

**ALMA MATER STUDIORUM-UNIVERSITÀ DI
BOLOGNA**

CAMPUS DI CESENA

SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA ELETTRONICA E
TELECOMUNICAZIONI

Studio e realizzazione di sensori per una veneziana frangisole intelligente

Elaborato in

Propagazione e campi elettromagnetici

Relatore

Prof. Ing. Vittorio Degli Esposti

Presentata da

Manuel Sama

Correlatore

Dott. Ing. Enrico Maria Vitucci

Sessione terza

Anno Accademico 2012/2013

Indice

Indice.....	pag. 3
1. Introduzione.....	pag. 6
2.Barriera frangisole Intelligente.....	pag. 7
2.1 Introduzione.....	pag. 7
2.2 Modalità di funzionamento della barriera.....	pag. 8
2.3 Caratteristiche della barriera frangisole.....	pag. 9
2.4 Descrizione Hardware.....	pag. 11
2.5 Sensori di luminosità e temperatura.....	pag. 13
3. Caratterizzazione dei sensori	
3.1 Introduzione.....	pag. 16
3.2 Descrizione del set-up delle misure.....	pag. 16
3.3 Processo di misura per la caratterizzazione di sensori.....	pag. 17
3.4 Processo di misura sulla barriera frangisole.....	pag. 29
3.5 Modifica Involucro Sensore	pag. 30
3.6 Conclusioni.....	pag. 31
4. Moduli XBee e comunicazione wireless	
4.1 Moduli XBee e protocolli di comunicazione.....	pag. 32
4.1.1 Introduzione.....	pag. 32
4.1.2 Caratteristiche elettriche e meccaniche.....	pag. 34
4.1.3 Adattamento livelli logici.....	pag. 34
4.1.4 Confronto tra ZigBee,Bluetooth e IEEE 802.11.....	pag. 35
4.1.5 WLAN e WPAN.....	pag. 35
4.1.6 Il protocollo IEEE 802.15.4.....	pag. 35
4.1.7 ZigBee e 802.15.4.....	pag. 36
4.1.8 Tipi di dispositivi e loro posizionamento.....	pag. 37

4.1.9	Tipologie di rete.....	pag. 38
4.1.10	Comunicazione degli standard.....	pag. 39
4.1.11	IEEE 80.15.4 livelli del protocollo e funzionamento.....	pag. 41
4.2 Progettazione Scheda		
4.2.1	Introduzione.....	pag. 44
4.2.2	Arduino.....	pag. 44
4.2.3	Software X-CTU.....	pag. 44
4.2.4	Programmatore a Adattatori.....	pag. 45
4.2.5	Prove di comunicazione.....	pag. 48
4.2.6	Realizzazione scheda.....	pag. 51
4.2.7	Collaudo scheda.....	pag. 52
5	Conclusioni.....	pag. 53
6	Ringraziamenti.....	pag. 54

1 Introduzione

Il continuo sfruttamento delle risorse naturali ed il conseguente aumento del degrado ambientale ha portato, negli ultimi decenni, allo studio di energie rinnovabili come possono essere quella eolica o quella solare. L'uomo ha nel sole una fonte di energia di fondamentale importanza che tuttavia mostra aspetti sia positivi che negativi; perché, se da una parte è possibile installare pannelli fotovoltaici o solari per la trasformazione di energia solare in elettrica, dall'altra la radiazione solare insieme ad una diffusa cementificazione ed alla riduzione di zone verdi hanno portato alla creazione di isole di calore. Perciò nei mesi estivi l'istaurarsi di un microclima all'interno di aree urbane ha determinato l'incremento nell'utilizzo di condizionatori e climatizzatori. Il continuo impiego di questi ha come conseguenza l'elevato consumo di energia elettrica, con veri e propri picchi durante il periodo estivo.

L'applicazione di dispositivi volti allo sfruttamento di risorse naturali, all'interno delle zone densamente popolate, può portare ad un riduzione di energia elettrica e ad un impatto ambientale minore. In questo studio si prende in esame un dispositivo noto come barriera frangisole intelligente, che installata su di una finestra può portare a notevoli benefici sia durante i mesi estivi che in quelli invernali. In particolar modo durante l'estate si riduce la potenza della radiazione solare entrante; di conseguenza diminuisce la temperatura dell'ambiente indoor e si limita l'utilizzo del condizionatore. Un altro aspetto favorevole è la riduzione nell'utilizzo di luce artificiale. Durante l'inverno invece l'illuminazione naturale può portare ad un riscaldamento dell'ambiente ed il ruolo assunto alla barriera è di isolante termico. Per ultimo, ma non meno importante, ricordiamo l'aspetto riguardante il fotovoltaico dato che il dispositivo può presentare dei piccoli pannelli solari che ci permettono la produzione di energia.

In seguito verranno analizzate le caratteristiche della barriera così come quelle dei sensori di luminosità e temperatura, che vengono montati per il suo funzionamento, ed i materiali utilizzati per la realizzazione dei loro involucri. Nella parte finale verrà invece esposto uno studio per la creazione di una rete punto-multipunto con collegamenti wireless mediante l'utilizzo di moduli XBee e la progettazione di una scheda per la loro comunicazione. Attraverso i dispositivi a radio frequenza è stato gestito il motore della veneziana con le fasi di apertura, chiusura e finecorsa.

Capitolo 2

Barriera frangisole intelligente

➤ 2.1 Introduzione

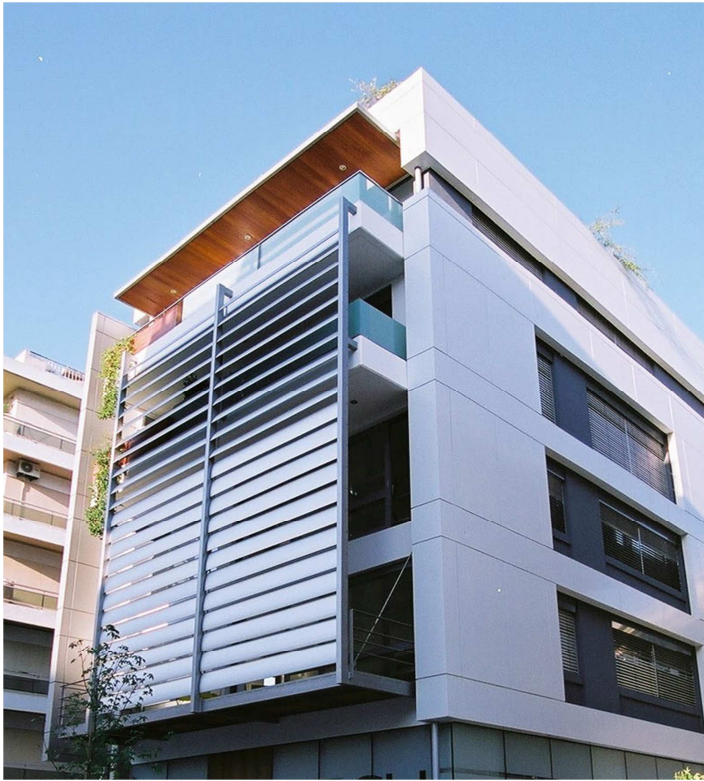


Figura 2-1 Esempio di barriera frangisole

La barriera frangisole intelligente è un dispositivo molto utilizzato nell'ambito del controllo della radiazione solare. Per anni sono state installate barriere fisse che riducevano l'effettivo funzionamento ad una ristretta fascia oraria del giorno. Il termine "intelligente" sta invece ad indicare la possibilità di poter variare l'inclinazione delle lamelle (che in quella classica sono fisse) potendo scegliere la quantità di luce da far entrare. Attraverso l'Eco Shad l'utente può impostare la modalità di funzionamento preferita così come definire la luminosità e la

temperatura dell'ambiente interno.

Questa nuova implementazione permette quindi dei notevoli vantaggi, in particolare nei mesi estivi si riesce ad avere una forte attenuazione del fascio luminoso, facendo passare solo la luce necessaria per illuminare l'ambiente. Si ha quindi una riduzione della temperatura interna dell'ambiente con conseguente diminuzione nell'utilizzo del condizionatore. Si cerca di avere una buona ottimizzazione anche per i mesi invernali dove le lamine poste a 90 gradi fanno passare più luce per cercare di riscaldare l'ambiente indoor. In entrambi i casi si nota una riduzione dell'utilizzo di luce artificiale.

➤ 2.2 Modalità di funzionamento della barriera

Il funzionamento della barriera viene gestito attraverso il sistema Eco Shad, tale controllore si interfaccia con l'utente attraverso quattro pulsanti che permettono di modificare le impostazioni mostrate su un display lcd retroilluminato a led. Il microcontrollore alla base di tutto è una scheda Arduino mega 2560, dispositivo in grado di leggere sensori mediante letture analogiche e digitali ed effettuare l'azionamento del motore per aprire o chiudere la veneziana. Questo è stato poi montato su una scheda opportunamente progettata considerando una componentistica di basso consumo e basso costo con relè e filtri anti-disturbo. L'apertura e chiusura della veneziana avviene tramite alimentazione AC su cavi separati ed una volta che è totalmente abbassata viene gestita l'orientazione delle lamine, l'azionamento avviene tramite impulsi con opportune costanti di tempo per evitare sussulti. Si ha poi un sistema di rilevamento del fine corsa che permette all'Arduino di capire certe posizioni di riferimento (per esempio se completamente aperta).



Figura 2-2 Barriera frangisole intelligente utilizzata per le misure

Attraverso il sistema di controllo automatico è possibile variare l'inclinazione delle lamine gestendo la luminosità da far entrare nell'ambiente, tenendo conto dei dati rilevati dai sensori di temperatura e luminosità e modificando la modalità di funzionamento per avere un'ottimizzazione massima.

Le modalità che si possono selezionare da menù principale sono manuale, automatica e personalizzata. Nella prima opzione agendo sui tasti si apre o chiude la veneziana considerando le posizioni di fine corsa del sistema di cui parleremo dopo.

Nel caso automatico, seconda opzione, prima di entrare nel menù vero e proprio viene chiesto di impostare un valore di luminosità minima e uno ottimale, in questo modo si

azionano le lamine che si spostano gradualmente di un valore pari al 5%, mentre il valore massimo impostabile per la luminosità minima è il 40% dell'apertura a 90°. Nel caso la radiazione esterna sia molto bassa (si fa riferimento ad un valore limite) il sistema richiede di impostare solo la luminosità ottimale, il cui valore viene fatto coincidere con il massimo, ovvero 100% e lamine a 90°. I due parametri inseriti vengono salvati in una memoria EEPROM, se si salta il menù della luminosità il sistema prende in automatico i valori precedentemente memorizzati. Come terza opzione si ha il Set Time che permette di impostare data, ora e altri parametri di configurazione.

In generale nella modalità automatica si ha una elaborazione dei dati derivanti dai sensori di temperatura e pressione che vengono rilevati ad intervalli di tempo regolari, cercando di ottenere l'ottimizzazione massima dell'ambiente in tutti i periodi dell'anno. L'Eco Shad permette all'utente di scegliere all'interno del menù automatico tra modalità eco e modalità comfort.

La prima cerca di ottenere il minimo consumo energetico tenendo conto della temperatura interna e della luminosità nell'ambiente, anche in questo caso il menù chiede di impostare due temperature: la prima vede al di sopra del proprio valore l'ecosummer, con la massima schermatura della radiazione solare, mentre al di sotto della seconda si ha l'ecowinter, con l'apertura massima delle lamine. Nell'intervallo fra i due valori troviamo l'ecomfort (funziona come il comfort).

La seconda modalità, invece, data una luminosità impostata dall'utente effettua un reset del sistema partendo dalla veneziana completamente chiusa; se il valore prestabilito non viene raggiunto le lamine si fermano a 90°, ossia al valore massimo. Nel caso la luminosità esterna venga a variare le lamine ruotano per mantenere sempre lo stesso valore interno predefinito.

➤ **2.3 Caratteristiche della barriera frangisole**

Esistono in commercio varie tipologie di barriere dato che vi sono diversi parametri costruttivi su cui si può operare al fine di raggiungere un dispositivo il più performante possibile. Un aspetto rilevante della veneziana è rappresentato dalle lamelle che la compongono, che possono avere sezione piana o curvilinea: nel primo caso avremo la riflessione della radiazione solare verso l'esterno, mentre nel secondo si possono presentare traiettorie di riflessione verso l'interno dell'edificio.

In compenso la forma curva presenta una maggiore rigidità permettendo di utilizzare materiale con uno spessore minore, quindi un sistema più leggero. Le dimensioni delle lamelle sono di 35 e 50 mm ma sul mercato esistono anche modelli con dimensioni fino a 360 mm.

A differenza della barriera frangisole “intelligente” le altre barriere hanno lamelle fisse che riducono l’effettivo funzionamento ad una ristretta fascia orario; in particolar modo nella progettazione di queste si deve considerare un’inclinazione delle lamine che permetta un buon funzionamento sia nei mesi estivi che in quelli invernali. In tali casi è possibile agire sulla distanza fra le lamelle. Nel caso di lamelle ad inclinazione variabile il sistema risulta più semplice da gestire considerando la schermatura totale in estate e la totale apertura in inverno, ovviamente non si può agire sulla distanza tra le lamelle. Come già esposto l’inclinazione può essere definita dall’utente in base alle sue esigenze, definendo anche la luminosità e la temperatura interna.

Le barriere solitamente vengono disposte davanti alle finestre a pochi centimetri dal vetro. A volte si preferisce installare delle pensiline frangisole che permettono di mantenere la vista verso l’esterno.

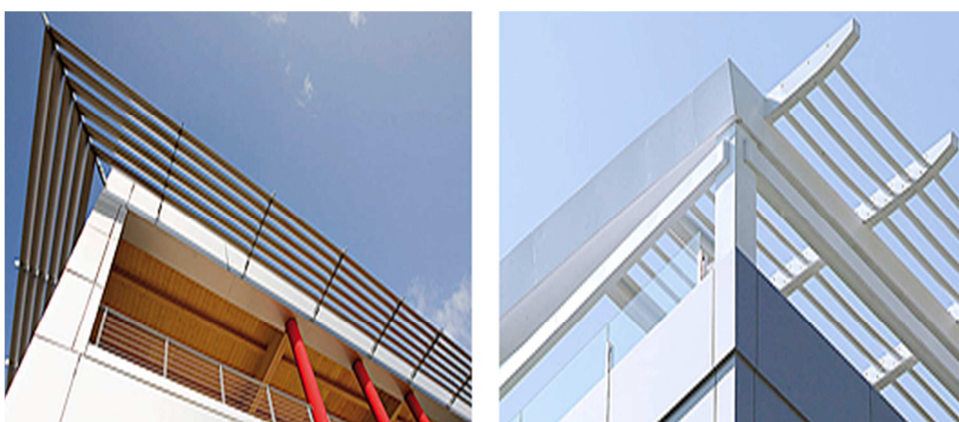


Figura 2-3 Esempi di pensilina frangisole

In questo caso nella progettazione del modello si può far riferimento a parametri quali la distanza della pensilina dalla finestra e la sua sporgenza al fine di ottimizzare al meglio il sistema. Al fine di massimizzare il comportamento della barriera frangisole la posizione delle lamelle svolge un ruolo fondamentale: nel periodo invernale queste devono essere parallele alla radiazione solare, mentre in quell’estivo devono essere perpendicolari alle radiazioni risulta inoltre possibile regolare l’inclinazione in modo da far passare una luminosità maggiore e illuminare meglio l’ambiente. Nel caso di barriera con lamelle fisse bisogna trovare un’inclinazione che dia un buon compromesso tra mesi estivi ed invernale pertanto va analizzato l’angolo di elevazione del sole nei vari periodi dell’anno. Alle latitudini italiane si utilizzano valori tra i 15° e i 30° con una schermatura maggiore nei periodi estivi, dove il sole è più alto, ed un passaggio di luce maggiore nel periodo invernale quando il sole è più basso.

➤ 2.4 Descrizione Hardware

La barriera ,come abbiamo visto fino ad ora, basa il suo funzionamento sul microcontrollore il quale permette la gestione del sistema permettendo all'utente di scegliere la modalità di funzionamento. Dal punto di vista Hardware, Arduino viene montato su di una scheda la quale ,oltre a comunicare con il display LCD , gestisce attraverso i due relè a stato solido il motore della veneziana con le corrispondenti fasi di apertura e chiusura. Inizialmente il progetto prevedeva il circuito collegato alla veneziana ed ai sensori attraverso una canaletta



una canaletta

Figura 2-4 Arduino Mega 2560

contenente i fili di riferimento.

Più avanti verrà invece mostrato uno studio dove si è creata una nuova scheda con un collegamento wireless, realizzato inserendo semplicemente dei moduli xbee tra le parti definendone così il corrispondente indirizzamento; con questa nuova soluzione si è avuto un risparmio in termine di spazio. Infatti è possibile implementare una rete che ,attraverso la centralina, riesce a comunicare in modalità wireless con ogni finestra dell'ambiente

interno riducendo notevolmente il cablaggio.



Figura 2-5 Display LCD

Il sistema presenta anche un alimentatore interno o esterno che fornisce una tensione di 12V, invece, per quanto riguarda la gestione del motore si utilizza direttamente la tensione di rete(220V) con fase, neutro e massa. I circuiti dei sensori vengono alimentati con una tensione di 5V, mentre per il rilevamento

del fine corsa si va a leggere il piedino del microcontrollore considerando una tensione massima di 3,3 V. I sensori utilizzati dalla veneziana sono esposti nel paragrafo successivo, mentre nel secondo capitolo è stata svolta una caratterizzazione ed un'analisi dei materiale per evitare la saturazione degli stessi.

Arduino Mega 2560 è una scheda basata sul microcontrollore ATmega 2560 che dispone di 54 pin digitali di input/output, 16 ingressi analogici, 4 UART ed un oscillatore a 16MHz. Sulla scheda sono presenti anche una connessione USB, un jack di alimentazione, un header ICSP oltre al pulsante di reset. L'alimentazione viene fornita collegando il dispositivo al computer con un cavo USB oppure con un adattatore AC-DC e la sua fonte viene selezionata automaticamente. La scheda può operare con un alimentatore esterno da 6 a 20 V, superando i 12 V il regolatore di tensione può scaldarsi e danneggiare la scheda, perciò il range raccomandato è 7-12V.

La scheda presenta una serie di pin di alimentazione, per esempio Vin utilizzato con alimentatori esterni per fornire tensione al sistema. 5V, pin capace di generare una tensione gestita dal regolatore della scheda, che può però danneggiare il sistema. 3.3V, pin che fornisce una tensione sempre attraverso il regolatore, GND pin a terra ed IOREF utilizzato per avere un riferimento di tensione con la quale il microcontrollore opera.

La memoria della scheda è composta da 256KB di memoria flash, 8KB di SRAM e 4 KB di EEPROM.

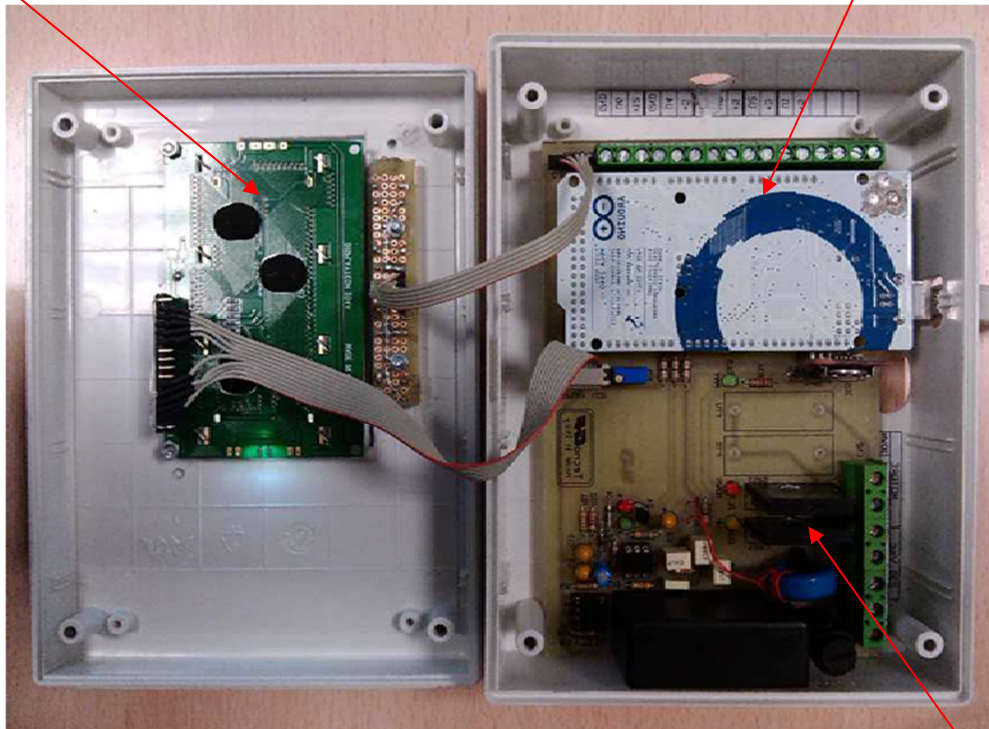
Ognuno dei 54 pin della scheda può essere utilizzato come ingresso o uscita, utilizzando funzioni diverse con lettura o scrittura ed operando con una tensione di 5V. Ogni piedino può ricevere un massimo di 40 mA ed avere una resistenza di pull-up interna di 25-50 kΩ. Arduino dispone di 16 ingressi analogici, ognuno dei quali fornisce 10 bit di risoluzione (cioè 1024 valori differenti). L'intervallo di default è 5V, anche se è possibile cambiare l'estremità superiore dell'intervallo operando su pin opportuni.

La comunicazione del sistema avviene attraverso le quattro UART hardware con TTL(5V); quella seriale può essere verificata attraverso il software di Arduino, infatti con l'opzione del monitor seriale è possibile analizzare i dati testuali che vengono inviati o ricevuti dalla scheda. Sul dispositivo sono presenti anche i led TX, RX i quali lampeggiano nel momento in cui vengono trasmessi dati oppure quando si ha collegamento USB al computer.

La programmazione del microcontrollore avviene attraverso il software di Arduino con un linguaggio simile al linguaggio C. Vengono creati dei piccoli sketch che servono a testare piccole funzioni del sistema.

Display LCD

Arduino Mega 2560



Circuito che gestisce il motore della veneziana con le fasi di apertura, chiusura e fine corsa.

Figura 2-6 Centralina che gestisce la Veneziana

➤ 2.5 Sensori di Luminosità e Temperatura

La barriera frangisole intelligente basa il suo funzionamento su sensori di luminosità e temperatura, questi ,come già analizzato precedentemente nello studio delle modalità di funzionamento, vengono letti ad intervalli di tempo regolari. Il rilevamento dei sensori avviene grazie alla scheda microcontrollore Arduino Mega 2560 attraverso l'utilizzo di pin analogici e digitali. Gli involucri contenenti i sensori solitamente vengono montati ad una altezza di 2.40 metri.

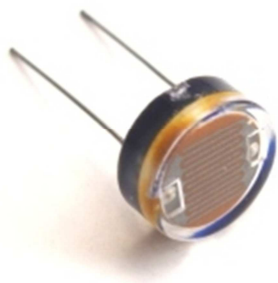


Figura 2-7 Fotoresistenza norp12

Per quanto riguarda i sensori di luminosità bisogna fare una distinzione fra ambiente interno e ambiente esterno. Internamente viene montata una fotoresistenza norp12 ed il circuito è costituito da un partitore resistivo tra il sensore ed una resistenza del valore di 10K .

Alla morsettiera vengono collegati alimentazione 5V, massa ed il segnale V_i ,presi direttamente da Arduino. Si è scelto questo componente per l'ambiente indoor per la sua elevata sensibilità,anche se i valori di luminosità non raggiungono livelli di saturazione. Il comportamento del dispositivo è stato studiato attraverso l'esposizione ad una lampada solare, solitamente utilizzata per lo sviluppo di pannelli fotovoltaici la quale simula la radiazione solare.

Esternamente si è invece scelto di utilizzare un fototransistor LilyPad Light Sensor dove il dispositivo presenta già all'interno del package un partitore resistivo. La serigrafia sul componente mostra i collegamenti da eseguire per il corretto funzionamento ed anche in questo caso si ha alimentazione a 5V, massa ed il segnale Vi. Il rilevamento attraverso Arduino avviene con il segnale preso sul piede di emettitore del fototransistor. Il sensore, nonostante mostri una sensibilità minore rispetto alla foto resistenza, risulta comunque un buon dispositivo per il lavoro richiesto. In tal caso il problema principale che potrebbe sorgere riguarderebbe la saturazione del componente a causa della troppa luce; si può però trovare soluzione se si modifica, in maniera opportuna, l'involucro del circuito. Il coperchio in



Figura 2 -8 Fototransistor

policarbonato è stato sabbato e verniciato più volte di bianco, cercando di creare una attenuazione maggiore della radiazione solare e di assorbire meno calore; in particolare la parete frontale deve permettere il passaggio di luce per il rilevamento senza far perdere completamente la sensibilità al dispositivo. Anche per il sensore esterno attraverso una lampada solare è stato condotto uno studio in laboratorio che verrà poi analizzato più avanti.



2-9 Sensore digitale di temperatura DS18B10

Per quanto riguarda i sensori di temperatura si è scelto di utilizzare quello digitale DS18B10 prodotto dalla Maxim. Il dispositivo ha un range di temperatura compreso tra -55°C e 150°C con una precisione di $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ nell'intervallo -10°C 85°C ed una risoluzione compresa tra 9 e 12 bit. Il componente è montato all'interno di un involucro a tenuta stagna anche se questa soluzione provoca un notevole innalzamento delle temperature. Quindi è necessario creare un involucro che permetta al dispositivo di non essere sensibile al surriscaldamento provocato dalla radiazione. Il sensore deve rimanere protetto dalla luce diretta e dalle correnti

laminari ascendenti superficiali che si creano sulle superfici dei muri, perciò serve una sagomatura che protegga il componente da tale effetto, creando un circolo d'aria che riduca il surriscaldamento intorno al sensore.

Il collegamento al circuito avviene attraverso tre fili corrispondenti ad alimentazione , massa ed il segnale DQ (Data IN). Si prevede anche una modalità di funzionamento parassita ovvero prelevando la tensione di alimentazione direttamente dalla linea dati, riducendo a due il numero di collegamenti necessari. Ogni sensore ha un codice seriale a 64 bit univoco, in questo modo è possibile far funzionare più dispositivi sulla stessa linea di comunicazione. Il sistema risulta molto semplice il microprocessore riesce a gestire diversi sensori anche su aree molto vaste.

Capitolo 3

Caratterizzazione dei Sensori

➤ 3.1 Introduzione.

La barriera frangisole intelligente che stiamo analizzando basa il suo funzionamento sull'utilizzo di sensori esterni ed interni per il rilevamento di luminosità e temperatura. Nel precedente capitolo è stata fatta una presentazione dei componenti scelti e sono state descritte alcune delle loro caratteristiche. Nel seguente capitolo invece, verranno analizzate le misure svolte in laboratorio per la caratterizzazione dei sensori di luminosità, mentre in un secondo momento verranno prese in esame quelle riguardanti i sensori di temperatura. Attraverso le misurazioni effettuate è stato quindi possibile definire quale dispositivo usare internamente e quale esternamente per il corretto funzionamento della barriera frangisole. I sensori svolgono un ruolo fondamentale per il corretto utilizzo del sistema, abbiamo visto che attraverso il sistema Eco Shad è possibile definire la modalità di funzionamento desiderata in alcune di queste si possono impostare direttamente da display la temperatura interna dell'ambiente e la luminosità. Serve quindi un continuo monitoraggio dei sensori da parte del microcontrollore Arduino, il quale attraverso una serie di ingressi analogici e digitali esegue un campionamento ad intervallo di tempo regolari.

➤ 3.2 Descrizione del set-up delle misure

Lampada solare (solar simulator)

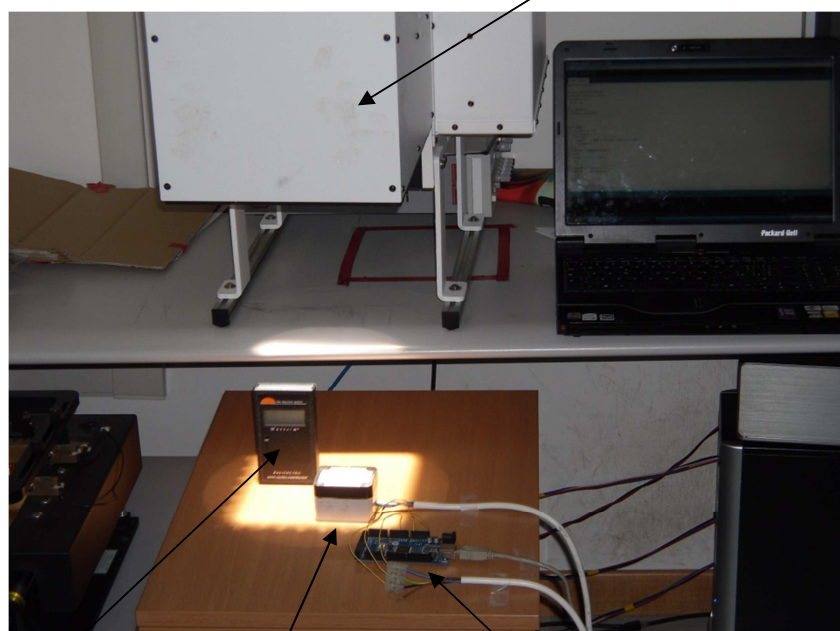


Figura 3-1 Sistema utilizzato per effettuare le misure

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, se anche la lampada fosse stata spenta i due sensori, in particolare la fotoresistenza che ha una sensibilità maggiore, sarebbero stati comunque capaci di rilevare un segnale dovuto alla luce artificiale dell'ambiente. Per la raccolta dei dati è stata utilizzata una scheda Arduino Mega 2560 che opportunamente interfacciata forniva ai sensori l'alimentazione +5V, massa ed il pin analogico precedentemente impostato per la lettura dei dati. Nel nostro caso per le misure abbiamo utilizzato il piedino A3 (analog IN) del microcontrollore, i tre segnali sono stati collegati alla morsettiera del circuito, mentre il software della scheda ci ha permesso un campionamento dei medesimi. Per quanto riguarda i sensori (figura 2.2) i circuiti sono stati montati all'interno di un involucro in policarbonato chiuso da un coperchio inizialmente trasparente che come tale portava subito alla saturazione dei dispositivi, pertanto si è optato, inizialmente per un coperchio precedentemente costruito, sabbato e verniciato più volte di bianco (effetto opaco), che ha permesso di raggiungere una buona sensibilità per il rilevamento. Attraverso la lampada solare ed il solarimetro è stata possibile calcolare l'attenuazione di tale vetrino che risulta essere di -17,08 dB.



Figura 3-2 Sensori di luminosità, fotoresistenza e fototransistor

Nel circuito della fotoresistenza è stata montata sulla basetta millefori una seconda resistenza R2 del valore di 10K in serie alla prima, andando quindi a definire un partitore resistivo. Il segnale rilevato veniva preso sul nodo in comune alle due resistenze.



Figura 3-3 Schema elettrico della fotoresistenza e schema elettrico fototransistor

Il fototransistor presenta già un partitore resistivo all'interno del suo package, in questo caso basta semplicemente montare il componente sulla basetta rispettando i tre collegamenti, il segnale viene preso sul piede di emettitore del transistor.

Durante lo svolgimento delle misure si è ricorsi anche all'impiego di un altro dispositivo noto come solarimetro (figura 2.3), strumento in grado di rilevare valori di luminosità incidente in W/m^2 compresi fra 0 e 1200, permettendoci una verifica con i dati campionati. Questo 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.

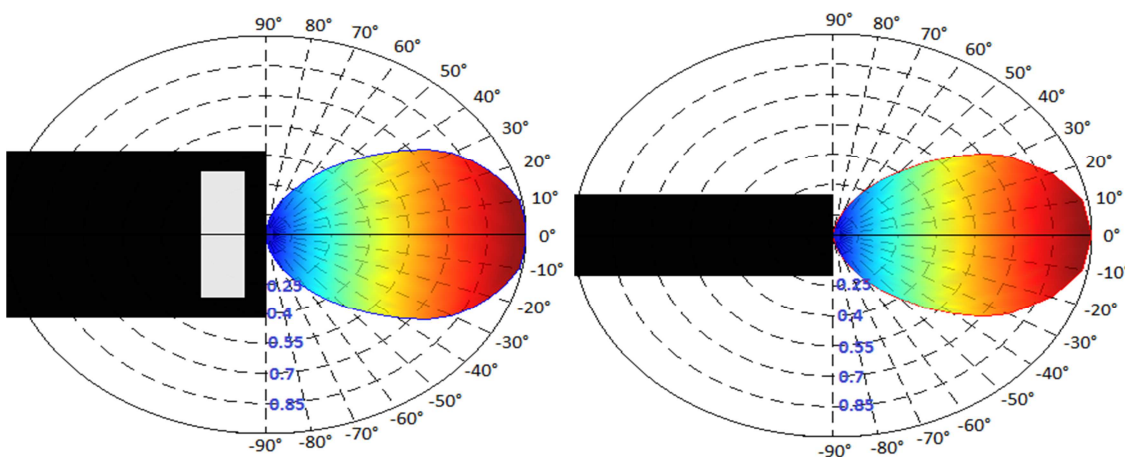


Figura 3-4 Diagramma di ricezione del solarimetro parallelo alla lampada solare e ortogonale.

➤ 3.3 Processo di Misura per la caratterizzazione dei sensori

Inizialmente è stata effettuata una caratterizzazione in potenza del fototransistor posizionato al di sotto della lampada solare che permetteva la regolazione della corrente definendo una potenza compresa fra 425 e 1800W/m²(rilevata con il solarimetro).

Nel nostro caso è bastato arrivare ad un massimo di 1000-1200W/m² per ottenere una buona caratteristica del dispositivo, mentre per raggiungere valori di potenza relativamente bassi è stato necessario inserire delle griglie di attenuazione all'interno della medesima lampada. La prima presentava una attenuazione del 33% mentre la seconda del 50%. Questa modifica ha portato ad un ampliamento del range di potenza con valori compresi fra 140 e 898 W/m²(sempre rilevata dal solarimetro).

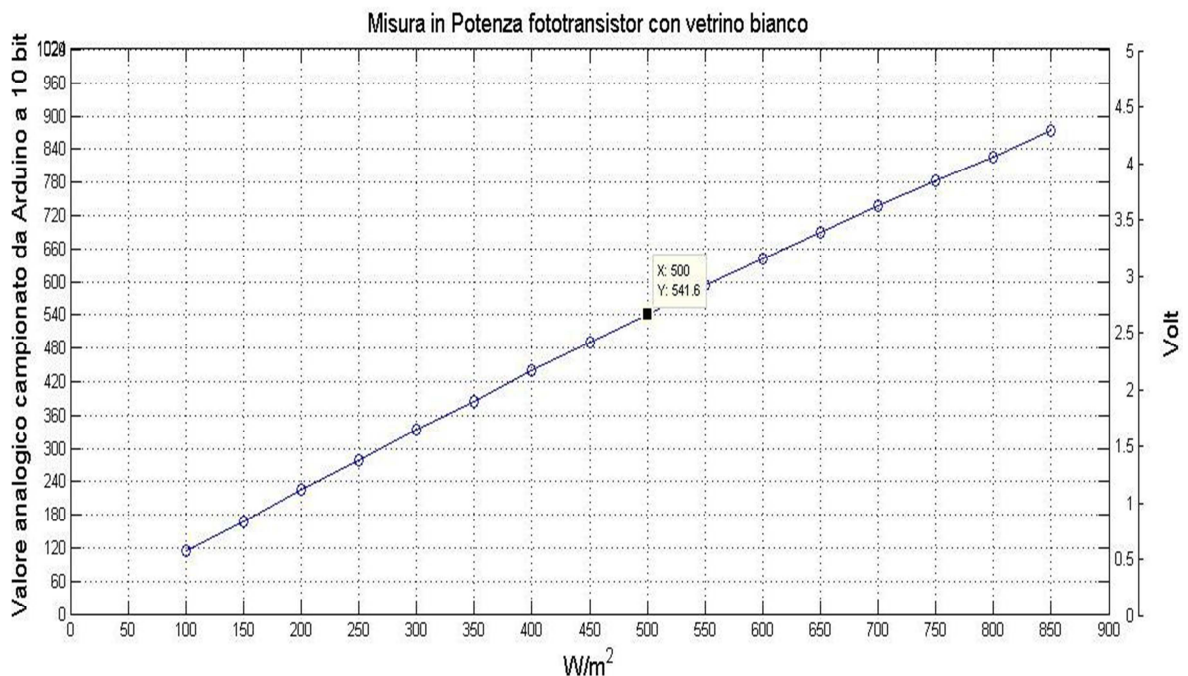


Figura 3-5 Grafico sulla misura in potenza del fototransistor

La caratteristica ottenuta per il fototransistor (figura 3-5) mostra un andamento lineare che, pur tendendo poi ad una piccola saturazione, resta comunque un buon dispositivo per il rilevamento esterno della luminosità: in ascissa viene riportato il valore in W/m² rilevato dal solarimetro, mentre in ordinata sinistra i valori campionati a 10 bit da Arduino e sull'ordinata di destra si è inserito il valore di tensione associato a quello campionato. Considerando che a 1024 bit corrisponde una tensione di 5V si è poi rapportato il valore letto da Arduino ottenendone il corrispondente in volt. In questo caso il vetrino con vernice bianca mostra un'attenuazione di -16.799 dB.

Il processo di misura effettuato presenta però dei limiti soprattutto per quanto riguarda la riproduzione dell'involucro del sensore, si è quindi deciso di eseguire una nuova misura

costruendone uno nuovo, che ne permettesse la facile replica, utilizzando fogli di pellicola lucida e opaca analizzati in seguito. Dopo diverse prove con l'utilizzo della lampada solare si è arrivata alla soluzione migliore, sul vetrino sono stati montati due fogli di pellicola nera opaca ed uno di pellicola nera lucida, arrivando così ad avere un nuovo modello ottimale che ci ha permesso di svolgere le misure senza problemi di sensibilità. Anche in questo caso la caratteristica in potenza mostra un andamento lineare inoltre si ha una piccola saturazione nella parte superiore del grafico, aspetto che nel precedente grafico non era presente e notevole perché in questo caso sono state raggiunte potenze maggiori. Anche in questo caso è stato calcolata l'attenuazione del nuovo vetrino che è stato costruito, con un valore rilevato di

-12,189 dB. Per svolgere correttamente il processo sono state utilizzate delle griglie con attenuazione del 33% e 50 %.

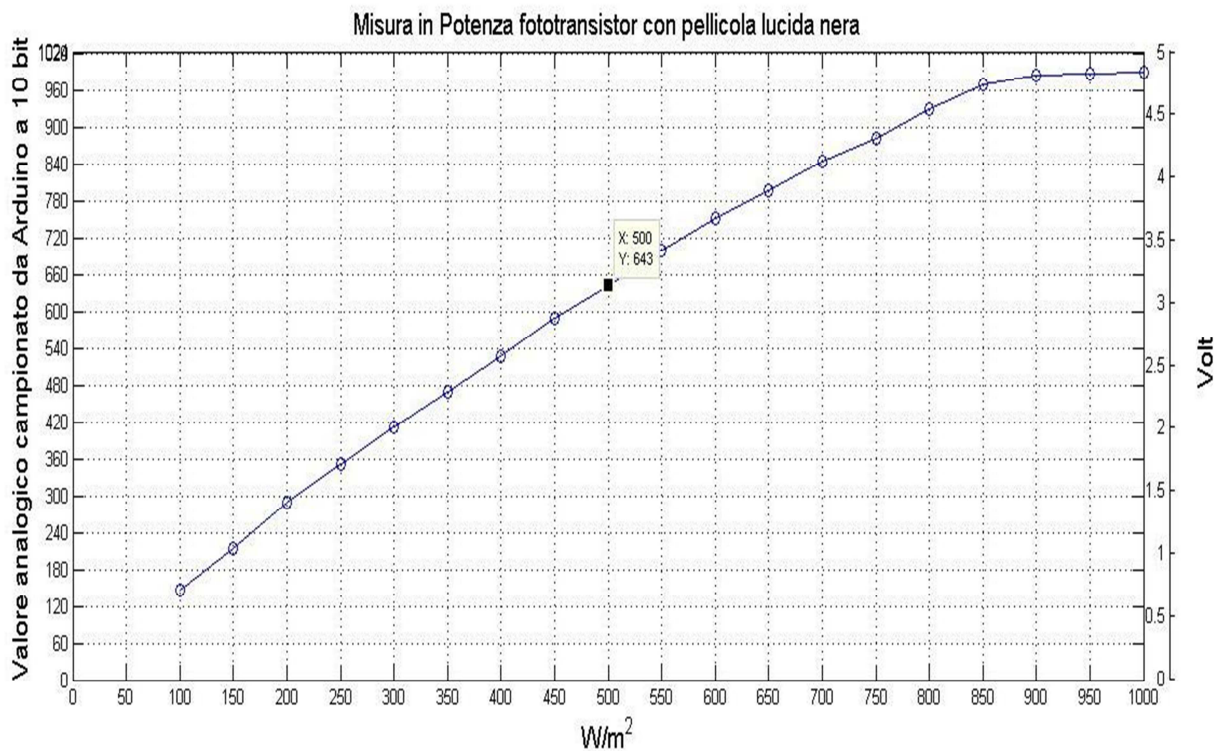


Figura 3-6 caratteristica in potenza del fototransistor con pellicole lucide e opache

Il processo di caratterizzazione della foto resistenza, utilizzata come sensore interno di luminosità della veneziana, ha presentato inizialmente dei limiti nel raggiungere potenze relativamente basse. Si è quindi cercato un metodo alternativo per definire una caratteristica anche per tali valori di potenza. L'idea è stata quella di schermare il vetrino in policarbonato attraverso un materiale in grado di fornire una buona attenuazione, mantenendo la sensibilità del sensore inalterata ed evitarne la saturazione. Il primo step è

stato quello di scegliere, tra una serie di materiali acquistati in cartoleria, quali di questi era il più adatto al nostro compito.

Per svolgere le misure si è utilizzata la lampada solare ed il solarimetro sulla cui superficie venivano appoggiato o fissati i vari materiali.

Il primo materiale scelto sono state le buste di plastica già utilizzate per il fototransistor. Il primo rilevamento con il solarimetro è stato fatto senza alcuna busta, in seguito sono state aggiunte una alla volta otto buste, riportando ogni volta il valore ottenuto.

Numero buste	Valore Solarimetro (W/m ²)	Attenuazione dB
0	917	0
1	783	-0,686
2	683	-1,279
3	603	-1,82
4	537	-2,32
5	477	-2,838
6	427	-3,319
7	391	-3,702
8	355	-4,121

La tabella riporta i valori rilevati con i relativi numeri di buste, l'attenuazione è calcolata in dB con la formula $10 \cdot \log(P_{out}/P_{in})$, le attenuazioni sono state calcolate considerando il parametro P_{in} costante al valore rilevato senza nessuna busta ovvero 917 W/m².

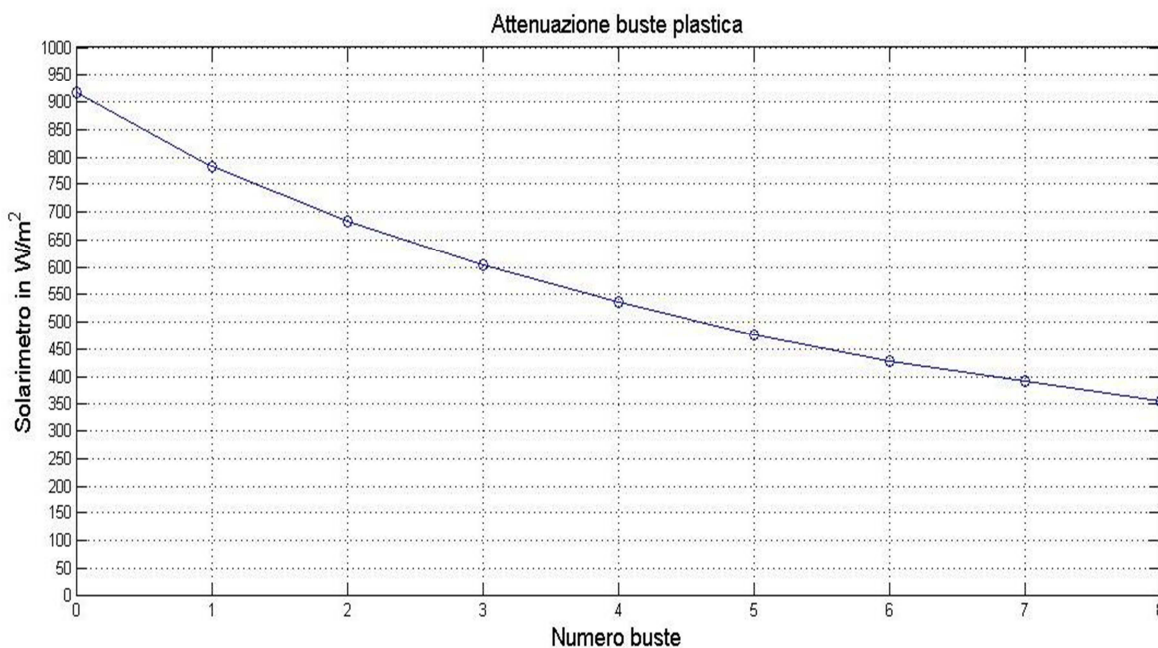


Figura 3-7 Grafico Attenuazione buste di plastica

Come si può notare dai dati riportati l'attenuazione delle buste risulta bassa e non adatto per il nostro lavoro di caratterizzazione.

Il secondo materiale analizzato è stata una plastica nera semitrasparente, in questo caso già con il primo foglio si è notata una forte attenuazione della radiazione. Il valore iniziale rilevato senza fogli è 905 W/m².

Numero fogli	Valore Solarimetro (W/m ²)	Attenuazione dB
0	905	0
1	570	-2
2	368	-3,91
3	240	-5,764
4	156	-7,635
5	104	-9,396
6	70	-11,11

Il materiale presenta una buona attenuazione, soprattutto con il massimo dei fogli il risultato ottenuto è molto interessante. Il materiale non è stato scelto perché richiede troppi fogli ed una implementazione nel sistema risulterebbe scomoda.

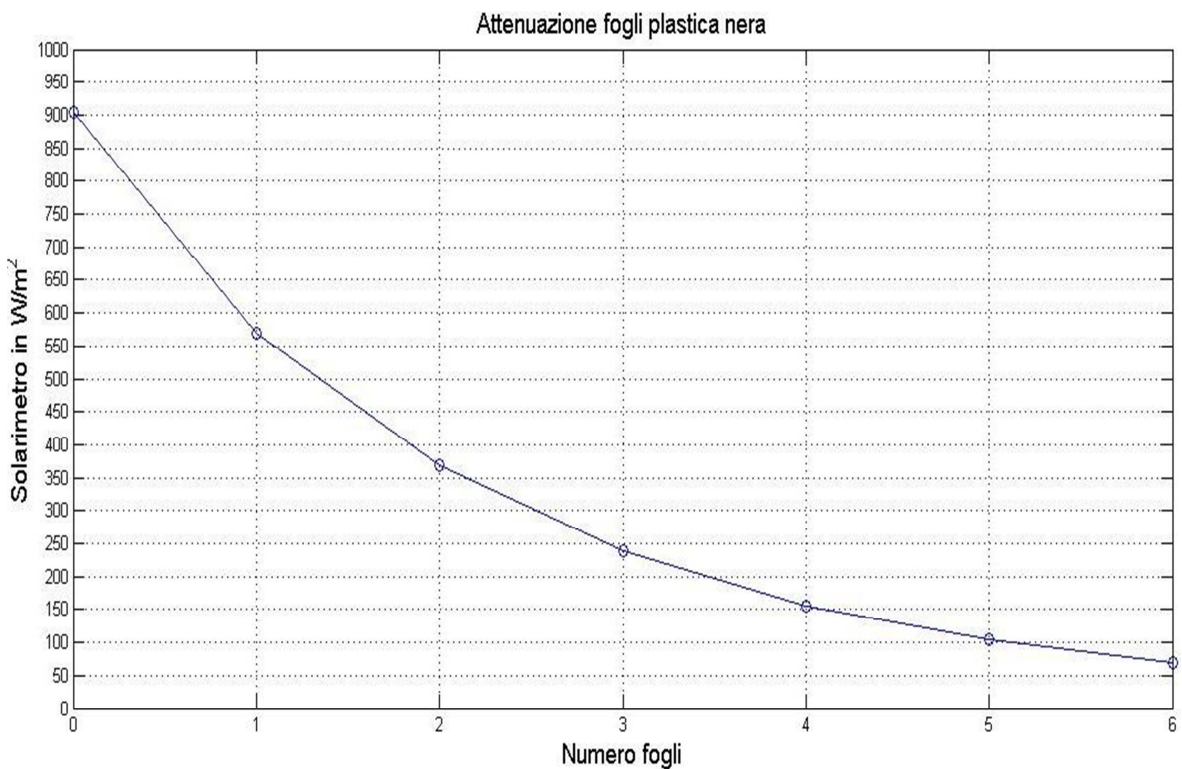


Figura 3-8 Grafico Attenuazione fogli plastica nera

Il terzo materiale scelto è un foglio di pellicola nero opaco, in questo caso l'opaco non è la soluzione migliore per il nostro sistema, in quanto, la superficie opaca riflette in maniera diffusa molta della radiazione incidente riducendo la trasmissione del segnale. Il valore iniziale rilevato senza fogli è 905 W/m^2 .

Numero fogli	Valore Solarimetro (W/m^2)	Attenuazione dB
0	905	0
1	411	-3,428
2	310	-4,652
3	245	-5,674
4	190	-6,778
5	154	-7,691
6	124	-8,632

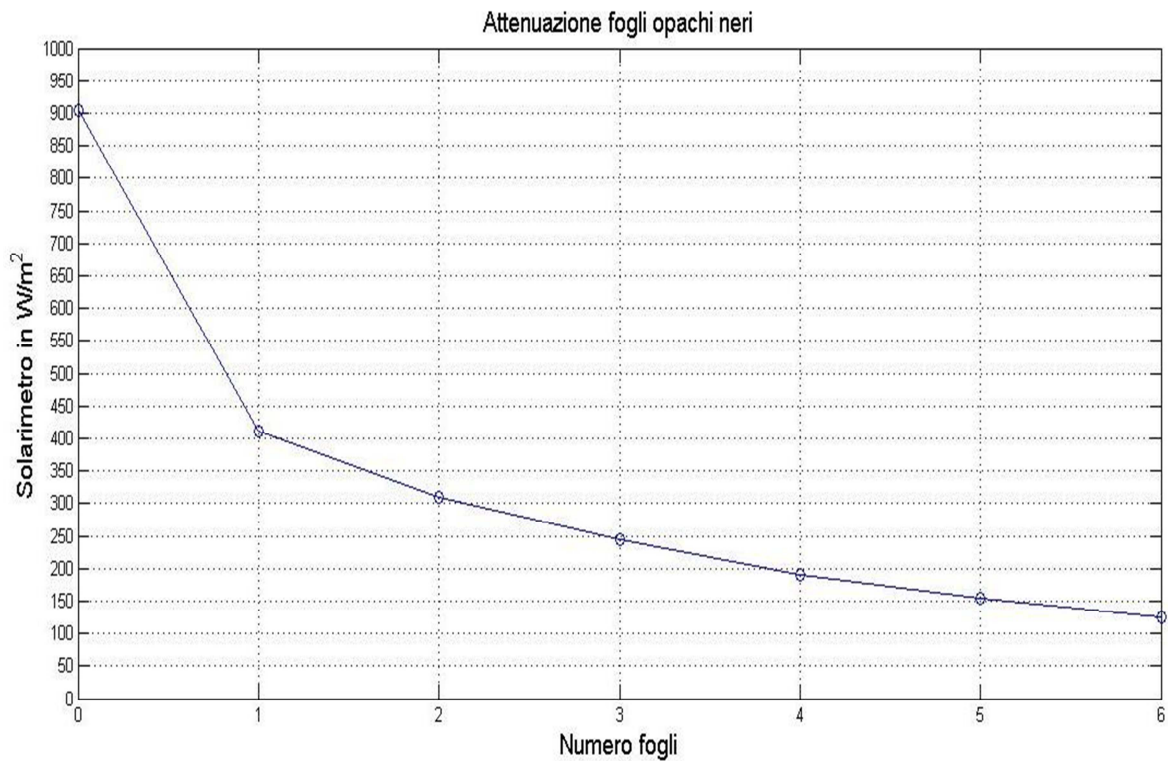


Figura 3-9 Grafico Attenuazione fogli opachi neri

All'aumentare del numero di fogli si nota una saturazione nell'andamento del grafico ad un valore di potenza relativamente basso.

Il quarto materiale analizzato è un foglio di pellicola lucida grigia, in questo caso il valore rilevato da solarimetro senza nessuno foglio è di 900 W/m².

Numero fogli	Valore Solarimetro (W/m ²)	Attenuazione dB
0	900	0
1	615	-1,653
2	502	-2,535
3	452	-2,99
4	410	-3,414
5	383	-3,71
6	372	-3,837

La piccola grigia attenua in parte la radiazione, nei valori finali si nota una sorta di saturazione del sistema con una variazioni molto ridotte.

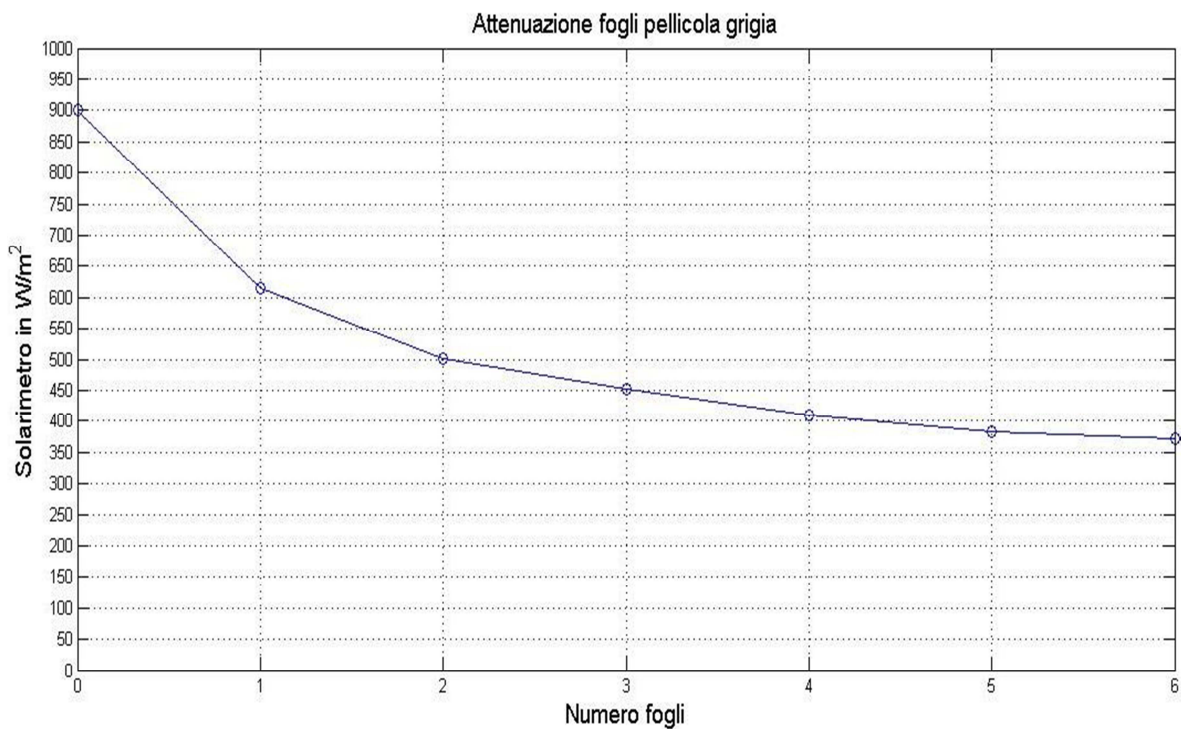


Figura 3-10 Grafico Attenuazione fogli pellicola lucida grigia

Il quinto ed ultimo materiale studiato è un foglio di pellicola lucida nera. I fogli ritagliati venivano applicati sulla cella del solarimetro. Il valore iniziale senza fogli è di 900 W/m².

Numero fogli	Valore Solarimetro (W/m ²)	Attenuazione dB
0	900	0
1	118	-8,823
2	19	-16,754
3	3	-24,77

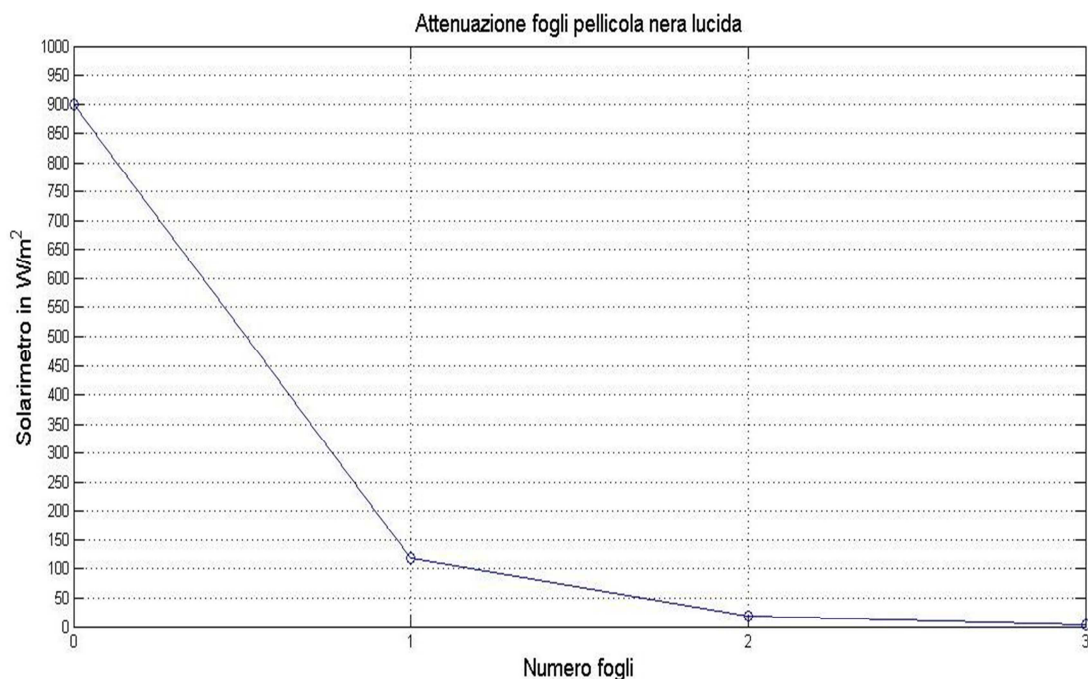


Figura 3-11 Grafico Attenuazione fogli pellicola lucida nera

La pellicola lucida nera ha una forte attenuazione come si può notare dal grafico sopra servono solo tre fogli per rilevare un valore prossimo allo zero. La pellicola nera lucida risulta il miglior materiale utilizzabile per la caratterizzazione della foto resistenza sia per la forte attenuazione, ma anche per la semplice implementazione nel sistema.

Ora andiamo a confrontare in un unico grafico l'attenuazione in dB dei vari materiali analizzati.

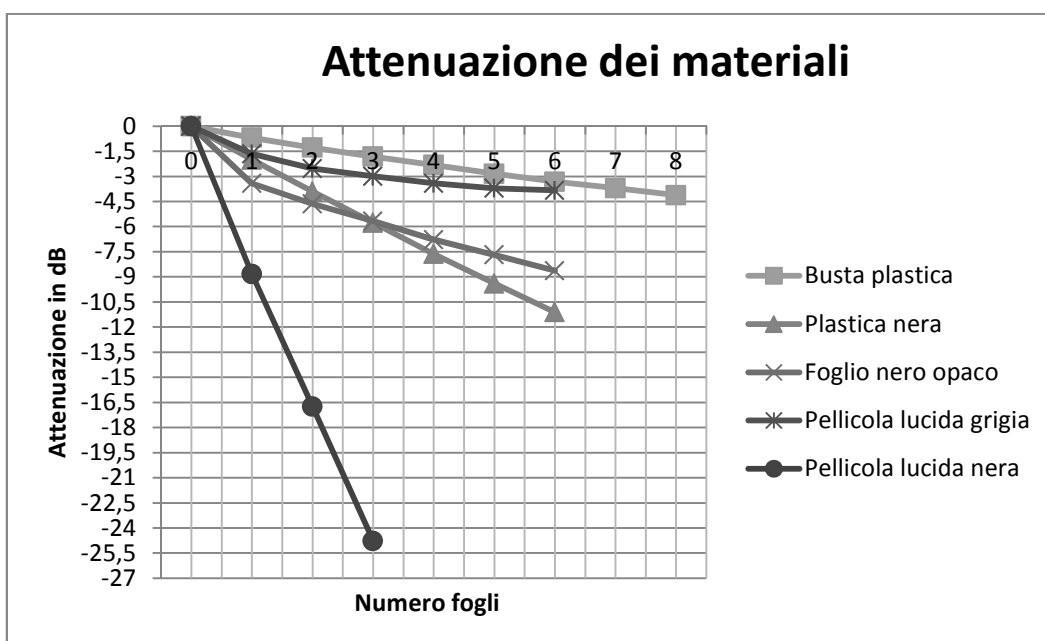


Figura 3-12 Attenuazione dei materiali a confronto

Osservando il grafico si intuisce facilmente che il materiale con la migliore attenuazione è la pellicola nera lucida come avevamo già evidenziato poco fa. Iniziamo quindi ad applicare la pellicola sul vetrino in policarbonato del sensore, dopo alcuni rilevamenti con il solarimetro si nota che un solo strato non basta così abbiamo deciso di aggiungerne un secondo e poi un terzo strato raggiungendo un buon risultato.

Per caratterizzare il sensore si è utilizzato il microcontrollore Arduino con il corrispondente sketch per la lettura del pin analogico, nel nostro caso è stato scelto A3, oltre al segnale analogico il microcontrollore fornisce anche l'alimentazione a 5V e massa.

Inizialmente è stata montata una griglia di attenuazione del 23%, ricordiamo che la percentuale indica la quantità di luce che è lasciata passare. Partendo da un valore di 80 W/m² aumentando ogni volta di 50 W/m² si andava a leggere il corrispondente valore campionato da Arduino stampato a video attraverso il monitor seriale. Arrivati al limite massimo si sostituiva la griglia con un'altra con percentuale superiore, nel nostro caso abbiamo utilizzato le griglie con percentuali del 23%,33%,50% e 63%.



Figura 3-13 Soluzione finale sensore

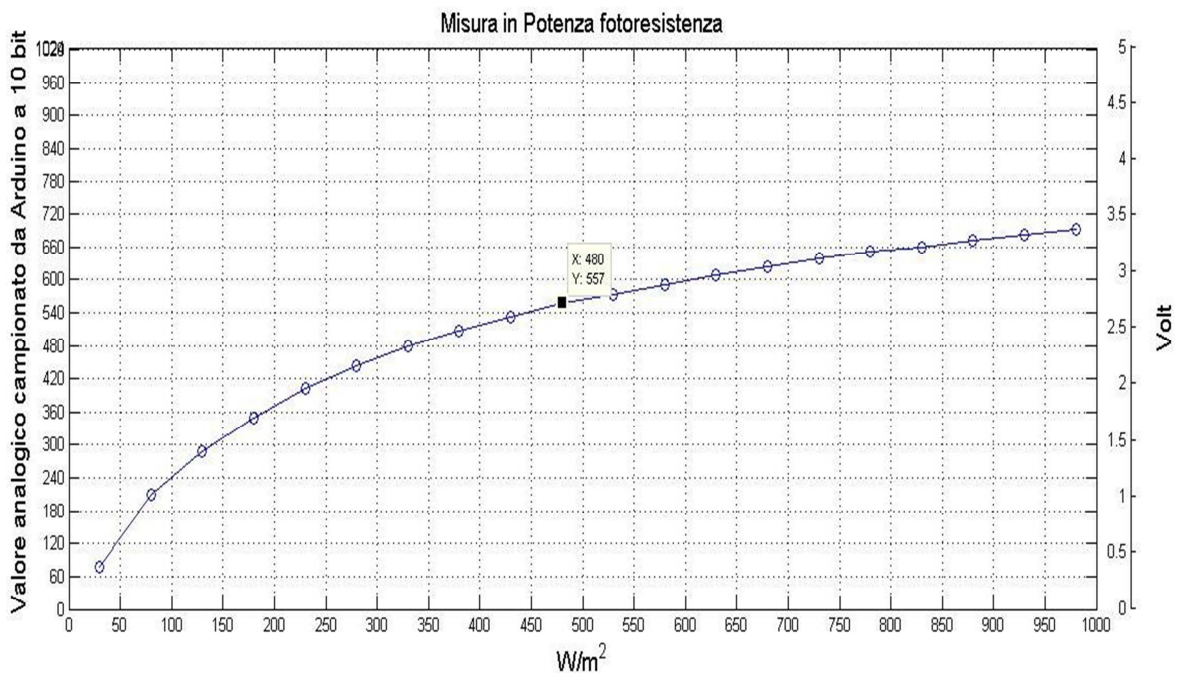


Figura 3-13 Caratteristica in potenza della fotoresistenza

Si è cercato poi di realizzare una caratterizzazione in potenza del fototransistor senza l'utilizzo di griglie di attenuazione, bensì ricorrendo a buste di plastica traslucide da applicare sulla lente della lampada perché in grado di dare un'attenuazione di pochi dB. Inizialmente per ottenere valori bassi di potenza ne sono state impiegate tre ed i rilevamenti venivano effettuati fino al raggiungimento del massimo di potenza in corrispondenza del quale veniva tolta una busta in modo da arrivare a valori di potenza maggiori ed aumentare così il nostro range (ogni misura veniva prima rilevata e verificata attraverso il solarimetro). La caratteristica ottenuta non presenta un andamento lineare come nel caso precedentemente analizzato, infatti si hanno tre salti in corrispondenza dell'eliminazione delle buste, cosa che con le griglie di attenuazione non avveniva.

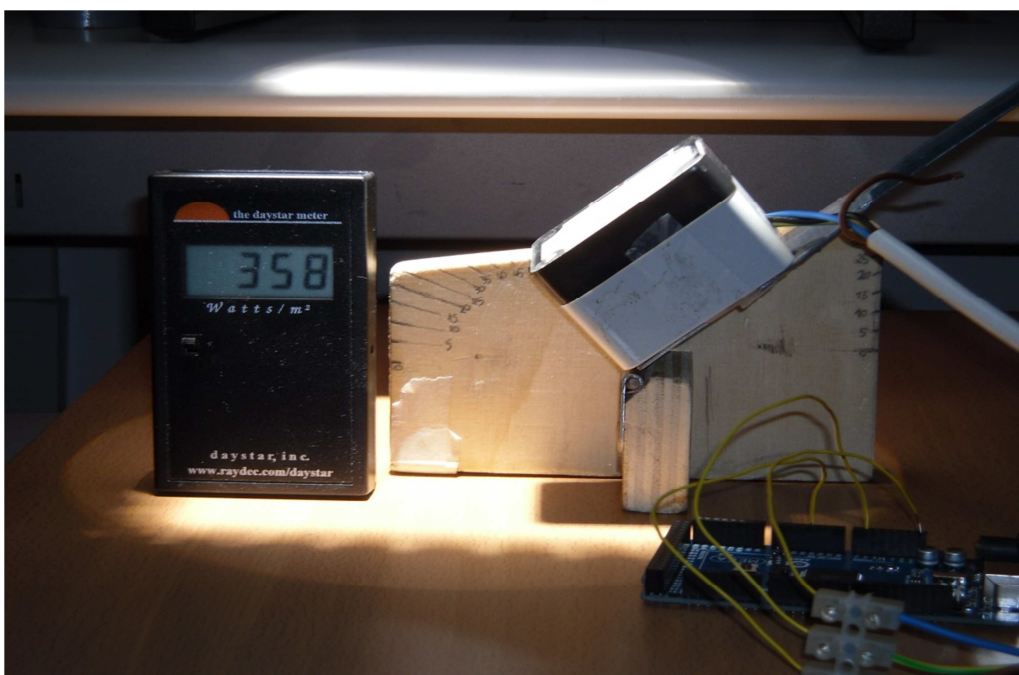


Figura 3-14 Rilevamento per definire il diagramma di ricezione lungo l'asse x.

Sono state poi svolte misure per la caratterizzazione del diagramma di ricezione dei due sensori. Per svolgere questa parte di esperienza 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 presenterà simmetria rispetto alla prima (Figura 2.4). I rilevamenti sono stati svolti considerando il contenitore in policarbonato (sul lato lungo) parallelo all'asse x della base e poi parallelo all'asse y; Lungo y le misure sono state svolte con intervalli di 10° e non 5°.

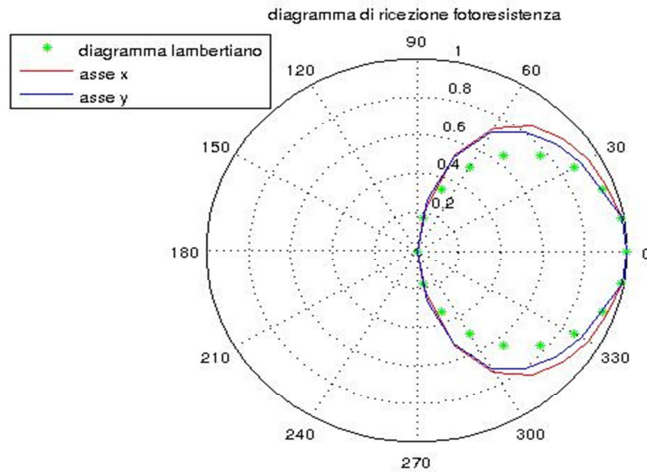


Figura 3-15 Diagramma ricezione fotoresistenza

Dai diagrammi ottenuti, si può visualizzare che il fototransistor ha un diagramma di ricezione molto più direzionale rispetto alla fotoresistenza. I grafici ottenuti mostrano un andamento simile ad un diagramma di ricezione lambertiano.

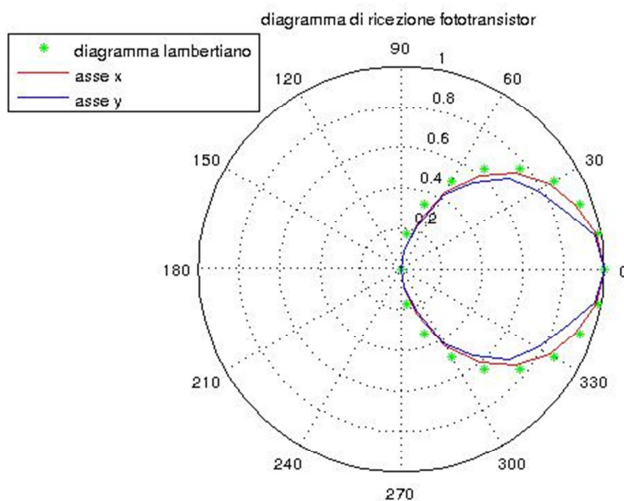


Figura 3-16 Diagramma ricezione fototransistor

Si è voluto poi analizzare il sistema esterno al completo ovvero il fototransistor più il sensore di temperatura, si è utilizzato anche in questo caso la lampada solare. La radiazione luminosa è stata mantenuta costante al valore di 800W/m^2 , dato precedentemente rilevato con il solarimetro.

Data la presenza del sensore di temperatura sigillato all'interno dell'involucro insieme al sensore di luminosità, si è pensato di valutare la caratteristica al variare della temperatura interna al sensore.



Figura 3-17 Fototransistor e sensore di temperatura

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

L'aumento di temperatura va a modificare il segnale fornito dal sensore di luminosità, infatti si ha un aumento del valore fornito in corrispondenza dell'aumento di temperatura. Alla luce di questo, potrebbe essere necessario ridurre l'aumento di temperatura mediante il passaggio di aria all'interno dell'involucro. Come verrà esposto più avanti si è deciso di creare un nuovo contenitore per il fototransistor e il sensore di temperatura, per evitare la saturazione del sistema il nuovo involucro presenta delle aperture laterali che permettono il passaggio di aria ed il raffreddamento del sistema.

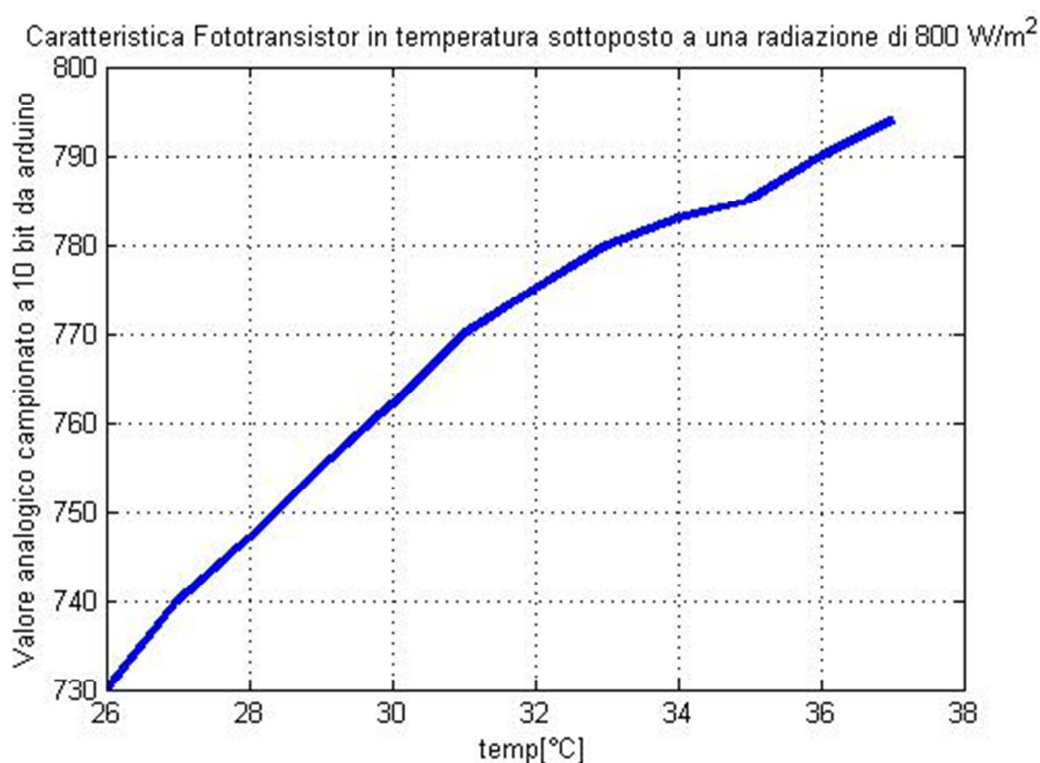


Figura 3-18 Caratteristica fototransistor in funzione della temperatura

➤ 3.4 Processo di misura sulla barriera frangisole

Nel precedente paragrafo è stata eseguita la caratterizzazione dei sensori di luminosità attraverso l'utilizzo di una lampada solare e del solarimetro presenti in laboratorio. Per ottenere dei risultati ottimali sono stati modificati in modo opportuno gli involucri di ciascun sensore mediante l'uso di pellicole. In questo nuovo processo di misura andiamo ad utilizzare le strutture precedentemente costruite svolgendo dei rilevamenti direttamente sulla veneziana, si è deciso di installare nel sistema due fototransistor il primo internamente ed il secondo esternamente, entrambi rivolti verso la radiazione luminosa. In questo modo si è cercato di mettere a confronto i valori rilevati ed analizzare l'attenuazione generata dal vetro della finestra. Esternamente il sensore è stato installato sulla parte

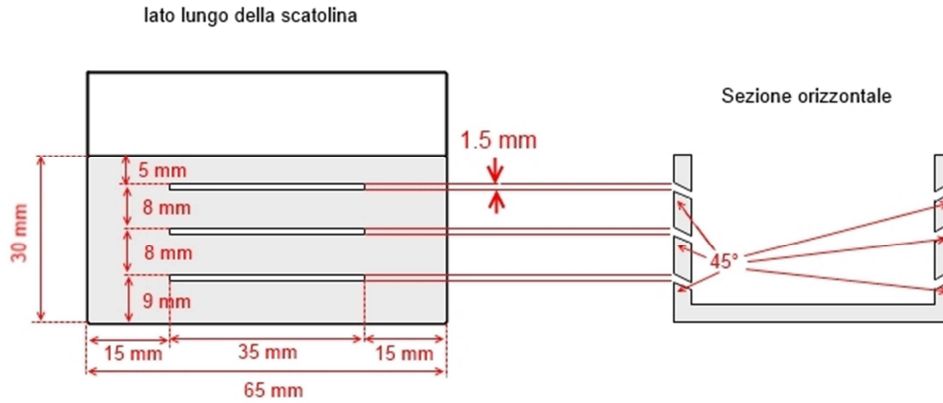
superiore della banchina, internamente invece è stata creata una scatola in polistirolo ricoperta internamente di cartoncino nero per aumentare l'assorbimento di luce e di calore. Il fototransistor è stato montato su di una riga posta verticalmente all'interno dell'involucro nero, le misure di luminosità venivano rilevate ad intervalli di 5 o 10 cm partendo dal basso e spostandosi verso l'alto. I dati sono stati campionati attraverso l'utilizzo del microprocessore Arduino, lanciando lo sketch i dati venivano letti sui pin A0 e A3 e stampati a video attraverso la seriale. Si potevano quindi confrontare i valori di luminosità interna ed esterna alla finestra su cui è montata la barriera frangisole, le misure sono state eseguite considerando un'inclinazione delle lamelle di 0°, -15°, -30°, -45°, +15°, +30°, +45°. Oltre i 45° i valori di luminosità interna erano prossimi allo zero perciò non sono stati prese in considerazioni inclinazioni maggiori; i rilevamenti sono stati effettuati in tarda mattinata tra le undici e mezzogiorno considerando una buona radiazione luminosa. Si è notato che all'aumentare dell'inclinazione i dati ottenuti mostrano salti molto significativi al variare dell'altezza in centimetri.

➤ **3.5 Modifica Involucro Sensore**

Dalle misure svolte si nota che per il sensore di temperatura rileva un valore molto più elevato se viene montato all'interno di un involucro sigillato insieme al sensore di luminosità. Si cerca quindi di compensare questo problema con un nuovo involucro in modo che il sensore di temperatura non venga modificato dall'irraggiamento diretto.

Affinché il sistema funzioni nel modo corretto è bene osservare alcuni accorgimenti:

- Il sensore di temperatura deve rimanere protetto dalla luce diretta, l'involucro è preferibile di colore bianco in grado di assorbire meno calore possibile
- Dato che il sensore viene montato a muro e bene proteggerlo dalle correnti laminari ascendenti superficiali che si creano sulle pareti, utilizzando una sagomatura dell'involucro chiusa nella parte bassa proprio per proteggere il sensore da questi effetti
- Creare un circolo d'aria che annulla il problema del surriscaldamento dell'aria circostante al sensore. Si rende necessario porre delle fessure ai lati del involucro in modo da far circolare l'aria e ridurre al massimo l'ingresso della luce.



Le misure delle fessure laterali sono di 1.5 mm ma possono essere fatte anche leggermente più larghe se non si riesce a farle di 1.5 mm.

Figura 3-19 Immagine con nuova sezione dell'involucro dei sensori

➤ 3.6 Conclusioni

Per quanto riguarda i sensori di luminosità da utilizzare nella barriera frangisole intelligente si è giunti alla conclusione di montare esternamente il fototransistor pertanto si è ricorsi all'impiego di un involucro in policarbonato e di un vetrino opportunamente modificato con fogli lucidi neri per evitare la saturazione del sensore e si è inoltre sfruttata la forte direzionalità in ricezione del componente. Internamente invece la fotoresistenza da risultati più soddisfacenti, grazie anche ad una sensibilità maggiore rispetto al dispositivo esterno, permettendo così il rilevamento di valori di luminosità in ambiente indoor molto buoni. La fotoresistenza tende ad una saturazione maggiore rispetto al fototransistor ma internamente non vengono mai raggiunti livelli di luminosità elevata perciò non si pone il problema. Per i sensori di temperatura invece il miglioramento è dato dalla modifica dell'involucro contenente il sensore.

Capitolo 4

Moduli XBee e comunicazione wireless

4.1 Moduli Xbee e protocolli di comunicazione

➤ 4.1.1 Introduzione

L'introduzione dei moduli XBee ha cambiato un po' l'idea di comunicare in modalità wireless; il basso costo e le numerose configurazioni tra le quali la possibilità di creare reti hanno reso questi dispositivi molto versatili, novità fondamentale per le telecomunicazioni. I moduli vengono prodotti dalla Digi e basano la comunicazione sul trasferimento in radio frequenza (RF) dei pacchetti di informazioni; per la loro comunicazione basta saper definire in maniera corretta la periferica UART del microcontrollore o la porta seriale del nostro pc. Tutto ciò che il computer o il microcontrollore invia sul pin di Tx di un modulo arriva al piedi Rx del secondo dispositivo, questa comunicazione è detta in modalità trasparente mentre vedremo in seguito che esistono anche altri metodi di comunicazione.

Un dei protocolli più utilizzati dai moduli è sicuramente lo standard ZigBee definito da un insieme di compagnie ZigBee Alliance le quali hanno cercato di determinare un nuovo protocollo di comunicazione semplice da utilizzare a basso consumo e in grado di soddisfare tutte le esigenze commerciali ed industriali. In molte delle applicazioni i moduli solitamente vengono utilizzati per un tempo limitato rimanendo a lungo in uno stato di risparmio energetico oppure può essere abilitata la modalità sleep mode, infatti solitamente i dispositivi utilizzati operano per diversi anni prima di sostituire la batteria. Lo standard utilizzato dai dispositivi è lo IEEE 802.15.4 con Physical Layer (PHY) e Medium Access Control (MAC).

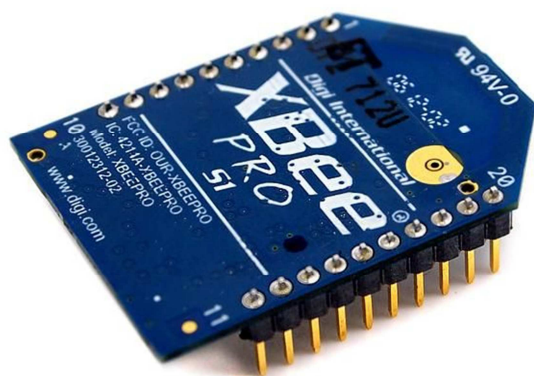


Figura 4-1 Modulo XBee Serie 1

analizzate nel modo più opportuno.

I moduli possono essere usati per svariate applicazioni che vanno dal controllo di sistemi meccanici come motori e centraline ad un utilizzo invece nel campo della medicina con il rilevamento ed il controllo di alcuni parametri del corpo umano. Il funzionamento in ogni caso è il medesimo e si basa sul rilevamento di dati tramite sensori ed il corrispondente monitoraggio; le informazioni raccolte vengono inviate in modalità wireless ad un secondo modulo collegato ad un computer e qui gestite ed

Attraverso delle schede di adattamento è possibile programmare gli XBee modificando i loro parametri o definirne il corretto indirizzamento per la comunicazione. Solitamente i dispositivi operano con valori in frequenza di 868MHz, 915MHz , 2.4GHz nonostante questo ultimo valore venga utilizzato anche dal WI-FI i due tipi di comunicazione non interferiscono tra loro dato che utilizzano protocolli diversi.

La comunicazione in modalità wireless può essere impostata ricorrendo a protocolli diversi come IEEE 802.11, WLAN (Wireless Local Area Network) e Bluetooth: ogni standard ha i suoi vantaggi e svantaggi rispetto ad altri. Per quanto riguarda i moduli l'IEEE 802.15.4 mostra una riduzione di costi e di data rate oltre ad una notevole semplificazione del protocollo di comunicazione rispetto ad altri standard precedentemente utilizzati come lo IEEE 802.11(standard WLAN).

Il duty cycle indica il tempo in cui il dispositivo è attivo rispetto al tempo totale, nei moduli si ha solitamente un valore di duty cycle inferiore al 1% ed in tal modo le batterie riescono a mantenersi per anni.

Nella progettazione di un sistema wireless la scelta dei moduli ricopre un aspetto fondamentale; il mercato propone diverse soluzioni con costi differenti pertanto un costo ridotto spesso porta a moduli utilizzati per semplici applicazioni. Nel nostro caso i dispositivi scelti implementano delle caratteristiche fondamentali per la gestione della barriera e per una corretta comunicazione wireless:

- Un modulo XBee è bidirezionale, ogni singolo modulo è in grado sia di trasmettere che di ricevere dati. In alcune versioni più economiche si può operare solo in una direzione.
- Un modulo XBee può essere indirizzato in maniera univoca, ogni dispositivo è rappresentato da un numero seriale che lo identifica perciò si può creare una semplice comunicazione tra due di questi senza problemi di software. Si possono collegare anche più dispositivi nella stanza senza problemi di disturbi.
- Nei moduli XBee sono già implementati nell'hardware tutti i controlli per una connessione wireless ottimale come ad esempio il controllo sui pacchetti errati e la ritrasmissione dei dati nel caso in cui la comunicazione non avvenga correttamente. Non tutti i moduli implementano queste opzioni, infatti nei modelli più economici noi utenti dobbiamo inserire i controlli attraverso il software.
- I moduli scelti hanno a disposizione una serie di ingressi analogici/digitali, PWM e input/ output programmabili in base alle proprie esigenze . [1]

➤ 4.1.2 Caratteristiche elettriche e meccaniche

I moduli XBee sono caratterizzati da una forma particolare simile ad altri dispositivi prodotti da altri costruttori, soprattutto per quanto riguarda la piedinatura. Infatti moduli differenti possono essere utilizzati sulle stesse schede di adattamento degli XBee dato che i pin fondamentali coincidono. Gli XBee possiedono una doppia fila di piedini con una spaziatura di 2 mm più stretta rispetto al classico 2.54 mm delle millefori o delle breadboard. Solitamente vengono utilizzati gli adattatori con i loro regolatori di tensione dato che i moduli vengono alimentati a 3.3V; la classificazione più generale che si può fare di questi dispositivi è quella tra Low Power e Pro. I primi offrono consumi ridotti e distanze molto brevi con un costo relativamente basso, i secondi raggiungono distanze più elevate ma presentano anche un costo maggiore ed in questi viene indicato sul componente la sigla Pro che li caratterizza. Mentre i moduli Low sono gli stessi in tutto il mondo i Pro cambiano in base alle legislazioni relative alle trasmissioni RF, infatti negli Stati Uniti vengono concesse potenze di trasmissione maggiore rispetto al resto del mondo.

I vari modelli di moduli possono essere classificati anche in base al tipo di antenna: un'antenna più performante consente di avere una maggiore potenza di trasmissione e di conseguenza una maggiore distanza coperta, i costi ed i consumi aumentano all'aumentare della copertura e degli altri parametri tecnici. I moduli più economici prevedono un'antenna sullo stampato PCB o un chip, possono però insorgere dei problemi di interferenza se il dispositivo viene inserito in un contenitore metallico, perciò vengono proposti anche moduli con antenna esterna ed in questo caso il costo aumenta notevolmente portando però a risultati migliori e più performanti.

➤ 4.1.3 Adattamento dei livelli logici

I moduli vengono alimentati con una tensione di 3.3V, possono però insorgere dei problemi nel momento in cui si interfaccia il dispositivo con una microcontrollore a 5V, per risolverli basta inserire due resistenze. Sulla linea Tx dell'XBee non bisogna porre nessun componente infatti le logiche a 5V riconoscono 3.3V come livello alto senza problemi, le logiche TTL a 5V hanno difatti un soglia indeterminata nel range 1.5-2 V. In questo intervallo le tensioni possono essere riconosciute come livello logico alto o basso, mentre al di sopra dei 2 V vengono riconosciute sicuramente come livello alto. Invece sulla linea Rx dell'XBee non si può ricevere una tensione di 5V altrimenti il sistema viene danneggiato perciò si crea un semplice partitore resistivo per fare in modo che i 5V diventino i 3.3V richiesti dal modulo. Valori delle resistenze da utilizzare possono essere 12 e 22K Ω oppure 10 e 18 K Ω . Esistono altri metodi più o meno validi per risolvere il problema, invece per quanto riguarda le schede di adattamento si ha l'implementazione di un regolatore di tensione, perciò non serve creare il partitore di tensione. [2]

➤ **4.1.4 Confronto tra ZigBee , Bluetooth e IEEE 802.11**

Un'analisi interessante è quella riguardante il confronto tra alcuni degli standard più utilizzati per una comunicazione di tipo wireless. Il primo ad essere studiato è l'IEEE 802.11b standard utilizzato dalle reti WLAN(Wireless Local Area Network) . Questo utilizza la frequenza di 2,4 GHz ,la stessa impiegata anche dagli altri, presenta una data rate sopra gli 11Mbps e può raggiungere, in ambiente indoor, distanze comprese tra 30 e 100 metri. Il secondo standard è il bluetooth utilizzato a lungo nei cellulari e smartphone per comunicare con microfoni e cuffie, in questo caso rispetto al modello precedente si ha una riduzione della data rate compresa tra 1 e 3 Mbps ed anche la distanza massima raggiunta in ambiente indoor si riduce a 2-10 metri. Per ultimo si ha il protocollo ZigBee con una data rate di 250Kbps ed un range in ambiente indoor di 10-100m. L'ultimo standard risulta il peggiore per applicazioni come una connessione internet o la lettura di un CD la quale richiede almeno 1Mbps di data rate, risulta invece ottimale per applicazioni quali la ricezione/ trasmissione di piccoli comandi o la raccolta di dati derivanti da sensori come temperatura e umidità. Confrontando i tre standard lo ZigBee risulta la scelta migliore per una comunicazione senza fili.

➤ **4.1.5 WLAN e WPAN**

Le reti a corto raggio possono essere classificate in WLAN e WPAN, le prime possono integrarsi o sostituire le reti LAN cablate ,come ad esempio la rete Ethernet 802.3. I dispositivi wireless inseriti vengono integrati alla rete e visti come i corrispondenti cablati, con questi tipi di sistema si cerca di massimizzare il data rate e la distanza raggiungibile.

Le WPAN(Wireless Personal Area Network) non vengono utilizzate per integrarsi con reti cablate preesistenti, ma per creare una comunicazione wireless affidabile senza l'utilizzo di altri dispositivi. L'area definita dalla rete viene detta POS (personal operating space) ed è delimitata dai dispositivi wireless con una distanza massima di 10 metri.

A sua volta le WPAN vengono divise in tre classi, le High Rate -WPAN(11-55Mbps) ad esempio le IEEE 802.15.3 utilizzate in applicazioni di tipo real time con video trasmissioni, le Medium Rate -WPAN (1-3 Mbps) ed il Bluetooth utilizzato per la telefonia ne è un esempio e le Low Rate -WPAN(250Kbps) con le IEEE 802.15.4 .

➤ **4.1.6 Il protocollo IEEE 802.15.4**

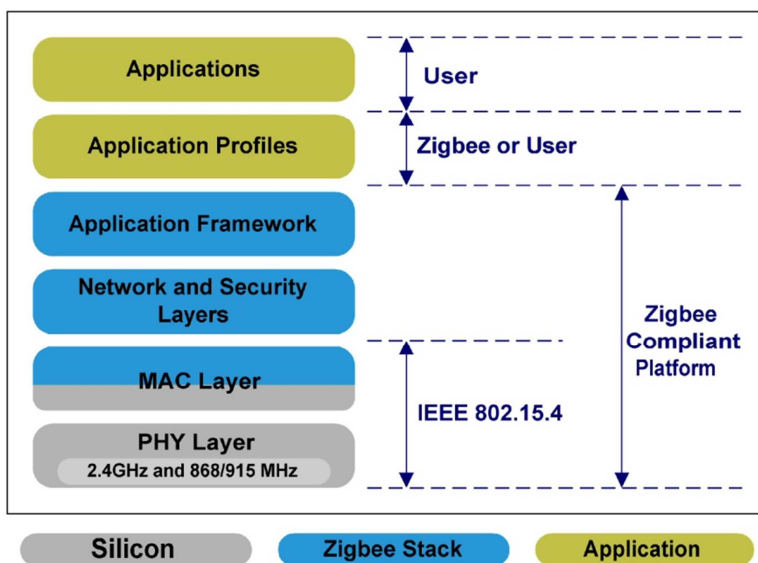
I moduli XBee vengono classificati in base anche al tipo di protocollo implementato, lo standard definito permette la comunicazione anche tra moduli costruiti tra produttori differenti. Si è concepito questo tipo di protocollo per soddisfare dei requisiti di basso consumo quali velocità di trasferimento, connettività semplice e possibilità di operare con batterie.

Le frequenze definite dallo standard sono le stesse elencate precedentemente. L'approvazione in tutto il mondo della frequenza di 2.4GHz ha portato ad una forte diffusione dei moduli utilizzati in tale banda, le restanti frequenze sono approvate soltanto in alcuni parti del mondo limitandone la diffusione. Lo standard IEEE prevede che la comunicazione avvenga con canali distanziati tra loro a passi di 5 MHz a partire da 2.405 fino a 2.480 GHz mantenendo la stessa velocità di trasmissione massima in aria di 250 Kbps. A causa dell'overhead (banda aggiuntiva necessaria per nuovi dati o il controllo di errore) la velocità a disposizione dell'utente per il trasferimento dati si riduce a 115Kbps massimo.

Lo standard prevede una comunicazione point-to-point o point-to-multipoint. Una tipologia di rete point-to-point fa sì che due dispositivi A e B comunichino unicamente tra loro. Nelle applicazioni point-to-multipoint è invece richiesto un coordinatore (un nodo centrale) che può ricevere/trasmettere da/verso tutti e si occupa in qualche modo di "avviare" la rete, mentre i nodi periferici (end devices) possono soltanto comunicare con il coordinatore. I moduli scelti da noi vengono identificati con la sigla XBee 802.15.4 OEM RF modules, conosciuti con la denominazione Serie 1, sono in grado di eseguire comunicazione point-to-point e point-to-multipoint e quindi sono conformi allo standard 802.15.4. In aggiunta tali moduli possono anche compiere comunicazioni di tipo peer-to-peer . In questo ultimo caso non c'è bisogno di un coordinatore e ogni nodo può comunicare con tutti i nodi vicini. Di default i moduli XBee Serie1 sono configurati per operare in modalità peer-to-peer trasparente.

➤ **4.1. 7 ZigBee e 802.15.4**

I due protocolli presentano aspetti in comune ma anche differenze fondamentali, entrambi si basano su una struttura di tipo network layers ovvero una serie di livelli che



compongono i nostri protocolli ed ogni livello si occupa di determinati compiti, le informazioni ed i comandi vengono trasferiti sempre al livello inferiore o superiori. La scomposizione in livelli del protocollo di rete presenta diversi vantaggi, per esempio se il protocollo viene a cambiare basta intervenire sui livelli opportuni senza dover ridefinire tutto quanto lo standard.

Figura 4-2 Struttura protocollo IEEE 802.15.4

I livelli più bassi del protocollo sono definiti dallo standard IEEE 802.15.4, questo delinea le specifiche per i livelli PHY e MAC, ma non da informazioni per livelli di rete superiori. Lo standard ZigBee invece implementa applicazioni di rete e livelli di sicurezza per il protocollo utilizzando i livelli inferiori PHY e MAC definiti dallo standard IEEE 802.15.4, perciò ogni dispositivo che utilizza lo standard ZigBee è compatibile anche allo standard IEEE 802.15.4.

Lo standard IEEE è stato sviluppato separatamente da quello ZigBee perciò è possibile implementare una rete a basso raggio solo con le specifiche del 802.15.4 senza considerare i livelli definiti dall'altro standard. In questo caso l'utente deve implementare i livelli superiori in base all'applicazione richiesta lavorando sulla parte superiore dei livelli MAC e PHY, questo processo risulta più semplice rispetto allo standard ZigBee e finalizzato per specifiche applicazioni. Uno dei vantaggi nell'operare direttamente sui livelli è rappresentato dalla notevole riduzione in termini di memoria richiesta riducendo notevolmente anche i costi, dall'altra però la scelta di utilizzare lo ZigBee mostra una maggiore affidabilità nella comunicazione grazie anche alla capacità mesh del sistema oltre ad una maggiore interoperabilità tra costruttori. La scelta dello standard viene fatta in base al tipo di applicazione che si deve sviluppare e al prodotto.

A differenza dello standard 802.15.4, il protocollo ZigBee prevede un collegamento di tipo mesh. Questo collegamento è utile quando due moduli devono comunicare tra di loro, ma la distanza che li separa è eccessiva, in questo caso altri moduli presenti nella rete, operanti come router, possono effettuare il rilancio del messaggio. Questo tipo di rete per poter funzionare hanno bisogno di un coordinatore che metta in opera la rete per poi agire come un normale router, nonostante ciò nella rete possono essere presenti altri dispositivi operanti come semplici router e sicuramente ci saranno degli end devices. Il protocollo ZigBee è strutturato in maniera tale che i due moduli comunichino attraverso router intermedi in maniera automatica senza interventi esterni; i nodi si organizzano affinché il messaggio possa giungere a destinazione e nel caso uno dei nodi venga eliminato il sistema si riorganizza per garantire la corretta trasmissione delle informazioni. Il protocollo si occupa anche di una ritrasmissione del messaggio nel caso ci sia qualche errore di trasmissione.

4.1.8 Tipi di dispositivi e loro posizionamento

I dispositivi esistenti sono due: gli FFD (Full Function Devices) in grado di comunicare con ogni dispositivo e utilizzati in qualsiasi posizione all'interno della rete e gli RFD (Reduced Function Devices) con funzionalità molto più limitate capaci di comunicare solo con dispositivi FFD ed usati per applicazioni molto semplici. In una rete costruita sul protocollo IEEE 802.15.4 gli FFD possono assumere tre ruoli all'interno del sistema ovvero coordinator, PAN coordinator e end device.

Il coordinator è un FFD in grado di ritrasmettere il messaggio, nel caso il dispositivo oltre ad essere coordinator sia anche il controllore principale della rete allora si parla di PAN (Personal Area Network) coordinator. Se un dispositivo non è un coordinator viene considerato come semplice device.

Lo standard ZigBee mostra invece una struttura diversa , infatti un ZigBee coordinator corrisponde ad PAN coordinator precedente, così come un ZigBee router può essere utilizzato come un coordinator visto prima, mentre un ZigBee end device non è un coordinator e nemmeno un router. Lo ZigBee end device presenta una minore memoria , ma anche una minore funzionalità ed elaborazione risultando così il componente meno costoso all'interno della rete.

➤ 4.1.9 Tipologie di rete

Le tipologie di rete esistenti devono rispettare le due reti standard definite dal protocollo IEEE 802.15.4, il primo modello viene indicato come tipologia a stella e tutti i dispositivi che la compongono comunicano solo con un unico PAN coordinator . Solitamente si ha un FFD programmato come nodo centrale il quale come prima cosa definisce un proprio identificativo, in questo modo si evita che altre reti utilizzino il PAN della rete.

Il secondo modello è definito come peer-to-peer ovvero tutti i nodi possono comunicare con tutti, ogni dispositivo può essere un PAN coordinator, solitamente il primo che inizia a comunicare viene considerato come tale. In questa tipologia tutti i dispositivi sono FFD anche perché gli RFD non sono in grado di trasmettere l'informazione, tuttavia un RFD può comunque fare parte della rete comunicando solo con un coordinator o con un router. Nella rete peer-to-peer è possibile definire delle restrizioni, nel caso queste non siano presenti la rete viene definita come mesh tipologia già vista precedentemente. Un'altra tipologia di rete è quella ad albero con un PAN coordinator iniziale che definisce il sistema, dei router che rappresentano i rami dell'albero e si occupano della ritrasmissione del messaggio ed infine gli end device visti come foglie i quali non partecipano al routing del messaggio. I router possono aumentare le dimensioni della rete rispetto allo stato iniziale definito dal coordinator. Se per esempio lo stato A vuole comunicare con lo stato B ma i due moduli sono separati da una parete ed il segnale è troppo debole per penetrare attraverso la struttura ad albero, è possibile aggirare l'ostacolo e ritrasmettere il segnale fino a destinazione, in questo caso la struttura della rete supera le dimensioni iniziali del sistema.

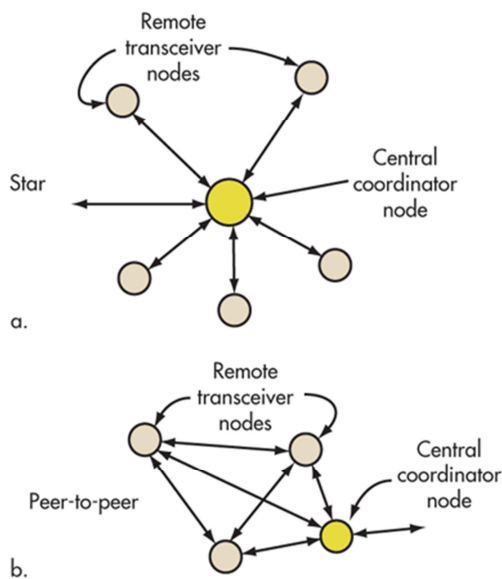


Figura 4-3 Reti realizzabili con moduli XBee

Una rete definita dallo standard IEEE 802.15.4 viene definita attraverso un PAN coordinator, il quale si occupa di instradare con un opportuno indirizzo (16 o 64 bit) ciascuno dispositivo della rete, oltre a trasmettere e instradare il flusso dei dati. Il PAN coordinator che definisce la rete come abbiamo già esposto precedentemente deve essere qualcosa di univoco, caratterizzato da un indirizzo a 16 bit ed in grado di

comunicare con ciascun componente; il dispositivo deve rimanere attivo a lungo perciò viene alimentato direttamente mentre gli altri dispositivi utilizzano delle batterie. La più piccola rete analizzata e realizzabile secondo gli standard è composta da un PAN coordinator e da un end device.

➤ 4.1.10 Comunicazione degli standard

La comunicazione degli standard precedentemente analizzati implementano un mezzo semplice per permettere a più dispositivi di trasmettere sullo stesso canale di frequenza; il meccanismo di accesso è detto CSMA-CA (Carrier Sense Multiple Access con Collision Avoidance) e prima di iniziare a trasmettere ogni dispositivo effettua un controllo: se il canale sia libero e quindi disponibile per inviare l'informazione si parla di clear channel assessment (CCA). Se il controllo dà esito positivo il dispositivo può iniziare a trasmettere avendo a disposizione l'intero canale. Per dichiarare se un canale sia occupato o meno si può rilevare lo spettro di energia del segnale o rilevare il tipo di segnale occupato. Quando un dispositivo vuole iniziare a trasmettere il segnale come prima cosa deve mettersi in modalità ricevente e stimare il livello di energia del segnale, questa operazione prende il nome di Energy Detection (ED). In ED non si va a decodificare nessun segnale, ma si stima solamente il livello di energia; se è già presente un segnale nella banda di interesse ED non svolge nessun compito. Un metodo alternativo per verificare la disponibilità del canale è il Carrier Sense (CS).

Questo risulta in contrasto con il precedente ED, in tal caso se il segnale è un IEEE 802.15.4 si potrebbe considerare il canale occupato anche con un livello di energia al di sotto della soglia standard definita. Se il canale non è disponibile il sistema si spegne per un certo tempo effettuando più tardi un nuovo accesso, l'operazione si ripete finché il canale risulta libero oppure si raggiunge un numero massimo di tentativi definito dall'utente. Per accedere al canale ci sono due metodi: il contention based oppure il contention free, il based basa il suo funzionamento sul sistema CSMA-CA, ovvero tutti i dispositivi comunicano sullo stesso canale di frequenza ed il primo che trova il canale libero inizia a trasmettere il messaggio. Invece nel contention free il PAN coordinator definisce un certo tempo di trasmissione per ogni dispositivo guaranteed time slot (GTS), in questo modo non è necessario il meccanismo CSMA-CA ed ogni dispositivo inizia a trasmettere quando arriva il suo momento.

Per il corretto funzionamento della rete nel caso GTS il PAN coordinator deve sincronizzare tutti i nodi di questa attraverso il messaggio di Beacon perciò si parla di beacon-enable PAN. Lo svantaggio di questo metodo è rappresentato dal fatto che alcuni dispositivi si attivano solo per la sincronizzazione tornando subito dopo in sleep mode senza svolgere altre funzioni all'interno del sistema. Si ha quindi una riduzione nella durata della batteria dei singoli dispositivi rispetto al caso senza beacon dove i device vengono attivati con una frequenza molto inferiore. Nel caso in cui il PAN coordinator non utilizza il messaggio beacon per la sincronizzazione allora non è possibile avere il contention free con il GTS per ogni dispositivo che vuole trasmettere.

Per quanto riguarda il metodo di trasferimento dei dati ne esistono tre tipi:

- Trasferimento da dispositivo a coordinatore
- Trasferimento da coordinatore a dispositivo
- Trasferimento tra due dispositivi di tipo peer

Tutte e tre le tipologie possono essere utilizzate in una rete con tipologia peer-to-peer, mentre in una rete a stella si utilizza solo la prima.

Nel primo caso con una rete beacon-enable il dispositivo quando decide di trasmettere effettua una sincronizzazione del clock, poi invia il messaggio utilizzando il metodo CSMA-CA. Il coordinatore, se richiesto dal trasmettitore, potrebbe inviare un messaggio di conferma dell'avvenuta comunicazione. Nel caso di una rete senza l'utilizzo del beacon e quindi della sincronizzazione, il dispositivo trasmette non appena il canale è libero anche in questo caso è opzionale la risposta dell'avvenuta comunicazione da parte del PAN.

Nel secondo caso se viene utilizzata una rete beacon-enable il coordinatore invia un messaggio per indicare la presenza di informazioni per quel dispositivo; il device risponde con un pacchetto dove indica di essere attivo e pronto a ricevere , può esserci (opzionale) anche un secondo messaggio di risposta del coordinatore. In una rete senza beacon il PAN aspetta che il dispositivo richieda i dati, se in sospenso non ci sono informazioni il coordinatore invia un formato di riconoscimento con un codice specifico oppure può inviare dei pacchetti di lunghezza zero.

Nel terzo caso, peer-to-peer, ogni dispositivo può comunicare direttamente con tutti gli altri dispositivi, in molti casi i device utilizzati per la trasmissione e la ricezione all'interno di questa tipologia di rete sono sincronizzati.

Per quanto riguarda invece il discorso sull'indirizzamento della rete lo standard IEEE 802.15.4 presenta due diversi tipi: quello a 16 bit considerato breve e quello a 64 bit. L'indirizzamento all'interno di una rete può essere fatto sia a 16 che 64 bit, se si sceglie il metodo corto si ha un risparmio in termini di lunghezza del messaggio e spazio in memoria utilizzato per indirizzare i vari dispositivi. Il numero di dispositivi che possono essere collegati alla rete è di 2^{64} considerando l'indirizzamento a 64 bit, perciò lo standard IEEE 802.15.4 non ha limiti al numero di dispositivi collegabili. Per quanto riguarda il protocollo ZigBee ed il livello di rete NWK oltre all'indirizzo dell'IEEE si ha anche un indirizzo a 16 bit del NWK utilizzato per le corrispondenti operazioni di livello, attraverso una tabella è possibile mappare ogni indirizzo a 64 bit dell'IEEE ad un unico indirizzo del NWK.

➤ **4.1.11 IEEE 802.15.4 livelli del protocollo e funzioni**

Il protocollo di comunicazione utilizzato dai moduli XBee presenta una struttura a livelli dove ogni strato svolge dei compiti opportuni. La parte più bassa del sistema è rappresentata dal livello fisico PHY (Physical Layer), il quale controlla e comunica direttamente con il ricevitore. Lo strato rappresenta la parte del protocollo più vicina al hardware, svolgendo il compito di attivare la comunicazione per trasmettere o ricevere dei dati, un'altra azione eseguita è quella di selezionare il canale di frequenza su cui comunicare, verificando che questo non sia occupato ed utilizzato da un'altra rete. I dati e la comunicazione tra i vari dispositivi avviene attraverso dei pacchetti, questi presentano una struttura con tre parti fondamentali, la prima è l'header di sincronizzazione (SHR) poi si ha l'header fisico (PHR) ed il payload. L'SHR serve per abilitare il ricevitore sincronizzando il sistema inoltre può interrompere il flusso dei bit, il PHR contiene informazioni sulla lunghezza del frame mentre il PHY inviato dai livelli superiori presenta dati e comandi per i dispositivi di ricezione.

Il frame MAC invece viene trasmesso ai dispositivi in modalità payload ed ha tre differenti sezioni, l'header MAC (MHR) contiene informazioni sull'indirizzamento e sulla sicurezza, il payload contenente informazioni e dati con una lunghezza variabile anche tutti zeri ed il MAC footer (MFR) contenente 16-bit Frame Check Sequence (FCS) per la verifica dei dati. Il MAC (Medium Access Control) si interpone tra livello fisico (PHY) ed i livelli di rete (NWK), il suo compito è quello di abilitare o meno i servizi cercando anche la sincronizzazione dei vari dispositivi che compongono il sistema attraverso il frame beacon.

Lo standard IEEE 802.15.4 definisce quattro strutture differenti di frame ovvero:

- Beacon Frame
- Data Frame
- Acknowledge Frame
- MAC Frame

I primi vengono utilizzati da un coordinatore per inviare dei beacon e sincronizzare con lo stesso clock tutti i dispositivi della rete. Il data e l'acknowledge sono invece utilizzati per trasmettere dati ed avere un frame di risposta per verificare la corretta comunicazione. Il comando MAC invece è inviato usando un frame di comando.

Per quanto riguarda il Beacon frame, il MAC frame rappresenta il payload dello stato fisico PHY Service Data Unit (PSDU). Nello stato PHY si ha inizialmente un campo di preambolo per la sincronizzazione del sistema, si ha poi il frame SDF (start-of-frame-delimiter) il quale indica la fine del SHR e l'inizio del PHR. Come abbiamo visto in precedenza il MAC frame è scomposto in tre parti in questo caso analizziamo la parte MHR dove sono presenti i campi per il controllo del frame, il numero di sequenze, il campo di indirizzamento con sorgente e destinazione. Nel MAC payload si ha il campo di super frame opzione facoltativa utilizzata per indicare una rete beacon e definire il successivo campo GTS. Il frame beacon non viene usato solo per la sincronizzazione ma può essere utilizzato dal coordinatore per mettere un dispositivo in attesa di trasmissione, si crea quindi una comunicazione indiretta dove il dispositivo cerca di contattare il coordinatore. Il campo Pending Address indica infatti l'indirizzo del dispositivo in attesa di trasmettere, ed ogni volta che un componente riceve un frame beacon deve controllare l'attesa per la comunicazione. Si ha poi come opzione il campo Beacon Payload mentre con il FCS si fa un controllo di errore sui frame di dati ricevuti.

Il MAC frame viene fornito dai livelli di rete, è molto simile al beacon frame ma non presenta il campo di superframe, il GTS ed indirizzi di attesa per i dispositivi. In questo caso l'intera struttura MAC indicata come MAC Protocol Data Unit (MPDU) corrisponde al Payload del livello PHY.

L'acknowledge frame è il formato MAC più semplice senza alcun payload, si ha soltanto un pacchetto di informazioni che vengono inviate da un dispositivo all'altro per verificare la corretta ricezione delle informazioni.

Il Command frame serve invece per abilitare o meno servizi all'interno della rete, l'intero frame viene inserito nel payload fisico come PSDU. [3]

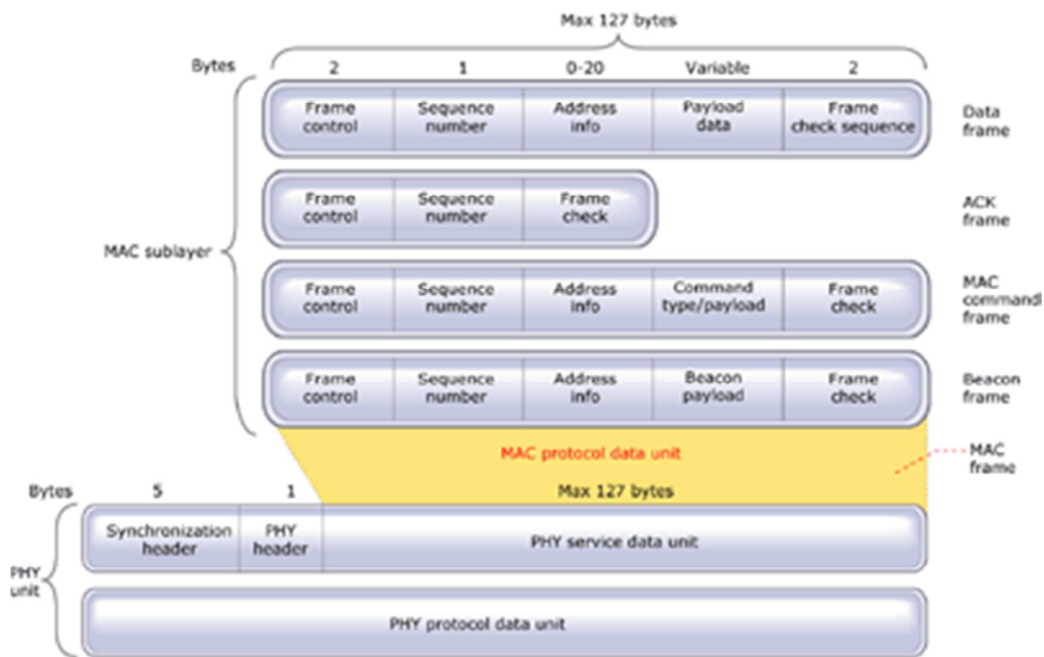


Figura 4-4 Strutture frame MAC layer

[1] [Guida alla scelta dei moduli XBee] http://www.robot-italy.com/download/xbec/easy_bee.pdf

[2] [Programmazione e moduli] [www.grix.it/.../Programmazione ed analisi del modulo](http://www.grix.it/.../Programmazione%20ed%20analisi%20del%20modulo)

[3] ZigBee Wireless Networks and Transceivers – Shahin Farahani

Capitolo 4.2 Progettazione scheda

➤ 4.2.1 Introduzione

Il progetto iniziale della barriera frangisole prevedeva un collegamento tra sensori ed il sistema Eco Shad attraverso una serie di fili inseriti in un'apposita canaletta. In questo capitolo verrà analizzata una comunicazione tra sensori e sistema di controllo in modalità wireless. Il funzionamento si basa sull'utilizzo di moduli XBee precedentemente esposti. La nuova scheda fa riferimento ad una parte dello schema elettrico del sistema, la modalità wireless ha sicuramente permesso di creare una scheda più compatta con una riduzione degli spazi occupati all'interno della scatola così come si ha avuto la riduzione di parte della componentistica utilizzata. Lo studio fatto mostra la comunicazione tra due semplici moduli, in generale si vorrebbe creare una rete in cui il sistema Eco Shad comunica con ciascun xbee presente in ogni finestra dell'ambiente. Il modulo presente nella centralina rappresenta il router di base, visto anche come uno switch in grado di indirizzare e comunicare con i vari moduli remoti. Il sistema viene sempre gestito dal microcontrollore Arduino.

➤ 4.2.2 Arduino

Arduino rappresenta un sistema open source che permette la realizzazione di progetti elettronici operando attraverso la comunicazione con sensori ed attuatori presentando dal punto di vista Hardware schede, adattatori e microcontrollori. Per quanto riguarda il software il codice di Arduino risulta fondamentale per la verifica ed il funzionamento del sistema Eco Shad, la struttura risulta simile al linguaggio C con alcune piccole variazioni. Nel progetto è stato sviluppato il software completo per la barriera frangisole, ma anche una serie di sketch che serviranno per testare la comunicazione tra moduli o la lettura tramite Arduino Mega 2560 di un segnale analogico.

➤ 4.2.3 Software X-CTU

Precedentemente al montaggio della scheda si è preferito effettuare alcune prove sulla comunicazione dei moduli; per fare questo si è utilizzato il software X-CTU fornito dalla Digi. Prima di aprire il programma bisogna collegare al pc la usb board con il modulo xbee montato sopra altrimenti si avrebbe un errore nel riconoscimento della periferica.

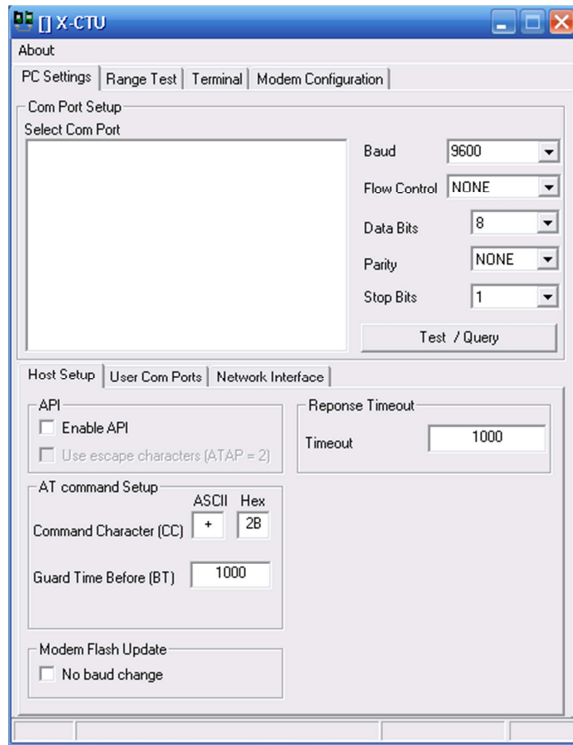


Figura 4-5 Schermata iniziale software x-ctu

Lanciando il programma per la prima volta si aggiorna il firmware all'ultima versione esistente, nel nostro caso la 10ED, questo parametro può essere aggiornato attraverso un semplice download direttamente dall'interfaccia del programma. La schermata iniziale si trova su pcsetting e mostra un elenco di parametri che non devono essere modificati. Per esempio viene mostrata la baud-rate(velocità di trasmissione dei simboli) con un valore di 9600, modificando il parametro e portandolo per esempio a 192000, si ha una schermata di errore durante la fase di scrittura, il modulo non riesce a supportare questa velocità di trasmissione dei simboli.



Figura 4-6 Schermata di verifica della comunicazione tramite USB port

Attraverso il pulsante Test/ Query è possibile verificare la comunicazione con il modulo tramite porta usb opportunamente selezionata tra le varie disponibili; la schermata di conferma mostra il tipo di modulo inserito nel programmatore, il firmware ed il numero di serie del xbee. Se il test non va a buon fine bisogna verificare il corretto inserimento dell'usb nel computer, oppure verificare nel pannello di controllo la porta di

comunicazione del dispositivo.

La parte più interessante dell'applicazione è rappresentata dal modem configuration, in questo parte del programma è possibile impostare diversi parametri, abilitare pin analogici o digitali ed indirizzare i componenti, tenendo conto del dispositivo montato e della

versione del firmware attuale. La configurazione viene fatta sul modulo inserito nella XBee board, attraverso il comando read si va a vedere l'attuale configurazione del componente, una volta modificato qualche parametro si va a scrivere il dispositivo con l'opzione write. Mentre con l'opzione restore si fa un reset generale del componente.

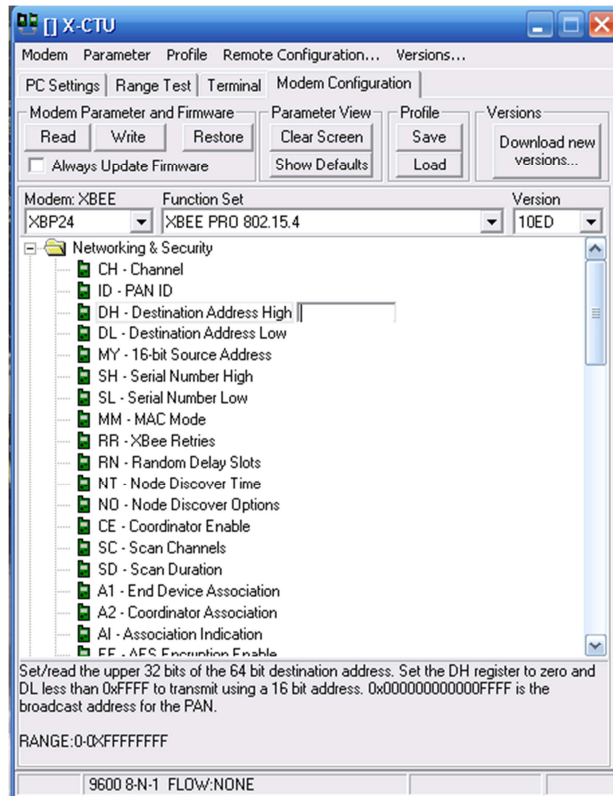


Figura 4-7 Modem configuration

Il programma permette di verificare la comunicazione anche attraverso l'opzione di range test, la quale mostra la percentuale di pacchetti trasmessi correttamente e quelli scartati, in seguito analizzeremo nel dettaglio la prova fatta.

Durante la comunicazione è possibile analizzare il pacchetto trasmesso o ricevuto attraverso la stampa a video sull'opzione terminal, in particolare la stringa di colore blu corrisponde al dato trasmesso mentre quella rossa al dato ricevuto.

➤ 4.2. 4 Programmatore e adattatori

Per poter programmare i moduli XBee si è scelto di utilizzare la scheda XBee-USB Board la quale permette di connettere in maniera facile ed affidabile gli XBee con il computer. Inserendo il modulo sul dispositivo e avviando contemporaneamente il software x-ctu è possibile svolgere diverse operazioni come le fasi di lettura o scrittura espresse precedentemente nella parte del modem configuration.



Figura 4-8 USB Board

Mentre per i moduli ed il loro interfacciamento all'interno dei circuiti si è scelto di utilizzare le XBee Board. Il componente viene montato direttamente sulle schede, le quali attraverso una serie di pin presenti sul lato inferiore permettono di montare sul circuito il sistema in posizione verticale con un vantaggioso risparmio in termini di spazio.



Figura 4-9 XBee Board

➤ 4.2.5 Prove di comunicazione

Per svolgere le prove di comunicazione bisogna collegare ed alimentare in modo opportuno i due moduli, in seguito attraverso il software x-ctu si svolge l'indirizzamento e la programmazione. Si è deciso di montare il componente remoto su una breadboard ed alimentarlo direttamente dal microcontrollore Arduino, mentre il dispositivo scelto come base è stato montato sulla usb board.

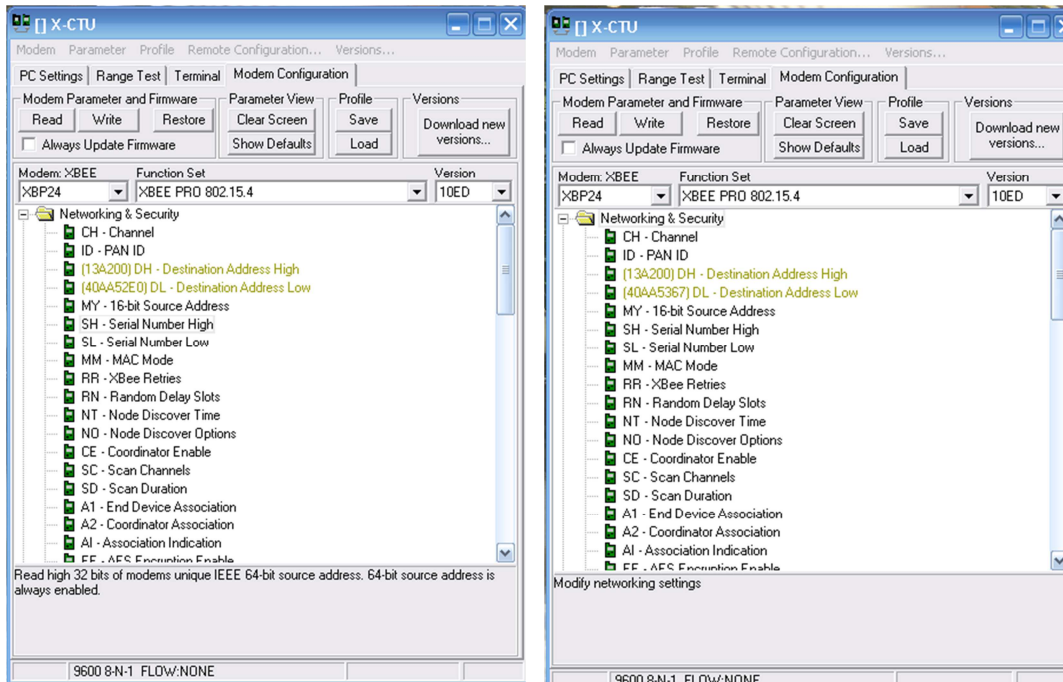


Figura 4-10 Configurazione dei moduli xbee il primo a sinistra rappresenta la parte trasmittente, mentre quello a destra viene impostato come ricevitore.

Il primo test di comunicazione effettuato si basava sul semplice indirizzamento dei moduli, ogni componente ha un proprio numero seriale diviso in parte alta SH (Serial Number High) o bassa SL (Serial Number Low) che può essere letto nel modem configuration, ma non può essere modificato; per indirizzare tutto correttamente si vanno ad impostare i parametri di destinazione DH (Destination Address High) e DL (Destination Address Low). Attraverso tali configurazioni si faranno comunicare i due moduli in modalità trasparente trasferendo informazioni serialmente. I dati inviati dal piedino di trasmissione dell' XBee base vengono ricevute sul pin di ricezione dell'XBee remoto.

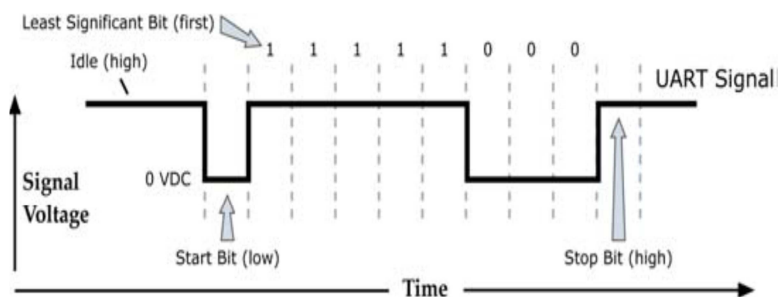


Figura 4-11 pacchetto 0x1F (numero decimale 31) trasmesso attraverso il modulo RF

In DH inserisco il valore di SH del modulo corrispondente, mentre in DL inserisco il valore di SL del modulo con cui voglio comunicare. Svolta questa parte per entrambi i moduli la parte di programmazione è terminata, (foto parametri) dal punto di vista hardware invece si vanno a cortocircuitare i piedini trasmissione e ricezione del modulo remoto . Attivando il range test i moduli iniziano a comunicare scambiandosi un frame di dati, se il sistema funziona in maniera opportuna la percentuale di dati trasmessi correttamente sarà prossima al 100% mentre sarà nulla quella dei pacchetti scartati. E' inoltre possibile abilitare l'opzione RSSI (received signal strength indicator), andando ad analizzare la potenza in dB del segnale riferito alla nostra rete, nella schermata si crea una scala cromatica dei colori.

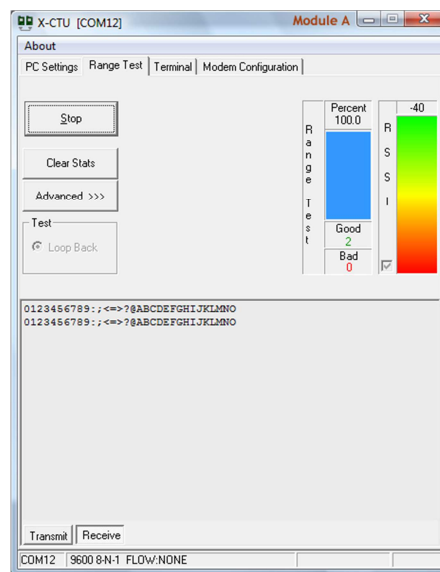


Figura 4-12 Range test per la verifica della corretta comunicazione

La seconda prova eseguita ha come scopo la lettura tramite Arduino di un segnale analogico, che può rappresentare il valore campionato da un sensore del sistema oppure il segnale di finecorsa della barriera frangisole che si abilita quando la veneziana è completamente aperta o completamente chiusa. In questo caso i moduli sono stati configurati con la stessa velocità di trasmissione dei simboli, ovvero 56700 baud, impostandoli però in maniera differente rispetto alla precedente prova. Il dispositivo base è stato impostato in modalità API (Application Programming Interface) in questo caso i frame trasmessi vengono interpretati. La configurazione avviene semplicemente abilitando il parametro API-Enable nel modem configuration del x-ctu(opzione uno), impostando poi i parametri di indirizzamento ovvero il DL(Destination Address Low) con l'indirizzo del destinatario ed il MY(My Address) con il proprio indirizzo. Il componente remoto viene invece impostato in modalità AT abilitando il pin analogico sui cui leggere i valori rilevati, nel nostro caso usiamo DIO3(piedino 19) selezionando l'opzione due fra le varie disponibili. Inoltre si imposta il parametro di Sample Rate(IR); il valore inserito è in esadecimale e rappresenta la frequenza di campionamento del segnale che nel nostro caso vale 50ms, altro parametro è Sample Before TX (IT). Anche in questo caso per implementare la comunicazione bisogna definire i parametri DL e MY in maniera complementare al caso API.

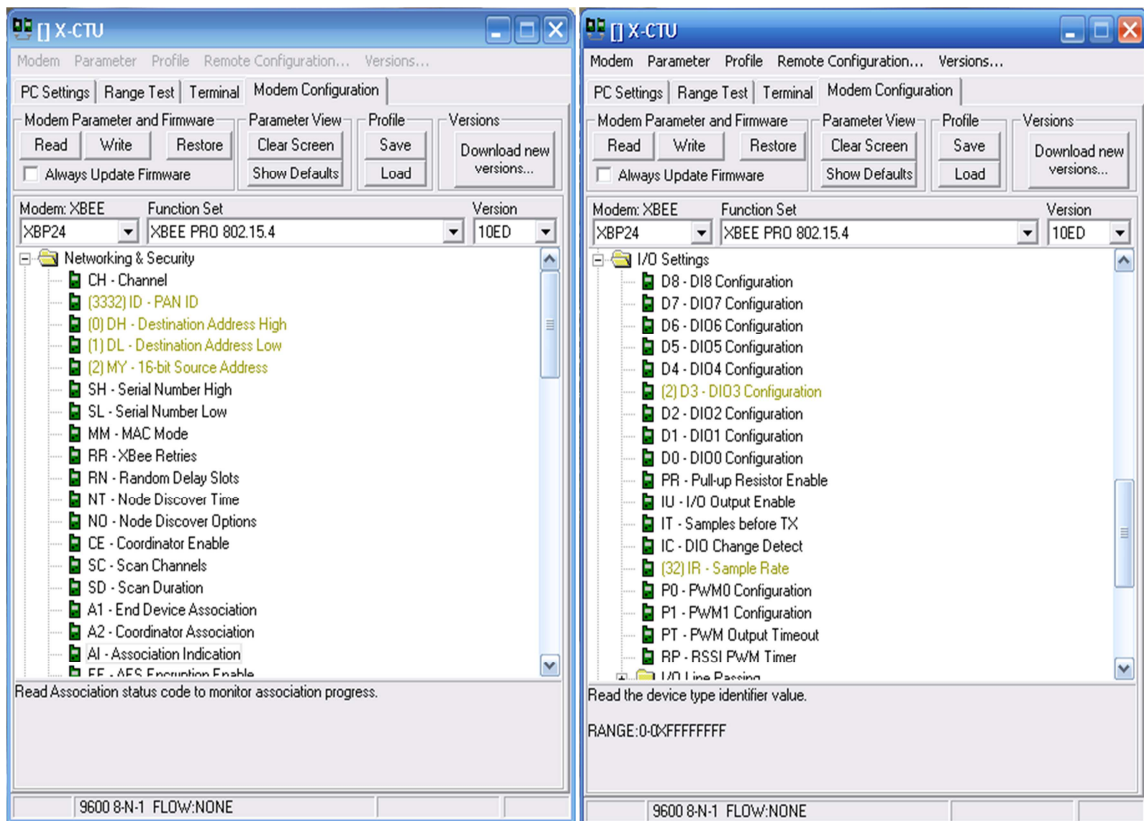


Figura 4-13 Configurazione modulo xbee remoto in modalità AT.

La comunicazione avviene lanciando uno sketch su Arduino il quale attraverso un ciclo for scorre tutto il pacchetto dei dati leggendo i frame 14 e 15 in cui è contenuta l'informazione desiderata, stampando a video ad ogni rilevamento un nuovo valore in esadecimale. Quest'ultimo rappresenta l'informazione che viene trasmessa da un modulo all'altro.

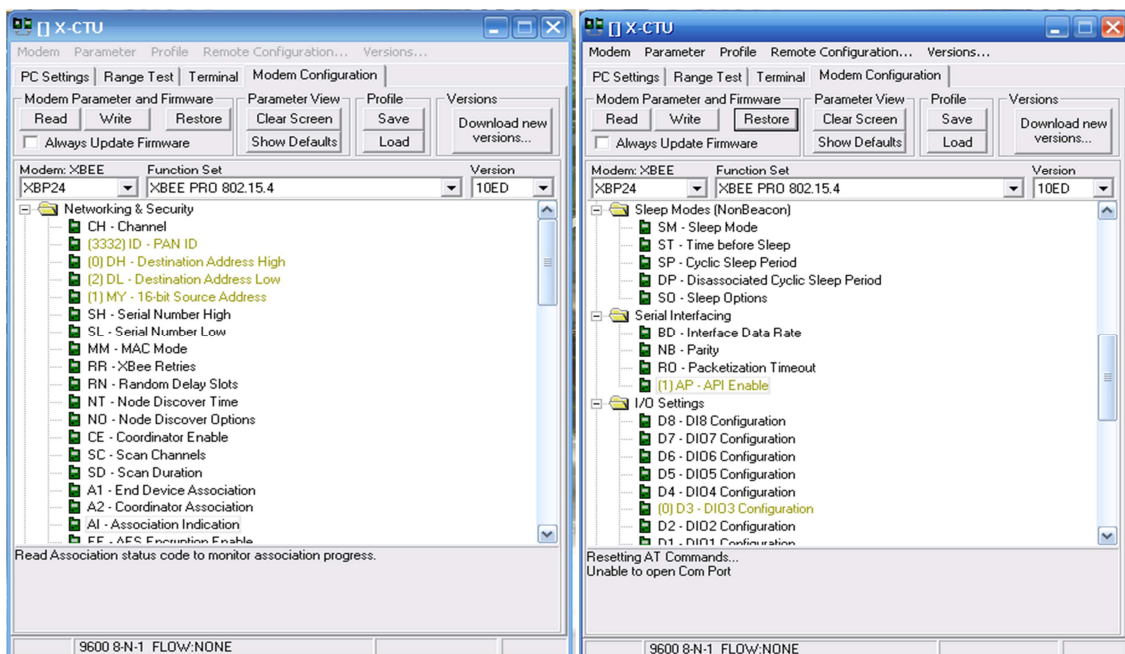


Figura 4-14 Configurazione modulo xbee base in modalità API.

Un'altra prova eseguita riguarda l'analisi del finecorsa dove si considerano i casi di veneziana completamente aperta o completamente chiusa. Il segnale proveniente dal piedino AD3 del modulo XBee viene collegato prima a massa e poi a Vcc, stampando a video il valore 0 nel caso chiuso ed il valore 3FF nel caso di barriera completamente aperta. Il dato nel caso aperto corrispondente al livello massimo raggiungibile con 10 bit ovvero la tensione di 3.3V.

➤ 4.2. 6 Realizzazione scheda

Inizialmente si è realizzato il nuovo schema elettrico, riducendo la componentistica rispetto al precedente, utilizzando un software per la progettazione circuitale si è passati alla definizione del PCB utilizzato principalmente per avere un'idea sul corretto posizionamento dei componenti. In questo caso non è stato creato uno stampato ma si è scelto di saldare il circuito direttamente sulla basetta millefori in modo da poter svolgere prove e simulazioni, in seguito potrebbe essere realizzato lo stampato da inserire all'interno del sistema di controllo. Il circuito viene alimentato con una tensione di 12V data da un alimentatore interno o esterno mentre la tensione di 3.3V viene presa direttamente dal modulo XBee, il sistema deve andare a pilotare il motore della veneziana aprendola e chiudendola, si hanno quindi due relè a stato solido che svolgono tale compito. Questi sono pilotati da fase, neutro e messa a terra. Nel circuito completo i relè devono essere quattro in modo da gestire l'intera veneziana. Il funzionamento del motore viene evidenziato all'interno del circuito da due led specifici, il rosso rappresenta la fase di discesa mentre il giallo quello di salita. I due componenti sono poi collegati in serie ad un transistor bjt e ad una resistenza da 2,2K Ω . La scheda mostra altri due diodi led il primo di colore verde si accende quando la barriera è ferma o quando si raggiunge il finecorsa, il secondo di colore rosso si attiva quando il motore della veneziana è in movimento. L'accensione di un led o dell'altro è gestita dal componente 4N33 che è un optoisolatore in grado di trasferire un segnale elettrico tra il diodo led ed il fototransistor presente all'interno del case. Solitamente questi dispositivi vengono utilizzati per motivi di sicurezza e per mantenere comunque elettricamente separati i due circuiti.

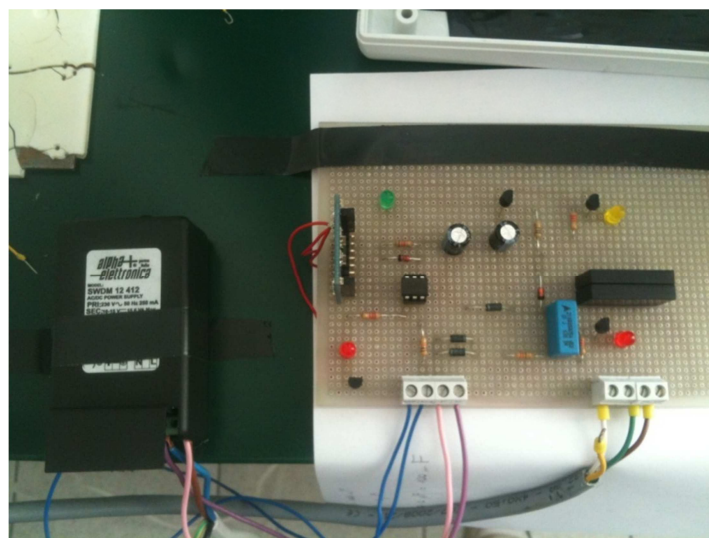


Figura 4-15 Scheda realizzata per la comunicazione wireless

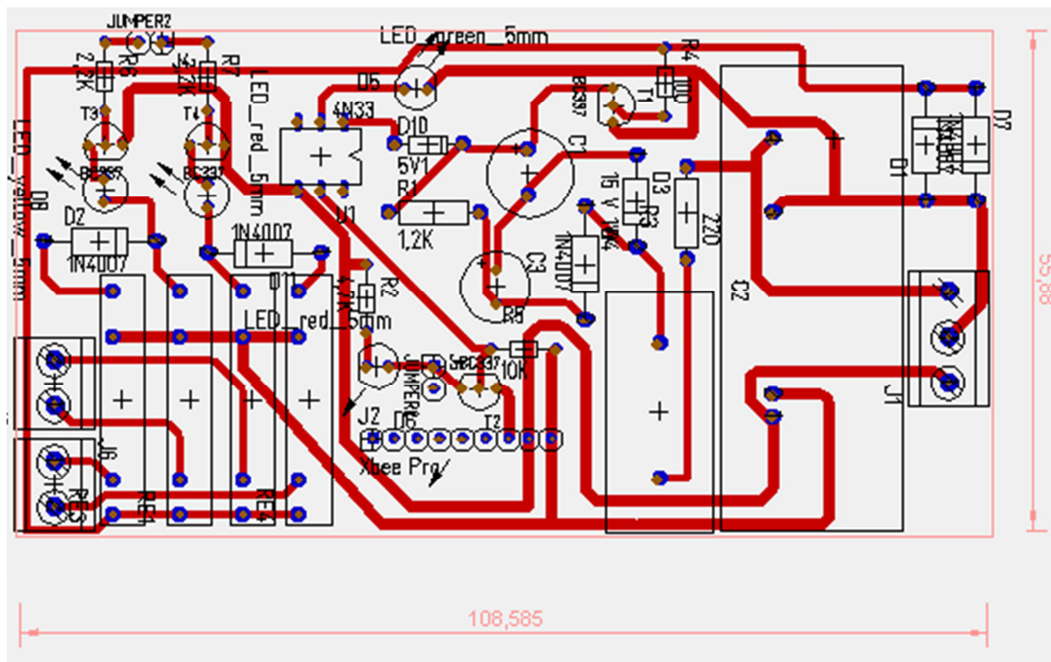


Figura 4-16 Stampato PCB del circuito

➤ 4.2.7 Collaudo Scheda

Il collaudo della scheda è stato svolto nello studio in cui è installata la barriera frangisole ed un alimentatore esterno fornisce la tensione alla scheda. Sono stati presi dal generatore sia la tensione a 12 V , sia 220V con fase e neutro. Inizialmente svolti i collegamenti si sono verificate le tensioni di alimentazione nei corrispondenti piedini; nel circuito era stato precedentemente tolto il modulo XBee per evitare problemi di sovratensione e disturbi. Si è poi proceduto al collegamento della scheda al motore della veneziana, quindi si è preso un filo collegandolo ad una estremità alla tensione di 3,3 V fornita, mentre all'altra veniva collegato il piedino AD0 o AD2 del modulo verificando l'azionamento del motore ed il corretto funzionamento nelle fasi di apertura e chiusura. In corrispondenza dell'avviamento del motore si è verificato anche il corretto funzionamento dei corrispondenti led, quello giallo per l'apertura e quello rosso per la chiusura. Nelle fasi in cui si attiva il fine corsa ovvero nel caso di completa apertura o chiusura, o quando la barriera si ferma deve attivarsi il led verde. In seguito si è inserito il modulo caricando uno sketch su Arduino per la verifica del finecorsa senza l'introduzione delle varie modalità di funzionamento che l'EcoShad fornisce. Inizialmente si sono presentati dei problemi perchè lanciando il programma si attivavano entrambe le uscite del dispositivo, l'inconveniente è stato risolto riprogrammando le uscite AD0 e AD2 del modulo remoto. Queste precedentemente si trovavano disabilitate, impostandole come uscite basse con l'opzione DO LOW (Digital Output) si è risolto il problema all'istante, verificando il corretto funzionamento della barriera e la corretta comunicazione wireless tra i moduli XBee.

5 Conclusioni

Lo studio sulla barriera frangisole intelligente con lamelle variabili ha evidenziato notevoli vantaggi rispetto al precedente modello a lamelle fisse, caratterizzato da un'inclinazione predefinita, permettendo così all'utente di sfruttare una fascia oraria maggiore ed ottimizzare al meglio l'ambiente interno. L'installazione su di una finestra di una frangisole intelligente mostra una riduzione nei consumi in termini di energia elettrica, perché diminuisce l'utilizzo della luce artificiale e del climatizzatore consentendo quindi un risparmio economico. Altri aspetti positivi sono rappresentati da un miglioramento delle condizioni climatiche dell'ambiente di lavoro o abitativo aumentando il proprio confort, ed alla riduzione dell'inquinamento con una maggiore salvaguardia dell'ambiente. Una opportuna distribuzione degli edifici in concomitanza all'uso della barriera può portare ad una riduzione delle isole di calore, il tutto deve essere supportato da l'utilizzo di materiali ad elevata riflettività oltre alla creazione di aree con piante e verde.

Per il corretto azionamento del sistema risulta molto importante il lavoro svolto sui sensori con la nuova caratterizzazione e la modifica degli involucri che li contengono, in particolare sono stati identificati i giusti materiali (pellicola nera lucida) da utilizzare per evitare la saturazione. Sono state create alette di raffreddamento ai lati della scatola contenente il sensore, perciò sfruttando le correnti d'aria per il raffreddamento del circuito si è limitato il problema del surriscaldamento dovuto all'esposizione solare.

Attraverso le misure svolte in laboratorio con l'utilizzo della lampada solare è stato possibile analizzare la sensibilità dei componenti a disposizione, verificarne le risposte alla radiazione del simulatore e definire quale dei sensori utilizzare internamente e quali esternamente. I risultati ottenuti confermano la scelta fatta precedentemente ovvero il fototransistor come sensore di luminosità esterno, mentre la fotoresistenza che ha una risoluzione maggiore come dispositivo indoor.

Per ultimo, ma non meno importante, la comunicazione wireless tra moduli XBee. I vantaggi di questo nuovo sistema sono diversi, sicuramente la riduzione del cablaggio all'interno dei muri della struttura o comunque all'interno dell'ambiente con il conseguente risparmio economico. Nel nostro caso è stato studiato una semplice comunicazione tra due stati A e B per il rilevamento dei dati e la comunicazione. L'idea generale è quella di creare una rete all'interno dell'ambiente sfruttando la bassa data-rate del componente e la possibilità di coprire distanze elevate, dove il modulo base in modalità switch comunica con i vari moduli remoti, indirizzati ciascuno in maniera univoca ed installati sulle finestre della stanza.

6 Ringraziamenti

Si ringraziano i professori Vittorio Degli Esposti ed Enrico Maria Vitucci per avermi seguito in questo mio elaborato soprattutto per la loro disponibilità ed i loro consigli per il corretto svolgimento del lavoro.

Ringrazio Stefano Fiaschi per l'aiuto dato nello svolgimento del progetto, con le tante ore passate insieme nello studio, i suggerimenti e l'aiuto fornito per la realizzazione della tesi.

Ringrazio i miei genitori Giuliano ed Annalisa che mi hanno dato l'opportunità di svolgere questo percorso, le mie sorelle Giulia e Sara che mi sono state sempre vicine anche nei momenti più difficili aiutandomi e consigliandomi al meglio. Ringrazio Luca e Massimiliano per il tempo passato insieme con le tante risate e mia nipote Mariasole che riesce sempre a farmi sorridere.

Ringrazio Ilaria che mi sopporta da tempo e mi sta sempre vicino.

Ringrazio tutti i miei compagni con cui ho condiviso questo lungo viaggio: Enrico, Mario, Nicole, Federica, Raffaele, Lorenzo, Simone, Davide, Stefano, Andrea, Vincenzo, Benedetta, Cristian e tutti gli altri.

Ringrazio tutti gli amici, i ragazzi della pol.Vigne, i ragazzi della Curva e tutti quelli che ci sono stati in questi anni e che oggi sono qui a condividere con me questo momento di gioia.