



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Corso di Laurea Triennale in Ingegneria Meccanica

**Sviluppo di un algoritmo per la valutazione delle proprietà termiche di un
edificio**

**Development of an algorithm for assessing the thermal properties of a
building**

Relatore – Prof. Ing. Gian Marco Revel

Correlatrice – Dott.ssa Serena Serroni

Laureando – Mamoun Morh

Anno accademico 2021-2022

Abstract

La misurazione del comfort termico è fondamentale per lo svolgimento della funzione principale di un edificio ovvero quello di fornire un ambiente di vita confortevole e salubre per lo svolgimento dell'attività quotidiana. Tali misurazioni sono possibili grazie al Comfort Eye, un dispositivo multi-sensore IoT, utilizzato per il monitoraggio del flusso termico in tempo reale di un edificio, infatti, di rilevante importanza è il parametro della trasmittanza, la quantità di calore che in una unità di tempo definita attraversa un elemento della superficie di 1 m^2 in presenza di una differenza di temperatura di 1 K tra l'interno e l'esterno, che mi permette di individuare i punti di discomfort termico ovvero punti di disagio e di inefficienza termica.

L'obiettivo dello studio sarà quello che di creare un'intelligenza artificiale che mi permetta di individuare nella parete analizzata la presenza di finestre, così da poter applicare un modello matematico per il calcolo della trasmittanza in modo corretto e veloce.

In questo modo si va a considerare i diversi elementi della parete che sono caratterizzati da una differente emissività (ad esempio la finestra avrà una maggiore emissività rispetto ad una parete che è più isolante) e quindi si riesce a migliorare e facilitare il calcolo della trasmittanza identificando correttamente come varia l'emissività.

Indice

Abstract	2
Sommario delle figure	4
Sommario delle tabelle	5
Introduzione.....	6
Capitolo 1 -Comfort Eye.....	10
Capitolo 1.1- Ceiling-node (nodo al soffitto)	12
Capitolo 1.2 Desk node.....	14
1.3 – Architettura del sistema	15
Capitolo 1.4 Risultati scansione termica.....	17
Capitolo 2 -algoritmo.....	19
Capitolo 2.1 Configurazione ambiente di lavoro.....	21
Capitolo 2.2 Dataset Personalizzato	21
Capitolo 2.2.1-Bbox Tool.....	22
Capitolo 2.2.2 -Formato Yolo	23
Capitolo 2.2.3 Roboflow	24
Capitolo 2.3 Definizione del modello e architettura	25
Capitolo 2.4 Addestramento della rete Yolov5.....	26
Capitolo 2.5 Valutazione della prestazione del modello	27
Capitolo 3 -Risultati.....	30
Capitolo 4-Conclusione.....	35
Appendice	37
Bibliografia e sitografia	39
Ringraziamenti.....	40

Sommario delle figure

Figura 1-Comfort Eye

Figura 2-Schema generale del sistema di misura

Figura 3-Ceiling node (Comfort Eye)

Figura 4a-Desk Node

Figura 4b-Desk Node

Figura 5-Schema protocollo MQTT

Figura 6-Schema di utilizzo del sensore

Figura 7 -Scansione termica della parete attraverso il sensore Comfort Eye

Figura 8-Foto utilizzata per il dataset

Figura 9-Foto utilizzata per il dataset

Figura 10- Esempio di formato YOLO

Figura 11-Dataset health check con Roboflow

Figura 12-Riconoscimento finestra dopo l'applicazione dell'algoritmo

Sommario delle tabelle

Tabella 1- Confronto prestazioni 4 versioni di Yolo

Tabella 2-Confronto tempi di addestramento tra Yolov4 e Yolov5

Tabella 3-Board delle prestazioni dell'algoritmo

Introduzione

Il controllo della qualità ambientale interna (IEQ) in ambienti di utilizzo quotidiano acquisisce una maggiore importanza per la produttività, benessere, comfort e capacità di apprendimento degli occupanti, infatti, un ambiente di lavoro adeguato porterà ad una maggiore capacità di attenzione da parte dell'individuo con un impatto favorevole sulle prestazioni e sui risultati raggiunti (in ambiente lavorativo o quotidiano).

IEQ riguarda l'insieme dei parametri che definiscono la qualità ambientale, il grado di salubrità e il benessere dell'ambiente interno.

I parametri che caratterizzano l'IEQ sono:

- la qualità dell'aria
- il comfort termico
- il comfort acustico
- il comfort visivo

Ciascuna di queste voci vengono valutate con delle certificazioni che devono essere rispettate per fornire il maggior benessere possibile agli occupanti di un edificio.

In particolar modo, uno tra i principali e caratterizzanti fattori di benessere di un edificio quello termoigrometrico, ovvero la sensazione termica di benessere che un individuo prova in determinate condizioni di temperatura e umidità.

Il comfort termico, o termoigrometrico, può essere definito come una condizione di benessere sia fisico che mentale ed è visto da ogni individuo come la condizione di soddisfazione nei confronti dell'ambiente circostante, ovvero, quella sensazione di benessere in cui non si prova né freddo né caldo.

Affinché si provi uno stato di benessere termico all'interno di una stanza, si deve continuamente bilanciare il calore e l'umidità prodotte dal nostro corpo con le quantità scambiate con l'ambiente circostante.

Poiché il nostro corpo lavora ad una temperatura pressoché costante di 37 gradi, se la temperatura dell'aria all'interno della stanza è troppo bassa si ha un aumento degli scambi termici per irraggiamento e convezione verso l'ambiente provocando una sensazione di freddo mentre se la temperatura dell'aria è elevata aumentano gli scambi termici per evaporazione attraverso la pelle provocando sudorazione.

Le ultime due situazioni mostrano il motivo per cui il calcolo del comfort termico è di fondamentale importanza ovvero quello di individuare i punti di discomfort termico in modo da poter ridurli o se non addirittura di eliminarli.

I fattori che determinano il comfort termico in una stanza sono:

- temperatura medie superficiali, o temperatura media radiante,
- temperatura dell'aria,
- umidità relativa dell'aria,
- velocità dell'aria.
- trasmittanza della parete

A questo bisogna aggiungere il tipo di attività fisica svolta e l'abbigliamento.

La temperatura che si percepisce all'interno di una stanza dipende non solo dalla temperatura interne o esterna alla stanza ma anche dalla tipo di parete e dalle superfici che la caratterizzano come le temperature superficiali di muri, soffitti, pavimenti, finestre inoltre viene definita la temperatura media radiante, la quale dipende:

- dalla temperatura esterna;
- dal valore di trasmittanza termica U dell'elemento costruttivo;
- dalla temperatura dell'aria interna.

Se queste temperature sono basse rispetto alla temperatura dell'aria, come succede in inverno in un edificio non isolato, si ha una spiacevole sensazione di freddo, anche se la temperatura dell'aria supera i 20°C.

Questo perché l'elevata differenza di temperatura tra il nostro corpo e le superfici che ci circondano causa un rapido trasferimento di calore per irraggiamento dal nostro corpo verso le superfici fredde.

Importanti sono i criteri di valutazione del comfort termico che vengono suggeriti da due normative europee e una norma statunitense, rispettivamente:

- **UNI EN ISO 7730**, norma che illustra i metodi per diagnosticare le sensazioni termiche generali ed il grado di malessere degli individui all'interno di ambienti misti, ovvero in condizioni ambientali favorevole all'uomo.
- **UNI EN 16789**, norma che determina i valori negli ambienti interni, attraverso la qualità dell'aria interna, dell'ambiente termico, dell'illuminazione e dell'acustica.

- **ANSI/ASHRAE Standard 55**, norma che determina le condizioni in cui una specifica percentuale di utenti valuta le condizioni ambientali dello spazio occupato accettabili. L'obiettivo è quello di identificare la combinazione tra il fattore termico ambientale e le sensazioni personali dell'utenza, determinando il giusto equilibrio per garantire il comfort delle persone che occupano lo spazio

Dal momento che il controllo dell'IEQ ha assunto un'importanza primaria ancora maggiore con la diffusione del COVID-19 negli ambienti indoor, è stato necessario sviluppare un sensore che mi permettesse di misurare i valori caratterizzanti il comfort termico.

A tale scopo è stato sviluppato nell'ambito del progetto europeo P2Endure una versione innovativa del sensore Comfort Eye, che include il calcolo dell'IEQ durante il processo di valutazione delle proprietà di un edificio.

Di conseguenza, il primo capitolo tratterà delle proprietà e delle innovazioni apportate da tale sensore con annessi accorgimenti per effettuare una misura che sia attendibile e precisa, infatti, una particolare attenzione verrà posta al posizionamento del sensore in modo che scandoni esclusivamente la parete desiderata.

Il secondo capitolo tratterà l'iter di creazione dell'intelligenza artificiale sviluppata che permette di identificare la finestra su una mappa termica in modo tale da poter ottenere risultati più accurati sul calcolo puntuale della trasmittanza termica della parete analizzata.

Inoltre, verrà data alle prestazioni dell'algoritmo sviluppato e al tasso di precisione di quest'ultimo.

Il terzo verterà sull'applicazione dell'algoritmo alla mappa termica e si analizzerà l'attendibilità dei risultati ottenuti.

Capitolo 1 -Comfort Eye

Il Comfort Eye (Fig.1) è un sensore a IR utilizzato per il calcolo della IEQ, fattore divenuto ancora più importante con la diffusione del COVID-19, e per il monitoraggio continuo del PMV, il Predicted Mean Vote, che è una scala di comfort secondo la ISO 7730.

Il Comfort Eye è un dispositivo molto utilizzato nell'ispezione di un edificio per la sua precisione e rapidità nell'analizzare l'efficienza termica della parete e per i bassi costi del prodotto.

Mentre gli strumenti di misura sono caratterizzati da una limitata risoluzione temporale e spaziale, in più sono ingombranti e richiedono un enorme sforzo umano nell'elaborazione dei dati, il Comfort Eye possiede uno scanner a infrarossi (IR), progettato da Revel e i suoi collaboratori, che permette il calcolo del comfort termico in tempo reale e con una maggiore risoluzione spaziale. Inoltre, lo scanner a IR è stato integrato con un nodo da tavolo che mi permette la misura della temperatura e dell'umidità dell'aria.



Figura 1-Comfort Eye

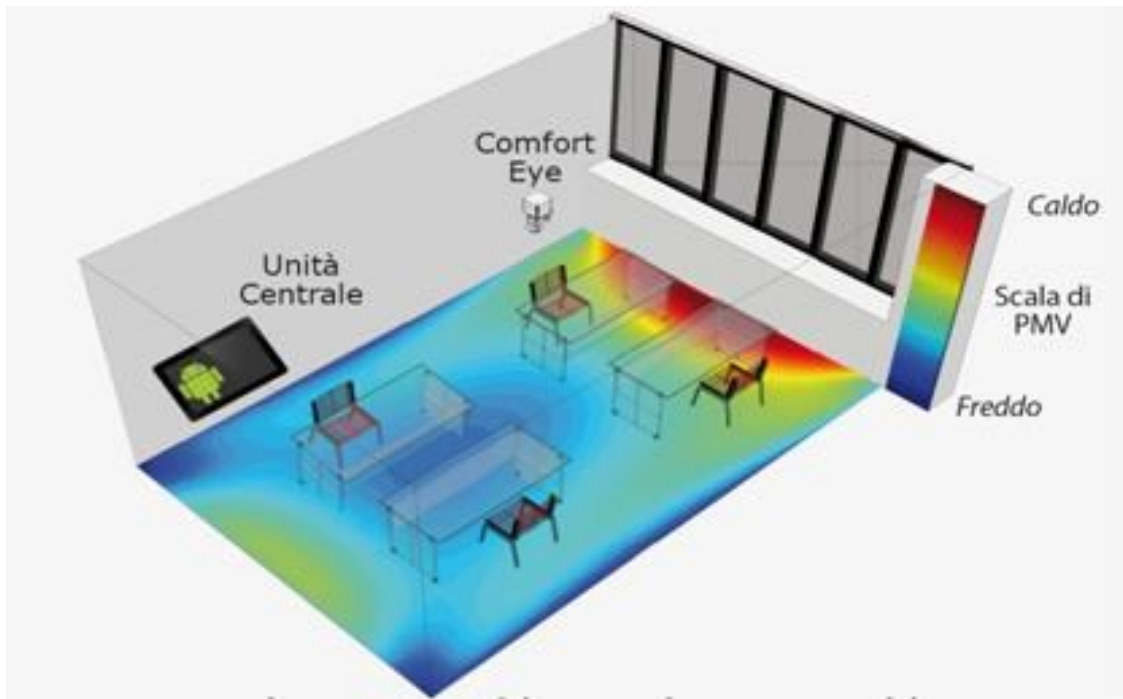


Figura 2-Schema generale del sistema di misura

Capitolo 1.1- Ceiling-node (nodo al soffitto)

L'innovazione del Comfort Eye consiste nel nodo al soffitto (Fig.3) che permette di misurare le temperature superficiali interne ed è composto da uno scanner termico 3D, un sensore IR rotante a due assi che fornisce la mappa termica della temperatura interna superficiale. Il sistema IR è installato sul soffitto della camera, ed è composto da un array di termopile 16x4, il che significa che ogni fotogramma acquista una mappa di 64 temperature. Il campo visivo è di 60x16, infatti, ad un metro di distanza dal sensore viene scansionata superficiale corrispondente a 1,15x0,56m.

Per calcolo l'area superficiale scansionata si utilizza questa formula:

$$L_h = d \cdot \left[\operatorname{tg} \left(\theta_h + \frac{\varphi_h}{2} \right) - \operatorname{tg} \left(\theta_h - \frac{\varphi_h}{2} \right) \right]$$
$$L_v = d \cdot \left[\operatorname{tg} \left(\theta_v + \frac{\varphi_v}{2} \right) - \operatorname{tg} \left(\theta_v - \frac{\varphi_v}{2} \right) \right]$$

Dove θ_h e θ_v sono, rispettivamente, l'inclinazione orizzontale e l'inclinazione verticale del sensore e d è la distanza della parete che si vuole scansionare dal sensore. Il FOV (fattore di vista) è definito da $\varphi_h = 60^\circ$ e $\varphi_v = 16^\circ$.



Figura 3-Ceiling node (Comfort Eye)

Il dispositivo comprende una scheda madre personalizzata con un microcontrollore, programmato con un firmware specifico, per eseguire la scansione automatica di tutte le superfici della stanza. Il protocollo di comunicazione 12C viene utilizzato per acquisire i dati dal sensore IR. Lo scanner IR richiede un cablaggio per l'alimentazione a 12 V, mentre la comunicazione avviene tramite un modulo Wi-Fi integrato nella scheda madre. Il processo di scansione produce una mappa termica per ogni parete che è il risultato della concatenazione di più acquisizioni.

I dati IR vengono acquisiti di continuo, elaborati e archiviati in un database in tempo reale. Le mappe termiche corrette vengono poi utilizzate per due scopi: la misurazione della temperatura radiante media per la valutazione del comfort termico e la misurazione delle prestazioni termiche dell'involucro dell'edificio.

Inoltre, la temperatura media radiale viene misurata in diversi punti (vicino e lontano dalla finestra) secondo la ISO 7726.

La scansione verticale della parete viene effettuata grazie al movimento di 180° del sensore permettendo di misurare anche il pavimento mentre la scansione orizzontale è resa possibile grazie ad un movimento di 360° attorno all'asse verticale.

Capitolo 1.2 Desk node

Il desk node (Fig 4 a-b) viene utilizzato per la valutazione del comfort termico e della qualità dell'aria interna (IAQ). Nel nodo da tavolo vi è un sensore integrato che misura la temperatura dell'aria (T_a), l'umidità relativa (RH) e la CO₂. I dati dei sensori vengono acquisiti tramite l'interfaccia I2C e un modulo Wi-Fi, lo stesso utilizzato per il nodo a soffitto, fornisce la comunicazione wireless. I dati vengono acquisiti in continuo, elaborati e memorizzati nel database in tempo reale. Il nodo da tavolo si trova in una posizione che deve essere rappresentativa delle condizioni ambientali della stanza.



Figura 4a-Desk Node



Figura 4b-Desk Node

Capitolo 1.3 – Architettura del sistema

L'innovazione del Comfort Eye è nella modifica del gateway Wi-Fi, che viene sostituito da una scheda più efficiente basata su Micro-Python e supporta Bluetooth BLE, la funzione Wi-Fi e il protocollo di comunicazione MQTT.

Il MQTT (vedi schema Figura 5) è un protocollo di trasporto di messaggi estremamente leggero e veloce capace di collegare i dispositivi con una larghezza di banda di rete minima.

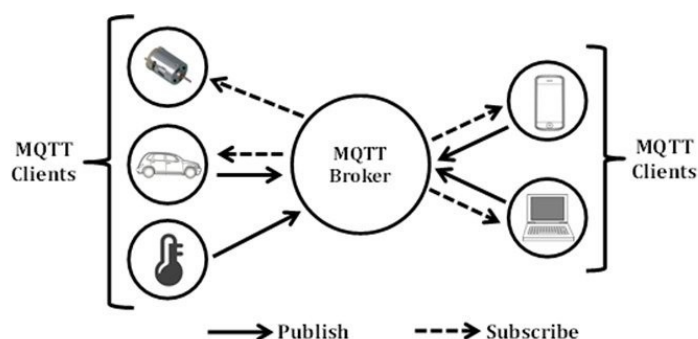


Figura 5-Schema protocollo MQTT

Il primo passo, per avviare il monitoraggio, è la configurazione del dispositivo mobile con un app mobile specifica. I dati di configurazione vengono inviati dal dispositivo mobile: server, credenziali WI-FI, tag della stanza.

Una volta stabilita la connessione il sensore invia direttamente i dati grezzi al server dove una funzione provvede all'elaborazione e alla memorizzazione dei dati.

I dati elaborati vengono archiviati in un database MySQL e l'intero processo di monitoraggio avviene in modo continuo e in tempo reale.

I dati memorizzati vengono utilizzati per valutare il comfort termico e la qualità dell'aria e ti sono disponibili per gli utenti attraverso un cruscotto. Il cruscotto è una web-app accessibile attraverso qualsiasi browser. Il nucleo di elaborazione

dei dati è gestito da un servizio API (Application Programming Interface) RESTful in esecuzione sul server e richiamato con una richiesta GET standard. (Figura 6)

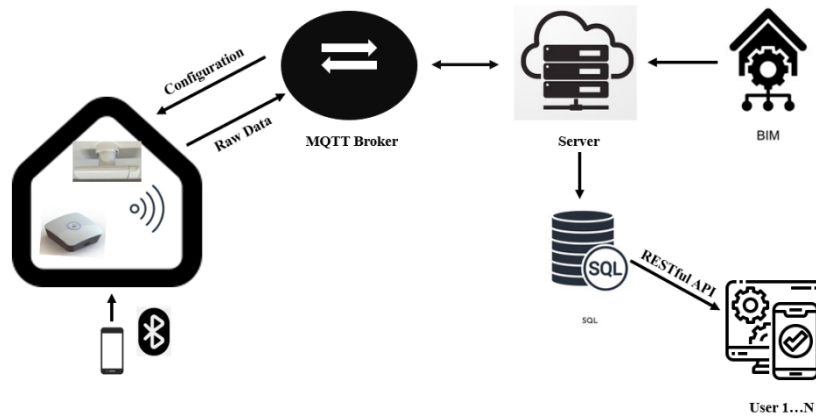


Figura 6-Schema di utilizzo del sensore

Capitolo 1.4 Risultati scansione termica

Applicando il sensore Comfort Eye alla parete in cui si andrà identificare le finestre in modo da facilitare un eventuale calcolo della trasmittanza si seguono una serie di accorgimenti:

- Posizionamento del sensore secondo i calcoli fatti in precedenza in modo che scansionasse solo la parete.
- Lasciare le finestre aperte in modo da evidenziare la differenza di temperatura fra interno ed esterno.

Il procedimento per l'ottenimento della mappa termica della sola parete prevede il calcolo del campo visivo con i seguenti dati:

1. L'altezza della parete pari a 2,97 metri
2. La larghezza della parete pari a 2,55 metri
3. Il modello di sensore utilizzato è il MLX90621 con un campo di $60 \times 16^\circ$

Utilizzando le formule viste in precedenza si calcola la minima distanza in cui posizionare la parete affinché si scansioni tutta la parete.

Dop aver applicato le formule si evince che il sensore debba essere posizionato ad una distanza pari 2,20 m dalla parete.

Come si può evidenziare dalla scansione le finestre sono caratterizzate da un colore blu, proprio per evidenziare che la trasmissione di calore è maggiore rispetto alla parete che è più isolante.

Con la creazione dell'algoritmo sviluppato si vuole identificare la finestra direttamente sulla mappa termografica in modo da ridurre al minimo il tempo di identificazione della finestra e per applicare modello trasmittanza termica con

maggior precisione, riconoscendo gli elementi che caratterizzano la parete analizzata.

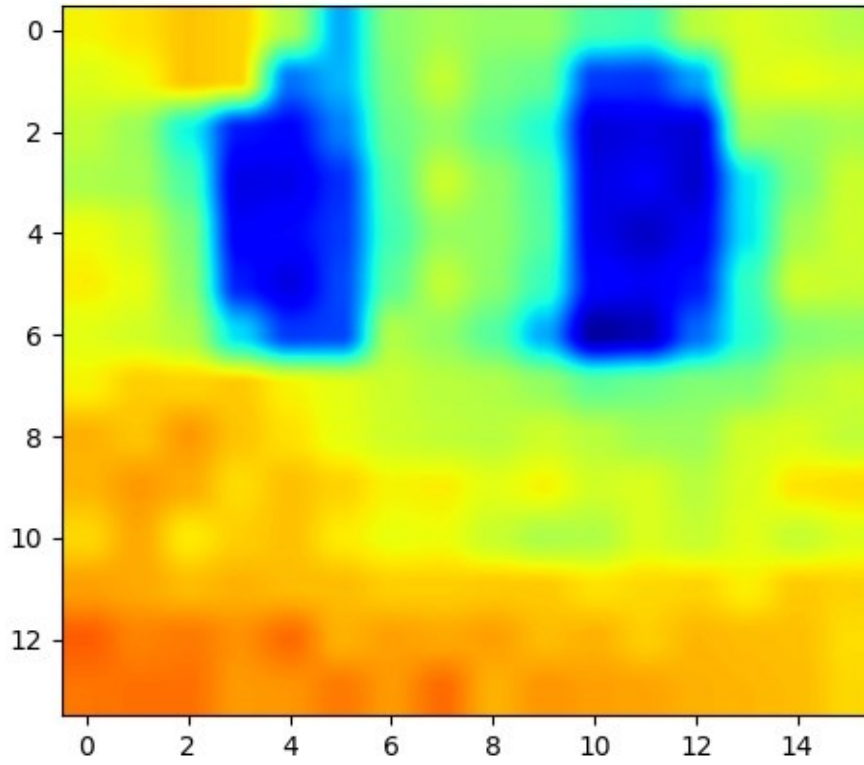
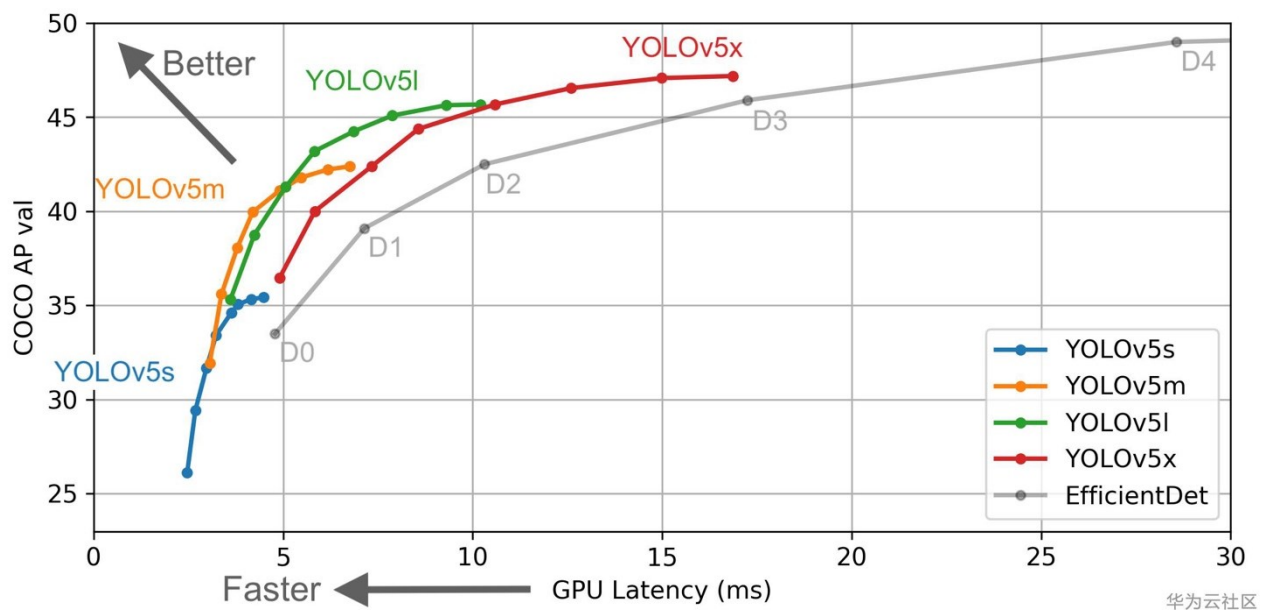


Figura 7 -Scansione termica della parete attraverso il sensore Comfort Eye

Capitolo 2 -algoritmo

YOLOV5 è un modello della famiglia dei modelli di visione artificiale You Only Look Once (YOLO). YOLOV5 è utilizzato comunemente per il rilevamento di oggetti ed è disponibile in 4 versioni: small(s), medium(m), large(l) ed extra large (x), come si può vedere dalla Tabella 1 ognuna delle quattro versioni offre tassi e valori di precisione differenti e richiede anche un tempo di addestramento differente.

Tabella 1-Confronto delle prestazioni delle 4 versioni di Yolov5



AP val=average precision

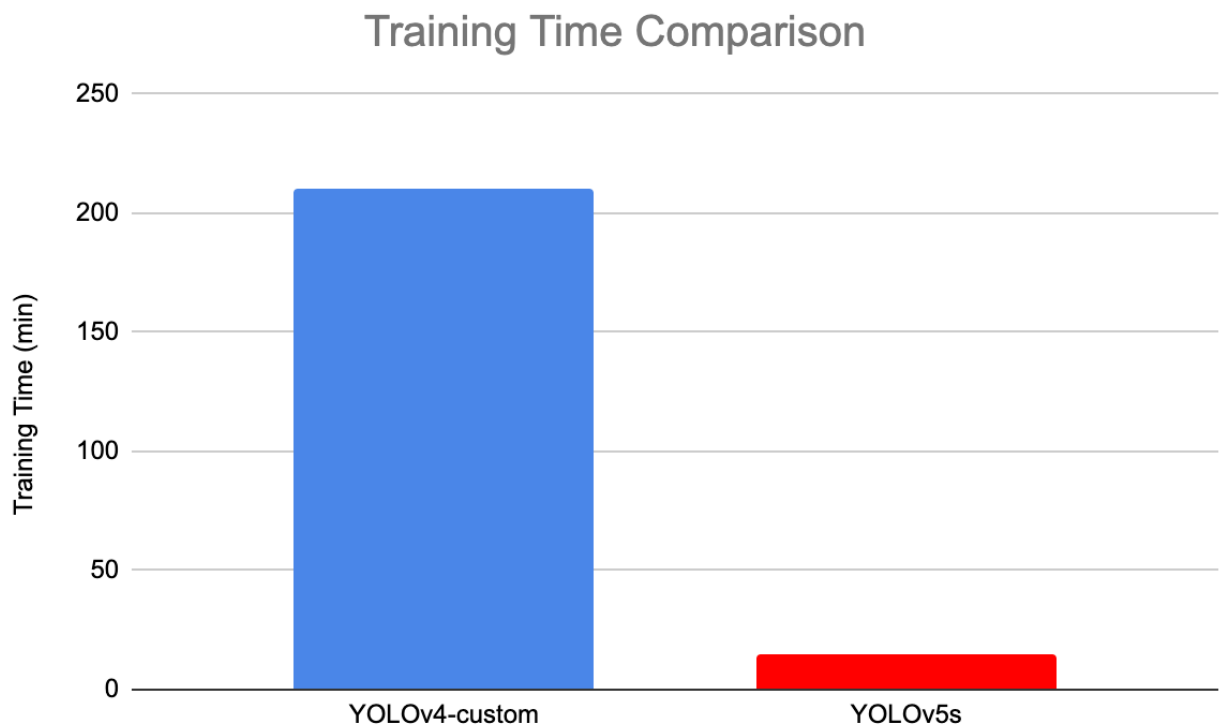
AP rappresenta un modo per rappresentare la curva precisione-richiamo in un singolo valore che rappresenta la media di tutte le precisioni.

Inoltre, rispetto alle altre versioni di YOLO, quest'ultima è estremamente facile e veloce da utilizzare grazie all'implementazione di nuove tecnologie.

I vantaggi di YOLOv5 rispetto alle versioni precedenti sono:

- YOLOv5 richiede solo l'installazione di torch e di alcune librerie python.
- Con YOLOv5 è possibile effettuare inferenze su singole immagini, immagini in batch, feed video o porte webcam.
- Come si evince anche dalla Tabella 2 i modelli di YOLOv5 si addestrano in modo estremamente rapido, il che aiuta a ridurre i tempi morti durante la costruzione del modello.

Tabella 2 -Confronto tempo di training fra Yolov5 e Yolov4



I passaggi per addestrare la rete YOLOV5 al riconoscimento di un dataset di oggetti personalizzati sono:

- configurazione dell'ambiente di lavoro e installazione dei pesi YOLOv5
- elaborazione del dataset personalizzato
- definizione del modello e dell'architettura di YOLOv5
- addestramento della rete YOLOv5
- valutazione della prestazione del modello

Capitolo 2.1 Configurazione ambiente di lavoro

Come ambiente di lavoro si utilizza Google Colab per due motivi:

- Per la semplicità e la facilità con cui si utilizza quest'ultimo ambiente di programmazione.
- La GPU permette di accelerare il tempo di addestramento(training)

Per iniziare si scaricano le repository e dipendenze di YOLOv5 necessarie in modo che il nostro ambiente di lavoro sia pronto per eseguire i comandi di addestramento e inferenza del rilevamento degli oggetti.

Capitolo 2.2 Dataset Personalizzato

Per addestrare la rete si ha bisogno di un dataset personalizzato infatti la creazione di un dataset personalizzato si basa su 3 fasi:

- Raccolta di immagini
- Utilizzo di un tool per isolare l'elemento da riconoscere(finestre)
- Conversione del txt generato dalla label nel formato adeguato a YOLOV5
- Utilizzo di un apposito tool (Roboflow) per visualizzare le prestazioni del mio dataset(facoltativo)

Yolov5 ha bisogno di un dataset che abbiamo almeno 200-300 immagini, infatti, per la creazione del dataset si utilizza foto di finestre di diversi edifici.



Figura 8-Foto utilizzata per il dataset



Figura 9-Foto utilizzata per il dataset

Capitolo 2.2.1-Bbox Tool

Il tool che si usa per identificare la finestra attraverso una label si chiama Bbox Tool e viene usato per generare dataset di diversi elementi.

Dopo aver identificato il riquadro attraverso una label il tool genera un txt di coordinate corrispondenti alle coordinate degli spigoli che identificano la finestra.

Capitolo 2.2.2 -Formato Yolo

Nel formato YOLO, ogni immagine del set di dati ha un singolo file di testo. Se un'immagine non ha oggetti, non esiste un file di testo per quell'immagine. All'interno del file di testo, ogni riga contiene le seguenti informazioni:

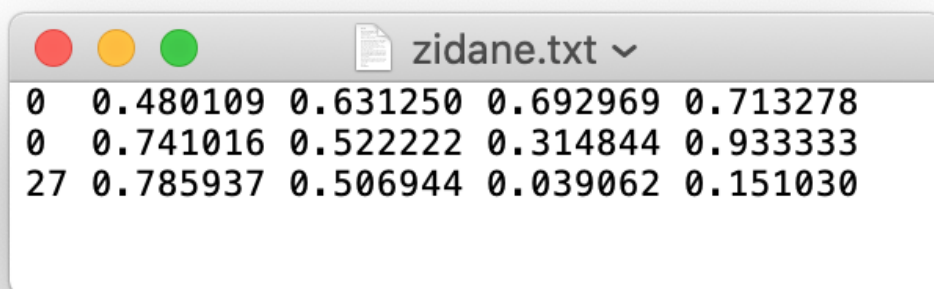


Figura 10- Esempio di formato YOLO

Ogni file di testo deve soddisfare tutte le proprietà del file di testo in formato YOLO, ovvero le seguenti:

1. Il primo elemento di ogni riga è l'id della classe, quindi le proprietà del rettangolo di selezione (x, y, larghezza, altezza)
2. Le proprietà del rettangolo di selezione devono essere normalizzate (0-1)
3. (x, y) devono essere i punti medi di un rettangolo.

Dopo aver creato il mio file txt secondo le condizioni sopra riportate sono in grado finalmente di utilizzare il mio dataset per la fase di training.

Capitolo 2.2.3 Roboflow

L'ultimo procedimento è facoltativo ma è molto utile per verificare se il dataset personalizzato ha prestazioni accettabili o meno.

Per l'utilizzo di tale verifica si usa Roboflow che è un tool gratuito che mi permette di verificare se vi sono immagini che potrebbe creare problemi durante la fase di training e simula quali prestazioni dovrei ottenere durante la fase di training.

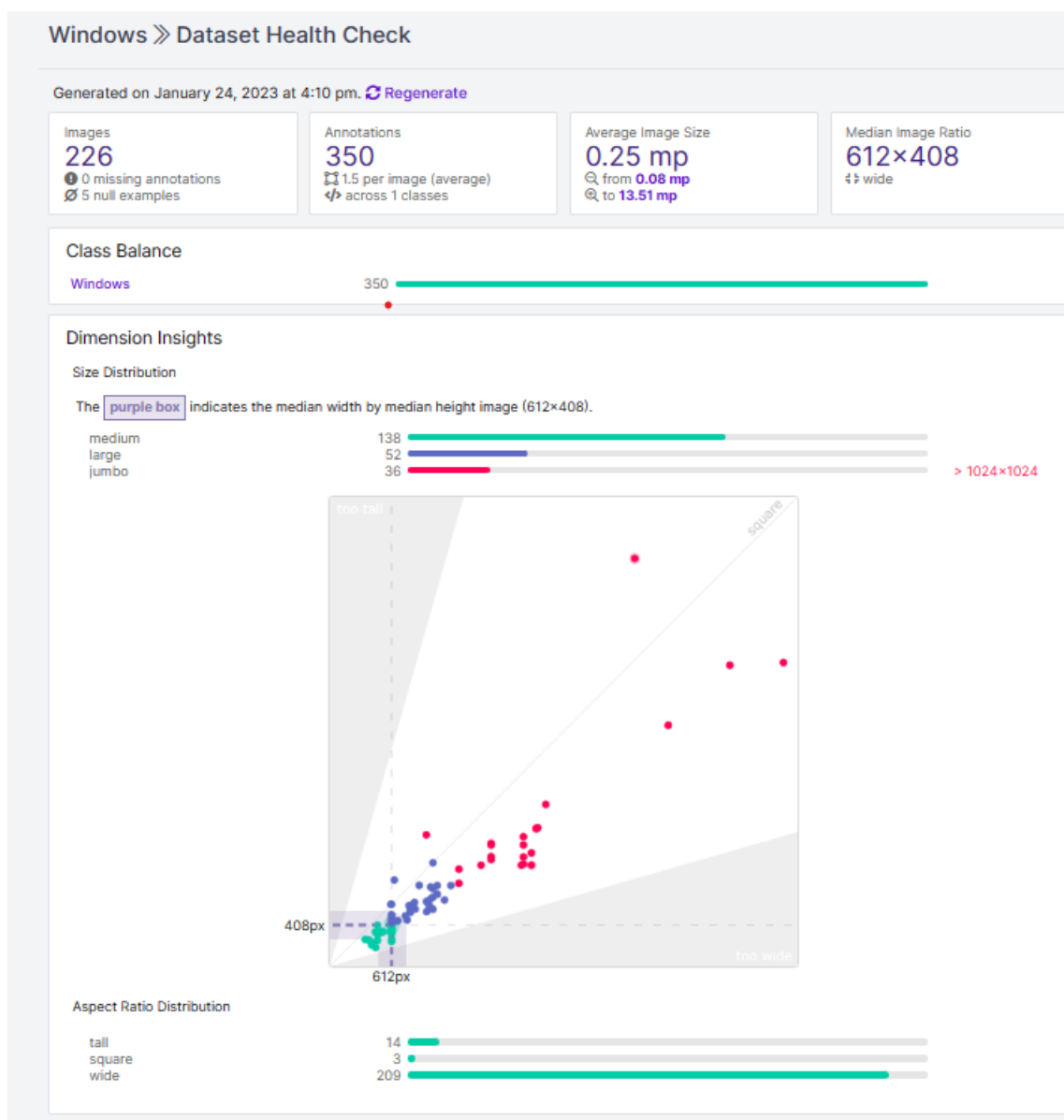


Figura 10-Dataset health check con Roboflow

Utilizzando questo possiamo vedere come vi siano immagini con una dimensione superiore a 1024x1024 pixel che non possono essere utilizzate per la fase di training (che è limitata a dimensioni di 640x 640 pixel).

Capitolo 2.3 Definizione del modello e architettura

Quindi scriviamo un file di configurazione del modello per il nostro rilevatore di oggetti personalizzato. Dovendo riconoscere una sola classe di oggetti (finestre) ho scelto il modello di base più piccolo e veloce di YOLOv5.

È possibile scegliere tra altri modelli di YOLOv5, tra cui:

1. YOLOv5s
2. YOLOv5m
3. YOLOv5l
4. YOLOv5x

Dopo aver fatto gli aggiustamenti necessari come, ad esempio, il numero di classi, la size della nostra label otteniamo il nostro file `custom_yolov5s.yaml` pronto per la fase di training.

Capitolo 2.4 Addestramento della rete Yolov5

Con il dataset personalizzato e il file `custom_yolov5s.yaml` si può iniziare la fase di addestramento.

Per avviare l'addestramento si esegue il comando `training` in Google Colab con le seguenti opzioni:

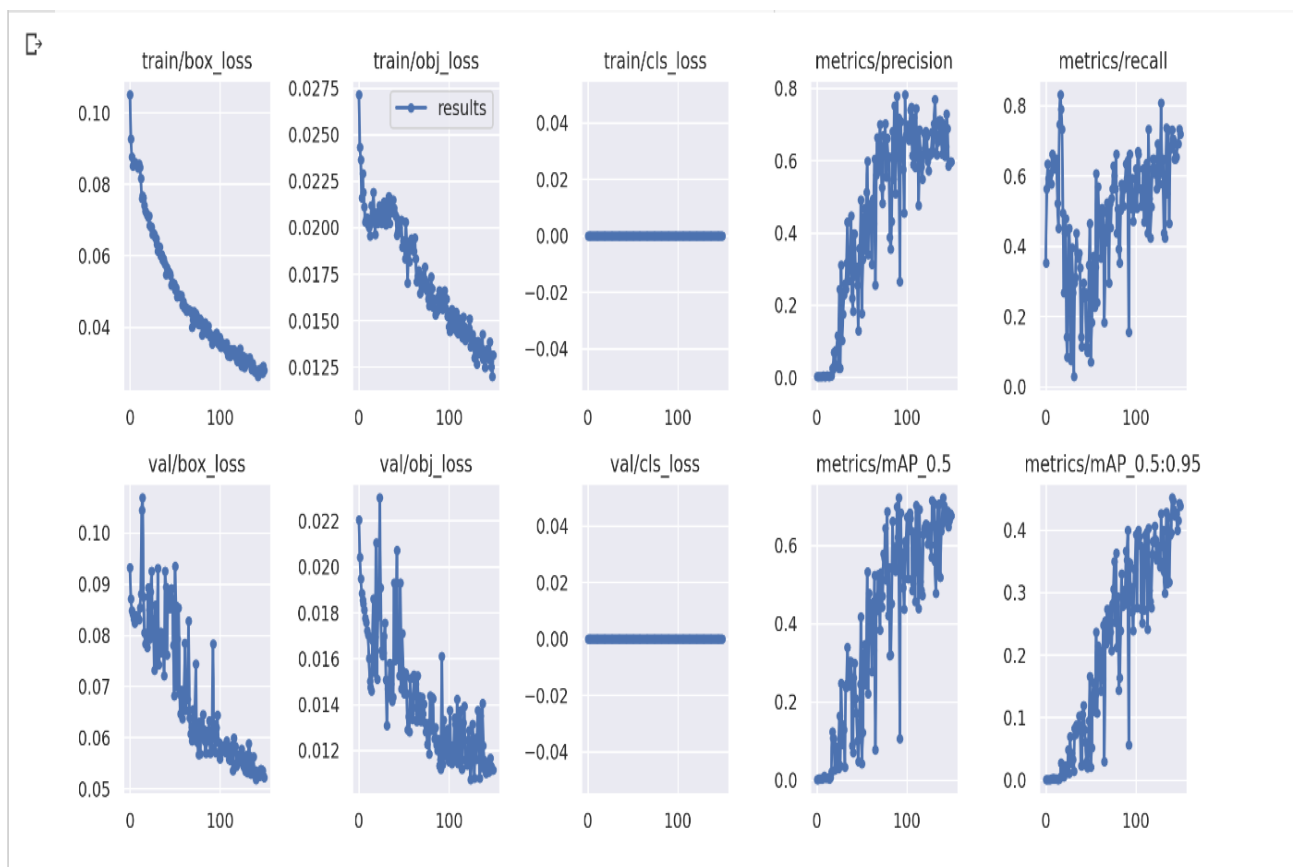
- `img`: definisce le dimensioni dell'immagine di ingresso
- `batch`: determina la dimensione del batch
- `epochs`: definisce il numero di epoche di addestramento.
- `data`: imposta il percorso del nostro file `yaml`
- `cfg`: specifica la configurazione del modello
- `weights`: specificare un percorso personalizzato per i pesi.
- `nome`: nomi dei risultati

Per il mio allenamento ho definito la `img` pari a 640 pixel e il numero di epoche pari a 150 in modo da ottenere delle prestazioni dell'algoritmo più elevate possibili.

Capitolo 2.5 Valutazione della prestazione del modello

Dopo aver completato l'addestramento, si valuta l'efficacia della procedura di addestramento osservando le metriche di valutazioni visibili sul tensorboard sotto riportato.

Tabella 3-Board delle prestazioni dell' algoritmo



Per comprendere meglio i risultati, riassumo le perdite e le metriche di YOLOv5.

La funzione di perdita di YOLO è composta da tre parti:

- `box_loss` - perdita di regressione della bounding box (errore quadratico medio).
- `obj_loss` - la confidenza della presenza dell'oggetto è la perdita di objectness.
- `cls_loss` - la perdita di classificazione (Cross Entropy).

Poiché si ha una sola classe di oggetti da riconoscere , non ci sono errori di identificazione delle classi e l'errore di classificazione è costantemente pari a zero.

1. La precisione(precision) misura la quantità di previsioni di bbox corrette (Veri positivi / (Veri positivi + Falsi positivi)), mentre il richiamo(recall) misura la quantità di bbox vere predette correttamente (Veri positivi / (Veri positivi + Falsi negativi)).
2. `mAP_0.5` è la precisione media (mAP) alla soglia IoU (Intersection over Union) di 0,5.
3. `mAP_0,5:0,95` è la mAP media su diverse soglie IoU, che vanno da 0,5 a 0,95.
4. F1-Score è il punteggio che fornisce il risultato combinato di Precision e Recall. Si tratta di una media armonica di precisione e richiamo.

$$\text{F1-Score} = 2 * (\text{Precision} * \text{Recall}) / (\text{Precision} + \text{Recall})$$

L'intelligenza artificiale sviluppata ha i seguenti valori:

- Precision=0.79
- Recall=0.84
- F1 Score=0,814

Il punteggio varia da 0 a 1, dove 0 è il peggior punteggio possibile e 1 è un punteggio perfetto che indica che il modello predice correttamente ogni osservazione.

Capitolo 3 -Risultati

Il capitolo 1 ha trattato le peculiarità del sensore Comfort Eye e con l'utilizzo di quest'ultimo si è ottenuto la mappa termica di una parete mentre nel capitolo 2 si è trattato degli step che hanno portato la creazione dell'algoritmo per il riconoscimento della finestra tramite una foto.

Nel capitolo 3 si utilizza l'algoritmo per riconoscere la finestra sulla parete e individueremo la finestra anche sulla mappa termica.

Il processo di riconoscimento della finestra sulla mappa segue un iter ben preciso:

1. Il riconoscimento della finestra tramite l'algoritmo.
2. L'estrazione del file txt che contiene i dati fondamentali per calcolare i vertici della finestra.
3. Riportare i punti della finestra sulla mappa termica.

Tale procedimento è attuabile perché la foto e la parete sono perfettamente sovrapponibili, infatti, prima della scansione con il sensore Comfort Eye si calcola la distanza in cui posizionare il sensore in modo che scansioni esclusivamente la parete.

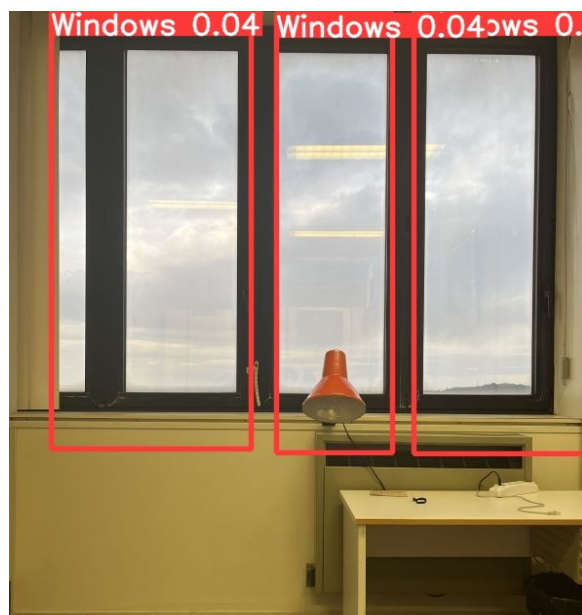


Figura 11-Riconoscimento finestra dopo l'applicazione dell'algoritmo

Dopo aver ottenuto il file txt si calcolano i punti che corrispondono ai vertici della finestra.

Il file txt ottenuto è composto da tre linee ciascuna corrispondente ai valori relativi ad una finestra:

La finestra di sinistra presa in esame ha come file txt i seguenti valori:

1. 0 0.245363 0.358594 0.3457 0.717188
2. Le dimensioni dell'immagine sottoposta all'algoritmo sono 593 x640 pixel

Come già visto in precedenza, il primo valore indica il numero di classi (0 nel caso di una sola classe come nel nostro caso).

Il secondo e il terzo valore indicano la larghezza e l'altezza standardizzati del pixel centrale della label che individua la finestra mentre il quinto e il sesto valore indicano la lunghezza e l'altezza standardizzati della label.

Calcolando le coordinate (in pixel) dei quattro vertici della foto si può individuare perfettamente il riquadro, ovvero, il rettangolo che individua la finestra.

Dopo aver individuato i quattro punti tramite un'operazione di proporzione (rispettivamente in quattordicesimi per l'altezza e sedicesimi per la larghezza) si riportano sulla mappa termica per individuare la finestra su quest'ultima.

Rispettivamente i quattro punti sono:

1. $P_1 = (1,52;7,5)$
2. $P_2 = (6,7;7,5)$
3. $P_3 = (1,25;0,05)$
4. $P_4 = (6,7;0,05)$

Di conseguenza unendo i quattro punti sulla mappa termica si ottiene il risultato sottostante.

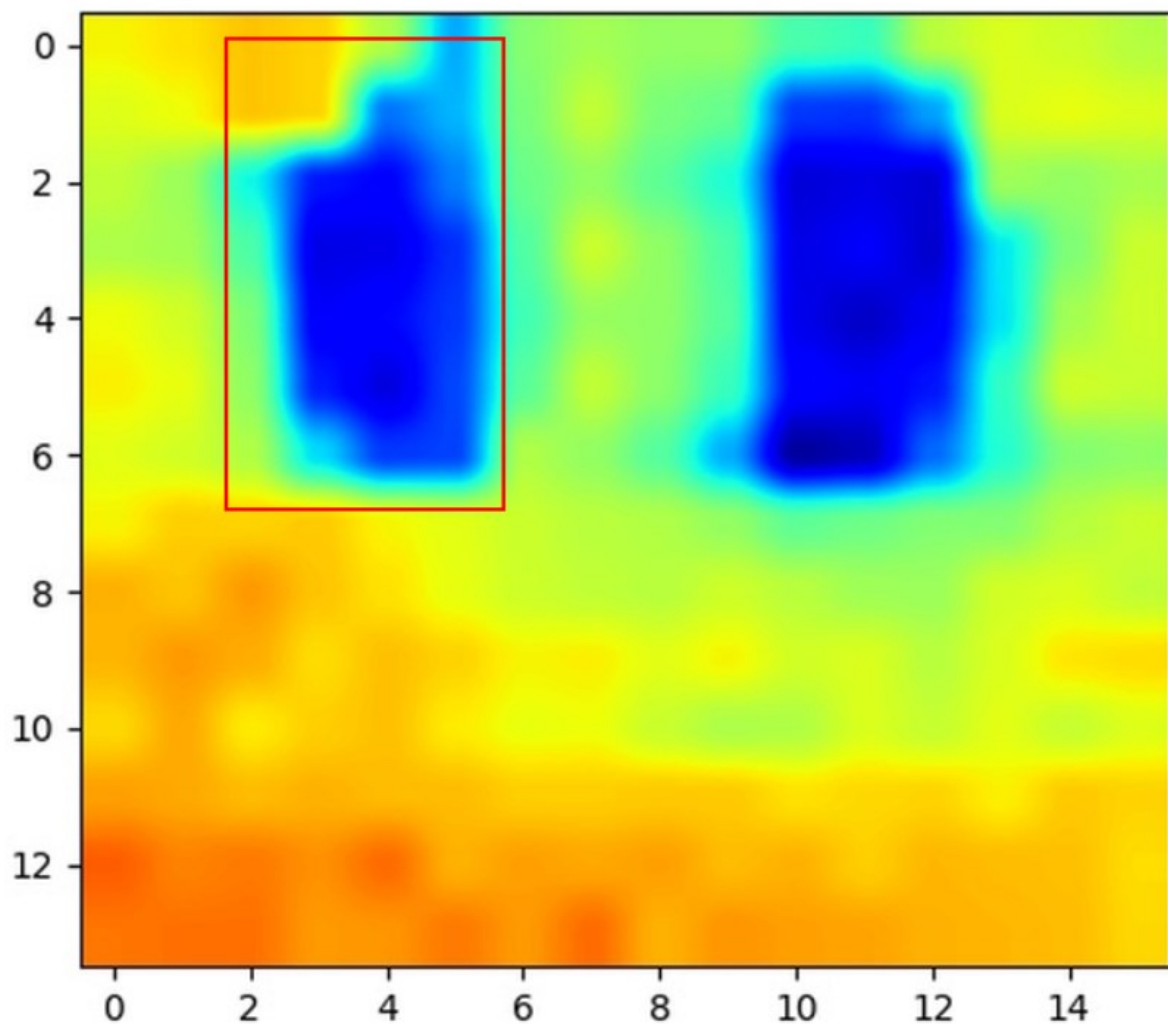


Figura 11-Identificazione della finestra sulla mappa termica

Dopo aver collegato i punti identifico i margini della finestra e quindi identifico con una label la finestra sulla mappa termica.

Osservazione: tale operazione è possibile solo se la foto effettuata e la scansione termica sono sovrapponibili, ovvero, che entrambe siano un'immagine della sola parete.

Infatti, per questo scopo si calcola l'esatta posizione in cui posizionare il sensore affinché si ottenga una scansione della parete senza che ci fossero altre parti della stanza come soffitto o altre pareti non desiderate.

Da evidenziare anche che più l'algoritmo sarà preciso ed efficiente più la label che identifica la finestra riconoscerà meglio la nostra finestra, infatti, utilizzando dataset di finestre di grandi dimensioni (10 mila-20 mila immagini) si potrebbe ottenere un algoritmo più preciso e performante andando ad eliminare e limitare alcuni errori di riconoscimento.

Capitolo 4-Conclusione

In conclusione, nel primo capitolo si è posta l'attenzione sulle caratteristiche del sensore Comfort Eye e si è utilizzato il sensore (con tutti i relativi accorgimenti del caso) per ottenere la scansione termica di una parete.

Nel secondo capitolo invece si è trattato dell'iter che ha portato alla creazione dell'intelligenza artificiale che ha permesso di identificare sulla parete le finestre ponendo l'accento sulle prestazioni e sulla precisione di quest'ultimo.

Infine, l'applicazione dell'algoritmo ha individuato la finestra su una foto della parete e ha permesso di riportare i punti che identificano la finestra sulla mappa termica.

I vantaggi di questo metodo sono:

- La rapidità di applicazione dell'algoritmo nel riconoscere la finestra
- La precisione con cui viene riconosciuta la finestra e di conseguenza la precisione con cui identifico la finestra sulla mappa termica
- Metodologia efficace e di facile implementazione per qualsiasi parete contenente qualsiasi tipo di finestra

Come riportato nel capitolo 2.5 l'algoritmo sviluppato risulta essere molto preciso, infatti, i risultati ottenuti in termini di Precision e Recall sono elevati (circa 0,8 e 0,85) quindi si ottiene un F1 Score di 0,8 (risultato molto vicino a 1).

Nonostante l'algoritmo sia molto preciso difficilmente sarebbe in grado di riconoscere la finestra sulla mappa termica, in quanto, la risoluzione della mappa fornita dal sensore risulta essere troppo bassa affinché l'algoritmo possa riconoscere la finestra.

Per questa ragione il passaggio intermedio di calcolare le coordinate in cui si trova la finestra e di riportarle sulla mappa risulta molto efficace sempre se la scansione e la foto in questione siano riproduzione della medesima parete

Pertanto, l'algoritmo è stato pensato per facilitare l'identificazione della finestra sulla mappa termica in modo da poter 'leggere' la mappa termica in maniera agevole riuscendo a comprendere quali potrebbe essere le problematiche relative a quella parete e in modo da applicare dei modelli per calcolo della trasmittanza

Appendice

Riporto i codici che ho usato su Google Drive per l'allenamento dell'intelligenza artificiale.

```
#Configurazione ambiente di lavoro
```

```
%cd ..
```

```
from google.colab import drive
```

```
drive.mount('/content/gdrive')
```

```
#Iniziamo clonando il repository di YOLOv5
```

```
!git clone https://github.com/ultralytics/yolov5
```

```
# installare le dipendenze necessarie
```

```
pip install -qr requirements.txt
```

```
#Seguire il link sottostante per ottenere il codice di download del dataset da Roboflow
```

```
!pip install -q roboflow
```

```
from roboflow import Roboflow
```

```
rf = Roboflow(model_format="yolov5", notebook="roboflow-yolov5")
```

```
#importare il dataset da Roboflow
```

```
from roboflow import Roboflow
```

```
rf = Roboflow(api_key="0Z2r2fqA8eWDXdvGtQXH")
```

```
project = rf.workspace("univpm-al4ui").project("windows-djkkq")
```

```
dataset = project.version(2).download("yolov5")
```

```
#Questa è la configurazione del modello che useremo per il nostro training
```

```
%cat /content/gdrive/MyDrive/yolov5/yolov5/models/yolov5s.yaml
```

```
#Training Yolov5
```

```
!python train.py --img 416 --batch 16 --epochs 100 --  
data {dataset.location}/data.yaml --cfg ./models/custom_yolov5s.yaml --  
weights '' --name yolov5s_results --cache
```

#Valutazione performance dell'intelligenza artificiale

```
%load_ext tensorboard  
%tensorboard --logdir runsù
```

#Identificazione della finestra con l'algorithmo

```
python detect.py --weights runs/train/yolov5s_results/weights/best.pt -img  
640 --conf 0.4 --source ../test/images
```

Bibliografia e sitografia

- S. Serroni, M. Arnesano, L.Violini,G.M.Revel, «Una soluzione di misurazione IoT per interni continui Monitoraggio della qualità ambientale per la ristrutturazione degli edifici»; review di ACTA IMEKO, marzo 2020 | Volume 9
- Serena Serroni, <<Sviluppo di un sensore IoT per la misura della qualità ambientale interna e delle proprietà termiche dell'edificio>>; tesi di dottorato
- << <https://blog.roboflow.com/training-yolov4-on-a-custom-dataset/>>>[Online]
- <<<https://medium.com/@mahesh.chavan1997/what-is-precision-recall-f1-score-b65b1965804c>>>[Online]
- <<<https://stephenallwright.com/good-f1-score/>>>[Online]
- <<<https://blog.roboflow.com/how-to-train-yolov5-on-a-custom-dataset/>>>[Online]
- <<<https://medium.com/mlearning-ai/training-yolov5-custom-dataset-with-ease-e4f6272148ad>>>[Online]
- <<<https://www.pompeja.it/blog/cos-e-il-comfort-termico-e-come-posso-ottenerlo-nella-mia-casa.html>>>[Online]

Ringraziamenti

Mi sento in dovere di dedicare questa pagina del presente elaborato alle persone che mi hanno supportato nella redazione dello stesso.

Innanzitutto, ringrazio il relatore Revel per avermi proposto l'argomento di tesi e la possibilità di effettuare il tirocinio dal quale ho imparato moltissimo.

Ringrazio moltissimo per il suo aiuto e per aver reso il tirocinio e la stesura di questo elaborato un'esperienza divertente Serena che mi ha aiutato tutte le volte che ne avevo bisogno.

Ringrazio infinitamente mia madre, mio padre e mia sorella per avermi incoraggiato nell'intraprendere e portare a termine questo percorso,

Grazie a tutti i miei colleghi di corso e a tutti miei amici, per aver reso questo percorso indimenticabile.
