



POLITECNICO DI TORINO
Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Elettrica

Tesi di Laurea

Dispositivi per la comunicazione infrastruttura utente/pedone negli impianti semaforici

Relatori

Prof. Paolo Di Leo

Prof. Roberto Napoli

Dott. Ing. Alessandro Ciocia

Candidato

Marco Mastrodomenico

2018

Indice

Introduzione	3
1 Stato dell'arte dei sistemi semaforici	6
1.1 Generalità e storia dei sistemi semaforici	6
1.1.1 Sequenze semaforiche	8
1.1.2 Tecniche di installazione	9
1.2 Stato dell'arte del semaforo	10
1.2.1 Lanterne semaforiche a LED	11
1.2.2 Logica di gestione di un impianto semaforico	17
1.3 Stato dell'arte della comunicazione infrastruttura/utente	22
1.3.1 La comunicazione Vehicle to Everything (V2X)	22
1.3.2 Comunicazione tramite segnali luminosi LED	25
2 Cenni teorici di misure elettriche	27
2.1 Misure elettriche	29
2.1.1 Metodologie di misura	31
2.1.2 Partitore di tensione e di corrente	34
2.1.3 Sonda di corrente	35
2.1.4 Trasformatori di isolamento e accoppiatore optoelettronico	36
3 Dispositivo BLE per la comunicazione infrastruttura/utente	38
3.1 Prototipi BLE (Bluetooth Low Energy)	40
3.2 Prima versione del dispositivo BLE	42
3.2.1 Circuiti di misura e lettura dello stato semaforico	43
3.2.2 Componenti circuiti di misura	44
3.2.3 Alimentazione dalle lampade semaforiche	45
3.2.4 Impiego della scheda Arduino Pro Mini	46
3.2.5 Modulo BLE HM-10	51
3.2.6 Considerazioni finali sulla prima versione del dispositivo BLE	57

4	Miniaturizzazione del dispositivo BLE	60
4.1	Seconda versione del dispositivo BLE	60
4.1.1	Variazioni hardware del prototipo BLE	60
4.1.2	Variazioni software del prototipo BLE	62
4.1.3	Fiera Smart Mobility World: <i>Laura</i>	65
4.1.4	Considerazioni finali sulla seconda versione del dispositivo BLE	67
4.2	Versione finale del dispositivo BLE	68
4.2.1	Progettazione del PCB	68
4.2.2	Costi schede PCB	83
4.2.3	Software definitivo per il Prototipo BLE PCB	87
4.2.4	Realizzazione Prototipo BLE PCB	90
4.2.5	Considerazioni finali sull'ultima versione del dispositivo BLE	93
4.2.6	Applicazione pratica: simulazione di un incrocio semaforico	93
5	Conclusioni	97
	Bibliografia	100

Lista abbreviazioni

BLE	Bluetooth Low Energy
CAN	Controller Area Network
DIP	Dual Inline Package
EDA	Electronic Design Automation
ERC	Electrical Rule Check
IDE	Integrated Development Environment
IOT	Internet Of Things
LED	Light Emitting Diode
MCPCB	Metal Core Printed Circuit Board
MOSFET	Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor
PCB	Printed Circuit Board
PLC	Programmable Logic Controller
PTH	Pin Through Hole
PWM	Pulse-Width Modulation
RAM	Random Access Memory
SMD	Surface Mount Device
SMT	Surface Mount Tecnology
SOC	System On Chip
SOT	Small Outline Transistor
TA	Trasformatore Amperometrico
TV	Trasformatore Voltmetrico
UUID	Universally Unique IDentifier
VIA	Vertical Interconnect Access

Introduzione

Il lavoro di ricerca descritto in questa dissertazione e inerente alla mobilità pedonale e alla digitalizzazione del segnale semaforico, è stato svolto grazie a una collaborazione tra il DENERG, Dipartimento Energia del Politecnico di Torino, e SOGEN s.r.l., società di ingegneria. Esso ha dato seguito ad un precedente studio svolto ugualmente presso i laboratori del dipartimento DENERG, che aveva portato allo sviluppo di due prototipi.

La finalità dello studio nel suo complesso è quella di fornire i dati raccolti dai semafori e renderli disponibili tramite un'applicazione per smartphone ad una particolare rosa di utenti comprendente ciechi, ipovedenti ed i cosiddetti "smartwalkers", ovvero coloro che attraversano la strada distratti dall'utilizzo del loro smartphone senza prestare attenzione al traffico e alla segnaletica semaforica.

Ulteriore scopo della ricerca è quello di creare un database delle informazioni ricevute dai semafori da fornire eventualmente a terzi per una possibile implementazione di strumenti di navigazione auto (Tom Tom, Google Maps, Waze...).

Capitolo 1

Stato dell'arte dei sistemi semaforici

1.1 Generalità e storia dei sistemi semaforici

Il primo meccanismo di controllo del traffico fu installato a Londra nel 1868 vicino alla House of Parliament all'intersezione tra George street e Bridge street. Serviva ad introdurre nelle strade urbane la segnaletica delle ferrovie. La tecnologia dell'epoca prevedeva un azionamento manuale del dispositivo che muoveva dei bracci che si estendevano per via orizzontale e che comandavano ai passanti di fermarsi o proseguire.

La codifica dei colori era la stessa di quella odierna: si usava una luce rossa per indicare lo stop e una verde per indicare la prudenza. La prima installazione semaforica non ebbe molta fortuna: l'esperimento resse per tre settimane finché il 2 gennaio 1869 la lanterna esplose ferendo agli occhi il poliziotto che l'avviava. Questo semaforo, rimasto l'unico nella città di Londra, fu rimosso definitivamente nel 1872.

L'uniformità estetica arrivò a Toledo, in Ohio, nel 1908 dove c'erano lampade di kerosene che illuminavano i segnali disposti dietro una lente verde ed una rossa. L'azionamento del dispositivo era sempre manuale e veniva effettuato da un agente addetto alla regolazione della luce, che fischiava prima di cambiare i comandi.

Il modello "a torre" fu inventato a Parigi, nel 1912, e fu installato tra Rue Montmartre e il Grand Boulevard. Anch'esso azionato manualmente un addetto si occupava di spostare una scatola di metallo che mostrava, a seconda della posizione, i segnali: "Stop" in rosso e "Go" in bianco.

Il primo semaforo ad illuminazione elettrica venne installato a Cleveland, all'angolo fra la 105^a strada Est e la Euclid Avenue in Cleveland. Entrò in funzione il 5 agosto 1914 e disponeva di due sole luci, rossa e verde. Come i precedenti semafori era comandato manualmente. I primi controlli automatici sulle lampade semaforiche furono introdotti due anni dopo negli Stati

Uniti, ed in seguito furono esportati in Europa.

Il primo semaforo come lo conosciamo, ovvero con la codifica dei tre colori rosso/giallo/verde vide la luce nel 1920 a Detroit. La terza luce era stata introdotta per garantire gli agenti il tempo sufficiente per cambiare tutte le luci dei semafori presenti nei grossi incroci e riuscendo ad avvertire visivamente chi giungeva nei pressi dei semafori. Il passaggio ai primi semafori con il timer avvenne un paio di anni dopo e le nuove installazioni non furono più ad azionamento manuale.

Nel 1922 si assiste alla prima installazione europea a Parigi, seguita dalle installazioni nelle più grandi città come Amburgo, Berlino, Milano (il primo semaforo italiano, installato all'incrocio tra Piazza Duomo, Via Orefici e Via Torino, nell'aprile 1925), Roma, Londra e Torino effettuate entro il 1926.

Un'altra tappa importante nella storia dei semafori è quella del 1961 quando, a Berlino Est, venne installato il primo semaforo specificatamente designato per i passaggi pedonali. Da questo primato il commercio berlinese ha cercato di ricavare il maggior ritorno di immagine possibile. Infatti ad oggi è famoso in tutto il mondo il simbolo dell'attraversamento pedonale berlinese: l'Ampelmännchen, letteralmente "omino del semaforo" (Figura 1.1).



Figura 1.1: Segnaletica pedonale tipica della città di Berlino

Tra le altre tipologie di semafori note si possono ricordare i semafori per le piste ciclabili, praticamente identici ai semafori stradali con l'aggiunta della mascherina a forma di bicicletta, e i semafori tranviari, dedicati al servizio di trasporto pubblico su rotaia [1].

1.1.1 Sequenze semaforiche

Nel corso del tempo si sono standardizzate tre tipologie fondamentali di sequenze:

- sequenze a tre tempi;
- sequenze a quattro tempi;
- sequenze a cinque tempi.

Il semaforo a tre tempi (Figura 1.2) è il tipo più adottato nel mondo ed è la tipologia utilizzata anche in Italia.

È rapido nel funzionamento con riduzione significativa dei tempi di attesa e di semplice ed immediata comprensione. La transizione fra segnale di via libera (verde) e segnale di stop (rosso) È intercalato dal giallo che richiede l'attenzione dell'automobilista per il sopraggiungere del segnale di stop.

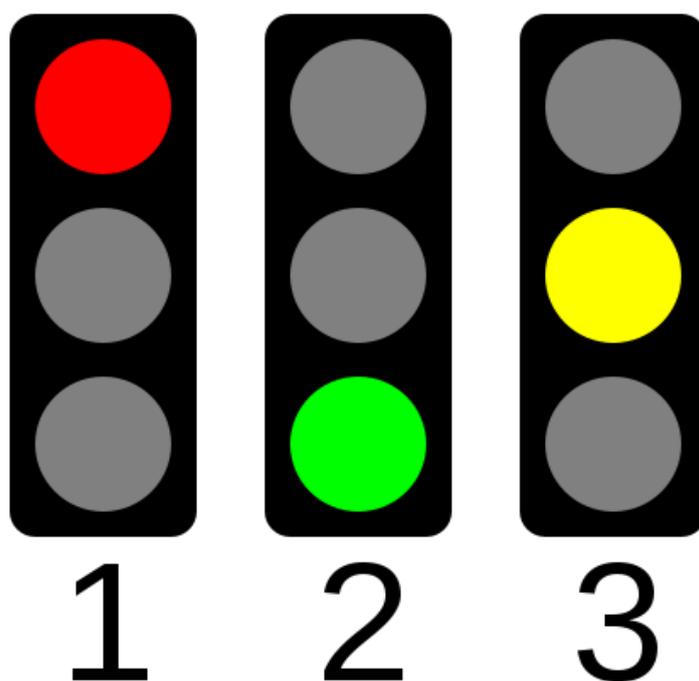


Figura 1.2: Sequenza semaforica a tre tempi

Il segnale a quattro tempi (Figura 1.3) non ha la stessa diffusione di quello a tre tempi e d soprattutto adottato nel Regno Unito e nelle ex colonie britanniche, in Germania ed in Turchia.

La sequenza dei colori durante il funzionamento è: rosso, rosso con giallo, verde e giallo. Il ciclo si ripete senza soluzione di continuità.

Il segnale a cinque tempi ha scarsa diffusione ed è utilizzato principalmente nei paesi facenti parte dell'ex Unione Sovietica ed in Austria [2].

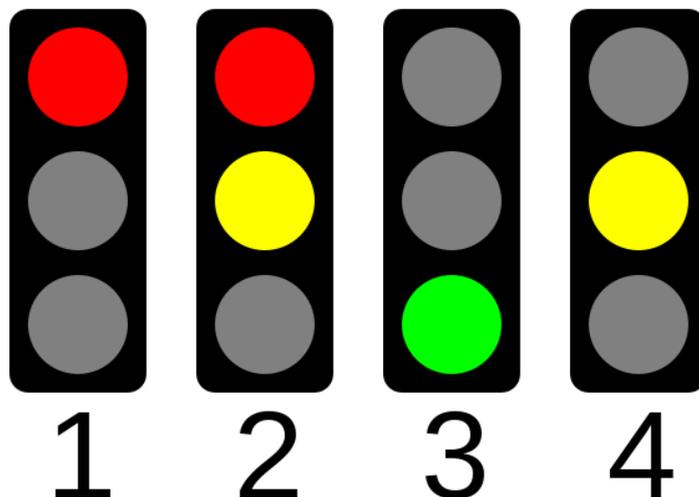


Figura 1.3: Sequenza semaforica a quattro tempi

1.1.2 Tecniche di installazione

Il semaforo è un'apparecchiatura nata con lo scopo di gestire il traffico automobilistico negli incroci stradali ad alta densità per rendere più fluido il traffico e prevenire intasamenti e migliorare la sicurezza dei conducenti.

Quindi la possibilità di una corretta visibilità da qualsiasi punto di provenienza ed una chiara visione dei segnali luminosi è stata legata ad un ottimale posizionamento del dispositivo agli incroci stradali.

Per queste ragioni si sono sviluppate varie tecniche di posizionamento (layout) e di installazione. I vari tipi di montaggio si possono sintetizzare nei seguenti:

- semafori sopraelevati posti di fronte al conducente;
- semafori sopraelevati posti al centro dell'incrocio;
- semafori montati su pali di ferro e collocati principalmente;
- semafori sopraelevati posti su cavi tesi sopra all'incrocio;
- semafori posti su di un piedistallo.

1.2 Stato dell'arte del semaforo

Il concetto di semaforo come dispositivo di gestione di un incrocio automobilistico e la sua funzionalità base che prevede tre segnalazioni luminose (verde, rosso e giallo) come codice logico per definire il comportamento di un automobilista ad un incrocio stradale, non è mutato nel tempo.

Dal punto di vista della struttura della apparecchiatura in sé, la lanterna composta dalla sorgente illuminante (lampadina), dalla struttura ottica e le lenti ed il contenitore hanno subito importanti evoluzioni legate alla disponibilità di materiali decisamente più evoluti e capaci di migliorare sensibilmente le prestazioni ed i costi.

Dal punto di vista del comando e dell'automazione del dispositivo l'evoluzione, soprattutto negli ultimi quaranta anni, ha compiuto evoluzioni veramente straordinarie.

Tali progressi si possono sintetizzare in breve:

- per l'aspetto costruttivo una tappa importante è stato il passaggio della tecnica di illuminazione che ha visto la sostituzione delle tradizionali lampade ad incandescenza, sia pure di tipo evoluto e progettate per impianti semaforici, alla struttura a LED che ha portato incredibili vantaggi in termini di risparmio energetico, affidabilità nel tempo e durata di vita del componente;
- le tecnologie dei materiali, come l'introduzione del policarbonato per il sistema delle lenti e della custodia della lanterna e l'alluminio per la costruzione dei corpi, ha reso il dispositivo molto meno vulnerabile all'attacco degli agenti atmosferici ed al tempo di deterioramento del materiale, come vedremo meglio nel paragrafo successivo;
- per quanto riguarda l'aspetto del controllo e del comando, considerando il sistema semaforico come un vero e proprio processo, si è passati dall'azionamento manuale dei primi esemplari all'inizio del secolo alle semplici automazioni con i primi temporizzatori elettromeccanici fino ad arrivare ai nostri giorni con centraline di tipo elettronico;

Questi dispositivi di ultima generazione, sono non solo in grado di gestire in modo intelligente l'impianto ma possono interagire in modo estremamente efficace con il mondo esterno, attraverso gli strumenti resi disponibili dalle tecniche della informatica e delle telecomunicazioni.

Attualmente si può considerare l'impianto semaforico come una infrastruttura in grado di inserirsi in una logica integrata al sistema di servizi urbani di carattere generale.

1.2.1 Lanterne semaforiche a LED

Principio di funzionamento dei LED

Il LED è un dispositivo elettronico costituito da materiale semiconduttore le cui proprietà elettriche consentono la conversione dell'energia elettrica in energia luminosa.

Si presenta fisicamente come un diodo a giunzione PN: il polo positivo della giunzione è indicato come anodo mentre quello negativo catodo.

Il funzionamento dei LED, quindi, è analogo ad un diodo classico. La giunzione PN viene realizzata drogando ed arricchendo di impurità i due strati di materiale semiconduttivo.

Il drogaggio dei semiconduttori avviene diversamente per lo strato P e per lo strato N:

- per ottenere un semiconduttore di tipo P, questo viene drogato con sostanze trivalenti (come il Gallio, Bario, l'Alluminio); i legami chimici tra gli elementi inseriti ed il semiconduttore lasciano un vuoto nella banda di valenza che prende il nome di lacuna; la lacuna può essere interpretata come una carica positiva che muovendosi genera una corrente elettrica;
- per ottenere un semiconduttore di tipo N, questo viene drogato con sostanze pentavalenti (come l'Antimonio, il Fosforo, e l'Arsenico); i legami chimici tra gli elementi inseriti ed il semiconduttore lasciano un elettrone libero; la libertà di movimento degli elettroni conferisce al materiale le proprietà conduttive.

Unendo tra loro le due giunzioni P ed N, opportunamente drogate, si verifica uno spostamento di cariche: gli elettroni fluiscono dalla regione di tipo N (ad eccedenza di elettroni) alla regione di tipo P (ad eccedenza di lacune). Il flusso di carica si arresta quando si crea una barriera di potenziale tra gli estrinseci P ed N (Figura 1.4).

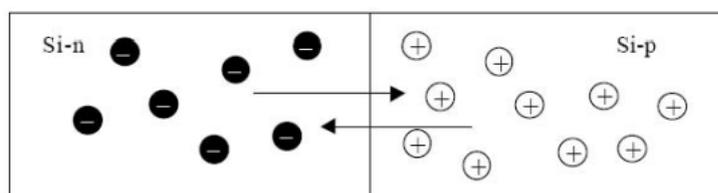
Per quanto concerne la conduzione elettrica del diodo, polarizzando direttamente la giunzione PN, essa avviene soltanto se ai capi del diodo si manifesta una tensione superiore alla tensione di soglia che risulta essere la barriera di potenziale.

Sperimentalmente si dimostra che la caratteristica corrente-tensione di una giunzione PN è data dalla espressione:

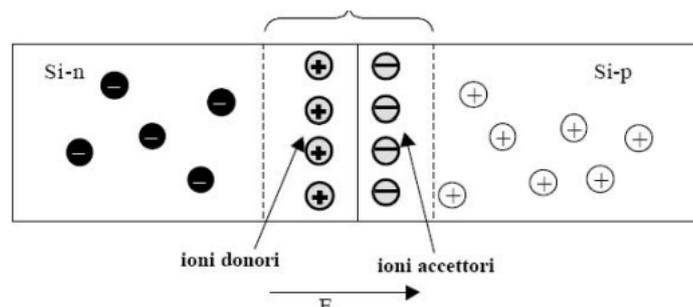
$$I_j = I_s(e^{qV/nKT} - 1) \quad (1.1)$$

dove:

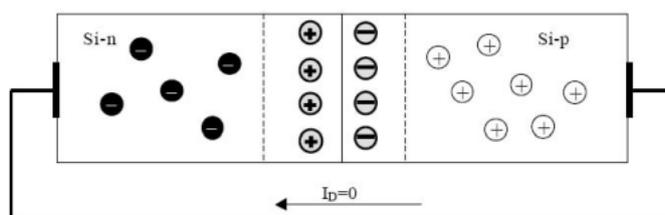
- I_s è la corrente di saturazione inversa, dipendente dalla temperatura assoluta T ;



Giunzione pn e tendenza alla diffusione dei portatori maggioritari



Giunzione pn - equilibrio e formazione della regione di carica spaziale



Giunzione pn cortocircuitata

Figura 1.4: Fenomeno di diffusione tra elettroni e lacune nei semiconduttori

- q è la carica dell'elettrone ($1.602 \cdot 10^{-19}C$);
- n è il fattore di qualità della giunzione;
- k è la costante di Boltzmann ($5.67 \cdot 10^{-8}W/(m^2K^4)$).

La caratteristica corrente-tensione di una giunzione PN è riportata in Figura 1.5, come si può notare, essa risulta essere dipendente dalla temperatura.

L'emissione di luce da parte dei LED è legata al fenomeno dell'elettroluminescenza: applicando un'opportuna differenza di potenziale, è possibile ottenere nella giunzione PN una continua ricombinazione degli elettroni e delle lacune che genera fotoni.

Considerando che un elettrone possiede una certa quantità di energia in base all'orbitale in cui giace, il passaggio da un livello energetico ad uno superiore comporta assorbimento di energia. Viceversa, il passaggio da un livello

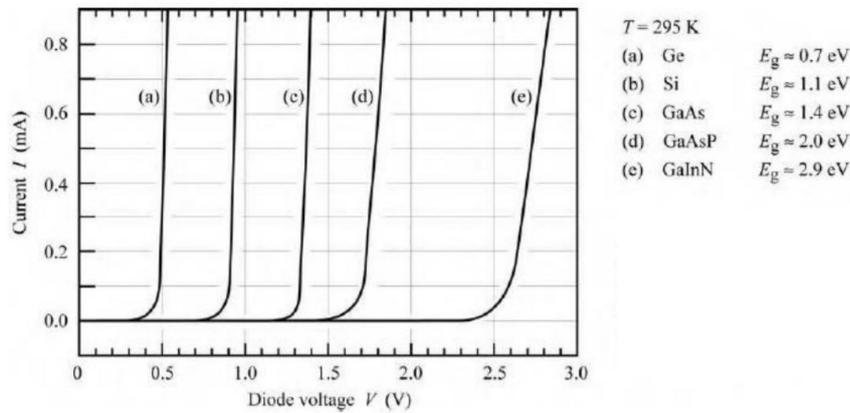


Figura 1.5: Caratteristica I/V di diversi semiconduttori alla temperatura di 295 K

energetico superiore ad uno inferiore libera energia sotto forma di fotoni. L'emissione fotonica avviene con specifiche modalità: la frequenza specifica con il quale viene emesso un fotone è funzione del dislivello energetico. Maggiore sarà il dislivello energetico maggiore sarà la frequenza di emissione (lunghezze d'onda corte).

L'emissione luminosa da parte dei LED nello spettro del visibile dipende inoltre dal materiale con il quale è realizzata la giunzione PN, nella maggior parte dei casi essa è realizzata con Arseniuro di Gallio con Fosforo di Gallio [3][4].

Tecnologie costruttive e proprietà dei LED

Le tecnologie dei LED attualmente presenti sul mercato sono le seguenti:

- LED THT (Through Hole Technology); essi sono costituiti da una capsula di materiale plastico di circa 5 mm e sono destinati principalmente ad una funzione segnaletica nei circuiti elettronici;
- LED SMD (Surface Mounted Device); essi vengono installati su circuiti stampati ed hanno una forma tipicamente piatta;
- Power LED (Figura 1.6); essi vengono impiegati nell'illuminazione civile ed industriale grazie alla loro potenza nettamente superiore rispetto alle due categorie precedenti.

L'illuminazione dei LED si divide in Warm White, Natural White e Cold White, ciascuna delle quali è caratterizzata da una specifica temperatura di colore.

I LED Warm White hanno una temperatura di colore minore a 3300 K; i LED Natural White hanno una temperatura di colore compresa tra 3300

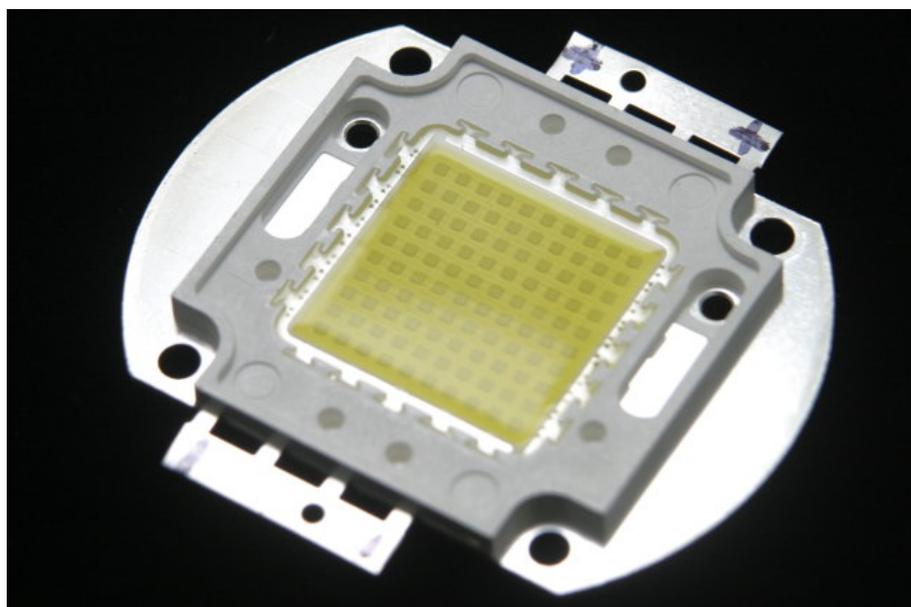


Figura 1.6: Lampada a LED high power

e 5300 K; infine i LED Cold White presentano una temperatura di colore maggiore di 5300 K.

I range di potenza del Power a LED variano tra 1 e 5 W raggiungendo potenze dell'ordine delle decine di Watt nel caso di prodotti "high power". La loro combinazione circuitale porta alla creazione di lampade a LED dell'ordine di centinaia di Watt.

La tecnologia LED ha stravolto il mercato dell'illuminazione elettrica imponendosi sulle tecnologie tradizionali. Le motivazioni sono da ricercare nel risparmio energetico che questa tecnologia offre grazie ad una superiore efficienza luminosa (lm/W), e nella vita utile di funzionamento dei dispositivi a LED[5][6].

Dissipazione termica nei Power LED

La conduzione di corrente nei LED è intrinsecamente legata alla produzione di energia termica per effetto Joule. Per garantire il corretto funzionamento dei dispositivi a semiconduttore, in termini di affidabilità e durata nel tempo, è opportuno far in modo che la temperatura di giunzione resti all'interno dal range di funzionamento indicato dal produttore, da qui la necessità di dotare i dispositivi LED di un sistema di dissipazione del calore dedicato. Senza questa precauzione si avrebbe ad una diminuzione dell'efficienza, riduzione della vita utile e traslazione dello spettro del LED.

La differenza tra le lampade a LED e le lampade tradizionali in termini di dissipazione del calore si può riassumere in questo modo: le lampade a

LED dissipano il calore generato dalla conduzione di corrente per conduzione tra il chip e il dissipatore termico predisposto e successivamente per convezione dal dissipatore termico all'ambiente circostante; le lampade tradizionali, come quelle ad incandescenza, invece dissipano una quantità di calore maggiore a parità di potenza elettrica assorbita, in quanto solo una minima parte dell'energia elettrica è effettivamente trasformata in energia luminosa, la rimanente è dissipata sotto forma di calore per radiazione con l'ambiente esterno.

Al fine di ottenere una dissipazione del calore adeguata, la maggior parte dei Power LED è costituita da una scheda a circuito stampato che possiede una matrice metallica su cui è montato il dispositivo LED chiamata MCPCB (Metal Core Printed Circuit Board) [9].

In Figura 1.7 sono rappresentate la scheda MCPCB ed il package completo di un dispositivo LED montato su scheda MCPCB.

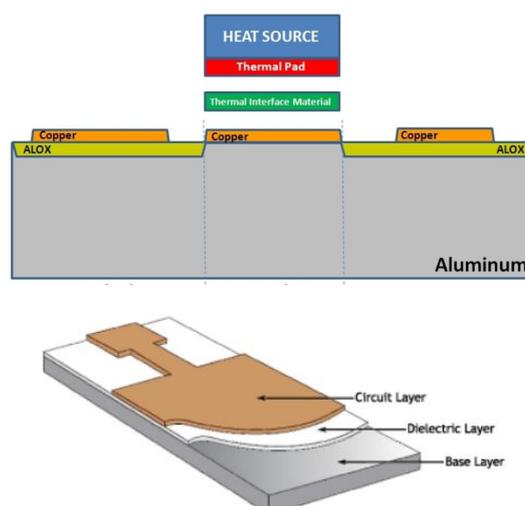


Figura 1.7: Simulazione di incrocio semaforico con attraversamento di persone ipovedenti

La scheda svolge due ruoli fondamentali: si comporta come dissipatore termico e come conduttore elettrico. Dal punto di vista realizzativo è composta da uno layer di rame, necessario per la realizzazione delle piste conduttive, da un layer di materiale dielettrico, necessario per garantire l'isolamento elettrico, e da un layer di alluminio.

Il calore condotto attraverso l'MCPCB viene dissipato per convezione e radiazione. La progettazione della resistenza termica del MCPCB dipende dai seguenti fattori: il design del package, la planarità della superficie e la qualità di ciascun componente, la pressione di montaggio applicata, l'area di contatto, il tipo di materiale di interfaccia e il suo spessore[5][6].

Durata dei LED

La vita utile di funzionamento dei dispositivi di illuminamento è una caratteristica definita in base alla tipologia del corpo illuminante.

Per le sorgenti di tipo tradizionale essa è infatti definita come l'intervallo temporale compreso tra l'istante di prima accensione e l'istante in cui il corpo illuminante cessa di funzionare. I dispositivi LED, a differenza dei precedenti, non sono caratterizzati da rotture improvvise ma piuttosto da un progressivo degrado del flusso luminoso, da qui la necessità di definire parametri specifici per il confronto con le altre tecnologie realizzative.

Un parametro significativo per valutare la vita utile di una lampada LED è $L70$: esso identifica l'intervallo temporale che intercorre dalla prima accensione fino all'istante in cui il flusso luminoso di un LED è pari al 70% di quello iniziale.

Tipicamente un LED può funzionare per più di 50.000 ore, guastandosi raramente. Vi sono diversi fattori di influenza che determinano la durata del singolo LED ma che possono influire anche su tutto il modulo LED [8].

Tra questi fattori di influenza vi sono:

- temperatura: quando viene prodotta la luce, viene generato calore, e ciò influisce sia sul ciclo di vita che sul flusso luminoso del LED; ciò riguarda sia il singolo LED che l'intero modulo LED, da qui la necessità di deviare il calore mediante un'opportuna installazione oppure con dissipatori adatti;
- effetto meccanico: l'azione di forze meccaniche può avvenire durante la produzione, l'assemblaggio e il trattamento del LED;
- consumo di corrente: ogni LED, così come ogni modulo LED, può funzionare entro un range di corrente specifico; minore è la corrente in questo range, tanto minori sono la quantità di energia liberata e la produzione di calore, il che ha un effetto diretto sulla durata;
- luce: il design specifico dell'alloggiamento del LED influenza l'invecchiamento dei componenti contenuti al suo interno; in numerose forme di alloggiamento, il riflettore integrato invecchia notevolmente nelle prime, poche centinaia di ore d'esercizio, come risultato dell'elevata intensità e luminanza della luce emessa dal chip;
- umidità: il LED in sé è robusto, non è sensibile, resiste alle vibrazioni ed è infrangibile; se utilizzato correttamente, neppure l'umidità è un problema, in quanto non è il LED in sé ad essere sensibile, bensì le diverse parti metalliche, i collegamenti e i componenti elettronici all'interno del modulo LED, che possono corrodarsi e causare il guasto del modulo. Una scelta adeguata dei materiali del LED previene la corrosione. Anche la protezione dalla corrosione è assolutamente necessaria per ottenere la massima durata dei moduli LED.

- sostanze chimiche: la sollecitazione del LED a causa di infussi chimici può variare notevolmente in funzione dell'ubicazione dell'applicazione.

Lanterne semaforiche a LED in Italia

In Italia le lanterne semaforiche ad incandescenza sono obsolete. Tutte le nuove installazioni di sistemi semaforici prevedono l'utilizzo delle lampade a LED.

Tra i principali vantaggi dell'adozione dei LED vi sono [7]:

- migliore visibilità rispetto al sistema con lampada ad incandescenza, e conseguente aumento di sicurezza della viabilità stradale;
- risparmio energetico superiore al 90% rispetto al sistema a lampada tradizionale;
- durata superiore pari a circa 20 volte il sistema tradizionale (10 anni) > 100.000 ore;
- assenza di manutenzione;
- facile intercambiabilità con il tradizionale sistema a lampada.

1.2.2 Logica di gestione di un impianto semaforico

Un crocevia urbano gestito da un sistema semaforico moderno si può pensare composto dalle seguenti parti:

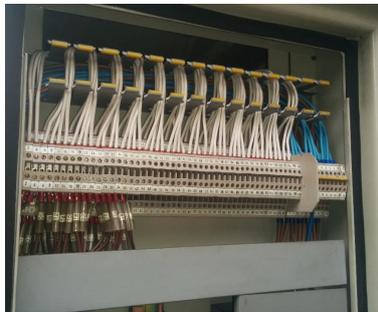
- apparato hardware formato da un gruppo di lanterne semaforiche disposte geometricamente in modo da realizzare una visibilità ottimale per gli utenti del servizio ed un layout impiantistico che permetta di svolgere in sicurezza ed in maniera veloce le operazioni di pulizia e di ordinaria e straordinaria manutenzione;
- una centrale di controllo e comando provvederà attraverso un PLC e/o comunque ad una apparecchiatura elettronica a microprocessore alla logica e ad alla sequenza di funzionamento delle lanterne (Figura 1.8);
- sensori di rivelazione del passaggio dei veicoli e dei pedoni;
- sensori di rivelazione dello stato funzionale e/o di avaria delle lanterne;
- telecamere di visualizzazione dell'incrocio di transito e delle bande pedonali;
- smartphone e tablet per interagire e con il processore della centrale e con altri dispositivi collegati;



(a) PLC



(b) Quadro di potenza



(c) Cablaggio lanterne

Figura 1.8: Esempio di centralina di controllo di un incrocio semaforico

- apparecchiature “custom” per permettere di interagire anche con il processore locale e/o con il sistema centrale (caso ad esempio dei non vedenti).

Tale struttura sarà in condizione di gestire le seguenti funzioni:

- analisi di corretto funzionamento e/o avaria dei dispositivi hardware installati;
- diagnosi delle situazioni di anomalie o di guasto e loro valutazione statistica nel tempo;
- indirizzamento di prevenzione e valutazione dei tempi di intervento di manutenzione ordinaria e straordinaria;
- comunicazione dei tempi di sosta e tempi di attraversamento e dello stato del sistema in quel momento agli utenti che si dovessero mettere in comunicazione;
- invio sistematico dei dati impostati e di interesse ad unità centrali remote responsabili del servizio.

La realizzazione del sistema di comunicazioni tenendo conto di un soddisfacente rapporto costo/benefici comporta la realizzazione di una rete in cavo locale con un protocollo CAN BUS e di una rete di collegamento dei dispositivi remoti adottando una tecnologia wireless (LTE GSM 3G) per l'interazione con il mondo esterno che contenga le seguenti caratteristiche:

- disponibilità worldwide;
- utilizzo di standard internazionali per i dispositivi mobili (GPRS, EDGE, UMTS, HSPA, LTE ecc.);
- velocità di trasmissione dati fino a 150 Mbs;
- trasmissione degli stati di allarme via SMS.

Sistema CAN BUS

Il CAN BUS (Controller Area Network) é uno standard ISO per la comunicazione seriale, utilizzato per consentire l'interfacciamento tra controllori programmabili (PLC) e dispositivi di controllo (muniti di sensori e attuatori).

Il principale vantaggio di questo protocollo di comunicazione riguarda la semplicità delle funzioni che esso svolge, alleggerendo l'onere dei calcoli del microprocessore. Tale vantaggio si riassume nella realizzazione delle funzioni che riguardano solamente i primi due livelli della pila ISO/OSI, ad eccezioni del livello 7 che viene sfruttato se necessario.

Il CAN BUS viene adoperato per applicazioni real-time come bus seriale di comunicazione dati.

Lo sviluppo del sistema CAN BUS è dovuto al settore "automotive" e si è progressivamente diffuso per altre tipologie di applicazioni.

Il protocollo CAN consente di realizzare velocità di trasferimento dati fino a 1Mbit/s permettendo a controllori, sensori e attuatori di comunicare l'uno con l'altro. Tra le peculiarità del sistema CAN possiamo annotare [16]:

- ridotti costi di realizzazione e sviluppo;
- elevata affidabilità in ambienti ostici;
- facilità di configurazione;
- report in real time degli errori di comunicazione.

Nel protocollo CAN tutti i nodi costituenti la rete risultano in grado di inviare dati sul bus ed allo stesso tempo tutti possono ricevere qualsiasi messaggio. L'informazione di indirizzo non è univoca per ogni nodo, infatti questa informazione risiede nel campo *identifier* del frame trasmesso. Ogni nodo della rete analizza questa informazione e controlla se i dati trasportati sono di loro competenza.

Quindi si evidenzia come il CAN sia un protocollo di comunicazione non basato sugli indirizzi "fisici" attribuiti ad ogni nodo di rete, anzi, concentra tutte le informazioni utili inerenti alla comunicazione effettuata nel messaggio stesso.

Data l'assenza di ruoli assegnati ai nodi di rete, per determinare la presenza di un messaggio inviato contemporaneamente sul bus si utilizza un sistema di arbitraggio che decide la priorità con la quale questi messaggi vengono inoltrati sul bus.

Il protocollo CAN prevede quattro tipi di messaggi:

- Data Frame;
- Remote Frame;
- Error Frame;
- Overload Frame.

L'affidabilità del CAN BUS è dovuta alla sua capacità di rilevazione e segnalazione degli errori unita alla capacità di isolamento dei guasti. Questa peculiarità garantisce la correttezza delle informazioni inviate sul bus e la loro relativa coerenza nella logica di gestione del messaggio contenuto.

La segnalazione degli errori si svolge nei seguenti punti [16]:

- un controller CAN rileva un errore (in trasmissione o in ricezione);

- un Error Frame viene immediatamente trasmesso;
- il messaggio incriminato viene ignorato da tutti i nodi;
- viene aggiornato lo stato del controller CAN;
- il messaggio viene ritrasmesso, eventualmente competendolo con altri

L'elevata affidabilità del sistema CAN si riscontra nella capacità di discernimento del tipo di guasto. Esso è in grado di distinguere due situazioni di guasto differenti: condizioni di guasto transitorie (variazioni di tensione e condizioni esterne di disturbo) e guasti permanenti (cattive connessioni, cavi rotti).

Il livello fisico del CAN è stato standardizzato in accordo con ISO 11898, Il cavo di trasmissione potrà essere un doppino intrecciato sia schermato che non schermato. L'impedenza caratteristica deve essere di 120 Ω .

Non c'è uno standard su come i controller CAN devono essere implementati o come devono comunicare con i loro microcontroller [16].

Ci sono due principali strategie di implementazione per i controller CAN:

- la modalità di filtro dei messaggi e come i messaggi vengono bufferizzati;
- come avvengono le risposte ai frame remoti.

Possiamo concludere che i vantaggi di questo tipo di bus presenta i seguenti peculiari vantaggi:

- bassi costi di progettazione e implementazione;
- operatività in condizioni critiche;
- facilità di configurazione e modifica;
- rilevamento automatico degli errori;
- diagnosi centralizzata dei guasti;
- ottima affidabilità e sicurezza.

1.3 Stato dell'arte della comunicazione infrastruttura/utente

L'Internet delle cose (Internet of Things, IoT) è una possibile evoluzione dell'uso della Rete: gli oggetti (le "cose") si rendono riconoscibili e acquisiscono intelligenza grazie al fatto di poter comunicare dati su se stessi e accedere ad informazioni aggregate da parte di altri.

Nei grandi centri urbani, un'infrastruttura intelligente, abilitata da tecnologie come i sensori collegati a Internet of Things (IoT), può aiutare ad esempio a gestire l'impatto di una elevata concentrazione della popolazione. Ad esempio, se un veicolo che emette gas di scarico è fermo col semaforo rosso, i semafori abilitati ad IoT potrebbero diventare verdi se l'incrocio è libero.

I sensori possono anche aiutare a ottimizzare la raccolta dei rifiuti o le fermate su una linea di autobus. Possono anche fornire dati in tempo reale sulla scena di un incidente automobilistico o contribuire a fornire la gestione dell'acqua e l'igiene a basso costo in aree di necessità. In combinazione con nuovi modelli di calcolo come il edge computing, IoT può migliorare sensibilmente la vita in città[10].

1.3.1 La comunicazione Vehicle to Everything (V2X)

La comunicazione Vehicle to Everything (V2X) e le sue soluzioni consentono lo scambio di informazioni tra i veicoli e tra l'infrastruttura di rete esterna ed il veicolo.

L'obiettivo di V2X è migliorare la sicurezza stradale, aumentare il flusso efficiente del traffico, ridurre gli impatti ambientali e fornire ulteriori servizi di informazioni sui viaggiatori.

Le comunicazioni V2X comprendono quattro tipi di comunicazioni: Veicolo-Veicolo (V2V), Veicolo-Infrastruttura (V2I), Veicolo-Rete, (V2N) e Veicolo-Pedone (V2P) (Figura 1.9).

Le trasmissioni V2V e V2P si basano principalmente sulla capacità di trasmissione tra veicoli o tra veicoli e utenti della strada vulnerabili (ad esempio, pedoni, ciclisti), ad esempio per fornire informazioni su posizione, velocità e direzione per evitare incidenti.

La trasmissione V2I è tra un veicolo e un'unità di ricezione di solito posizionata lungo il bordo strada. La trasmissione V2N è tra un veicolo e un server applicazioni V2X. Un'unità di ricezione posta a bordo strada può essere utilizzata per estendere l'intervallo di un messaggio V2X ricevuto da un veicolo agendo come nodo di inoltro (ad esempio ripetitore).

La trasmissione V2I potrebbe includere la comunicazione tra veicoli e dispositivi di controllo del traffico, ad esempio in prossimità di lavori stradali.

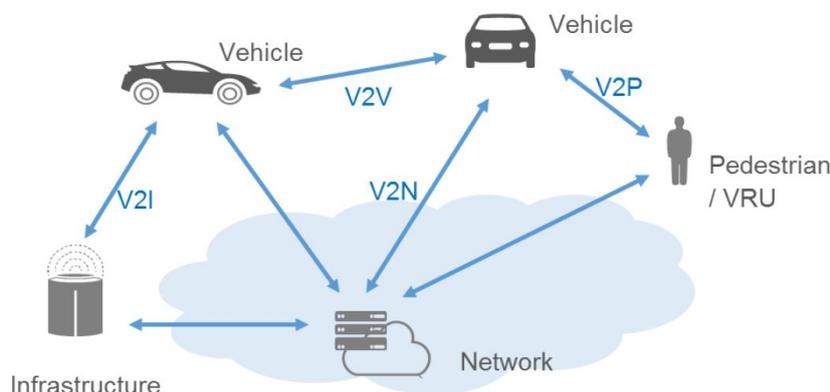


Figura 1.9: Tipologie di comunicazione V2X

Invece la trasmissione V2N potrebbe includere la comunicazione tra veicolo e server tramite rete 4G/5G, ad esempio per le operazioni di traffico.

La tecnologia per la trasmissione dei dati sfruttata dal V2X è un sistema di comunicazione a corto raggio (dedicated short range communication DSRC). La comunicazione tra veicoli e veicoli, veicoli ed utenti stradali si effettua attraverso protocolli di comunicazioni simili a quelli delle reti wireless domestiche ed industriali le quali utilizzano lo spettro delle frequenze dei 2,4 GHz o dei 5 GHz.

Invece per quanto concerne la comunicazione tra veicoli e rete si utilizzano protocolli come LTE (4G) o la quinta generazione degli standard di telefonia mobile (5G) attualmente in fase di sperimentazione[11].

Sviluppi del protocollo di comunicazione V2X

Tra i principali campi di applicazione del protocollo V2X vi è lo sviluppo delle auto a guida autonoma. Uno dei punti cardine della guida autonoma è l'aver la piena consapevolezza di tutto l'ambiente circostante il veicolo e di tutto quello che si muove al suo interno.

I progressi nel campo della ricerca in questo ambito hanno portato alle prime soluzioni commerciali. Tra queste vedrà la luce, verso la seconda metà del 2018, il primo e rivoluzionario chipset, Qualcomm 9150 C-V2X, con tecnologia Cellular Vehicle-to-Everything (C-V2X).

La piattaforma sfrutta l'attuale telefonia 4G. La scarsa capacità della telefonia 4G permette solo funzioni di base ad esempio riesce a gestire la comunicazione dei flussi di traffico.

In futuro la rete 5G sarà in grado di gestire grandi quantità di dati e di assegnare priorità alle comunicazioni e consentirà la realizzazione di operazioni ben più sofisticate.

La versatilità della tecnologia C-V2X deriva dal fatto che usa indifferente-mente due modi di trasmissione: comunicazioni dirette e network-based. Questi modi costituiscono due funzionalità chiave per le soluzioni di guida sicura e autonoma e che, combinate a sensori Adas (Advanced Driver Assistance Systems) quali telecamere, radar e Lidar (Laser Imaging Detection and Ranging), forniscono informazioni relative all'ambiente che circonda il veicolo, inclusi scenari Nlos (Non Line of Sight), ovvero fuori dalla vista (Figura 1.10).

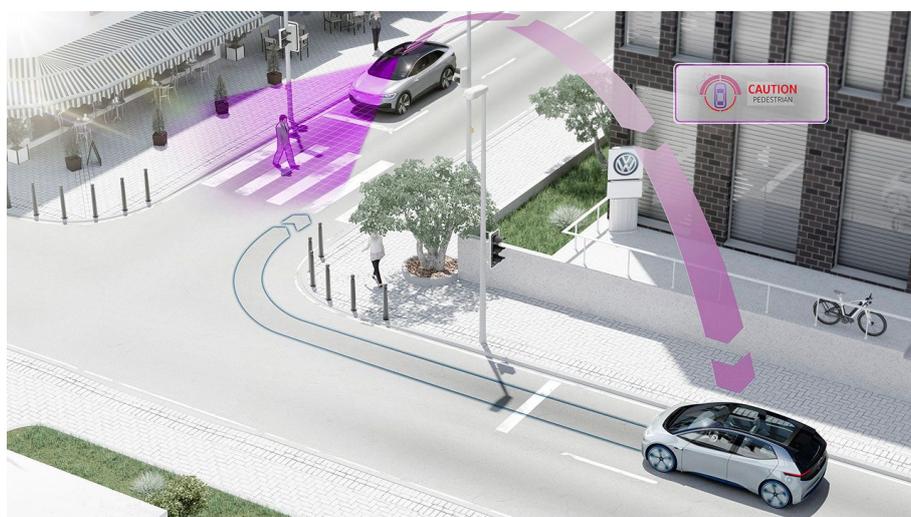


Figura 1.10: Scenario fuori vista

La comunicazione diretta basata su tecnologia C-V2X è progettata per acquisire e scambiare informazioni relative allo scenario in cui si muove il veicolo, grazie all'utilizzo di una trasmissione a bassa latenza all'interno della banda ITS (Intelligent Traffic System) a 5,9 GHz armonizzata per scenari Vehicle to Vehicle (V2V), Vehicle to Infrastructure (V2I) e Vehicle to Pedestrian (V2P).

In poche parole il sistema costruirà reti ad-hoc, estemporanee e con nodi di tipo e numero variabile, e permetterà comunicazioni V2X (compreso il V2P) senza la necessità di accedere alle reti degli operatori di telefonia mobile.

In modo complementare le comunicazioni network-based sono invece progettate per utilizzare le reti 4G (e le future 5G) degli operatori telefonici per gli scenari Vehicle to Network (V2N). I vantaggi saranno enormi sia per la sicurezza che per la riduzione del traffico.

Ottimizzando l'enorme quantità di dati scambiati si potranno dare anche suggerimenti per percorsi alternativi a favore della riduzione del traffico oppure comunicare le emergenze, ad esempio segnalando in anticipo l'arrivo

dei mezzi di soccorso[12].

1.3.2 Comunicazione tramite segnali luminosi LED

La comunicazione e l'invio di dati tramite segnali luminosi LED viene chiamata Li-Fi. Il Li-fi è una tecnologia che permette ai dati di essere trasmessi con la luce: un nuovo modo per comunicare senza utilizzare la radiofrequenza.

Tra le principali migliorie che questa tecnologia apporta, rispetto alla trasmissione dati tradizionale in radiofrequenza, vi sono le seguenti [13]:

- raggiungiungimento di elevate distanze;
- incremento della velocità di trasmissione dei dati rispetto ad una tradizionale rete Wi-Fi;
- geolocalizzazione delle persone all'interno di ambienti chiusi;
- elevati standard di sicurezza;
- trasmissione dati attraverso le reti di illuminazione a LED;
- possibilità di interfacciamento con gli oggetti dell'IoT;
- il sistema Li-Fi non genera campi elettromagnetici e di conseguenza, può essere usato in ambienti nei quali le radiofrequenze possono essere dannose (es. negli ospedali).

Per quanto riguarda la mobilità veicolare e pedonale questa tecnologia è oggetto di studio e riporta interessanti risultati.

I sistemi di trasporto intelligenti sono diventati la principale tecnologia per aumentare la sicurezza stradale e l'efficienza del traffico, nonché per ridurre il numero di vittime della strada.

Tecnologie di comunicazione a radiofrequenza e ottici wireless sono stati proposti come mezzi per stabilire la comunicazione tra infrastrutture veicolari e stradali, come i semafori, cartelloni pubblicitari e infrastrutture stradali e per la comunicazione inter-veicolare.

Queste tecnologie forniscono collegamenti di comunicazione wireless a corto raggio o medio raggio a una o due vie specificamente progettati per sfera automobilistica (Figura 1.11).

Il sistema di comunicazione ottica wireless modula i dati ottici dell'illuminazione nei semafori e dell'illuminazione automobilistica e rileva le informazioni utilizzando sensori che realizzano immagini velocemente (sensori di imaging). Riconoscendo le ampiezze del segnale e del rumore in ogni pixel, si può rilevare in modo adattivo e separatamente il guadagno di ogni singolo pixel nel sensore di imaging per i segnali di comunicazione[14].

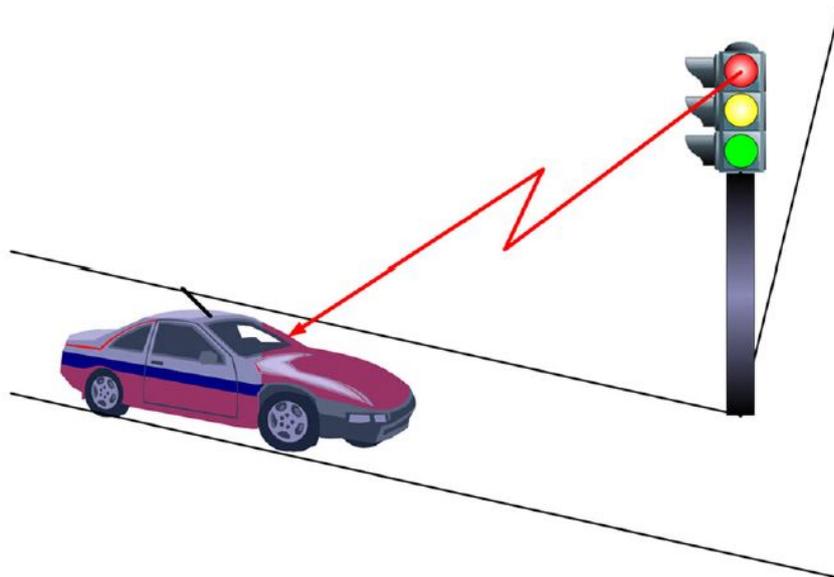


Figura 1.11: Sistema di comunicazione ottica wireless per applicazioni automotive

Capitolo 2

Cenni teorici di misure elettriche

Lo scopo del lavoro di ricerca è quello di progettare e realizzare una interfaccia per un sistema semaforico avanzato che sia in grado di rilevare le condizioni di stato e il valore delle grandezze fisiche in gioco per ottenere una trasmissione dei segnali correlati alle grandezze interessate in “real time”.

La trasduzione del segnale sarà di tipo numerico e resa disponibile ad qualsiasi utente che abbia necessità delle informazioni trasmesse.

Applicazioni possibili ed interessanti di una simile apparecchiatura potrebbero essere ad esempio le seguenti:

- dotare un soggetto non vedente di un dispositivo di ricezione in modo che possa avere informazioni dello stato del e dell'attività del semaforo;
- permettere alla strumentazione di bordo di una automobile di ricevere le informazioni provenienti dalla postazione semaforica, valutarne lo stato e suggerire ad esempio la velocità di percorrenza ideale del veicolo e/o attraverso le informazioni provenienti da più postazioni valutare il percorso ottimale per l'automobilista;
- permettere alla società di manutenzione degli impianti semaforici di essere informata per tempo di guasti e/o anomalie di funzionamento e disporre interventi brevi ed efficaci.

La finalità della ricerca consiste nella progettazione di una apparecchiatura che abbia i seguenti caratteristiche:

- realizzare un circuito che permetta una separazione galvanica fra apparato semaforico e sistema di rilevamento e di misura delle grandezze fisiche interessate;
- ottenere un rapporto costo/benefici molto performante.

La prima condizione è legata alle attuali normative in essere in termini di garanzia e sicurezza dell'impianto semaforico anche in caso di avaria del dispositivo, la seconda alla possibilità di rendere interessante al mercato una apparecchiatura che abbia le caratteristiche che abbiamo descritto.

Nei paragrafi che seguiranno si farà un breve cenno alla teoria generale e ai fondamenti delle misure elettriche ed in particolare dei trasduttori di tensione e corrente necessari per elaborare le informazioni che interessano questa applicazione.

Lo studio si è svolto attraverso le seguenti fasi:

- analisi di un impianto semaforico;
- realizzazione di un circuito di simulazione per verificarne il funzionamento;
- costruzione di un prototipo;
- test di laboratorio;
- installazione in un sistema semaforico reale;
- rilevazione e verifica delle condizioni di funzionamento e rispetto delle condizioni di specifica.

2.1 Misure elettriche

In generale eseguire la misura di una qualsiasi grandezza fisica consiste nell'individuare il valore numerico del rapporto fra la grandezza oggetto della misura ed un'altra, omogenea alla precedente, scelta come unità di misura. Questo valore può essere determinato per confronto diretto (misura diretta) con l'unità di misura ed i suoi multipli e sottomultipli, per esempio si misura una lunghezza con un'asta graduata in metri, centimetri ecc. o si misura un peso su una bilancia a piatti per confronto di pesi noti; si ricorre spesso anche ad una misura indiretta, cioè facendo riferimento alla relazione esistente fra grandezze fisiche diverse, ad esempio l'area di un rettangolo si ottiene mediante la misura di lunghezza dei suoi lati, oppure servendosi di strumenti già tarati, per esempio la misura di un peso su una bilancia dotata di celle di carico (si parla in questo caso di trasduttori).

Possiamo considerare uno strumento di misura come elemento di un sistema dotato di blocchi input/output costituito da grandezze fisiche non necessariamente omogenee fra di loro.

Le grandezze di input ed output si definiscono segnali in grado di essere elaborati matematicamente con algoritmi analogici o numerici.

Nella realtà un sistema di misura è formato da varie blocchi funzionali uniti in cascata fra loro, con possibilità di avere al loro interno degli anelli di retroazione.

Nella sua forma canonica un sistema di misura è rappresentabile nel modo seguente (Figura 2.1):



Figura 2.1: Schema a blocchi di un sistema di misura

Il collegamento fra la grandezza fisica ed il sensore (collegamento A) è di tipo generalmente connesso alla natura della grandezza fisica oggetto della misura.

I collegamenti B e C, invece, sono generalmente di natura analogica, ovvero l'informazione è legata direttamente alle caratteristiche (ampiezza, frequenza, ecc.) del segnale che la trasporta.

Il collegamento B può essere realizzato con canali di trasmissione di natura ottica (fibre ottiche), con l'interposizione di opportuni dispositivi (interfacce) atti a trasformare il segnale proveniente dal sensore rispettivamente in un fascio di luce modulata.

Il collegamento C, invece, è generalmente di natura elettrica.

Nel seguito della trattazione faremo riferimento a strumenti di misura di tipo digitale perché si prestano meglio al trattamento del segnale con elaboratori numerici ed alla loro trasmissione. Nella Figura 2.2 si è rappresentato

un sistema automatico di misura con amplificatore programmabile.

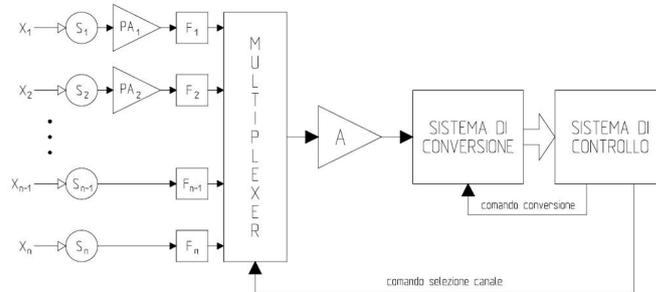


Figura 2.2: Sistema automatico di misura con amplificatore programmabile

dove si indica:

- S_n segnale;
- PAn preamplificatore;
- A amplificatore operazionale.

L'inserimento di uno strumento di misura nel circuito non permette di conoscere il vero valore della grandezza misurata, di conseguenza la misura di tale grandezza sarà sempre affetta da un errore di misura.

Riportiamo di seguito qualche cenno sulla teoria degli errori e la loro classificazione.

Indicando con V valore vero della grandezza fisica e M la sua misura, definiamo errore assoluto E la differenza:

$$E = V - M \quad (2.1)$$

Se $M > V$ la differenza sarà positiva per, se $M < V$ la differenza sarà negativa.

Si definisce errore relativo il rapporto:

$$E = M - \Delta V/V \quad (2.2)$$

Generalmente si esprime l'errore relativo in percentuale. Ogni metodo di misura è influenzato da diversi fattori che introducono degli errori che in parte con accorgimenti opportuni possiamo ridurre ed alcuni eliminare, ma la determinazione di una misura attraverso il suo valore numerico sarà definito in una fascia più o meno ampia di incertezza.

Sarà sempre necessario verificare che lo strumento da utilizzare soddisfi le esigenze della misura che si intende eseguire in funzione della precisione che la specifica comporta.

Si definisce precisione (precision) di uno strumento il valore dell'errore relativo dello strumento.

Si definisce sensibilità (sensitivity) dello strumento il minimo valore della grandezza che lo strumento è in grado di leggere.

Si definisce accuratezza (accuracy) di uno strumento la differenza fra il valor medio campionato ed il valore vero della misura.

Gli errori che intervengono nelle varie misure sono dovuti sia alla imperfezione degli strumenti usati, sia agli effetti di cause esterne che non riusciamo a controllare.

Tenendo conto di questo possiamo classificare gli errori in due categorie:

- errori sistematici: sono quelli che si presentano, pur ripetendo la misura, sempre con lo stesso segno e la stessa ampiezza;
- errori accidentali: sono quelli che si presentano in misure successive, con ampiezza e segno variabile.

Il trattamento matematico degli errori si affronta con tecniche di matematica statistica [15].

2.1.1 Metodologie di misura

Nella generalità degli impianti, quando le correnti in gioco superano la decina di ampere, la loro misura diretta presenta diversi inconvenienti:

- consumi elevati dovuti allo strumento vero e proprio;
- connessioni critiche per la dissipazione di potenza;
- incremento della temperatura degli involucri;
- campi magnetici elevati, che possono disturbare le strumentazioni di segnale.

Nel caso di misure di corrente, oltre agli effetti termici elencati intervengono anche condizioni di sicurezza per l'esercizio dell'impianto come per i TA che analizzeremo più avanti.

Di conseguenza la soluzione per i problemi evidenziati è di adoperare strumenti isolati galvanicamente dal resto dell'impianto e con portate inferiori a quelle di esercizio.

Negli impianti a frequenze industriali (50-60 Hz.) si adoperano comunemente trasformatori di corrente chiamati TA e trasformatori di tensione chiamati TV.

Nell'ipotesi di un trasformatore ideale con rapporto spire $N1/N2 = k$ si ha per il trasformatore di corrente:

$$I2 = -k * I1 \quad (2.3)$$

Per un trasformatore di tensione:

$$V2 = 1/k * V1 \quad (2.4)$$

Ne consegue che per i TA $|k| < 1$, per i TV $|k| > 1$. Un'inserzione classica di questo tipo di strumenti è riportata nella Figura 2.3:

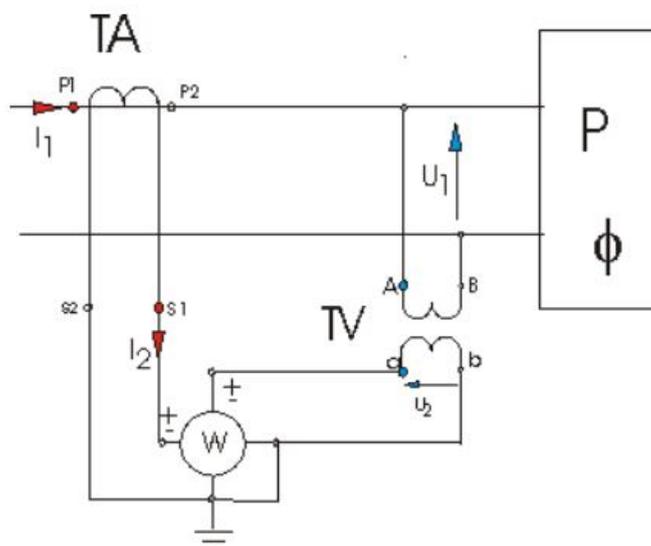


Figura 2.3: Inserzione trasformatori di misura

Come è evidenziato nella figura 2.3, essendo gli avvolgimenti dei trasformatori isolati fra di loro, è possibile la messa a terra degli stessi, evitando che possa manifestarsi la presenza di un potenziale elettrostatico, corrispondente alla ripartizione delle capacità fra avvolgimenti e terra.

Circuito equivalente di un trasformatore

La teoria delle macchine elettriche definisce il trasformatore come doppio bipolo per il quale le tensioni e le correnti alle due coppie di morsetti sono legate alle relazioni [2.3] e [2.4] ed è perfettamente trasparente per le potenze attive e reattive.

Un qualsiasi doppio bipolo che contenga mutui accoppiamenti si riconduce in pratica ad un insieme di elementi attivi e reattivi più un trasformatore ideale.

Nella figura 2.4 possiamo indicare con:

- $X_{1\sigma} = \omega\sigma_1 L_1$;
- $X_{2\sigma} = \omega\sigma_2 L_1$;
- $X_{0\sigma} = \omega(1 - \sigma_1) * L_1$.

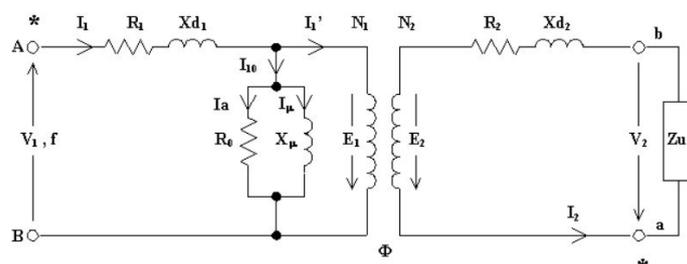


Figura 2.4: Circuito equivalente di un trasformatore

Dove L_1 e L_2 sono i coefficienti di autoinduttanza globale dei due circuiti mentre σ_1 e σ_2 i rispettivi coefficienti di dispersione. Riportando al primario (attraverso il rapporto di trasformazione k) le componenti resistive e reattive del secondario, si può definire una impedenza Z_0 la cui parte attiva rappresenta le perdite esistenti nell'accoppiamento mutuo. Per i trasformatori avvolti su nucleo ferromagnetico l'impedenza Z_0 corrisponde in pratica a quella dovuta al flusso nel nucleo ed è quindi variabile con la corrente che la percorre.

Invece le impedenze dovute a L_1 e L_2 e le resistenze R_1 e R_2 sono reattanze in aria e resistenze ohmiche di avvolgimento e quindi molto minori della Z_0 .

Possiamo concludere che un trasformatore reale si avvicina tanto più ad un trasformatore ideale, per quanto riguarda il rapporto fra le tensioni, quanto più Z_1 e Z_2 sono percorsi da correnti deboli (funzionamento quasi a vuoto), mentre per quanto riguarda il rapporto fra le correnti, il trasformatore si avvicina al comportamento ideale quanto più le correnti I_1 ed I_2 sono maggiori alla I_0 (corrente magnetizzante).

Il trasformatore di corrente TA deve avere un circuito magnetico a bassa riluttanza (alta permeabilità magnetica) e progettato con materiale di ottima qualità e che lavori ad induzioni massime non elevate ($B = 0,5-0,6$ Wb/m²) e con rame di sezione sufficiente e di buona qualità per limitare il valore di resistenza dell'avvolgimento (R_1 e R_2).

Bisogna tener conto nel realizzare il circuito di un TA che questo può manifestare delle tensioni sul secondario molto elevate se questo dovesse essere aperto (la corrente primaria diventa corrente magnetizzante) e di conseguenza bisogna aver cura di evitare di aprire il circuito secondario ed evitare fusibili di protezione.

Per i TV vale invece il concetto di costruire trasformatori di bassa impedenza interna, quindi adottare tecniche di avvolgimento a bassa dispersione che possano evitare cadute di tensione su Z_1 e Z_2 [15].

2.1.2 Partitore di tensione e di corrente

Il sistema più semplice e meno costoso per adattare uno strumento di misura ai valori delle grandezze da leggere è quello di utilizzare partitori di tensione e/o di corrente.

Questi dispositivi si adoperano esclusivamente per circuiti in c.c, poiché per i sistemi con alimentazioni in alternata si usano i TA e i TV, già analizzati. Nella sua forma di principio il partitore di tensione è costituito da due resistenze collegate in serie come è rappresentato nella Figura 2.5.

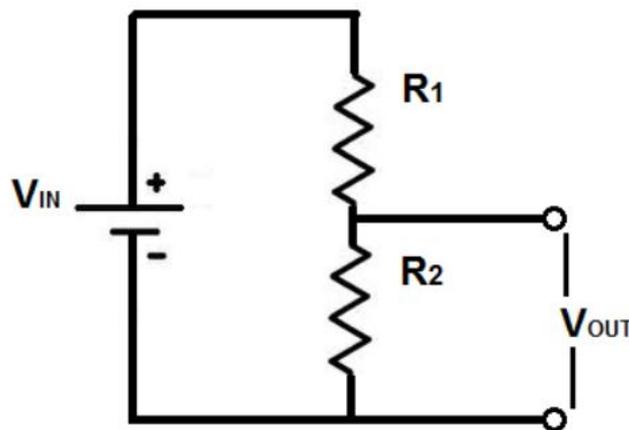


Figura 2.5: Partitore di tensione

Si può pensare ad un quadripolo con due morsetti di ingresso a cui è applicata la tensione V_{IN} e due morsetti di uscita a cui è applicata la tensione V_{OUT} ; dalla applicazione del Teorema di Thevenin, la funzione di trasferimento del dispositivo si può scrivere:

$$U_{OUT}/U_{IN} = R_2 / (R_1 + R_2) \quad (2.5)$$

Per ottenere risoluzioni migliori si può pensare ad un collegamento a cascata di più partitori.

La qualità della misura con questo tipo di adattamento è legata alla tecnica costruttiva dei resistori (precisione del valore ohmico, materiale a film spesso o tecniche di avvolgimento dei resistori a fili non induttivo).

In condizioni di regime transitorio con valori elevate delle derivate di tensione (alti valori di frequenza nel dominio delle frequenze) si dovrebbe tener conto delle capacità di dispersione dell'apparecchiatura dovute al cablaggio, al lay-out dei componenti ed alle tecniche costruttive dei componenti stessi. Una soluzione a questo problema potrebbe essere la disposizione di capacità di un ordine di grandezza superiore a quelle di dispersione disposte opportunamente nel circuito.

I partitori di tensione per le loro caratteristiche funzionali sono adoperati sia come trasduttori di tensione, sia come sonde di tensione.

Il partitore di corrente invece è costituito nella sua configurazione di principio da due resistenze disposte in parallelo, come indicato nella Figura 2.6:

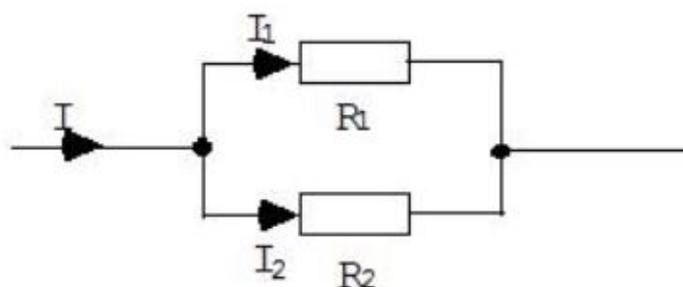


Figura 2.6: Partitore di corrente

$$I_1 = I * R_2 / (R_1 + R_2) \quad (2.6)$$

$$I_2 = I * R_1 / (R_1 + R_2) \quad (2.7)$$

Anche in questo caso in condizioni di regime transitorio con valori elevate delle derivate di corrente (alti valori di frequenza nel dominio delle frequenze) si dovrebbe tener conto delle induttanze di dispersione dell'apparecchiatura dovute al cablaggio, al lay-out dei componenti ed alle tecniche costruttive dei componenti stessi.

Si dovrebbero, di conseguenza, adottare opportuni accorgimenti per la protezione alle sovratensioni[15].

2.1.3 Sonda di corrente

Nel caso in cui le forme d'onda di corrente sono più complesse e con uno spettro con frequenze elevate si usano sonde di corrente del tipo indicato in Figura 2.7 (valido per misure di grandezze periodiche).

La sonda è assimilabile ad un trasformatore, dispositivo elettrico statico che trasferisce energia per induzione mediante l'accoppiamento tra gli avvolgimenti che ne fanno parte.

Sul nucleo magnetico (C) di tipo toroidale è avvolto un primario, bobina (WP) con NP spire, e un secondario, bobina (WS) con NS spire. Un corrente variabile IP che attraversa il toroide (qui assimilato all'avvolgimento primario con NP = 1) crea un flusso magnetico anche esso variabile nel nucleo del trasformatore che attraversa l'avvolgimento secondario.

La variazione di flusso magnetico induce una forza elettromotrice variabile o tensione Vind nell'avvolgimento secondario.

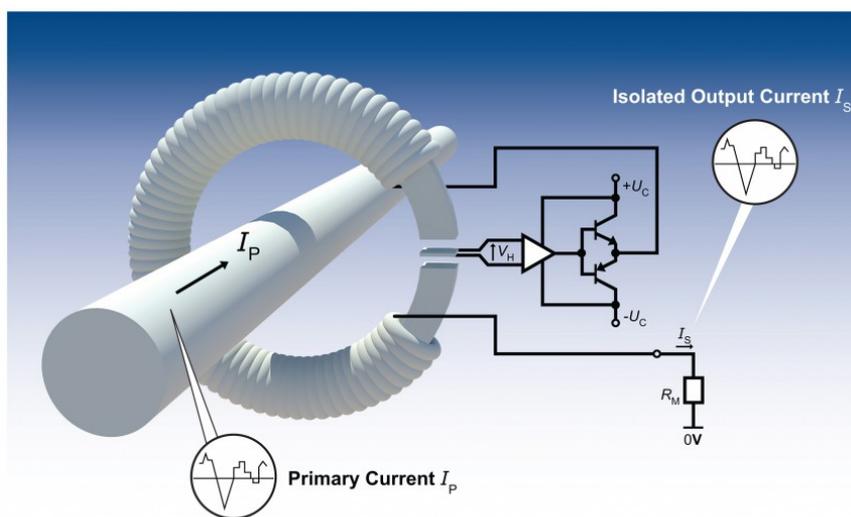


Figura 2.7: Sonda di corrente

Il collegamento di un carico sull'avvolgimento secondario causa una corrente I_S . Questa corrente secondaria di compensazione I_S è sostanzialmente proporzionale alla corrente primaria I_P da misurare in modo che $NP * IP = NS * IS$.

Una eventuale componente continua della corrente continua non viene misurata e comporterebbe una polarizzazione del nucleo con conseguente pericolo di saturazione.

La relazione sopra riportata è vera all'interno della larghezza di banda del trasformatore di corrente (0,050 / 10 kHz.).

I vantaggi di questo tipo di sonda sono [15]:

- misura senza contatto;
- segnale AC e a impulsi;
- nessuna alimentazione;
- può essere aperto;
- buona precisione generale;
- isolamento galvanico.

2.1.4 Trasformatori di isolamento e accoppiatore optoelettronico

I trasformatori di isolamento sono dispositivi che devono lavorare in una ampia gamma di frequenza e devono avere prestazioni elevate in termini di

permeabilità magnetica, riduzione dei flussi di dispersione e delle capacità parassite.

L'ampia gamma di frequenze di lavoro comporta l'uso di materiali a basse perdite e isolamenti elevati ottenuti con materiali estremamente sottili.

Sono utilizzati per ottenere circuiti separati galvanicamente in grado di trasferire il segnale con un alto grado di fedeltà ed affidabilità.

Sono dotati spesso di uno schermo fra l'avvolgimento primario e secondario per attenuare i fenomeni di emissione elettromagnetica (disturbi).

Lo schema funzionale di un trasformatore di isolamento è riprodotto in Figura 2.8:

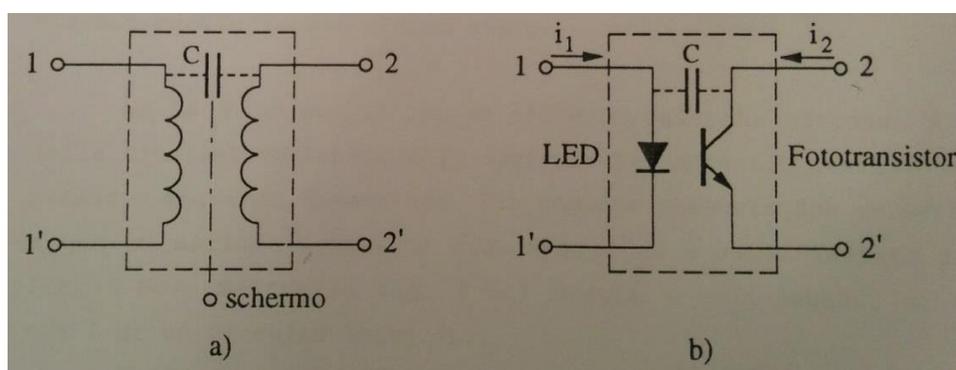


Figura 2.8: Circuito equivalente di un optoisolatore

Un optoisolatore è costituito da una sezione emettitrice di fotoni il cui flusso è accoppiato attraverso un sottile strato di isolante trasparente ad un rivelatore di luce (photodetector).

Il sistema di isolatore trasparente è un film plastico, mentre il photodetector è un fototransistor o un fotofet, in alcuni componenti è integrato un amplificatore operazionale per realizzare un trasduttore analogico.

Il fototransistor è preferibile al trasformatore di isolamento perché ha i seguenti vantaggi [15]:

- spazi e pesi ridotti;
- ottimo isolamento (fino a 4kV);
- è insensibile ai disturbi;
- ha una ampia banda passante.

Capitolo 3

Dispositivo BLE per la comunicazione infrastruttura/utente

Lo studio pregresso è partito dalla produzione di un circuito di misura che fosse in grado di leggere lo stato di ON/OFF delle lampade semaforiche.

Il primo prototipo sviluppato (Figura 3.1) prevedeva la lettura della tensione a valle di un trasformatore di corrente (TA) e di un filtro passa basso, opportunamente dimensionati per la stima delle grandezze in esame, da parte di un microprocessore che elaborava il segnale in ingresso. Il segnale veniva raddrizzato attraverso un ponte a diodi e reso compatibile alla lettura da parte del microprocessore. Una volta ricevuti i segnali in ingresso, esso inviava lo stato del semaforo su un'app dedicata tramite Wifi, attraverso un router dedicato.

Le problematiche emerse a seguito di un incontro con l'Associazione Italiana dei Ciechi hanno portato alla rivisitazione del primo prototipo ed alla progettazione di un secondo (Figura 1.2).

Le modifiche principali hanno riguardato l'hardware: è stato inserito un secondo circuito di misura atto a rilevare la corrente a valle di un trasformatore voltmetrico (TV) da 230V/6V. Questa corrente attiva attraverso un opportuno filtro ed un'alimentazione ausiliaria, un MOSFET che, collegato opportunamente col circuito di misura a valle dei TA, crea un comparatore che permette con un doppio controllo tensione/corrente, di verificare con più accuratezza lo stato della lampada semaforica. In questo modo si è conferito a questo prototipo un livello di sicurezza maggiore.

Si è cercato inoltre di ridurre le dimensioni di ingombro optando per componentistiche integrate (es. ponte a diodi), mentre si è deciso di mantenere invariato il protocollo di comunicazione Wifi che però comportava una disconnessione temporanea dell'utenza dalla rete internet con conseguenti

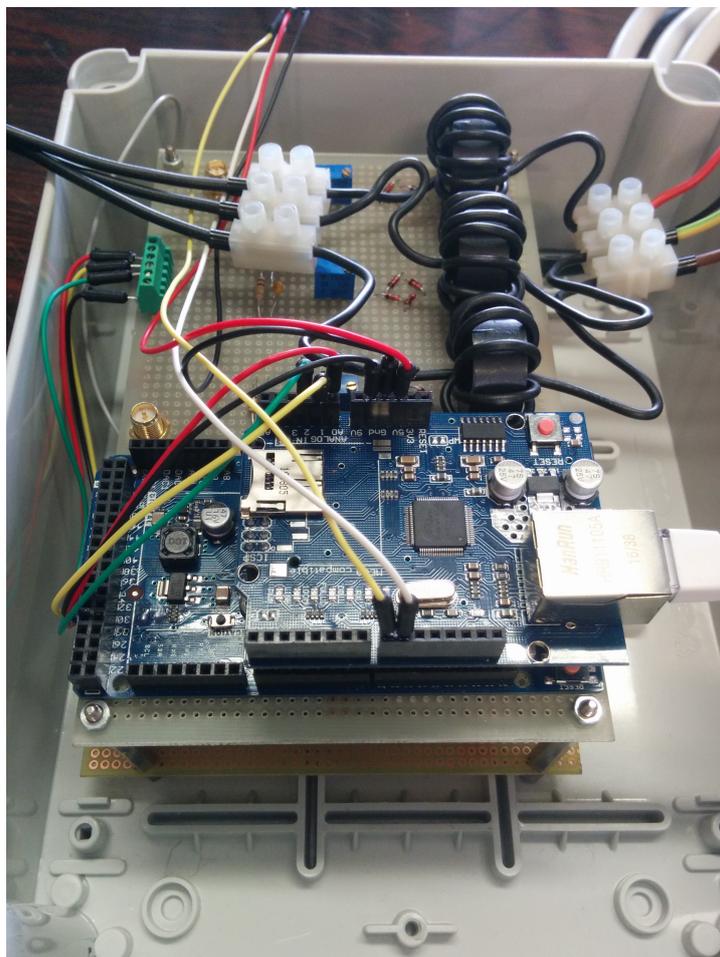


Figura 3.1: Primo prototipo inscatolato e pronto per i test

disagi per la non fruizione di alcuni servizi dello smartphone (Google Maps, Whatsapp....).

3.1 Prototipi BLE (Bluetooth Low Energy)

Il secondo prototipo citato nel paragrafo precedente è stato testato per diversi giorni nell'incrocio Via Arsenale/Corso Vittorio Emanuele nei pressi di Porta Nuova a Torino.

Il test prolungato ha fatto emergere un problema di rilevanza notevole: la comunicazione via Wifi tra il dispositivo e lo smartphone veniva fortemente attenuata dalla cabina semaforica dove era stato installato il prototipo.

La causa è stata attribuita alla schermatura del quadro in cui era installata la centralina semaforica: dato che la struttura era collegata al terreno, essa si comportava come una gabbia di Faraday.

Questo problema si è andato ad aggiungere alla disconnessione dalla rete internet da parte dello smartphone utilizzato, dovuta al collegamento via Wifi tra l'infrastruttura e l'utenza.

Le problematiche sollevate dall'utilizzo del protocollo Wifi per la comunicazione hanno portato un importante cambiamento nella progettazione dei prototipi successivi. In seguito si è optato infatti per la tecnologia Bluetooth Low Energy (BLE), capace di coprire in luoghi aperti diverse decine di metri sufficienti a gestire l'intera area di interesse (ad esempio un incrocio, una piazza).

La scelta si è rivelata vincente poiché non si è più verificata la disconnessione dell'utenza dalla rete dati. Nonostante ciò il problema dell'isolamento della cabina ha continuato a persistere.

La risoluzione di quest'ultimo punto si è raggiunta con l'idea di autoalimentare il dispositivo direttamente dalle lampade semaforiche, spostando quindi il prototipo all'esterno della cabina e attaccandolo alle lanterne (Figura 3.2). Sviluppata i due prototipi sopra descritti si è evidenziata un'altra priorità ovvero la miniaturizzazione di tutto il sistema di datalogging. Oltre alle innovazioni riportate nel secondo prototipo, anche quest'ultima priorità ha portato allo sviluppo di altri tre prototipi soggetti di questa tesi.

Il primo cambiamento inerente a quest'ultima specifica è stato il passaggio da una scheda Arduino Due per l'elaborazione dei segnali ad una scheda di ridotte dimensioni: l'Arduino Pro Mini.

Nei capitoli successivi si analizzeranno singolarmente i tre prototipi.



Figura 3.2: Posizionamento del primo prototipo BLE sulla lanterna semaforica

3.2 Prima versione del dispositivo BLE

Il primo prototipo BLE, (Figura 3.3), è stato realizzato seguendo le linee guida precedentemente riportate.

Il prototipo è formato da tre "macro" circuiti identici e separati per ogni

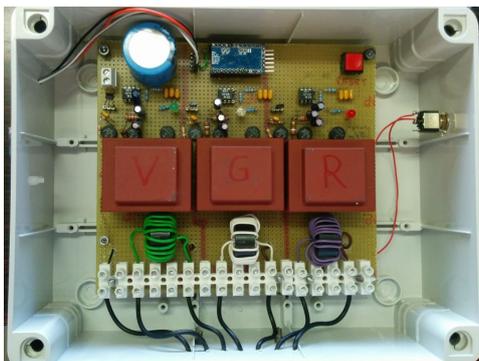


Figura 3.3: Primo prototipo BLE con alimentazione diretta dalle lampade

colore della lampada semaforica (rosso, giallo e verde). Ogni circuito presenta a sua volta due circuiti di misura (uno a valle del TA e uno a valle del TV) e uno di alimentazione.

I circuiti di misura e di alimentazione sono saldati su una scheda millefori come nei precedenti prototipi.

Si sono installati dei pin header femmina per l'alloggiamento della scheda Arduino Pro Mini e di elementi più sensibili a "rottura" come i MOSFET e gli optoisolatori. Per l'attacco del modulo BLE invece si sono predisposti dei pin header maschi.

Si sono aggiunti inoltre tre led (uno rosso, uno giallo, uno verde) che segnalano l'effettivo funzionamento della corrispondente lampada.

La presenza di una morsettiera facilita il collegamento con i cavi di alimentazione delle tre lampade ed il neutro. Un tasto reset e un tasto di ON/OFF gestiscono inoltre il circuito di elaborazione dati (Figura 3.4).



Figura 3.4: Dettagli prototipo BLE

3.2.1 Circuiti di misura e lettura dello stato semaforico

La progettazione dei circuiti di misura è ben consolidata dai prototipi precedenti. Tali circuiti sono opportunamente collegati per creare un comparatore utile a fornire un output che indichi la contemporanea presenza di tensione e corrente sulla lampada corrispondente.

La rappresentazione grafica (Figura 3.5) aiuta a comprendere come viene realizzato il comparatore che fornisce il segnale dello stato semaforico alla scheda di elaborazione dati.

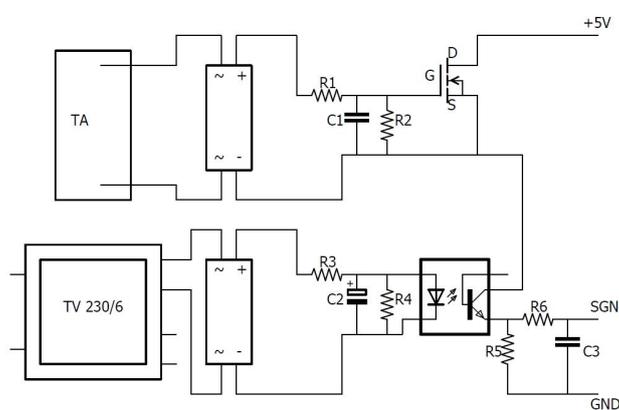


Figura 3.5: Circuiti elettrici di misura di una signola lampada

La fase di ogni lampada viene avvolta attorno al TA quindici volte per migliorare la lettura della grandezza elettrica e ottenere una corrente sul secondario ben quindici volte maggiore rispetto al caso di singolo avvolgimento. Il motivo principale di questa operazione è relativo all'innesco del MOSFET: la tensione tra gate e source era insufficiente per consentire il funzionamento corretto del dispositivo, provocando delle persistenti aperture e chiusure del MOSFET che rendevano instabile la lettura del segnale da parte del microcontrollore.

Subito a valle del TA vi è un ponte a diodi utile a raddrizzare le grandezze in esame.

Sono inoltre presenti i seguenti elementi: un filtro passa basso collegato in serie al ponte a diodi; una resistenza collegata in parallelo al condensatore del filtro, che ne permette la scarica evitando singolarità.

Il MOSFET viene alimentato da una tensione continua a 5V stabili per garantirne il normale funzionamento.

Questo circuito è sostenibile circa i consumi energetici poichè essi sono di ordini di grandezza inferiori rispetto alla potenza assorbita dalla singola lampada. Infatti tra i componenti elettronici è stato scelto il MOSFET poichè

esso necessita di una tensione di comando inferiore rispetto ad altri switch (es. IGBT).

Il circuito di tensione prevede un TV 230/6V con doppio secondario: il primo secondario alimenta il circuito di misura, mentre il secondo garantisce l'alimentazione di Arduino direttamente dalla lampada semaforica. In questo paragrafo ci si focalizza sul circuito di misura e si rimandano ai paragrafi successivi le spiegazioni sull'alimentazione del datalogging.

Anche a valle del TV vi è la presenza di un ponte a diodi raddrizzatore seguito da un filtro passa basso e da una resistenza in parallelo al condensatore del filtro. A differenza del circuito di corrente il condensatore di questo filtro è polarizzato.

La presenza dell'optoisolatore garantisce isolamento galvanico tra il circuito di elaborazione dati e la lampada semaforica. Questa garanzia permette di effettuare le misure di tensione in tutta sicurezza senza perturbare il circuito di comando del semaforo. Il secondario dell'optoisolatore è collegato al source del MOSFET: tale configurazione del comparatore rileva la tensione sul condensatore C3 solo in presenza di entrambe le grandezze elettriche.

3.2.2 Componenti circuiti di misura

Nella tabella 3.1 sono riportati i valori dei componenti utilizzati per i circuiti di misura.

Per quanto riguarda i TA, essi hanno una taglia di 5A per la corrente al primario, il rapporto di trasformazione 1000:1, la tensione di isolamento pari 4kV e la resistenza interna è di 41,80Ω.

I TV, come precedentemente accennato, presentano un circuito primario a 230V e un doppio secondario a 6V. La loro potenza apparente è di 7,5VA, ampiamente sufficienti per gestire i flussi di potenza sia del circuito di misura che del circuito di alimentazione.

Tabella 3.1: Valori componenti circuito di misura

RESISTENZE E CONDENSATORI			
Nome	[Ω]	Nome	[F]
R1	470	C1	1μ
R2	18k	C2	150μ**
R3	470*	C3	2,7μ
R4	2,2k		
R5	1k		
R6	1k		

*Resistenza dissipante 0,5W
 **Condensatore polarizzato

Il MOSFET (Figura 3.6) è un ZVN2106A avente tensione di Breakdown tra i morsetti drain e source pari a $60V$. La corrente di leakage del Gate è pari a $20nA$, la tensione di soglia tra gate e source varia tra un minimo di $0,8V$ e un massimo di $2,4V$. Da tali valori si evince come la dissipazione dovuta a questi componenti sia irrisoria e quindi ininfluenti ai bilanci energetici complessivi di tutto il sistema.

L'optoisolatore scelto (Figura 3.6) è un 4n35 ed ha sei pin numerati: il pin 1 è l'anodo e il 2 è il catodo del led collegato al circuito di potenza, mentre i pin 4, l'emettitore, e il 5, il collettore, sono collegati al circuito di misura. Il pin 5 inoltre è collegato al source del MOSFET come descritto prima, per fornire il segnale che viene letto attraverso il microcontrollore Arduino Pro Mini.

Occorre tener presente che ai capi dei morsetti 1 e 2, ovvero del led, si deve applicare una tensione di $1,3V$ (tensione di soglia) per poter far circolare all'interno del fotodiodo una corrente pari a $10mA$. Inoltre la massima corrente che può circolare nel circuito primario è di $50mA$ e la massima tensione inversa che l'optoisolatore può sopportare è di $6V$.

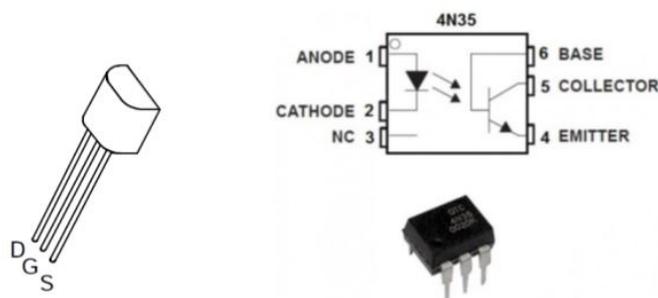


Figura 3.6: Simboli del MOSFET e dell'optoisolatore

3.2.3 Alimentazione dalle lampade semaforiche

Lo spostamento del prototipo dall'interno della cabina sul palo semaforico (soluzione descritta precedentemente) ha sollevato il problema dell'alimentazione dello stesso prototipo. In cabina il prototipo e i suoi componenti erano in precedenza alimentati dalle prese di servizio a $230V$ presenti all'interno della cabina stessa. La soluzione è stata suggerita da un altro strumento che è posto su tutti gli incroci semaforici di nuova installazione: il cicalino per non vedenti. Il cicalino è uno strumento di segnalazione acustica e viene alimentato dalle lampade semaforiche con i dovuti collegamenti alle fasi delle singole lampade.

I collegamenti effettuati nel prototipo sfruttano uno dei due secondari del

TV. I tre circuiti in uscita (Figura 3.7) da questo secondario, prevedono un ponte a diodi utile a raddrizzare le grandezze elettriche e sono collegati ad un condensatore elettrolitico con capacità pari a $10000\mu F$ e tensione massima applicabile pari a 16V.

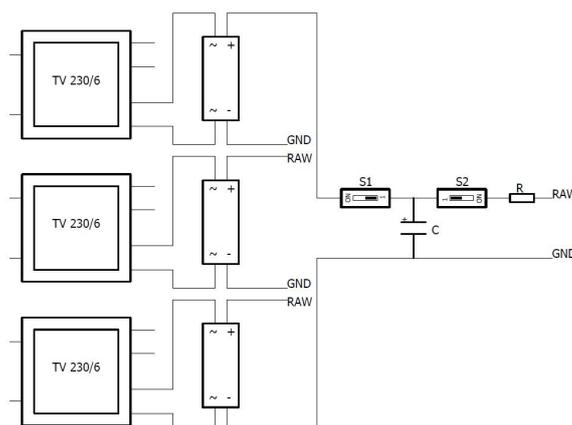


Figura 3.7: Circuiti di alimentazione dalle lampade semaforiche

La taglia importante del condensatore permette di evitare che durante i passaggi da uno stato all'altro del semaforo venga a mancare l'alimentazione ad Arduino.

La Figura 3.7 mostra il circuito di alimentazione dell'ultimo prototipo BLE prodotto. Nel primo prototipo BLE mancano gli switch S1 ed S2 e la resistenza R da 10Ω . Nel capitolo inerente all'ultimo prototipo verranno approfonditi i motivi di tali scelte.

3.2.4 Impiego della scheda Arduino Pro Mini

L'elaborazione del segnale di misura della tensione rilevata ai capi del comparatore a valle dei circuiti di misura delle lampade semaforiche, avviene tramite schede Arduino. La semplicità di utilizzo (grazie ad un linguaggio di compilazione semplice ed intuitivo) e la versatilità di queste schede, ha contribuito ad uno sviluppo rapido della prototipazione dell'elaborazione dei segnali in ingresso.

Date le specifiche richieste circa la miniaturizzazione del prototipo, si è scelto il microcontrollore Arduino Pro Mini (Figura 3.8). L'Arduino Pro Mini è una scheda avente un microcontrollore basata sulla tecnologia ATmega328P.

La scheda Arduino Pro Mini ha quattordici digital input/output pin (sei dei quali possono essere utilizzati come PWM-output), sei analog input, un risonatore on-board, un tasto di reset e dei fori per il montaggio dei pin headers. Per la programmazione della scheda è necessario un adattatore

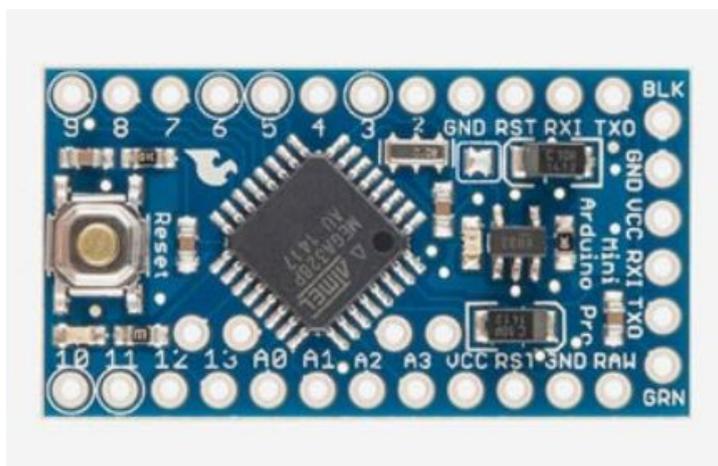


Figura 3.8: Scheda Arduino Pro Mini

Usb2Serial che permette quindi di collegare comodamente la schedina attraverso la porta Usb al PC.

La scheda viene fornita senza la saldatura dei pin per permettere maggiore versatilità nell'uso che se ne intende fare. Esistono due versioni del Pro Mini: una prima che lavora ad una frequenza di 8MHz con tensione massima applicabile di 3,3V, ed una seconda che lavora rispettivamente a 16MHz e 5V.

Per lo scopo del lavoro qui descritto si è scelto di utilizzare la scheda avente tensione massima 5V e frequenza massima 16MHz[17]. Il programma è stato scritto per permettere alla scheda sopraccitata di dialogare, tramite il modulo BLE, con un'app dedicata capace di elaborare i dati e fornire all'utente lo stato del semaforo in real time.

Il software utilizzato per implementare il codice è Arduino IDE 1.8.1 (Figura 3.9). L'ambiente di sviluppo consente di scrivere, compilare e trasferire i programmi sviluppati sulla scheda.

Il linguaggio di programmazione utilizzato per Arduino è il C/C++: si può parlare di entrambi i linguaggi, in quanto è possibile utilizzare o meno il supporto per le classi che il C++ mette a disposizione.

La struttura di un programma è composta da tre parti distinte separate da due dichiarazioni: `void setup()` e `void loop()`. La struttura standard di un programma è questa:

- Parte iniziale: in essa vengono dichiarate le librerie, le variabili, le costanti e la codifica delle routine, cioè parti di codice che vengono eseguite solo quando sono richiamate da una specifica istruzione;

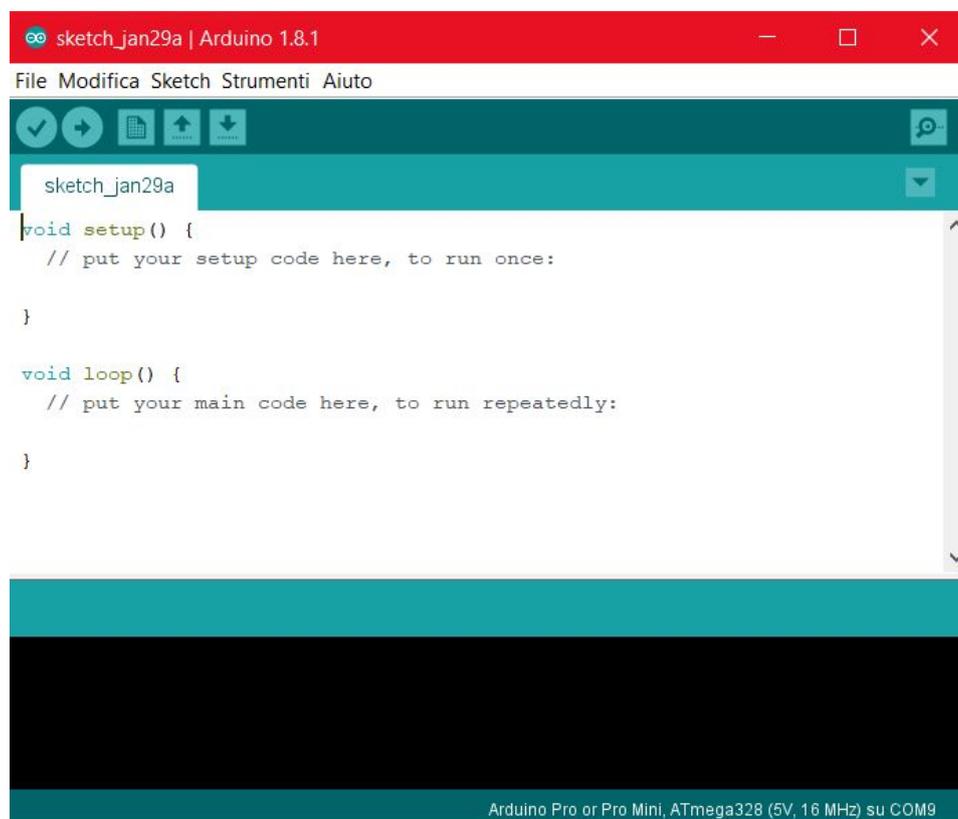


Figura 3.9: Schermata software compilazione codice arduino

- Seconda parte: dopo la dichiarazione `void setup()` vi è la seconda parte di codice che viene eseguita solo all'avvio del programma;
- Terza parte: dopo la dichiarazione `void loop()` vi è l'ultima parte del programma, la principale, che viene eseguita e ripetuta fino al termine dell'alimentazione o fino alla pressione del pulsante reset.

Una volta stilato il codice si può passare alla verifica della logica e della sintassi attraverso la funzione "Verifica/Compila". Questa funzione si rivela molto utile poichè in questo modo non è necessario il collegamento fisico della scheda arduino.

Verificato il corretto funzionamento del programma si procede al collegamento attraverso una porta Usb tra l'Arduino e il PC. Affinchè il tutto funzioni è necessario scegliere il tipo di scheda arduino dove verrà caricato il programma e selezionare la giusta porta COM per permettere il dialogo tra arduino e il PC.

Il codice implementato è riportato come diagramma di flusso nella Figura 3.10 .

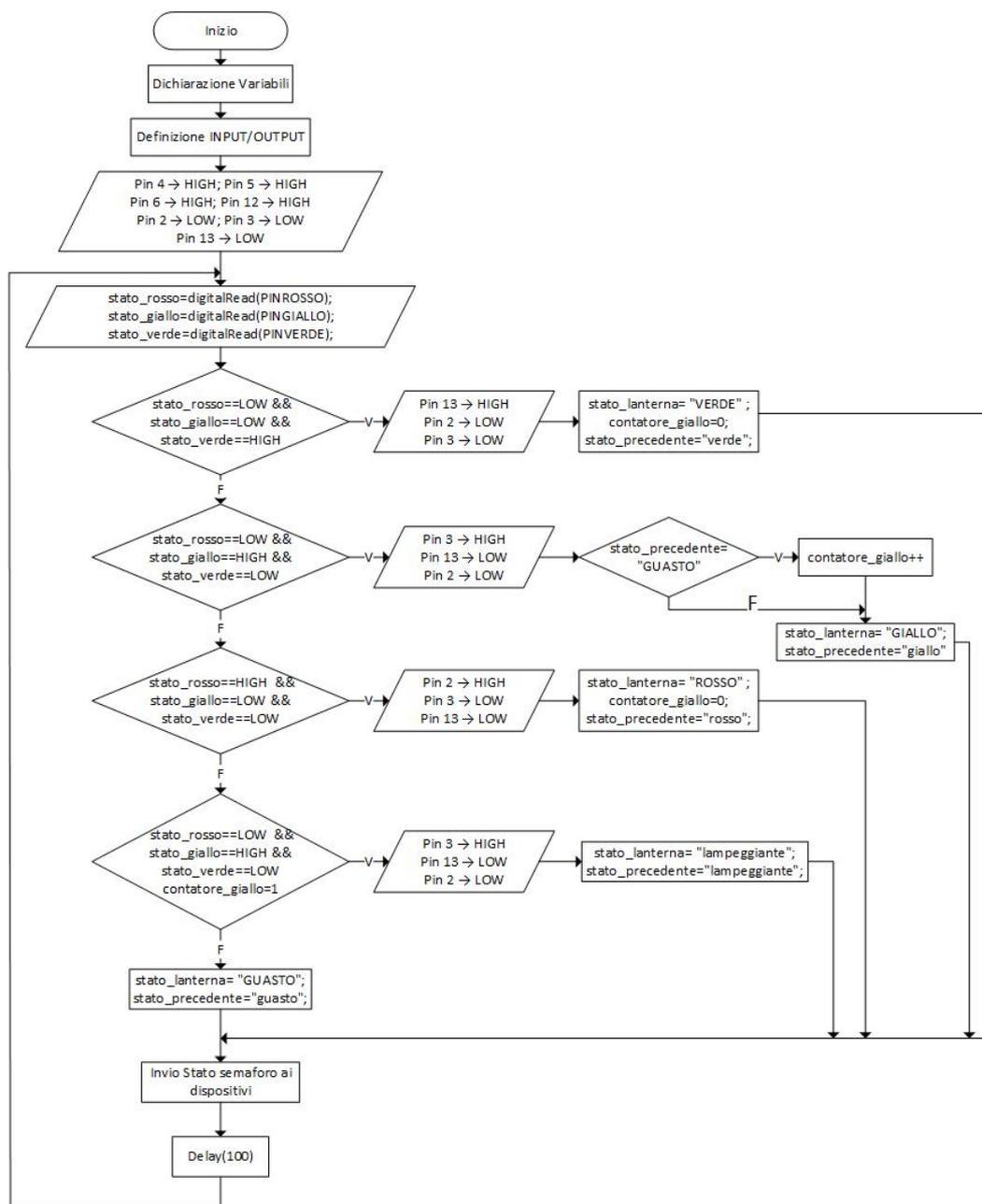


Figura 3.10: Schema a blocchi programma per invio dei dati semaforici v1.0

Di seguito si analizza dettagliatamente il codice nelle sue parti:

- Anche se omessi nello schema a blocchi, all'inizio del codice vi sono dei commenti che sono riservati alla spiegazione dei collegamenti dei pin tra l'Arduino e il modulo BLE. Queste indicazioni sono fondamentali

poichè un errato collegamento tra le porte seriali dei due dispositivi non consentirebbe il dialogo tra questi, e di conseguenza il corretto funzionamento dell'app. I primi blocchi permettono di inizializzare le principali variabili utilizzate all'interno del codice;

- Il Setup() impone lo stato HIGH ai pin 4, 5, 6 e permette di alimentare il circuito giallo, rosso, verde con tensioni stabili a 5V, ovvero la tensione necessaria per attivare i MOSFET. Dopo queste operazioni si alimenta la board HM-10 dall'Arduino tramite il pin 12. Infine si imposta come OUTPUT e si pongono i tre led di verifica del rosso, giallo e verde su LOW;
- il Loop() rileva lo stato delle lanterne semaforiche attraverso una lettura dello stato digitale (HIGH/LOW). Si differenziano cinque situazioni possibili: il segnale rosso (HIGH rosso, LOW giallo, LOW verde); il segnale giallo (LOW rosso, HIGH giallo, LOW verde); il segnale verde (LOW rosso, LOW giallo, HIGH verde); il segnale guasto (LOW rosso, LOW giallo, LOW verde) ed infine il segnale lampeggiante che viene ad impostarsi quando il contatore del giallo supera il valore di 1 e si alterna con lo stato guasto;
- La parte finale del programma invia i dati raccolti in real time al modulo BLE tramite seriale.

Per comprendere meglio il codice analizzato è necessario porre l'attenzione su alcuni comandi chiave utilizzati: HIGH, LOW, INPUT e OUTPUT.

HIGH e LOW sono parole chiave utilizzate nella gestione delle porte di Arduino e nella gestione "digitale" di una variabile. LOW implica che alla variabile (o alla porta) sia associato il valore 0 mentre HIGH implica che sia associato il valore 1.

INPUT e OUTPUT, invece, sono parole chiave utilizzate per definire se una specifica porta deve essere considerata di entrata (una porta alla quale e' collegato un sensore) o di uscita (una porta alla quale e' collegato un attuatore).

Il codice compilato sfrutta le proprietà di queste parole chiave poichè è stato adottato un tipo di lettura del segnale di tipo digitale. Infatti la struttura del circuito di misura si presta ottimamente a questo tipo di lettura garantendo tensioni stabili tra 2,5V e 5V per fornire il segnale 1, ovvero HIGH, e tra 0V e 2,5V per il segnale LOW. Non vi sono range di tensioni nell'intorno di 2,5V che potrebbero portare ad un non corretto funzionamento del dispositivo.

Si precisa che il codice si è compilato rispettando la modalità di trasmissione dei dati di tipo advertising in modo da rendere accessibili i dati all'app Android che abbiamo utilizzato per effettuare i test.

Sarà approfondito nei seguenti paragrafi il motivo per cui questa modalità non è funzionale al nostro scopo e perchè si preferisce la modalità Broadcast.

3.2.5 Modulo BLE HM-10

L'HM-10 (Figura 3.11) è un modulo SMD Bluetooth 4.0 BLE da 3,3V basato sul SOC Bluetooth TI CC2540 o CC2541. L'acronimo SMD identifica i Surface Mount Device ovvero i componenti costruiti secondo le specifiche SMT (Surface Mount Technology), una tecnica utilizzata in elettronica per l'assemblaggio di un circuito stampato prevedendo l'applicazione dei componenti elettronici sulla sua superficie senza la necessità di praticare dei fori come invece richiesto nella tecnica classica, detta Pin Through Hole (PTH). Il BLE è il Bluetooth Low Energy, una specifica applicazione del Bluetooth classico, che è impiegato in applicazioni dove viene dissipata pochissima energia utilizzando piccoli pacchetti di dati. L'invio di questi pacchetti non è sempre continuo e di solito le connessioni BLE non prevedono uno scambio di grossi quantitativi di dati, per quel tipo di scopo il Bluetooth classico resta la scelta migliore da effettuare [18].

Il SOC invece è il System On Chip, ovvero, un circuito integrato che in un solo chip contiene un intero sistema, o meglio, oltre al processore centrale, integra anche un chipset ed eventualmente altri controller come quello per la memoria RAM, la circuiteria input/output o il sotto sistema video.

L'HM-10 è prodotto dalla Jinan Huamao Technology.

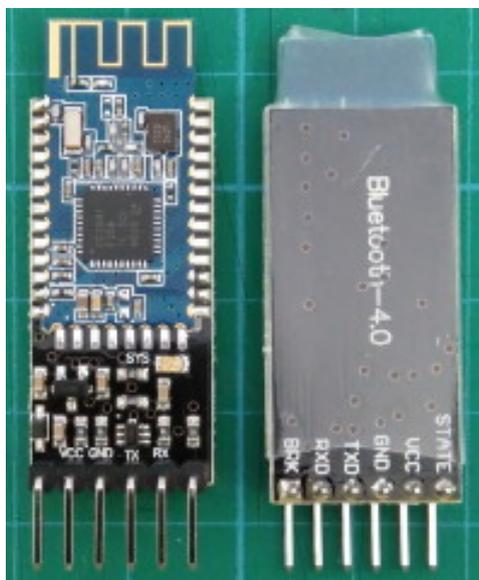


Figura 3.11: Modulo BLE HM-10 Top/Bottom

Le specifiche principali della board HM-10 sono le seguenti:

- +2.5V to +3.3V;
- Richiede fino a 50mA;

- Quando è nello stato attivo utilizza circa 9mA;
- Utilizza tra 50/200 μ A quando è in stato dormiente;
- Potenza RF: -23dbm, -6dbm, 0dbm, 6dbm;
- Versione Bluetooth 4.0 BLE;
- Baud rate di default per la connessione seriale è 9600;
- Il PIN di default è 000000;
- Il nome di default è HMSoft;
- basata sul chip CC2540 o CC2541.

L'HM-10 è uno tra i moduli Bluetooth 4.0 BLE più utilizzati con le schede Arduino. Questo è in parte dovuto allo standard UART di connessione seriale che facilita il dialogo tra queste schede. L'HM-10 prevede solo una versione Bluetooth 4.0, non permettendo connessioni con moduli provvisti di tecnologia Bluetooth 2/2.1.

L'HM-10 viene programmato ed interrogato attraverso i comandi AT che sono inviati tramite seriale secondo lo standard di connessione UART.

Il modulo si presenta montato su di una breakout board, una scheda integrata che permette attraverso dei pin maschi il collegamento fisico tra i pin del modulo HM-10 e il mondo esterno. La breakout board è provvista di un regolatore di potenza che permette di alimentare il modulo HM-10, che supporta fino a 3.3V, con tensioni fino a 5V. La Tabella 3.2 descrive i pin della breakout board.

Tabella 3.2: Descrizione Pin breakout board

Pin	Descrizione
	Stato della connessione.
STATE	Quando non connesso si imposta su LOW. Quando connesso si imposta su HIGH.
VCC	Tensione di alimentazione tra 3,6V a 6V
GND	Ground
TXD	Trasmettitore seriale UART
RXD	Ricevitore seriale UART
	Break pin.
BRK	Quando vi è una connessione attiva, portando il pin BRK su LOW interrompe la connessione.

Il led presente sulla board lampeggia quando ricerca una connessione e si stabilizza quando si connette ad un dispositivo e ritorna a lampeggiare quando la connessione viene interrotta.

La scelta dell'HM-10 per il prototipo è scaturita dalla possibilità che la board possa essere usata come un iBeacon. L'iBeacon è un sistema di posizionamento indoor ed outdoor, brevettato da Apple e descritto come "una nuova classe di trasmettitori, a bassa potenza e a basso costo, che possono notificare la propria presenza a dispositivi vicini con iOS7 e iOS8 (il supporto è garantito anche con gli ultimi aggiornamenti software di Apple)".

La vicinanza ad un iBeacon permette ad uno smartphone o ad un altro dispositivo di effettuare delle azioni. Sfruttando la tecnologia Bluetooth Low Energy (BLE), l'iBeacon usa la percezione di prossimità del BLE per trasmettere un identificativo unico universale (UUID), che sarà poi letto ed elaborato da una specifica app. Una volta letto il segnale, l'app può svolgere varie azioni programmate. Nel nostro caso è la codifica del segnale proveniente dalla lampada semaforica. La tecnologia iBeacon prevede un raggio massimo d'azione, in condizioni ideali di circa 70 metri. Questo dato dipende a seconda del luogo dove è installato l'iBeacon e la sua posizione, oltre che ai vari ostacoli che potrebbero esserci nell'ambiente. E' un dato importante per il nostro studio poichè questa tecnologia ci permette di coprire anche incroci semaforici di dimensioni importanti, come una grande piazza, e provvisti di diverse installazioni semaforiche.

Analizziamo il tipo di dati che l'HM-10 trasmette quando lo si programma per funzionare come iBeacon.

- **UUID:** è l'acronimo di Universally Unique Identifier. E' composto da trentadue cifre esadecimali divise in cinque gruppi separati da un trattino (es. f7826da6-4fa2-4e98-8024-bc5b71e0893e). Ogni gruppo contiene rispettivamente 8/4/4/4/12 cifre. Utilizzato per identificare l'iBeacon, l'UUID può essere modificato a scelta del programmatore per inviare informazioni specifiche che saranno in seguito elaborate dal device ricevente;
- **Major:** è un numero intero non definito che varia dal valore 0 a 65535;
- **Minor:** è un numero intero non definito che varia dal valore 0 a 65535.

La combinazione di questi tre dati permette il riconoscimento e la distinzione tra diversi iBeacon presenti in una stessa area. Nel caso in questione si è predisposto l'UUID con un'identificativo univoco per riconoscere il prototipo, il major si è impostato ad un valore fisso arbitrario ed il minor varia in funzione dello stato della lampada semaforica:

- valore 1: la lampada semaforica accesa è il ROSSO;
- valore 2: la lampada semaforica accesa è il GIALLO;
- valore 3: la lampada semaforica accesa è il VERDE;

- valore 4: la lampada semaforica è nello stato LAMPEGGIANTE;
- valore 5: la lampada semaforica è GUASTA.

Per poter programmare l'HM-10 bisogna collegarla con una scheda Arduino che a sua volta viene collegato ad un PC. Effettuati i collegamenti si utilizza il software Arduino IDE (Integrated development environment) per procedere alla configurazione dell'HM-10.

I pin sono stati collegati nell'ordine mostrato nella tabella 3.3.

Tabella 3.3: Collegamenti HM-10/Pro Mini

HM-10	Arduino Pro Mini
TXD	Pin 10
RXD	Pin 11
VCC	Pin 12
GND	GND

La configurazione della board avviene tramite un codice (Figura 3.12) caricato sull'Arduino che permette il dialogo tra il PC e l'HM-10 attraverso il monitor seriale (Figura 3.13).

Una volta selezionata la porta COM corrispondente all'adattatore seriale, si modificano le impostazioni di dialogo selezionando "9600 Baud" e "No line ending".

A questo punto si è pronti a dialogare con l'HM-10: si invia il comando "AT", e se tutto è collegato nel modo giusto il dispositivo risponderà con "OK". Si prosegue ad interrogare l'HM-10 verificando, attraverso il comando "AT+VERR?" , se è stata caricata l'ultima versione del firmware. Se fosse necessario aggiornare il firmware, è possibile scaricare la versione aggiornata dal sito JNHuaMao.

Lo sviluppo del nostro prototipo prevede la configurazione dell'HM-10 come un'iBeacon. Bisogna eseguire tramite monitor seriale una sequenza ben definita di comandi:

- AT+RENEW: resetta il modulo alle impostazioni di fabbrica;
- AT+RESET: riavvia il modulo;
- AT: si invia questo comando finchè il modulo non è pronto. Una volta pronto risponderà con "OK";
- AT+MARJ0xnmm: definisce il valore del Major dell'iBeacon (in esadecimale);

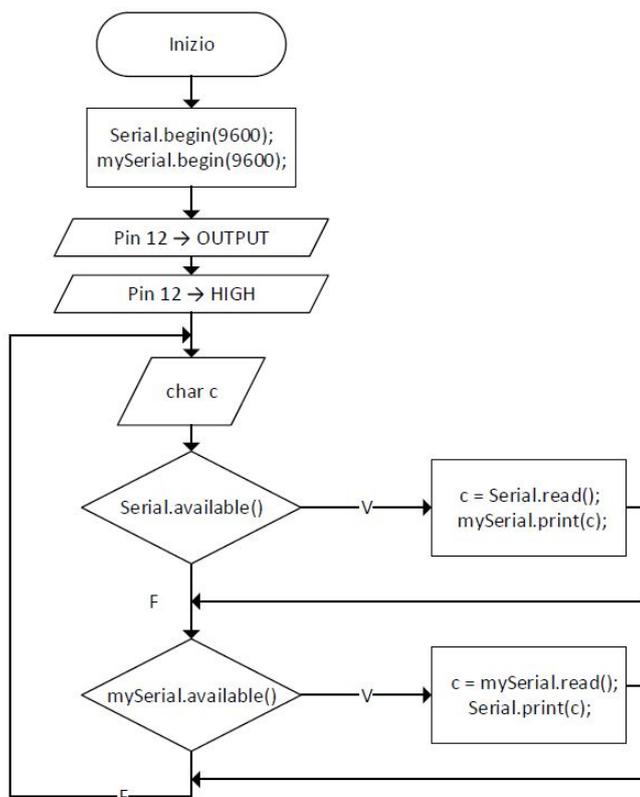


Figura 3.12: Schema a blocchi del codice di inizializzazione modulo BLE

- AT+MINO0xnxxx: definisce il valore del Minor dell'iBeacon (in esadecimale);
- AT+ADVI5: definisce l'intervallo di advertising (il valore 5 corrisponde a 546.25 ms);
- AT+NAMEMyiBeacon: definisce il nome del device (scegliere un nome univoco);
- AT+ADTY3: configura il device come "non-connectable";
- AT+IBEA1: abilita la modalità iBeacon;
- AT+DELO2: configura l'iBeacon in modalità Broadcast;
- AT+PWRM1: disabilita l'auto-sleep per il risparmio energetico;
- AT+ADVI1: imposta l'intervallo di advertising a 1 (152.5 ms);
- AT+POWE3: imposta la potenza del'iBeacon a 6dbm;

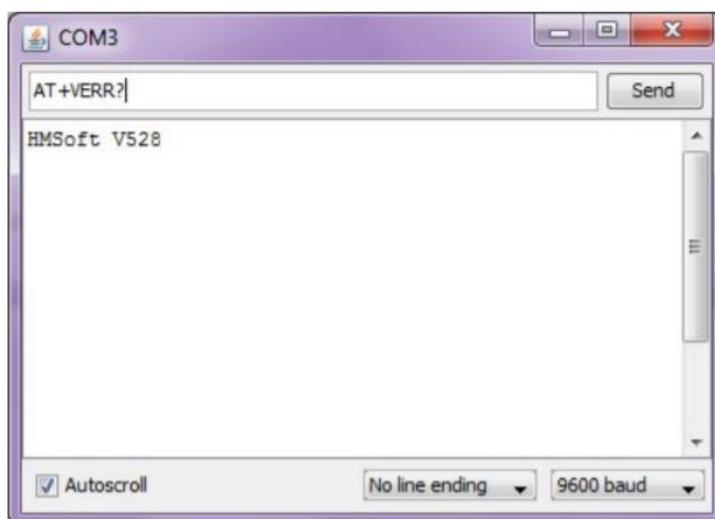


Figura 3.13: Interfaccia monitor seriale Arduino IDE

- AT+RESET: riavvia il modulo.

Terminato il setup, il led dell'HM-10 lampeggia segnalando il funzionamento corretto del dispositivo.

Si analizzano le funzioni utilizzate per configurare come iBeacon la scheda HM-10 e altre utili nella gestione del dispositivo nelle tabelle 3.4, 3.5 .

Seguendo il riferimento della numerazione presente nelle tabelle 3.4 e 3.5:

1. Comando di Test;
2. Interroga e imposta l'intervallo di Advertising;
3. Interroga e imposta il tipo di Advertising;
4. Interroga e imposta la modalità iBeacon;
5. Fornisce informazioni d'aiuto per la gestione del sistema;
6. Interroga e imposta lo stato di ON/OFF dell'iBeacon;
7. Interroga e imposta il valore del Major dell'iBeacon;
8. Interroga e imposta il valore del Minor dell'iBeacon;
9. Interroga e imposta il nome del dispositivo iBeacon;
10. Interroga e imposta la potenza del dispositivo iBeacon;
11. Interroga e regola l'impostazione di sleep del dispositivo iBeacon;

12. Ripristina il dispositivo alle impostazioni di fabbrica;
13. Riavvia la board;
14. Fornisce informazioni sul software installato sull'HM-10.

Vi sono inoltre una serie di comandi atti ad interrogare ed impostare l'UUID ma non saranno analizzati in questo contesto.

L'HM-10 in una primissima versione era stato impostato in modalità advertising e non in broadcast. Questo poichè per testare il prototipo era stata sviluppata un'app in Android che riceveva i dati tramite il protocollo BLE solamente con questa modalità. Risolta questa problematica si è impostata la modalità broadcast di trasmissione dati.

La modalità advertising stabilisce una connessione bidirezionale per la trasmissione dei dati e dunque si sarebbe potuto anche programmare il modulo da remoto. Ciò non è compatibile con le specifiche richieste per la realizzazione del prototipo. La soluzione ottimale, invece, si è trovata adoperando la modalità broadcast: i dati vengono trasmessi senza la possibilità di connessione tra chi invia e chi riceve. Un esempio banale della tecnologia di diffusione dati broadcast è la televisione.

3.2.6 Considerazioni finali sulla prima versione del dispositivo BLE

Il primo prototipo basato sulla comunicazione BLE ha risposto alle specifiche che ci si era prefissati:

- Lo spazio di ingombro si è ridotto notevolmente;
- L'alimentazione avviene attraverso le lampade semaforiche;
- Esso può essere montato direttamente sul palo semaforico evitando attenuazioni del segnale dovuto alla collocazione all'interno della centralina semaforica, come per i precedenti dispositivi;
- Non si è verificata nessuna disconnessione dalla rete dati da parte di chi si collega al dispositivo.

In data 9 agosto 2017, grazie alla collaborazione con IREN S.p.A., è stata realizzata una prova sulla centralina semaforica situata all'incrocio Corso Vittorio Emanuele/Via dell'Arsenale a Torino. Il test è stato svolto con una programmazione del modulo HM-10 in advertising per poter dialogare con un'app dedicata. La copertura del segnale è stata ottima riuscendo a servire tutta l'area dell'incrocio attraversabile dai pedoni.

Dopo il test su strada si è deciso di affidare lo sviluppo delle app per gli utenti ciechi ed ipovedenti a terzi, in modo da sfruttare al massimo la potenzialità del nostro prototipo. La modalità di trasmissione dati definitiva sarà quella broadcast, come accennato nei paragrafi precedenti.

Tabella 3.4: Tabella comandi AT utilizzati per la programmazione del modulo HM-10

	Comando	Risposta	Parametro
1	AT	OK OK+LOST	Nessuno
2	AT+ADVI?	OK+ Get:[Para]	Nessuno
			Para: 0 ~ F 0: 100 ms 1: 152.5 ms 2: 211.25 ms 3: 318.75 ms 4: 417.5 ms 5: 546.25 ms 6: 760 ms 7: 852.5 ms 8: 1022.5 ms 9: 1285 ms A: 2000 ms B: 3000 ms C: 4000 ms D: 5000 ms E: 6000 ms F: 7000 ms Default: 9 HMSoft Default: 0 HMSensor Default: 9
	AT+ADVI[Para]	OK+ Set:[Para]	
3	AT+ADTY?	OK+ Get:[Para]	Nessuno
			Para: 0 ~ 3 0: Advertising ScanResponse, Connectable 1: Only allow last device connect in 1.28 seconds 2: Only allow Advertising and ScanResponse. 3: Only allow Advertising Default: 0
	AT+ADTY[Para]	OK+ Set:[Para]	
4	AT+DELO[para1]	OK+DELO[para1]	Para1: 1, 2 1: Allowed to broadcast and scanning 2: Only allow broadcast
5	AT+HELP?	Informazioni d'aiuto	Nessuno
6	AT+IBEA?	OK+Get:[para1]	Para1: 0, 1 0: Turn off iBeacon 1: Turn on iBeacon Default: 0
	AT+IBEA[para1]	OK+Set:[para1]	Para1: 0, 1 0: Turn off iBeacon 1: Turn on iBeacon Default: 0

Tabella 3.5: Tabella comandi AT utilizzati per la programmazione del modulo HM-10

	Comando	Risposta	Parametro
7	AT+MARJ?	OK+Get:[para1]	Para1: 0x0001, 0xFFFE
	AT+MARJ[para1]	OK+Set:[para1]	Default: 0xFFE0
8	AT+MINO?	OK+Get:[para1]	Para1: 0x0001, 0xFFFE
	AT+MINO[para1]	OK+Set:[para1]	Default: 0xFFE1
9	AT+NAME?	OK+NAME[para1]	Para1: module name,
	AT+NAME[para1]	OK+Set[para1]	Max length is 12.
10	AT+POWE?	OK+Get:[para1]	Nessuno
	AT+POWE [para1]	OK+Set:[para1]	Para: 0 ~ 3 0: -23dbm 1: -6dbm 2: 0dbm 3: 6dbm Default: 2
11	AT+PWRM?	OK+Get:[para1]	Nessuno
	AT+PWRM[para1]	OK+Set:[para1]	Para1: 0~1 0:Auto sleep 1:don't auto sleep Default: 1
12	AT+RENEW	OK+RENEW	Nessuno
13	AT+RESET	OK+RESET	Nessuno
14	AT+VERR?	Info versione Firmware	Nessuno

Capitolo 4

Miniaturizzazione del dispositivo BLE

4.1 Seconda versione del dispositivo BLE

Ultimato il prototipo BLE 1.0, si è passati al punto successivo della ricerca, ovvero quello di ottenere un dispositivo che a pari prestazioni abbia un ingombro inferiore.

Al fine di raggiungere questo obiettivo si è cercato di capire in quali parti del prototipo era possibile intervenire. Osservando il prototipo BLE 1.0 si può notare la presenza di diversi spazi vuoti dove sono stati saldati i componenti dei circuiti di misura e di alimentazione.

Il tasto reset è ridondante con quello presente sulla scheda arduino Pro Mini. Saldando i pin maschi dell'arduino in modo da avere accessibile il tasto reset, si rende nulla l'utilità di un ulteriore tasto di reset sulla millefori. La morsettiera presenta diverse entrate vuote che è possibile eliminare dato che l'isolamento tra le varie fasi è garantito.

Sul lato a 230V del prototipo BLE 1.0 si possono fare dei ragionamenti riguardo l'ingombro dei TV. I TA utilizzati per il nostro scopo presentano il miglior compromesso possibile tra specifiche tecniche ed ingombro.

Intervenendo su questi punti si è passati allo sviluppo del prototipo BLE 2.0. Il software sviluppato per quest'ultimo presenta una novità importante: il passaggio dalla trasmissione dati di tipo advertising a quella broadcast.

Di seguito si analizzano singolarmente le variazioni che hanno portato alla creazione del prototipo BLE 2.0 (Figura 4.1).

4.1.1 Variazioni hardware del prototipo BLE

Il prototipo BLE 2.0 è realizzato, come il precedente, saldando a mano su una scheda millefori tutti i componenti. Il problema principale affrontato

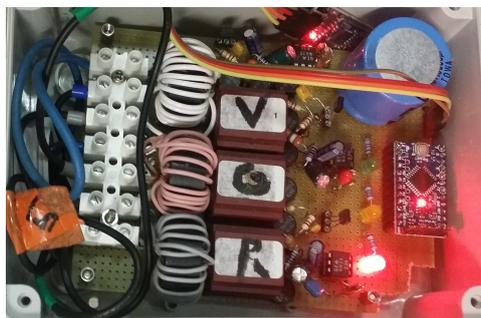


Figura 4.1: Prototipo BLE 2.0 inscatolato e cablato pronto all'uso

per la miniaturizzazione del prototipo BLE 1.0 ha riguardato la sostituzione dei TV, troppo ingombranti per il nostro scopo.

I TV impiegati nel prototipo BLE 1.0 sono risultati sovradimensionati dopo aver controllato i consumi dei circuiti a valle dei due secondari. Tra i componenti esaminati (optoisolatore, Arduino pro mini, led, HM-10) si stima un consumo di circa 0,225W in worst-case, di gran lunga inferiore alla potenza nominale del TV che è pari a 3,75VA per ogni secondario.

La scelta di un nuovo TV è stata semplice: i TV utilizzati per il primo prototipo fanno parte di una linea di trasformatori voltmetrici per PCB (Printed Circuit Board) venduti da RS che presentano diverse taglie di potenza e di ingombro fisico. Si è scelto un TV 230/6V da 0,5VA (0,25VA per ogni secondario). La tabella in Figura 4.2 mostra il confronto tra i due TV.

Power [VA]	Dimensions			Pins		Weight [kg]
	L1 [mm]	W [mm]	H [mm]	R [mm]	Spaces	
0.5	22	23	20	15	2x4	0.05
7.5	51	43	35	25	2x6	0.295

Figura 4.2: Confronto dimensionale tra i TV del primo e secondo prototipo BLE

Dal confronto dimensionale si evince come il volume occupato dai TV sia pressochè dimezzato rispetto alla soluzione precedente e il peso diminuito di circa sei volte.

Dopo alcune prove per ottimizzare il posizionamento dei componenti si sono ridotte le dimensioni della scheda millefori. Questo ha permesso la sua installazione all'interno di una scatola 150x110x70 mm, avente classificazione IP55 per permettere al dispositivo l'installazione in aria aperta.

La classificazione IP55 conferisce al prototipo finale la protezione da fili (come IP4) protetto dalla polvere (protezione contro il contatto), da deposito di polvere (protezione contro corpi estranei) e la protezione contro getti d'acqua (spruzzatori da qualsiasi angolo).

La saldatura è iniziata dalla componentistica dei circuiti di misura poiché presentava maggiori difficoltà data la posizione ravvicinata dei componenti (Figura 4.3).

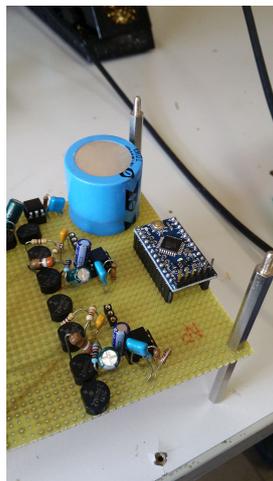


Figura 4.3: Saldatura componenti circuiti di misura e di elaborazione dati

Si nota dalla Figura 3.3 come la disposizione verso l'alto dell'Arduino Pro Mini permetta l'accesso facilitato al tasto reset, consentendo così di eliminare il tasto reset presente nel prototipo BLE 1.0. E' stato rimosso anche il tasto di ON/OFF.

Terminata la saldatura dei circuiti a valle dei trasformatori, si è proceduto a saldare i TA ed i TV ed infine la morsettiera che è stata ridimensionata a soli sette ingressi (andata e ritorno per ogni fase delle lampade più il cavo del neutro). Il prototipo BLE 2.0 da inscatolare si presenta come nella figura 4.4.

4.1.2 **Variazioni software del prototipo BLE**

La stesura del codice per il secondo prototipo BLE ha rispettato la specifica della trasmissione dati in modalità broadcast. Lo studio delle app per iOS ed Android da parte di aziende esterne al Politecnico, ha permesso lo sviluppo del codice in questa direzione. Dopo aver impostato l'HM-10 come iBeacon, il codice ha un'impostazione molto simile al codice stilato per il prototipo BLE 1.0. La novità più importante riguarda la lettura del segnale, proveniente dal comparatore del circuito di misura, da parte di Arduino.

Rispetto al caso precedente cambia il modo in cui il segnale viene letto: si passa dalla funzione `digitalRead()` alla `analogRead()`, ovvero si passa da una lettura di tensione digitale codificata attraverso due bit, 0 (LOW) e 1 (HIGH). Lo stato LOW permette di leggere tensioni comprese tra 0V e 2,5V,

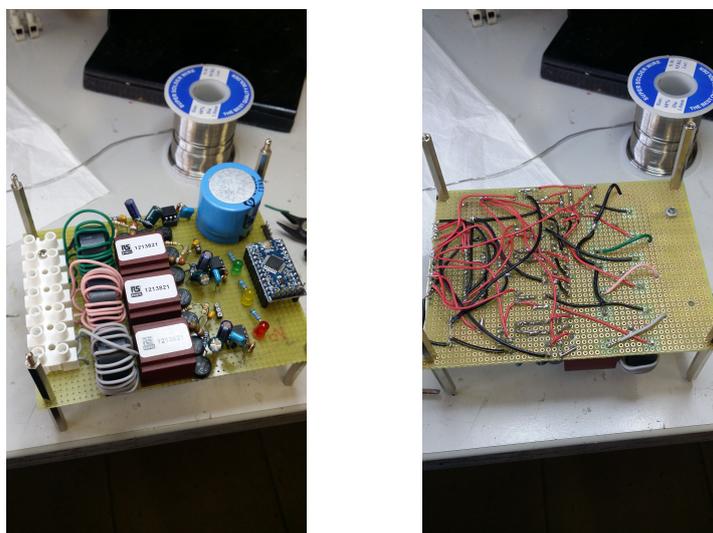


Figura 4.4: Prototipo BLE 2.0 a saldatura terminata

mentre lo stato HIGH quelle comprese tra 2,5V e 5V. La lettura di tensione analogica è codificata con valori compresi tra 0 (che corrisponde a 0V) e 1023 (che corrisponde a 5V). Questa variazione è dovuta a diversi fattori:

- Sebbene non si sia cambiato alcun componente, la riduzione degli spazi nella scheda millefori e la presenza di saldature non eseguite a regola d'arte a causa dello spazio insufficiente provoca l'instabilità di ricezione di una tensione minima da 2,5 V in alcuni istanti della lettura semaforica;
- Il fatto che i 2,5V non siano continuativi rende impossibile mantenere costantemente il segnale impostato su HIGH per la lampada accesa in quell'istante.

La lettura analogica invece riesce a discernere sempre quale delle tre lampade risulta accesa poichè compara i valori di tensione presenti ai capi dei pin relativi alle lampade. Dopo vari test in laboratorio si è impostato come valore di soglia 300 per stabilire se una lampada sia accesa o meno.

Alla fine del void loop() è stata aggiunto un comando che resetta ogni 15000 letture il modulo BLE. Questa accortezza è stata aggiunta dopo un test durato diverse ore dove ci si è accorti che il dispositivo HM-10 andava in tilt dopo aver trasmesso dati continuamente per circa un'ora. Infatti la memoria RAM dell'HM-10 si ingolfava dopo aver inviato i dati per diverso tempo. Solo resettando il dispositivo la memoria veniva ripulita e il prototipo riprendeva a funzionare normalmente.

Il diagramma di flusso del codice di programmazione del prototipo BLE 2.0 è riportato nella figura 4.5.

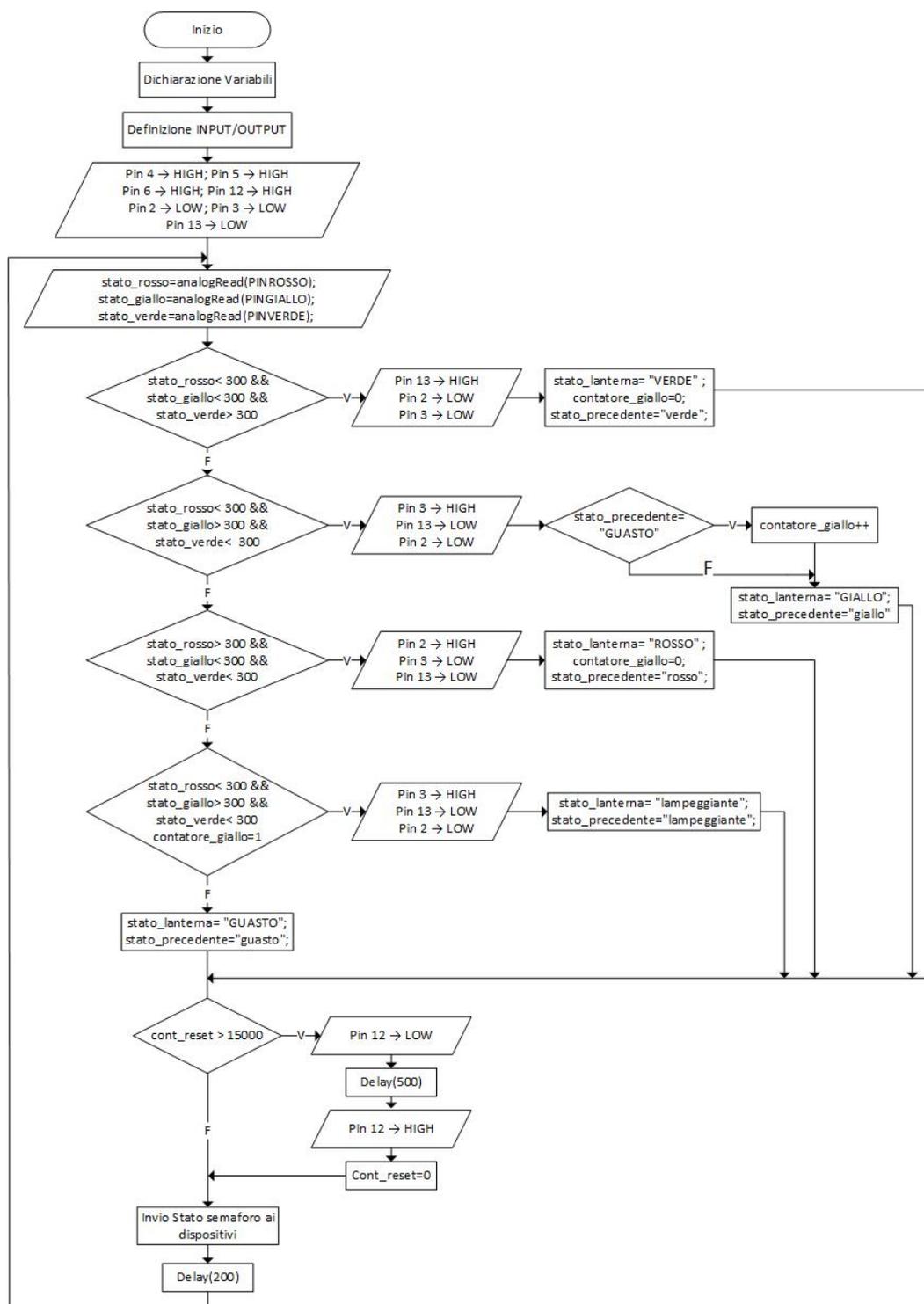


Figura 4.5: Schema a blocchi programma invio dati semaforici v2.0

4.1.3 Fiera Smart Mobility World: *Laura*

La SOGEN s.r.l. ha richiesto il prototipo BLE 2.0 per poterlo esporre alla Fiera Smart Mobility World, svolta a Torino presso il Lingotto Fiere nelle giornate del 10 e 11 Ottobre 2017.

La società del gruppo SOGEN s.r.l. che ha presentato il prototipo nel proprio stand è stata la BOSCO s.r.l. ed ha rinominato, in occasione di questo evento, il prototipo con il nome di *Laura*. E' stato scelto questo nome per rendere omaggio alla memoria di Laura Burzio, ragazza prematuramente scomparsa, figlia dell'Arch. Giovanni Burzio che ha creduto ed investito nella realizzazione di questo progetto.

L'esposizione di *Laura* (Figura 4.6, 4.7) ha suscitato grande interesse nei visitatori ed ha attirato l'attenzione anche del sindaco di Torino Chiara Appendino presente alla mostra. E' stato invitato anche il presidente dell'Unione Italia Ciechi e Ipovedenti che, dopo aver testato il sistema (Figura 4.8), si è mostrato soddisfatto degli sviluppi del prototipo continuando a suggerire miglorie per una migliore fruibilità del servizio per le persone affette da queste problematiche.

La fiera è stata un banco di prova importante per il prototipo che ha risposto egregiamente alle interazioni con le app installate sui dispositivi disponibili per provare il sistema.



Figura 4.6: Installazione di Laura alla Smart Mobility World



Figura 4.7: Preparazione prototipo BLE 2.0 per fiera



Figura 4.8: Utilizzo del sistema da parte del presidente dell'Unione Ciechi ed Ipovedenti

4.1.4 Considerazioni finali sulla seconda versione del dispositivo BLE

Il prototipo BLE 2.0 ha rispettato le specifiche richieste di miniaturizzazione riducendo di circa un terzo l'ingombro complessivo del dispositivo rispetto all'prototipo BLE 1.0 . Una scelta fondamentale che ha portato a questi risultati è stato il cambio dei TV.

Il funzionamento continuativo in modalità broadcast si è rivelato soddisfacente pur presentando qualche intoppo una volta a regime.

Il committente dello sviluppo del prototipo, soddisfatto dell'operato svolto nei laboratori del Politecnico, ha richiesto lo sviluppo di ben cinque prototipi uguali basati sulla versione 2.0.

4.2 Versione finale del dispositivo BLE

I risultati soddisfacenti forniti dal prototipo BLE 2.0 hanno portato alla richiesta dello sviluppo di altri cinque prototipi identici. Il fine è il poter sviluppare in laboratorio una simulazione di incroci semaforici più complessi.

Lo sviluppo del prototipo BLE 2.0 è costato in termini temporali di progettazione e saldatura dei componenti circa 45 giorni.

Come già detto nel capitolo precedente, un problema riscontrato nel prototipo 2.0 è stato quello relativo alle saldature ravvicinate che hanno causato delle cadute di tensione che non hanno permesso alla scheda Arduino la lettura della misura in formato digitale ma solo in analogico. La soluzione ideale per ottimizzare i tempi di produzione dei prototipi e risolvere allo stesso tempo il problema delle saldature, si è trovata grazie alla tecnologia PCB (Printed Circuit Board) che ha portato allo sviluppo di un prototipo ancora più evoluto. Tramite quest'ultima tecnologia, la scheda millefori sulla quale erano stati sviluppati i prototipi precedenti viene sostituita con un circuito stampato. Con questa idea si è potuto continuare a migliorare la miniaturizzazione del prototipo: diversi componenti sono sostituiti con i corrispettivi SMD (Surface Mount Device) che a parità di specifiche tecniche presentano un ingombro molto inferiore.

Lo studio del prototipo BLE PCB ha richiesto una fase di progettazione del circuito utilizzando un Electronic Design Automation (EDA) software: la scelta del software è ricaduta su Eagle della Autodesk. Riguardo la progettazione del codice Arduino, si sono effettuate ulteriori modifiche rispetto alla versione presentata alla Smart Mobility World, mantenendo però la stessa struttura logica di base.

Di seguito si analizzano le fasi di sviluppo del prototipo BLE PCB.

4.2.1 Progettazione del PCB

Cos'è un PCB?

Per poter passare alla descrizione del nuovo prototipo è necessario fare una breve introduzione sulla tecnologia che ne è alla base e che è stata introdotta nel paragrafo precedente.

Il Printed Circuit Board (PCB), in italiano comunemente chiamato circuito stampato, è una scheda che connette i componenti elettronici tramite piste conduttive incise su di un materiale non conduttivo. Si sceglie di realizzare un PCB per creare un circuito che lavori in maniera duratura e solida nel tempo.

La progettazione di un PCB prevede la scelta di usare componenti "surface mount" o componenti "through-hole", oppure di usare in maniera mista entrambi (Figura 4.1). I componenti SMD prevedono una saldatura superficiale mentre quelli through-hole sono saldati dalla parte opposta della

scheda dopo che i pin del componente hanno attraversato il foro presente sulla scheda stessa.

Il prototipo BLE PCB presenta componenti misti SMD e through-hole. I componenti through-hole sono facili da saldare al contrario dei componenti SMD, ma questi ultimi permettono di ridurre drasticamente lo spazio necessario per la componentistica del prototipo.

Il PCB può avere diversi layer (strati). Per il prototipo BLE PCB si è scelto di sviluppare una scheda a due layer: un top layer e un bottom layer. Il top layer è lo strato superiore mentre il bottom layer quello inferiore del PCB. E' possibile tracciare piste conduttive su entrambi i layer e questi possono essere collegati tramite delle giunzioni chiamate VIA (vertical interconnect access) (Figura 4.9).

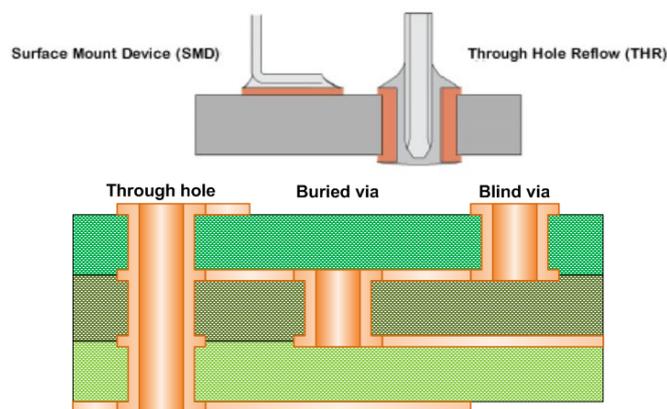


Figura 4.9: Dettaglio dei collegamenti interni al PCB

La creazione di un PCB richiede tre fasi:

- Schematic: si disegna, sul software scelto, lo schema del circuito che si vuole realizzare;
- Board Layout: definito lo schematico, il software disegna l'effettiva scheda che sarà in seguito realizzata;
- Produzione: dopo aver effettuato i dovuti check durante la fase di Board Layout, si creano i file Gerber che vengono inviati ad un produttore di PCB a discrezione del progettista.

L'ambiente Eagle e la realizzazione del PCB

Il software scelto per la realizzazione del PCB è Eagle di Autodesk, ottenuto grazie alla licenza gratuita per studenti fornita dal Politecnico di Torino.

Appena lanciato, Eagle mostra la schermata iniziale (Control Panel): questa finestra contiene gli strumenti per creare o aprire un progetto, uno schema, un PCB o una libreria. Si crea quindi un nuovo progetto tramite il menu File -> New -> Project.

Schematico del prototipo BLE PCB

Per iniziare a disegnare bisogna creare uno schema per il nostro progetto. Per selezionarlo si clicca su File -> New -> Schematic. Si aprirà quindi la schermata di Schematic (Figura 4.10).

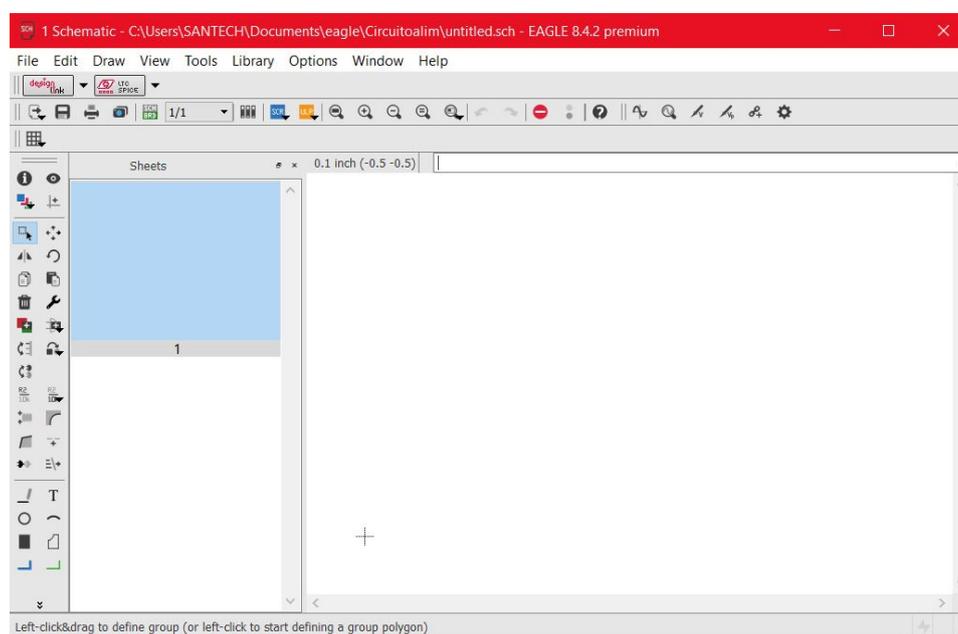


Figura 4.10: Schermata Eagle relativa l'ambiente Schematic

Avviato l'ambiente di lavoro si procede a posizionare i componenti. Per farlo si ricorre al comando "Add" che si trova sul pannello a sinistra dove hanno sede anche tutti gli altri comandi utili per disegnare lo schematico. Si aprirà la schermata di "Add" che permette di scegliere il componente da inserire. Una volta trovati e scelti i componenti per uscire dal menu "Add" si preme il tasto Esc. Le funzioni principali di Schematic sono i classici comandi "Elimina", "Sposta", "Taglia", "Copia", "Incolla" tutti disponibili dal menu di sinistra.

"Delete" (elimina) è rappresentato da una crocetta e si trova accanto a "Add". Il suo funzionamento è simile anche a quello di "Copy" (il secondo comando della barra sinistra) e di "Rotate" (sotto a "Copy") poichè basta un click su un oggetto dello schema per eliminarlo/copiarlo/ruotarlo.

”Move” (il primo comando della barra) richiede invece il trascinamento dell’oggetto con il mouse fino alla nuova posizione. Queste sono le funzioni basilari seguite poi da ”Mirror” (accanto a ”Rotate”) che inverte l’oggetto selezionato, e da altre funzioni specifiche per cui si rimanda a guide più dettagliate.

Posizionati i componenti nell’ambiente Schematic si passa alla creazione dei collegamenti tramite la funzione ”Net”. La procedura per collegare due pin è la classica: si clicca sul primo pin da collegare e successivamente si clicca sul secondo. Per creare angoli si traccia una linea, si clicca e una nuova linea sarà creata accanto a quella vecchia. Per ottenere un lavoro di precisione è conveniente lavorare con una griglia in sovraimpressione che permette di spostarsi con dei riferimenti ben precisi. Le impostazioni utilizzate per posizionare i componenti sono visibili nella Figura 4.11.

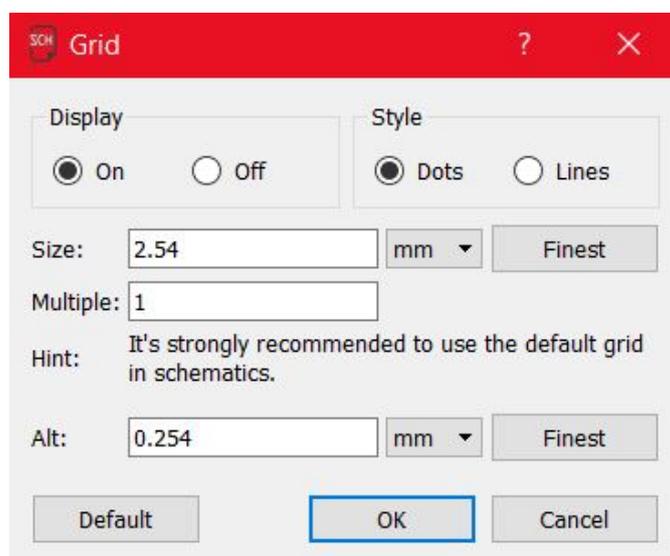


Figura 4.11: Impostazioni griglia Eagle

Ultimati tutti i collegamenti e si può passare alla creazione della basetta vera e propria.

Le librerie di Eagle sono sprovviste di alcuni componenti presenti nel nostro prototipo: i TA, i TV, il MOSFET, il ponte raddrizzatore e l’Arduino Pro Mini. Dopo aver effettuato delle ricerche in rete si sono installate le dovute librerie per tutti i componenti tranne i TA e i TV. Si è proceduto alla creazione di una apposita libreria contenente i due componenti.

Per creare un componente da zero in Eagle sono necessari tre passi:

- creazione del footprint, ovvero l’impronta di un componente elettronico sul circuito stampato (visibile nella modalità Board Layout);

- creazione dello simbolo circuitale (visibile nella modalità Schematic);
- creazione del componente.

Per evitare di modificare le librerie di default, è bene creare una libreria nuova in cui inserire i nuovi componenti. Si crea una libreria chiamata "Raccolta" cliccando su File -> New -> Library. Si apre la finestra della libreria vuota. Nella schermata si hanno a disposizione tre pulsanti: Device, Package e Symbol. Cominciare con Symbol o Package è indifferente, però prima di creare il componente (Device) è necessario avere gli altri due già pronti.

Si procede a disegnare il package. Eagle utilizza un sistema di coordinate cartesiane e pone nell'origine degli assi una croce bianca, questa croce bianca ritornerà, in fase di creazione della board, permettendoci di selezionare e spostare il componente a piacimento. Quindi occorre posizionarla in modo tale che la stessa risulti comoda e funzionale. Nel nostro caso sia per il package del TA che del TV si mette al centro del footprint che stiamo creando (Figura 4.12).

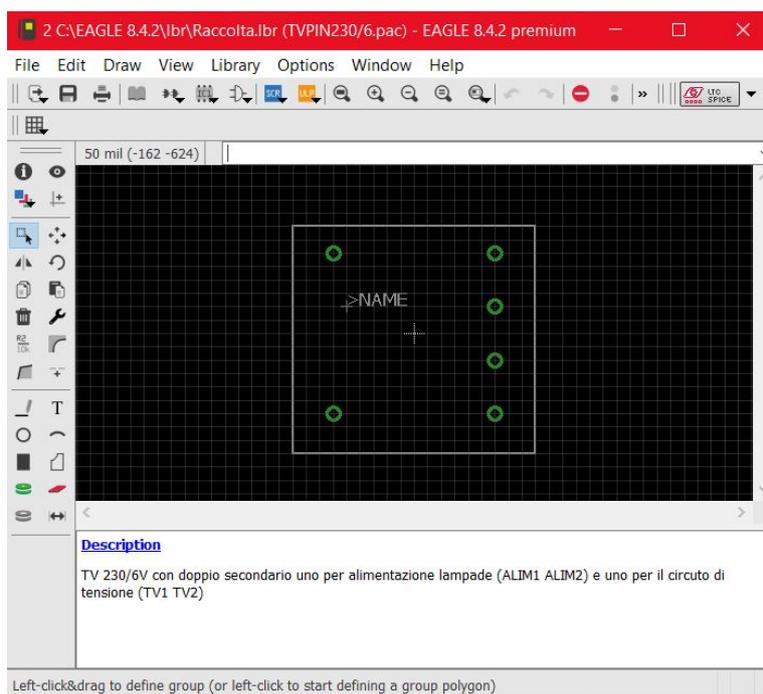


Figura 4.12: Creazione del package del TV

Il passo successivo consiste nel posizionamento dei pad. A tal proposito bisogna ricordare che Eagle è piuttosto rigido nella gestione dei pad (sul footprint) e dei pin (sullo schematic). In particolare si devono rispettare

in questo contesto i seguenti punti:

- il numero di pin sia minore o uguale al numero dei pad;
- uno stesso pin non risulti associato a due pad differenti.

Per la realizzazione del TA si deve creare anche un buco per il pin di supporto utilizzando la funzione "hole". Creati i pad si va a disegnare l'ingombro: sia per il TA che per il TV esso è costituito da rettangoli con dimensioni rispettivamente di 23.8x11.12 mm e 22x23 mm.

Una volta completato questo punto si inserisce il nome del package e la descrizione di ciò che si è disegnato per facilitare in seguito la ricerca del componente nel menù "Add".

La creazione del componente prosegue realizzandone il simbolo circuitale: per creare un nuovo simbolo nella libreria, si utilizza il pulsante Symbol presente tra i tre pulsanti in alto disponibili sulla schermata una volta aperta la libreria. In questa schermata (Figura 4.13) si può creare il simbolo circuitale per il nuovo componente: è bene crearne uno che sia facile da riconoscere, ovvero uno per il quale risulti semplice ed intuitivo realizzare le connessioni sullo schema.

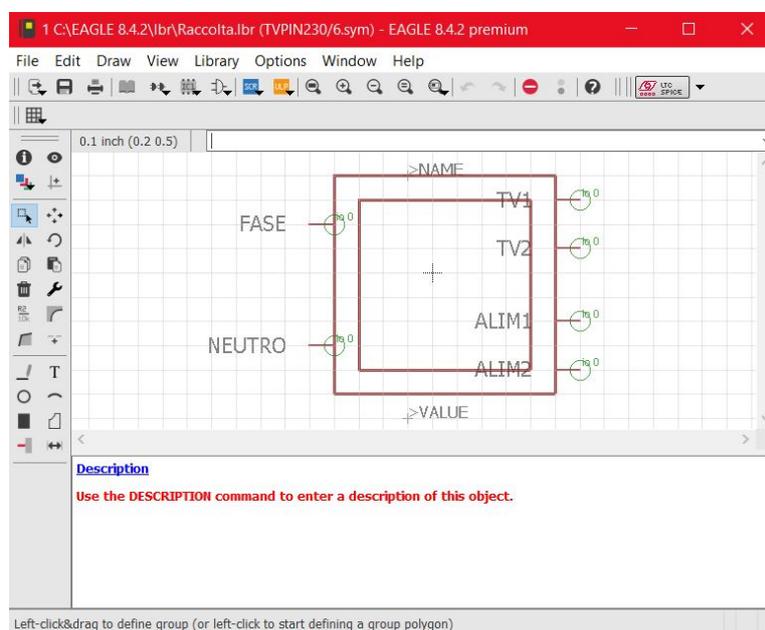


Figura 4.13: Creazione del simbolo del TV

Creato il corpo si prosegue inserendo i pin di collegamento. Fatto ciò si utilizza lo strumento "Pin" (dalla barra degli strumenti) e poi si impostano

i pin in base a quello che ci serve dalla toolbar. Per un utilizzo intuitivo si cerca di nominare i pin in maniera simile a quella fatta precedentemente per i pin del package. Questo permetterà un riconoscimento rapido quando si andrà ad accoppiare il package con il symbol per ottenere il componente completo.

In seguito si clicca sul pulsante Device per concludere e realizzare il componente. Si aggiungono nella schermata sia il package che il symbol per realizzare le connessioni tra questi (Figura 4.14).

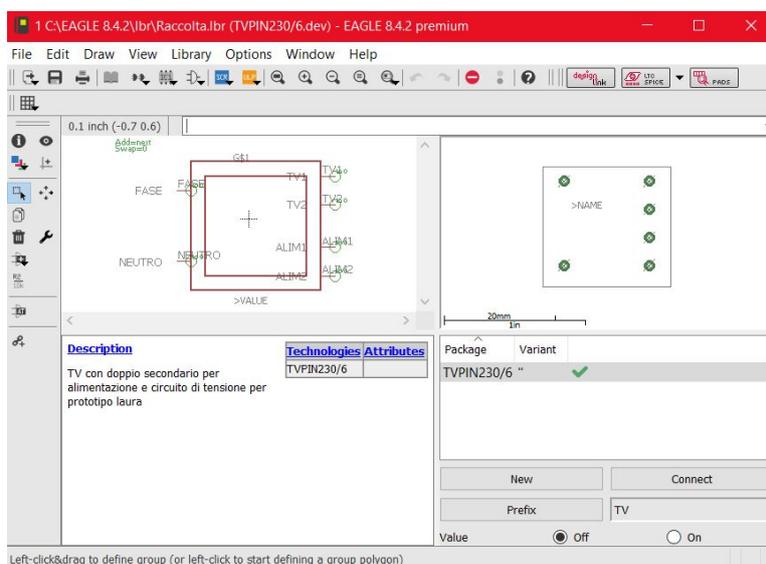


Figura 4.14: Creazione del componente TV

Cliccando sul tasto "Connect" a destra di "New" si apre una finestra divisa in tre parti: la prima parte contiene i nomi dei pin del simbolo; la seconda contiene i nomi dei pad del footprint; la terza contiene le connessioni effettuate. L'operazione di collegamento è molto delicata in quanto un errore in questa fase non permetterebbe un corretto funzionamento del dispositivo (pin collegati in modo errato). Per terminare la creazione del componente si inseriscono un prefisso ed una descrizione utili per la ricerca del dispositivo nell'elenco del menù "Add".

Ricercati tutti i componenti del prototipo BLE nelle opportune librerie si è ultimato lo schematico del prototipo (Figura 4.8). Le resistenze, le capacità e i led sono stati cambiati con i corrispettivi componenti SMD. Sono stati aggiunti due interruttori a monte e a valle del condensatore da $10000\mu\text{F}$.

Un'analisi più dettagliata del cambio dei componenti da through-hole ad SMD verrà effettuata nei paragrafi successivi.

Prima di convertire il progetto nella sua versione board, si devono prendere delle precauzioni: è bene controllare l'eventuale presenza di errori. Per far

ciò si utilizza la comoda la funzione ERC (Electrical Rule Check, Controllo Regole Elettriche) resa disponibile da Eagle. Dopo aver corretto gli errori segnalati da Eagle si prosegue alla creazione del board layout. In Figura 4.15 è riportato lo schematico definitivo del prototipo BLE PCB.

Board Layout del prototipo BLE PCB

Il comando "Board" consente di esportare lo schema costruito nell'ambiente Schematic nell'ambiente di lavoro Board. L'interfaccia di Board (Figura 4.16) non differisce molto da quella di Schematic e le funzioni sono pressochè uguali fatta eccezione per alcune che funzionano solo per la PCB.

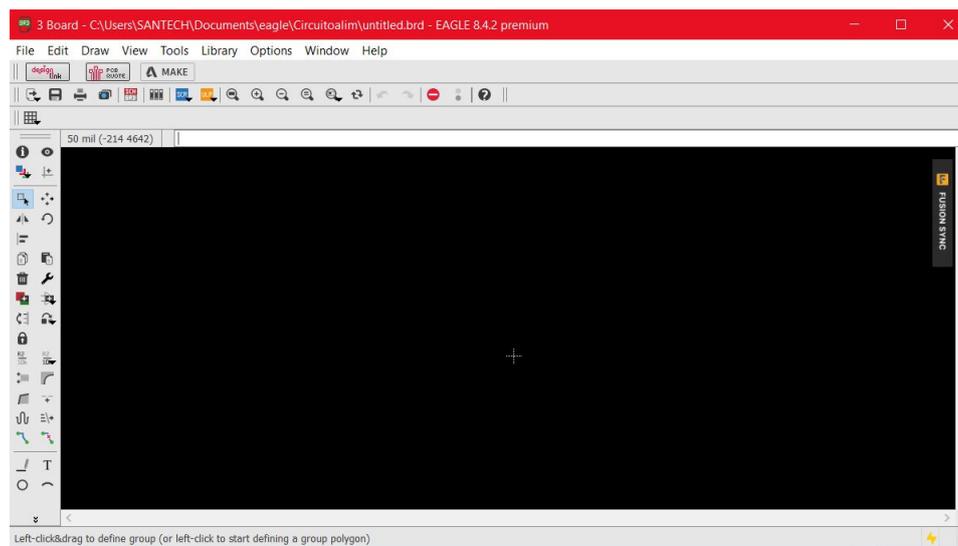


Figura 4.16: Schermata Eagle relativa l'ambiente Board

I componenti utilizzati nello schema elettrico compaiono di default sul lato sinistro di una cornice che definisce e limita l'area di lavoro. Le dimensioni dell'area di lavoro sono quelle che saranno le definitive del PCB. In questa fase è molto importante lavorare con la griglia ben visibile per posizionare i componenti nel modo più preciso possibile. Date le misure reali dei componenti sbagliare anche solo di qualche millimetro può essere estremamente dannoso per il corretto funzionamento del prototipo.

Successivamente si procede con lo spostamento di tutti i componenti nell'area di lavoro utilizzando il pulsante "Move".

Il prototipo BLE 2.0 fornisce delle linee guida per la disposizione dei componenti per il PCB ma bisogna ricordare che le vie che possono occupare le piste sono solamente due: il top layer ed il bottom layer. Bisogna inoltre considerare che c'è una disposizione precisa della componentistica in base alle tensioni in gioco ed agli isolamenti voluti in fase di progetto. Si può osservare come la morsettiera scelta abbia un passo di 5,08 mm tra ogni ingresso, utile a garantire l'isolamento delle fasi a 230V. Risulta evidente come il circuito a valle dell'optoisolatore è separato dal resto del circuito per garantire l'isolamento dato dal dispositivo 4n35.

Per garantire queste specifiche si è effettuato manualmente lo sbroglio del

circuito.

Date le grandezze elettriche in gioco si è impostata di default nel comando "Net Classes" la dimensione dello spessore delle piste, dei fori e delle clearance (distanza minima tra vari componenti) a 20mil corrispondenti a 0,508mm. Le uniche piste che fanno eccezione sono quelle corrispondenti alla fase e neutro delle lampade semaforiche a 230V dove è stato impostato uno spessore di 50mil ovvero 1,27mm.

Si sono poi realizzati quattro fori da 150mil (3,81mm) di diametro posti vicino ogni angolo del prototipo, utili per potervi avvitare dei supporti al PCB.

Il risultato finale è mostrato nella Figura 4.17. Le misure del PCB sono di 120,63x77,78mm e risultano inferiori rispetto alla scheda millefori saldata per il prototipo BLE 2.0 (Figura 4.18): l'obiettivo iniziale risulta dunque raggiunto.

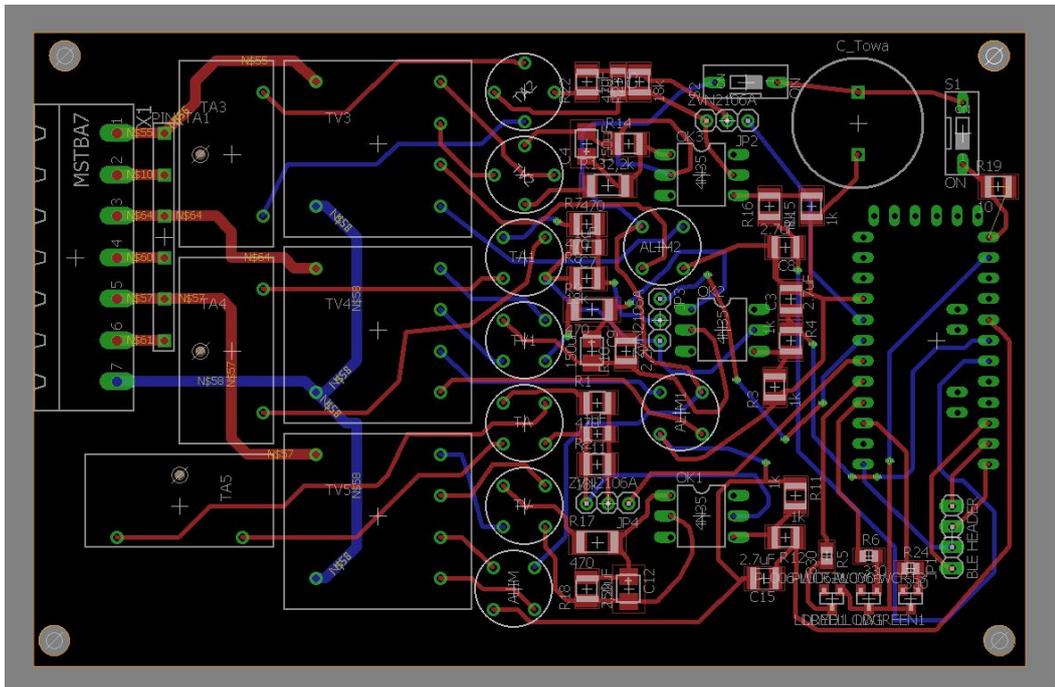


Figura 4.17: Board Layout definitivo del prototipo BLE PCB

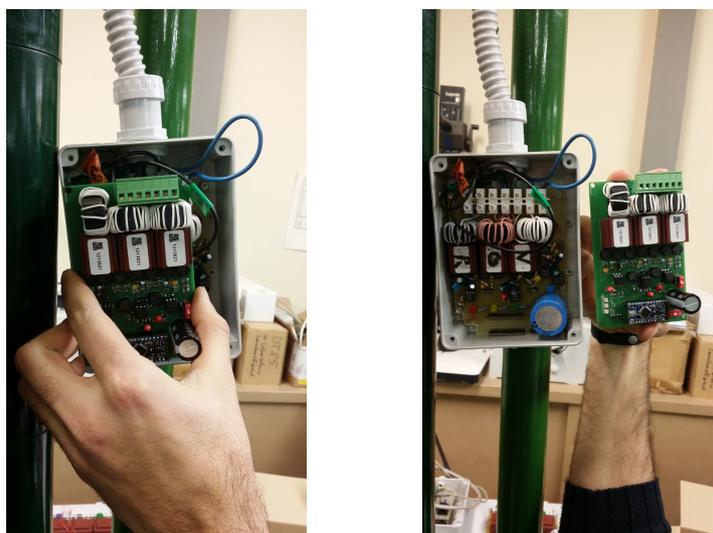


Figura 4.18: Confronto dimensioni tra i prototipi BLE 2.0 e PCB

Produzione del PCB

Nei paragrafi precedenti si è descritto l'iter di concepimento e progettazione della scheda PCB. Nel seguente paragrafo si affronta invece la fase successiva, ovvero quella relativa alla sua realizzazione.

Per la produzione della scheda PCB ci si è rivolti alla Eurocircuits, una società belga specializzata nella produzione di PCB. Non è stato necessario produrre autonomamente i file Gerber da inviare all'azienda poichè è stato possibile caricare i file .brd direttamente su un tool presente sul sito della Eurocircuits.

Dopo aver analizzato il file caricato sul sito, la società si è presa carico dell'ordine inviato. Come richiesto dal committente sono state ordinate cinque board identiche. Nell'arco di una settimana la società ha prodotto e spedito le schede.

Il prodotto finito (Figura 4.19) è risultato di ottima fattura ed ha rispettato tutte le specifiche presenti nel file .brd.

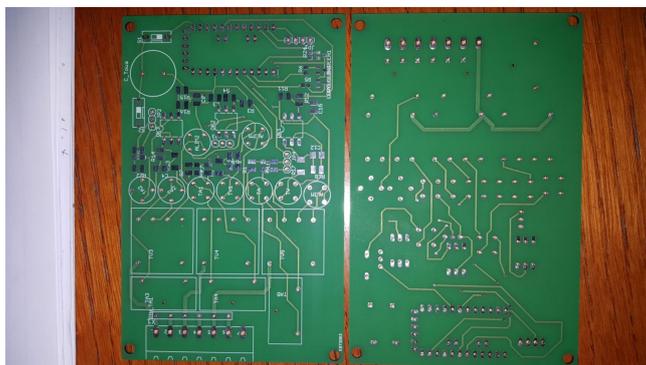


Figura 4.19: Top layer e bottom layer del PCB

Scelta componenti SMD e through-hole per il PCB

Il passo successivo ha visto la scelta e l'installazione dei componenti accessori alle schede precedentemente descritte.

La nuova soluzione tecnologica ha portato alla sostituzione di tutte le resistenze e le capacità, fatta eccezione per il condensatore da $10000\mu\text{F}$, e i led di segnalazione dello stato semaforico. Essi sono stati rimpiazzati dagli SMD corrispondenti.

E' possibile riconoscere le resistenze e le capacità SMD grazie al loro package che è identificabile con un codice a quattro cifre. Negli USA questo codice identifica la misura del package ed è espresso in pollici mentre negli altri stati il codice può essere misurato sia in millimetri che pollici. Per questo motivo e dunque per evitare errori è fondamentale prestare sempre attenzione all'unità di misura con la quale sono riportate le cifre sopra descritte. Le prime due indicano la misura della lunghezza da un terminale all'altro del componente, mentre le ultime due si riferiscono alla larghezza delle terminazioni. Lo spessore, invece, non è riportato nel codice.

Le dimensioni del package permettono una diversa dissipazione della potenza da parte dei componenti. Per questo motivo le resistenze utilizzate nel prototipo sono dimensionate in base a tre diversi livelli di dissipazione: le meno sollecitate sono le resistenze in serie ai led di segnalazione e sono state dimensionate con il package 0805; tutte le altre sono state dimensionate con il package 1210 ad eccezione di quelle a valle del TV, le quali essendo state scelte per dissipare $0,5\text{W}$ nei precedenti prototipi, prevedono un package da 2010.

Le capacità del circuito di misura lato TA e quelle ai capi del comparatore prevedono un package 1206. Un discorso diverso deve essere fatto per quanto riguarda il condensatore in parallelo all'optoisolatore. Essendo un condensatore al tantalio, esso ha una codifica diversa da quelli utilizzati precedentemente: il codice a quattro cifre che identifica il package è in millimetri e non in pollici. Per questo elemento è stato scelto il package 3528.

Il package dei led SMD fanno parte della categoria SOT (Small Outline Transistor) ed in particolare si parla del SOT23 che individua la dimensione più diffusa per diodi e transistor.

La progettazione del circuito stampato ha portato a dei cambiamenti anche tra i componenti through-hole. La sostituzione più rilevante riguarda la capacità da $10000\mu\text{F}$: essa viene sostituita con una analoga che presenta un diametro ridotto di soli 16mm. A monte e a valle di questa capacità sono stati aggiunti degli interruttori DIP (Dual Inline Package) ON/OFF, anch'essi through-hole, che permettono di staccare elettricamente il circuito di misura da quello dell'elaborazione dei dati.

La morsettiera per circuito stampato a 7 vie avente passo 5.08mm è dimensionata per mantenere l'isolamento tra le fasi a 230V. I TA e i TV risultano invariati dal prototipo precedente. I MOSFET ZVN2106A, gli optoisolatori 4n35 e la scheda Arduino Pro Mini sono montati su dei pin header femmina per permettere l'eventuale sostituzione dei componenti in caso di rottura o guasti.

Il collegamento tra l'HM-10 e l'Arduino invece avviene tramite pin maschi saldati opportunamente sul PCB.

La tabella 4.1 riporta dettagliatamente tutti i componenti del prototipo BLE PCB con la suddivisione dei componenti in due categorie: SMD e through-hole.

Tabella 4.1: Lista componenti prototipo BLE PCB

Componenti SMD				
<u>Tipo</u>	<u>n°</u>	<u>Valore</u>	<u>Package</u>	<u>[Um]</u>
<u>Resistenza</u>	3	470	R1210	Ω
	3	2,2k	R1210	Ω
	3	18k	R1210	Ω
	6	1k	R1210	Ω
	3	470	R2010	Ω
	3	330	R0805	Ω
<u>Condensatori</u>	3	1 μ	C1206	F
	3	2,7u	C1210	F
	3	150 μ^*	CT3528	F
<u>Led</u>	1	Red	SOT23	
	1	Yellow	SOT23	
	1	Green	SOT23	
Componenti through-hole				
<u>Interruttore</u>	2		DIP	
<u>Optoisolatori</u>	3	4N35		
<u>Pin Header</u>		Female header		
		Male header		
<u>Mosfet</u>	3	ZVN2106A		
<u>Raddrizzatori</u>	9	2W08G		
<u>Condensatori</u>	1	10000/16V		
<u>TA</u>	3	AC 1005 5A		
<u>TV</u>	3	230V/6V doppio sec 0,5VA		
<u>Morsetti</u>	1	7 vie passo 5.08mm		
<u>Microprocessore</u>	1	Arduino Pro Mini		

4.2.2 Costi schede PCB

Il seguente paragrafo tratta i costi relativi alla realizzazione dei prototipi sopra descritti.

L'analisi dei costi riportata di seguito riguarda la produzione dei cinque circuiti stampati, l'acquisto di tutti i componenti e l'inscatolamento. La realizzazione delle schede PCB è stata affidata ad Eurocircuits ed una volta inseriti i dati della scheda ed i file .brd, un tool presente sul sito (Figura 4.20) ha prodotto una stima dei costi che per cinque schede richieste in cinque giorni lavorativi ammonta a 160,423€ comprese I.V.A. e spedizione.

The screenshot shows the PCB Visualizer v1.5-58-180130 interface. The left sidebar contains configuration options for 'PCB proto', 'Material', 'Technology', and 'PCB definition'. The main area displays a 'Stackup' view with a 3D bar chart and a 'Vista d'insieme' (top view) of the PCB. On the right, a 'Sommarrio' (summary) table provides cost details, and an 'Alternative' table shows price matrices for different quantities and lead times.

Descrizione	Valore
Servizio	PCB proto
Data di spedizione stimata	07-02-2018
Quantità	5 PCBs
Superficie scheda/superficie ordine	0,94 dm ² / 4,69 dm ²
Costo Lordo*	€ 31,19
Costo unitario	€ 155,97
Prezzo PCB	€ 4,45
Trasporto espresso	€ 160,42
Prezzo totale	€ 160,42

Quantità	Lead Time	Prezzo Lordo*	Prezzo Unitario
5 PCBs	7 Giorni lavorativi	€ 23,26	€ 116,28
10 PCBs	7 Giorni lavorativi	€ 16,67	€ 166,74
20 PCBs	7 Giorni lavorativi	€ 11,14	€ 222,88
5 PCBs	6 Giorni lavorativi	€ 16,67	€ 166,74
10 PCBs	6 Giorni lavorativi	€ 11,14	€ 222,88
20 PCBs	6 Giorni lavorativi	€ 7,72	€ 334,40

Figura 4.20: Tool Eurocircuit relativo all'ordine dei PCB

I diversi componenti sono stati ricercati tra vari rivenditori online e fisici:

- i TA sono stati ordinati per i prototipi precedenti dalla Talema India al costo di 2,25€ al pezzo senza I.V.A. per un ordine di 20pezzi, ma al momento dell'acquisto in caso di fornitura superiore ai 100pz si era raggiunto un accordo col produttore: il prezzo unitario sarebbe sceso ad 1,63€ senza IVA;
- i TV sono stati acquistati online da RS Components al prezzo di 3,69€ senza iva al pezzo;
- i ponti raddrizzatori sono stati comprati da Siro Elettronica, negozio di elettronica situato a Torino in Via Renier 141, al prezzo unitario di 0,40€ iva inclusa;
- le resistenze, le capacità e i led SMD sono state comprate online sia da RS Components che da Mouser Electronics e il dettaglio dei prezzi è mostrato nella tabella di riepilogo costi; bisogna sottolineare che

l'acquisto dei componenti SMD dipende dal packaging con il quale vengono realizzati. Il tipo di packaging più diffuso per i piccoli componenti SMD è costituito da una bobina (Figura 4.21) dove vengono avvolti i componenti stessi.



Figura 4.21: Packaging a bobina di componenti SMD

- i MOSFET e gli optoisolatori sono stati acquistati da RS rispettivamente al prezzo di 0,582€ e 0,51€ per unità iva esclusa;
- la capacità che garantisce la continuità di alimentazione alla scheda Arduino durante le transizioni di fase tra una lampada e l'altra è stata acquistata da RS Components al prezzo di 1,458€ iva esclusa;
- sia gli interruttori DIP che la morsettiera sono state ordinate da RS al costo di 0,988€ senza iva per gli interruttori e di 1,436€ per i morsetti;
- le schede Arduino Pro Mini e le HM-10 sono state acquistate su Amazon al costo di 3,164€ iva inclusa per gli Arduino e 8,99€ per il modulo BLE;
- le scatole di derivazione (3€ iva inclusa) sono state acquistate al Bricoman sito in Str. Torino, 25/1, 10043 Orbassano TO;
- Pin header, cavi e passacavi sono stati recuperati dalle giacenze presenti nel Laboratorio del Dipartimento di Energia del Politecnico di Torino.

Ricevuto il materiale vi sono stati alcuni imprevisti: vi è stata la ricezione di merce difettosa per quanto riguarda i led SMD poichè sia i led rossi che gialli non erano funzionanti. La soluzione si è trovata acquistando dei classici led through-hole da Siro Elettronica al costo unitario di 0,10€ iva inclusa; analogo discorso per quanto concerne le capacità SMD da $2,7\mu\text{F}$. Queste ultime sono state sostituite da capacità polarizzate al tantalio presenti nelle scorte del laboratorio; infine le morsettiere per PCB ordinate su RS sono state sostituite da altre recuperate nel laboratorio poichè sono arrivate sprovviste dell'attacco maschio-femmina che permetteva il corretto aggancio tra i cavi e il PCB.

Oltre alle spese di spedizione standard per gli acquisti da Mouser Electronics sono state affrontate circa 20€ di spese per dazi doganali.

Tabella costi prototipo BLE PCB

Componenti SMD							
Tipo	n°	Valore	Package	[Um]	Costo unitario [€]	Quantità minima acquistata	Costo totale + I.V.A. [€]
Resistenza	15	470	R1210	Ω	0,05	250	15,25
	15	2,2k	R1210	Ω	0,024	100	2,928
	15	18k	R1210	Ω	0,081	20	1,9764
	30	1k	R1210	Ω	0,056	100	6,832
	15	470	R2010	Ω	0,221	20	5,3924
	15	330	R0805	Ω	0,038	50	2,318
Condensatori	15	1μ	C1206	F	0,034	50	2,074
	15	2,7μ	C1210	F	0,467	50	28,487
	5	150μ	CT3528	F	0,666	20	16,2504
Led	5	Red	SOT23		0,269	20	6,5636
	5	Yellow	SOT23		0,269	20	6,5636
	5	Green	SOT23		0,269	20	6,5636
Componenti through-hole							
Interruttore	10		DIP		0,998	5	6,0878
Optoisolatori	15	4N35			0,51	15	9,333
Pin Header*		Female header					
		Male header					
Mosfet	15	ZVN2106A			0,582	15	10,6506
Raddrizzatori	45	2W08G			0,4	45	18
Condensatori	5	10000/16V			1,458	5	8,8938
TA	15	AC 1005 5A			2,25	15	41,175
TV	15	230V/6V			3,69	15	67,527
Morsetti	5	doppio sec 0,5VA 7 vie passo 5.08mm			1,436	5	8,7596
Componenti elaborazione invio dati							
Modulo BLE	5	HM-10			8,99	5	44,95
Micro-processore	5	Arduino Pro Mini			3,164	5	15,82
Scatole, cavi							
Scatole di derivazione	5	150x110x70			3	5	15
Cavi*							
Passacavi*							
PCB Eurocircuit					31,19	5	155,95
Altre spese stimate (spedizioni, dazi, ecc.)							50
TOTALE SPESE PROTOTIPI PCB							553,3458

*Componenti presenti nelle scorte del laboratorio

4.2.3 Software definitivo per il Prototipo BLE PCB

Il codice implementato per il prototipo BLE PCB (figura 4.22) presenta due novità rilevanti: l'assenza nel void loop() dello stato "lampeggiante" e la differenza nella logica che gestisce il reset del dispositivo. Il codice inizia con la dichiarazione delle variabili dello stato delle lampade, dell'alimentazione dei circuiti di misura, dell'alimentazione del modulo HM-10 e delle variabili utili alla funzione di riavvio del dispositivo.

Nella funzione void setup() sono definiti gli INPUT e gli OUTPUT relativi ai pin dei led di visualizzazione, del circuito di alimentazione della scheda HM-10 e dell'alimentazione dei circuiti di misura.

Entrati nella funzione void loop() la lettura del segnale del comparatore avviene tramite la funzione analogRead(). Dalle prove di laboratorio è risultato un livello di tensione più elevato ed il limite della lettura per stabilire se una lampada semaforica sia accesa o meno è salito a 400 rispetto il valore di 300 definito nel codice del prototipo BLE 2.0. Grazie all'assenza di saldature, il PCB ha migliorato la qualità del segnale letto dall'arduino.

Ricevuta la lettura della tensione, l'elaboratore confronta i valori di tensione e stabilisce quale delle tre lampade è accesa. Trascorso un tempo di circa un'ora il funzionamento del dispositivo si blocca come nel caso del prototipo BLE 2.0, ma, rispetto al linguaggio del prototipo precedente, è stata modificata la logica con la quale il dispositivo si riavvia per poter funzionare correttamente. Dopo un determinato numero di cicli semaforici e solo quando è attiva la lampada semaforica rossa, il dispositivo si spegne e dopo 1 secondo si riaccende.

Dopo varie prove empiriche si è stabilito che il metodo più efficace che permette un riavvio ottimale del modulo HM-10 è quello di impostare il PIN_ALIMENTAZIONE (il pin 12) ed il PIN_GND (ovvero il pin 9) alla stessa tensione. Infatti rispetto ai precedenti prototipi sono stati cambiati i collegamenti dell'alimentazione del modulo HM-10 da parte di arduino (tabella 4.2).

Tabella 4.2: Collegamenti HM-10/Pro Mini prototipo PCB

HM-10	Arduino Pro Mini
TXD	Pin 10
RXD	Pin 11
VCC	Pin 12
GND	Pin 9

La logica del riavvio del dispositivo prevede l'utilizzo di tre contatori: *cont_rosso*, *cont_ciclo*, *cont_ciclo_supporto*. *Cont_rosso* viene incrementato solo dopo che viene attivata la lampada semaforica rossa. *Cont_ciclo_supporto* è un contatore che serve a capire a che punto del ciclo semaforico rosso-giallo-

verde ci si trova. *Cont_ciclo*, invece, viene incrementata solamente quando il ciclo semaforico si completa. Le condizioni imposte affinché il dispositivo HM-10 si riavvii sono che siano passati almeno 10 cicli di misura ed almeno 5 cicli semaforici.

Lo stato "guasto" si registra quando vi è un segnale in tensione letto da arduino inferiore al limite imposto di 400. Lo stato "lampeggiante" è stato cancellato poichè la sua elaborazione è stata demandata al dispositivo che legge il segnale inviato in broadcast dalla board BLE. Infatti la sequenza di stati "giallo"/"guasto" permette al dispositivo ricevente di elaborare questi dati come stato "lampeggiante".

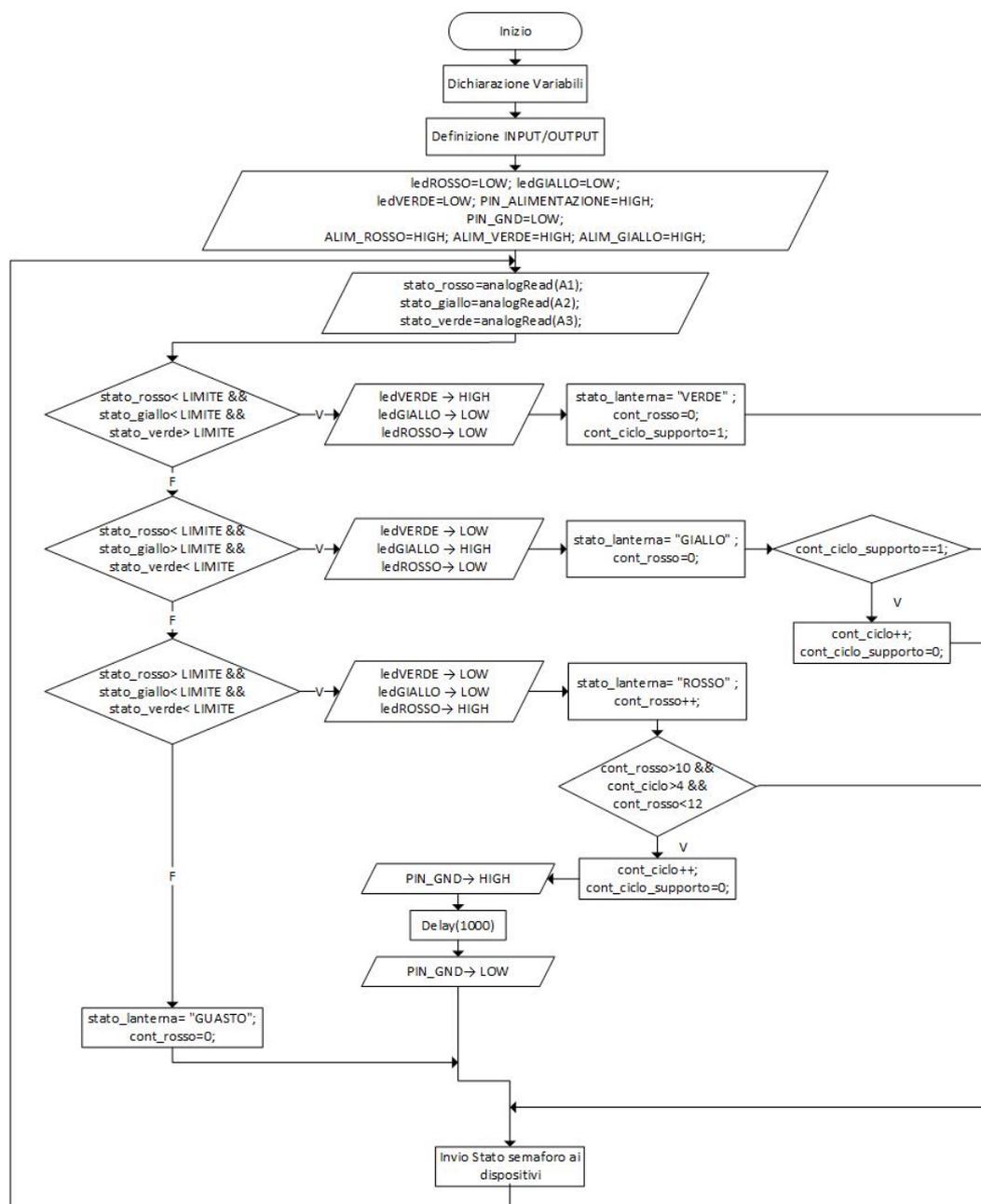


Figura 4.22: Diagramma di flusso del codice del prototipo PCB

4.2.4 Realizzazione Prototipo BLE PCB

Terminata la fase di progettazione del PCB, ricevuti tutti i componenti del prototipo si è passati alla saldatura e cablaggio del dispositivo. La figura 4.23 mostra i componenti ordinati per la realizzazione del prototipo.



Figura 4.23: Materiale prototipo BLE PCB

La tecnica di saldatura relativa ai componenti SMD non è molto diversa da quella tradizionale. Le dimensioni del punto di saldatura, essendo inferiori rispetto a quelle dei through-hole, devono ricevere le dovute attenzioni: in particolare occorre utilizzare dello stagno di piccolo diametro e buona qualità, un saldatore con una punta molto sottile e soprattutto occorre garantire la massima pulizia del rame al fine di garantire lo scivolamento della lega fusa sotto il componente. Per facilitare il compito di saldatura è stata richiesta in fase di produzione delle PCB l'applicazione della stagnatura chimica superficiale della basetta in corrispondenza delle piazzole dei componenti SMD.

Le immagini nella figura 4.24 mostrano le varie fasi di saldatura dei componenti sulla scheda PCB.

Completato il circuito di misura vengono saldati gli elementi through hole più ingombranti come i TA, i TV e i pin header utili all'inserimento sul PCB della scheda Arduino Pro Mini. Ultimata la saldatura di tutti i componenti, il prototipo BLE PCB si presenta come in figura 4.25.

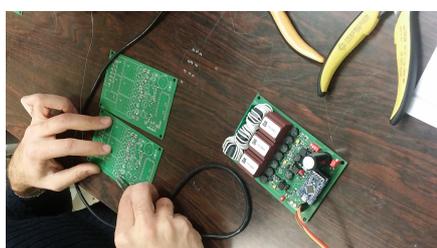
Prima di essere incasellati e cablati ogni prototipo è stato testato per diverse ore. Le schede arduino erano caricate col programma definitivo e i moduli BLE inviavano i dati in modalità broadcast. Per valutare se i dati inviati fossero corretti si è utilizzata una app che legge le informazioni inviate dai Beacon. Superati i test le schede sono state montate dentro delle scatole di derivazione da 150x110x70, ovvero le stesse dimensioni di quelle utilizzate per il prototipo BLE 2.0 (Figura 4.26). Si è inoltre potenziata l'antenna del modulo BLE HM-10 attraverso un filo che esce dalla scatola di derivazione.



(a) Componenti SMD saldati



(b) Inizio saldatura componenti through-hole



(c) Processo di saldatura su PCB



(d) Processo di saldatura su PCB

Figura 4.24: Fasi del lavoro di saldatura del prototipo

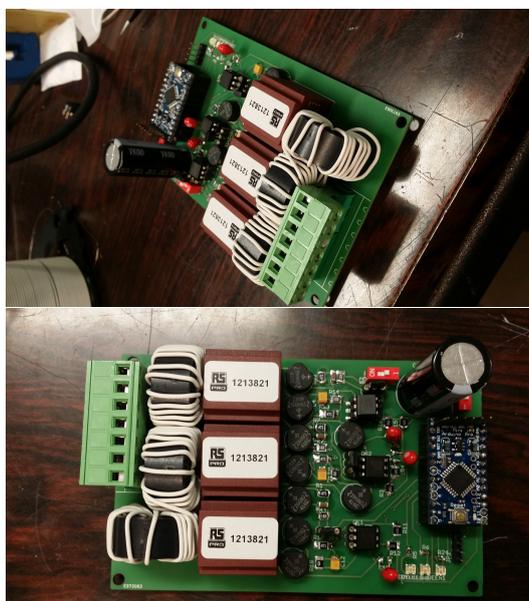


Figura 4.25: Prototipo BLE PCB a fine saldatura



(a) Prototipi Laura



(b) Dettaglio cablaggio



(c) Dettaglio singolo prototipo

Figura 4.26: Produzione prototipi ultimata

4.2.5 Considerazioni finali sull'ultima versione del dispositivo BLE

La scelta di adoperare la tecnologia PCB per sviluppare gli ultimi prototipi si è rivelata vincente. La progettazione e realizzazione dei cinque prototipi è stata completata in cinquanta giorni. Migliorando la qualità di manifattura del prototipo si è riuscito a rispondere con tempistiche brevi alla richiesta da parte del committente di cinque prototipi funzionanti.

I costi della prototipazione sono stati contenuti senza rinunciare alla qualità dei componenti. Con il prototipo BLE PCB si è posta la base per uno sviluppo concreto di dispositivi di lettura dello stato semaforico e grazie alla tecnologia PCB, ai circuiti integrati ed alla componentistica SMD si può continuare a lavorare per miniaturizzare il tutto ed inglobarlo all'interno della lanterna semaforica.

4.2.6 Applicazione pratica: simulazione di un incrocio semaforico

I dispositivi realizzati sono serviti al committente per realizzare vari test. I segnali elaborati ed inviati dai dispositivi hanno permesso lo sviluppo e il perfezionamento di app dedicate per smartphone.

La disponibilità di più dispositivi ha consentito la simulazione di un incrocio semaforico. Questa tipologia di test ha richiesto la realizzazione di una centralina di comando per due lampade semaforiche sincronizzate.

I principi di funzionamento dei prototipi rimane invariato. Il regolatore del segnale semaforico è stato realizzato attraverso dei relè comandati da una scheda Arduino (Figura).

La scheda presenta otto relè comandabili in modo indipendente. Ogni relè può essere collegato attraverso tre morsetti: il comune (COM), il normalmente aperto (NO) e il normalmente chiuso (NC).

La logica con cui si collegano le lampade semaforiche ai relè è la seguente: si collegano i morsetti comune e normalmente aperto in modo che nel caso vi fosse una mancanza di alimentazione le lanterne vengono disalimentate evitando errori di segnale durante le simulazioni.

Vi è la presenza di un pulsante che attiva la modalità lampeggiante del semaforo.

Nella giornata di sabato 10 Marzo 2018 sono stati effettuati test assieme all'Unione Italiana Ciechi e Ipovedenti - UICI Torino. I risultati sono stati molto soddisfacenti e sono state raccolte informazioni utili al fine di migliorare sia il dispositivo che l'app che riceve i dati inviati. In futuro saranno previste le prove su strada col fine di rendere smart le infrastrutture stradali di Torino.

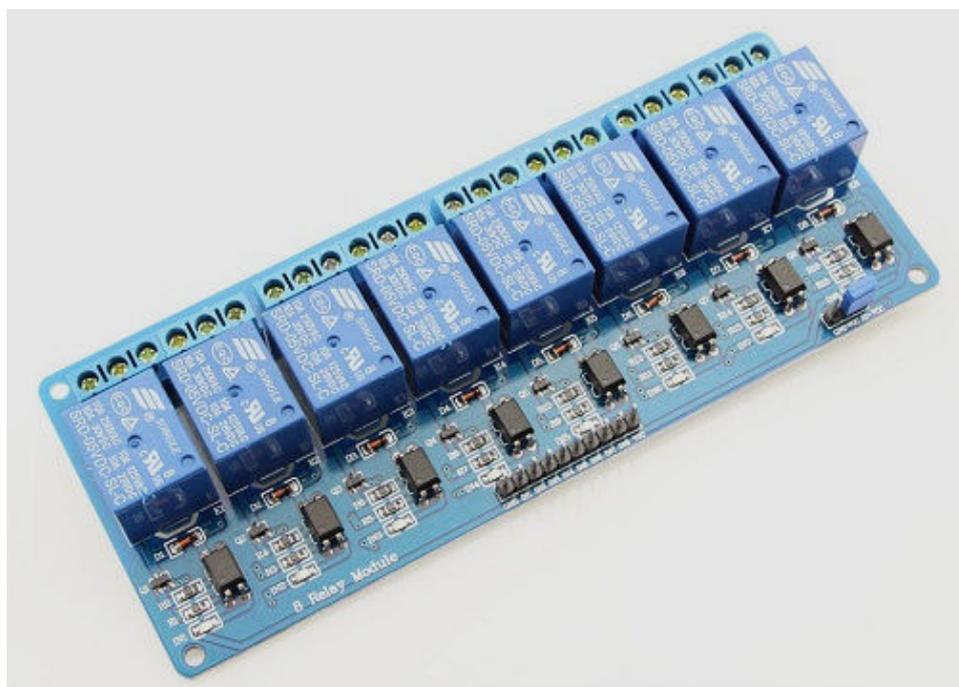


Figura 4.27: Board relè per schede Arduino

Software della centralina di comando per la simulazione dell'incrocio semaforico

Il codice sviluppato per la realizzazione del comando della centralina semaforica è snello ed intuitivo. Sono dichiarate le variabili, ovvero le posizioni dei relè collegati con la scheda Arduino, per entrambi i semafori.

In seguito sono dichiarate le tempistiche e la posizione del bottone del pulsante lampeggiante.

Per semplicità di gestione dei dati degli stati semaforici, questi sono stati raccolti tutti all'interno della variabile *intluci*[], un vettore con sei componenti. Ogni componente rappresenta lo stato di una delle sei luci dei due semafori.

Il void *setup*() definisce come OUTPUT tutti i pin collegati alle lampade semaforiche. In seguito attraverso il comando *digitalWrite*() sono impostate sullo stato LOW. Infine si imposta con INPUT il pin legato al bottone che impone lo stato di semaforo lampeggiante, mentre si dichiara come OUTPUT impostato su HIGH il pin dell'alimentazione del bottone.

La funzione void *loop*() è impostata su un ciclo *if - else* definito dallo stato del pin relativo al bottone del pulsante dello stato lampeggiante. Se è impostato su HIGH si entra nel ciclo *if* trasmette al vettore *intluci*[] due gruppi di valori:

- per lo stato di ON della lampada gialla, la funzione impone i valori 0 per le luci tranne il giallo che viene impostato su 1 per il tempo lampeggiante definito di un secondo;
- il secondo gruppo di valori impone tutti i valori 0 alle luci per il tempo lampeggiante definito definendo lo stato di OFF della lampada gialla.

La funzione che impone tempistiche e valori al vettore *intluci*[] è definita fuori dalla funzione `void loop()` ed è chiamata `comando_luci()`; definire le funzioni all'esterno del `void loop()` aiuta a snellire il corpo del programma. Se invece il pin relativo al bottone del pulsante dello stato lampeggiante è impostato su LOW si entra nel ciclo *else*. Le istruzioni relative al ciclo *else* riguardano il normale funzionamento dell'incrocio semaforico.

Seguendo le tempistiche definite all'inizio del programma si alternano tutte le possibili combinazioni delle segnaletiche semaforiche rispettando la logica combinatoria reale (non è possibile l'attivazione contemporanea di due segnali di verde ad esempio). L'aggiornamento del vettore *intluci*[] è effettuato sempre attraverso la funzione `comando_luci()`.

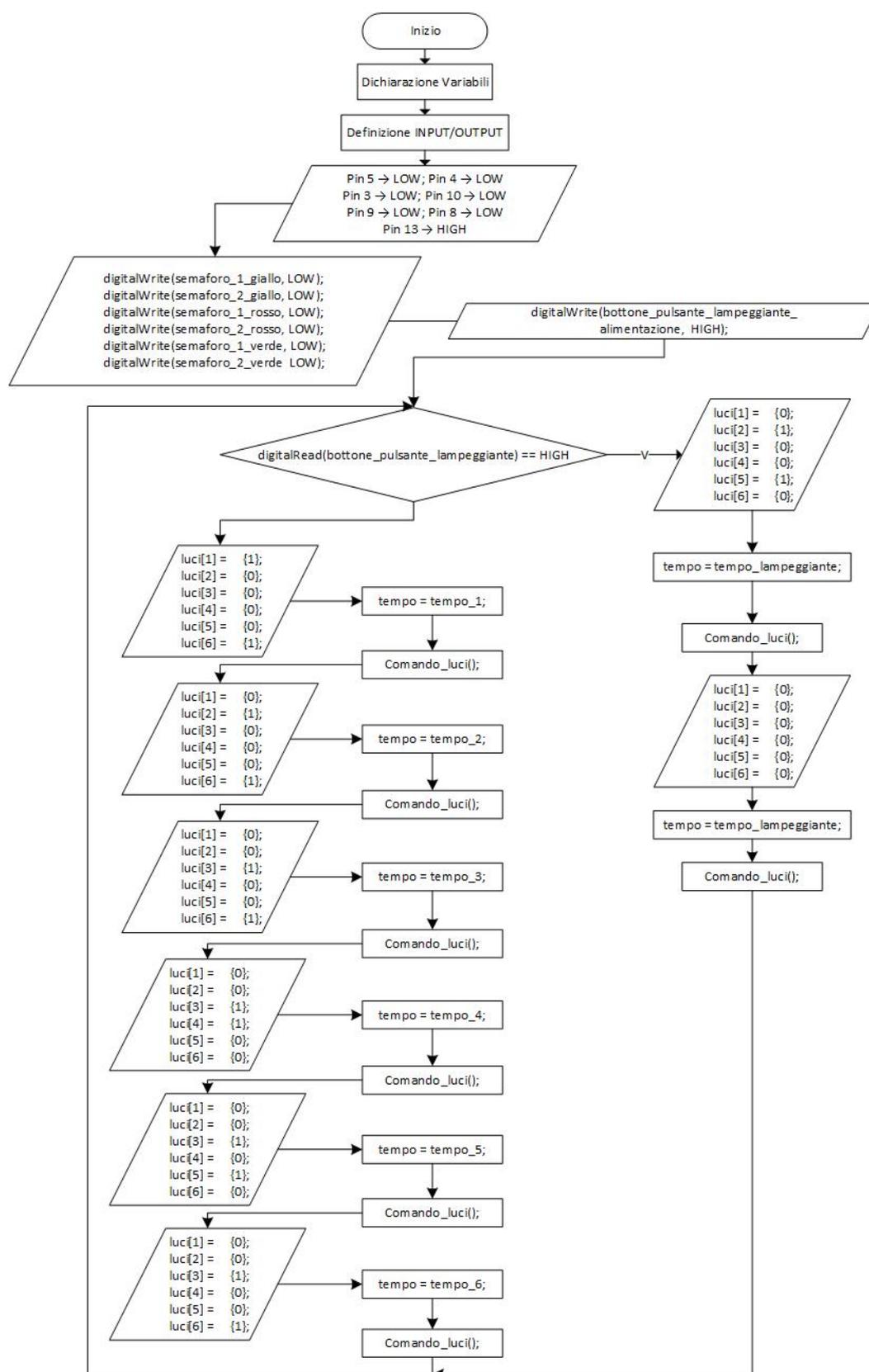


Figura 4.28: Diagramma di flusso del codice del regolatore del simulatore di un incrocio

Capitolo 5

Conclusioni

Il lavoro condotto in questa tesi ha consentito lo sviluppo di dispositivi atti alla comunicazione infrastruttura/utente negli impianti semaforici, migliorandone le specifiche hardware e software e risolvendone le problematiche verificatesi nelle versioni dei dispositivi precedentemente sviluppati.

I risultati raggiunti sono stati frutto di un'evoluzione graduale delle specifiche hardware e di quelle software. La prima versione del dispositivo ha introdotto un nuovo protocollo di comunicazione fra l'infrastruttura semaforica e l'utente: il Bluetooth Low Energy.

L'adozione di questa tecnologia ha risolto il problema della disconnessione dalla rete dati dell'utente poiché in precedenza la connessione tra dispositivo ed utente avveniva tramite Wifi. Un altro obiettivo raggiunto dal punto di vista hardware è stata la capacità di ridurre le dimensioni del dispositivo permettendone l'installazione sul palo semaforico.

Questo ha portato ulteriori vantaggi a livello di diffusione del segnale poiché in il prototipo non si collocava più all'interno della centralina semaforica, come invece avveniva nelle versioni precedenti. L'installazione sul palo è stata ottenuta grazie ad una importante modifica: l'alimentazione del dispositivo attraverso le lampade semaforiche.

Durante i test effettuati su strada grazie alla collaborazione di IREN s.p.a, sono stati riportati risultati ottimi dal punto di vista della copertura del segnale che riusciva a servire l'intero attraversamento pedonale.

Il lavoro di sviluppo dei dispositivi è proseguito con lo scopo di migliorare la comunicazione tra l'infrastruttura e l'utente. Si è passati dall'emissione dei dati dall'antenna BLE in modalità advertising alla trasmissione dei dati in modalità broadcast. Questo perché il livello di sicurezza che garantiva la diffusione dei dati in advertising risultava più debole e di facile penetrazione da parte di utenti esterni nella logica interna del dispositivo.

Il secondo prototipo sviluppato in laboratorio ha riportato queste modifiche hardware ed intrapreso una sfida stimolante: ridurre ancor di più gli ingombri dei dispositivi prodotti.

Attraverso la sostituzione di componenti ingombranti, ad esempio i trasformatori voltmetrici, ed uno studio più approfondito del layout della scheda dove vengono saldati i componenti, si sono ridotti gli ingombri di quasi il 60% rispetto alla versione precedente del dispositivo.

Durante i test effettuati con la seconda versione del prototipo, il funzionamento continuativo in modalità broadcast si è rivelato in generale soddisfacente sebbene si sia presentato qualche problema: l'invio dei dati dopo qualche ora si interrompeva. Inoltre, le saldature ravvicinate hanno causato delle cadute di tensione che non rendevano possibile l'acquisizione dati da parte della scheda Arduino in formato digitale ma solo in analogico.

L'iter di analisi e risoluzione progressiva dei problemi ha portato alla progettazione del prototipo finale che riassume l'intero percorso di studio intrapreso per questa tesi. Tale dispositivo adempie in modo esaustivo a tutte le richieste ed esigenze manifestate e riscontrate.

Nel dettaglio l'ultima fase dello sviluppo del dispositivo ha perfezionato la miniaturizzazione del prototipo e risolto i problemi software riscontrati nell'invio dei dati in modalità broadcast.

I problemi dell'invio dei dati sono stati risolti attraverso una modifica nel programma che gestisce l'invio dei dati: attraverso un reset ciclico della memoria RAM della scheda HM-10 questo problema non si è più manifestato. Per migliorare la qualità della saldatura si è deciso di sfruttare la tecnologia dei circuiti stampati. Rispetto alla saldatura dei componenti su schede millefori ed ai collegamenti fra le componentistiche si guadagna in isolamento delle piste elettriche e una distribuzione delle saldature dei componenti più precisa e accurata. Il layout del dispositivo è migliorato grazie anche alla sostituzione dei componenti con i corrispettivi SMD che presentano un ingombro inferiore.

La scelta di realizzare la versione finale del prototipo sulla base dei circuiti stampati ha permesso la produzione simultanea di cinque dispositivi.

Ciò ha permesso di iniziare a testare più dispositivi contemporaneamente ed ha portato alla simulazione ed ai test di un attraversamento pedonale per persone ipovedenti.

L'ultima versione del prototipo potrebbe essere in futuro resa ancora meno ingombrante al punto di poterla inglobare all'interno della lanterna semaforica.

In termini di obiettivi raggiunti si possono fare le seguenti considerazioni:

- Il dispositivo adempie a tutte le richieste imposte inizialmente e risulta nettamente ottimizzato rispetto a quanto concepito in fase iniziale di studio e di ideazione;
- I costi necessari per la realizzazione dei prototipi finali risultano alquanto contenuti. Questo aspetto è da considerarsi ancor più positivo se si tiene conto che in un'eventuale produzione seriale questi verrebbero ancora più ridotti;

- L'intero studio potrebbe essere utile per lo sviluppo futuro di un database informatico utile a terzi per lo sviluppo di altri software e soluzioni per il miglioramento della gestione del traffico di mezzi e pedoni.

Lo studio dei prototipi svolto dal Politecnico di Torino è per ora terminato con la realizzazione di questo elaborato. Sarebbe però auspicabile in un futuro studiare eventuali migliorie per la riduzione dell'ingombro del dispositivo per l'inserimento dello stesso all'interno di lampade semaforiche preesistenti. In questo modo sarebbe possibile un'ulteriore miniaturizzazione dell'impianto complessivo.

Il lavoro di ricerca ha dunque messo in luce aspetti positivi e negativi dei prototipi progressivamente sviluppati. Ovviamente al fine di una futura commercializzazione alcuni di questi aspetti dovranno essere approfonditi al fine di migliorare le prestazioni complessive del prodotto finale.

Questo è un passo fondamentale nello sviluppo delle tecnologie di comunicazione tra infrastrutture preesistenti e l'utenza in modo "smart". Il lavoro svolto ha avuto sin dall'inizio come fattore motivazionale il miglioramento della vita dell'utente (in particolare dell'ipovedente ma non solo), riducendo il più possibile gli ostacoli e i limiti che giornalmente ci si trova ad affrontare.

Bibliografia

- [1] <http://rivista.ording.roma.it/wp-content/uploads/2014/04/IOroma.pdf>
- [2] <https://it.wikipedia.org/wiki/Semaforo>
- [3] Gilbert Held. *Introduction to Light Emitting Diodes Technology and Application*. CRC Press, Broken Sound Parkway (NY), 2009.
- [4] E.F. Shubert. *Light Emitting Diodes II Ed.* Cambridge University Press Cambridge UK, 2006.
- [5] B.J. Huang, P.C. Hsu, M.S. Wu, C.W. Tang. *Study of system dynamics model and control of high power LED light luminaires*. Energy 32, 2007.
- [6] B.J. Huang, C.W. Tang. *Thermal electrical luminaires model of multi-chip polychromatic LED luminaires*. Applied Thermal Engineering, 2009.
- [7] <http://www.lasemaforica.com/it/prodotti/lanterne-semaforiche/cve-led>
- [8] <https://www.ledvance.it/prodotti/conoscenze-sul-prodotto/informazioni-di-base-sui-led/ciclo-di-vita-dei-led/index.jsp>
- [9] <http://tesi.cab.unipd.it/25918/1/Sistemi di illuminazione LED.pdf>
- [10] <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/internet-of-things/smart-city-infrastructure-guide.html>
- [11] AA. VV. *5G Americas V2X Cellular Solutions*, 2016.
- [12] <https://www.pcprofessionale.it/tech/automotive-tecnologia-cv2x/>
- [13] <https://illuminotronica.it/2018-anno-li-fi/>
- [14] Shlomi Arnon. *Optimised optical wireless car-to-traffic-light communication*. Published online 26 March 2014 in Wiley Online Library.
- [15] Giuseppe Zingales. *Misure Elettriche. Metodi e Strumenti*. UTET Università, 1992.

-
- [16] <http://www.dia.uniroma3.it/autom/RetieSistemiAutomazione/PDF/CAN1.pdf>
- [17] <https://store.arduino.cc/arduino-pro-mini>
- [18] <http://www.martyncurrey.com/hm-10-bluetooth-4ble-modules/>