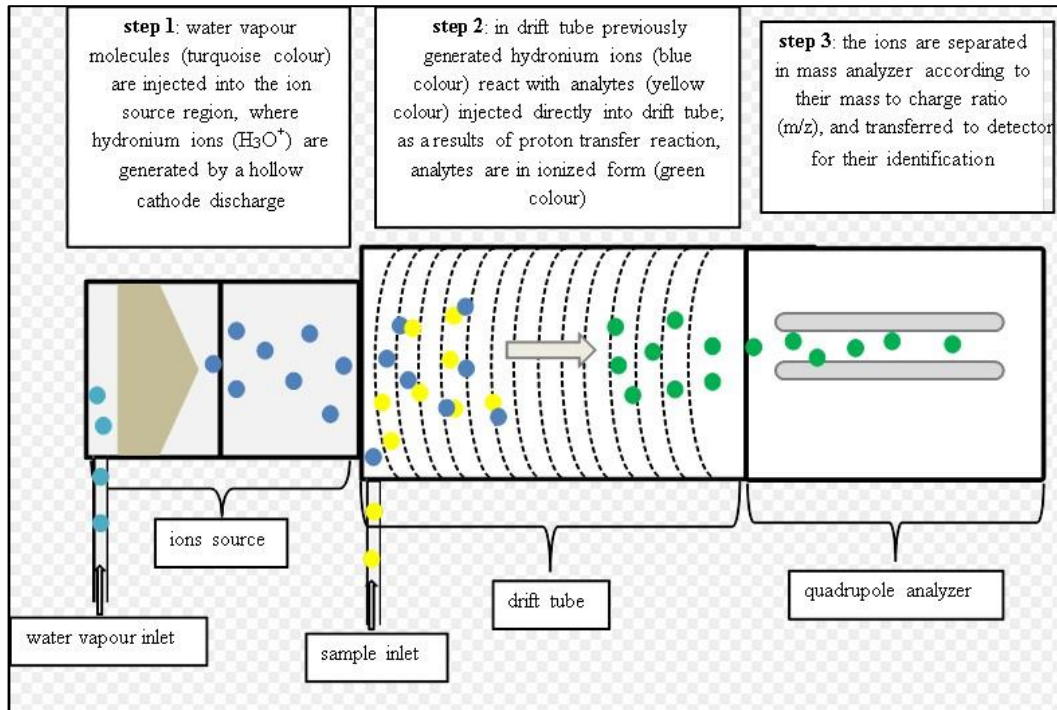


Figura 62 Principio di funzionamento e tecnologia impiegata

Gli ioni risultanti, viaggiano, quindi, verso il rivelatore di massa a quadripolo a velocità diverse in base al loro peso molecolare. Nell'analizzatore di massa quadripolare ci sono quattro aste metalliche parallele che formano due coppie elettronicamente opposte tra le quali oscilla il campo elettrico. Gli ioni con un certo rapporto di massa-carica compiono una traiettoria stabile e passano attraverso il rivelatore. Gli altri si scontreranno con le aste metalliche. A questo punto, gli ioni rimasti, sono incanalati in un tubo dove la velocità di ogni ione è determinata dal suo rapporto m/z (mass-to-charge ratio). Il tempo impiegato dallo ione per raggiungere il rivelatore, che si trova al termine di tale tubo, viene utilizzato per calcolare il m/z di quello ione e quindi realizzare il rilevamento. Ogni rapporto massa-carica m/z corrisponde a diversi composti.

III. Procedimento del test

L'obiettivo di tale prova è quello di valutare la ripetibilità dei sensori VOC impiegati nella tecnologia Cooking Care.

Il setup previsto per il Validation Plan è stato trasportato presso 3SLab, società spin-off dell'Università di Padova con sede a Trento. Quest'ultima ha esperienza pluriennale nel campo delle scienze sensoriali, tecnologie alimentari e analisi dei composti volatili. Tra la strumentazione di cui dispone, si può evidenziare la presenza del PTR-MS, che viene utilizzato per la verifica dell'efficienza dei sensori per VOC.



Figura 63 Immagini della camera di prova e del setup del Validation Plan impiegato nei test

L'esperimento si è svolto in una camera a tenuta stagna realizzata in conformità alla EN 16846-1:2017 e ideale per questi tipi di test. Tra le caratteristiche principali della camera abbiamo: volume

interno di 30 m³, pareti in acciaio INOX AISI 304, perdite inferiori al 10% in 8ore. Il setup del Validation Plan è stato quindi posizionato sul pavimento della camera e sono stati analizzati tre sensori alla volta.

Come primo step, la camera di prova è stata condizionata a 20°C e 30%RH: come riportato nel grafico, per portare la camera alla condizione desiderata, si osservano delle fluttuazioni nei segnali di temperatura e umidità del Cooking Care, dovute all'attivazione delle ventole del sistema di condizionamento interno, accentuate dal fatto che le schede multi-sensori non sono inserite nell'opportuno case. Si è deciso di spegnere l'impianto una volta raggiunta la condizione di stabilità. Quindi è stato iniettato nella camera di prova 1 ml di toluene. Per terzo step sono state eseguite altre 3 iniezioni di toluene a distanza di 20 minuti una dall'altra. Come ultimo passaggio, la camera di prova è stata svuotata e riempita con aria pulita. Sono stati ripetuti due cicli di misurazioni.

Condizioni camera di prova:

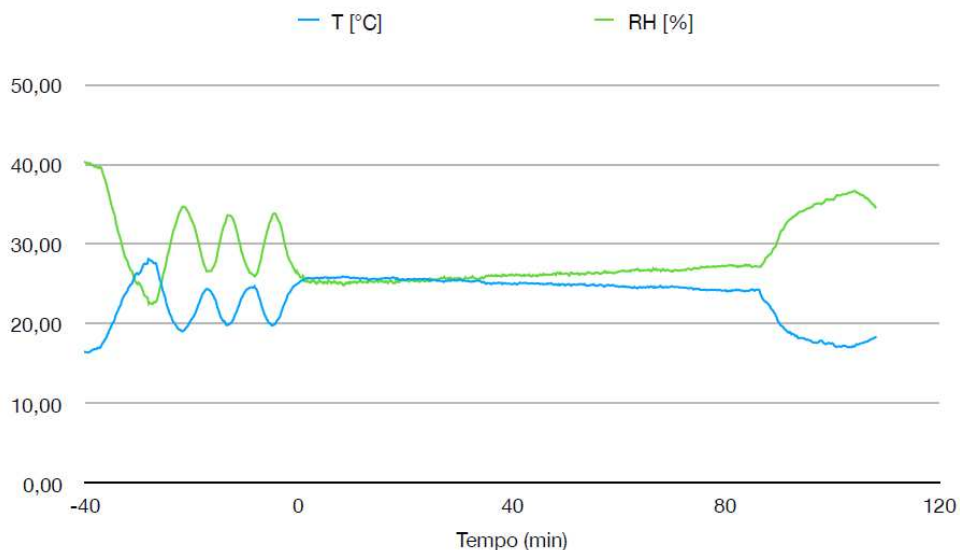


Figura 64 Valori di temperatura ed umidità della camera di prova misurati dai sensori per una specifica sessione di test

Il valore di fondo scala per il sensore di VOC è di circa 100 ppm, ciò implica che per la misura di eventuali concentrazioni superiori, la pasta che costituisce l'elemento attivo MOX non rileverà correttamente il misurando e, in lettura, si noterà che il valore di resistenza resterà basso costantemente nel tempo, ad indicare la saturazione del sensore. Come riportato in tabella, la concentrazione massima di toluene, registrata in corrispondenza della quarta iniezione, è di 32,20 ppm, corrispondenti a 4 ml di toluene totali, quantità che rientra, dunque nel campo di misura del sensore.

Iniezioni Toluene nella camera di prova

	Volume Totale Toluene nella camera (ml)	Concentrazione Toluene Totale (ppm)
1° Iniezione	1	8,05
2° Iniezione	2	16,10
3° Iniezione	3	24,15
4° Iniezione	4	32,20

Figura 65 Relazione tra quantità e concentrazione di inquinante in ogni fase della prova

IV. Risultati test

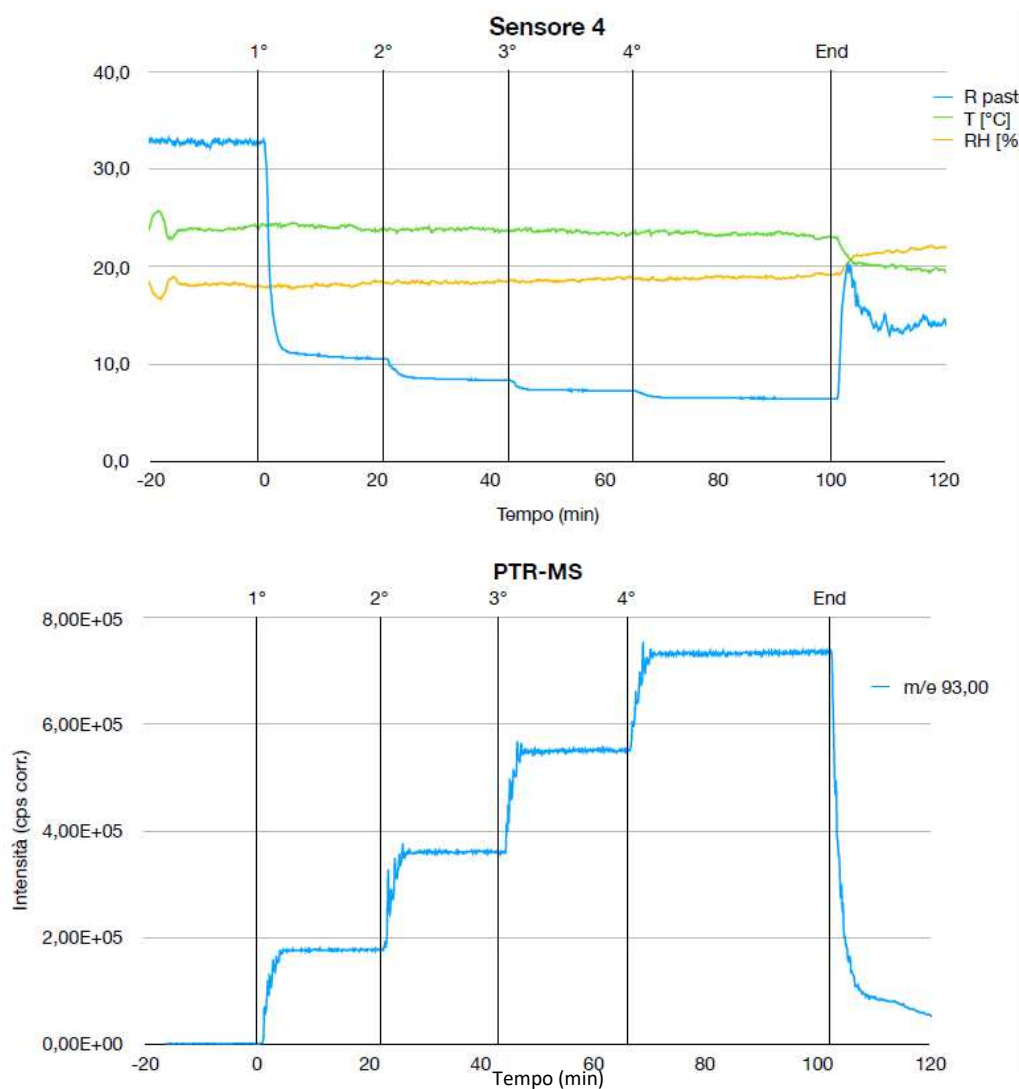


Figura 66 Andamento dei valori di resistenza per il sensore VOC #4 e andamento dei valori di intensità misurati dal PTR-MS

I valori misurati da ciascun sensore sono stati graficati così da poter vedere, in maniera qualitativa, se le variazioni di concentrazione di inquinante rilevate dal PTR-MS, hanno una correlazione col comportamento della resistenza dei sensori VOC. Questo perché il PTR-MS misura l'intensità di inquinante, che è una grandezza proporzionale alla concentrazione, e non una variazione di resistenza. L'andamento che viene ad evidenziarsi è dato dalla traslazione temporale di un picco caratteristico dell'inquinante selezionato. Quindi, nel caso delle prove svolte, essendoci un unico tipo di inquinante, il risultato sarà una unica caratteristica tracciata dalla traslazione nel tempo del punto di picco del toluene, e che avrà durata pari al tempo impiegato per realizzare la prova stessa.

Risultati Test:

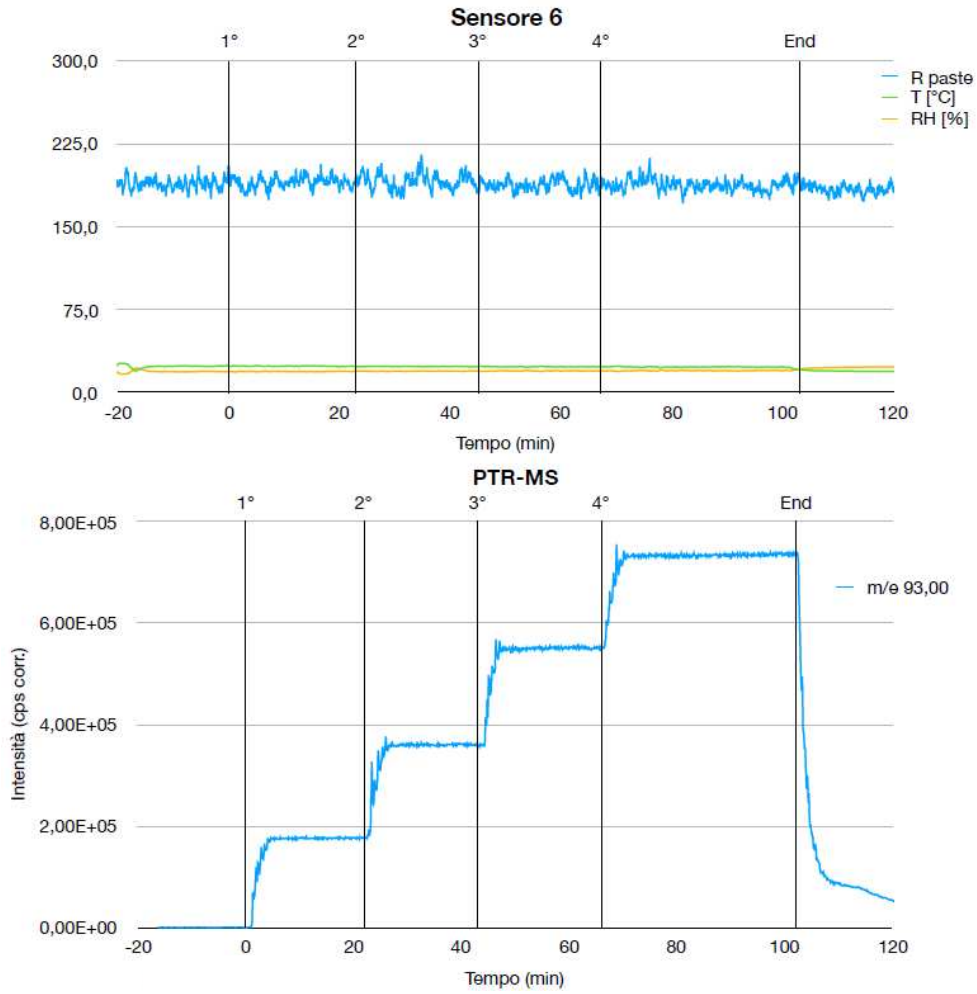


Figura 67 Andamento dei valori di resistenza per il sensore VOC #6 e andamento dei valori di intensità misurati dal PTR-MS

V. Osservazioni

	Start T = 0 min	1° iniezione T = 20 min	2° iniezione T = 40 min	3° iniezione T = 60 min	4° iniezione T = 80 min
Sesore 6 R [kOhm]	195,77	190,26	188,15	194,85	189,17
Sesore 4 R [kOhm]	32,74	10,50	8,30	7,20	6,50
Intensità Toluene [cps corr.]	6,89E+01	1,76E+05	3,60E+05	5,50E+05	7,31E+05

Figura 68 Variazione resistenza dello strato MOX del sensore di VOC in corrispondenza delle iniezioni di inquinante

Si può notare come il sensore 6, presenti una caratteristica molto affetta da rumore e piuttosto piatta, discostandosi completamente dal comportamento del PTR-MS. Leggendo i dati grezzi, si evidenzia, ad esempio, che alla terza iniezione la misura non è coerente con la situazione fisica, infatti il valore resistivo dovrebbe diminuire rispetto alla acquisizione precedente, invece aumenta tornando quasi al valore iniziale. Dunque, questo sensore, non presenta una buona reattività alle variazioni del misurando, per cui dovranno essere condotte nuove acquisizioni per capire se tale comportamento è dovuto ad un rumore elettronico tale da mascherare le variazioni dell'input, oppure se la pasta che compone il materiale MOX è corrotta.

Osservando la caratterizzazione del sensore di VOC #4, invece, si nota che il segnale è piuttosto pulito, e che nelle finestre temporali di durata 20 minuti, l'andamento qualitativo è quello atteso, cioè la resistenza scende in corrispondenza delle varie iniezioni, per poi mantenersi costante fino all'iniezione successiva.

Dai comportamenti dei due sensori confrontati, una volta che verranno condotte le prove per l'eventuale esclusione della main board Evo come causa del rumore presente, si potrà affermare che l'ipotesi di una correlazione tra un elevato valore di resistenza iniziale del sensore e una sensibilità maggiore al rumore, è corretta. Questo risultato sarebbe utile perché permetterebbe di andare a selezionare, per il sensore Cooking Care, solo quei sensori di VOC la cui resistenza iniziale assume un valore basso. Il range dei valori accettabili, poi, verrà determinato sperimentalmente eseguendo ulteriori acquisizioni e confrontando i dati.

Per valutare la ripetibilità dei sensori di VOC, quindi dovranno essere condotte nuove campagne di acquisizione dati, andando a riproporre tale test per più di due volte. Questo prova, però, sarà eseguita solo su quelle schede Cooking Care che supereranno i test menzionati precedentemente, cioè quelle i cui sensori di temperatura, umidità e di VOC, registreranno dei valori compresi nei range che verranno stabiliti per il comportamento desiderato, così da concentrarsi solo su quei dispositivi che risultano essere più affidabili.

COMUNICAZIONE WI-FI DEI DATI E VISUALIZZAZIONE SU CLIENT

Mai come durante la pandemia, la tecnologia ha invaso la quotidianità e soprattutto le abitazioni. È cresciuta notevolmente la richiesta di dispositivi connessi e della possibilità di controllo digitale dell'ambiente in cui si vive. Il cuore di questa rivoluzione wireless sono gli elettrodomestici connessi, cioè in grado di dialogare con gli smartphone, e quindi in grado sia di trasferirvi i risultati delle rilevazioni compiute dai sensori on-board, ma anche di poter essere controllati da remoto tramite gli attuatori. Una corretta impostazione della comunicazione tra dispositivi e moduli elettronici è molto importante per renderli adattabili al mondo dell'Internet of Things. Il protocollo HTTP (HyperText Transfer Protocol) rende possibile il trasferimento dei dati ovunque nel mondo, attraverso il Web.

Uno degli obiettivi del progetto di tesi, prevede di realizzare un sistema Wi-Fi da utilizzare nel field test che permetta l'invio dei dati acquisiti dal multi-sensore al Cloud Elica. Dopo aver analizzato possibili approcci e soluzioni, si è deciso di procedere per step, bypassando, di fatto, una problematica che avrebbe richiesto tempistiche non sostenibili. Infatti, per poter permettere l'integrazione di un dispositivo prototipale diverso da quelli attualmente connessi, sarebbero state necessarie delle modifiche all'infrastruttura Cloud di Elica. Tale infrastruttura è gestita in collaborazione con terze parti, ed una sua variazione avrebbe richiesto investimenti rilevanti con riferimento sia alle tempistiche che ai costi. Come primo step, quindi, si è deciso di implementare una 'connettività locale': così facendo i dati acquisiti sono visualizzati su smartphone grazie alla connettività Wi-Fi fornita dal modulo l'ESP8266 configurato come Access Point e utilizzato come server Web. Tali funzionamenti sono consentiti grazie ai protocolli TCP e HTTP presenti on-board. Infatti, un server Web è un'applicazione software che utilizza il protocollo HTTP allo scopo di permettere ai Client di avere accesso alle pagine Web in esso contenute. Tale accesso si ha come risposta alle precedenti richieste che vengono inoltrate dai client HTTP stessi, attraverso i browser dei loro computer.

Come anticipato, a partire dallo sketch "FieldTest.ino", è stato messo a punto un programma che permette l'invio dei dati precedentemente acquisiti dalla scheda multi-sensore, ad una pagina HTML, e ciò è stato conseguito utilizzando Elegoo, il modulo Wi-Fi ESP8266-01S (caratterizzato nel capitolo 2) e utilizzando il protocollo HTTP.

I. Descrizione dello sketch

Nel programma si gestiscono due canali di comunicazione seriale. Il primo coordina i messaggi inviati ad Elegoo dal sensore con tecnologia Cooking Care, e che vengono ricevuti sul Digital PIN 0, chiamato Rx (Receiver). In questo canale, una comunicazione in senso opposto non avrebbe senso. Il secondo, permette sia i messaggi inviati ad Elegoo dal modulo WiFi, che vengono ricevuti sul PIN 17, chiamato Rx2 (il 2 sta ad indicare la seconda linea seriale di cui dispone il modello Mega R3), sia i messaggi inviati in senso opposto, cioè da Elegoo verso il modulo WiFi, scambiati sul PIN 16, chiamato Tx2. Quindi, nello sketch, all'interno della funzione "void setup()", si imposta la prima comunicazione seriale mediante l'istruzione "Serial.begin()", settando la velocità di trasmissione, chiamata "baud rate", a 57600 bps (bit al secondo). Tale canale è utilizzato anche per trasmettere sul monitor seriale, strumento fondamentale per tenere traccia non solo delle acquisizioni, ma anche per eseguire il debug dei messaggi da e verso l'ESP. Successivamente si inizializza anche la seconda comunicazione sul canale seriale 2 mediante l'istruzione "Serial2.begin()". In questo caso, i messaggi sono scambiati a 115200 bps, ovvero alla velocità di comunicazione tipica dell'ESP.

Quindi, sempre nella funzione setup, dopo aver configurato il Digital PIN 0 come quello su cui si verificano gli eventi di Interrupt, aver avviato il display OLED montato nello shield ed averlo reso disponibile a visualizzare le informazioni, si passa alla scrittura delle istruzioni contenenti i comandi AT che devono essere trasmesse all'ESP.

```
sendData("AT\r\n", 2000, DEBUG); //verifico che l'ESP e' funzionante
delay (3000);
sendData("AT+CWMODE=2\r\n", 1500, DEBUG); //configuro l'ESP in Station mode (client)
delay (3000);
sendData("AT+CIFSR\r\n", 1500, DEBUG); //chiedo l'indirizzo IP del ESP
delay (3000);
sendData("AT+CIPMUX=1\r\n", 1500, DEBUG); //utile in APmode per abilitare la connessione di più clients
delay (3000);
sendData("AT+CIPSERVER=1,80\r\n", 1500, DEBUG); //configuro ESP8266 come server, accetta connessioni in ingresso
delay (3000);
```

Figura 69 Istruzioni per l'ESP8266-01S nella funzione void setup()

Si utilizza la funzione SendData(), dichiarata ad inizio programma e definita separatamente nello scope ad essa riservato. I parametri passati a tale funzione sono tre: una stringa contenente il comando AT o i dati da inviare all'ESP, un numero intero definito come costante che specifica il tempo di time-out, ovvero il tempo assegnato all'ESP per rispondere al precedente comando AT e, per ultimo, una variabile booleana che ad inizio programma viene impostata come 'true' e consente di trasmettere la risposta del modulo Wi-Fi anche sul canale seriale, nonché sul monitor, così da permettere il controllo della comunicazione.

Si elencano, quindi, i comandi inviati all'ESP notando che gli ATCommand devono essere scritti in maiuscolo e devono terminare con una nuova riga (CR LF).

1. Il primo comando serve per testare il modulo Wi-Fi. Ciò è possibile inviando "AT\r\n" a cui il modulo risponde con OK se la comunicazione si realizza correttamente.
2. Successivamente, si seleziona la modalità di funzionamento utilizzando il comando "AT+CWMODE=mode_id\r\n".

Il modulo può essere configurato in tre modalità: 1 = Station mode (client), 2 = Access Point (host), 3 = Access Point + Station (cioè l'ESP8266 è in grado di funzionare contemporaneamente nelle due modalità. Si utilizza nel caso in cui si abbiano client che accedono alla rete prodotta dall'ESP e il modulo WIFI stesso debba inviare i dati sul Cloud aziendale).

Per gli scopi attuali, si è deciso di configurarlo in modalità 2, cioè facendo in modo che fosse l'ESP8266-01S a ricoprire il ruolo di router Wi-Fi, così che uno smartphone o un PC possa connettersi alla rete locale da lui generata, senza dover di volta in volta, andare a modificare lo script per l'aggiornamento del SSID e della Password della rete Wi-Fi a cui il modulo avrebbe dovuto accedere.

3. Quindi, si prosegue con l'istruzione "AT+CIFSR\r\n" che restituisce quattro informazioni: l'indirizzo IP del modulo configurato come SoftAP; l'indirizzo MAC del modulo in modalità SoftAP; l'indirizzo IP del modulo in modalità Station; l'indirizzo MAC del modulo in modalità Station. Solo nel caso in cui il modulo è configurato come 'Station' e la connessione ad una rete Wi-Fi esterna ha luogo, verrà fornito uno StaIP valido, cioè diverso da 0.
4. Dunque, si invia il comando "AT+CIPMUX=1\r\n" che consente di abilitare la connessione al Web server. Impostando il valore 1, si sceglie di ammettere connessioni multiple (altrimenti, si dovrebbe scegliere il valore 0 per limitarsi ad una connessione singola). Quando l'ESP8266 funziona come server TCP, si dovrebbe opzionare il valore '1' così da prevedere la definizione di più connessioni, poiché potrebbero esserci più di un client che si connettono alla rete wireless.
5. Infine, l'istruzione "AT+CIPSERVER=1,80\r\n" è necessaria per avviare il server. Qui la prima cifra può assumere due valori: impostando a 1 si realizza il server, mentre con 0 si elimina. Da notare è il fatto che può essere fornito un server TCP solo se precedentemente si abbia abilitato la modalità a multiple connessioni (AT+CIPMUX=1). Quando un client si connette al server, occupa una delle connessioni e gli viene assegnato un ID. La porta indicata è la 80, cioè quella con connessioni non crittografate.

Proseguendo con l'ordine delle istruzioni presenti nello script, si passa al blocco "void loop()". Qui, in primo luogo, si eseguono le operazioni di inizializzazione della scheda SD che prevedono anche la definizione del file in cui salvare i dati acquisiti dal sensore e l'inizializzazione del Real Time Clock. Quest'ultimo sarà impiegato, attraverso specifiche funzioni, per dar luogo ai timestamp da abbinare ai dati acquisiti.

Quindi, si passa alla gestione delle operazioni da svolgere quando, sulla seriale, cioè il canale che comunica con il sensore, risultano essere disponibili dei dati da leggere: con la funzione "c=Serial.readString()" si leggono, quindi, i caratteri dal buffer seriale e si immagazzinano in "c", oggetto di tipo String. Questo permette di eseguire il parsing di tale stringa andando a splittarla in sotto-stringhe. In ultima istanza, ciascuna variabile ottenuta attraverso il procedimento visto, viene riconvertita nel tipo corretto del dato originario, cioè intero o float. Una volta assegnato il valore reale alle variabili che rappresentano i dati inviati dal sensore, si può iniziare a strutturare il sistema che realizza la trasmissione verso la pagina Web.

Dunque, procedendo con le istruzioni all'interno della funzione 'void loop()', si esegue un ciclo controllato da un'istruzione condizionale espressa da due variabili booleane e dal contatore che permette la ripetizione della sequenza.

```

if(firsthalf && riempiarray && n<3)
{
  dttm_string=(String)dt+" "+(String)tm;
  dttm_string.toCharArray(dttm_char, 20);
  createElements(dttm_char);
  if(n==0){
    dateprint0=dttm;
  }
  arrayStr[n]=dttm_string;
  arrayvoc[n]=paste_kohm_float;
  arraytemp[n]=temp_float;
  arrayhu[n]=hu_float;
  arraypm[n]=pm_int;
  arrayprob[n]=prob_float;
  arrayM9M1[n]=M9M1_float;
  arrayalarm[n]=bool_alarm_int;
  arraywar[n]=bool_warning_int;
  arraypendvoc[n]=pend_VOC_float;
  arraypendpm[n]=pend_PM_float;
  arrayfunzcum[n]=funz_cum_int;
  Serial.print("temperatura: ");
  Serial.println((float)arraytemp[n]);
  Serial.print("posizione: ");
  Serial.println(n);
  n++;
}

```

Figura 70 Istruzioni per il popolamento dei buffer coi dati acquisiti dal sensore

La variabile “firsthalf”, che per default è impostata ad 1, esegue un controllo sui buffer di dati: si dichiara un array da sei elementi per ciascuno dei valori letti dal sensore, quindi un totale di undici buffer; la variabile firsthalf, ha il ruolo di tenere traccia delle celle riempite, e in particolare, se il contatore ‘n’ si trova su una delle prime tre caselle di memoria (prima metà del buffer) o punta ad una delle celle appartenenti alla seconda metà del buffer (caso in cui assume il valore 0, non più 1). Questa variabile è necessaria per poter andare a trasmettere alla pagina HTML, lo stesso blocco di tre acquisizioni per ciascuno degli undici buffer.

La variabile “riempiarray”, che per default è impostata ad 1, invece, ha il compito di eseguire un controllo sullo stato di riempimento dell'array inteso nella sua interezza, per evitare problemi di overrun e per capire in quale blocco di tre elementi andare a salvare il nuovo ciclo di tre acquisizioni successive.

L'ultima variabile di controllo è il contatore ‘n’ che punta alla specifica cella di memoria e, grazie al suo incremento unitario realizzato alla fine di ogni ciclo, permette il salvataggio dei dati acquisiti nella cella di memoria puntata. In particolare, si ha che quando tale contatore raggiunge il valore di 3, si esce dal ciclo di tali istruzioni, passando alla valutazione del primo “else” previsto dal precedente “if”.

```
else if(firsthalf && riempiarray && n==3)
{
    htmlwrite=1; //consenso a stampare l'array nella pag html
    riempiarray=0; //primi 3 elementi inseriti negli array
    firsthalf=0;
    dateprint3=dtm;
}
```

Figura 71 Istruzioni per abilitare la trasmissione verso la pagina HTML

Quindi, alla variabile globale “htmlwrite”, che per default ha valore 0, si assegna il valore 1 ad indicare che la prima metà del buffer è pronta ad essere inviata alla pagina HTML: quest'ultima variabile è utilizzata per un controllo in un blocco condizionale successivo, sempre contenuto nella funzione “void loop()”. Quindi, le variabili “riempiarray” e “firsthalf” vengono poste pari a 0, per evidenziare che metà del buffer è stato riempito e non devono essere immagazzinati nuovi valori prima della sua trasmissione alla pagina HTML. Perciò, successivamente a tale trasmissione, i nuovi valori acquisiti saranno salvati nella seconda metà del buffer.

Esistono altri due blocchi di istruzioni condizionali speculari a questi due analizzati precedentemente, ma ovviamente riferiti alla seconda metà dei buffer. Pertanto, il contatore “n” in questi due nuovi blocchi assumerà i valori corrispondenti.

A questo punto, ci si concentra sulla gestione della comunicazione con il modulo ESP8266-01S e sulla trasmissione dei dati precedentemente salvati nei buffer, verso la pagina web.

```
if(Serial2.available()) //Se ci sono caratteri disponibili sulla linea seriale softwarezzata di ESP-01S. Sono messaggi trasmessi da ESP-01S quando
//un client interroga il server dalla rete Wi-Fi locale
{
  Serial.println("Richiesta inviata al webServer creato dall'ESP");
  if(Serial2.find("+IPD,") //arriva quando viene interrogato il webserver creato dall'esp. Cioè dal browser del pc faccio
  //partire una richiesta http x ottenere la pag web (+CIPMUX=1)+IPD,<link ID>,<len>[,<remoteIP>,<remote port>]:<data>
  {
    delay(1000);
    int connectionId = Serial2.read()-48; // questo perchè la richiesta http al webServer tipica è: +IPD,0,477:GET / HTTP/1.1 dove il connectionId è 0!
```

Figura 72 Istruzioni per la gestione della comunicazione con l'ESP8266-01S

Si ha accesso a questo blocco di istruzioni appartenente alla funzione “void loop()”, solo se, sul canale di comunicazione seriale2 sono disponibili dei caratteri riconducibili a dei messaggi inviati dal modulo WiFi. Questi esisteranno unicamente se un client, connesso alla rete Wi-Fi locale generata dal modulo ESP stesso, interroga il server Web realizzato dal modulo: in particolare, come si evince consultando il manuale per l’utilizzo degli ATCommands, se in tale risposta inviata dall’ESP, è presente la stringa “+IPD”, significa che è stata richiesta la pagina HTML presente nel Web server realizzato dall'ESP stesso, e questa condizione si realizza se, precedentemente, con lo smartphone, si ricerca nel browser l’indirizzo IP “192.168.4.1” dell’ESP, che è configurato da Access Point. Sempre dal manuale degli ATCommands, si apprende che, la stringa “+IPD” sarà seguita da un numero intero che indica l’ID del collegamento, cioè il numero identificativo della connessione impiegata per quella specifica trasmissione, seguito dalla lunghezza in byte dei dati trasmessi e dalla quantità, in byte, dei dati ricevuti. Queste informazioni sono apprezzabili dal monitor seriale. Inoltre, come previsto dal protocollo HTTP, le informazioni sopra citate sono seguite dal tipo di metodo impiegato, vale a dire “GET”, che come precedentemente affermato, permette di richiedere una pagina da un server. “/HTTP/1.1” indica la versione del protocollo in uso.

```

Output Monitor seriale x
Messaggio (premi Enter per inviare il messaggio a 'Arduino Mega or Mega 2560' on 'COM4')

OK
>

Recv 1186 bytes
0,CLOSED

SEND OK

AT+CIPCLOSE=4
4,CLOSED

OK
0,CONNECT

+TCP,0.406:GET /favicon.ico HTTP/1.1
Host: 192.168.4.1
Connection: keep-alive
User-Agent: Mozilla/5.0 (Windows NT 10.0; Win64; x64) AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) Chrome/109.0.0.0 Safari/537.36 Edg/109.0.1518.55
Accept: image/webp,image/apng,image/svg+xml,image/*,*/*;q=0.8
Referer: http://192.168.4.1/
Accept-Encoding: gzip, deflate
Accept-Language: it,it-IT;q=0.9,en;q=0.8,en-GB;q=0.7,en-US;q=0.6

temperatura: 27.41
posizione: 0
2023-01-17 17:44:28,138.30,27.41,33.22,0,0.66,0.00,0,0,-0.14,0.00,30
temperatura: 27.37
posizione: 1
2023-01-17 17:44:30,142.20,27.37,35.25,0,0.66,0.00,0,0,0.05,0.00,0
temperatura: 27.40
posizione: 2
2023-01-17 17:44:32,142.50,27.40,34.74,0,0.66,0.00,0,0,0.22,0.00,0

```

Print a su monitor seriale dei dati di temperatura per verificare la correttezza dell'operazione di store nei buffer

Figura 73 Schermata del Monitor Seriale nel caso di corretta trasmissione

A questo punto, si riutilizza la variabile “htmlwrite” che, come osservato precedentemente, se assume valore pari a 1, vuol dire che i buffer dei dati acquisiti dalla seriale, sono pronti per essere inviati alla pagina web. Quindi, si definisce la nuova stringa “webpage” che conterrà tutte le informazioni da inviare alla pagina HTML: la prima riga prevede l'intestazione HTTP standard che il server deve inviare come risposta alla precedente richiesta eseguita dal client. Tale risposta è obbligatoria ed è costituita dalla ripetizione del protocollo impiegato (HTTP / 1.1), dal codice di risposta che assume valore 200 se la richiesta della pagina ha esito positivo, e da una descrizione (OK). Le intestazioni delle richieste fatte dal client, invece, vengono inserite automaticamente dal browser.

```

if(htmlwrite=1)
{
String webpage="HTTP/1.1 200 OK\r\n"; // WebServer have to send a standard http response header
webpage+="Content-Type: text/html\r\n";
webpage+="Connection: keep-alive\r\n"; // the connection will be closed after completion of the response
webpage+="\n\r\n"; //The header fields be followed by two newlines, which marks the end of headers fields, and the start of the response body.
webpage+="<meta http-equiv=\"refresh\" content=\"10\">"; // refresh the page automatically every 10 sec
webpage+="\r\n";
webpage+="<!DOCTYPE HTML>";
webpage+="<html lang=\"it\">";
webpage+="<head>";
webpage+="<meta charset=\"UTF-8\">";
webpage+="<title>Comunicazione Wireless</title>";
webpage+="<meta name=\"viewport\" content=\"width=device-width, initial-scale=1.0\" >";
webpage+="<meta http-equiv=\"X-UA-Compatible\" content=\"ie-edge\">";
webpage+="</head>";
webpage+="<body>";
webpage+="<h1>DATI ACQUISITI DAL SENSORE COOKING CARE</h1>";
webpage+="<h1></h1>";
webpage+="<p>";
webpage+="<h2>Date&Time | Rpaste[KOhm] | T[°C] | RH[%] | PM[ug/m^3] | P[%] | M9M1 | bool_alarm | bool_warning | prob_float | pend_VOC | pend_PM | funz_cum</h2>";
}

```

Contenuto leggibile nella pagina HTML

Figura 74 Struttura della pagina HTML

Successivamente verrà indicata la tipologia del contenuto della pagina, così che il browser possa riconoscere cosa dover visualizzare successivamente. Come ultimo elemento di header si indica se la connessione deve essere chiusa o deve essere mantenuta aperta (keep-alive): nel primo caso significa che il client emette una richiesta, riceve una risposta e chiude la connessione; nel secondo caso, invece, il client indica al server che manterrà aperta la connessione. Questa seconda modalità è vantaggiosa poiché ci vogliono tempo e risorse per stabilire il collegamento, per cui non avrebbe senso lasciarla cadere rapidamente. Durante la prima fase di design dello script, l’istruzione era stata impostata con “webpage+=Connection: close\r\n;”. Effettivamente, però, caricando lo sketch sulla board ed eseguendolo, si notava che il modulo Wi-Fi compieva molta fatica nel ricaricare la pagina HTML ad ogni trasmissione, sia a causa della dimensione della pagina stessa, cioè del numero di byte che l’ESP di volta in volta doveva trasmettere, sia a causa delle tempistiche impiegate per chiudere un canale, ad esempio lo 0, ed aprire il canale successivo, ad esempio l’1. Infatti, risulta fondamentale che la connessione precedente venga chiusa prima di realizzarne una seconda per una nuova trasmissione. Se ciò non accade, l’ESP invia messaggi del tipo “busy s...” (busy sending), ad indicare che il sistema risulta essere impegnato nell’invio dei dati e per tanto non può accettare il nuovo input, oppure “busy p...” (busy processing), indice del fatto che il sistema è impegnato nella gestione del comando precedente; pertanto, non può accettare il nuovo input. Di conseguenza il collegamento si sgancia e, anche aggiornando la pagina manualmente, non si ha la possibilità di ripristinarlo, causando la perdita dei dati inviati e riscontrando segnali di errore sul monitor seriale. Andando ad impostare la comunicazione su “keep-alive”, invece, si nota una maggiore fluidità della

comunicazione, una maggiore capacità di aggiornamento della pagina HTML oltre che un migliore impegno delle risorse.

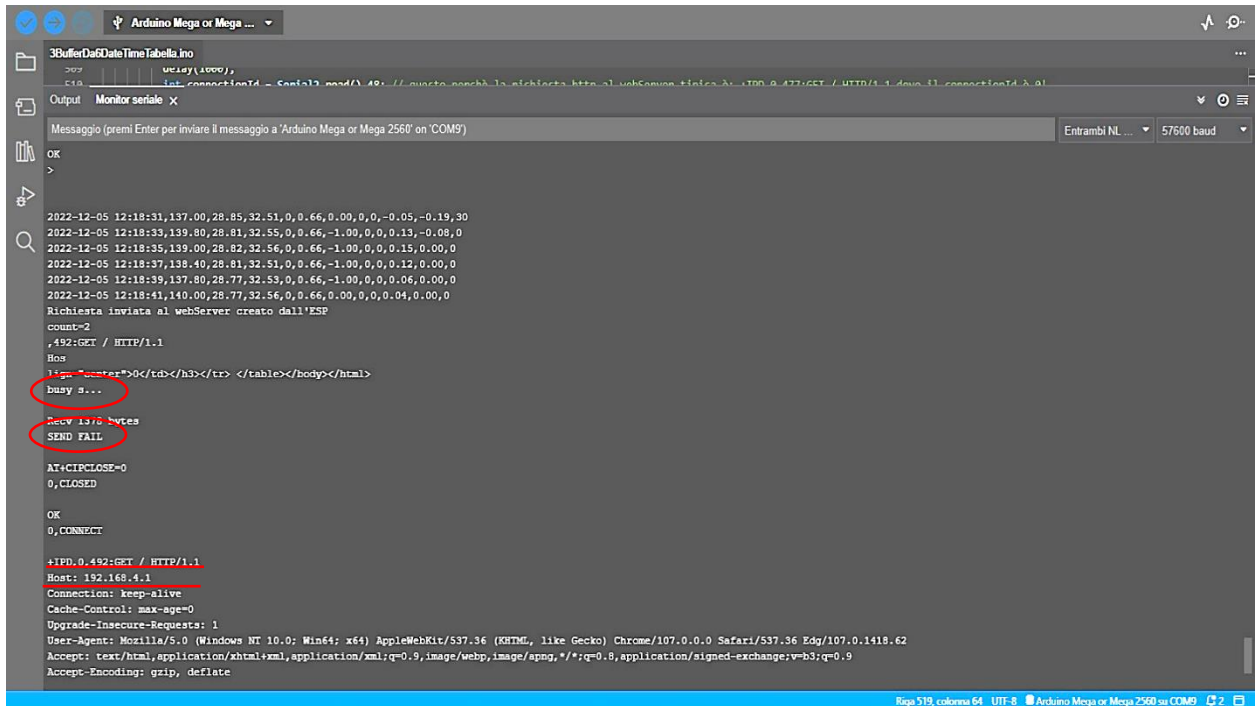


Figura 75 Schermata del Monitor Seriale nel caso di fail in trasmissione

I campi dell'intestazione del protocollo HTTP devono essere seguiti da due new-line, che segnano l'inizio del corpo della risposta. Quindi, in primo luogo, si indica quanto spesso la pagina si deve aggiornare attraverso l'istruzione di "refresh". Il valore impostato deve essere tale da consentire al modulo Wi-Fi di terminare l'invio dei dati e quindi si imposta considerando un paio di secondi in più rispetto a quelli che servirebbero alla metà del buffer per popolarsi. Tale scelta, che prevede una tolleranza di due secondi, è consapevole del fatto che la trasmissione di una stringa di valori verrà persa.

In seguito, vengono specificati il tipo di documento, la lingua, il tipo di codifica e la compatibilità con i browser. Quindi si prosegue con la definizione del titolo e sottotitolo, utili all'utente e che dovranno essere visualizzabili nella pagina richiesta.

A questo punto ci si concentra sulla parte dei dati contenuti nei buffer: per far in modo che questi siano apprezzabili in ordine temporale, cioè iniziando dal timestamp di valore minore, fino a quello più recente e quindi con valore maggiore, si esegue un controllo attraverso una differenza eseguita sui tempi. Si prendono come riferimento il primo elemento e l'ultimo elemento del blocco di tre dati che vengono considerati ogni volta. Questo è possibile grazie al fatto che nella fase precedente in

cui si prevedeva il popolamento dei buffer, si era tenuto traccia del “tmElements_t” con indice “n” pari a 0 e pari a 3 (caso in cui ci si riferisce alla prima metà del buffer); ciò permette, a questo punto, di trasformare tali valori da “tmElements_t” a “unsigned long” mediante la funzione “makeTime”, così da poterli confrontare tra loro: se la differenza è maggiore di 0, si stamperanno tutti i buffer in ordine dall’elemento con indice “n” pari a 0, fino all’elemento di indice “n” pari a 5; se la differenza è minore di 0, si stamperanno tutti i buffer a partire dai dati salvati nelle celle di memoria con indice “n” pari a 3, fino al quinto elemento e, solo successivamente, i dati con indice “n” che va da 0 a 2. In questo modo si realizza la coerenza temporale.

```

data0=makeTime(dateprint0);
data3=makeTime(dateprint3);
diff=data0-data3;
if(diff>0)
{
for(count=0;count<10;count++)
{
webpage+="

### 


```

Ciclo per trasmettere i dati alla pagina web nel caso in cui la differenza tra i timestamps sia positiva e quindi l’ordine temporale di visualizzazione sia da 0 a 5

Figura 76 Struttura della pagina HTML con controllo sui timestamps per una corretta visualizzazione dei dati acquisiti

A seconda della condizione in cui ci si trova, si assegnano alle variabili di controllo “firsthalf”, “riempiarray” e “htmlwrite” i corretti valori booleani, così da consentire il salvataggio dei nuovi dati nelle corrette locazioni di memoria, privilegiando la sovrascrittura dei valori temporalmente più vecchi e andando a disabilitare il booleano che consente la trasmissione alla pagina HTML fintanto che si sta popolando il buffer.

Infine, dopo aver delimitato inferiormente la pagina HTML, si può iniziare la trasmissione con il comando "AT+CIPSEND=". Con questo comando, si vuole indicare che i dati, aventi una lunghezza designata e valutata in byte, sono pronti per essere inviati. A tale stringa si concatena l'ID della connessione (“connectionId”), che può assumere un valore da 0 a 4 e che era stato

precedentemente comunicato attraverso la risposta dell'ESP. Va aggiunta anche la funzione che permette il calcolo dei byte della pagina web "webpage.length()", che corrisponde al pacchetto di dati da inviare.

```
String cipSend = "AT+CIPSEND="; // la risposta deve essere nel formato: AT+CIPSEND=<link ID>,<length>
cipSend += connectionId;
cipSend += ",";
cipSend += webpage.length();
cipSend += "\r\n";

sendData(cipSend, 3000, DEBUG);
delay(200);
sendData(webpage, 3000, DEBUG);
delay(200);

String closeCommand = "AT+CIPCLOSE=";
closeCommand += connectionId; // append connection id
closeCommand += "\r\n";
sendData(closeCommand, 3000, DEBUG);
```

Figura 77 Istruzioni per l'invio dei dati e dei comandi alla pagina HTML

Dopo questo comando, si potrà osservare sul monitor seriale che l'ESP8266 risponderà con il carattere ">", ad indicare che attenderà l'invio dei dati. Tali dati da inviare corrispondono a quelli contenuti nella stringa "webpage". Ogni pacchetto di dati dovrà attendere un intervallo di 20 ms dal precedente e potrà contenere un massimo di 2048 byte per pacchetto. In caso di ricezione avvenuta con successo, il modulo risponderà con "SEND OK". Se la connessione non può essere stabilita o viene interrotta durante la trasmissione dei dati, il sistema restituisce: "ERROR" o "SEND FAIL".

In ultimo, si invia il comando "AT+CIPCLOSE=", necessario a chiudere la connessione TCP sul canale con ID salvato nella variabile "connectionId".

II. Risultati

Nella scrittura dello script, sono state compiute delle scelte per raggiungere un compromesso tra la capacità di scambio di dati dell'ESP, influenzata dalla quantità di byte inviati al Web server, e la dimensione degli array contenenti i dati acquisiti dal sensore, che vengono inviati alla pagina web bufferizzati. La ragione di tale compromesso, più nello specifico, è dovuta al fatto che quando si esegue un comando di "AT+CIPSEND", lo sketch deve condividere le risorse (tempo e memoria della CPU) con gli stack Wi-Fi e TCP che gestiscono tutte le connessioni Wi-Fi. Il problema sorge quando si inviano stringhe estremamente lunghe, come potrebbe essere la stringa "webpage": se l'esecuzione del codice impiega troppo tempo e non lascia che gli stack TCP portino a termine le loro

operazioni, la connessione potrebbe bloccarsi o potrebbero andare persi dei dati. Per evitare ciò, si dovrà assegnare esplicitamente il tempo della CPU agli stack Wi-Fi e TCP, usando un “delay()”.

Si riportano le schermate acquisite da smartphone e da PC di tre versioni di realizzazione della pagina HTML. Queste hanno il fine di comprendere visivamente le effettive possibilità di trasmissione offerte dal modulo Wi-Fi in concomitanza con le capacità di aggiornamento della pagina HTML.

➤ Prima versione



Figura 78 Screenshot da smartphone con una unica stringa di dati che si aggiorna ogni 2 secondi

Si ha la possibilità di inviare alla pagina HTML un'unica stringa di acquisizione che, ad ogni lettura del sensore, e quindi ogni due secondi, si aggiorna andando a sovrascrivere i dati acquisiti precedentemente.

➤ Seconda versione

Si trasmettono alla pagina HTML solo quattro stringhe di dati andando però a visualizzare in maniera tabellare le informazioni raccolte. I buffer sono trasmessi a blocchi di 2 elementi, cioè un totale di 4 elementi per ogni buffer. Si nota che per realizzare una tale visualizzazione strutturata, si è dovuto rinunciare alla trasmissione di alcune informazioni riguardanti l'algoritmo della tecnologia Cooking Care.

DATI ACQUISITI DAL SENSORE COOKING CARE				
Date & Time	VOC[KOhm]	T[°C]	RH[%]	PM[ug/m ³]
2022-12-05 13:01:15	135.70	29.61	31.12	0
2022-12-05 13:01:27	136.30	29.57	31.11	0
2022-12-05 13:00:58	134.70	29.62	31.16	0
2022-12-05 13:01:11	133.60	29.60	31.18	0

Figura 79 Acquisizione da pc. Formattazione tabellare dei buffer di dati visualizzati nella pagina HTML

➤ Terza versione

Versione definitiva in cui i dati si visualizzano in maniera bufferizzata, cioè si possono leggere sei acquisizioni successive, che si susseguono in funzione del tempo di campionamento del sensore stesso, del tempo necessario alla pagina per aggiornarsi e della tolleranza prevista per far in modo che le suite protocollari Wi-Fi e TCP abbiano le risorse a sufficienza per svolgere tutte le operazioni. Dunque, il risultato di questo ultimo sketch, risulta essere un trade-off tra la dimensione del buffer, che immagazzina ogni 2 secondi i dati ricevuti dalla scheda multi-sensore e l'effettiva capacità dell'ESP di trasmetterli: si è notato che la progettazione di buffer da dieci elementi, non permetteva il corretto realizzarsi della comunicazione, causando la saturazione delle risorse e la sovrapposizione dei canali, oltre che portando a dover trasmettere più byte di quelli consentiti dalle specifiche del modulo WiFi.

DATI ACQUISITI DAL SENSORE COOKING CARE													
Date&Time	Rpaste[KOhm]	T[°C]	RH[%]	PM[ug/m ³]	P[%]	M9M1	bool_alarm	bool_warning	prob_float	pend_VOC	pend_PM	funz_cum	
2023-01-17 17:43:13	144.20	27.48	33.57	0	0.66	0.00	0.16	0.00	29	0	0		
2023-01-17 17:43:25	145.80	27.45	33.62	0	0.66	0.00	0.11	0.00	0	0	0		
2023-01-17 17:43:27	144.50	27.46	33.53	0	0.66	0.00	0.07	0.00	0	0	0		
2023-01-17 17:42:35	139.10	27.48	33.33	0	0.66	0.00	-0.07	0.00	29	0	0		
2023-01-17 17:42:48	141.00	27.46	33.01	0	0.66	0.00	0.21	0.00	0	0	0		
2023-01-17 17:42:50	141.40	27.48	32.99	0	0.66	0.00	0.18	0.00	0	0	0		

Figura 80 Acquisizione da pc della pagina HTML nella versione definitiva

CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI

La prima attività che consiste nell'acquisire ed elaborare i dati raccolti dai vari sensori che realizzano la tecnologia Cooking Care, ha fornito informazioni fondamentali per lo sviluppo del progetto. In particolare, i test svolti con i differenti setup hanno dato le seguenti indicazioni:

- Presenza di offset e di polarizzazioni nelle letture dei sensori di temperatura, umidità e di VOC che intervengono sistematicamente nella lettura, causando uno scostamento non desiderato dal valore target e uscendo dal range di accuratezza.

Tale problema può essere affrontato attraverso una valutazione statistica: calcolando per ciascun sensore lo scarto tipo sperimentale sulla popolazione di misure fatte, si potrà avere un indice della dispersione dei valori. Per la temperatura e l'umidità, il confronto con il valore desiderato fornito dalla sonda tarata Saveris H3 permetterà la scelta di un valore ottimo che consenta a tutti i sensori di soddisfare il requisito di accuratezza e favorendo un intervento oculato lato firmware o hardware tale da eliminare i disturbi.

- Alcuni campioni dei sensori Cooking Care sono più affetti da rumore rispetto che altri.

Uno dei passi futuri sarà quello di verificare se tale rumore ha una correlazione con il circuito di alimentazione del sensore. Quindi si dovranno realizzare nuove acquisizioni scambiando i sensori connessi all'alimentazione, così da verificare se l'ampiezza di tale rumore rimane inalterata o se si modifica in maniera significativa. Una ulteriore verifica da realizzare consiste nell'analizzare le oscillazioni di tale rumore per verificare se la causa sia maggiormente riconducibile ad un rumore termico o ad uno elettrico, ricordando che il sensore di temperatura e umidità esegue una lettura mediante l'impiego del ADC e quindi del I²C, mentre il sensore per la misura dei VOC è un sensore analogico e, a causa del suo circuito di condizionamento, sarà più soggetto al rumore elettronico.

- Grazie a questa attività, inoltre, è stato evidenziato e risolto un bug nella comunicazione dei valori sia nel caso di utilizzo del protocollo I²C che per il protocollo One-Wire.

L'evidenza di valori costanti nel tempo per i dati di temperatura e umidità ha permesso di rivelare un problema sull'aggiornamento dei valori letti dai sensori. Grazie all'impiego del software per il debug, si è potuto escludere un problema lato protocollo One-Wire e concentrare l'attenzione sul bus I²C.

In riferimento al bug che si presenta quando il multi-sensore Cooking Care viene connesso al setup previsto per le cappe attualmente in produzione, l'attività di analisi dei pacchetti

scambiati sul bus One-Wire tra le varie periferiche e la main board, eseguito col software in Python, è stata fondamentale per l'esclusione di alcune possibili cause. Tale problema è in via di risoluzione.

La seconda attività di valutazione della ripetibilità della misura del VOC sensor attraverso il confronto col PTR-MS ha evidenziato che:

- C'è una correlazione tra il valore di resistenza iniziale del substrato MOX con la propensione del sensore ad essere maggiormente vulnerabile al rumore elettrico e termico. Da qui, si può dedurre anche il legame con la diminuzione della responsività del sensore stesso, cioè di quel parametro di proporzionalità tra la variazione dello stimolo e la variazione in uscita del sensore. Pertanto, uno dei prossimi passi da svolgere, è quello di quantificare la dispersione dei valori di VOC misurati dai sensori nelle due sessioni di prova, effettuate somministrando una quantità di input noto.
- La valutazione della ripetibilità verrà eseguita solo a termine delle precedenti attività, così da potersi concentrare solo su quei sensori il cui strato MOX è in grado di fornire valori consoni all'interpretazione e al netto di offset e polarizzazioni che condizionano il valore in output.

La terza attività di realizzazione di un sistema Wi-Fi da utilizzare nel field test che permetta l'invio dei dati acquisiti dal multi-sensore al Cloud Elica, è stata suddivisa in due step:

- Il primo, completato durante il progetto di tesi, prevede l'impiego del modulo Wi-Fi ESP8266-01S, configurato come Access Point e utilizzato come server Web per consentire la visualizzazione dei dati direttamente sui clients connessi alla LAN fornita dal modulo stesso, e ciò è stato realizzato. In particolare, sia che i dati vengano richiesti dal browser di uno smartphone che da quello di un pc, collegandosi all'indirizzo IP del modulo Wi-Fi stesso, è possibile avere accesso ai valori acquisiti dal sensore Cooking Care. Tali valori, dopo un confronto tra tre soluzioni proposte per fronteggiare al meglio il trade-off tra la capacità trasmissiva e la frequenza di aggiornamento della pagina HTML, vengono visualizzati in buffer da sei elementi. I nuovi dati vengono sovrascritti permettendo la continuità temporale dei timestamps associati a ciascun valore. Il lavoro svolto rappresenta un upgrade rispetto il setup precedente, il quale prevedeva il salvataggio su SD, e quindi, la possibilità di prendere visione dei dati solo dopo il termine del funzionamento.
- Il secondo prevede la modifica all'infrastruttura Cloud di Elica per consentire l'accesso non solo ai dispositivi Wi-Fi attualmente previsti nelle cappe. Questo permetterà di configurare

il modulo ESP8266-01S sia come Access Point che come Station, consentendo ai Clients di accedere al suo Web server (come realizzato nel presente progetto di tesi), e in più consentendo la connessione dell'ESP stesso al Cloud, per consentire l'analisi dei dati durante l'attività di Field Test.

In conclusione: le attività svolte durante lo stage curricolare rientrano nel processo aziendale di sviluppo e validazione della nuova tecnologia "Cooking Care". Permetteranno di completare il Validation Plan e saranno propedeutiche a ulteriori verifiche: prove in camera climatica, life-test sul prodotto finito, compatibilità elettromagnetica, test di sicurezza elettrica e tutto ciò che concerne la performance di prodotto.

Una volta concluso il processo, si prevede che la tecnologia Cooking Care andrà ufficialmente sul mercato nel 2024.

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

- <https://projecthub.arduino.cc>
- ESP8266 Wi-Fi MCU | Espressif Systems
- Arduino WiFi: Using ESP8266 with AT Commands | Microcontroller Tutorials (teachmemicro.com)
- ESP-01S e Arduino Mega, WebServer Wi-Fi SoftAP senza libreria (solo comandi AT) [Parte 1] – YouTube
- ESP8266 Web Server with HTML Web Page | Circuits4you.com
- Comunicazione seriale tra Arduino e ESP8266 – Prima parte – B i t F o r B i d
- Comunicazione seriale tra Arduino e ESP8266 – Seconda parte – B i t F o r B i d
- Modulo wifi low cost ESP8266 e Arduino | danielealberti.it
- How to Send Data from Arduino to Webpage using WiFi (circuitdigest.com)
- Introduction to HTTP : Understanding HTTP Basics (steves-internet-guide.com)
- PROTOCOLLO DI COMUNICAZIONE 1 WIRE - 2 (microst.it)