



UNIVERSITÀ
POLITECNICA
DELLE MARCHE

FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica

**Studio, implementazione e verifica di un
sistema di acquisizione di temperatura
per il monitoraggio del conducente**

**Study, implementation and verification
of a temperature acquisition system for
driver monitoring**

Tesi di laurea di:

Shady Mostafa

Relatore:

Prof. Alessandro Terenzi

Correlatore:

Prof.ssa Susanna Spinsante

Anno Accademico 2023-2024

Abstract

Oggetto di questa tesi è lo studio, implementazione e verifica sperimentale di un sistema di acquisizione di temperatura da applicarsi al monitoraggio del conducente in un veicolo. Questo sistema di acquisizione concorre al monitoraggio dello stato psicofisico del guidatore, per garantirne la sicurezza. La progettazione di questo sistema è stata realizzata acquisendo delle misure su oggetti di temperatura nota con entrambi i sensori, per capire il loro comportamento, per poi spostarsi alle acquisizioni direttamente su volante. Per inizializzare i sensori e poter eseguire delle misure, si è fatto uso della scheda a microcontrollore Arduino. Dopo aver programmato la scheda, ed aver acquisito le misure su oggetti e volante, queste sono state elaborate in MatLab per graficare i vari andamenti, e per fare i calcoli necessari a stabilire il loro comportamento. Le misurazioni sugli oggetti si sono rivelate non molto accurate, in parte per via delle condizioni di misurazione, in parte per i contenitori in cui questi oggetti si trovavano. Le misurazioni da volante hanno invece portato a buoni risultati. Essendo capaci di misurare adeguatamente le condizioni del guidatore sia a “riposo” che alla guida, tali sensori potranno essere, in futuro, efficacemente implementati sui volanti delle auto.

The object of this thesis is the study, implementation and experimental verification of a temperature acquisition system to be applied to the monitoring of the driver in a vehicle. This acquisition system contributes to the monitoring of the psycho-physical state of the driver, to guarantee his safety. The design of this system was carried out by measurements on object of known temperature with both sensors, to understand their behavior, and then moving on to acquisitions directly from the steering wheel. To initialize the sensors and be able to measure with them, the Arduino microcontroller was used. After having programmed them, and having acquired the measurements on objects and the steering wheel, data were put on MatLab to graph the various trends, and to make the calculations necessary to establish their behaviour. The measurements on the object turned out to be not very accurate, partly due to the measurement conditions, partly due to the containers in which these objects were located. The steering wheel measurements, however, led to good results. Being capable of measuring the driver well both at “rest” conditions and during driving, these sensors could be effectively implemented on car steering wheels in the future.

Indice

CAPITOLO 1	6
INTRODUZIONE	6
METODOLOGIA.....	6
1.1 MISURA CONTACTLESS DELLA TEMPERATURA.....	7
1.1.1 <i>Effetto Piroelettrico</i>	7
1.1.2 <i>Materiali piroelettrici</i>	11
1.1.3 <i>Leggi delle radiazioni: Planck, Wien e Stefan-Boltzmann</i>	12
1.1.4 <i>Applicazioni pratiche</i>	15
1.2 STATO DELL'ARTE	16
1.2.1 <i>Indagine e sintesi dello stato dell'arte nel monitoraggio dei conducenti</i>	16
1.2.2 <i>Stati</i>	18
1.2.3 <i>Indicatori</i>	19
1.2.4 <i>Visione sistemica della caratterizzazione di un sottostato</i>	20
1.2.5 <i>Sonnolenza</i>	22
1.2.6 <i>Sistema di monitoraggio del conducente in tempo reale, rilevamento della chiusura degli occhi basato sui punti di riferimento facciali e riconoscimento della posizione della testa</i>	25
1.2.7 <i>Telecamera Can-lab</i>	27
1.2.8 <i>Analisi della disattenzione</i>	29
1.2.9 <i>Analisi della sonnolenza</i>	30
1.2.10 <i>Comparazione con altri sistemi di monitoraggio del conducente</i>	33
CAPITOLO 2	36
2.1 STRUMENTI DI LAVORO	36
2.1.1 <i>Sensori PIR utilizzati</i>	36
2.2 ARDUINO	39
2.2.1 <i>Breve richiamo alla programmazione con Arduino</i>	39
2.2.2 <i>Codici usati</i>	41
CAPITOLO 3	50
3.1 PROVE SPERIMENTALI	50
3.1.1 <i>Introduzione alle prove</i>	50
3.1.2 <i>Misurazione degli oggetti</i>	52
3.1.3 <i>Misurazione sul guidatore</i>	52

CAPITOLO 4	56
4.1 RISULTATI.....	56
4.1.1 <i>Risultati delle misurazioni degli oggetti, sensore “MLX90614”</i>	56
4.1.2 <i>Risultati delle misurazioni degli oggetti, sensore “AMG8833”</i>	63
4.1.3 <i>Risultati delle misurazioni sul conducente, sensore “MLX90614”</i> ...	66
4.1.4 <i>Risultati delle misurazioni sul conducente, sensore “AMG8833”</i>	69
4.1.5 <i>Problemi riscontrati nelle misurazioni e analisi degli andamenti</i>	72
CAPITOLO 5	75
5.1 CONCLUSIONE.....	75
BIBLIOGRAFIA	76

Capitolo 1

INTRODUZIONE

La prevenzione degli incidenti stradali può essere effettuata in vari modi, uno dei più efficaci consiste nell'andare a monitorare direttamente il guidatore. Monitorare il guidatore è quindi lo scopo di questa tesi, sia per poter facilmente controllare le sue condizioni di comfort psico-fisico, sia per garantirne la sicurezza. Il lavoro è stato focalizzato sulla misurazione di temperatura del guidatore tramite l'uso di sensori termici. Entrambi i sensori utilizzati, sfruttano il principio di misurazione PIR (Passive InfraRed [1]); ciò consente di misurare la temperatura assorbendo radiazione infrarossa dall'oggetto. Questi sensori vengono programmati tramite il microcontrollore Arduino, grazie al suo software di programmazione. Nel monitorare il guidatore, però, i sensori di temperatura non sono gli unici usati, anche se la tesi si concentrerà su di questi.

METODOLOGIA

Nel progetto in cui si inserisce questa tesi, si è fatto uso di diversi sensori per il monitoraggio del guidatore. Essi, saranno poi implementati sul volante di un veicolo. Alcuni di questi sensori, tra i quali le termocamere

PIR, sono stati acquisiti grazie all'uso di Arduino. Arduino è un microcontrollore, programmabile, estremamente versatile e viene usato per questo in molti progetti. Nei successivi capitoli, verranno presentati dei richiami ai principi usati dai sensori termici utilizzati e si farà cenno a lavori di letteratura riguardanti il monitoraggio del guidatore. Verranno poi descritti i sensori PIR usati, e verrà spiegato il codice con cui sono stati programmati. Infine, sarà descritto che tipo di prove sono state effettuate per valutare la loro efficacia e i tipi di problemi riscontrati. Verranno esposti i risultati conseguiti, per poi trarre le conclusioni.

1.1 Misura contactless della temperatura

1.1.1 Effetto Piroelettrico

I sensori PIR (Passive InfraRed [1]) usano l'effetto Piroelettrico; tale effetto è in molti aspetti simile a quello Piezoelettrico. L'effetto Piezoelettrico è usato dai cristalli piezoelettrici, in cui una deformazione elastica li polarizza elettricamente (effetto piezoelettrico diretto), o viceversa un cambiamento di polarizzazione elettrica li deforma elasticamente (effetto piezoelettrico inverso o effetto Lippmann); questo effetto li rende utili per diverse funzioni, tra le quali: trasduttori elettromeccanici ed elettroacustici ad alta fedeltà, nonché strumenti per la generazione e ricezione di onde sonore [2]. L'effetto Piroelettrico, usato invece dai sensori PIR, sfrutta un cambiamento di temperatura che va a

causare un cambiamento di polarizzazione spontanea e un conseguente cambiamento in cariche elettriche. Questo effetto fu chiamato così da David Brewster nel 1824 ma era già conosciuto da più di 2000 anni.

Quando la differenza di temperatura “ ΔT ” è uniforme su tutto il materiale, l’effetto piroelettrico può essere descritto tramite il coefficiente piroelettrico “ p ” [$\frac{C}{m^2K}$].

Nella formula (1.01), il coefficiente svolge il ruolo di vettore:

$$\Delta P = p \Delta T \quad \left[\frac{C}{m^2} \right] \quad (1.01)$$

dove “ P ” rappresenta la polarizzazione spontanea.

Questo effetto è usato principalmente per rilevare le radiazioni termiche a temperatura ambiente. Per farlo, si dispongono due elettrodi metallici orientati perpendicolarmente rispetto alla direzione di polarizzazione, producendo un condensatore che agisce come sensore termico. Quando il rilevatore assorbe radiazione, la sua temperatura e polarizzazione cambiano, dando luogo ad un cambiamento di carica di superficie sul condensatore stesso. Consideriamo che lo spessore del rilevatore “ b ” [mm] è così piccolo da poter trascurare il gradiente di temperatura, denotando con A_d [m^2] l’area di incidenza della radiazione, si può trovare la carica indotta con la formula:

$$\Delta Q = A_d \Delta P = p A_d \Delta T \quad [C] \quad (1.02)$$

Con ΔT , incremento di temperatura del rilevatore. La tensione risultante sarà:

$$v_o = \frac{pb}{\varepsilon} \Delta T \quad [\text{V}] \quad (1.03)$$

dove ε è la costante dielettrica del materiale. Con dielettricità si intende la capacità di un materiale non conduttore di poter essere sede di un campo elettrostatico; sotto l'azione di un campo elettrico su questi materiali si formano delle cariche, che scompaiono una volta cessata l'azione del campo. Per ciascun dielettrico esiste una costante dielettrica assoluta misurata in Faraday per metro [3].

Quando invece la radiazione incidente risulta essere pulsante (con intensità variabile nel tempo), e ha una potenza pari a P_i [W], la tensione risultante sul condensatore risulterà:

$$v_o = R_v P_i \quad (1.04)$$

dove R_v [V/W] è la sensibilità alla tensione, data dalla formula:

$$R_v = \frac{\alpha p}{C_E \varepsilon A} \frac{\tau}{\sqrt{1+(\omega\tau)^2}} \quad (1.05)$$

con:

- α (adimensionale) = la frazione di potenza penetrante convertita in calore;
- τ [s] = la costante di tempo termica (tempo in cui la temperatura T del sensore raggiunge il 63.2 % del valore di stato stazionario rispetto al suo valore iniziale, rappresenta cioè la velocità di risposta del sistema ad un input [4]);

- $C_E \left[\frac{J}{m^3K} \right]$ = la capacità volumetrica specifica di calore (capacità termica per unità di volume. Dove la capacità termica rappresenta il rapporto tra la quantità di calore ricevuto e la sua variazione di temperatura [5]);
- ω [Hz] = la frequenza pulsante della radiazione incidente (la frequenza corrisponde al numero di volte che un fenomeno periodico si ripete nell'unità di tempo [6]);

La corrispondente corrente di cortocircuito è:

$$i_{sc} = R_i P_i \quad [A] \quad (1.06)$$

dove R_i [A/W] è la reattività di corrente, dalla formula :

$$R_i = \omega C_d R_v = \frac{\alpha p}{C_E b} \frac{\omega \tau}{\sqrt{1+(\omega \tau)^2}} \quad (1.07)$$

La “modalità di tensione” (R_v) produce il miglior rapporto segnale/rumore, mentre la “modalità di corrente” (R_i) produce un segnale più grande ed ha risposta in frequenza più piatta, come meglio visibile dalla Figura 1.1:

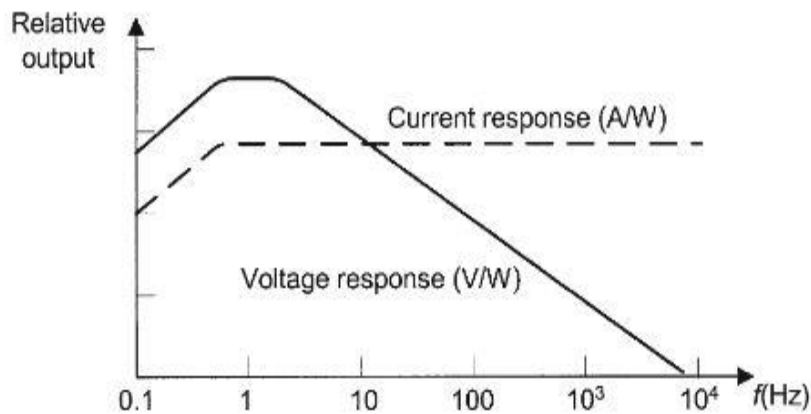


Figura 1.1 - Risposta in frequenza nei sensori piroelettrici in modalità di tensione (R_v) e in modalità di corrente (R_i) [7].

1.1.2 Materiali piroelettrici

Dato che la piroelettricità e la piezoelettricità sono entrambi basati sull'anisotropia cristallina (la condizione per cui un materiale presenta diverse proprietà a seconda della direzione considerata [8]), molti materiali piezoelettrici sono anche piroelettrici. Sono 10, su un totale di 21, gli elementi di classi cristallografiche centro simmetriche che dispongono di un asse di simmetria polare. Di questi 10, tutti presentano proprietà piroelettriche.

I principali gruppi di materiali piroelettrici sono due: lineari, ferroelettrici.

I materiali lineari non cambiano polarizzazione con l'inversione del campo elettrico ad esso applicato. Tipici esempi di materiali lineari sono: tormalina, solfato di litio, solfuri di cadmio e selenio.

I materiali ferroelettrici possono rimanere polarizzati anche dopo lo spegnimento del campo che li ha polarizzati [9] (comportamento simile ai materiali ferromagnetici). Dei materiali ferroelettrici, sono ad esempio:

tantalato di litio, stronzio, niobato di bario, zirconato-titanato di piombo e il solfato di triglicina.

Le proprietà piroelettriche scompaiono raggiungendo la “temperatura di Curie” (temperatura critica alla quale scompaiono le proprietà magnetiche di un materiale [10]). Secondo la formula (1.05), un materiale piroelettrico ideale dovrebbe avere un alto coefficiente di piroelettricità (p), una bassa capacità volumetrica specifica di calore (C_E), ed una bassa costante dielettrica (ϵ). Di seguito è riportata una tabella con alcune proprietà dei materiali piroelettrici più comuni:

Tabella 1.1 - Parametri di alcuni materiali piroelettrici comuni [7].

Material	Pyroelectric Coefficient (nC/cm ² ·K)	Relative Permittivity	Specific Heat (J/cm ³ ·K)
Triglicine sulfate, TGS	40	35	2.5
Lithium tantalate, TaO ₃ Li	19	46	3.19
Strontium and barium niobate, SBN	60	400	2.34
PVDF	3	12	2.4

1.1.3 Leggi delle radiazioni: Planck, Wien e Stefan-Boltzmann

Si può misurare la temperatura della superficie di un corpo riscaldato, andando ad assorbire la sua radiazione termica, tramite un rilevatore piroelettrico.

Qualunque corpo con temperatura maggiore di 0 K irradia un'energia elettromagnetica dipendente dalla sua temperatura e dalle sue proprietà fisiche.

Sotto i 500 °C (773.15 K) la radiazione infrarossa predomina, si percepisce quindi solo il calore; sopra i 500 °C la radiazione emessa è visibile. Per studiare l'emissione di energia da un corpo, bisogna prima capire come questi la assorbono. Di tutta l'energia ricevuta da un corpo, una parte viene riflessa, una parte viene diffusa in varie direzioni, una parte viene assorbita ed una trasmessa attraverso il corpo. Nell'ambiente ideale viene chiamato "corpo nero" un corpo che assorbe tutta l'energia ricevuta, incrementando la sua stessa temperatura. Nell'ambiente reale, ciò che si avvicina di più a questo corpo nero, è un corpo cavo con pareti nere e temperatura controllata, con una sola piccola apertura. Corpi ad ogni temperatura emettono, ed assorbono costantemente da altri corpi, le radiazioni termiche. Se non si ha equilibrio termico fin da subito, i corpi più caldi diventeranno più freddi e quelli più freddi si scaldano, così da raggiungere poi tale equilibrio. In condizioni di equilibrio tutti i corpi emettono ed assorbono la stessa quantità di radiazione termica, per questo motivo un corpo nero, in condizioni ideali, emette un gran quantitativo di radiazione.

Con "emissività" di un corpo, ε (adimensionale), si intende il rapporto tra energia emessa per unità di superficie e per unità di tempo da un dato corpo, su quella emessa da un corpo nero alla stessa temperatura [11]. Avendo detto che un corpo nero rappresenta un corpo ideale in grado di assorbire ed emettere tutta la radiazione, esso avrà un coefficiente ε pari a 1. Tale emissività dipende da varie caratteristiche, tra le quali: lunghezza d'onda, temperatura, stato fisico e caratteristiche chimiche della superficie di riferimento.

Con la legge di Planck, è possibile calcolare quanta energia è stata emessa da un corpo nero, per unità di area e di tempo, ad una data lunghezza d'onda e temperatura T .

Per i corpi reali tale formula assume questo aspetto:

$$W_{\lambda r} = \varepsilon_{\lambda, T} W_{\lambda} \left[\frac{W \text{ cm}^2}{\mu\text{m}} \right] \quad (1.08)$$

dove l'emissività dei corpi reali dipende dalla lunghezza d'onda e dalla temperatura.

La lunghezza d'onda corrispondente alla massima potenza erogata da un corpo nero, si trova con la formula di spostamento di Wien:

$$\lambda_{max} = \frac{2896 \text{ K} \cdot \mu\text{m}}{T} \quad (1.09)$$

Questa indica che la potenza massima si ottiene ad una lunghezza d'onda che decresce con l'aumentare della temperatura.

Integrando la (1.08) su tutte le lunghezze d'onda, possiamo ottenere il flusso di potenza totale emesso dal corpo nero.

Il principio usato dai rilevatori termici si basa sull'incremento di temperatura, dato dall'assorbimento di radiazione da parte dei corpi; più i corpi assorbono radiazione, più l'incremento di temperatura risulterà elevato. Questo principio è usato da sensori come le termopile o bolometri. La presenza di vapore acqueo, di anidride carbonica, ozono e particelle di polvere nell'aria ecc... portano a una diminuzione tra radiazioni emesse e quelle rilevate. L'emissività del corpo target può anche essere sconosciuta o andare a diminuire, in seguito a un cambiamento di condizioni di

superficie o di altro tipo. A risolvere questo problema partecipano i pirometri a “due colori” o “a rapporto”. Questi vanno a misurare due diverse lunghezze d’onda del campione. Se queste sono abbastanza vicine tra loro, da subire le stesse variazioni (non desiderate), allora il rapporto tra i segnali in uscita cambia solo al variare della temperatura del campione.

Usando questo rapporto si può andare poi a misurare la temperatura del campione; è un efficace metodo di misura termica senza contatto.

1.1.4 Applicazioni pratiche

L’effetto piroelettrico è usato più comunemente per la rilevazione di radiazione termica a temperatura ambiente. Viene però anche usato in un’ampia gamma di applicazioni, gli esempi più rilevanti comprendono:

- Pirometri, sensori volti a misurare radiazioni termiche di oggetti ad elevate temperature [12]. Vengono usati ad esempio in fornaci e forni;
- Radiometri, sensori che vanno a misurare la potenza di una sorgente tramite l’analisi della sua radiazione;
- Analizzatori ad infrarossi, misurano dei gas tramite l’analisi delle loro radiazioni infrarosse;
- Sensori di movimento e posizione;
- Termometri ad alta risoluzione;
- Rilevatore di incendi;
- Termometri medici che misurano la temperatura auricolare vanno a misurare la radiazione infrarossa del timpano e delle superfici circostanti.

I sensori piroelettrici sono più veloci dei normali sensori di temperatura, come le termocoppie o i termistori. Questo poiché sono più sottili, hanno una sensibilità maggiore e non debbono raggiungere l'equilibrio termico con l'oggetto da analizzare, perché ne vanno ad analizzare il gradiente. Tutto ciò li rende appropriati per creare delle immagini, tramite scan della superficie dell'oggetto; questa tecnica è usata spesso anche in processi come la termografia ad infrarossi, volta appunto a creare immagini di un oggetto tramite la lettura dei suoi raggi infrarossi. Altri usi dello scan comprendono: visione notturna, monitoraggio di punti caldi [7].

1.2 Stato dell'arte

Nei paragrafi a seguire vengono riportati due lavori, focalizzati sul monitoraggio del guidatore. Nel primo si sono monitorati dei parametri con l'uso di sensori e indicatori. Nel secondo si sono monitorati i parametri di sonnolenza e disattenzione, grazie all'uso di una tecnologia di riconoscimento facciale.

1.2.1 Indagine e sintesi dello stato dell'arte nel monitoraggio dei conducenti

Da delle indagini statistiche condotte tra il 2005 e il 2007 si è visto che, negli USA, il 94% degli incidenti automobilistici sono dati da distrazioni del guidatore, mentre il restante 6% è distribuito equamente tra danni

spontanei al veicolo, ambiente circostante e cause sconosciute [13]. Per questo motivo monitorare il guidatore risulta di fondamentale importanza. Tramite questa ricerca si sono tenuti sotto controllo dei parametri ritenuti importanti per un guidatore. Ad ognuno di questi è stato associato un sensore che, monitorando ogni parametro, ne avrebbe definito anche quando esso era in procinto di raggiungere la condizione critica (parametri come ad es. la sonnolenza). Il processo è stato diviso in due parti: caratterizzazione dello stato del conducente e il tipo di monitoraggio da considerare. Ad esempio: per monitorare i livelli di sonnolenza un primo step è quello di calcolare i livelli di tale parametro nel guidatore, come secondo step sarà invece quello di controllare come questo livello si evolve nel tempo, e quando si avvicina ad una condizione critica. Tutte queste misurazioni si fonderanno nella fase decisionale per poi dare una valutazione sullo stato del guidatore. Con “stato del guidatore” si intende lo stato fisico, fisiologico, psicologico e comportamentale in cui si trova il guidatore. Vengono classificati come “sottostati del guidatore” quei parametri che bisogna monitorare, come ad esempio la sonnolenza prima accennata. La ricerca è stata perlopiù basata sulla caratterizzazione di ogni sottostato, usando degli indicatori in sincrono con dei sensori.

Il monitoraggio dello stato del guidatore è importante anche sulle automobili a guida autonoma, o almeno su quelle automobili dove il guidatore ha ancora un certo controllo.

Da analisi preliminari si sono tratte le seguenti conclusioni:

1. Per caratterizzare globalmente lo stato di un guidatore, si devono considerare 5 principali tipi di sottostati: sonnolenza/fatica, stress, emozioni, distrazioni, sotto influenza (di sostanze).

2. Diversi parametri, chiamati “indicatori”, sono usati per caratterizzare ognuno di questi sottostati.
3. Idealmente un sistema di monitoraggio non deve monitorare solo il guidatore ma anche l’ambiente di guida e l’ambiente circostante ad esso.
4. Per ogni indicatore si ricava un valore dato dall’interpretazione di segnali ed immagini.
5. Un sistema di monitoraggio riguarda uno o più sottostati, indicatori e sensori.

Successivamente, dove richiesto, si indicherà con la parola “stato”, lo stato globale o uno dei 5 sottostati principali. Con “stato *i*” e “stati” si indicheranno rispettivamente un sottostato e più sottostati.

Questi studi statistici hanno dimostrato che la prima causa di incidenti al volante è data dalla sonnolenza (44 casi su 56), seguita da distrazioni alla guida (20 casi su 56). Si andrà adesso a parlare più nel dettaglio riguardo agli stati, agli indicatori ed ai sensori.

1.2.2 Stati

La ricerca ha portato a stabilire che lo stato di un guidatore debba essere diviso principalmente in 5 dimensioni, o stati: sonnolenza/fatica, stress, emozioni, distrazioni, sotto influenza (di sostanze). Uno degli obiettivi del sistema di monitoraggio del guidatore è quello di determinare, in modo continuo possibilmente, e non invasivo, il “livello” di uno di questi stati del guidatore. Con livello si intende sia un carattere numerico volto a quantificare tale stato, sia una specie di etichetta volta anch’essa a dargli una descrizione. Ad esempio, un livello può essere un numero binario,

dove lo 0 può indicare un'assenza di rischio ed un 1 può indicarne la presenza. A seguito della lettura di questi livelli si dovranno poi prendere dei provvedimenti proporzionali ad essi, questo argomento esula però dal testo presentato. I primi 4 stati riportati in precedenza sono il vero scoglio della ricerca, in quanto non sono facilmente misurabili, poiché non comparabili con altri valori di riferimento; al contrario il quinto stato è più facile da misurare, l'uso di sostanze lo si può vedere numericamente ma ciò impone che il guidatore soffi su un etilometro e/o fornisca un esame del sangue. Entrambi questi metodi sono però invasivi. Quindi i livelli di questi 5 stati non si possono ricavare facilmente, è per questo che si fa uso degli "indicatori".

1.2.3 Indicatori

Ai fini di questo lavoro, risulta utile definire nello specifico il termine di "indicatore". Un indicatore deve poter mostrare (indicare) i dati ricevuti da un sensore all'interno dell'autovettura. Deve essere ben definito, come anche la sua procedura di calcolo. Questa procedura di calcolo deve poter essere effettuata in una successione di istanti di tempo, basandosi sui dati forniti dal sensore. Con i termini "quantità" o "elemento", si indicheranno gli indicatori per uno specifico (sotto)stato, ma solamente se soddisfano tutte queste condizioni:

- Ha una precisa definizione scientifica (cioè, matematica, fisica, chimica ...).
- Può essere caratterizzato/misurato, tramite dei vincoli a tempo reale quando necessario, basandosi sui dati rilevati dal sensore d'interesse.

- I valori che assume devono appartenere ad un range di valori già specificato, e preferibilmente con una determinata unità di misura.
- Non deve rappresentare una descrizione univoca dello stato.
- Deve essere certa la connessione con lo stato che rappresenta.
- Può risultare un utile collegamento con altri stati.
- Deve poter essere riproducibile, cioè, deve portare sempre lo stesso valore.

Ad esempio, la frequenza di battito oculare può rappresentare un efficace indicatore di sonnolenza/fatica. Questo indicatore rispetta per l'appunto tutte le caratteristiche precedentemente menzionate. Come è stato menzionato il “livello” per un dato stato, esisterà anche il “valore” per un dato indicatore. Si userà ora dire livello a riferimento di uno stato, mentre valore per riferirsi ad un indicatore. Un set di valori dovrà poi essere convertito in un livello dello stato. Questa conversione richiederà l'uso di particolari algoritmi e non sarà sempre efficace, poiché gli indicatori non sono strumenti perfetti e non sono sempre efficacemente correlati con il (sotto)stato di riferimento. Si dovranno quindi usare più dati provenienti da diversi indicatori, per dare un'efficace valutazione del sottostato e quindi dello stato globale del guidatore.

1.2.4 Visione sistemica della caratterizzazione di un sottostato

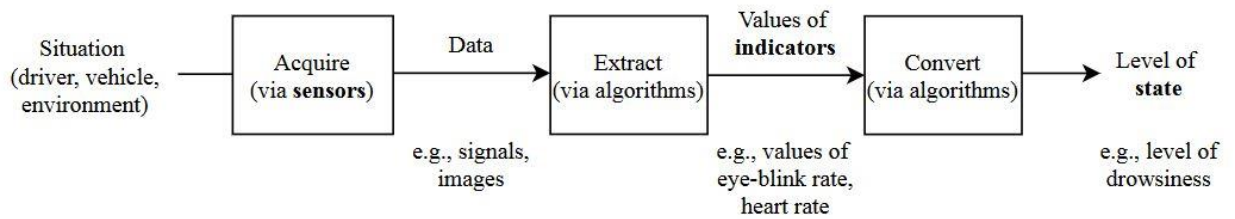


Figura 1.2 - Diagramma a blocchi rappresentante la caratterizzazione di un generico (sotto)stato [13].

Con il diagramma a blocchi sopra mostrato viene descritto il processo per ottenere il livello di uno stato. Si possono immediatamente vedere all'interno dei tre blocchi i tre processi principali: acquisizione, estrazione e conversione. Si inizia con la situazione di cui si vuole tener conto, tramite dei sensori si acquisiscono dei dati, da questi si estraggono i soli dati che interessano (come segnali o immagini). Successivamente si convertiranno tramite algoritmi questi dati in valori dell'indicatore (come la frequenza del battito oculare). Alla fine con degli altri algoritmi, si convertiranno i valori in livelli dello stato. Idealmente si presuppone che sia l'input (situazione iniziale) che l'output (livello dello stato) siano in funzione del tempo.

Di seguito si va a redigere un breve elenco dei tipi di indicatori e sensori che si possono avere sul guidatore. Questi verranno indicati con la lettera maiuscola D (Driver), per distinguerli dagli indicatori del veicolo V (Vehicle), e da quelli dell'ambiente E (Environment). Gli indicatori-D saranno divisi in: fisiologici (frequenza cardiaca, attività cerebrale...), comportamentali (frequenza di battito di ciglia, direzione dello sguardo, posizione delle mani), soggettivi (non usati per misurazioni sul posto ma nello sviluppo del sistema di monitoraggio del guidatore). Qualche sensore-D è posizionato sul sedile dell'auto (monitoraggio della respirazione), sul volante (elettrodi per elettrocardiogramma) e sulle cinture di sicurezza (sensori di induzione magnetica, MI). Altri sensori-D, come microfoni e

telecamere, vengono posizionati sulla cabina di pilotaggio e vengono classificati come “interni”. Distinguendoli, quindi, da quelli installati per monitorare l’ambiente esterno, e classificati appunto come “esterni”. Sono presenti anche dei sensori-D “indossabili” (come gli smartwatch in grado di misurare la temperatura corporea o la frequenza cardiaca).

Si procede, dunque, con la descrizione dettagliata dello stato di sonnolenza presentato inizialmente, descrivendone anche gli indicatori e sensori sul guidatore in grado di monitorarlo.

1.2.5 Sonnolenza

Descrizione

La sonnolenza è uno stato intermedio tra la veglia ed il sonno, considerato anche come la fase precedente al sonno. Una persona assonnata ha difficoltà a rimanere sveglia ed ha una forte inclinazione a dormire. Una persona assonnata è in uno stato continuo (o fluttuante) di :

- Ridotta consapevolezza del “qui e adesso”;
- Compromissione delle attività cognitive e/o psicomotorie;

Questo stato deriva spesso da attività monotone e con ritmi costanti, come ad esempio una lunga guida. Si tratta di uno stato altamente pericoloso, che ha portato statisticamente a molti incidenti, anche fatali, alla guida. Il sonno è infatti considerato uno tra i bisogni primari dell’essere umano, e quindi è fondamentale il suo monitoraggio. Questo, seppur spesso confuso, è distinto dal concetto di affaticamento; l’affaticamento è infatti, si un senso di stanchezza, ma dovuto a precedente sforzo fisico o cognitivo. Alcuni autori fanno distinzione tra sonnolenza provocata dal compito, cioè la

guida, e sonnolenza in quanto stato di stanchezza non derivante da altro (data ad es. dall'orario). Queste costituiscono due sottocategorie della sonnolenza precedentemente definita. Inoltre, mentre l'affaticamento può essere risolto tramite del riposo, che non comprende per forza il sonno vero e proprio; la sonnolenza viene invece risolta con del sonno di durata variabile. Mentre i due stati sono distinti tra loro, una persona potrebbe averli entrambi, è anche molto complicato misurarli distintamente in modo non invasivo in autovettura. Il compito di questo monitoraggio è prevenire che il guidatore si addormenti alla guida.

Indicatori

Si parlerà di seguito degli indicatori posizionati sul guidatore (indicatori-D). Essi si dividono in 3 tipi: fisiologici, comportamentali e soggettivi. Fisiologicamente si è visto, tramite degli esperimenti in un simulatore su diversi guidatori, che in presenza di questo stato la dimensione frattale del segnale EEG (elettroencefalogramma) dà una buona indicazione dello stato di sonnolenza. I cambiamenti dati dalla sonnolenza sono anche visibili tramite un ECG (elettrocardiogramma), infatti all'aumentare della sonnolenza si ha una diminuzione della frequenza cardiaca (HR, Heart Rate), ed un incremento della variabilità della frequenza cardiaca (HRV, Heart Rate Variability). L'indicatore HRV varia però diversamente tra i soggetti e nel tempo, sia per fattori esterni che interni; si deve tener conto per usarlo propriamente. Altri due indicatori fisici sono la frequenza respiratoria, intesa come rapporto tra inspirazione-espiazione, e l'attività elettrodermica (EDA, ElectroDermal Activity); questa viene verificata tramite il posizionamento di elettrodi sulla pelle del conducente.

Quest'ultimo indicatore varia a seconda della sudorazione, regolata dal sistema nervoso che, facendo variare la sudorazione nella fase di sonnolenza, farà conseguentemente variare l'EDA. Altro indicatore di questa sezione è quello del diametro pupillare, è stato visto tramite degli esperimenti che esso oscilla a bassa frequenza e con alta ampiezza in procinto di sonnolenza; l'instabilità del diametro pupillare è anch'esso un buon indicatore. Gli indicatori oculari, come visto, sono particolarmente efficaci per monitorare lo stato di sonnolenza di un individuo. Diversamente dall'ambiente clinico, nell'ambiente operativo (autovettura) per monitorare tale stato, si fa affidamento al monitoraggio continuo dell'occhio e si applicano dei metodi di analisi dell'immagine su di esso. L'indicatore oculare più usato è quello della percentuale di chiusura dell'occhio (PERCLOS, PERcentage of eyelid CLOSure over time), definito come la porzione di tempo (in una data finestra temporale) in cui la palpebra si chiude per il 70/80%. Più la sonnolenza aumenta più questo intervallo di tempo cambia, fino a quando la palpebra si chiude definitivamente e il conducente si addormenta. Oltre a quelli enunciati, sono presenti altri indicatori oculari, come la frequenza media di battiti della palpebra, la durata media del battito delle palpebre ecc... Oltre agli indicatori fisiologici sono presenti anche degli indicatori soggettivi, questi sono per la maggior parte dei questionari compilabili dal guidatore, non sono quindi implementabili nell'auto ma sono delle buone indicazioni per la valutazione di altri indicatori. Questi questionari includono anche le scale di sonnolenza "Karolinska" e "Stanford".

Sensori

Per quanto riguarda i sensori, si introducono quelli del guidatore (sensori-D). Per monitorare la frequenza cardiaca è stato fatto uso di diversi sensori: sensori messi sul volante (elettrodi conduttivi), sensori messi sul sedile (elettrodi capacitivi). Il monitoraggio dell'ECG è fattibile nell'autovettura, ma presuppone che il guidatore tocchi due diverse parti conduttive del volante. La ballistocardiografia, che consente anch'essa di monitorare l'attività del cuore, ed anche l'attività respiratoria, può essere implementata sulle cinture di sicurezza o nel sedile. Questa è però difficile da implementare, in quanto le vibrazioni del veicolo rendono difficile la tecnica in un ambiente reale. Informazioni sull'attività cardiaca possono essere ottenute tramite una telecamera puntata sul conducente, ed usando dei particolari processi di imaging. I sensori radar sono usati prettamente per rilevare il movimento del conducente, il quale può essere dato dall'attività cardiaca o dal sistema respiratorio. Questi possono essere posizionati in diverse zone dell'auto, tra le quali : cintura di sicurezza, volante e schienale del sedile. Infine, un altro metodo molto importante per monitorare la respirazione del guidatore, in modo non intrusivo, è l'immagine termica [13].

1.2.6 Sistema di monitoraggio del conducente in tempo reale, rilevamento della chiusura degli occhi basato sui punti di riferimento facciali e riconoscimento della posizione della testa

Viene presentato di seguito un richiamo al progetto riguardante il monitoraggio di conducenti in tempo reale, DMS (“Real-time Driver Monitoring System”). Questo è stato eseguito impiegando il riconoscimento del comportamento, basato sulla stima dei punti di riferimento facciali. Lo studio è stato effettuato utilizzando una telecamera a infrarossi (IR), acquisendo con questa delle immagini e video poi elaborate. Attraverso la stima dei punti di riferimento facciali si sono ottenute delle informazioni molto importanti riguardanti la postura della testa del conducente e l’area degli occhi. Analizzando per quanto tempo si verifica la chiusura delle palpebre, si può stabilire se il conducente si trova in una sonnolenza momentanea o prolungata. I vantaggi di questo metodo risiedono nell’uso esclusivo della telecamera IR per ottenere i dati, e sull’efficienza della procedura.

Alcuni ricercatori optano per le telecamere a infrarossi (IR), tramite le quali è possibile parametrizzare le espressioni facciali. In questo progetto viene presentato un DMS che utilizza delle immagini catturate con una telecamera ad infrarossi, per rilevare stati di inattenzione o sonnolenza nel guidatore. Per identificare questi stati solamente con delle immagini, è necessario analizzare i comportamenti del guidatore. Nel seguente metodo si è iniziato con il rilevare il volto del guidatore ed estrarne dei punti di riferimento facciali per due scopi:

1. Stima della posa della testa, per rilevare eventuali stati di inattenzione del conducente;
2. Riconoscimento della chiusura delle palpebre, per rilevare situazioni di sonnolenza;

Stimando la posa della testa del guidatore si può capire verso che direzione guarda, e rilevare un eventuale stato di inattenzione. Con il riconoscimento della chiusura delle palpebre si rileva invece se il guidatore è assonnato o meno. Per facilitare il raccoglimento dei dati, negli scopi di questo progetto, è stato sviluppato un dispositivo di trasmissione video a bordo del veicolo. Le valutazioni di prestazioni di tale metodo sono state fatte usando un set di dati personalizzato chiamato “irdatasets”.

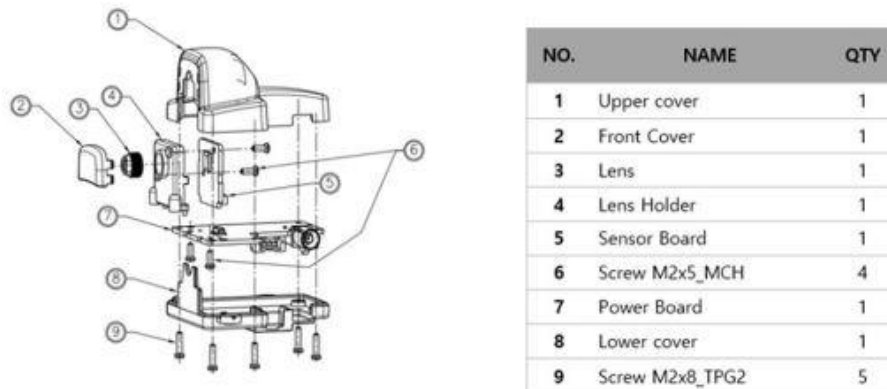
1.2.7 Telecamera Can-lab

Per creare un DMS robusto, in grado di gestire le variazioni di illuminazione, si è usata una telecamera sviluppata da Can-lab per effettuare le analisi video. Questa telecamera ha delle caratteristiche molto importanti, come la regolazione IR LED, e la comunicazione con l’unità di controllo elettronica (ECU, Electronic Control Unit). Inoltre, per migliorare la qualità video e diminuire il rumore, è stato usato un generatore esterno per alimentare il driver dell’IR LED. Per garantire una gestione efficiente del calore, nel prototipo di telecamera si sono posizionati strategicamente i componenti a più alta temperatura. Inoltre, per favorire la durata della telecamera, si sono impiegati materiali automobilistici nella sua

costruzione. Nel progetto, è stato fatto uso di uno strumento di cattura di immagini personalizzato, fatto da Can-lab. Questo è stato utilizzato per la cattura dell'immagine del conducente, per sue successive analisi. Il suo posizionamento nel veicolo, e i suoi componenti interni, sono mostrati nelle figure successive:



(a)



(b)

Figura 1.3 - (a) posizionamento dello strumento di cattura immagini nel veicolo, (b) componenti interni dello strumento di cattura immagini [14].

Lo strumento di cattura viene posizionato sulla colonna posteriore del volante, in modo tale da non disturbare durante le fasi di sterzata. Dopodiché la telecamera analizza le immagini per dare un'analisi sul conducente.

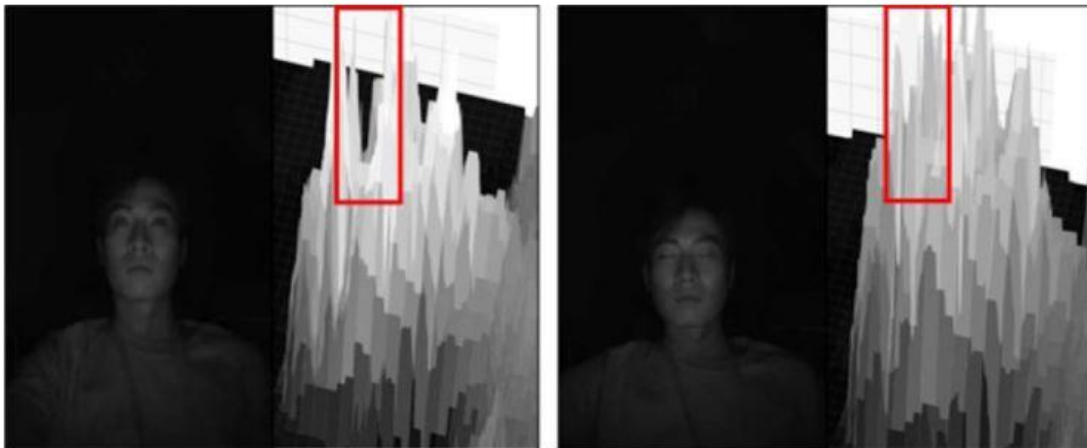
1.2.8 Analisi della disattenzione

Per verificare l'inattenzione del conducente, il sistema avvia il processo di stima della posizione della testa. Tramite la posizione della testa si possono rilevare: l'angolazione della testa del conducente e verso dove è diretto il suo sguardo. Tramite queste due caratteristiche si possono riconoscere anche dei segnali di sonnolenza, dati ad esempio dallo scuotere la testa da una parte all'altra. Si può vedere inoltre se il guidatore presta attenzione

alla strada, vedendo verso dove è orientato il suo sguardo mentre il volante è fisso.

1.2.9 Analisi della sonnolenza

Per analizzare efficacemente lo stato di guida assonnato, risulta essenziale identificare i momenti in cui il conducente chiude gli occhi. In questo metodo viene usato un filtro di rilevamento della chiusura delle palpebre, per riconoscere queste situazioni. Gli algoritmi già esistenti per il rilevamento di oggetti non funzionano bene in questo caso, in quanto forniscono molti risultati falsi positivi e falsi negativi. Per ovviare a questo problema si è usato determinare il valore soglia ottimale, per analizzare l'area di chiusura degli occhi. Mediante la messa a punto del valore soglia, ed usando il filtro di rilevamento di chiusura degli occhi, il sistema si sforza di rilevare quando il conducente li chiude, contribuendo ad una miglior valutazione dello stato di sonnolenza e migliorando la guida complessiva. Nelle immagini qui riportate si può notare che, quando gli occhi del guidatore sono chiusi, i pixel ad essi associati hanno una elevata luminosità, senza spazi vuoti tra loro. Quando sono aperti la luminosità scende e va a 0, lasciando degli spazi tra i pixel.



(a)

(b)

Figura 1.4 – Visualizzazione dei risultati in profondità nelle immagini ad infrarosso: (a) rappresentazione ad occhi aperti, (b) rappresentazione ad occhi chiusi [14].

Per distinguere tra occhi chiusi e aperti, il metodo usa un valore soglia basato su valori di luminosità dei pixel. Il processo prevede l'estrazione dell'immagine ritagliata dell'occhio, usando i punti di riferimento del viso. Viene poi calcolato il valore soglia T con l'equazione:

$$T = \frac{\min(I) + \max(I)}{2} \quad (1.10)$$

Questa fa la media del minimo e massimo valore dei pixel “ T ” nell'immagine. Questo valore viene poi usato nella binarizzazione, dove i pixel maggiori di T sono identificati come bianchi, quelli minori sono identificati come neri. Un esempio di immagine risultante è rappresentato in Figura 1.5:

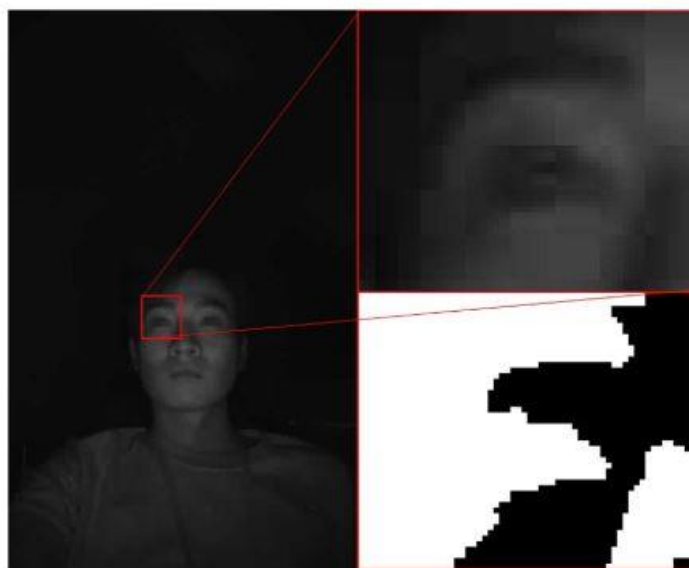


Figura 1.5 – Risultato del metodo con il valore soglia nell'area dell'occhio [14].

Applicando questa tecnica di binarizzazione, il metodo è in grado di identificare in maniera accurata lo stato dell'occhio, facilitando il riconoscimento dei casi di chiusura. Ciò contribuisce ad una migliore analisi del comportamento di guida sonnolento. Come visto nella Figura 1.5, le parti di pixel marcate in nero consentono un'identificazione delle caratteristiche dell'occhio. Per rilevarle si applica un filtro di rilevamento della chiusura degli occhi, scansionando l'immagine in cerca delle aree di pixel che soddisfano le condizioni specifiche. Ad esempio, quando questo è applicato a situazioni in cui gli occhi sono aperti, nessuna area soddisfacente le condizioni è trovata. Quando invece viene applicato a situazioni in cui l'occhio è chiuso, le condizioni sono verificate.

In conclusione, questo metodo è molto adatto per rilevare situazioni di sonnolenza, potendo andare a identificare con precisione l'occhio rispetto

ad algoritmi basati sul deep learning. Offre, inoltre, un'elevata velocità di elaborazione dei dati. Una condizione di sonnolenza viene definita tale, quando il numero dei pixel rilevati con il filtro supera i 40, e persiste per 50 o più fotogrammi.

1.2.10 Comparazione con altri sistemi di monitoraggio del conducente

Nella seguente sezione si mira a confrontare questo sistema di monitoraggio con altri già esistenti. Nei sistemi di monitoraggio del conducente, l'analisi della sonnolenza è una componente fondamentale. Nella Tabella 1.2 è mostrata una raccolta di ricerche DMS focalizzate sull'analisi della sonnolenza. Questi studi hanno usato vari metodi, set di dati e modalità per costruire ogni DMS. Il "DMS type" presente in tabella, si riferisce ad una classificazione introdotta da vari autori. Questa classifica comprende dei DMS del tipo: diretto, indiretto o ibrido. I metodi diretti vanno ad analizzare informazioni proprie del conducente, come la sua faccia e i suoi occhi, per il monitoraggio. I metodi indiretti analizzano informazioni come l'angolo del volante e le vibrazioni della macchina, queste forniscono indirettamente delle informazioni sul guidatore. Gli approcci ibridi vanno a combinare il metodo diretto ed indiretto durante lo studio. Negli studi passati, è bene ricordare, che la maggior parte dei metodi usati erano quelli indiretti. Con il maggior sviluppo della tecnologia, si sono iniziati ad usare di più i metodi diretti ed ibridi. Solitamente i metodi diretti danno dei risultati migliori rispetto agli indiretti. I metodi ibridi sono quelli che, se integrati nel monitoraggio,

danno i risultati migliori di tutti. Il progetto qui presentato ha usato solamente metodi diretti.

Tabella 1.2 – Raccolta di metodi del DMS esistenti e di sensori utilizzati [14].

Author	Primary methodologies	DMS type	Datasets	Modalities used	
Du et al. ³⁵	ID-CNN	Direct	UTA-RLDD ³⁶	Visual RGB	
Huang et al. ³⁷	MTCNN, LSTM		NTHU-DDD ³⁸		
Vijay et al. ³⁹	CNN, XGBoost				
Ahmed et al. ⁴⁰	MTCNN, InceptionV3				
Chen et al. ⁴¹	MTCNN, ONET				
Bakker et al. ⁴²	MTCNN, CE-CLM, AU-CNN, DLT-LM			Frontal visual RGB, oblique visual RGB	
Lollett et al. ⁴³	GRU-based			IN-visual RGB, out-visual RGB	
Sharak et al. ⁴⁴	RFC, XGB			Visual RGB	
Ansari et al. ⁴⁵	LSTM			Visual RGB, NIR, thermal	
Tran et al. ⁴⁶	CNN, VGG, ResNet			Motion capture	
Awais et al. ⁴⁷	SVM			Two visual RGB	
Lin et al. ⁴⁸	SVR, MLPNN, RBFNN, Five-layer SONFIN		Four visual RGB, ECG		
Massoz et al. ⁴⁹	PDM, CLM, RLMS		Custom datasets	EOG, ECG, EEG	
Kiashari et al. ⁵⁰	ORD			ECG, EOG, EEG, EMG, Visual RGB, NIR, depth map	
Quddus et al. ⁵¹	LSTM	NIR, thermal			
Du et al. ⁵²	MPF	EEG, two NIR			
Kundinger et al. ⁵³	SMOTE	Visual RGB, vehicle telemetry, audio, driving simulator			
Baccour et al. ⁵⁴	SVM	Visual RGB, ECG, pulse, physiologica, driving simulator			
Longxi Luo ⁵⁵	DSN	Visual RGB, driving simulator			
Ours	YOLO v7, dlib	Direct		Custom datasets	IR

Nei sistemi di monitoraggio (DMS), ciò a cui si ambisce è progettare un unico sistema integrato in grado di effettuare tutte le operazioni di monitoraggio. Per questo come mostrato in Tabella 1.2, per ogni metodologia si sono usati più sensori per l'acquisizione dei dati. Nel progetto di riferimento si è usata una telecamera, costruita appositamente per rilevare i dati necessari. Tale telecamera è quella a raggi infrarossi (IR) di CANLAB. Questa è stata progettata, di modo che, la misurazione non risentisse dei vari cambiamenti di illuminazione, a cui il conducente può andare in contro. Inoltre, questo metodo usa il deep learning solo per il

riconoscimento facciale, mentre affida alla sua CPU il compito di riconoscere il battito delle palpebre, dando poco lavoro alla GPU. Per queste ragioni, questo sistema di monitoraggio risulta uno dei più efficienti sul campo [14].

Capitolo 2

2.1 Strumenti di lavoro

2.1.1 Sensori PIR utilizzati

In questo lavoro di tesi si è fatto uso di 2 sensori termici:

- 1 **Sensore “MLX90614”;**
- 2 **Sensore “AMG8833”;**

Il primo sensore con cui sono state effettuate le misurazioni di temperatura è l’MLX90614, prodotto da Melexis. Il sensore MLX90614 è un termometro ad infrarossi per misurazioni della temperatura senza contatto. Sia il chip di rilevamento della termopila (“sensore di temperatura composto da più termocoppie collegate in serie” [15]), sensibile agli infrarossi, sia il circuito di condizionamento “ASIC” (Application-Specific Integrated Circuit [16]), sono integrati nello stesso contenitore “TO-39”. (“Il circuito di condizionamento è un circuito in grado di modificare le caratteristiche di un segnale” [17].) Nel sensore sono integrati un amplificatore a basso rumore (amplificatore elettronico usato per amplificare dei segnali elettronici da usare in successive elaborazioni [18]), un ADC (convertitore analogico digitale) a 17 bit e una potente unità DSP (processore di segnale digitale, Digital Signal Processor [19]), ottenendo

così un'elevata precisione e risoluzione nel termometro. (“La risoluzione è la più piccola variazione che lo strumento permette di apprezzare” [20], “la precisione è definita come grado di concordanza tra valori indicazioni o valori misurati ottenuti da un certo numero di misurazioni ripetute dello stesso oggetto [21]”). Il termometro è fornito con un'uscita “SMBus”, calibrata in fabbrica. Quest'uscita offre un accesso completo alle temperature misurate nell'intero intervallo, con una risoluzione di 0.02 °C. L'utente può configurare l'uscita digitale come modulazione di larghezza di impulso “PWM” (Pulse Width Modulation). (“La modulazione di larghezza d'impulso è una tecnica utilizzata per controllare la quantità di potenza erogata a un dispositivo elettronico. Il flusso viene regolato variando la frequenza e l'ampiezza degli impulsi inviati al dispositivo, consentendo un controllo più preciso della quantità di potenza erogata [22]”). Di default, il PWM è configurato per trasmettere continuamente la temperatura misurata nell'intervallo da -20 °C a 120 °C, con una risoluzione di uscita di 0,14 °C.

Le caratteristiche principali del sensore sono:

- Calibrato in fabbrica in un ampio intervallo di temperature: da -40 °C a 125 °C per la temperatura del sensore, da -70 °C a 380 °C per la temperatura dell'oggetto;
- Elevata precisione di 0.5 °C su un ampio intervallo di temperature (da 0 °C a 50 °C sia per la temperatura ambiente che quella dell'oggetto);
- Risoluzione di misura di 0.02 °C;
- Interfaccia digitale compatibile dell'SMBus per letture rapide della temperatura e creazioni di reti di sensori [23];

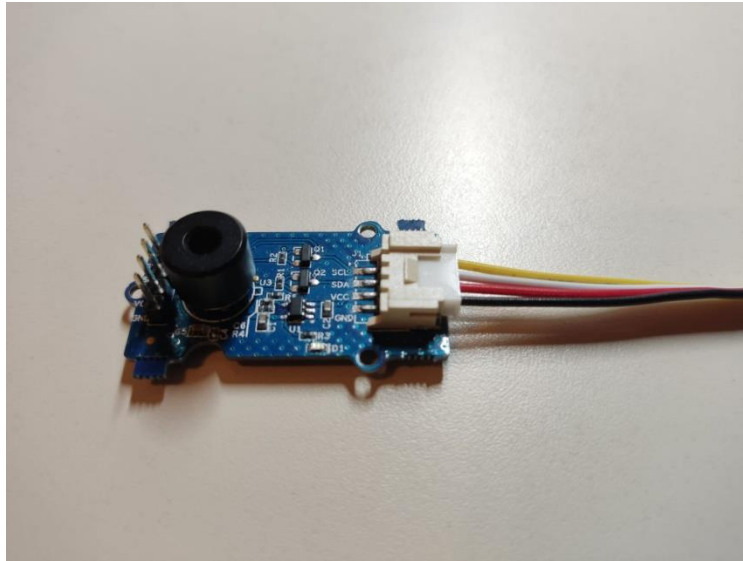


Figura 2.1 – Sensore MLX90614 utilizzato;

Il secondo sensore usato è il sensore “AMG8833”, prodotto da PANASONIC. Si tratta di un sensore array (gruppo di sensori usati per collezionare e processare segnali elettromagnetici e acustici [24]) a infrarossi, ad alta precisione basato su tecnologie avanzate MEMS (Micro Electro-Mechanical Systems). I sistemi MEMS (sistemi microelettromeccanici) sono dei sistemi che abbinano funzioni elettroniche, di gestione dei fluidi... in uno spazio ridottissimo, integrando la tecnologia dei sensori e degli attuatori e le più diverse funzioni di gestione dei processi [25]. Questo sensore:

- Dà in uscita un set di 64 valori di temperatura, sotto forma di matrice 8x8;
- Fornisce un'uscita digitale;
- Ha un range di temperatura compreso tra 0 °C e 80 °C;
- Ha una precisione di misurazione di ± 2.5 °C;
- Ha una risoluzione di misurazione di 0.25 °C;

- Ha un angolo di visione di 60° [26];

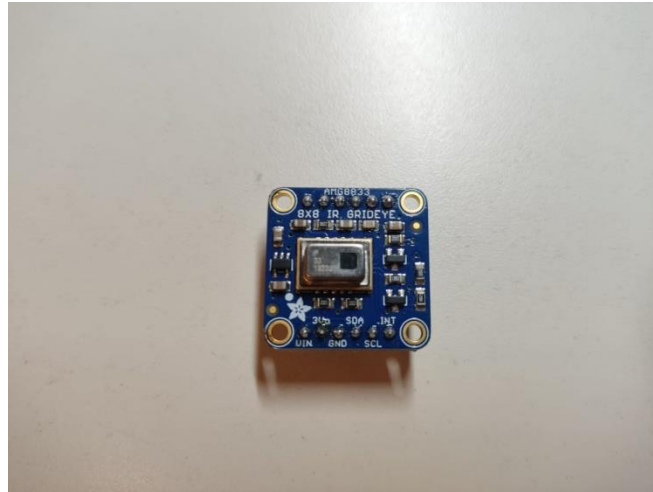


Figura 2.2 – Sensore AMG8833 utilizzato;

2.2 Arduino

Arduino è il microcontrollore utilizzato in questo lavoro di tesi. Si tratta di un microcontrollore altamente versatile e viene per questo usato in una vasta gamma di progetti professionali e amatoriali. In questo lavoro di monitoraggio si è usato Arduino per inizializzare e leggere i sensori di temperatura usati.

2.2.1 Breve richiamo alla programmazione con Arduino

In questo sottocapitolo verrà fatto qualche richiamo alla struttura del codice di Arduino. Verranno successivamente spiegati gli script usati per dialogare coi sensori usati.

Il software di Arduino, usato per programmare il microcontrollore, ha una struttura del codice divisa in due parti. La prima parte è quella del “void setup()”, qui vengono messi tutti quei comandi che vanno ad essere eseguiti solo una volta all’inizio del programma. Serve come inizializzazione, ad esempio per impostare dei pin come INPUT o OUTPUT, per configurare dei sensori o per avviare la comunicazione seriale (scambio di bit in entrata e in uscita, tra microcontrollore ed altri componenti [27]). La seconda parte è quella del “void loop()”. In questa vengono messi i comandi principali che verranno fatti eseguire dal microcontrollore, questi verranno eseguiti continuamente (loop). In Arduino si possono scrivere: funzioni, variabili e strutture. Le funzioni sono i comandi impartiti, ad esempio per leggere un valore (“digitalRead()”). Le variabili sono dei tipi di dati e costanti inseribili al fine di facilitare future modifiche del codice. Infine le strutture sono degli elementi di codice Arduino[28].

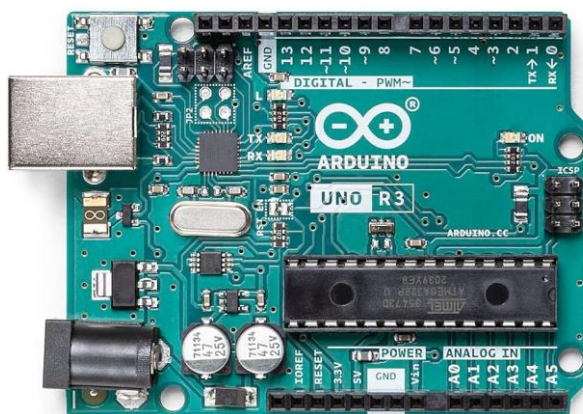


Figura 2.3 - Microcontrollore Arduino UNO R3 [29]

2.2.2 Codici usati

Data la diversità dei due sensori, è stato necessario usare due codici diversi per poter misurare con entrambi. Il codice del sensore MLX90614 permette di ottenere un singolo valore di temperatura dell'oggetto misurato. Il codice del sensore AMG8833 permette di ottenere una matrice 8x8 rappresentante la temperatura dell'oggetto misurato.

Codice del sensore MLX90614

Questo codice è stato ottenuto grazie ad una libreria del sensore MLX90614 [30].

```
1  /*!  
2  * @file      getData.ino  
3  * @brief    this demo demonstrates how to put the sensor enter/exit sleep mode and get temperature data measured by sensor  
4  * @copyright Copyright (c) 2010 DFRobot Co.Ltd (http://www.dfrobot.com)  
5  * @license   The MIT License (MIT)  
6  * @author   [qsjhyy](yihuan.huang@dfrobot.com)  
7  * @version   V1.0  
8  * @date     2021-08-09  
9  * @url      https://github.com/DFRobot/DFRobot\_MLX90614  
10 * /  
11 #include <DFRobot_MLX90614.h>  
12  
13 DFRobot_MLX90614_I2C sensor; // instantiate an object to drive our sensor  
14 int delay1=500;  
15 int delay2=1500;  
16
```

Figura 2.4 - 1° sezione del codice usato per il sensore MLX90614.

Nella prima parte sono presenti delle informazioni riguardanti la libreria, questa viene esplicitata in “#include” per poterla utilizzare. Viene

successivamente esplicitato il sensore usato e due variabili. Dopo questi comandi iniziali incomincia il void setup().

```
17 void setup()
18 {
19     Serial.begin(115200);
20
21     // initialize the sensor
22     while( NO_ERR != sensor.begin() ){
23         Serial.println("Communication with device failed, please check connection");
24         delay(3000);
25     }
26     Serial.println("Begin ok!");
```

Figura 2.5 - 2° sezione del codice usato per il sensore MLX90614.

Il primo comando digitato è “Serial.begin(115200)” che avvia la comunicazione seriale. Successivamente si trova il comando “while”, dove nella parentesi tonda è scritto “NO_ERR != sensor.begin()”. La dicitura “NO_ERR” è definita dalla libreria, come anche “sensor.begin()” [31]. La condizione da rispettare come vera in while, è che la scritta NO_ERR deve essere diversa (!=) dal sensor.begin(). Ciò vuol dire che se sensor.begin() dà un errore, allora si procede con quanto scritto in parentesi graffa; con l’uso del comando “Serial.println()” si scriverà “Communication with device failed, please check connection”. Dopo aver scritto questo messaggio il programma ha una funzione di delay, dopo il quale si ripeterà la funzione while. Quando la comunicazione con il sensore avviene con successo (non risulta più vera la condizione NO_ERR != sensor.begin()) la condizione in parentesi tonda nella funzione while risulta falsa, viene quindi bypassata e si prosegue con il restante codice. In questo caso si procede con la pubblicazione del messaggio (nel Serial Monitor) “Begin ok!”, ed il sensore è stato avviato correttamente.

```

27
28  /**
29   * adjust sensor sleep mode
30   * mode select to enter or exit sleep mode, it's enter sleep mode by default
31   *   true is to enter sleep mode
32   *   false is to exit sleep mode (automatically exit sleep mode after power down and restart)
33   */
34  sensor.enterSleepMode();
35  delay(50);
36  sensor.enterSleepMode(false);
37  delay(200);
38  }

```

Figura 2.6 - 3° sezione del codice usato per il sensore MLX90614.

Continuando nel void `setup()`, si va ad utilizzare la funzione “`sensor.enterSleepMode`” proveniente dalla libreria [31], per impostare il sensore in modalità riposo. Segue un `delay` per far entrare correttamente il sensore nella modalità a riposo (risparmio energetico). Dopo il `delay` viene riscritta la stessa funzione di risparmio energetico ma con la scritta “`false`” in parentesi, per farlo uscire dal riposo. Dopodiché viene messo un `delay` per farlo stabilizzare in questa fase. Dopo questi comandi si procede con il void `loop()`. Nel caso dei sensori termici, è qui che bisogna scrivere i comandi per far rilevare la temperatura.

```

39
40 void loop()
41 {
42
43     /**
44     * get temperature of object 1, unit is Celsius
45     * return value range:
46     * @n -70.01 °C ~ 270 °C(MLX90614ESF-DCI)
47     * @n -70.01 °C ~ 380 °C(MLX90614ESF-DCC)
48     */
49     float objectTemp = sensor.getObjectTempCelsius();
50
51     // print measured data in Celsius
52
53     Serial.print(objectTemp);
54
55
56     Serial.println();
57     delay(delay1);
58 }

```

Figura 2.7 - 4° sezione del codice usato per il sensore MLX90614.

All’inizio del void loop() è presente un breve commento illustrante il funzionamento del codice. Il primo comando di questa sezione è una formula. [In Arduino, con “float”, si va ad introdurre un numero con la virgola (float = floating number); con “int” si introduce invece un numero intero (int = integer).] La formula imposta la variabile “objectTemp” come numero con la virgola, l’uguale successivo impone che questa variabile sia il risultato del comando “sensor.getObjectTempCelsius()”. Questo comando proviene dalla libreria ed è quello che consente di ricavare la temperatura in gradi Celsius dell’oggetto [31]. La formula “float objectTemp = sensor.getObjectTempCelsius()” va a dare l’ordine di rilevare la temperatura con il sensore e di immagazzinare questo valore (con virgola) nella variabile “objectTemp”. Il successivo comando di “Serial.print(objectTemp)” ordina di scrivere la misura della variabile sul

Serial Monitor, per poterla visualizzare. Il “Serial.println” successivo, non avendo niente dentro le parentesi, fa solamente andare a capo dopo ogni misurazione, per incominciare con la successiva. Infine, come ultima parte del codice è presente un delay. Questo delay fornisce una pausa tra un loop e l’altro, cambiando questo tempo si può cambiare la velocità di misurazione della temperatura [28].

Codice del sensore AMG8833:

Questo codice è stato ottenuto grazie all’utilizzo della libreria “Melopero_AMG8833.h”, primo comando scritto nel codice [32].

```
1  #include <Melopero_AMG8833.h>
2
3  Melopero_AMG8833 sensor;
4
5  int delay1 = 500;
6
```

Figura 2.8 - 1° sezione del codice usato per il sensore AMG8833.

Dopo aver scritto la libreria di riferimento, si sono scritte due variabili: la prima va a rappresentare il sensore “Melopero_AMG8833 sensor”, mentre la seconda è una variabile intera (int). Dopo aver introdotto queste due variabili inizia il void setup().

```

7 void setup() {
8   Serial.begin(115200);
9
10  // initializing I2C to use default address AMG8833_I2C_ADDRESS_B and Wire (I2C-0):
11  Wire.begin();
12  sensor.initI2C();
13  // To use Wire1 (I2C-1):
14  // Wire1.begin();
15  // sensor.initI2C(AMG8833_I2C_ADDRESS_B, Wire1);
16

```

Figura 2.9 - 2° sezione del codice usato per il sensore AMG8833.

Il primo comando usato è il `Serial.begin(115200)`, per avviare la comunicazione seriale. Il comando “`Wire.begin()`” va ad iniziare il bus di comunicazione “I2C” (Inter Integrated Circuit) [33], collegando il microcontrollore al sensore. Il comando proviene dalla libreria “Wire” [34]. Il comando successivo è “`sensor.initI2C()`”, fa da supporto al primo comando, aiutando a stabilire bene la connessione I2C con il sensore di riferimento. Questo comando appartiene alla libreria del sensore [35].

```

17   Serial.print("Resetting sensor ... ");
18   int statusCode = sensor.resetFlagsAndSettings();
19   Serial.println(sensor.getErrorDescription(statusCode));
20
21   Serial.print("Setting FPS ... ");
22   statusCode = sensor.setFPSMode(FPS_MODE::FPS_10);
23   Serial.println(sensor.getErrorDescription(statusCode));
24 }
25

```

Figura 2.10 - 3° sezione del codice usato per il sensore AMG8833.

Rimanendo nel `void setup()`, sono presenti una serie di comandi che vanno a resettare le funzioni ed impostazioni del sensore (“`sensor.resetFlagsAndSettings()`”), e ad impostare gli FPS (Frames per second) di questo durante la misurazione (“`sensor.setFPSMode()`”) [35].

```

26 void loop() {
27
28     int statusCode = sensor.updateThermistorTemperature();
29
30     statusCode = sensor.updatePixelMatrix();
31
32

```

Figura 2.11 - 4° sezione del codice usato per il sensore AMG8833.

Proseguendo nel void loop(), si inizia con la formula “int statusCode = sensor.updateThermistorTemperature”. La variabile intera “statusCode” risulterà essere uguale alla temperatura del termistore interno al sensore. Questo comando proviene dalla libreria del sensore [35]. Il comando successivo associa la variabile “statusCode” (non più numero intero) come risultato del comando “sensorUpdatePixelMatrix” [35]; questo va ad aggiornare la matrice 8x8 delle temperature.

```

33     Serial.println();
34     for (int x = 0; x < 8; x++){
35         for (int y = 0; y < 8; y++){
36             Serial.print(sensor.pixelMatrix[y][x]);
37             Serial.print(" ");
38         }
39         Serial.println();
40     }
41
42     delay(delay1);
43 }

```

Figura 2.12 - 5° sezione del codice usato per il sensore AMG8833.

Con il “Serial.println()” si va a capo lasciando uno spazio bianco, questo servirà per non mischiare tra loro più matrici. Si inizia poi con il comando strutturale “for”, questo comando si divide in 4 parti. Le prime 3 parti sono nella parentesi tonda, ed in ordine di scrittura sono: inizializzazione, condizione ed incremento. Tra parentesi graffe c’è l’ultima parte: la dichiarazione. Nella inizializzazione viene scritto il valore iniziale con cui si parte; nella condizione viene scritto un comando che, se risulta vero, verrà attivato insieme alla dichiarazione. Ogni volta che la condizione risulta vera verrà attivato anche l’incremento. Quando la condizione, per via dell’aumentare dell’incremento, non risulta più vera, il comando si ferma. In questo void loop() sono presenti due cicli for, l’uno contenuto nell’altro. Il primo ciclo spiega come: partendo da x=0 (inizializzazione), fintanto che x risulta essere <8 (condizione), e con un incremento unitario di x ogni volta (“x++”, incremento), la condizione in parentesi graffa va ad essere avviata. Dentro la parentesi graffa si trova un altro ciclo for, avente stessa impostazione del precedente ma con la variabile y. Cioè, partendo da una y=0 (inizializzazione), fintanto che y risulta essere <8 (condizione), andando ad incrementare la variabile in modo unitario ogni volta (“y++”, incremento), si attiva il comando dentro parentesi graffa. La dichiarazione dentro quest’ultimo ciclo for è data dal comando “Serial.print(sensor.pixelMatrix[y][x]);” il comando “sensor.pixelMatrix[y][x]”, effettua la misurazione della temperatura riportandone il valore in (y,x) [35]. Il comando “Serial.print” condividerà questo valore sul Serial Monitor. Segue poi la stampa di uno spazio “ “. Questi due cicli for stanno a dire che i valori di temperatura devono essere trascritti in ogni casella della matrice 8x8, ciò è provato dal fatto che i cicli si avviano ogni volta che si va avanti di una x e di una y, fino a raggiungere

il numero 8. Si riempiranno a partire dalla prima colonna (x), andando avanti riga per riga (y). Raggiunta l'ultima riga, e separando con opportuni spazi, si ricomincia dalla seconda colonna tutto il ciclo. Quando $x = 8$ i cicli for smettono di avviarsi, così che il ciclo void loop() possa ricominciare a misurare un'altra matrice di valori [28].

Capitolo 3

3.1 Prove sperimentali

3.1.1 Introduzione alle prove

Lo scopo del seguente lavoro di tesi è il monitorare la temperatura del conducente. Ciò viene realizzato mettendo i sensori di fronte al guidatore e misurando poi con questi. In un set-up reale verrebbero posizionati sul cruscotto, di modo da ricavare la temperatura del guidatore in ogni fase della guida. Prima di effettuare le misurazioni sul guidatore, sono state fatte delle acquisizioni “preliminari”: con ciascun sensore usando corpi di temperatura nota. Tramite queste misurazioni si è voluto vedere il comportamento dei due sensori alle diverse temperature. L’impostazione delle prove è stata la stessa per entrambi i sensori. Per prima cosa si è collegato il microcontrollore al pc, tramite cavo USB. Il microcontrollore è stato poi programmato tramite il suo software e lo si è collegato al sensore tramite i jumper; nel caso del secondo sensore si è fatto uso anche di una breadboard per il collegamento. Dopodiché si sono effettuate le misurazioni sui corpi. Queste sono state fatte all’interno dell’applicazione “CoolTerm”, capace di ottenere un file txt. con tutte le misurazioni (i file txt. risultano facilmente elaborabili da MatLab). Questi file sono stati poi esportati in MatLab, lì sono state ricavate le medie e le deviazioni standard per ogni distanza. Nel caso del secondo sensore è stato necessario passare

per Excel prima di usare MatLab, in quanto ogni misurazione dava 64 valori (matrice 8x8). Dopo aver calcolato le medie dei valori su Excel, queste sono state messe in un file txt. ed esportate in MatLab. Per quanto riguarda le misurazioni dal cruscotto, l'impostazione è stata analoga. Una delle differenze è stata nel posizionamento del sensore. Questo è stato posto in modo da simulare la posizione dal cruscotto, e non più su un piano come nella misurazione degli oggetti. Per le misurazioni degli oggetti si sono graficati gli andamenti della distanza (oggetto-sensore) con la deviazione standard. Per le misurazioni dal cruscotto (misurazioni sul guidatore) si è invece graficato l'andamento della temperatura nel tempo. Per le misurazioni "preliminari" (sugli oggetti) le distanze usate sono state di: 5 cm, 10 cm, 20 cm, 30 cm, 50cm. Per la misurazione dal cruscotto si è usata solamente la distanza di 50 cm, corrispondente alla distanza approssimativa del conducente dal sensore in un set-up reale. Gli oggetti considerati, misurando con il sensore puntuale, sono stati: ghiaccio, ghiaccio fondente, acqua in ebollizione. Misurando con il sensore a griglia, si sono considerati solamente il ghiaccio fondente e l'acqua in ebollizione. Questo perché il sensore a griglia usato, non misura molto bene a temperature al di sotto dello 0. L'ambiente di prova e le condizioni ambientali, nelle misurazioni di oggetti, sono state sempre le stesse. Le misurazioni sono state fatte su una scrivania, in una stanza con porta aperta e finestre chiuse. L'unica sorgente luminosa è stata la lampada della stanza. Nelle misurazioni sul guidatore l'ambiente di prova è stato più complesso. Questo comprendeva un volante da simulazione, adattato per il montaggio dei sensori. Dietro al volante si aveva uno schermo in cui veniva avviato il simulatore di guida, connesso al volante stesso. In questo caso si sono

avute due sorgenti luminose: la lampada della stanza e la luce naturale entrante dalle finestre.

3.1.2 Misurazione degli oggetti

Nelle misurazioni di oggetti:

il corpo (di temperatura pressoché nota) è stato posto alle distanze di 5 cm, 10 cm, 20 cm, 30 cm, 50 cm da ciascun sensore. Il sensore è stato posizionato sulla scrivania, parallelo ad essa e rivolto verso l'alto. Il metodo seguito è stato lo stesso per entrambi i sensori: si è tenuto l'oggetto in mano, alla specificata distanza dal sensore, finché è stato raggiunto il numero di misurazioni desiderate. Sono state effettuate tra le 70 e le 100 misurazioni per distanza.

Per il ghiaccio sono state effettuate un totale di 3 misurazioni più una addizionale a luci spente, a 5 cm di distanza. Quest'ultima è stata fatta perché alla distanza di 5 cm si aveva la minima deviazione; si è voluto quindi vedere come reagiva il sensore in assenza di luce. Per il ghiaccio fondente e l'acqua in ebollizione è stata fatta una sola misurazione ciascuno. Con il secondo sensore si sono misurati solamente il ghiaccio fondente e l'acqua in ebollizione, una misurazione ciascuno. In tutte queste misurazioni: il ghiaccio è stato tenuto all'interno del suo contenitore, il ghiaccio fondente era contenuto in un bicchiere di plastica, l'acqua in ebollizione era contenuta dentro una tazza.

3.1.3 Misurazione sul guidatore

Nelle misurazioni sul conducente è stata considerata solo la distanza di 50 cm. Questa è stata considerata come la distanza approssimativa tra sensore e conducente durante la guida. I sensori sono stati posizionati su una scatola dietro al volante, in modo da poter rilevare correttamente la temperatura del conducente anche durante le fasi di sterzata, e in modo da simulare una loro futura implementazione nel cruscotto dell'automobile. Anche in questo caso il procedimento di misurazione è stato lo stesso per entrambi i sensori. Sono state fatte due misurazioni per ogni sensore, alla distanza fissa di 50 cm. Nella prima è stato misurato il conducente mentre era fermo davanti al volante, così da simulare una condizione di “riposo”. Nella seconda è stato misurato il conducente mentre era in uno stato di guida, grazie all'uso del simulatore.



Figura 3.1 – Set-up di guida per il sensore “MLX90614”;



Figura 3.2 – Set-up di guida per il sensore “MLX90614”;



Figura 3.3 – Set-up di guida per il sensore “AMG8833”;



Figura 3.4 – Set-up di guida per il sensore “AMG8833”;

Capitolo 4

4.1 Risultati

4.1.1 Risultati delle misurazioni degli oggetti, sensore “MLX90614”

Importando in MatLab le misurazioni fatte con il sensore MLX90614, si sono ricavate le medie e le deviazioni standard delle temperature per ogni distanza. Di seguito verranno elencati i valori ricavati, rispettivamente per le distanze di: 5 cm, 10 cm, 20 cm, 30 cm, 50 cm (distanze oggetto-sensore).

1° misurazione del ghiaccio:

Distanze	Medie	Deviazioni standard
5 cm	-13.77 °C	0.52 °C
10 cm	-12.17 °C	0.55 °C
20 cm	-4 °C	1.57 °C
30 cm	-1.96 °C	2.66 °C
50 cm	11 °C	1.94 °C

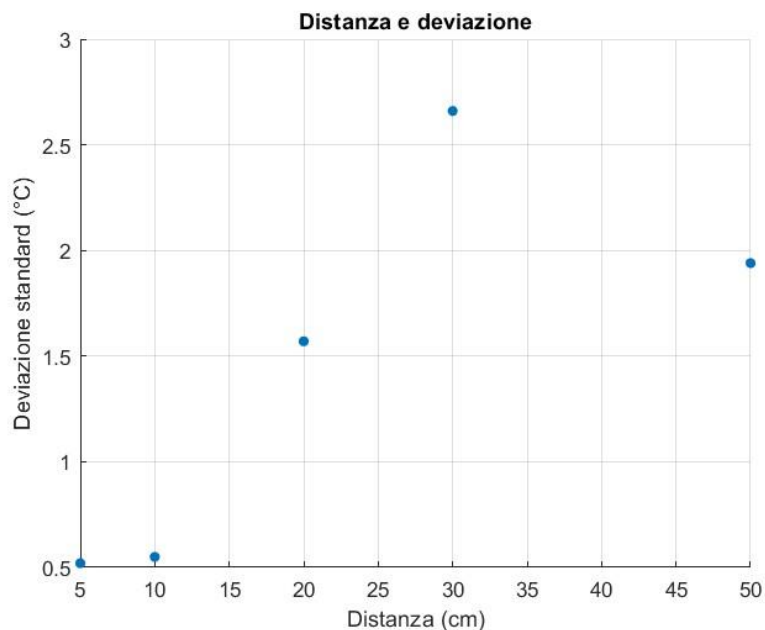


Figura 4.1 – Grafico Distanza-Deviazione standard della 1° misurazione del ghiaccio, sensore “MLX90614”.

Andamento crescente, non costante, della deviazione standard all'aumentare della distanza. Presenta un picco di deviazione a 30 cm di distanza dal sensore.

2° misurazione del ghiaccio:

Distanze	Medie	Deviazioni standard
5 cm	-14.46 °C	0.20 °C
10 cm	-13.7 °C	0.21 °C
20 cm	-8.56 °C	0.99 °C
30 cm	3.84 °C	0.7 °C
50 cm	8.69 °C	0.59 °C

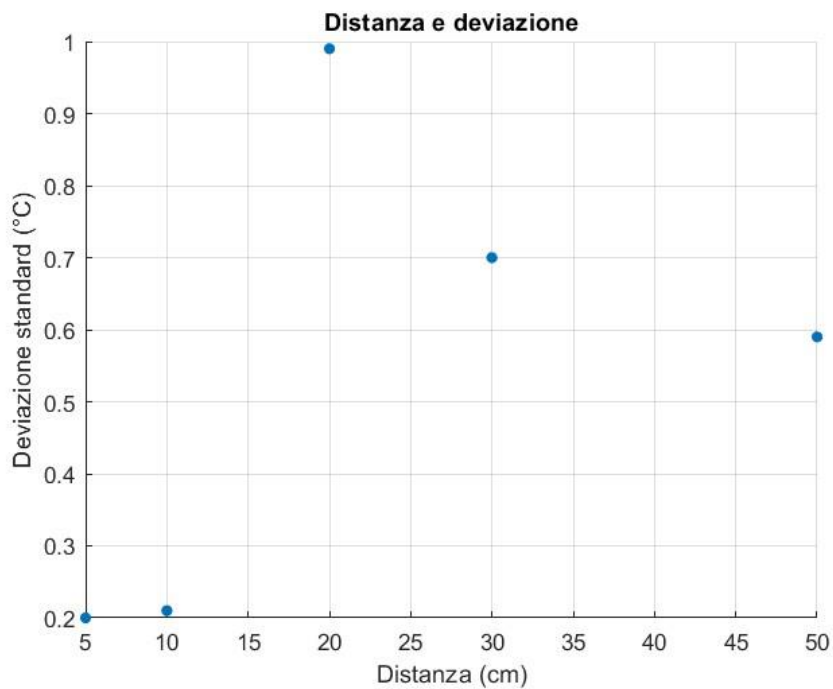


Figura 4.2 – Grafico Distanza-Deviazione standard della 2° misurazione del ghiaccio, sensore “MLX90614”.

Andamento crescente, non costante, della deviazione standard all’aumentare della distanza. Presenta un picco di deviazione a 20 cm di distanza dal sensore, dopo il quale la deviazione incomincia a diminuire in maniera costante.

3° misurazione del ghiaccio:

Distanze	Medie	Deviazioni standard
5 cm	-18.25 °C	0.19 °C
10 cm	-16.72 °C	0.19 °C
20 cm	-1.59 °C	0.34 °C
30 cm	2.21 °C	0.20 °C
50 cm	12.28 °C	0.25 °C

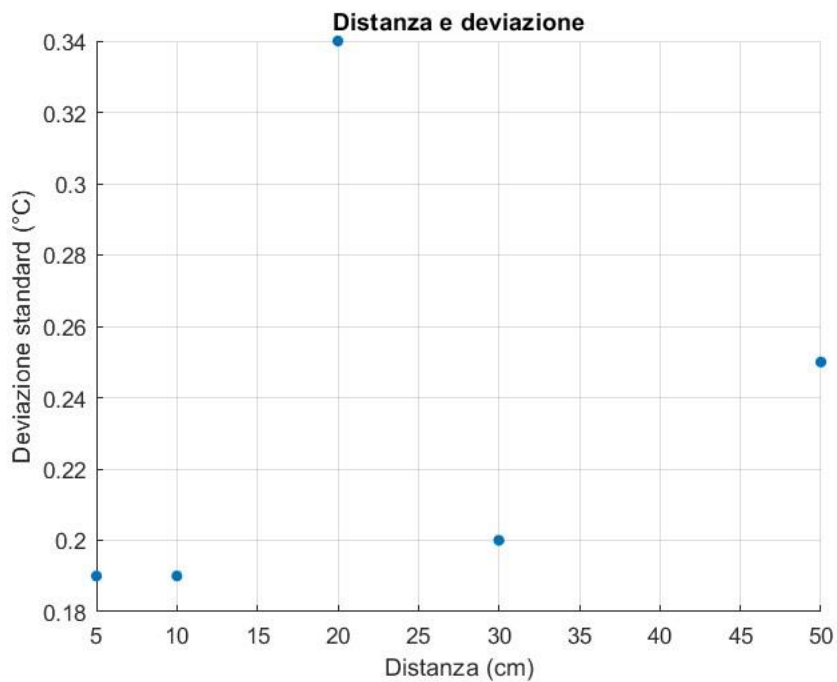


Figura 4.3 – Grafico Distanza-Deviazione standard della 3° misurazione del ghiaccio, sensore “MLX90614”.

Andamento crescente, non costante, della deviazione standard all'aumentare della distanza. Presenta un picco di deviazione a 20 cm di distanza dal sensore.

1° misurazione del ghiaccio, distanza di 5 cm a luci spente:

Distanza	Media	Deviazione standard
5 cm	-15.53 °C	0.21 °C

1° misurazione del ghiaccio fondente:

Distanze	Medie	Deviazioni standard
5 cm	5.47 °C	0.17 °C
10 cm	7.54 °C	0.38 °C
20 cm	1.36 °C	0.34 °C
30 cm	17.85 °C	0.28 °C
50 cm	18.44 °C	0.16 °C

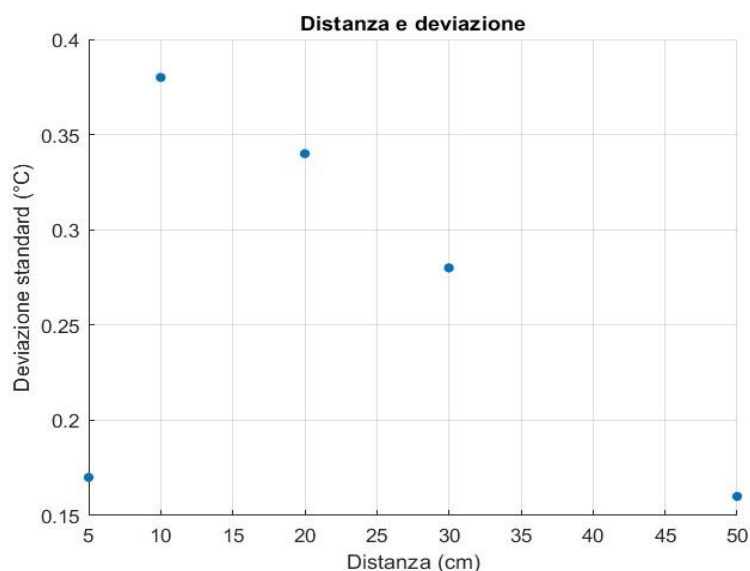


Figura 4.4 – Grafico Distanza-Deviazione standard della 1° misurazione del ghiaccio fondente, sensore “MLX90614”.

Andamento inizialmente crescente della deviazione standard all'aumentare della distanza. Dopo un picco della deviazione a 10 cm dal sensore, l'andamento si inverte fino a raggiungere il minimo della deviazione alla distanza di 50 cm.

1° misurazione dell'acqua in ebollizione:

Distanze	Medie	Deviazioni standard
5 cm	55.83 °C	2.36 °C
10 cm	42.77 °C	1.39 °C
20 cm	29.43 °C	1.04 °C
30 cm	24.97 °C	1.01 °C
50 cm	24.75 °C	0.21 °C

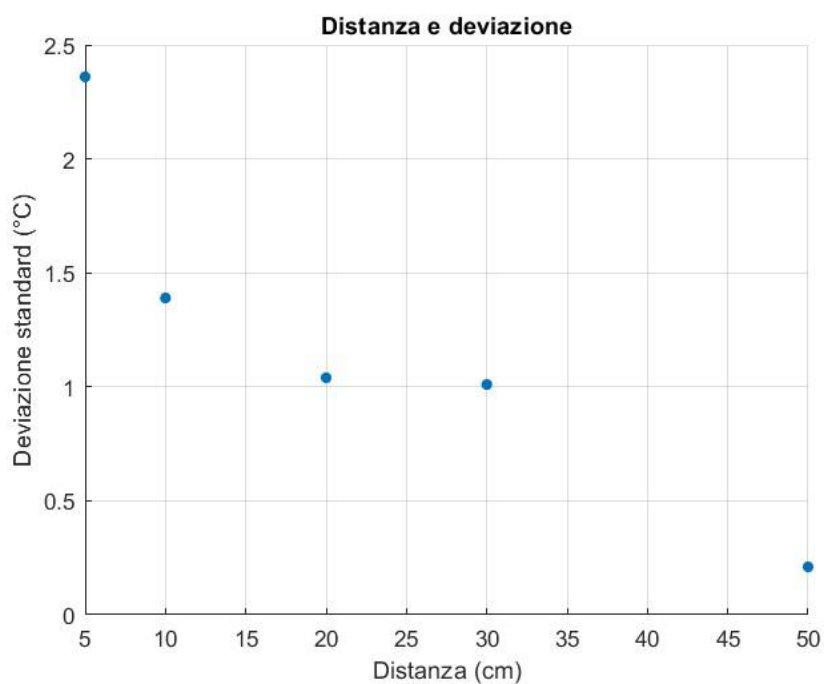


Figura 4.5 – Grafico Distanza-Deviazione standard della 1° misurazione dell'acqua in ebollizione, sensore "MLX90614".

Andamento decrescente, costante, della deviazione standard all'aumentare della distanza.

4.1.2 Risultati delle misurazioni degli oggetti, sensore “AMG8833”

Di seguito vengono elencate le medie e le deviazioni standard delle temperature ricavate con il sensore “AMG8833”, rispettivamente per le distanze di 5 cm, 10 cm, 20 cm, 30 cm e 50cm (distanze oggetto-sensore).

1° misurazione del ghiaccio fondente:

Distanze	Medie	Deviazioni standard
5 cm	7.15 °C	1.57 °C
10 cm	8.3 °C	1.62 °C
20 cm	16.05 °C	0.75 °C
30 cm	18.55 °C	0.15 °C
50 cm	18.96 °C	0.1 °C

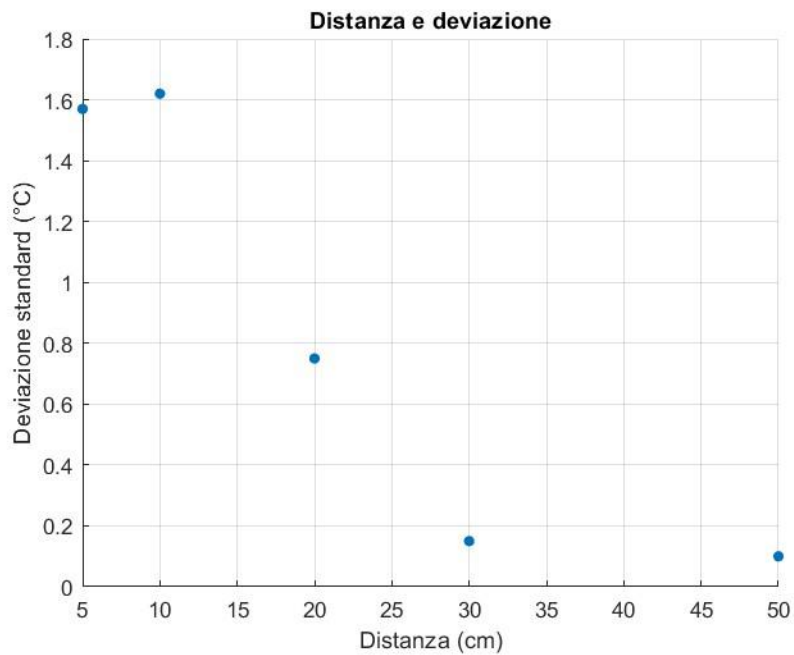


Figura 4.6 – Grafico Distanza-Deviazione standard della 1° misurazione del ghiaccio fondente, sensore “AMG8833”.

Andamento decrescente, costante, della deviazione standard all'aumentare della distanza. Presenta una leggera crescita a 10 cm dal sensore, dopodiché incomincia la decrescita fino a raggiungere il valore minimo a 50 cm.

1° misurazione dell'acqua in ebollizione:

Distanze	Medie	Deviazioni standard
5 cm	53.45 °C	1.22 °C
10 cm	44.64 °C	0.98 °C
20 cm	28.1 °C	0.98 °C
30 cm	21.48 °C	0.35 °C
50 cm	20.94 °C	0.2 °C

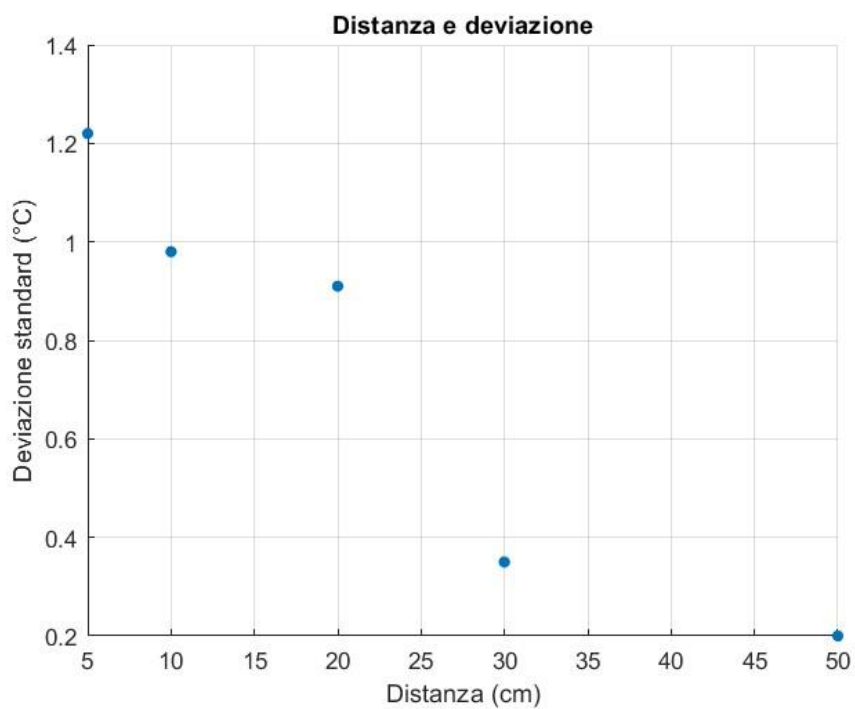


Figura 4.7 – Grafico Distanza-Deviazione standard della 1° misurazione dell'acqua in ebollizione, sensore "AMG8833".

Andamento decrescente, costante, della deviazione standard all'aumentare della distanza.

4.1.3 Risultati delle misurazioni sul conducente, sensore “MLX90614”

Vengono di seguito riportate le misurazioni fatte dal sensore “MLX90614” sul conducente. In queste tipo di prove, la distanza dal sensore è stata sempre di 50 cm.

1° misurazione a “riposo”:

Distanza	Media	Deviazione standard
50 cm	21.3 °C	0.12 °C

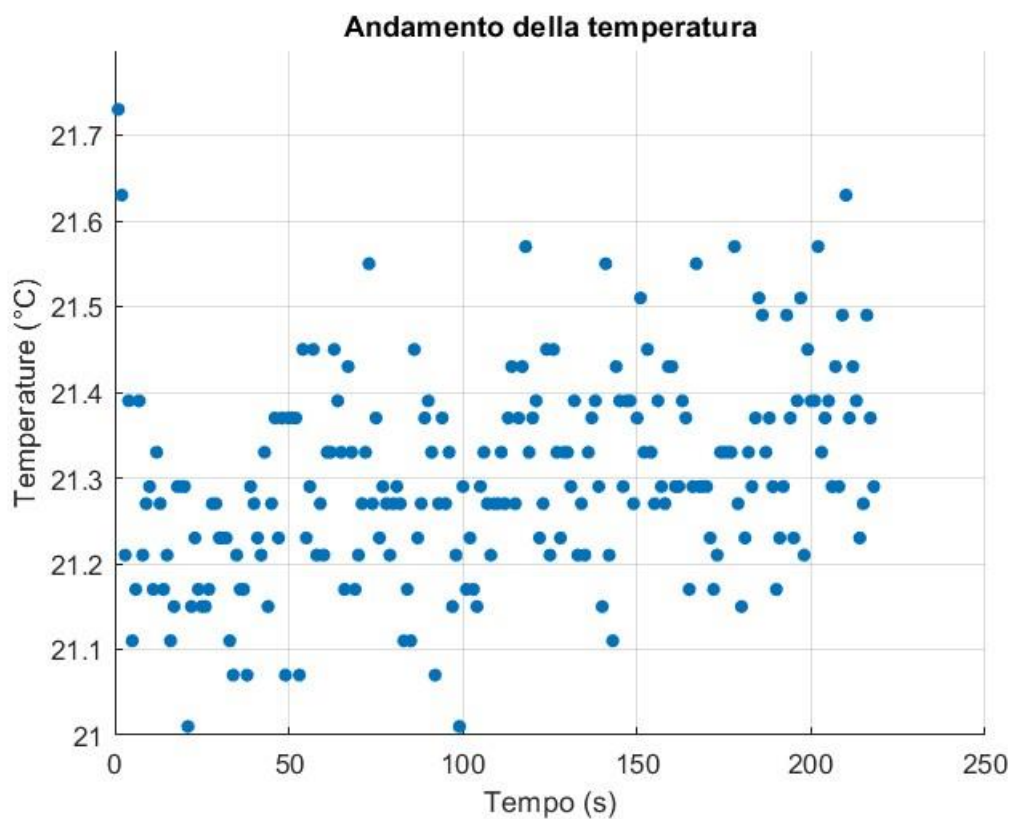


Figura 4.8 – Grafico Tempo-Temperatura della 1° misurazione sul conducente a “riposo”, sensore “MLX90614”.

Le temperature misurate si trovano in un range che va da un minimo di 21 °C ad un massimo di 21.62 °C.

1° misurazione in stato di guida:

Distanza	Media	Deviazione standard
50 cm	21.69 °C	0.26 °C

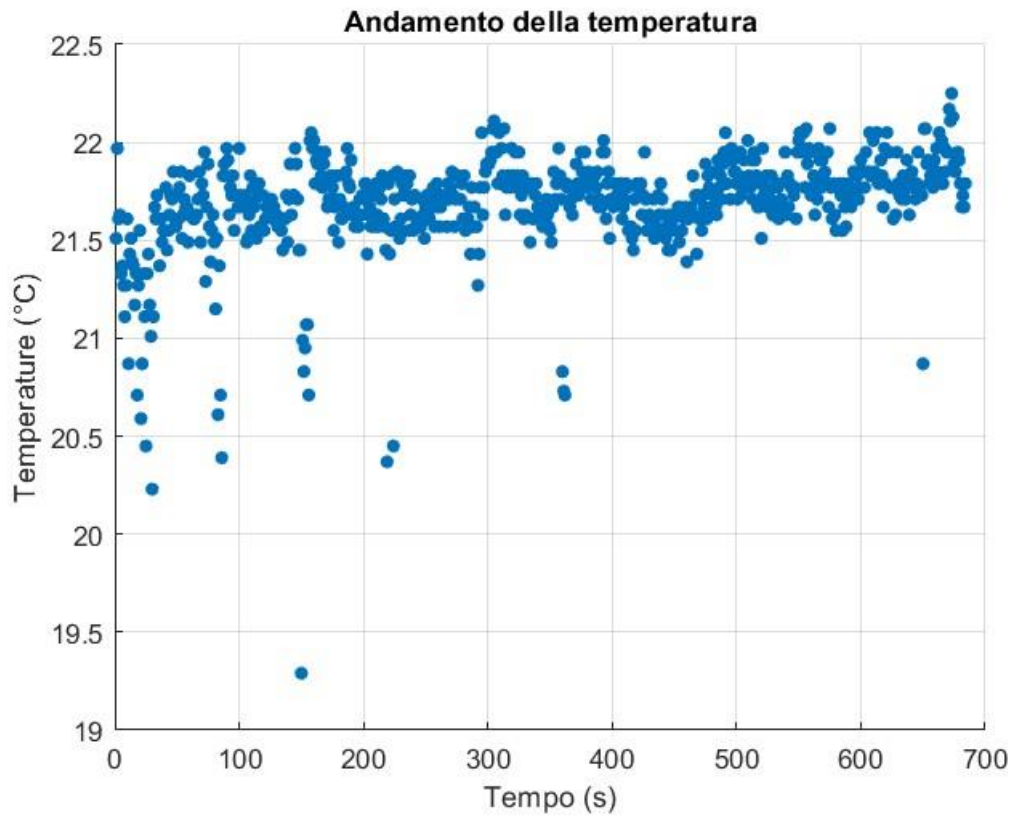


Figura 4.9 – Grafico Tempo-Temperatura della 1° misurazione sul conducente in stato di guida, sensore “MLX90614”.

Le temperature misurate si trovano in un range che va da un minimo di 20.25 °C ad un massimo di 22.2 °C.

4.1.4 Risultati delle misurazioni sul conducente, sensore “AMG8833”

Vengono di seguito riportate le misurazioni fatte dal sensore “AMG8833” sul volante di guida.

1° misurazione a “riposo”:

Distanza	Media	Deviazione standard
50 cm	18.52 °C	0.26 °C

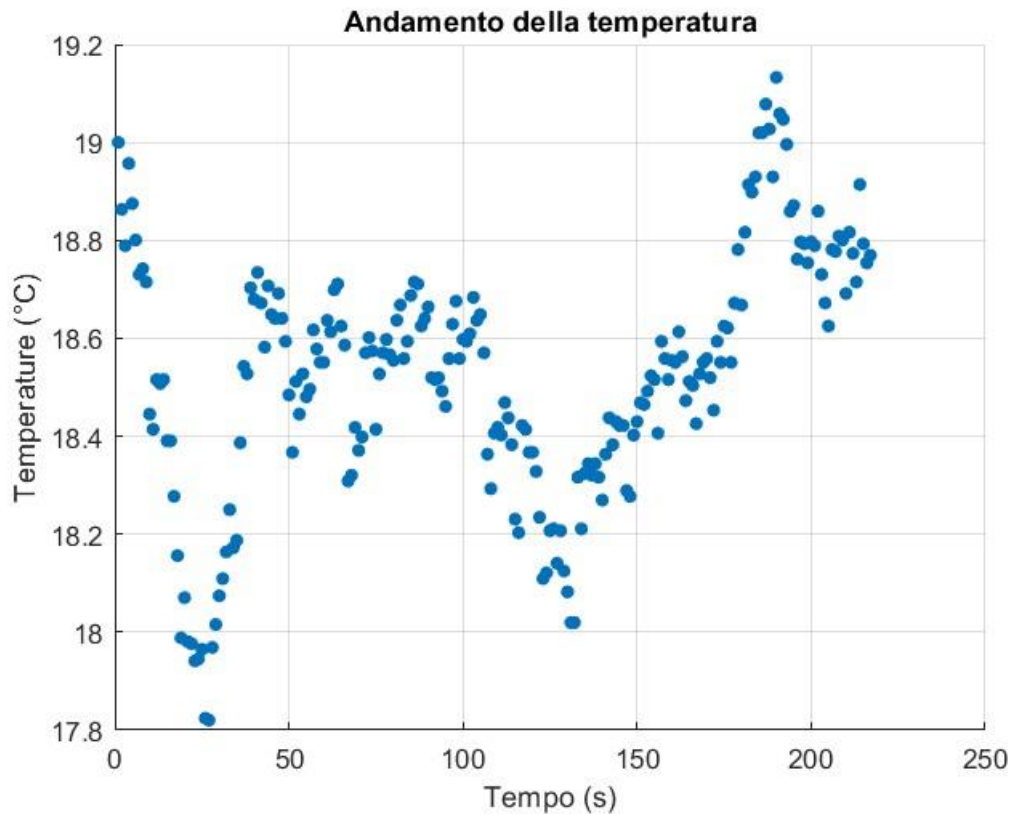


Figura 4.10 – Grafico Tempo-Temperatura della 1° misurazione sul conducente a “riposo”, sensore “AMG8833”.

Le temperature misurate si trovano in un range che va da un minimo di 17.8 °C ad un massimo di 19.1 °C.

1° misurazione in stato di guida:

Distanza	Media	Deviazione standard
50 cm	18.44 °C	0.17 °C

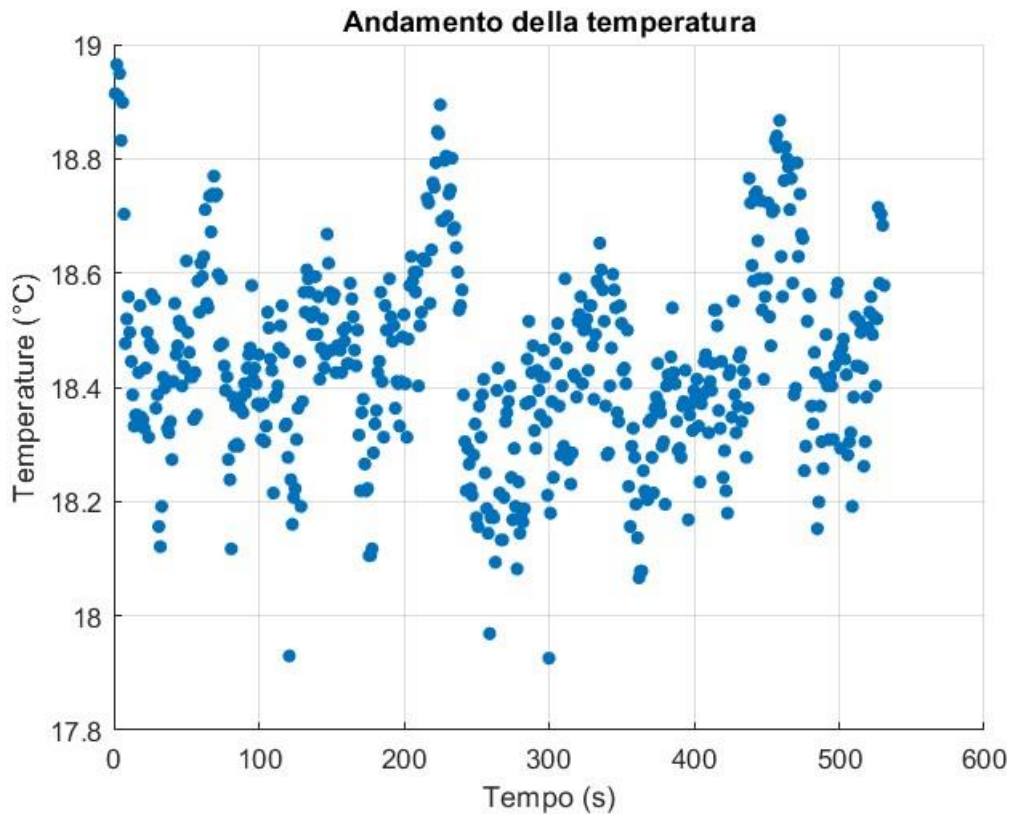


Figura 4.11 – Grafico Tempo-Temperatura della 1° misurazione sul conducente in stato di guida, sensore “AMG8833”.

Le temperature misurate si trovano in un range che va da un minimo di 17.9 °C ad un massimo di 18.99 °C.

4.1.5 Problemi riscontrati nelle misurazioni e analisi degli andamenti

Nel corso delle misurazioni effettuate si sono avuti degli andamenti anomali nelle prove sugli oggetti, d'altra parte le misurazioni sul guidatore non hanno fornito problemi degni di nota. Gli andamenti previsti dalle misurazioni degli oggetti prevedevano una diminuzione delle temperature medie con l'aumentare della distanza dell'oggetto dal sensore. Questo perché aumentando la distanza, il sensore rileva delle altre radiazioni all'infuori di quella dell'oggetto, portando ad una temperatura rilevata più bassa (minor precisione). Per quanto riguarda le deviazioni standard, ciò che si aspettava di ottenere era un loro aumento con l'aumentare della distanza oggetto-sensore. Questo perché, con l'aumentare della distanza dall'oggetto, il sensore diminuisce di precisione portando ad un aumento dell'errore (e quindi della deviazione). Nelle misurazioni sugli oggetti effettuate, si sono ottenuti andamenti diversi da quelli aspettati. Mentre le temperature medie hanno avuto gli andamenti previsti (diminuzione all'aumentare della distanza), le deviazioni standard hanno avuto degli andamenti differenti. Per le misurazioni fatte con il sensore "MLX90614", gli andamenti delle deviazioni standard sono stati crescenti all'aumentare della distanza solo nel caso del ghiaccio. Questi presentavano però dei picchi, dati probabilmente da degli errori di rilevamento. Le misurazioni fatte sul ghiaccio fondente e sull'acqua in ebollizione hanno dato solo andamenti decrescenti. Questo comportamento anomalo è giustificato in parte dal contenitore in cui questi si trovavano, e dal fatto che tra una misurazione e l'altra le temperature andassero gradualmente a cambiare. Il ghiaccio fondente era contenuto in un bicchiere di plastica, l'acqua bollente

era contenuta all'interno di una tazza di ceramica, dove invece il ghiaccio inizialmente misurato si trovava all'interno del suo contenitore. Alcuni di questi materiali hanno certamente influito negativamente sulla misurazione. La ceramica, ad esempio, materiale della tazza che conteneva l'acqua in ebollizione, non è infatti un buon conduttore. Per quanto riguarda il sensore "AMG8833", i risultati sono stati analoghi. Le medie delle temperature hanno avuto l'andamento previsto, mentre le deviazioni standard hanno sempre avuto un andamento decrescente. Il motivo è lo stesso del caso del sensore puntuale.

Per le misurazioni sul conducente, i risultati sono stati migliori. Ciò che si aspettava di ottenere in questo caso, era una minore oscillazione della temperatura del conducente mentre era fermo; invece, una maggiore oscillazione quando si trovava a guidare. Questo perché mentre il conducente è fermo (a riposo), la sua temperatura non varia di molto. Quando guida, lui/lei si può spostare un po' dalla sua posizione per effettuare delle manovre, portando a delle diverse rilevazioni di temperatura. Può anche trovarsi in diverse condizioni mentali mentre è alla guida, come stress, ansia ecc... Tutto questo può concorrere al cambiamento della sua temperatura. Per il sensore "MLX90614", si può notare dalla Figura 4.8 che il range di temperature andava da un minimo di 21 °C, ad un massimo di 21.62 °C. La variazione di temperatura del conducente, nella condizione di "riposo", è risultata quindi minore di 1 grado. Nello stato di guida, come visibile dal grafico della Figura 4.9, il range andava da un minimo di 20.25 °C ad un massimo di 22.2 °C. In questo caso, la variazione di temperatura è stata all'incirca di 2 gradi. Per il sensore "AMG8833", si può notare dalla Figura 4.10 che il range della temperatura va da un minimo di 17.8 °C ad un massimo di 19.1 °C. In

questo caso la variazione di temperatura è maggiore di 1 grado, ma come si può notare dalla figura, la temperatura rimane stabile per più tempo: dai 50 ai 100 secondi, questa rimane in un range compreso tra i 18.3 °C e i 18.7 °C (meno di 1 grado di variazione). Nello stato di guida le temperature misurate si spostano da un minimo di 17.9 °C, ad un massimo di 18.99 °C, come è possibile vedere dalla Figura 4.11. Sebbene la variazione sia all'incirca simile a quella nella condizione a "riposo", le temperature risultano qui avere andamenti più frastagliati nel tempo.

Capitolo 5

5.1 Conclusione

In conclusione, questi sensori non si sono rivelati particolarmente affidabili nelle misurazioni degli oggetti, fornendo degli andamenti delle deviazioni standard alquanto anomali. Va ribadito però che questi andamenti sono dovuti in gran parte dal set-up di misurazione. Tuttavia, nella misurazione della temperatura del conducente, scopo di questa tesi, si sono rivelati efficaci; riuscendo a dare dei range di temperatura accettabili e a fornire dei valori di temperatura in ogni momento della guida.

Concludendo, la futura implementazione di questi sensori nel volante contribuirà al controllo del conducente, andandolo a monitorare durante la guida. Questa possibile implementazione necessita però di ulteriore analisi per prevedere il corretto andamento della temperatura. Queste analisi dovrebbero essere fatte su un campione di persone tramite l'uso di simulatori e successivamente nell'ambiente di guida vero e proprio. Se tali analisi si rivelassero positive, una futura implementazione nelle autovetture risulterebbe certamente possibile.

Bibliografia

[1]ScienceDirect; “Passive Infrared Sensors”; <https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/passive-infrared-sensor>; 2007; (Consultato il 30 novembre 2024)

[2]Treccani; <https://www.treccani.it/enciclopedia/piezolettricit/>; (Consultato il 30 novembre 2024)

[3]Treccani; <https://www.treccani.it/enciclopedia/dielettricit/>; (Consultato il 30 novembre 2024)

[4]Ressler, Kyle, Brucker, Kyle, and Nagurka, Mark L.; “A Thermal Time-Constant Experiment”; Mechanical Engineering Faculty Research and Publications; 139; 4; https://epublications.marquette.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1139&context=mechengin_fac; 2003; (Consultato il 30 novembre 2024)

[5]Treccani; [https://www.treccani.it/enciclopedia/termodinamica_\(Enciclopedia-dei-ragazzi\)/](https://www.treccani.it/enciclopedia/termodinamica_(Enciclopedia-dei-ragazzi)/); (Consultato il 30 novembre 2024)

[6]Treccani;
[https://www.treccani.it/enciclopedia/frequenza_\(Dizionario-delle-Scienze-Fisiche\)/](https://www.treccani.it/enciclopedia/frequenza_(Dizionario-delle-Scienze-Fisiche)/); (Consultato il 30 novembre 2024)

[7]Ramón Pallás-Areny, John G. Webster; “Sensors and Signal Conditioning”; 2nd Edition; ISBN: 978-1-118-58593-1; November 2012

[8]Zhenhui Ma, Jeotikanta Mohapatra, *et al*; “Magnetic Nanoparticles: Synthesis, Anisotropy and Applications”;
<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.chemrev.1c00860>;
2021; (Consultato il 30 novembre 2024)

[9]Wikipedia;
<https://it.wikipedia.org/wiki/Ferroelettricit%C3%A0>;
(Consultato il 30 novembre 2024)

[10]Wikipedia;
https://it.wikipedia.org/wiki/Punto_di_Curie; (Consultato il 30 novembre 2024)

[11]Wikipedia;
<https://it.wikipedia.org/wiki/Emissivit%C3%A0>;
(Consultato il 30 novembre 2024)

[12]Treccani;
[https://www.treccani.it/enciclopedia/pirometro_\(Enciclopedia-Italiana\)/](https://www.treccani.it/enciclopedia/pirometro_(Enciclopedia-Italiana)/); (Consultato il 30 novembre 2024)

[13]Halin Anaïs, Verly J.G., Van Droogenbroeck; “M. Survey and Synthesis of State of the Art in Driver Monitoring”;
Sensors; 21; 5558;

<https://doi.org/10.3390/s21165558>; 2021; (Consultato il 30 novembre 2024)

[14] Kim D., Park H., Kim T., *et al*; “Real-time driver monitoring system with facial landmark-based eye closure detection and head pose recognition”; *Sci Rep* **13**; 18264; <https://doi.org/10.1038/s41598-023-44955-1>; 2023; (Consultato il 30 novembre 2024)

[15] Kanthal; <https://www.kanthal.com/it/applicazioni/misura-della-temperatura/termopile/>; (Consultato il 30 novembre 2024)

[16] Capterra; <https://www.capterra.it/glossary/484/asic-application-specific-integrated-circuit>; (Consultato il 30 novembre 2024)

[17] Wikipedia; https://it.wikipedia.org/wiki/Condizionatore_di_segnaile; (Consultato il 30 novembre 2024)

[18] ScienceDirect; “Low noise amplifier”; <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/low-noise-amplifier>; 2024; (Consultato il 30 novembre 2024)

[19] Treccani; [https://www.treccani.it/enciclopedia/dsp_\(Enciclopedia-della-Scienza-e-della-Tecnica\)/](https://www.treccani.it/enciclopedia/dsp_(Enciclopedia-della-Scienza-e-della-Tecnica)/); (Consultato il 30 novembre 2024)

[20] Wikipedia; [https://it.wikipedia.org/wiki/Risoluzione_\(metrologia\)](https://it.wikipedia.org/wiki/Risoluzione_(metrologia)); (Consultato il 30 novembre 2024)

[21]Wikipedia; <https://it.wikipedia.org/wiki/Precisione>;
(Consultato il 30 novembre 2024)

[22]Capterra; <https://www.capterra.it/glossary/1258/pwm-pulse-width-modulation>; (Consultato il 30 novembre 2024)

[23]Melexis;
<https://www.melexis.com/en/product/mlx90614/digital-plug-play-infrared-thermometer-to-can>; (Consultato il 30 novembre 2024)

[24]Wikipedia; https://en.wikipedia.org/wiki/Sensor_array;
(Consultato il 30 novembre 2024)

[25]Wikipedia; <https://it.wikipedia.org/wiki/MEMS>;
(Consultato il 30 novembre 2024)

[26]Panasonic;
<https://industrial.panasonic.com/ww/products/pt/grid-eye/models/AMG8833>; (Consultato il 30 novembre 2024)

[27]Wikipedia;
https://it.wikipedia.org/wiki/Trasmissione_seriale;
(Consultato il 30 novembre 2024)

[28]Arduino; <https://docs.arduino.cc/language-reference/>;
(Consultato il 30 novembre 2024)

[29]Arduino; <https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3?srsltid=AfmBOord8RVYhxdNY4hTam5gbTkcdUByi-A1CcfXeu-INzQoXQFRA71g>; (Consultato il 30 novembre 2024)

[30]GitHub;
https://github.com/DFRobot/DFRobot_MLX90614/blob/master/DFRobot_MLX90614.h; (Consultato il 30 novembre 2024)

[31]GitHub;
https://github.com/DFRobot/DFRobot_MLX90614/blob/master/DFRobot_MLX90614.cpp; (Consultato il 30 novembre 2024)

[32]GitHub;
https://github.com/meloper/Melopero_AMG8833_Arduino_Library/blob/master/src/Melopero_AMG8833.h;
(Consultato il 30 novembre 2024)

[33]Wikipedia; <https://it.wikipedia.org/wiki/I%C2%B2C>;
(Consultato il 30 novembre 2024)

[34]GitHub; <https://github.com/arduino/ArduinoCore-avr/blob/master/libraries/Wire/src/Wire.cpp>; (Consultato il 30 novembre 2024)

[35]GitHub;
https://github.com/meloper/Melopero_AMG8833_Arduino_Library/blob/master/src/Melopero_AMG8833.cpp;
(Consultato il 30 novembre 2024)

Ringraziamenti

Vorrei ringraziare principalmente la mia famiglia, a cui devo tutto e che mi ha sempre sostenuto in tutti questi anni di studio.

Grazie a Luca, senza il quale probabilmente oggi non sarei qui, per l'incredibile amicizia e la straordinaria pazienza dimostrata nel rispiegarmi gli stessi concetti più e più volte.

Un ringraziamento va anche ai miei grandi amici dell'istituto Salesiano, in particolare a Youssef e Amir, che oltre ad aiutarmi nei momenti più duri mi hanno fatto sempre sentire parte di una grande famiglia.

Un grazie anche alla mia amica Morena, che oltre a sostenermi ha reso la mia vita universitaria più leggera e divertente.

Vorrei ringraziare anche tutti i miei amici non menzionati, mi avete dato serenità e sostegno, in modo da poter affrontare tutte le sfide.

Un ultimo ringraziamento va anche al mio relatore, il professor Terenzi Alessandro, e la mia correlatrice, la professoressa Spinsante Susanna, per la disponibilità fornitami sia nell'attività di tirocinio che di tesi.