

**ALMA MATER STUDIORUM UNIVERSITÀ DI
BOLOGNA**

CAMPUS DI CESENA
SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA
CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA ELETTRONICA E
TELECOMUNICAZIONI

**CARATTERIZZAZIONE E VALUTAZIONE DELLE
PRESTAZIONI DI UNA VENEZIANA FRANGISOLE
INTELLIGENTE**

Elaborato in
Propagazione e campi elettromagnetici

Relatore

Prof. Ing. Vittorio degli Esposti

Correlatore

Ing. Enrico Maria Vitucci

Presentata da

Piero Delfino

Sessione terza
Anno Accademico 2012/2013

Sommario

0. Introduzione.....	4
1. Barriera frangisole intelligente.....	5
1.1 Introduzione.....	5
1.2 Risultati energetici: confronto di risparmio economico tra veneziana intelligente e veneziana a lamelle fisse.....	6
1.3 Controllore EcoShad	7
1.4 Arduino Mega 2560	8
2. Caratterizzazione dei sensori: fotoresistenza e fototransistor	10
2.1 Descrizione dei sensori	10
2.2 Set-up per le misure.....	12
2.3 Caratterizzazione della potenza	14
2.4 Diagramma di ricezione	19
2.5 Sensore di temperatura	21
3. Valutazione dell'entità degli effetti di bordo.....	24
3.1 Introduzione.....	24
3.2 Scenario di input.....	24
3.3 Valutazione dei risultati	25
3.4 Files modificati.....	27
4. Misure dirette sulla veneziana frangisole intelligente	29
4.1 Set-up per le misure.....	29
4.2 Valutazione dei risultati: confronto tra simulazioni e misure dirette.....	30
5. Conclusioni	32
Ringraziamenti	34

0. Introduzione

L'uomo è alla continua ricerca di fonti di energia rinnovabili, tra le quali quella solare, sorgente inesauribile di energia, che viene sfruttata al meglio grazie alle tecnologie ICT (Information and Communication Technology).

Il Sole stesso è per contro causa dell'“isola di calore urbana”, fenomeno dovuto alla continua cementificazione del verde urbano, necessaria alla costruzione di nuovi edifici.

In particolare d'estate, nelle aree urbane si instaura un microclima con temperature anche di molti gradi superiori alle zone rurali circostanti, costringendo gli abitanti all'uso di climatizzatori.

L'utilizzo diffuso e obbligato di questi climatizzatori porta però all'instaurarsi di un circolo vizioso, favorendo ulteriormente il fenomeno dell'isola di calore e causando un'esplosione dei consumi di energia.

Questo studio prende in esame una delle possibili strategie volte a ridurre l'uso dei climatizzatori e del gas per il riscaldamento domestico nei mesi invernali, impiegando veneziane frangisole “intelligenti” alle finestre, al fine di massimizzare la radiazione solare entrante nei periodi più freddi, e riducendo quindi i consumi per il riscaldamento.

Durante i mesi estivi invece, le veneziane frangisole operano limitando il flusso di potenza solare entrante all'interno degli edifici e consentendo quindi un abbassamento delle temperature interne. La regolazione del flusso di potenza entrante viene effettuato agendo sull'angolo di inclinazione delle lamelle della veneziana attraverso il controllore Eco-Shad.

Le lamelle considerate sono sia piane sia curve: entrambe presentano vantaggi e svantaggi.

Il progetto è stato avviato dall'Università di Bologna ed è tutt'ora in fase di realizzazione.

Si sono valutati i benefici ottenibili tramite diverse tipologie di barriere e diversi algoritmi di controllo, in termini di limitazione della potenza entrante dalle finestre, considerando anche la potenza entrante nei mesi invernali, durante i quali il contributo al riscaldamento dovuto alla radiazione solare è senz'altro benvenuto.

Sono state effettuate simulazioni attraverso l'uso del modello deterministico Ray Tracing, “3DSCAT”, sviluppato internamente all'Università di Bologna.

L'obiettivo di questo studio è il contributo alla realizzazione della veneziana frangisole intelligente, attraverso la caratterizzazione dei sensori di temperatura e luminosità e ulteriori simulazioni della veneziana riguardanti gli effetti di bordo.

Successivamente si è proceduto alla misurazione pratica della potenza incidente, con gli opportuni strumenti, per verificare l'accuratezza delle simulazioni e prendere provvedimenti nel caso di riscontri negativi.

1. Barriera frangisole intelligente

1.1 Introduzione



Figura 1.1 Esempio di barriera frangisole

La barriera frangisole è un dispositivo progettato per la riflessione dei raggi solari, installata esternamente all'edificio, con lo scopo di limitare il riscaldamento degli ambienti interni da parte del Sole, onde evitare l'utilizzo di climatizzatori e quindi l'eccessivo consumo di energia elettrica. Nei mesi invernali permette invece di far entrare la luce solare, risparmiando gas (uso limitato dei termosifoni) ed energia elettrica (minor utilizzo di luce artificiale).

Può essere realizzata in diversi materiali, in base alle esigenze e alla disponibilità di capitale necessario alla realizzazione: metallo, cemento armato o legno.

La struttura può essere sia fissa che mobile, con lamelle a orientazione variabile.

È possibile installare pannelli fotovoltaici sulle lamelle per l'auto-

alimentazione, avvalendosi dell'energia rinnovabile del sole.

Il termine 'intelligente' sta ad indicare la capacità della lamelle di orientarsi automaticamente ad un'inclinazione, permettendo la regolazione del flusso della radiazione solare entrante in base alle esigenze di comfort richieste.

Le lamelle considerate sono quelle piane e quelle curve.

Le lamelle piane, grazie alla loro sezione piana, garantiscono che nella maggior parte dei casi la traiettoria di riflessione sia diretta verso l'esterno; al contrario la sezione delle lamelle curve fa sì che in determinate situazioni siano presenti traiettorie della radiazione riflessa verso l'interno dell'edificio.

In compenso, dal punto di vista meccanico, la forma curva garantisce una maggior rigidità della lamella, consentendo di usare spessori minori, con risparmio di materiale, e di avere una maggiore leggerezza.

Sul mercato si possono trovare lamelle di sezione 35 e 50 mm, ma sono disponibili in commercio anche di dimensioni maggiori, fino a 360 mm.

La nostra veneziana frangisole intelligente è comandata dal controllore EcoShad, dispositivo elettronico in grado di controllare l'inclinazione delle lamelle sia in automatico che manualmente.

1.2 Risultati energetici: confronto di risparmio economico tra veneziana intelligente e veneziana a lamelle fisse

Per identificare meglio il motivo della realizzazione della veneziana frangisole intelligente, si sono considerati i benefici economici derivanti dal confronto dei risparmi energetici e del gas con la veneziana a lamelle fisse, a diverse posizioni nei punti cardinali (sud ed est).

Di seguito un esempio di calcolo del risparmio energetico e il grafico inerente ai risparmi, con un rendimento della caldaia pari al 90%, costo energia elettrica pari a 0.2013 €/KWh, costo del gas di 0.465 €/m³ e una resa gas di 10.6 KWh/ m³ (figura 1.2)

$$EER = qc/p \text{ [Btu/Wh]} \quad (\text{Energy Efficiency Ratio})$$

$$qc = \text{cooling energy [Btu/h]} \quad p = \text{power consumption [W]}$$

Il valore di EER generalmente prossimo a 3 è tanto maggiore quanto è minore la differenza fra l'ambiente da raffrescare e l'esterno, oltre i 35°C di temperatura esterna le prestazioni decadono significativamente.

Un EER pari a 4 significa che per ogni KWh elettrico speso, la pompa di calore ne trasferisce 4 KWh di calore all'esterno.

Più è elevato l'EER e maggiore è l'efficienza del climatizzatore, e quindi minori sono i risparmi ottenuti grazie alle barriere frangisole

Il sensore rileva 500 W/m², si suppone che questa sia la potenza moltiplicata per il coseno dell'angolo fra la direzione normale alla finestra e la direzione d'arrivo della radiazione solare.

2 m² di superficie con veneziana

$$500[\text{W/m}^2] * 2 [\text{m}^2] = 1000\text{W}$$

Se la veneziana riflette 80% della radiazione quest'ultima sarà la quantità di energia risparmiata per il condizionamento.

$$800 \text{ W per un'ora} \rightarrow 800 \text{ Wh}$$

$$800 [\text{Wh}] / 3 (\text{EER}) = 267 \text{ Wh risparmiati}$$

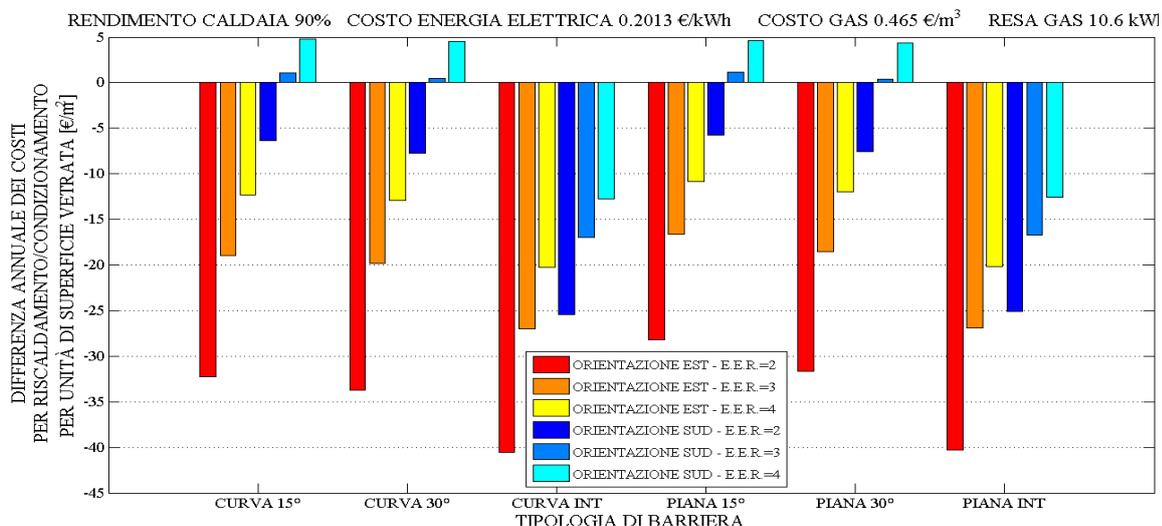


Figura 1.2 Differenze annuali dei costi per riscaldamento-condizionamento per le diverse tipologie di barriere

Si può osservare come nella maggioranza dei casi si abbia una riduzione complessiva dei costi per riscaldamento e condizionamento.

Gli unici casi in cui si ha un aumento dei costi riguardano le barriere fisse orientate a sud in presenza di impianti di condizionamento con un elevato valore dell'EER, nei quali le riduzioni dei costi per condizionamento sono inferiori all'aumento dei costi per riscaldamento

1.3 Controllore EcoShad



Il controllore EcoShad è un dispositivo elettronico in grado di controllare, con un motore di 220 Volt, l'orientazione delle lamelle della veneziana frangisole intelligente, valutando la temperatura esterna e quella interna tramite dei sensori di luminosità e di temperatura.

Figura 1.3 Consolle di comando

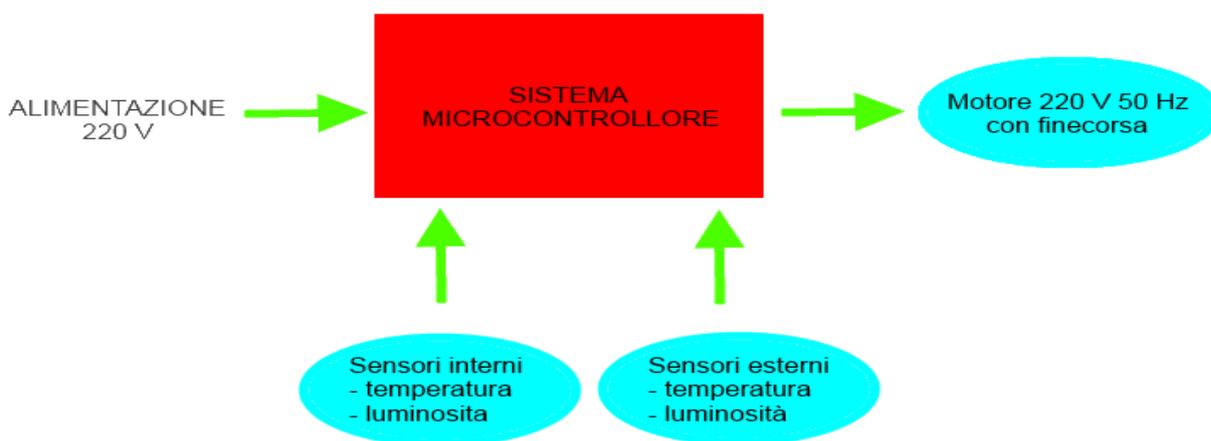


Figura 1.4 Controllore EcoShad

Interfaccia con l'utente mediante una serie di quattro pulsanti e un display lcd 20x4 compatibile Hitachi HD44780 che comunica le possibili opzioni.

Il cuore del sistema è una scheda a microcontrollore Arduino Mega 2560 con input/output sia digitali sia analogici, che permette di leggere i valori rilevati dai sensori esterni ed interni ed azionare il motore per il movimento delle lamelle.

I sensori di luminosità sfruttano una conversione analogica-digitale a 10 bit, a differenza dei sensori di temperatura che sono a 12 bit, per una lettura più precisa.

Le informazioni di temperatura sono filtrate dal software con ampie costanti di tempo (ore/giorni) in modo da garantire stabilità di funzionamento.

Il controllore aziona il motore tramite alimentazione AC su due cavi separati che comandano l'apertura e la chiusura della veneziana.

L'azionamento avviene tramite impulsi con opportune costanti di tempo per evitare sussulti ed è stato necessario dotare la scheda Arduino di un'interfaccia di potenza con relè e filtri anti-disturbo.

Il microcontrollore è stato dotato di un sistema per il rilevamento della posizione della veneziana.

Come già accennato, il dispositivo può funzionare sia in modalità manuale che in automatico, preimpostando la luminosità massima, minima e ottimale, rilevata dai sensori interni ed esterni.

L'utente può scegliere se operare in modalità Eco (ricerca del minimo consumo energetico) o in modalità comfort (ricerca della luminosità ambientale ottima preimpostata).

1.4 Arduino Mega 2560

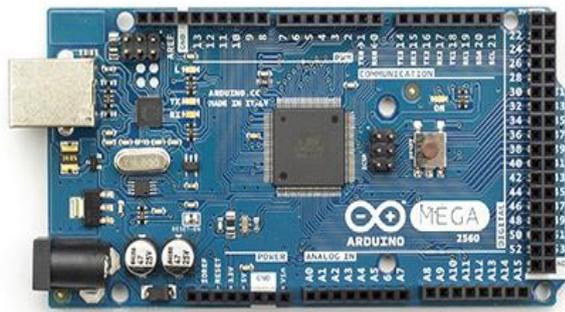


Figura 1.5 Arduino Mega 2560

La scheda Arduino Mega 2560 è il cuore del controllore EcoShad.

Può essere programmato attraverso il software Arduino, direttamente scaricabile dal sito ufficiale, con linguaggio C.

Usa un oscillatore a cristalli a 16 Mhz.

È lungo 4 pollici (10.16 cm) e largo 2.1 (5.334 cm) e quindi ben adattabile grazie alle sue dimensioni ridotte.

1 pollice (in) = 2,54 cm

Per i segnali dei sensori di luminosità e temperatura sono stati usati i pin A2 e A3.

Di seguito è riportata una descrizione sommaria della scheda, anche visibile sul sito ufficiale Arduino.

http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560#.Uxnqs9_57u

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 15 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz

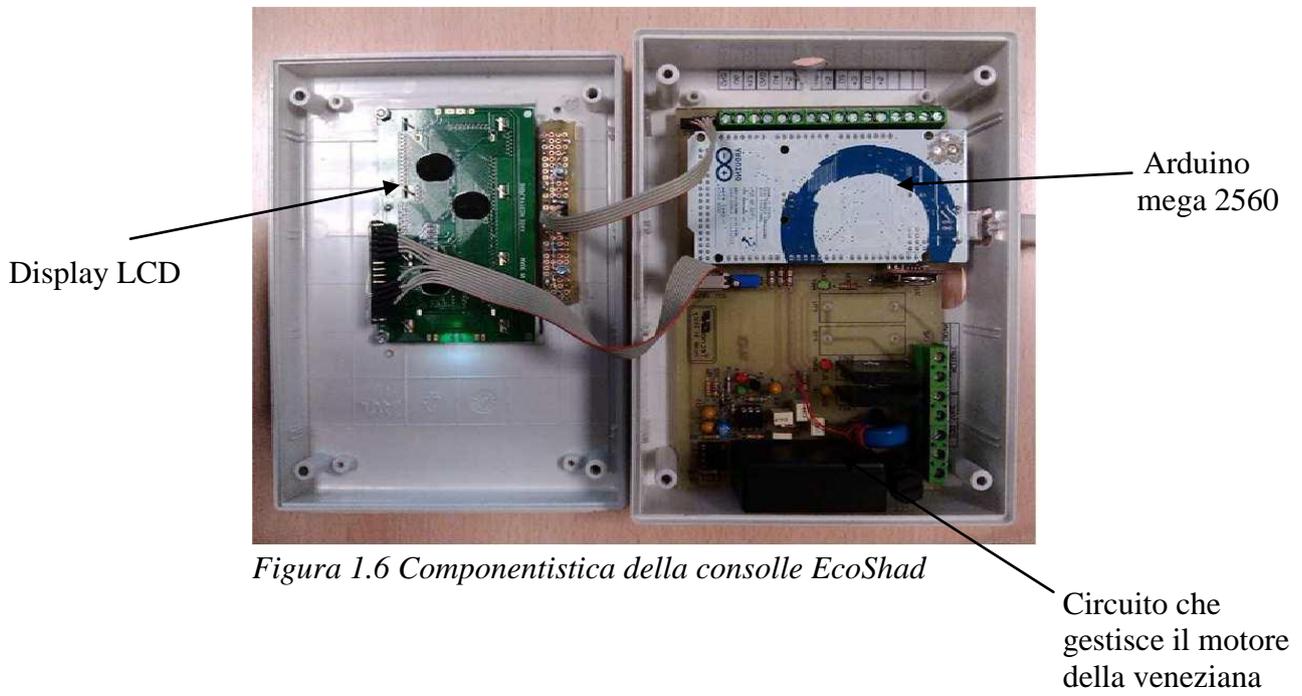


Figura 1.6 Componentistica della consolle EcoShad

2. Caratterizzazione dei sensori: fotoresistenza e fototransistor

2.1 Descrizione dei sensori

La veneziana frangisole intelligente basa il suo funzionamento sul rilevamento della temperatura interna ed esterna da parte dei sensori e, in base alle esigenze dell'utente, orienta le lamelle al fine di limitare o favorire il flusso di radiazione solare.

Essi vengono letti ad intervalli regolari dalla scheda Arduino Mega 2560 attraverso i pin analogi e digitali, con il software delle scheda.

In questo capitolo saranno analizzati i sensori di luminosità e temperatura, caratterizzando la potenza in ricezione e il loro corrispettivo diagramma di ricezione.

I sensori considerati sono: fotoresistenza Norp12 e fototransistor LilyPad Light Sensor.

La fotoresistenza è un componente elettronico, costituito da un partitore resistivo di 10 K Ω e da una resistenza variabile che viene modificata in base alla quantità di luce assorbita.

Viene alimentato a 5 Volt direttamente dal collegamento con la scheda Arduino.

La resistenza varia seguendo l'equazione $R=A \cdot E^{-\alpha}$ dove:

- A è la costante dimensionale che dipende dalla forma fisica del sensore ($1,3 \cdot 10^5/\text{lux}$).
- E è l'illuminamento (flusso luminoso incidente sulla superficie unitaria).
- α è la costante adimensionale minore di 1 che dipendono dalla tecnologia usata per costruire il fotoresistore ($\alpha=0,908$).

Tra i pregi di questa foto resistenza troviamo la robustezza ed economicità, oltre ad un'elevata sensibilità.

Tuttavia soffre di una limitata banda passante, che può causare un allungamento (nell'ordine del secondo) dell'intervallo di tempo necessario a tornare al valore di oscurità (200 Kohm/s).

È stato scelto come sensore interno per la sua forte sensibilità alla luce.

Successivamente verranno caratterizzati il suo diagramma di ricezione e la sua caratteristica di potenza.



Figura 2.1
Fotoresistenza
Norp12

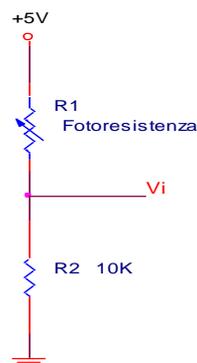
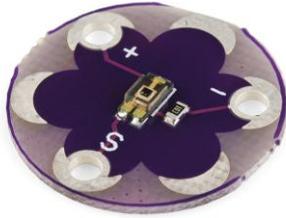
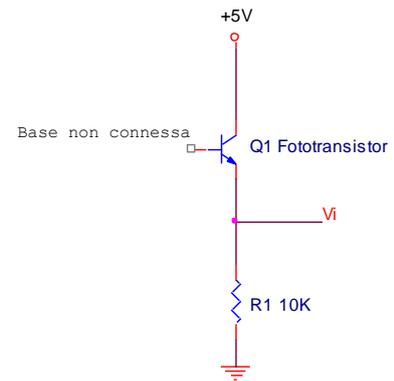


Figura 2.2
Schema
elettrico della
fotoresistenza

Il fototransistor, anch'esso, viene alimentato a 5 Volt direttamente dalla scheda Arduino e, rispetto alla fotoresistenza, è meno sensibile alla luce circostante ma solo alla luce diretta. È composto da un BJT (fototransistor) e da una resistenza di 10 K Ω . Esposto alla luce, da un output di 5 Volt (in situazioni ottimali) ma, normalmente, da un output da 1 Volt a 2 Volt. Ha un diametro di 20 mm e uno spessore di 0.8 mm.



*Figura 2.3
fototransistor LilyPad
Light Sensor*



*Figura 2.4 Schema elettrico
del fototransistor*

2.2 Set-up per le misure

Attraverso le misurazioni effettuate è stato possibile definire quale dispositivo usare internamente e quale esternamente per il corretto funzionamento del nostro sistema.

Nella figura sottostante si può vedere come sono stati allestiti i collegamenti per caratterizzare i sensori.

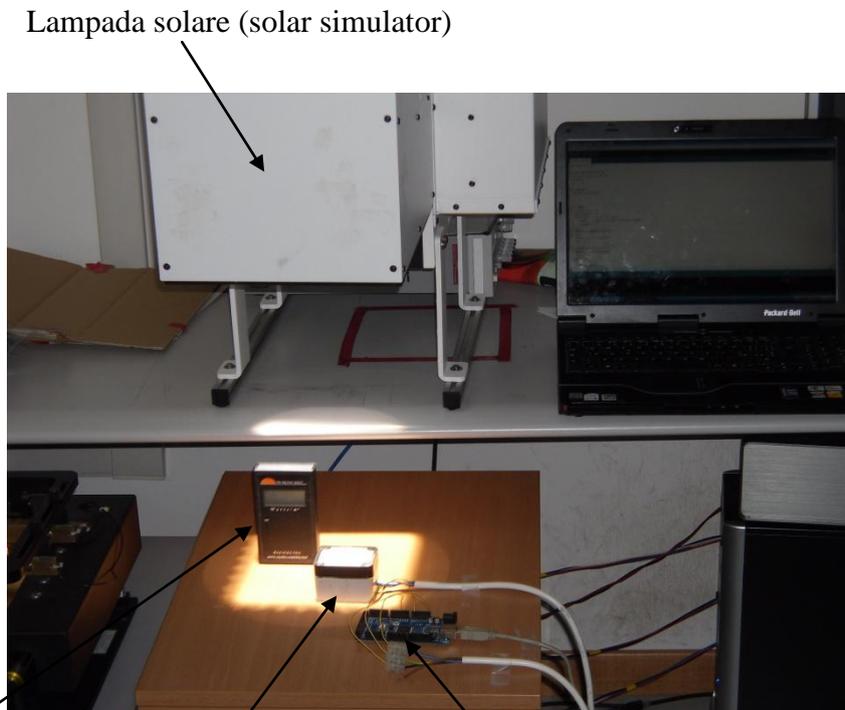


Figura 2.5 Sistema utilizzato per il rilevamento dati

Solarimetro

Involucro con sensore

Scheda Arduino Mega 2560

In laboratorio è stato possibile eseguire le misurazioni mediante l'utilizzo di una lampada solare (solar simulator) in grado di simulare la radiazione emessa dal Sole con una portata compresa fra un valore minimo di 150W ed un massimo di 3KW.

Bisogna però sottolineare l'impossibilità di creare le condizioni di buio totale, per il fatto che, a lampada spenta, i due sensori rilevano comunque un segnale di luminosità dovuto alla luce artificiale dell'ambiente.

Per la raccolta dei dati è stata utilizzata una scheda Arduino Mega 2560 che, opportunamente connessa ai sensori tramite i pin analogici, forniva ai sensori l'alimentazione +5Volt e venivano campionati i dati tramite il software della scheda ad intervalli di tempo regolari.

I sensori (figura 2.6 -2.7) sono stati montati all'interno di un involucro stagno IP65 in policarbonato chiuso da un coperchio sabbato e verniciato più volte di bianco (effetto opaco), che ha permesso di raggiungere una buona sensibilità per il rilevamento, senza raggiungere la saturazione immediatamente.

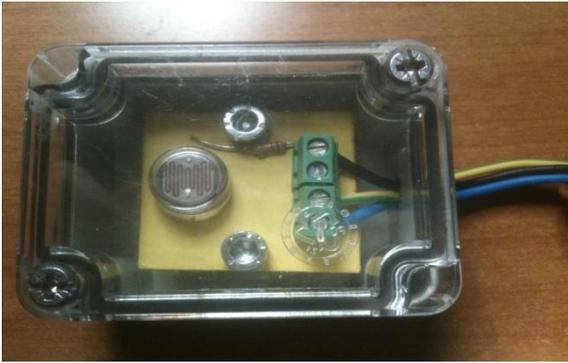


Figura 2.6 Fotoresistenza Norp12 montato all'interno dell'involucro di polycarbonato

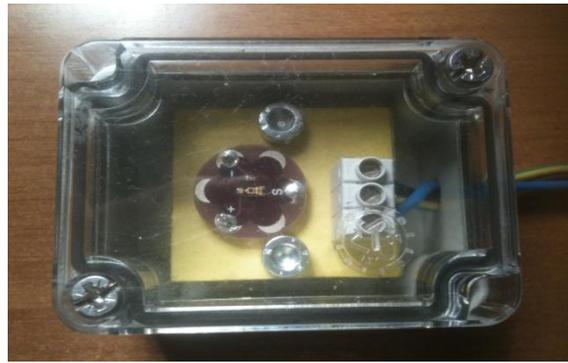


Figura 2.7 Fototransistor Lilypad montato all'interno dell'involucro in polycarbonato.

Durante lo svolgimento delle misure si è ricorso anche all'impiego di un altro dispositivo noto come solarimetro, in grado di rilevare valori di luminosità incidente compresi fra 0 W/m^2 e 1200 W/m^2 , permettendoci una comparazione con i dati campionati.

Il solarimetro effettua le misure grazie ad una cella fotovoltaica in silicio policristallino, usata come sensore e posizionata in cima al dispositivo, dietro ad un diffusore in plastica.

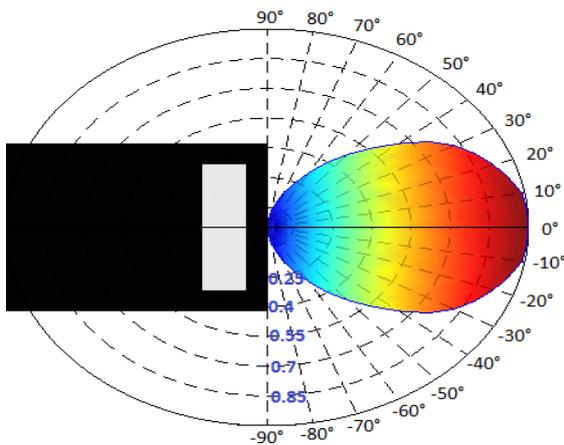


Figura 2.8 Diagramma di ricezione del solarimetro parallelo al display

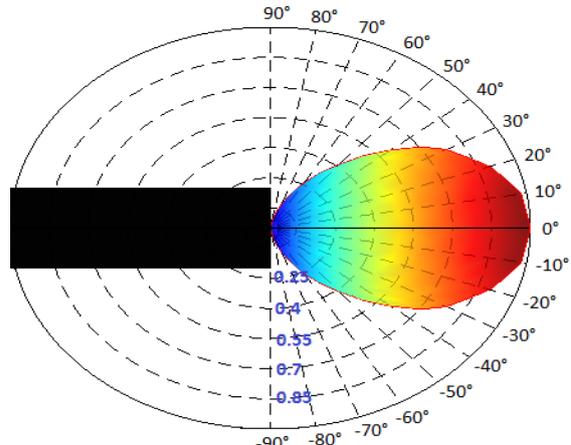


Figura 2.9 Diagramma di ricezione del solarimetro ortogonale al display

2.3 Caratterizzazione della potenza

Per poter meglio caratterizzare in potenza i due sensori, sono state effettuate delle misure preliminari di attenuazione su vari fogli di diverso grado di opacità, acquistati in cartoleria, per poterli utilizzare nel processo di misura, al fine di impedire la ricezione della luce diffusa da parte dei sensori.

Per le misure delle attenuazioni si è usato il solarimetro come potenza di riferimento.

Di seguito è mostrata la variazione della capacità di attenuazione dei fogli in funzione del numero di fogli sovrapposti.

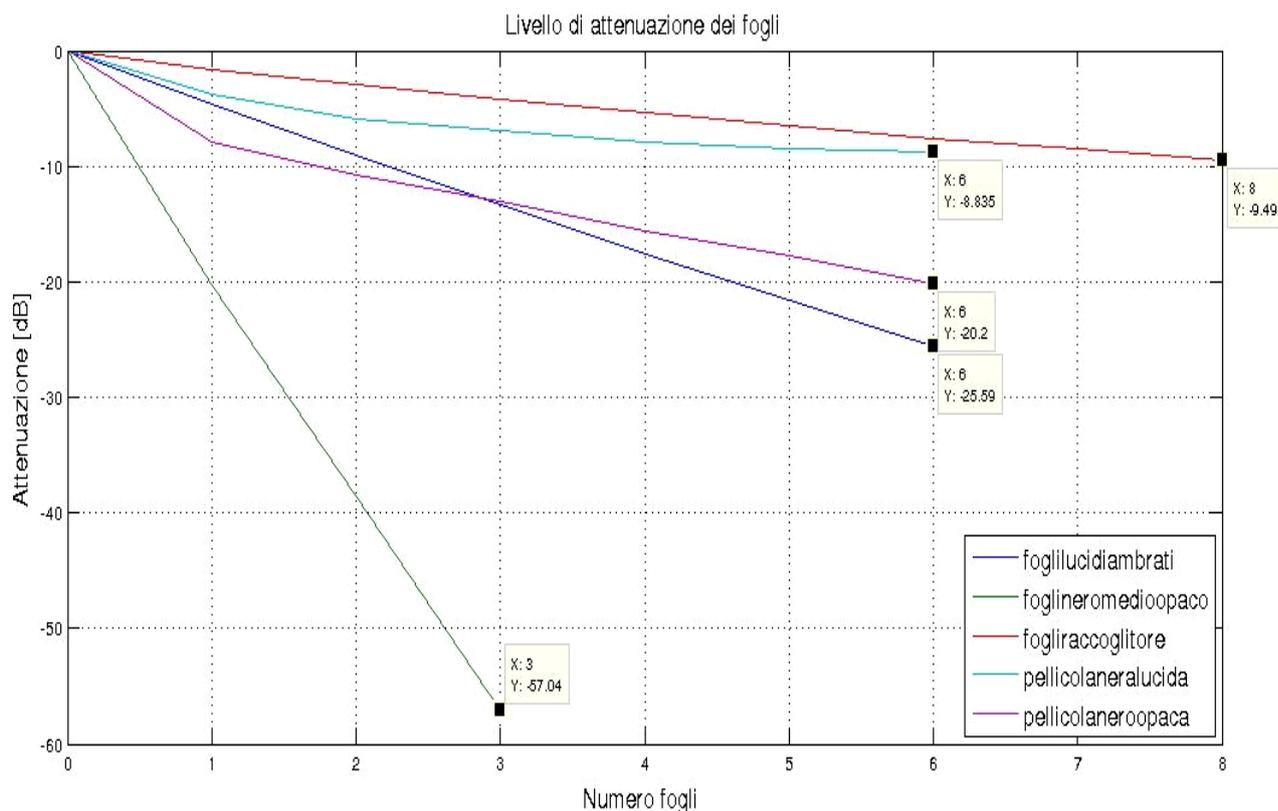


Figura 2.10 Livello di attenuazione dei fogli

Inizialmente è stata operata una caratterizzazione della potenza del fototransistor, posizionato al di sotto della lampada solare (figura 2.5), schermato con un foglio nero medio-opaco e due fogli di pellicola nera-lucida, con attenuazione totale di -25,2632 dB, al fine di impedire la ricezione della luce diffusa già presente nel laboratorio nonostante le luci spente (figura 2.11).



L'intensità luminosa emessa dalla lampada può essere variata modificando l'intensità di corrente, rilevando con il solarimetro un range di valori da 425 W/m^2 (minimo) a 1200 W/m^2 (massimo). Raggiunto il valore massimo, la capacità di ricezione del fototransistor raggiunge la saturazione.

Per poter meglio caratterizzare il fototransistor, partendo da valori minori di 425 W/m^2 , sono state inserite delle griglie di attenuazione all'interno del simulatore, tra le quali la prima attenua il 67% (griglia del 33%), mentre la seconda del 50% (griglia del 50%).

Figura 2.11 Involucro con fogli attenuatori

Questa modifica ha portato ad un ampliamento del range di potenza con valori compresi fra 100 W/m^2 e 1000 W/m^2 .

Quindi, partendo dal valore 100 W/m^2 fino al valore 1000 W/m^2 , con passo di 50 W/m^2 (tutto con l'ausilio del solarimetro e variando l'intensità luminosa della lampada), sono stati letti i corrispettivi valori campionati dall'Arduino.

La caratteristica ottenuta per il fototransistor (figura 2.12) mostra un andamento lineare, che saturando ad un valore di 1200 W/m^2 , lo rende un buon dispositivo per il rilevamento esterno della luminosità.

Di seguito si riportano i diagrammi della caratteristica di potenza del fototransistor, valutato sia dal punto di vista del campionamento sia nel corrispettivo valore in Volt, considerando che a 5 V corrisponde il valore campionato di 1024 (valore letto dal software della scheda Arduino).

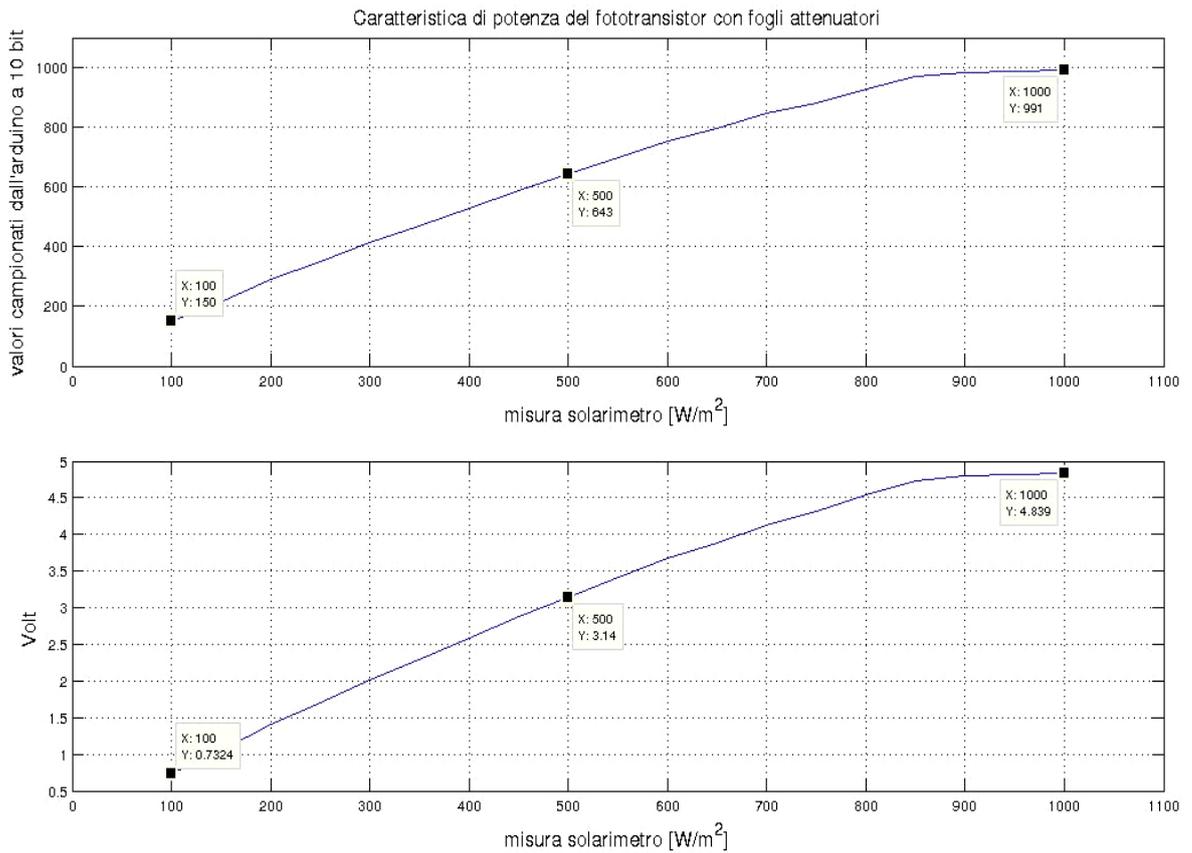


Figura 2.12 Caratteristica di potenza del fototransistor



Figura 2.13 Involucro con schermatura bianca

Precedentemente alla caratterizzazione del fototransistor con l'uso dei fogli attenuatori, è stata usata una schermatura composta da un solo foglio bianco, ben adattata all'involucro (figura 2.13), e ricavato il corrispettivo diagramma di potenza (figura 2.14)

La scelta di utilizzare dei fogli attenuatori è dovuta all'elevata sensibilità della fotoresistenza alla luce indiretta, luce non schermata sufficientemente da un solo foglio bianco.

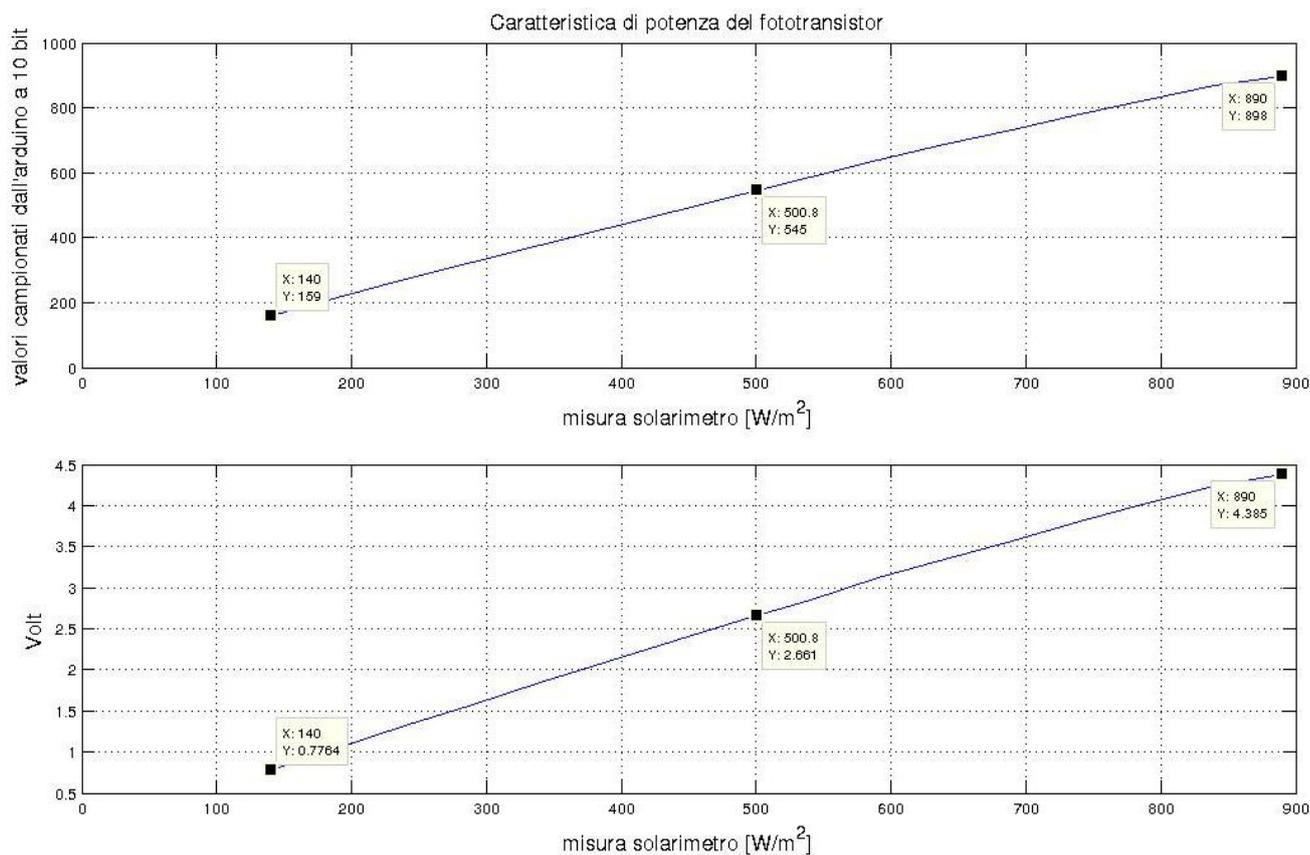


Figura 2.14 Caratteristica di potenza del fototransistor con foglio bianco

Per quanto riguarda la fotoresistenza, è stato possibile creare una caratteristica della potenza anch'esso con l'ausilio di fogli, schermando l'involucro in policarbonato, poiché il sensore, data la sua elevata sensibilità, rilevava valori di tensione anche in presenza di luce debolissima.

Quindi, dopo aver ben schermato l'involucro con tre fogli di colore medio-opaco, attenuando la potenza ricevuta di -57,04 dB, è stato possibile ottenere la sua caratteristica di potenza con lo stesso procedimento effettuato per il fototransistor, usando le griglie attenuanti del 23%, 33%, 50% e 73%, partendo da un valore di 80 W/m² fino ad un massimo di 980 W/m².

Di seguito si riporta il grafico della caratteristica in potenza della fotoresistenza.

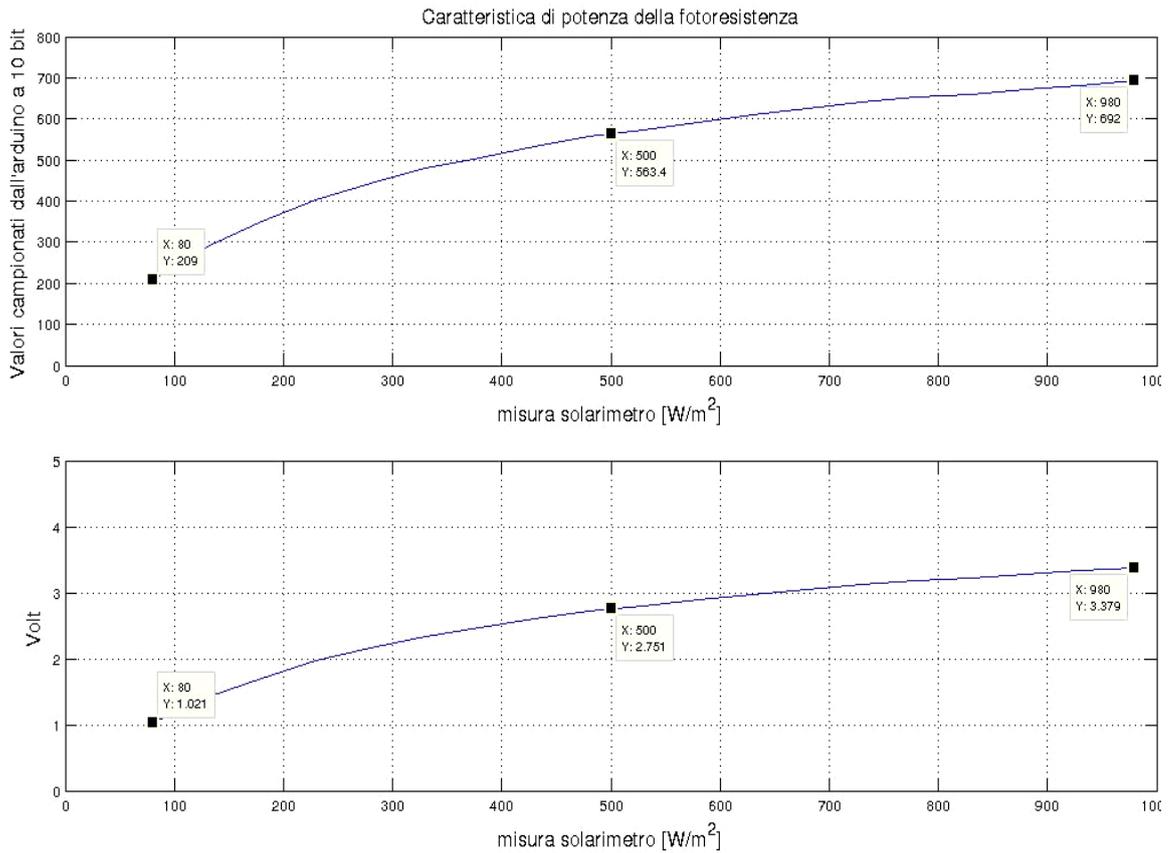


Figura 2.15 Caratteristica di potenza della fotoresistenza

In entrambi i grafici sono stati marcati il valore minimo, massimo e il valore 500 W/m^2 . Come si può notare, la fotoresistenza giunge a saturazione molto più velocemente rispetto al fototransistor, poiché, come spiegato in precedenza, è molto più sensibile a bassi valori di luce incidente.

2.4 Diagramma di ricezione

Sono state svolte misure per la caratterizzazione del diagramma di ricezione dei due sensori. Per fare ciò, si è scelto di usare una schermatura semplice costituita solamente da un foglio bianco montato all'interno dell'involucro ed è stata utilizzata una base in legno, precedentemente costruita ed utilizzata per la caratterizzazione del diagramma di ricezione del solarimetro, sulla quale è stata montata una semplice cerniera che ha permesso di svolgere misure fra 0° e 180° con risoluzione di 5° (in realtà le misure rilevate sono fra 0° e 90° , dato che la seconda parte di grafico presenta simmetria rispetto alla prima).

I rilevamenti sono stati svolti considerando l'asse Y (figura 2.16) e l'asse X ruotato di 90° .

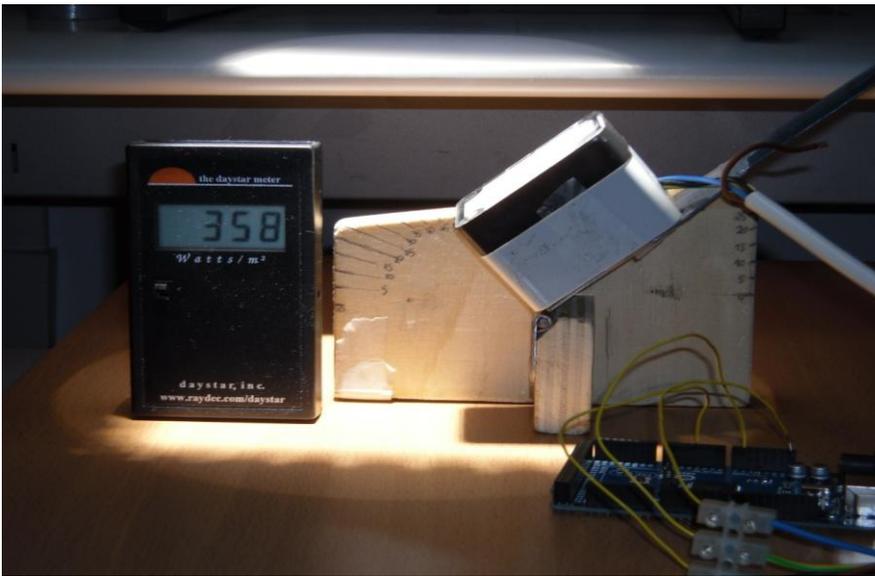


Figura 2.16 Set-up per il diagramma di ricezione dei sensori

Variando di ogni 10° l'inclinazione del sensore, abbiamo rilevato i valori campionati e ricavato il diagramma di ricezione di ciascun sensore.

Di seguito si riportano i diagrammi di ricezione dei due sensori, confrontati con il diagramma Lambertiano (in verde).

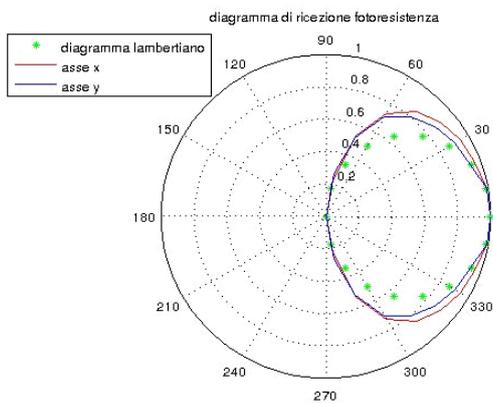


Figura 2.17 Diagramma di ricezione della fotoresistenza

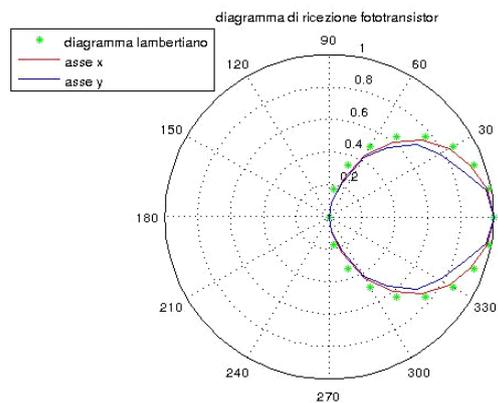


Figura 2.18 Diagramma di ricezione del fototransistor

Si può notare che il fototransistor ha un diagramma di ricezione molto più direzionale rispetto a quello della fotoresistenza, che diversamente ha un diagramma di ricezione più esteso e quindi utile per la ricezione di luminosità proveniente da più direzioni.

Per quanto riguarda i sensori di luminosità da utilizzare nella veneziana frangisole intelligente si è giunti alla decisione di montare esternamente il fototransistor, pertanto si è ricorso all'impiego di un involucro in policarbonato e di un vetrino opportunamente modificato per evitare la saturazione del sensore.

Si è inoltre sfruttata la forte direzionalità in ricezione del componente.

Internamente invece si utilizzerà la fotoresistenza, avendo questa dato miglior risultati in ambiente indoor nella la ricezione della luminosità.

2.5 Sensore di temperatura

Si è voluto analizzare nel suo complesso il sistema esterno, ovvero il fototransistor più il sensore di temperatura, anche in questo caso con l'ausilio della lampada solare.

Come sensore di temperatura si è scelto di usare il sensore digitale DS18B10 prodotto dalla Maxim, inserito in un contenitore a tenuta stagna e completo di cavo a tre fili.

Il dispositivo ha un range di temperatura compreso tra -55°C e 125°C con una precisione di $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ed una risoluzione impostabile da 9 e 12 bit.

Ogni sensore possiede un numero seriale a 64bit che permette di utilizzare più sensori sulla stessa linea di comunicazione.

Per il funzionamento non sono richiesti componenti esterni.

Oltre alla modalità di alimentazione normale, che prevede l'utilizzo di tre fili, è possibile sfruttare un'altra utile modalità di alimentazione parassita, la quale consente di prelevare la tensione di alimentazione direttamente dalla linea dati e di ridurre quindi a due il numero di collegamenti necessari.

La sonda ha un diametro di 7 mm.



Figura 2.19 Sensore digitale di temperatura DS18B10



Figura 2.20 Fototransistor con sensore di temperatura

Di seguito viene graficata la caratteristica del fototransistor con il sensore di temperatura, a radiazione fissa di 800 W/m^2 .

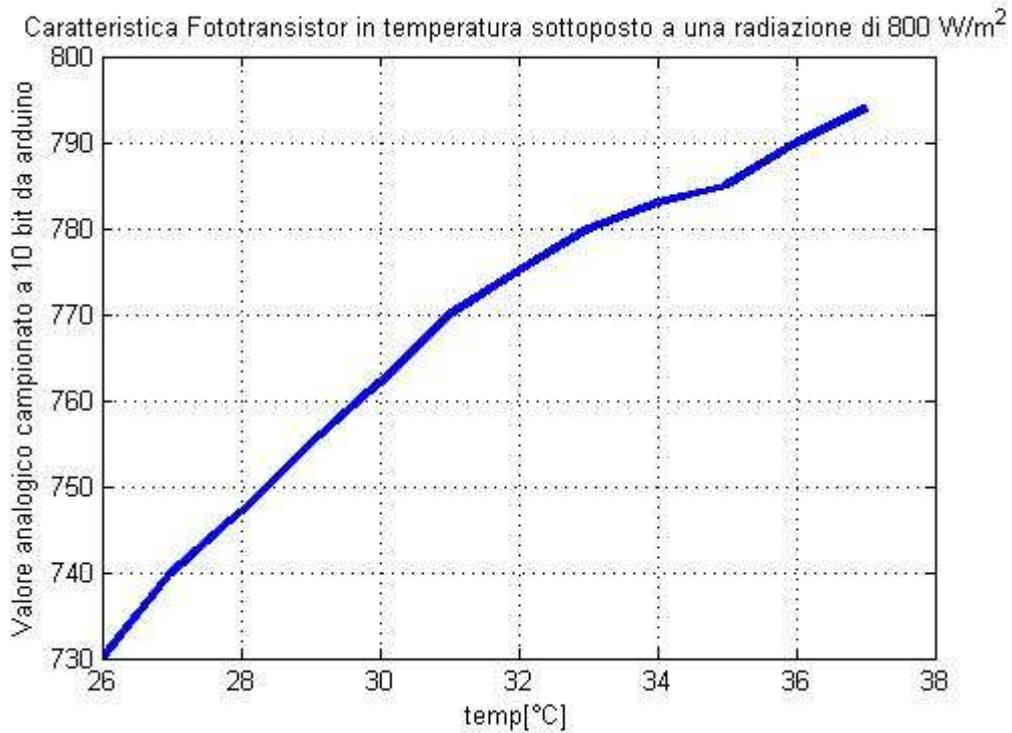


Figura 2.21 Caratteristica del fototransistor con il sensore di temperatura

Nel grafico si può vedere come l'involucro, sottoposto alla stessa intensità luminosa per un certo tempo, veda aumentare la sua temperatura interna.

L'aumento di temperatura va a modificare il valore fornito dal sensore di luminosità, si ha infatti un aumento del segnale rilevato all'aumentare della temperatura.

Alla luce di questo, potrebbe essere necessario ridurre l'aumento di temperatura mediante il passaggio di aria all'interno dell'involucro (figura 2.22).

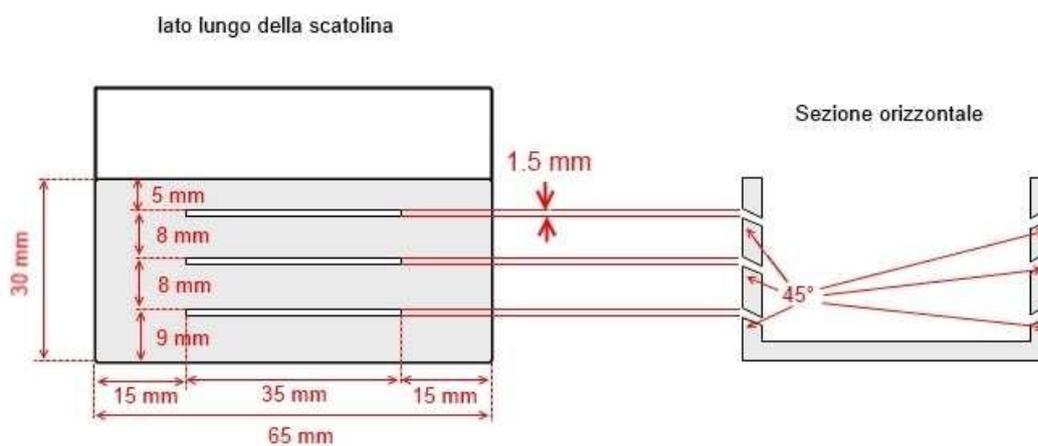


Figura 2.22 Modifica dell'involucro

Allo scopo di far funzionare al meglio il sensore sono da rispettare i seguenti accorgimenti:

- Il sensore di temperatura deve rimanere protetto dalla luce diretta, con l'involucro esterno preferibilmente opaco e bianco, in modo da assorbire meno calore dalla radiazione solare.
- Dato che il sensore va montato a muro, deve essere protetto dall'effetto delle correnti laminari ascendenti superficiali che si creano sulla superficie dei muri, praticando una sagomatura dell'involucro sulla parte bassa.
- È necessario creare un circolo d'aria che annulli il problema del surriscaldamento. Risulta utile porre delle fessure ai lati dell'involucro per far circolare l'aria, sempre limitando al massimo l'ingresso della luce.

3. Valutazione dell'entità degli effetti di bordo

3.1 Introduzione

Nella quantificazione della potenza filtrata attraverso la veneziana frangisole intelligente, si è voluto determinare se gli effetti di bordo, ossia la radiazione ricevuta sui bordi esterni della veneziana, influenzassero in modo considerevole l'efficienza della veneziana stessa, implementando, in caso affermativo, ulteriori sensori nelle misure pratiche su di essa.

Per fare ciò, si è valutata, con l'ausilio del software MATLAB, la potenza ricevuta dalla veneziana, variando nella simulazione sia l'orientazione delle lamelle curve che l'angolo di incidenza dei raggi solari.

La simulazione è stata eseguita grazie all'uso del modello deterministico Ray Tracing, utilizzando l'algoritmo 3DSCAT, basato sul calcolo del percorso fatto dalla luce, seguendone i raggi attraverso l'interazione con le superfici.

Il Ray Tracing tiene conto delle caratteristiche geometriche ed elettromagnetiche dello scenario, consentendo una stima accurata del campo in prossimità del ricevitore in tutti i punti d'interesse nella simulazione della veneziana.

L'algoritmo 3DSCAT usa un approccio 3D, pensato per lo studio della propagazione indoor.

3.2 Scenario di input

Tenendo presenti i files di input e Ray Tracing già esistenti per la simulazione della veneziana, si è triplicato l'array di ricezione (posto inizialmente al centro, dietro la veneziana) e li si è aggiunti ai bordi per il successivo ricalcolo della potenza ricevuta.

L'array è stato pensato come un bastoncino alto 22,30 cm, distante dal suolo di 11,97 cm, con base quadrata di lato 0,01 cm, dove sono posti 1030 ricevitori.

Si è considerato la direzione dei raggi solari diretti a 45° rispetto all'orizzonte e l'orientazione delle lamine a 0° , cioè parallele all'orizzonte, 45° e 315° (-45° , orientate parallelamente alla direzione dei raggi solari).

Si è anche scelto le date in cui compiere le simulazioni, dato che, per ogni stagione, la potenza della radiazione solare cambia, passando da una potenza maggiore nei mesi estivi, nei quali la Terra si trova nel punto più vicino al Sole, chiamato perielio, e diminuendo fino ad arrivare alla potenza minima dei mesi invernali, durante i quali la Terra si trova alla distanza massima dal Sole, nel punto chiamato afelio.

Le date scelte per le simulazioni sono state il 15 marzo, il 15 luglio e il 15 dicembre, poiché considerati i giorni di media, massima e minima potenza ricevuta dalla Terra.

Quindi, la simulazione è stata effettuata in questi tre giorni, considerando le diverse angolazioni delle lamelle, con uno e tre array di ricezione (uno centrale e due ai bordi).

Di seguito si può visualizzare la veneziana in 3D (figura 3.1) e viste dall'alto con tre array (figura 3.2), simulate in MATLAB.

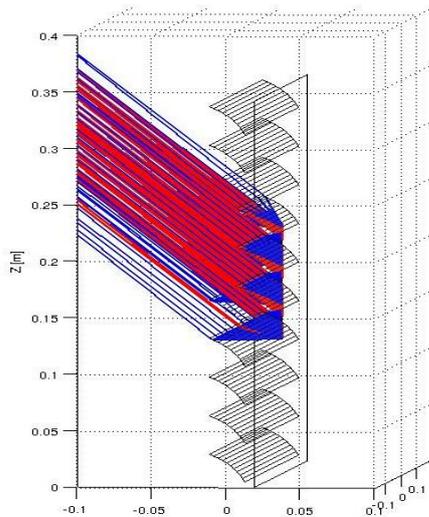


Figura 3.1 Veneziana frangisole vista in 3D

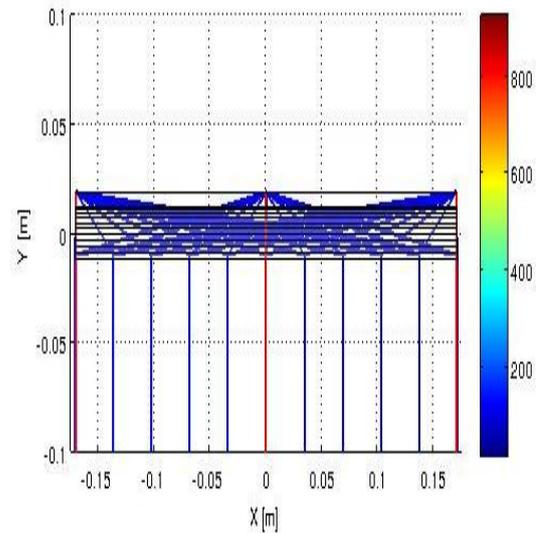


Figura 3.2 Veneziana frangisole vista dall'alto con 3 array di ricezione

3.3 Valutazione dei risultati

Inizialmente si è calcolata la potenza ricevuta con un'array di ricezione per i tre giorni (15 Marzo, 15 Luglio, 15 Dicembre) con angolazioni delle lamelle predefinite e, successivamente, si è riefettuato il calcolo della potenza, dopo aver modificato i files di input per il RayTracing. Eseguendo le simulazioni e valutando i risultati elaborati dal software, si è arrivati alla conclusione che gli effetti di bordo (la potenza ricevuta sui bordi della veneziana) non influenzano il calcolo della potenza ricevuta, cioè la differenza tra potenza ricevuta da un array di ricezione e tre array di ricezione è quasi nulla.

Si riportano di seguito i grafici che confrontano la potenza ricevuta con un array di ricezione e tre array di ricezione, di ogni specifico giorno, considerando tutte e tre le orientazioni delle lamelle ($0^\circ, 45^\circ, 315^\circ$).

In ascissa sono riportate le angolazioni della lamelle della veneziana e in ordinata la potenza incidente.

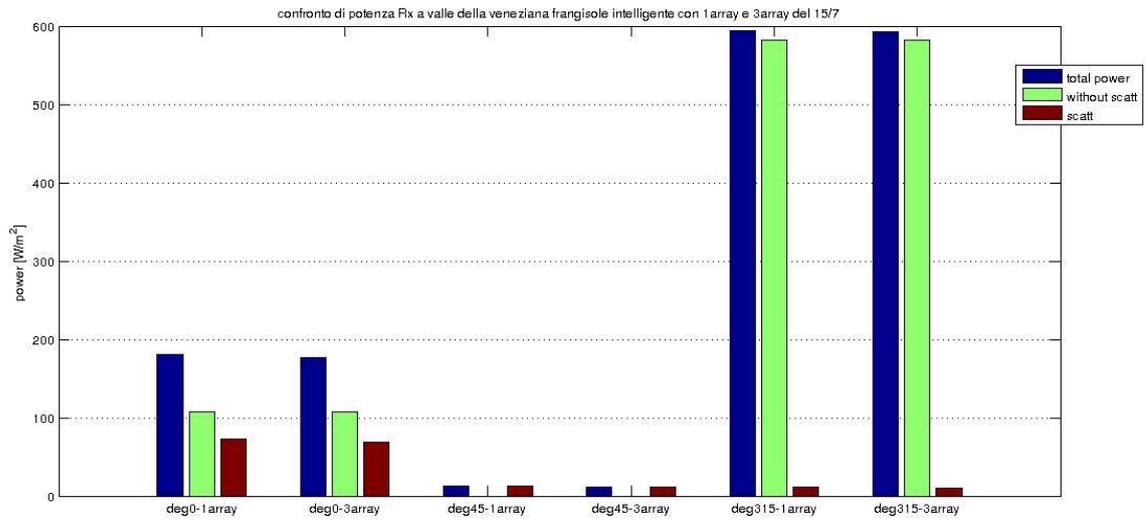


Figura 3.3 Confronto di potenza Rx relativa al giorno 15/7 (potenza massima)

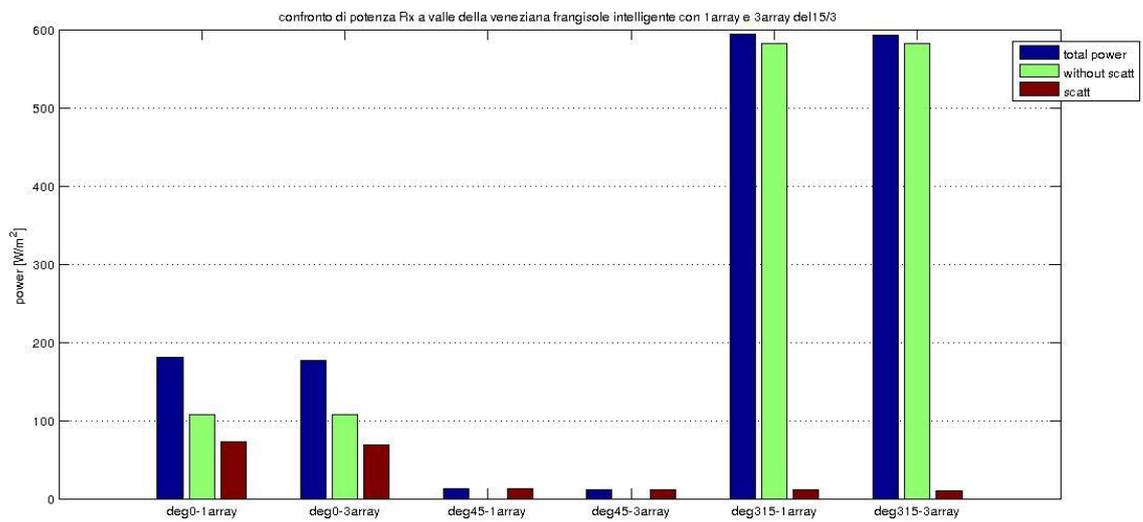


Figura 3.4 Confronto di potenza Rx relativa al giorno 15/3 (potenza media)

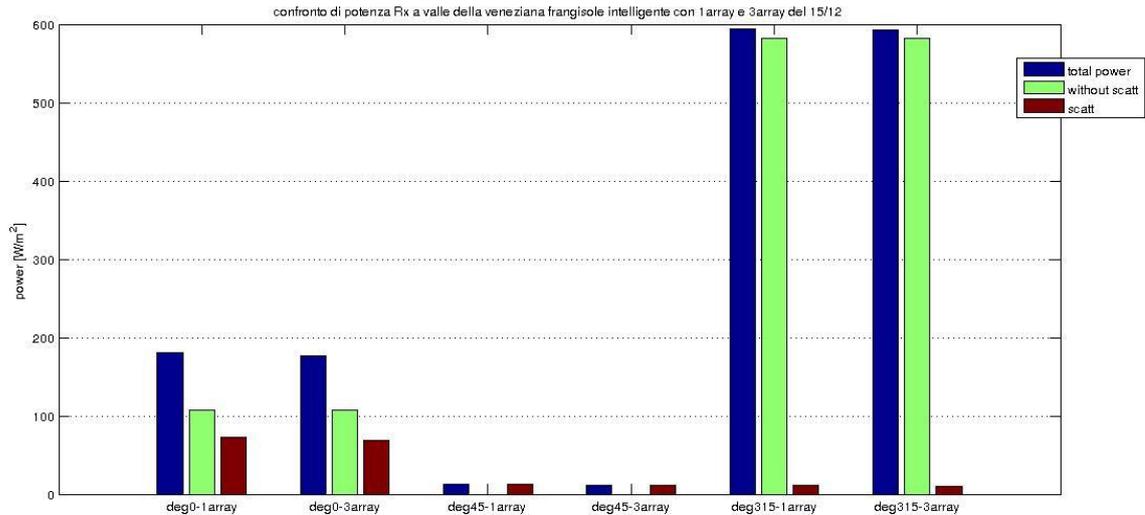


Figura 3.5 Confronto di potenza Rx relativa al giorno 15/12 (potenza minima)

Dopo avere constatato che gli effetti di bordo non sarebbero andati ad influenzare la potenza ricevuta dalla veneziana, si è proceduto con le misure dirette su di essa: è stato utilizzato il fototransistor come sensore esterno, per avere una stima della radiazione solare, ed interno, campionando a valle dalla veneziana a distanza prestabilita.

3.4 Files modificati

Si riportano i files modificati nel ricalcolo della potenza ricevuta con tre array di ricezione (nei files di input iniziali veniva considerato solo una parete)

1) Barriere_sud_curve_floor.txt (distanza dal pavimento)

```
1 "Parete" 0.11970"
2 "Parete" 0.11970"
3 "Parete" 0.11970"
```

2) Barriere_sud_curve_habitation.txt (posizione degli array)

```
1 "Parete" 5
-0.00005 0.01910
0.00005 0.01910
0.00005 0.01920
-0.00005 0.01920
-0.00005 0.01910
```

2 "Parete" 5
 -0.17005 0.01910
 -0.16995 0.01910
 -0.16995 0.01920
 -0.17005 0.01920
 -0.17005 0.01910

3 "Parete" 5
 0.16995 0.01910
 0.17005 0.01910
 0.17005 0.01920
 0.16995 0.01920
 0.16995 0.01910

3) Barriere_sud_curve_roof_rel.txt (lunghezza del bastoncino, dove vengono considerati i ricevitori)

1 "Parete 0.22230"
 2 "Parete 0.22230"
 3 "Parete 0.22230"

4) Barriere_sud_curve_walldata.txt (area della base del bastoncino)

1 "Parete 00006"
 -1 0.000001 0 0 0.0 0.0 0.0
 0.00010 0.000001 0 0 0.0 0.0 0.0
 -1 0.000001 0 0 0.0 0.0 0.0
 -1 0.000001 0 0 0.0 0.0 0.0
 -1 0.000001 0 0 0.0 0.0 0.0
 -1 0.000001 0 0 0.0 0.0 0.0

2 "Parete 00006"
 -1 0.000001 0 0 0.0 0.0 0.0
 0.00010 0.000001 0 0 0.0 0.0 0.0
 -1 0.000001 0 0 0.0 0.0 0.0
 -1 0.000001 0 0 0.0 0.0 0.0
 -1 0.000001 0 0 0.0 0.0 0.0
 -1 0.000001 0 0 0.0 0.0 0.0

3 "Parete 00006"
 -1 0.000001 0 0 0.0 0.0 0.0
 0.00010 0.000001 0 0 0.0 0.0 0.0
 -1 0.000001 0 0 0.0 0.0 0.0
 -1 0.000001 0 0 0.0 0.0 0.0
 -1 0.000001 0 0 0.0 0.0 0.0
 -1 0.000001 0 0 0.0 0.0 0.0

4. Misure dirette sulla veneziana frangisole intelligente

Dopo aver caratterizzato i due sensori, fototransistor e fotoresistenza, ricavando la caratteristica in potenza e il corrispettivo diagramma di ricezione, e dopo aver verificato che gli effetti di bordo non influenzano la potenza ricevuta a valle della veneziana, attraverso una simulazione in ambiente MATLAB, in questo capitolo sono valutate le misure dirette sulla veneziana, di larghezza 150 cm e altezza 90 cm, e confrontati i risultati con quelli simulati.

Sono utilizzati due fototransistor come sensori interno ed esterno per un confronto dei risultati sullo stesso punto di riferimento, per ogni inclinazione delle lamelle prestabilite.

Le misure sono state eseguite di mattina, dalle 10:30 circa fino alle 11:30 circa, del giorno 14/2/2014.

Sono state effettuate misure con l'ausilio del box in polistirolo, ricoperto all'interno con fogli neri per l'assorbimento della luce ed evitando le riflessioni interne, schermato così il sensore interno dalla luce artificiale circostante, e senza box, per poi verificare se tale luce influenzasse la ricezione.

4.1 Set-up per le misure



Figura 4.1 Sensore montato all'interno dell'involucro in policarbonato schermato con i fogli attenuatori

Per il campionamento della luce solare, si è posto un fototransistor all'esterno dell'edificio, sempre vicino alla veneziana, e l'altro fototransistor all'interno della stanza, dietro alla veneziana e ad un vetro con attenuazione di $-2,85$ dB, all'interno del box in polistirolo, ad una distanza di 20 cm da essa.

Entrambi i sensori all'interno dell'involucro in policarbonato, sono stati schermati da un foglio medio-opaco e due fogli lucidi ambrati, con un'attenuazione totale di $-25,2632$ dB (vedi capitolo 2.3 - Caratterizzazione della potenza).

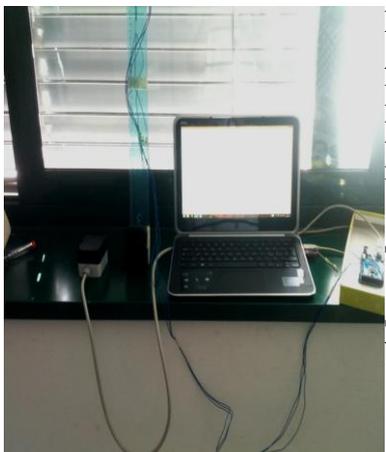


Figura 4.2 Collegamento PC - scheda Arduino Mega 2560 - sensori

Per il campionamento della luce, sono stati collegati alla scheda Arduino Mega 2560, che a sua volta è stata connessa al computer per la lettura dei campionamenti esterni ed interni.

Il segnale del sensore esterno è stato collegato al pin A3 e quello interno al pin A2.

Si è deciso di effettuare le misure per angolazioni delle lamine a 0° , 15° , 30° , 45° , -15° (345°), -30° (330°), -45° (315°).

Si è considerato senso positivo quando le lamine si chiudono verso il basso.



Figura 4.3 Box in polistirolo con sensore interno

Posizionando il sensore interno ad un'altezza pari al centro della veneziana, si è proseguito con il campionamento interno e, con passo di 1 cm, sono stati effettuati ventuno campionamenti per una stima media delle misure.

Il sensore esterno è stato solamente fissato alla parete, poiché utilizzato solo come punto di riferimento.

Eseguiti i ventuno campionamenti per ogni angolazione delle lamelle, sono state compiute le stesse misure senza il box in polistirolo, ad una distanza di 30 cm dalla veneziana.

4.2 Valutazione dei risultati: confronto tra simulazioni e misure dirette

In seguito alle relative misure, si è proseguito alla loro valutazione, confrontandole con quelle simulate, eseguendole per lo stesso giorno, la stessa altezza del sole e le stesse angolazioni delle lamelle ($0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, -15^\circ, -30^\circ, -45^\circ$), riferendosi alla città di Cesena, poiché ogni città si trova a latitudine diversa.

Considerando che le misure sono state effettuate dalle 10:30 alle 11:30 circa, sono stati cambiati vari parametri nei files per la simulazione, rispettando l'orario di campionamento e il coefficiente di conducibilità del vetro pari a 0.5 (attenuazione pari a -3 dB), per ottenere dei valori simili a quelli reali.

Di seguito si riportano i valori simulati per il giorno 14/2 a diversa inclinazione delle lamelle.

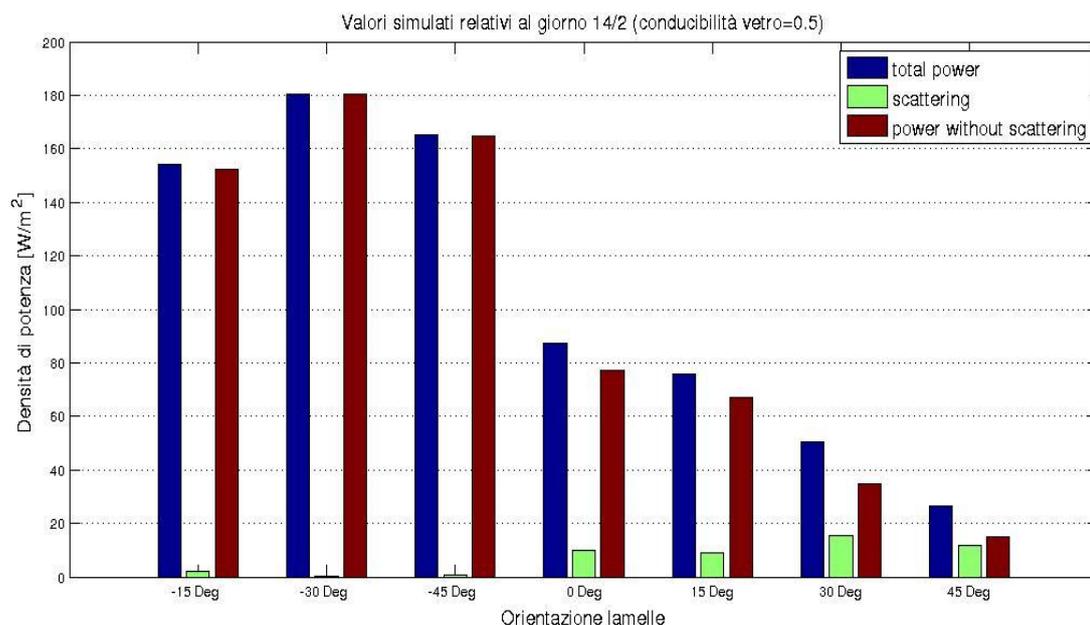


Figura 4.4 Densità di potenza simulata relativa al giorno 14/2 con inclinazione del sole a 30°

Dopo aver calcolato la potenza ricevuta, si è proseguito con il confronto tra la simulazione e le misure reali per ognuna delle relative angolazioni delle lamelle.

Al fine di ottenere una stima dei valori di densità di potenza, e avendo a disposizione la caratteristica di potenza del fototransistor con fogli attenuatori (vedi figura 2.12), i valori campionati sono stati convertiti in densità di potenza seguendo la curva caratteristica del sensore e considerando che ad un valore campionato corrisponde una densità di potenza valutata con il solarimetro, questo per avere un confronto con la stessa unità di misura.

Di seguito è mostrato il grafico concernente la trasmittanza della veneziana (figura 4.5) nelle due condizioni (con e senza box) confrontata con quella simulata. Nel grafico successivo (figura 4.6), è rappresentato il confronto tra i dati ricavati dalla simulazione e quelli della densità di potenza ricevuta a valle della veneziana con e senza box in polistirolo

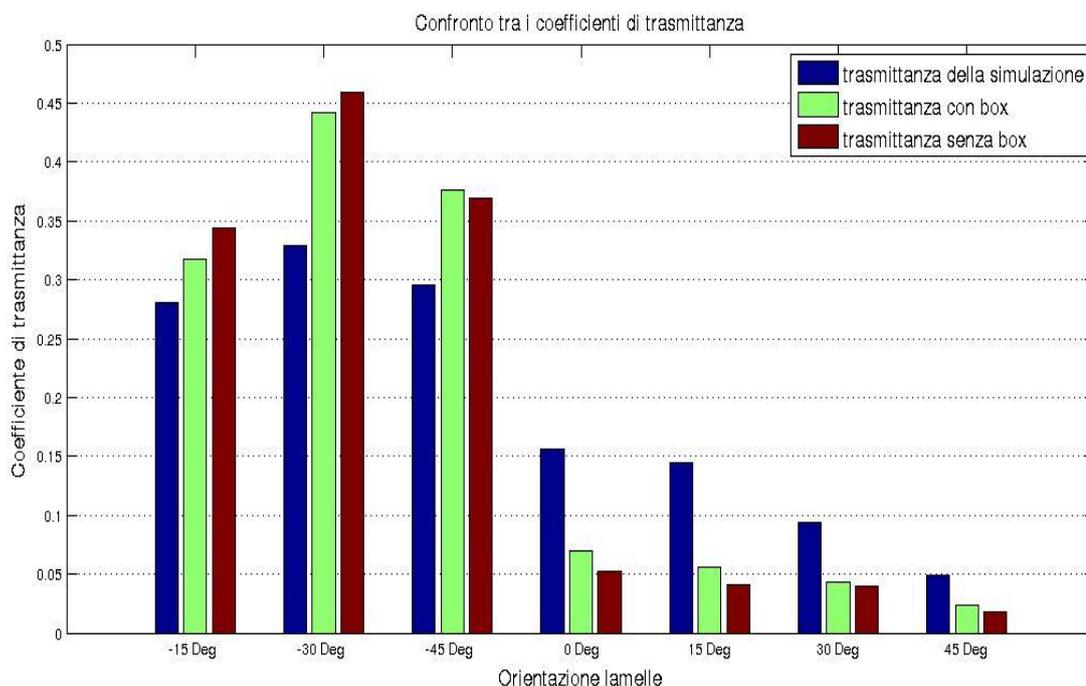


Figura 4.5 Confronto dei coefficienti di trasmittanza della veneziana relativa al giorno 14/2 tra simulazione e misure dirette, con il box e senza box.

Considerando il grafico in figura 4.5, è possibile notare come la presenza o l'assenza del box in polistirolo non influenzi il calcolo della trasmittanza e quindi il rilevamento della densità di potenza a valle della veneziana.

Ciò è dovuto alle caratteristiche del fototransistor che, come spiegato nel capitolo 2, ha un diagramma di ricezione molto più direzionale rispetto a quello della fotoresistenza, quindi meno sensibile ai livelli di luminosità indiretta.

Da notare come il coefficiente di trasmittanza vari al variare dell'inclinazione delle lamelle, con valori notevolmente alti ad inclinazioni simili a quelle dei raggi solari incidenti (valore massimo a -30°, lamelle parallele ai raggi solari), diminuendo fino alla quasi totale schermatura dei raggi con le lamelle poste a 45°.

Il coefficiente di trasmittanza della simulazione non corrisponde a quello della misura diretta, ma segue un andamento simile, con valori alti per inclinazioni negative e decrescendo per valori positivi.

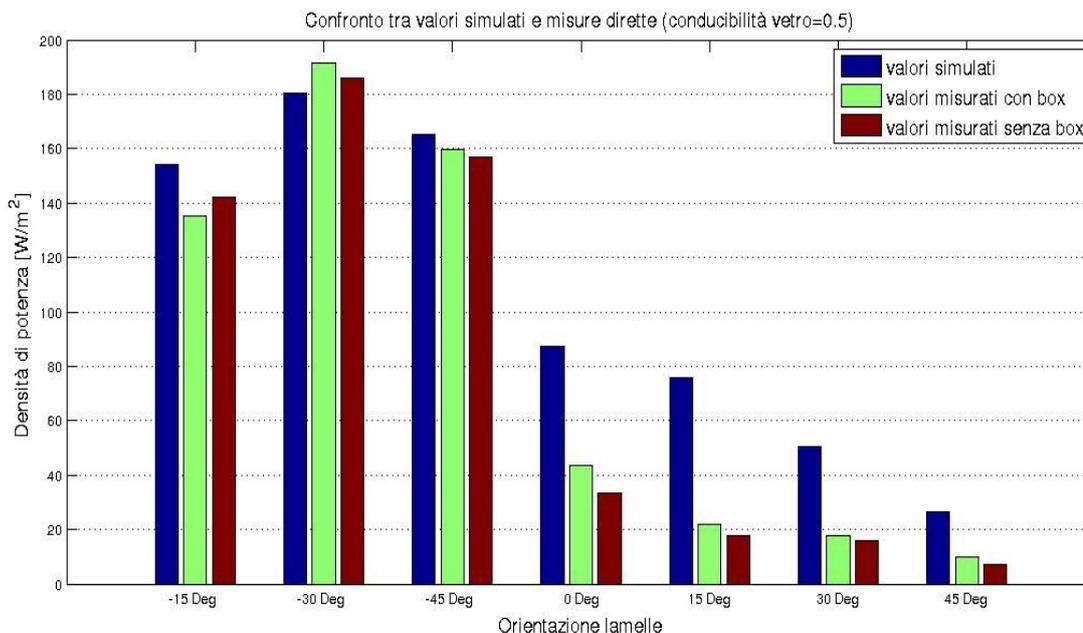


Figura 4.6 Confronto tra valori simulati e misure reali

Esaminando il grafico 4.6 ci si trova davanti ad una conferma parziale delle misure svolte. Per inclinazioni di -15° , -30° , -45° c'è una convalida dei valori, a differenza di 0° , 15° , 30° , 45° , dove la discrepanza è notevole. È quindi da rivalutare il metodo e gli strumenti di misura considerati per tali inclinazioni.

Interessante notare come i valori relativi alle inclinazioni negative seguano lo stesso andamento dei valori simulati. Il problema potrebbe quindi essere riconducibile al sensore fototransistor, alle sue caratteristiche di ricezione, al diagramma di ricezione o alla caratteristica in potenza, oppure ancora alla schermatura dell'involucro.

L'utilizzo del fototransistor può restare una valida scelta, dopo le opportune modifiche di schermatura, in alternativa è auspicabile la scelta di un sensore più affidabile.

È possibile che il diagramma di ricezione sia cambiato, poiché è stato inizialmente ricavato con la copertura di un solo foglio bianco mentre successivamente l'involucro è stato schermato con fogli opachi.

5. Conclusioni

Il processo di realizzazione della veneziana frangisole intelligente si è basato sulla possibilità di ottenere vantaggi in termini economici tramite il controllo del flusso di luce solare permeante attraverso le finestre durante i mesi invernali e quelli estivi, permettendo un risparmio di energia elettrica e gas in entrambi i casi. Altri aspetti positivi sono rappresentati da un miglioramento del comfort dell'ambiente indoor e dalla riduzione dell'inquinamento ambientale.

Abbiamo confrontato i costi e i risparmi generati dall'installazione della veneziana frangisole intelligente, nelle orientazioni sud e est, rispetto alla veneziana tradizionale a lamelle fisse e considerando il coefficiente EER (Energy Efficiency Ratio) del condizionatore, ed un rendimento della caldaia del 90%.

Il contributo di questo studio alla realizzazione della veneziana è cominciato caratterizzando i sensori di luminosità e di temperatura, sia dal punto di vista della ricezione sia in termini di capacità di potenza ricevuta, valutando i pro e i contro dei dispositivi.

Sono state effettuate in seguito ulteriori verifiche sulla veneziana, per poi ricavare e confrontare i valori ottenuti misurando direttamente la radiazione solare incidente grazie all'ausilio dei sensori, per poi confrontarli con i valori simulati dal programma deterministico di previsione di intensità solare Ray Tracing, in ambiente MATLAB, sviluppato in C++.

Confrontando i risultati ottenuti dalla simulazione con quelli campionati sulla veneziana, abbiamo ottenuto risultati soddisfacenti per diverse angolazioni delle lamelle, oltre ad altri risultati incongruenti.

A questo proposito sarà quindi opportuno condurre ulteriori studi e verifiche, analizzando il problema alla radice e sotto vari aspetti, considerando la possibilità di usare altri dispositivi elettronici o perfezionare quelli a disposizione, sia nella scelta dei componenti che degli strumenti di misura, oppure modificandone l'involucro e applicando altri tipi di schermatura.

Ringraziamenti

Ringrazio il professore Vittorio Degli Esposti, Stefano Fiaschi, Federico Falaschi e Enrico Maria Vitucci per la loro cortesia, disponibilità e per i loro consigli.

Ringrazio i miei genitori, Mario e Angela, che mi hanno sempre supportato e appoggiato in questo percorso.

Ringrazio la mia ragazza, i miei coinquilini e tutti i miei amici di Porto San Giorgio.