

UNIVERSITÀ DI PISA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE INDUSTRIALE

Laurea Triennale in Ingegneria per il Design
Industriale

**Dispositivi di segnalazione
a luce infrarossa per ostacoli aerei**

Relatore:

Prof. Francesco Tamburrino

Prof. Beatrice Aruanno

Candidato:

Davide Nascivera

Indice

1	Introduzione	5
1.1	Contesto	5
1.2	Diverse declinazioni della slackline	6
1.2.1	Trickline	6
1.2.2	Longline	6
1.2.3	Highline	6
1.3	Cenni storici:	8
1.3.1	La prima slackline	8
1.3.2	La prima Highline	8
1.4	L'installazione di un'Highline	10
1.5	Problemi legati all'Highline	13
1.5.1	La Soluzione Svizzera:	13
1.5.2	I dispositivi di segnalazione svizzera:	15
1.6	La soluzione Open source:	16
2	Sviluppo Prodotto	17
2.1	Studi preliminari	17
2.1.1	Il primo tentativo	17
2.1.2	Il secondo tentativo	18
2.2	Proof of concept:	19
2.2.1	Introduzione	19
2.2.2	Componenti	21
2.2.3	L'impermeabilità del dispositivo:	25
2.2.4	Schema elettronica dispositivo	27
2.2.5	Criticità del dispositivo	29
2.3	Proof of Work:	32
2.3.1	Componenti	33
2.3.2	Montaggio e messa in opera del dispositivo	34
2.3.3	Risoluzione delle criticità meccaniche:	35
2.3.4	Risoluzione delle criticità user-experience:	35
2.3.5	Risoluzione delle criticità elettroniche	36
2.3.6	Soluzione Elettronica	37
2.3.7	Programmazione del dispositivo	41

3 Test e Risultati	45
3.1 Verifiche di funzionamento	45
3.2 Verifiche di funzionamento in laboratorio	45
3.3 Verifiche di funzionamento sul campo	47
3.4 Confronto fra prodotti	48
4 Discussione e Conclusione	51
4.1 Future implementazioni	51
4.2 Conclusioni:	51

Capitolo 1

Introduzione

1.1 Contesto

Lo Slacklining è lo sport, o disciplina, a catena cinetica composita che consiste nel bilanciarsi e stare in equilibrio su una fettuccia dinamica tesa fra due punti di ancoraggio, che possono essere due alberi, delle rocce in montagna o i muri di una palestra.

La fettuccia utilizzata, la slackline, è solitamente di nylon o poliestere, e ha una larghezza variabile da 2,5 cm a 5 cm (uno o due pollici).



Figura 1.1: Esempio di un ragazzo praticante la slackline

Lo Slacklining è uno sport indipendente, con molteplici varianti e discipline, campionati e atleti professionisti. Viene usato inoltre come supporto per l'allenamento dell'equilibrio negli sport di competizione, come attrezzo per il fitness e in fisioterapia.

La slackline (letteralmente linea molle, rilassata) è spesso paragonata al funambolismo o tightrope (letteralmente cavo tesò) ma si differenzia da esso per vari aspetti:

- i materiali utilizzati: nella prima una fettuccia elastica di fibre sintetiche mentre nel secondo un cavo d'acciaio;
- le tensioni a cui è sottoposta una slackline sono molto minori rispetto a quelle utilizzate dai funamboli;
- minori tensioni comportano una maggior semplicità di montaggio: chiunque può montare una slackline con le giuste istruzioni mentre per installare un cavo tesò servono attrezzi e materiali più elaborati e complessi;
- lo slacklining si pratica a corpo libero, senza l'utilizzo del bilanciere come nel funambolismo.

1.2 Diverse declinazioni della slackline

1.2.1 Trickline

Il tricklining è una disciplina che combina slacklining e acrobatica aerea, utilizzando una fettuccia elastica di 5 cm di larghezza. Grazie alle elevate tensioni a cui è sottoposta, la fettuccia consente un effetto trampolino e i trickliners eseguono salti, rimbalzi, rotazioni, flip e grab. La trickline viene posta a circa 150 cm di altezza per una lunghezza variabile dai 20 ai 30 metri e prevede competizioni a livello mondiale con atleti professionisti sponsorizzati dalle maggiori aziende produttrici. L'Airline, una nuova forma di tricklining promossa da Red Bull, prevede l'installazione di più trickline parallele a 8-10 m di altezza senza l'utilizzo dell'imbragatura, ma con un big air bag come protezione.

1.2.2 Longline

Il termine "longline" si riferisce a ogni slackline che supera i 30 metri di lunghezza. Per la longline si utilizza una fettuccia da 2,5 cm di larghezza che può essere montata ad altezza, lunghezza e tensioni variabili (1-8kN). Per tendere la slackline è necessario utilizzare un sistema di tensionamento avanzato, come un paranco di carrucole, che richiede una buona conoscenza dei materiali. Il record mondiale di longline appartiene ad Alex Schulz, che nel maggio 2015 ha camminato su una slackline di 610 metri di lunghezza nel deserto della Mongolia.

1.2.3 Highline

Highline è la slackline portata in altezza, fra due picchi di una montagna, fra due alberi sopra una vallata o perfino fra due palazzi in città (urban Highline). Nonostante l'apparenza estrema, l'Highline ha un ottimo record in quanto a sicurezza,

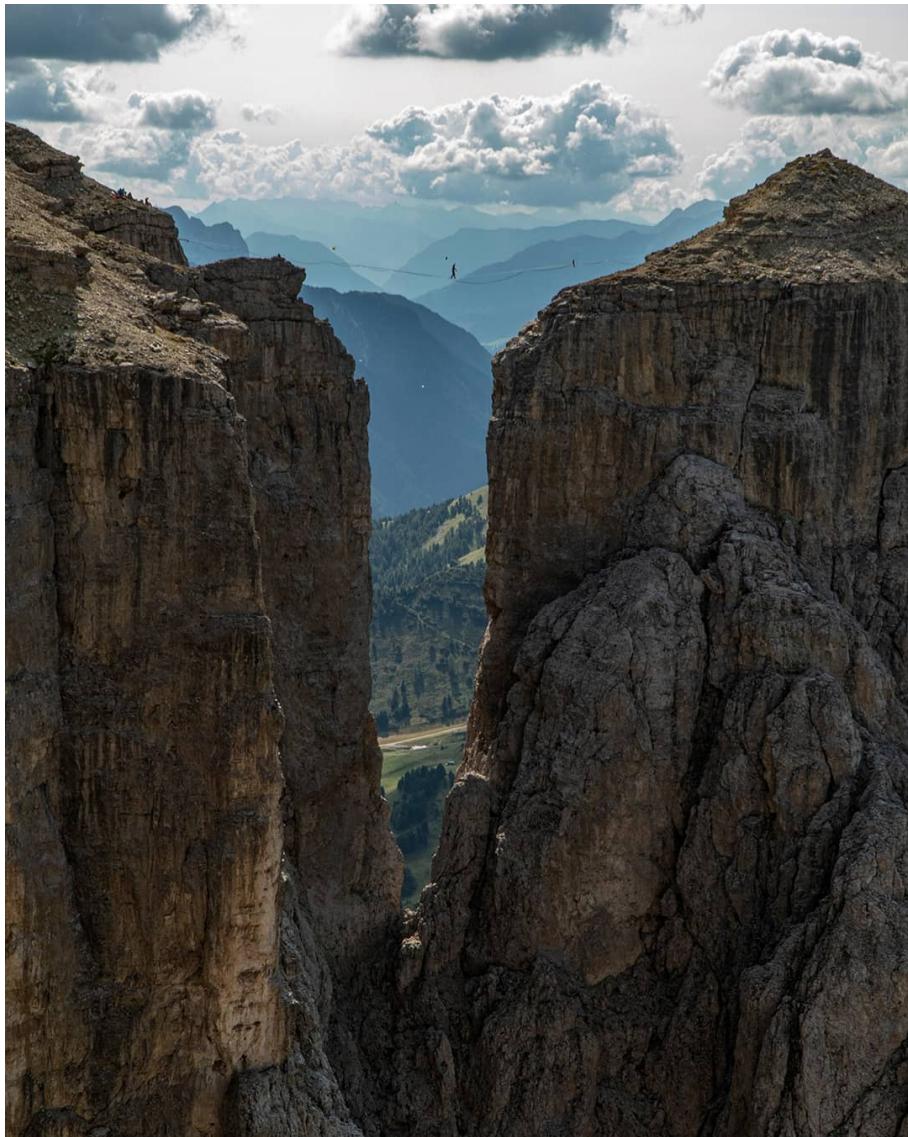


Figura 1.2: Highline montata alle Torri del Sella nel 2020

infatti in tutta la sua storia si è verificato un solo incidente mortale causato da uno scorretto utilizzo dei materiali e da una scarsa conoscenza degli stessi, ancora agli albori dello sport. Sebbene spesso i media descrivano gli Highliners come spericolati ricercatori del brivido e dell'estremo non è così, anzi. L'Highline richiede un approccio molto calmo e rilassato, con particolare focus sull'auto controllo e sulla gestione delle proprie emozioni, paura in primis. Inoltre le Highlines sono sempre montate da esperti e con ridondanza nella sicurezza, ciò significa che ogni componente dell'intero sistema è fornito di backup, un componente non utilizzato che entra in gioco solo nel caso dovesse esserci un fallimento. La linea stessa su cui si cammina ha un'altra linea sotto di essa non in tensione (chiamata appunto 'backup') che serve solo nel caso di rottura della linea principale (la 'mainline').

Gli Highliners quasi sempre indossano un'imbragatura da arrampicata che li con-

nette alla Highline tramite il leash (un pezzo di corda di circa 2 m) e un anello d'acciaio (o alluminio) che scorre sulla stessa, così che una caduta comporta solo una breve oscillazione nel vuoto. Il Record Mondiale di Highline appartiene a 3 dei 5 membri del team francese SDD: Pablo Signoret, Nathan Paulin e Lucas Millard. Il 9-10 Giugno 2017 hanno camminato interamente su una Highline di 1662 m di lunghezza, posta a 342 m di altezza sopra la valle 'Cirque de Navacelles' in Francia. Lucas, il più veloce nella traversata, ha impiegato 1 ora e 6 minuti per compiere l'impresa. Mr. Paulin, in un'intervista di National Geographic dopo il Record, afferma: "Quando ti trovi su una Highline, tutti i tuoi sentimenti sono più forti: libertà, felicità, paura, amore. Perfino la bellezza della natura è resa più visibile".

1.3 Cenni storici:

Lo Slacklining nasce da un gruppo di scalatori in California a fine anni 70, nel parco nazionale simbolo dell'arrampicata sportiva e dell'alpinismo, lo Yosemite.

1.3.1 La prima slackline

Nei primi anni '80 Adam Grosowsky giunse nella Yosemite Valley per arrampicare ed entrò in contatto con quest'ultima forma di equilibrio, che sembra fosse esclusiva di 'Camp 4'. Durante gli studi all'Università di Olympia, Washington, aveva già sperimentato l'equilibrio su cavi d'acciaio e corde d'arrampicata con l'amico Jeff Ellington. Allora i due pionieri furono i primi a montare un pezzo di fettuccia tubolare di nylon di 2,5 cm di larghezza, comunemente utilizzata nell'arrampicata: nacque così lo Slacklining come lo conosciamo oggi, la ricerca dell'equilibrio su una fettuccia piatta e dinamica. Per tensionare la fettuccia Jeff Ellington sviluppò una speciale tecnica, l'"Ellington" (chiamata successivamente anche "primitive"), un sistema di tensionamento autobloccante fatto con la stessa fettuccia su cui si cammina e un paio di moschettoni. Per la sua semplicità, efficienza e il basso costo dei materiali questo sistema è tuttora il più utilizzato per le slacklines di 2,5 cm. L'origine del termine "Slackline" non fa riferimento a una particolare persona o data nella storia, tuttavia porta a pensare logicamente che sia derivato da "Slackchain" e "Slackwire" (entrambi termini che Grosowsky ed Ellington usaroni per definire la loro forma di equilibrio) : "Slack" che sta a indicare il sag (la differenza di altezza fra gli ancoraggi e il centro della fettuccia in carico) rimase, mentre il mezzo su cui praticare lo sport cambiò in qualcosa di totalmente nuovo, la fettuccia chiamata "line".

1.3.2 La prima Highline

Nel 1981 Scott Balcom e Chris Carpenter furono ispirati da Grosowsky e Ellington che provarono a tensionare e camminare una cavo d'acciaio fra The Lost Arrow Spire (una torre di roccia molto esposta) e la parete principale del massiccio dello Yosemi-



Figura 1.3: Una delle prime slackline nella velle dello Yosemite

te. I due amici iniziarono allora ad allenarsi non per una performance di cavo teso in altezza ma per una vera e propria Highline costituita da tre strati di fettuccia. Per questo motivo nel 1983 insieme a Ric Phiegh, Rob Slater e Chuck "Chongo" Tucker installarono la prima Highline documentata della storia sotto un ponte stradale vicino a Rose Bowl in California, "The Arches" come la chiamarono. Solo dopo molti tentativi il 13 Luglio del 1985 Scott Balcom fu il primo uomo a camminare la Lost ArrowSpire Line, assicurato alla linea con il dispositivo di sicurezza chiamato Highline Leash. Nel 1993 Darrin Carter fu il secondo a camminare la Spire Line, e nel 1995 ripeté l' impresa slegato, senza dispositivi di sicurezza. Nel 2007 Libby Sauter fu la prima donna a camminare la storica linea di The Lost Arrow Spire, seguita subito dopo da Jenna McLennan.



Figura 1.4: Prima Highline montata a "The Lost Arrow" Spire

1.4 L'installazione di un'Highline

Linee spettacolari e immerse in paesaggi mozzafiato spesso lasciano molti dubbi in merito a come viene passata la fettuccia e dove viene fissata. Essendo uno sport potenzialmente pericoloso e fatale esistono delle procedure standard che negli anni si sono sviluppate e raffinate, al fine del montaggio della linea in completa sicurezza. Per questo motivo ogni componente dell'installazione risulta essere sovrardimensionato e ridondante, in modo da eliminare qualsiasi rischio dovuto a eventuali errori e imprecisioni di fabbrica. In particolare le fasi di montaggio per un'Highline sono di seguito elencate.

1. La ricerca della location per l'installazione:

questo passaggio risulta uno dei più critici perché come verrà sottolineato successivamente, la pericolosità dell'installazione per il traffico aereo dipende soprattutto dalla sua posizione.

Una volta accertati quindi della possibilità di montaggio, talvolta chiedendo alle autorità competenti il permesso, è possibile procedere con l'allestimento dell'ancoraggio stesso.

2. Costruzione delle soste:

per sosta di un'Highline si intende l'insieme di dispositivi quali corde, chiodi, moschettoni necessari per collegare e ancorare un'estremità della corda sospesa.

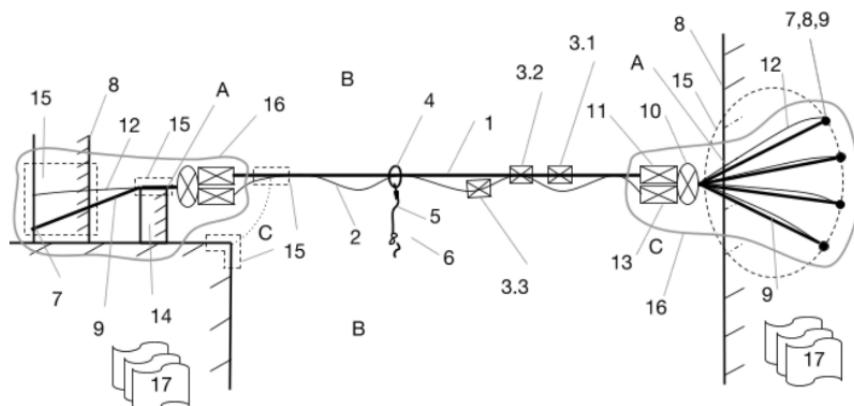


Figura 1.5: rappresentazione schematica di una sosta

Esistono principalmente 2 tipi di ancoraggi utilizzabili: gli ancoraggi naturali e ancoraggi su roccia. I primi sono ancoraggi dove corde o cinghie per camion vengono avvolte attorno a più alberi e arbusti con un diametro importante. Gli ancoraggi su roccia invece si compongono di corde o cinghie per camion collegati a chiodi a espansione sulla roccia. I tasselli a espansione sono gli stessi utilizzati e certificati per l'arrampicata, dove sebbene il loro piccolo diametro di 10-12mm, garantiscono una resistenza di 25kN quando sollecitati a trazione. Questi vengono inseriti dopo aver praticato il foro nella roccia con trapano

a percussione e fissati in modo irremovibile girando il dado superiore con la chiave inglese. È importante notare, tuttavia, che raramente il punto critico di un'installazione è il tassello stesso, poiché la sua tenuta dipende principalmente dalla compattezza e solidità della roccia, che solitamente è l'anello debole della catena. Inoltre la sosta solitamente viene configurata per scaricare il carico della linea uniformemente su molteplici chiodi, in modo da mantenere un coefficiente di sicurezza operativo ben superiore a 5.

Per una questione di estetica oltre che di sicurezza, è importante che i due ancoraggi siano alla stessa altezza, in modo da evitare che la linea sia inclinata in discesa o in salita. In caso contrario la successiva camminata risulterebbe essere molto più faticosa e meno piacevole.

3. Passaggio della fettuccia da un ancoraggio all'altro:

una volta formata la sosta, si procede con il passaggio della fettuccia da un ancoraggio all'altro. È possibile trasportare tutto il materiale manualmente solo in rare occasioni, come ad esempio in passaggi collinari, dove l'assenza di attrito e di ostacoli taglienti permette prima di posizionare la linea sull'erba e di tensionarla poi in un secondo momento.

Nella maggior parte dei casi invece è necessario utilizzare un drone, quale DJI MavicPro o simili, con il quale passare un cordino molto sottile e leggero tra le due soste. Solitamente viene utilizzata la bava da pesca per tonni, filamento in grado di reggere fino a 50kg di peso pur pesando meno di 1kg. Per evitare che il filo finisca nelle pale del drone date le turbolenze causate, esso viene legato a un moschettone appeso al quadricottero.

Nella maggioranza dei casi il peso della slackline risulta essere troppo elevato per essere passata direttamente e bisogna ricorrere a step intermedi, sostituendo a mano corde con diametri progressivamente maggiori. Solitamente dopo la bava per tonni viene passato un cordino in nylon o dyneema comunemente chiamato "Tagline". Esso è una fune da circa 5mm di diametro, capace di tenere un peso di circa 220kg.

Nel caso in cui non si possa utilizzare un drone, sia per motivi di non disponibilità, sia per motivi di divieto e no-flyzone è possibile saltare il passaggio della bava da pesca e procedere solo con il passaggio della tagline. Entrambi i team lanciano una pietra dal proprio ancoraggio e una persona si occupa di unire i due lembi con un nodo.

In conclusione che si usi l'approccio con drone o senza, la Tagline viene portata in tensione e sostituita passando la slackline. Si tende a preferire l'approccio con il drone in quanto spesso è molto difficile liberare il cavo da rami e ostacoli durante la messa in tensione

4. Ultimazione dell'installazione:

una volta passata la slackline e il materiale necessario si procede con la messa in sicurezza dell'impianto, controllando che tutti i dispositivi siano configurati correttamente e procedendo quindi con il tensionamento della linea.

Installazione slakcline lunghe:

Slackline lunghe 300m possono arrivare a un peso totale di 20kg, peso scaricato completamente sul cordino, che lo rende difficile da maneggiare con facilità. L'elevato carico inoltre determina l'abbassamento del cavo di una decina di metri in altezza, aumentando così la possibilità che si incastri su alberi e rocce durante il montaggio. A oggi esiste anche un altro metodo per il passaggio della linea chiamato "metodo stendino" o "Buon Chacho".

Differentemente dal metodo tradizionale quest'ultimo prevede il tensionamento della tagline, portandola a una tensione di un paio di kN, e successivamente il passaggio di tutta la slackline attraverso apposite carrucole che scorrono sul cavo tesò. In italiano questo metodo viene anche chiamato "Metodo Stendino", per la somiglianza meccanica a una tenda per docce, dove appunto il peso viene distribuito su un filo/palo attraverso l'utilizzo di anelli.

1.5 Problemi legati all'Highline

Fettucce sospese nel vuoto, come le Highline, rappresentano un rischio significativo per lo spazio aereo se non vengono gestite e controllate adeguatamente. La presenza di tali infrastrutture può interferire con la sicurezza e la navigazione degli elicotteri operanti nelle vicinanze, oltre a costituire una minaccia per i parapendii che volano nella medesima area.

Le Highline più spettacolari, ossia quelle montate in territorio montano, solitamente si collocano in prossimità di vie di arrampicate famose, falesie e ferrate. Il motivo di ciò è dovuto sia a fattori pratici, in quanto i due ancoraggi devono essere sistemati da ambo i lati prima di procedere con il passaggio della linea, sia per motivi estetici in quanto solitamente vie d'arrampicate famose e classiche si trovano in punti panoramici. Questa vicinanza però risulta essere un ulteriore problema per il Nucleo Elisoccorso in quanto i casi di assistenza più frequenti si tengono nei percorsi attrezzati più famosi, quali quelli elencati precedentemente.

La community Highline negli anni ha adottato delle procedure standard per quanto riguarda la segnalazione delle linee, consapevole di tutte le problematiche elencate precedentemente. Alcuni paesi, come verrà illustrato nel paragrafo successivo, prevedono già questa tipologia di installazione nella loro normativa locale.

1.5.1 La Soluzione Svizzera:

Pochi paesi, come la Svizzera, hanno già normato e legiferato sulle modalità di installazione, rendendo la slackline un vero e proprio sport completo di associazioni e festival legalizzati.

 Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e del clima Confédération et République Ufficio federale dell'aviazione civile UFAC Divisione: Sicurezza delle infrastrutture		6. Lista degli annessi
Direttiva AD I-006 I		
Oggetto: Ostacoli alla navigazione aerea		
<small>N. regolazione/dossier: UFAC/043.3-00000/00001</small>		
Basi legali: <ul style="list-style-type: none"> - Convenzione dell'ICAO del 7 dicembre 1944 relativa all'aviazione civile internazionale (Convenzione di Chicago) - Articolo 3, 5b capoverso 1 e 41b della legge federale sulla navigazione aerea (LNA; RS 748.0) - Articolo 3, 5b capoverso 1 e 41b della legge sull'infrastruttura aerea (CGIA; RS 748.131.1) - Ordinanza sugli enunciati dell'UFAC (Oen-UFAC; RS 748.112.1) 		
Destinatari: <ul style="list-style-type: none"> - Proprietari di ostacoli alla navigazione aerea - Autori di progetti che pianificano la realizzazione di un ostacolo alla navigazione aerea - Pilota - Capi d'aerodromo e autorità aeronautiche - Servizi carabinieri di controllo 		
Stato: Entrata in vigore della presente versione: 16.06.2021 Numero della presente versione: 2.1 Entrata in vigore della prima versione: 15.04.2013		
Autore: Divisione Sicurezza delle infrastrutture		
Approvato il / da: 28.07.2021 / Direzione UFAC		
Gli annessi in basso riguardano i tipi d'ostacolo più ricorrenti e indicano le misure di sicurezza così come le specificità tecniche:		
A1 Gru o gruppi di gru A2 Gru mobili e autogru A3 Piloni e antenne A4 Piloni di misurazione A5 Modine A6 Ciminiere A7 Edifici, torri e silos A8 Generatori eolici A9 Teleferiche forestali (temporanee) A10 Teleferiche di trasporto materiale e altalene tirolesi (permanenti o temporanee) A11 Linee e condotte aeree (eccetto linee ad alta tensione) A12 Ponti sospiri A13 Teleferiche (trasporto di persone) A14 Slacklines A15 Linee ad alta tensione		

Figura 1.6: Tipologie di ostacoli elencati nella normativa svizzera

E' possibile consultare il dossier ufficiale dal sito "Ufficio federale dell'aviazione civile UFAC". All'interno del documento sono riportate le tutte tipologie di

segnalazioni per ostacoli che rappresentino un pericolo alla navigazione aerea.

In particolare nel paragrafo A14 “Slacklines” [Figura 1.6](#) è possibile trovare tutti i requisiti necessari per una corretta segnalazione, andando a differenziare slackline poste in zone edificate e non, ad altezze differenti. Come riportato nel documento, oltre la segnalazione obbligatoria all’ente locale, è necessario munire l’infrastruttura di dispositivi di segnalazione luminosa nel caso in cui la linea risulti essere più alta di 100 m dal suolo.

Di seguito sono riportati alcuni punti importanti:

- è sempre obbligatorio registrare tutte le linee superiori ai 25 metri presso l’ente locale BAZL;
- al di sopra di un’altezza di 40 metri, è necessario posizionare palline arancioni ai punti di ancoraggio;
- al di sopra dei 60 metri, è necessario ottenere un permesso ufficiale, il quale di solito ha un costo;
- oltre i 100 metri, è necessario installare una corda parallela con banderuole o palline arancioni ogni 50-100 metri. Inoltre, è necessario posizionare lampade a infrarossi per la sicurezza notturna;
- la segnalazione luminosa a bassa intensità deve essere posizionata alle estremità della cinghia a un’altezza minima di 2.5m dal suolo e a un intervallo regolare su una fune di marcatura separata.

Lo standard Svizzero è così diventato un’ottimo esempio per tutte le community Slackline, un punto a cui fare riferimento nello sviluppo della propria soluzione locale.



Illustrazione 57



Illustrazione 58

Figura 1.7: esempi di dispositivi di segnalazione richiesti per le Highline

1.5.2 I dispositivi di segnalazione svizzera:

I dispositivi di segnalazione utilizzati dalle comunità di slackline Svizzere sono luci LED sviluppate da un'azienda locale per una commessa di circa 200 pezzi. I dispositivi sono costituiti da un circuito stampato realizzato con tecnologia Through-Hole (TH) contenente tutti i componenti necessari, racchiusa in un involucro esterno resistente e impermeabile. I segnalatori LED non risultano essere apribile dall'utente e le batterie possono essere ricaricate attraverso il dedicato connettore posto nella parte sottostante o sfruttando la fotovoltaica.

Pregi e difetti del dispositivo

Il pannello solare superiore rappresenta un grande vantaggio per quanto concerne autonomia e versatilità del dispositivo. Per installazioni destinate a rimanere montate per settimane se non mesi, una qualsiasi altra soluzione risulterebbe azzardata. Dall'altra parte l'utilizzare questa tecnologia non permette la realizzazione di dispositivi portatili e di dimensioni piccoli, in quanto la cella affinché possa funzionare necessita di una superficie non trascurabile. In Svizzera il montaggio di Highline più alte di 100m necessita la richiesta di autorizzazioni alle autorità locali e permessi che costano centinaia di euro. Per questo motivo installazioni di lunga durata sono rare e spesso le linee installate sono più di carattere alpino dove rimangono montate poche notti.

Il prezzo di 500 euro risulta essere proibitivo per molte associazioni sportive no-profit e il surplus imposto dall'azienda risulta essere molto elevato se si analizzano i materiali utilizzati. L'utilizzo di questi dispositivi non risulta essere applicabili in paesi europei dove non vige l'obbligo legale del loro impiego.



Figura 1.8: Dispositivo di segnalazione svizzero

1.6 La soluzione Open source:

La presente tesi di laurea si propone di colmare il vuoto esistente nel campo della segnalazione di slackline aeree. L'obiettivo principale è lo sviluppo di un prodotto completo, accompagnato dalla pubblicazione di circuiti e file per la sua realizzazione, al fine di gettare le fondamenta per un sistema affidabile e conveniente. Tale sistema sarà progettato per essere utilizzato in accordo con i nuclei elicotteristi locali, al fine di promuovere una pacifica convivenza dello spazio aereo.

Il progetto vuole essere un punto di riferimento per le diverse associazioni che affrontano problematiche simili. Si vuole rendere pubblico tutto il materiale, i passaggi e la storia legati a esso. Questo permetterà di fornire un punto di partenza solido per le future luci di segnalazione, offrendo un'opportunità di sviluppo e standardizzazione nel settore.

Inoltre, la validazione del prodotto sul campo tramite l'utilizzo degli appositi visori da parte del nucleo elisoccorso rappresenta una garanzia aggiuntiva della sua efficacia e funzionalità. Ciò contribuisce a fornire maggiore fiducia nell'adozione e nell'utilizzo del sistema, rafforzando la sicurezza e l'affidabilità delle slackline aeree nella gestione dello spazio aereo.

Capitolo 2

Sviluppo Prodotto

2.1 Studi preliminari

Nel corso degli ultimi 5 anni, sono stati sviluppati numerosi prototipi miranti a colmare questa lacuna nello sport. Il percorso seguito può essere sintetizzato in cinque tappe distintive, durante le quali sono stati creati altrettanti prodotti in momenti diversi, caratterizzati da un progressivo affinamento e una sempre maggiore raffinatezza tecnica e concettuale.

2.1.1 Il primo tentativo

La richiesta della creazione di un primo dispositivo di segnalazione a infrarossi è arrivata a me e ai miei compagni nell'estate del 2018, durante la pianificazione per un'importante linea a Madonna di Campiglio. La linea si teneva nel parco naturale dell'Adamello del Brenta, montata in occasione del documentario creato sullo sport a livello Italiano "Voglio che stai bene". Essa era alta 200 metri e lunga circa 550. Alla richiesta dei permessi il nucleo d'elisoccorso locale aveva specificatamente richiesto l'utilizzo di un dispositivo di segnalazione infrarossa, data l'importante esposizione al traffico aereo e data la posizione pericolosa in caso di soccorso in zone limitrofe.



Figura 2.1: Primo prototipo rudimentale

Il sistema era molto rudimentale e si componeva di un cavo di rame rivestito di circa 500 m di lunghezza, dove ogni 100m erano posti 3/4 LED infrarossi. Al tempo le mie conoscenze riguardanti l'elettronica erano di base se non assenti rispetto a quelle attuali.

Il prodotto finale presentava molteplici criticità quali:

- il sistema era alimentato con una batteria da 12 V per le moto, costituendo un notevole peso e ingombro;
- l'utilizzo di cavi così lunghi risulta essere problematico per la loro resistenza caratteristica, dissipando molta energia utile;
- i diodi infrarossi non erano adatti per quell'applicazione, la loro lunghezza d'onda non era quella ottimale e l'assenza di pattern di accensione e spegnimento non rendeva i LED notabili da lontano;
- il sistema non risultava essere impermeabile ne tanto meno resistente a schizzi.

2.1.2 Il secondo tentativo

Nella realizzazione secondo tentativo si è cercato di esplorare l'idea di portabilità del sistema, cercando quindi di passare da un dispositivo alimentato con una batteria posta in un luogo remoto e collegata attraverso al cavo, a una soluzione modulare più portatile. Sebbene fosse un passo avanti in quanto a user-experience e ingombri, sono persistite tutte le altre criticità del prototipo precedente, costringendo a esplorare strade differenti nei successivi progetti.



Figura 2.2: Secondo prototipo rudimentale

2.2 Proof of concept:

2.2.1 Introduzione

La prima soluzione costruttiva completa ed utilizzabile

Il prototipo deriva da uno studio molto più attento e approfondito svolto nell'estate del 2022 e può essere definito come il primo prototipo completo e testato sul campo.

Differentemente dai dispositivi precedenti, esso si compone di una scocca posteriore impermeabile che racchiude la parte elettronica al proprio interno, differenziando così il contenitore dal contenuto. La calotta superiore, come è possibile osservare dal render in [Figura 2.3](#), è colorata superiormente di bianco e inferiormente di un'arancione acceso. Questa configurazione garantisce una doppia utilità al dispositivo, in quanto permette di segnalare la presenza di un ostacolo aereo anche di giorno, svolgendo una funzione analoga alle classiche maniche a vento.



Figura 2.3: Render del dispositivo

Attraverso 4 pratici ganci è possibile rimuovere la calotta bianca superiore e accedere all'elettronica interna, permettendo sia la messa in opera del dispositivo che le operazioni di manutenzione e controllo dello stesso. Una volta operativo il sistema di segnalazione fornisce un'illuminazione infrarossa accendendo i diodi LED a intervalli programmati.

Qua di sotto sono riportati i disegni CAD con i componenti dei dispositivi successivamente prodotti. Per motivi di chiarezza di lettura sono stati omessi

dadi/rondelle/o-ring del gancio superiore e il silicone utilizzato per sigillare in modo permanente i LED.

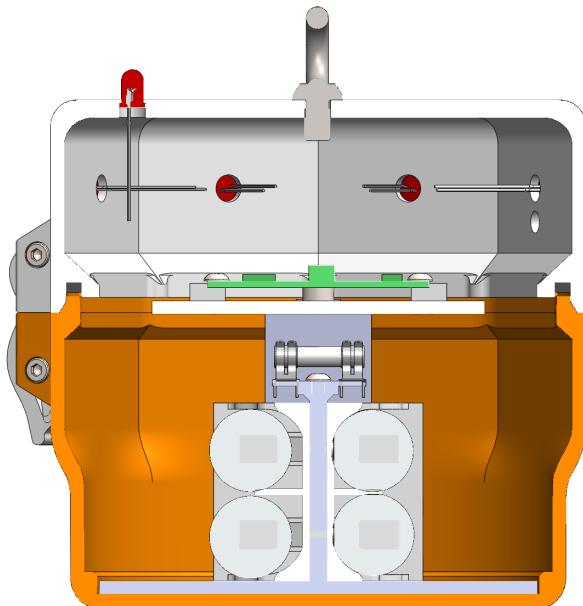


Figura 2.4: Vista in sezione del dispositivo

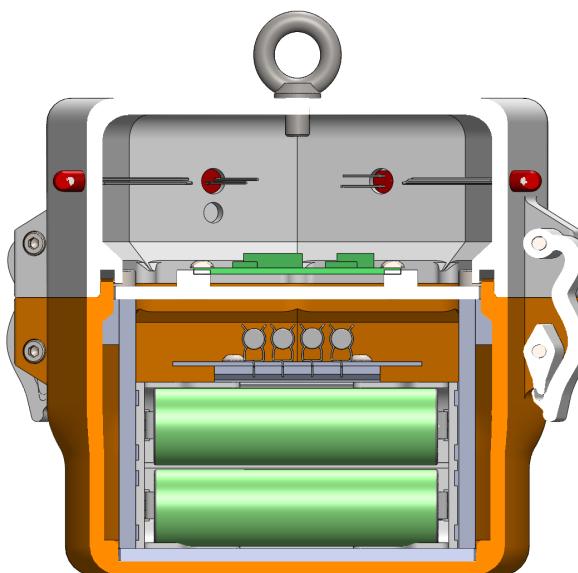


Figura 2.5: Vista in sezione del dispositivo

2.2.2 Componenti

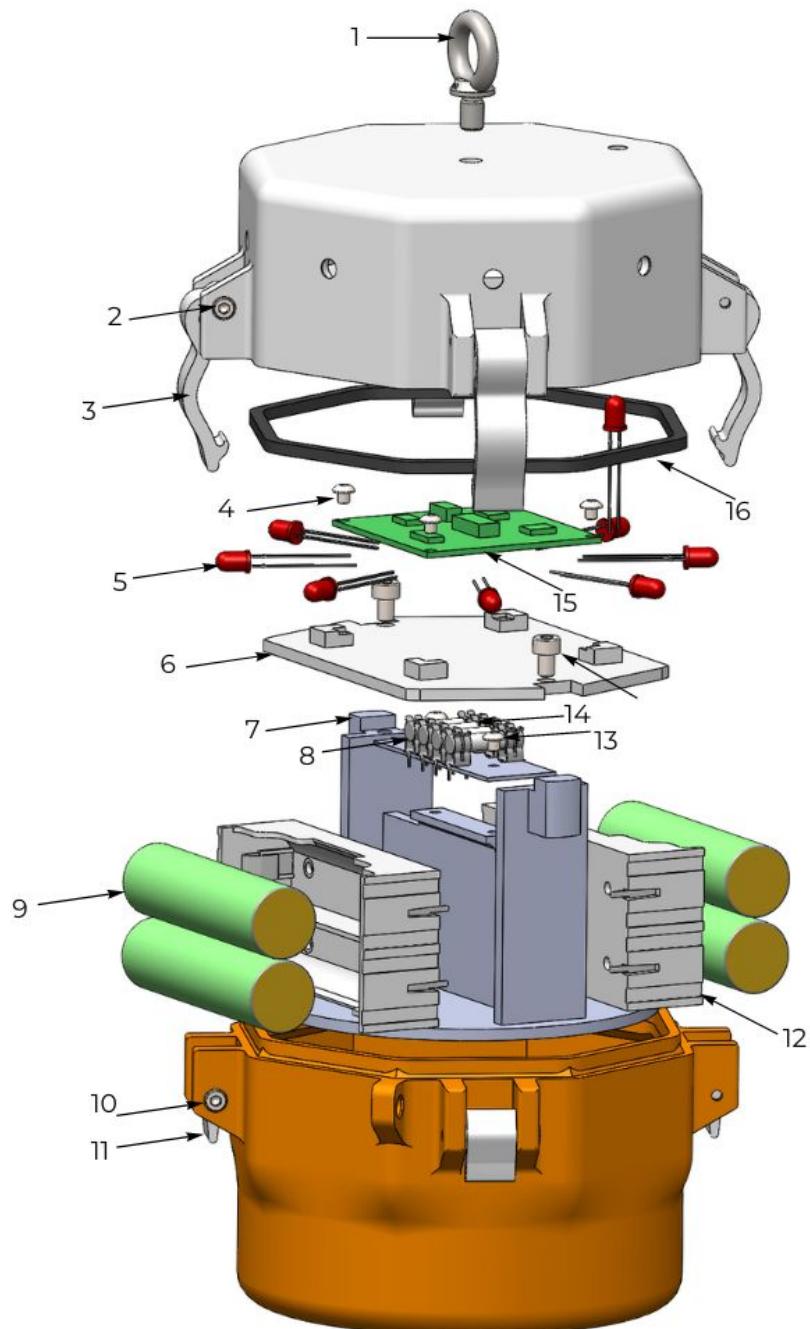


Figura 2.6: Esploso

Billa dei componenti

Numeri	Elemento	N.Componenti	Materiale
1	Occhiello e dado M4	1	Acciaio Inox
2	Vite M3x20	4	Acciaio Inox
3	Gancio chiusura	4	PETG
4	Vite m3x6	4	Acciaio Inox
5	LED infrarossi	9	N.C.
6	Base Porta PCB	1	PETG
7	Struttura inferiore	1	PETG
8	BMS e orta fusibili	4	N.C.
9	Batteria 18650	4	N.C.
10	Viti M3x20	4	Acciaio Inox
11	Camma Chiusura	4	PETG
12	Porta 18650	2	PE
13	Viti M3x10	2	Acciaio Inox
14	Fusibili 3A	4	N.C.
15	PCB	1	N.C.
16	Guarnizione	1	TPU
17	Calotta Inferiore	1	PETG
18	Calotta Superiore	1	PETG

Tabella 2.1: Distinta dei componenti

Materiale	PLA	PETG	ABS	ASA
Temperatura transizione vetrosa	65°	75°	105°	106°
Impermeabilità	si	si	no	si
Resistenza UV	no	si	no	si

Tabella 2.2: Confronto materiali comuni per impieghi in ambiente esterno

Case esterno:

La calotta esterna del sistema di segnalazione, rappresentata dai componenti 17-18 nell'assieme, è stata realizzata utilizzando la tecnologia della stampa 3D FDM. Nella fattispecie il materiale utilizzato per la produzione è il PETG sia per la facilità nell'essere reperito e stampato, sia per le caratteristiche tecnologiche ottime per un utilizzo Outdoor.

I materiali solitamente utilizzati per la produzione di componenti destinati a un uso esterno sono quelli riportati in [Tabella 2.2](#). e sono riportate le loro misure caratterizzanti. Come accennato anche precedentemente, sebbene l'ASA sia un

valido materiale per quest'applicazione, il suo costo eccessivo e le accortezze per essere stampati non giustificano il vantaggio in prestazioni ottenuto. Come accennato nel capitolo 1.6, l'obbiettivo di questo progetto è la realizzazione di un sistema di segnalazione Open-Source, costruibile e assemblabile.

Diodi Infrarossi

Per quanto concerne i dispositivi di illuminazione si è scelto di usare diodi luminosi infrarossi da 5mm THT, rappresentati nella bollatura dal numero 5. In totale i LED sono 9, posizionati su ogni lato della forma ottagonale della calotta e con il diodo superiore, necessario per la corretta segnalazione anche verticale. L'elevata presenza di LED disposti radialmente è giustificato dal basso angolo di dimezzamento caratteristico dei LED acquistati, ossia l'angolo per cui la potenza luminosa si dimezza. Il valore caratterizzante dei dispositivi acquistati al tempo era di $\pm 30^\circ$ e disponendo tutti i 9 LED a ottaedro si disponeva del 100% dell'illuminazione anche nella posizione critica fra 2 diodi. Non si è scelto di utilizzare diodi infrarossi in package tipici SMD perché risultano essere più fragili e richiedono maggiori accortezze in fase di saldatura. I dispositivi THT inoltre sono molto più diffusi ed è possibili reperirli più facilmente sul mercato. Differentemente dagli esseri umani, i sensori delle telecamere (soprattutto quelli utilizzati per applicazioni anche notturne telecamere di sicurezza) ricevono ed elaborano anche segnali a luce infrarossa. La loro bassa frequenza permette di essere visibile all'occhio umano e propagarsi più lontano nello spazio. Le telecamere di sicurezza commerciali ad esempio sono dotate di corone di LED che emettono luce a una frequenza di 850nm, appena sopra la frequenza corrispondente al colore rosso, motivo per cui di notte alcune volte è possibile intravedere del colore rosso vicino all'obbiettivo della fotocamera. Durante una delle visite fatte al nucleo elisoccorso locale, era stato richiesto il vincolo di non utilizzare luci visibili a occhio nudo. Escursionisti in montagna infatti potrebbero pensare le luci siano dovute a persone in pericolo, provocando quindi falsi allarmi al soccorso alpino.

Alimentazione

Per quanto concerne l'alimentazione del dispositivo si è scelto di utilizzare un approccio modulare e flessibile, predisponendo un elemento intercambiabile a seconda della tipologia di batterie utilizzate. In particolare il sistema d'illuminazione può essere alimentato sia attraverso batterie "domestiche" AA che attraverso le batterie a Ioni di Litio. Queste ultime sono comunemente utilizzate per dispositivi di potenza quali monopattini elettrici, battery bank e torce, grazie alla loro capacità di immagazzinare molta energia. Nell'esploso è solamente rappresentata la soluzione con batterie 18650 ma la soluzione costruttiva con batterie stilo AA non si discosta di molto.

BATTERIE LI-ION 18650

La scelta dell'utilizzo di Celle a Ioni di Litio 18650 è data dalle notevoli proprietà rispetto ad altre tipologie di batterie. Quest'ultime si caratterizzano da un voltaggio

variabile da 4,2v a 2.8 Volt e la loro capacità può arrivare facilmente a 3500 mAh. Una tensione minore di questo valore potrebbe compromettere la durata di vita della batteria danneggiando la cella. Le batterie Li-ion 18650 differentemente da quelle di uso domestico risultano essere molto delicate e un errato uso potrebbe portare gravi incidenti quali incendi e ustioni. Esistono 2 tipologie di celle sul mercato: le 18650 “Protected” provviste di un circuito integrato di protezione e le 18650 “unprotected” molto più delicate e pericolose date la mancanza del BMS integrato. Sebbene la prima tipologia risulti essere la migliore in quanto a sicurezza, per applicazioni elettroniche di consumo solitamente vengono utilizzate quelle non protette e successivamente messe in sicurezza con circuiti esterni alla batteria stessa. Questa scelta è motivata dall'elevato costo, dal volume maggiore e dalla capacità minore.

Le Celle devono essere caricate singolarmente attraverso un apposito caricatore esterno e successivamente inserite nei rispettivi slot. Essendo messe in parallelo la soluzione presenta il notevole vantaggio di scegliere se utilizzare solo 1 o fino a 4 celle a seconda del tempo di utilizzo previsto, evitando quindi di aggiungere peso inutile.

Un'importante criticità di questa soluzione però risulta essere la configurazione del pacco batterie, ossia l'inserimento di esse nell'apposito slot: è importante che le celle abbiano lo stesso voltaggio, con una differenza massima 0.2 Volt fra di esse. Collegate insieme le singole celle tendono a bilanciarsi a una tensione costante, scaricandosi e caricandosi fino a raggiungere un equilibrio. Un'alta differenza di potenziale potrebbe comportare un'elevata quantità di corrente erogata e/o assorbita dalla singola cella che potrebbe portare a un surriscaldamento della cella stessa con gravi conseguenze. Per questo motivo è stato previsto anche un sistema di fusibili, che si occupa dell'interruzione del collegamento superata una certa soglia di corrente.

BATTERIE STILO AA

Si è scelto di integrare l'alimentazione del dispositivo anche attraverso l'utilizzo di batterie stilo per tutte le criticità precedentemente elencate. L'utilizzo delle celle 18650 sebbene porti a prestazioni migliori, risulta essere molto più impegnativo e lascia meno spazio a errori.

Nel caso in cui quindi si preferisca utilizzare un'altra tipologia di batterie, scelta motivata anche dall'urgenza di mettere in opera il dispositivo e l'impossibilità di ricaricarle, è possibile utilizzare le batterie stilo. Attraverso un cambio del modulo batterie è possibile andare ad alimentare il dispositivo attraverso 3 o 6 celle NiMh comunemente conosciute come “batterie Stilo AA”. E' importante però notare come questa tipologia di batterie risulti essere molto meno prestante rispetto alla tipologia precedente: ipotizzando di dover alimentare LED infrarossi con caratteristiche di funzionamento di 2,2V e 0,1A, una batteria Li-ion (3,7 Volt e 3,2Ah) ci permetterà di tenerlo acceso per 53 ore mentre una batteria Stilo NiMH (1,5v 1,5Ah) solo 11.

Materiale	STILO AA	18650
Peso	23 g	50 g
Tensione	1.3 V	3.7 V
Capacità	2.4 Ah	3.2 Ah
Energia complessiva	3.7 Wh	11.84 Wh
Criticità	capacità minore	Delicate, da proteggere
Costo (x unit)	50 c	3.5 €
Durata con 1 LED (2 V 150 mA)	12.3 h	39.4 h

I ganci di chiusura:

Al fine di garantire una pressione costante fra le due superfici che racchiudono l'o-ring, è stato previsto un sistema di chiusura e tensionamento completamente stampato. Quest'ultimo risulta essere innovativo dal punto di vista del design, permettendo un'applicazione di una forza residua al momento del serraggio, soluzione costruttiva generalmente non attuabile per prodotti realizzati in stampa 3D. Per la progettazione è stata presa ispirazione dal dispositivo pubblicato da Nibb31 sul sito thingverse.

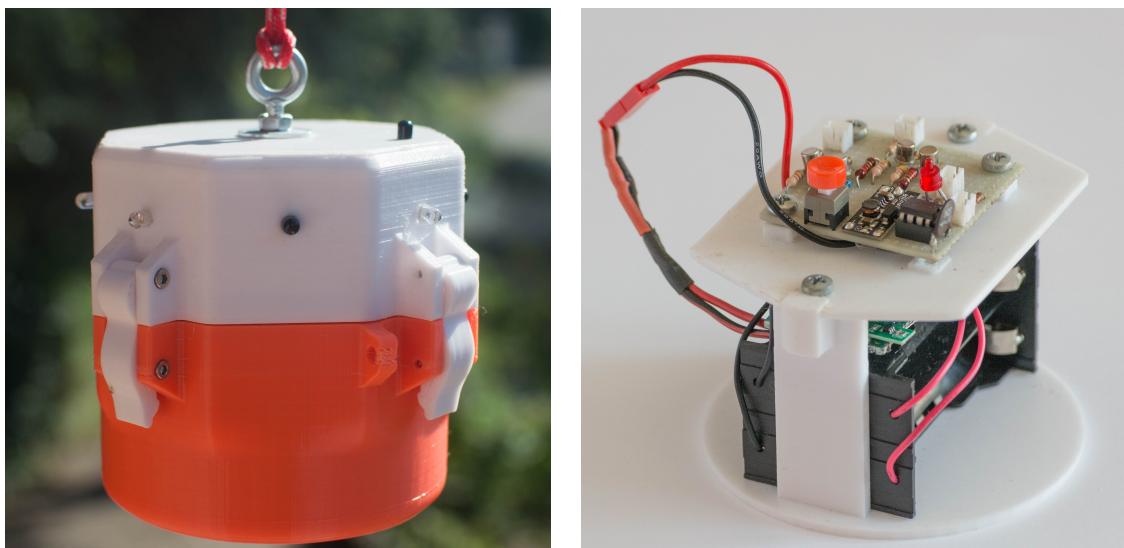


Figura 2.7: Fotografie della realizzazione del prototipo

2.2.3 L'impermeabilità del dispositivo:

Un requisito di progetto di questo dispositivo molto importante da rispettare è la capacità di resistere alle condizioni ambientali avverse. E' molto importante infatti che il dispositivo non si danneggi in caso di pioggia e forte vento e che quindi le componenti interne del dispositivo siano adeguatamente protette.

La copertura fornita dal guscio presenta 3 punti critici in cui l'acqua potrebbe penetrare pericolosamente all'interno del dispositivo:

- dai fori in cui sono disposti il LED: Per ovviare questo problema i fori risultano essere 0.5mm più piccoli ed è previsto un piccolo scasso in prossimità per andare a collocare il silicone;
- dal punto di apertura della calotta superiore, ossia il punto di separazione fra contenitore superiore e inferiore. Per ovviare questo problema è stato utilizzata una guarnizione o-ring che schiacciandosi possa generare una chiusura ermetica;
- dal gancio superiore per la sospensione: per ovviare a questo problema il gancio superiore risulta essere fissato con l'utilizzo di rondelle e frapposte fra di essere dei piccoli anelli o-ring, che come nel punto precedente, deformandosi consentono uno tenuta ermetica.

2.2.4 Schema elettronica dispositivo

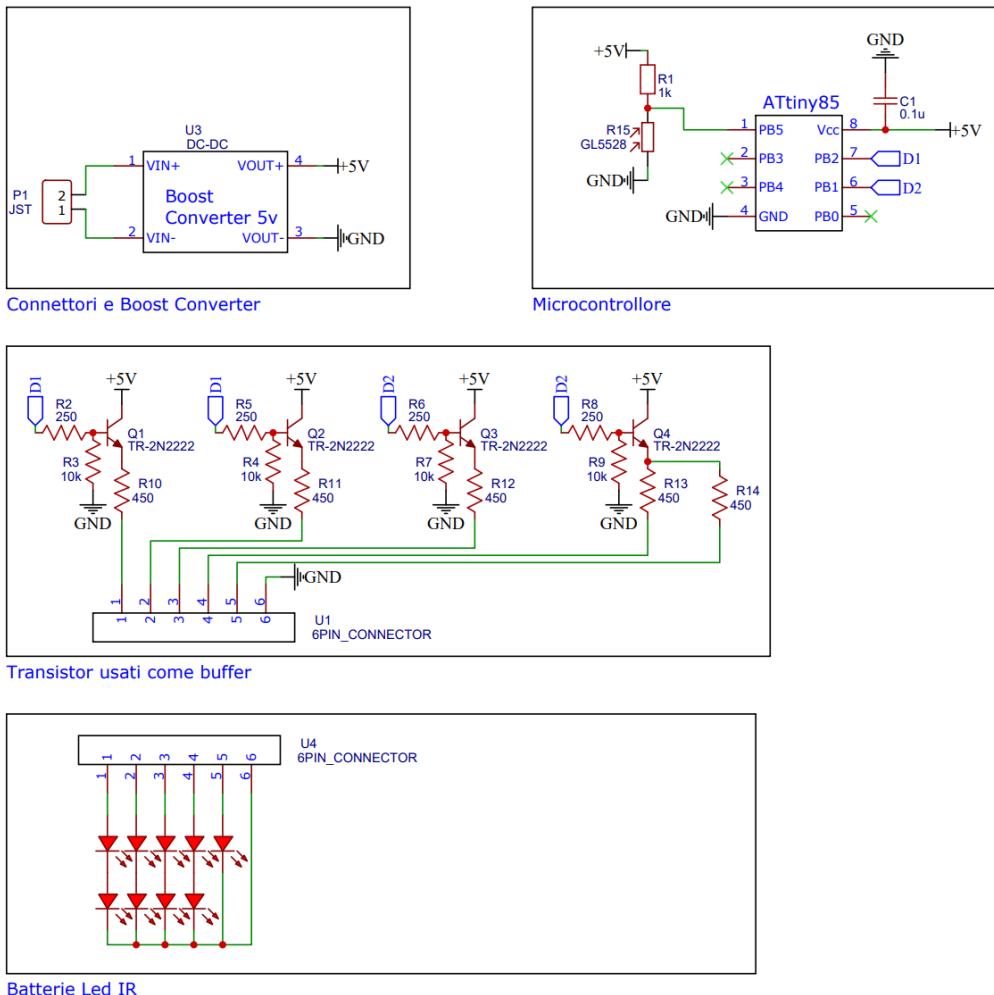


Figura 2.8: Schematico dell'elettronica del prototipo

BREVE DESCRIZIONE DEL CIRCUITO:

Nel circuito mostrato, il pacco batterie 18650 si collega al circuito tramite il connettore P1. Tuttavia, alcune componenti aggiuntive che sono solitamente associate alle batterie, come i fusibili e il BMS (Battery Management System) 1s, non sono raffigurate nel diagramma schematico. La linea di alimentazione viene portata alla tensione costante di 5 V attraverso un DC-DC converter per raggiungere successivamente tutti i componenti. Il microcontrollore ATtiny misura attraverso la fotoresistenza R15 la luminosità dell'ambiente. Nel caso in cui essa sia minore di un valore soglia scelto dall'utente accenderà a intermittenza i pin 7 e 6, corrispondenti alle piste D1 e D2 nello schema. È necessario utilizzare dei transistor BJT usati come buffer per poter accendere e spegnere i LED, in quanto il microcontrollore non riesce a fornire più di 20mah per ogni uscita digitale. I transistor, utilizzati come interruttori, illuminano le serie da 2 LED infrarossi, a eccezione della pista 5 che ne illumina solo 1, ossia il LED posto nella parte superiore.

Microcontrollore

Per quanto concerne il controllo dei cicli di accensione spegnimento è stato deciso l'utilizzo del microcontrollore L'ATtiny85. ATtiny85 è un microcontrollore ad alte prestazioni e a basso costo sviluppato da Microchip Technology, noto per la sua compattezza e la sua versatilità, rendendolo ideale per progetti di elettronica di piccole dimensioni. L'ATtiny85 offre una potenza di calcolo sufficiente per eseguire compiti complessi e dispone di una serie di periferiche integrate, come porte GPIO, timer, convertitori analogico-digitale e molto altro. Come accennato nel paragrafo precedente, l'ATtiny85 misurando il voltaggio nel partitore di tensione fra il resistore e la fotoresistenza è in grado di capire se l'ambiente in cui è collocato risulta essere illuminato o meno. Questa funzione risulta essere fondamentale per andare a contenere i consumi di giorno, quando appunto la luce solare rendere inutile l'accensione del circuito. Inoltre attraverso l'utilizzo della libreria "Tiny-snore" nel caso in cui il microcontrollore rileva la luce del giorno entra nella modalità "sleep" per 10 secondi, in cui consuma circa 4 microAmpere. Questo è un risultato notevole considerando che una comune scheda Arduino consuma 50 mA, circa 10 mila volte di più.

DC-DC converter

È stato necessario utilizzare un modulo di alimentazione a tensione costante per il controllo dei LED IR e per i transistor BJT. La soglia d'attivazione di quest'ultimi infatti è rappresentata in corrente e questo risulta essere particolarmente difficoltosa in quanto il voltaggio della batteria varia a sua volta. Il modulo risulta essere molto piccolo e permette la scelta della tensione d'uscita a 5 v 1A, 8 v e superiori. Sebbene 1 A possa sembrare molto, nel nostro circuito risulta limitativo in quanto non permette l'accensione di molteplici LED contemporaneamente. Il dispositivo presenta una notevole efficienza, pari al 90% circa e basso consumo a vuoto.

2.2.5 Criticità del dispositivo

Sebbene questo prototipo sia stato testato in collaborazione con il Nucleo Elisoccorso di Trento e risulti essere funzionante, sono rimasti ancora alcuni punti che potrebbero essere ampliati e migliorati.

Criticità Elettroniche:

Il sistema presenta molteplici criticità che verranno analizzate e risolte nella quarta e ultima versione.

1. Primo tra tutti il problema della gestione poco efficiente dei LED infrarossi e la conseguente scarsa durata della batteria. Sebbene i LED siano soliti consumare poca corrente, intorno a 20 mA, quelli infrarossi possono arrivare fino a un consumo di 1A. Questo comporta l'utilizzo di elettronica di potenza con il conseguente problema di gestire carichi elevati, costringendo ad adottare componenti meno comuni e con accortezze maggiori. I BJT usati come interruttori hanno una capacità dissipativa di circa 660 mW e risulta essere facile raggiungere temperature elevate.
2. Il sistema realizzato accende 3 LED simultaneamente al fine di illuminare il più possibile in tutte le direzioni. Questa scelta comporta però, un carico energetico maggiore sul dispositivo, sovraccaricando il circuito a tensione costante presente e scaricando precocemente le batterie.
3. Essendo il dispositivo alimentato dal convertitore DC-DC non è quasi mai possibile raggiungere un consumo prossimo a zero da parte del sistema in quanto esso rimane sempre acceso.
4. Il prodotto si compone di diverse unità modulari reperite da venditori terzi e questo sebbene rappresenti una garanzia del loro funzionamento, contribuisce a rendere il dispositivo ingombrante compromettendone la sua portabilità.
5. L'utilizzo dei 4 fusibili risulti essere una scelta corretta in merito a sicurezza nonostante esistano soluzioni in elettronica occupanti minor volume.

Criticità Meccaniche:

1. Da un punto di vista meccanico il design presenta diverse criticità per quanto concerne la deformazione degli elementi di chiusura. Sebbene la guarnizione O-orig contribuisca a una tenuta impermeabile se non subacquea, la pressione derivante dal pezzo fa nascere un momento flettente non indifferente che danneggia le strutture nel tempo. Infatti nonostante il dispositivo una volta stampato e assemblato sembra non presentare alcun tipo di difetto, dopo qualche giorno di cui viene appeso è possibile notare come tutta la struttura di guscio esterno venga deformata con il passare del tempo. Questo fenomeno è

dovuto alla cedevolezza della plastica e al fenomeno di Creep causato da un carico costante sulla plastica. Quest'ultimo fenomeno è particolarmente presente nelle plastiche termoplastiche, come il PETG utilizzato per il guscio esterno, e peggiora con l'aumentare della temperatura. L'applicazione di uno stress provoca lo scorrimento delle catene di polimeri, che a loro volta provoca una deformazione graduale del materiale nel tempo.

2. Se si esegue l'analisi delle linee di forza, andando a verificare quindi circa la distribuzione delle forze e reazioni interne, è possibile vedere che a partire dal gancio superiore tali forze si propagano esteriormente nel guscio, andandosi a riunire sotto al centro di massa. Guardando lo schema è possibile affermare che le linee passano intorno al centro di massa prima di raggiungerlo, scegliendo così la strada meno efficiente possibile. Questo fenomeno influisce negativamente sul Creep, concentrando gli sforzi sui ganci, un punto lontano dal punto di applicazione della forza peso

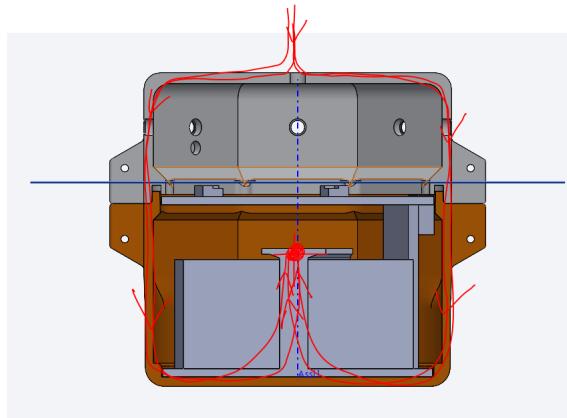


Figura 2.9: Rappresentazione delle linee di forza

3. Il peso della struttura converge sui ganci in plastica e una loro deformazione o rottura porterebbe a un collasso della parte superiore, con la conseguente caduta della parte interna di controllo.

Criticità User Experience:

1. Il dispositivo sebbene si configuri come molto versatile e flessibile, presenta molteplici criticità riguardanti il suo utilizzo. Come accennato in precedenza le batterie 18650 richiedono un'attenzione nel loro utilizzo, che nel caso venga sottovalutata, potrebbe portare conseguenze gravi. Come riportato nel paragrafo 2.2.5, nella messa in parallelo delle celle è fondamentale assicurarsi che le singole batterie siano completamente caricate prima del loro utilizzo. Tuttavia, va sottolineato che un utilizzo scorretto potrebbe danneggiare il fusibile e comportare la disconnessione della singola cella, senza compromettere il funzionamento complessivo dell'intero apparato.

2. La divisione della calotta esterna in due componenti obbliga l'utente ad aprire manualmente il dispositivo per accenderlo, generando alcune problematiche. Innanzitutto, questa modalità compromette l'user-experience, poiché richiede un'azione aggiuntiva e può risultare scomoda o poco intuitiva. Inoltre in ambienti con condizioni atmosferiche piovose, l'esposizione delle componenti elettroniche all'acqua potrebbe causare danni al dispositivo.
3. Riprendendo il punto precedente la calotta esterna si compone di più parti: nella parte superiore sono presenti i diodi a emissione luminosa, mentre quella inferiore si occupa di supportare il carico delle batterie. Le due parti risultano quindi essere collegate da cavi agganciati a connettori terminali. Nel caso in cui si desideri cambiare batterie o controllare il dispositivo, è necessario scollegare i 2 connettori, rendendo l'esperienza meno piacevole e mettendo a rischio l'integrità del dispositivo.

2.3 Proof of Work:

La quarta e ultima versione del dispositivo risulta essere più elegante e avanzata sul piano tecnico e meccanico. Le conoscenze acquisite con lo sviluppo del prototipo precedente vengono consolidate con questo dispositivo, facendo tesoro dei punti potenzialmente critici. Gli elementi elettronici utilizzati quali batterie e LED rimangono i medesimi, mentre la parte di controllo e collegamento subiscono un grande miglioramento.

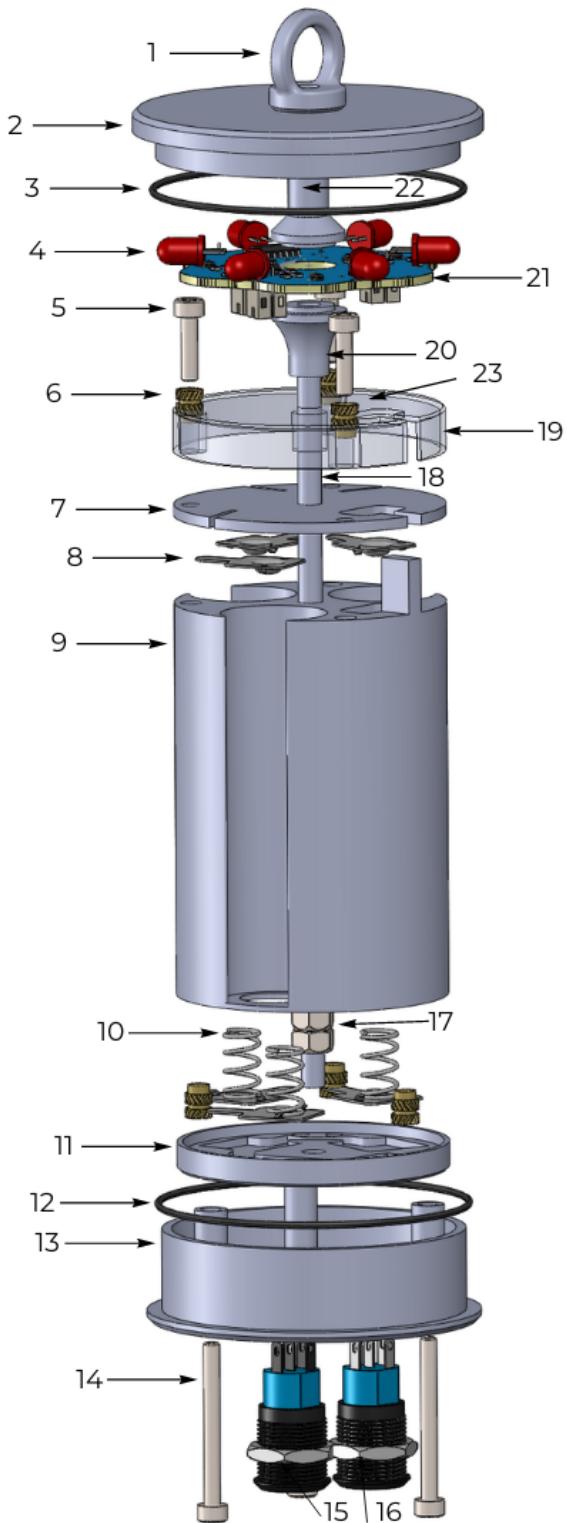


Figura 2.10: Render dei dispositivi luminosi

Il risultato è un dispositivo con dimensioni paragonabili a quelle di un'Iphone 8, impermeabile e con un'elettronica efficiente che permette la messa in opera del dispositivo per 4 giorni con solamente una batteria.

Il design del dispositivo ne permette la sua produzione in serie, senza ricorrere necessariamente a tecnologie produttive additive difficilmente scalabili per la produzione di grandi lotti. Inoltre, l'attenzione al dettaglio nel processo di progettazione assicura un equilibrio ottimale tra funzionalità ed estetica.

2.3.1 Componenti



Billa dei componenti

Numeri	Elemento	N. Componenti	Materiale
1	Occhiello M4	1	Acciaio Inox
2	Tappo Superiore	1	PETG
3	Oring	1	TPU
4	LED IR	6	N.C.
5	Viti M3x15	3	Acciaio Inox
6	Inserti filettati M3	6	Ottone
7	Tappo Inermedio	1	PETG
8	Supporti Batterie	3	Nickel
9	Pacco Batterie	1	PETG
10	Molle Batterie	3	Nickel
11	Supporti Batterie	1	PETG
12	O-ring	1	TPU
13	Tappo inferiore	1	PETG
14	Viti M3x30	3	Acciaio Inox
15	Porta USB C	1	N.C.
16	Pulsante Accensione	1	N.C.
17	Dadi M3 Autobloccanti	4	Acciaio Inox
18	Barra Filettata M3	1	Acciaio Inox
19	Tappo Superiore	1	PETG
20	Supporto PCB	1	PETG
21	PCB	1	N.C.
22	Supporto PCB	1	PETG
23	BMS	3	N.C.

2.3.2 Montaggio e messa in opera del dispositivo

Il dispositivo differisce dalla sua precedente versione in quanto sebbene la messa in opera di esso risulti essere più lunga e laboriosa, il successivo utilizzo risulta essere immediato e semplice. In fase di montaggio è necessario assemblare la parte di pacco batterie, composta dagli elementi 5-6-7-8-9-10-11 e successivamente collegare i cavi necessari attraverso gli appositi connettori. È possibile sigillare il dispositivo in modo da renderlo impermeabile montando prima la parte superiore composta da 1-2-17, infilando il tubo in PMMA (non riportato nell'esploso) e chiudendo ermeticamente attraverso le viti 14 poste inferiormente. Quando il dispositivo è completamente montato è possibile accenderlo e spegnerlo attraverso il pulsante 15 e ricaricarlo attraverso la porta 16. Nei primi 5 secondi dell'accensione la scheda lampeggerà un numero di volte proporzionale allo stato della carica complessiva.

La soglia del crepuscolare può essere regolata mediante il trimmer disponibile sulla scheda elettronica; è sufficiente utilizzare un cacciavite per definire il livello minimo

di luminosità richiesta affinché la luce si attivi. È possibile regolare l'intensità di corrente dei LED IR scegliendo un'apposita resistenza Riset presente sul retro della scheda. La formula è $I_{LED} = \frac{1800V}{R_{ISET}}$.

Se si desidera personalizzare ulteriormente il processo di accensione e spegnimento dei LED IR, è possibile riprogrammare la scheda tramite i pin ISP appositamente designati sulla stessa.

2.3.3 Risoluzione delle criticità meccaniche:

Rispetto alla versione precedente questa nuova progettazione ha apportato notevoli migliorie:

1. per quanto riguarda l'ingombro il dispositivo risulta essere molto più compatto e portatile: con un diametro del tubo esterno di 60mm e grazie all'ottimizzazione dei componenti, risulta essere perfetto per applicazioni in montagna dove è importante risparmiare spazio e peso;
2. il gancio superiore, in precedenza collegato solamente alla calotta superiore, ora sostiene completamente tutto il contenuto. La sua barra filettata infatti è molto più lunga e sostiene tutto il peso inferiore attraverso una rondella presente sotto il pacco batteria. Le linee di forza così risultano essere ottimali, in quanto non subiscono nessuna variazione di direzione e arrivano nel percorso più breve possibile al centro di massa;
3. la nuova versione del dispositivo si distingue per la sua notevole impermeabilità, a differenza della precedente, grazie all'assenza di elementi sporgenti come i diodi LED. Ciò contribuisce a creare una superficie più omogenea e priva di punti deboli, riducendo significativamente il rischio di infiltrazioni d'acqua o umidità che potrebbero danneggiare le parti interne del dispositivo. Inoltre questa copertura fornisce una maggiore protezione contro eventuali urti accidentali, aiutando a preservare l'integrità e la durata del dispositivo nel tempo.

2.3.4 Risoluzione delle criticità user-experience:

Le criticità riscontrate nel prototipo precedente sono state totalmente risolte nello sviluppo di questo nuovo prodotto. L'user experience risulta essere molto più piacevole e semplice, andando a eliminare possibili rischi di manomissione del dispositivo stesso.

1. Come accennato nel paragrafo introduttivo, la problematica relativa alla ricarica delle batterie del dispositivo è stata completamente risolta attraverso l'utilizzo di un circuito di ricarica integrato, alimentabile con una comune presa USB-C. Risulta così possibile andare a ricaricare il sistema con un comune caricabatterie da muro o direttamente con un battery bank o pannello solare sul campo.

2. Il prodotto risulta essere completamente chiuso e impermeabile, presentando solo 1 pulsante esterno per operare sul dispositivo. Attraverso quest'ultimo è possibile attivare il sistema di segnalazione a infrarossi che si accenderà al momento giusto, dopo il tramonto al crepuscolo.
3. E' possibile controllare la ricarica della batteria osservando il comportamento del LED integrato presente sulla scheda elettronica. All'accensione infatti, il diodo luminoso lampeggerà un numero di volte variabile in funzione della tensione della batteria. Se il LED si illumina solo una volta, significa che la batteria è completamente scarica. Il numero di lampeggi aumenterà progressivamente fino a un massimo di 5, indicando che lo stato della batteria completamente carica.

2.3.5 Risoluzione delle criticità elettroniche

L'elettronica per questo progetto risulta essere un aspetto importante se non fondamentale per il corretto funzionamento dell'apparato:

1. Primo tra tutti è stato risolto il problema della ricarica delle batterie includendo il modulo di ricarica IP2312 all'interno della PCB stessa. In questo modo è possibile caricare il dispositivo solamente attraverso una porta usb ed eliminando le problematiche riportate in precedenza.
2. Il problema dovuto all'accensione e spegnimento dei LED a elevato assorbimento è stata risolta utilizzando dei Transistor Mosfet invece che Transistor BJT.
3. Il problema legato alla gestione dei cicli di accensione e spegnimento dei diodi, e il conseguente elevato carico, è stato risolto adottando un approccio di accensione sequenziale dei singoli LED, anziché accenderli contemporaneamente. Questa semplice soluzione permette di ridurre drasticamente la potenza richiesta alle batterie, pur mantenendo la capacità di segnalazione.
4. Come evidenziato nel paragrafo iniziale, i LED possono essere alimentati singolarmente fino a 1A, sfruttando l'alimentazione in PWM fornita dal generatore di corrente.
5. E' possibile determinare lo stato di carica della batteria attraverso l'apposito LED rosso presente nella parte superiore della scheda. Esso lampeggiando da 1 a 5 volte è incaricato di comunicare la percentuale della batteria all'accensione.

2.3.6 Soluzione Elettronica

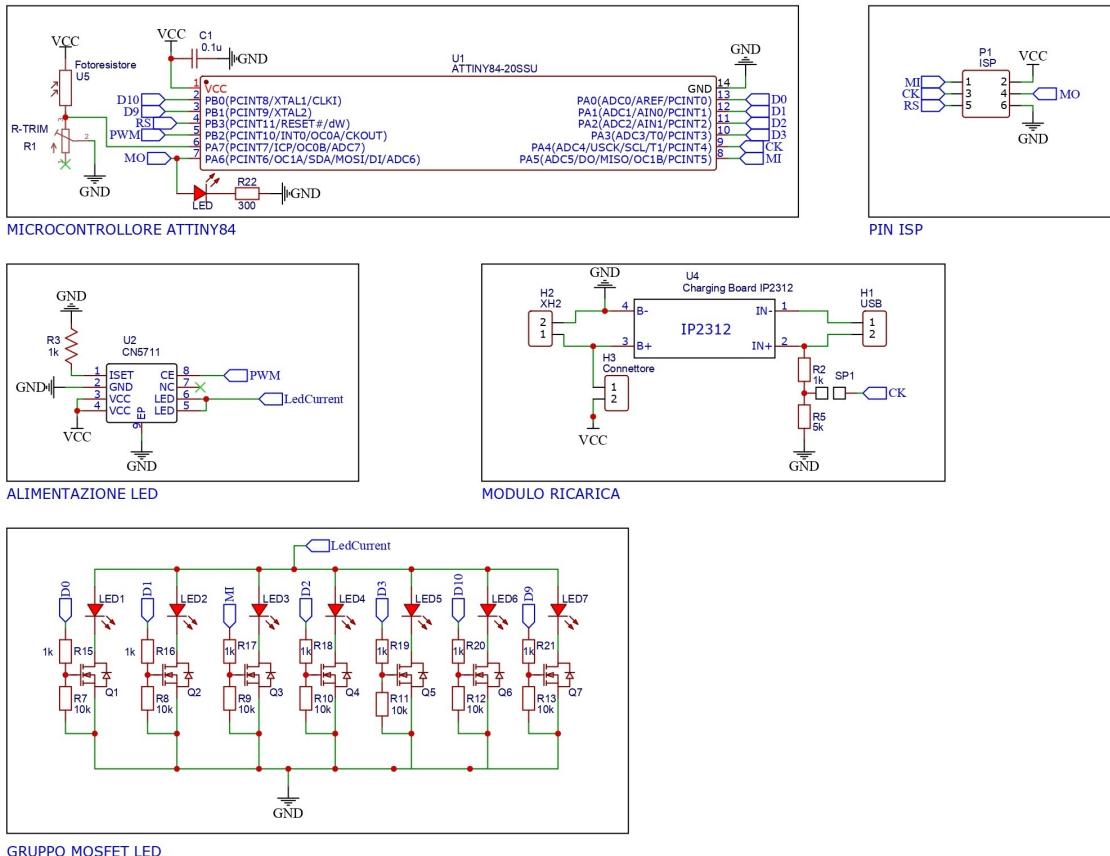


Figura 2.11: Schema elettronico del dispositivo

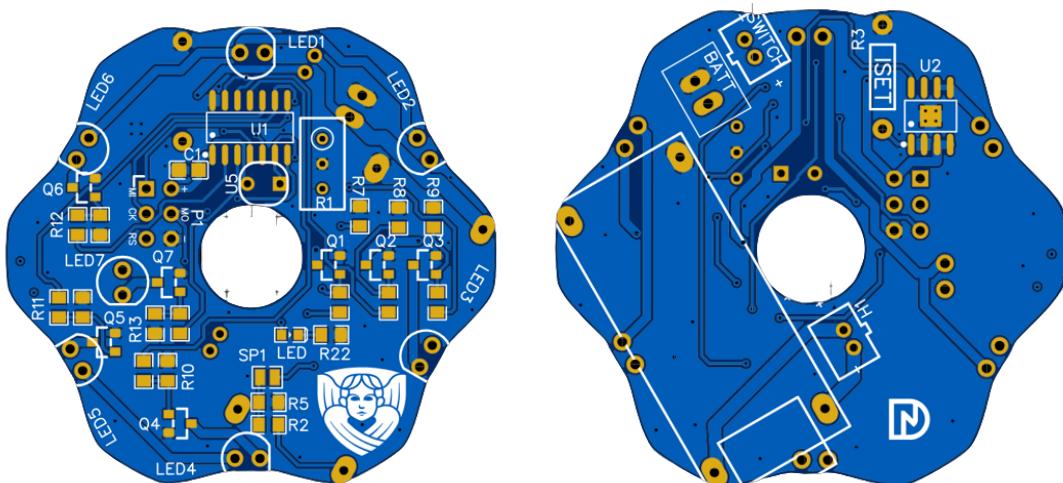


Figura 2.12: Render 2d della PCB prodotta

ID	Name	Footprint	Quantity
1	0.1u	C0805	1
2	Connettore	JST	2
3	XH2	XH2	1
4	LED-0603_R	LED0603_RED	1
5	LED-TH-5mm_R	LED-TH_BD5.0_RED	7
6	ISP	ISP	1
7	2N7002	SOT-23_L2.9-W1.3-P0.95-LS2.4-BR	8
8	R-TRIM	RTRIM3296W	1
9	1k	R0805	10
10	1k	R_AXIAL-0.4	1
11	10k	R0805	8
12	300	R0805	1
13	Shorting	TEST-PAD-SHORT	2
14	ATTINY84-20SSU	SOIC-14_L8.7-W3.9-P1.27-LS6.0-BL	1
15	CN5711	SOIC-8_L5.0-W4.0-P1.27-LS6.0-BL-EP2.0	1
16	Charging Board IP2312	IP2312	1
17	Fotoresistore	SNR2-3.0	1

Tabella 2.3: Distinta dei componenti BOM

Breve descrizione del circuito:

Come il prototipo precedente, anche questo circuito è stato diviso e semplificato in "sotto-circuiti" per migliorarne la leggibilità. Partendo da "*Modulo di ricarica*" abbiamo il connettore "H2" di formato XH2 che collega il pacco batterie alla scheda elettronica. Nella stessa porzione dello schema possiamo trovare il modulo carica-tore Li-ion IP2312, connesso alla tensione di 5 V tramite il connettore H1. Infine al connettore H3 è collegato un interruttore esterno che si occupa dell'alimentazione o esclusione della VCC di tutta la scheda. L'utilizzo dell'interruttore è fondamentale sia per preservare la batteria del dispositivo, sia per permettere la ricarica del pacco batterie senza l'utilizzo di esse allo stesso tempo. Il modulo "*Microcontrollore ATTiny84*" (il cui hardware sarà approfondito in seguito) ha la responsabilità di gestire la misurazione della luce ambientale, l'accensione individuale di ogni LED durante la notte e la verifica/comunicazione dello stato di carica delle batterie. La comunicazione dello stato di carica della batteria avviene attraverso il LED "LED" collegato al pin 7 e la lettura avviene internamente al microcontrollore attraverso il registro specifico. Durante la notte l'ATTiny84 accende ciascun LED a rotazione, seguendo cicli di accensione e spegnimento impostabili dall'utente. Non avendo la capacità di alimentare i LED da solo, vengono utilizzati n-MOSFET in configurazione buffer, come è possibile osservare in "*Gruppo Mosfet LED*". Per quanto concerne l'alimentazione LED, essa è fornita attraverso l'integrato CN5711 nel modulo "*Alimentazione LED*". È possibile scegliere la corrente fornita attraverso il resistore R3

e decidere se comandare i LED in PWM o meno. Infine nello schema possiamo trovare il connettore a 6 pin nel modulo "PIN ISP", utilizzabili per la programmazione del microcontrollore anche quando già saldato sulla scheda.

Microcontrollore

Differentemente dal prototipo precedente si è scelto di utilizzare un ATtiny84. Quest'ultimo è molto simile rispetto al ATtiny85 ma presenta più pin in uscita, precisamente 14 invece di 8. Questa caratteristica è vantaggiosa poiché consente il controllo individuale di ciascun LED, mantenendo al contempo tutti i benefici associati all'utilizzo di un microcontrollore di dimensioni ridotte, come il basso costo e la facilità d'uso, tra gli altri vantaggi. Un'altra differenza è nel package del componente integrato utilizzato. Per questa versione si è scelto di utilizzare il package SOIC, ossia formato per saldatura SMD. Il microcontrollore in questo formato risulta essere molto più piccolo rispetto al corrispettivo THT ed è possibile programmarlo attraverso gli appositi pin ISP presenti. Nonostante il cambiamento dell'AVR utilizzato è possibile continuare a usare gli stessi registri interni per la misurazione del voltaggio dell'alimentazione e per l'utilizzo della modalità ad alto risparmio energetico.

Alimentazione LED:

LED IR sono dispositivi elettronici molto sensibili alla variazione di differenza di potenziale. Essi solitamente lavorano a una tensione compresa fra i 1.5 V e 3 V e dal loro grafico caratteristico Tensione-Corrente è possibile notare l'andamento simile a una funzione esponenziale. E' possibile quindi osservare come a un piccolo incremento di differenza di potenziale corrisponda un pericoloso incremento in corrente mettendo a rischio l'integrità del diodo. I diodi a emissione luminosa (LED) mostrano una resistenza interna che può variare in relazione alla temperatura, il che impedisce di ottenere una configurazione costante nel tempo. Questa variazione termica influisce sulla corrente che attraversa il LED e, di conseguenza, sulla sua luminosità, rendendo difficile mantenere una stabilità nelle prestazioni luminose. Per affrontare questa problematica e garantire un funzionamento coerente e affidabile dei LED per applicazioni di illuminazione, vengono comunemente impiegati dei dispositivi appositi noti come "LED driver". Tali chip sono progettati per regolare la corrente che alimenta i LED in modo da mantenere una luminosità costante, indipendentemente dalle variazioni di temperatura. L'uso dei LED driver permette quindi di ottenere un'illuminazione uniforme e prevedibile, contribuendo a migliorare l'efficienza e l'affidabilità dell'intero sistema illuminante.

Per quanto concerne l'alimentazione dei LED IR si è optato per l'integrato CN5711. Quest'ultimo è uno dei LED driver più utilizzati in sistemi embedded, grazie le sue dimensioni ridotte e la capacità di produrre 1.5A in corrente costante. L'impiego di questo componente integrato si rivela ottimale per il presente progetto poiché elimina la necessità di inserire una resistenza in serie al diodo luminoso. Inoltre, offre la possibilità di controllare l'accensione e lo spegnimento mediante un

segna logico PWM, fornendo una gestione flessibile dell'illuminazione. Nel caso in cui fosse necessario aggiungere una resistenza in serie a ogni LED, sarebbe indispensabile utilizzare una resistenza piuttosto grande, in quanto la potenza che attraversa il circuito potrebbe raggiungere livelli notevoli, anche oltre 1 watt, in particolare con specifiche configurazioni.

Caricatore Li-ion

Come accennato precedentemente, è possibile caricare il dispositivo a illuminazione infrarossa direttamente utilizzando la porta USB integrata. Questa funzione è resa possibile grazie al circuito integrato IP2312, modulo cinese famoso utilizzato per la ricarica di batterie Li-ion. Questo integrato si differenzia da prodotti analoghi per la sua alta efficienza, in quanto utilizza componenti quali solenoidi e condensatori per immagazzinare l'energia in eccesso, rispetto a chip come TP4056 solitamente utilizzati che la dissipano. Questi ultimi sono circuiti funzionanti attraverso l'utilizzo di una resistenza variabile che crea una differenza di potenziale tale da garantire la tensione ottimale per la carica. Sebbene questa soluzione richieda meno componenti, presenta dei problemi in merito alla capacità di potenza di ricarica e di dissipazione del calore. Esso infatti carica fino a 1 A in corrente continua disperdendo calore in maniera importante, costringendo a prendere precauzioni anche a livello di dissipazione.

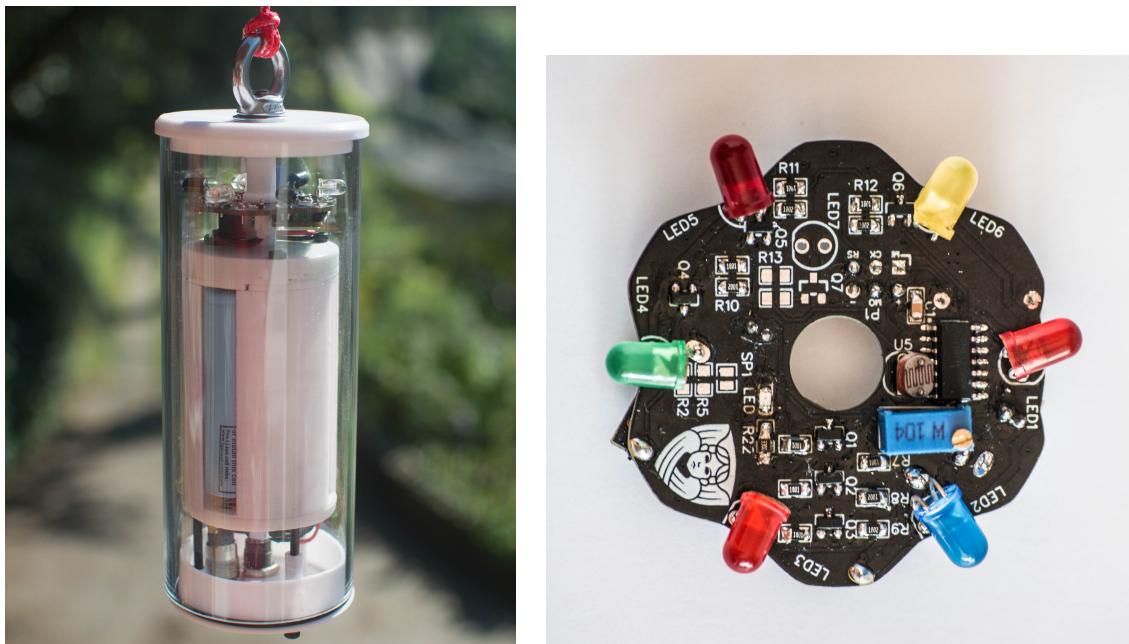


Figura 2.13: Fotografie della realizzazione del prototipo

2.3.7 Programmazione del dispositivo

Come descritto nelle sezioni precedenti, il microcontrollore ATtiny84 è responsabile delle operazioni di calcolo e computazionali all'interno della scheda. È importante notare che è possibile programmare completamente il microcontrollore anche dopo che è stato saldato sulla scheda, utilizzando i pin ISP appositamente previsti [Figura 2.12](#). La programmazione della scheda è stata effettuata utilizzando un Arduino Nano come programmatore. Inoltre, è stata realizzata una scheda millefori appositamente progettata per semplificare la connessione dei pin specifici alla scheda.

Nella stesura del codice, è stata impiegata la libreria "TinySnore", la quale è già inclusa di default nell'ambiente di sviluppo Arduino. Nella scrittura del codice si è fatto uso dei registri specifici del microcontrollore, in quanto funzioni presenti di ArduinoIDE come "digitalWrite" sono eseguite più lentamente.

Qua di seguito vi è riportato il codice stesso

```

1 #define temp 100
2
3 #include "tinysnore.h"
4 class SystemStatus {
5
6     public:
7
8         uint8_t pin_batt;
9
10        SystemStatus(uint8_t apin_batt);
11        SystemStatus();
12        int getVCC();
13        int8_t getTemperatureInternal();
14    };
15
16
17 SystemStatus::SystemStatus(uint8_t apin_batt) : pin_batt(
18     apin_batt) {
19 }
20
21 SystemStatus::SystemStatus() : pin_batt(255) {
22 }
23
24
25
26 int SystemStatus::getVCC() {
27
28     ADMUX = _BV(MUX5) | _BV(MUX0);
29     delay(2);
30     ADCSRA |= _BV(ADSC);
31     while (bit_is_set(ADCSRA, ADSC));
32     uint8_t low = ADCL;
33     unsigned int val = (ADCH << 8) | low;

```

```
34     ADCSRA |= _BV(ADSC);
35     while (bit_is_set(ADCSRA, ADSC));
36     low = ADCL;
37     val = (ADCH << 8) | low;
38
39     return ((long)1024 * 1100) / val;
40 }
41
42
43 int8_t SystemStatus::getTemperatureInternal() {
44
45     ADMUX = (1<<REFS0) | (1<<REFS1) | (1<<MUX3);
46     delay(2);
47     ADCSRA |= bit(ADSC);
48     while (ADCSRA & bit(ADSC));
49     uint8_t low = ADCL;
50     uint8_t high = ADCH;
51     ADCSRA |= bit(ADSC);
52     while (ADCSRA & bit(ADSC));
53     low = ADCL;
54     high = ADCH;
55     int a = (high << 8) | low;
56     return a - 272;
57 }
58
59
60
61 int tensione;
62
63 void setup()// Initiate pin 2 as an output
64 {
65     int carica;
66     DDRA = 0b01101111;
67     DDRB = 0b00000111;
68
69     tensione =SystemStatus().getVCC();
70     if(tensione>4100){
71         carica=6;
72     }
73     else if (tensione>3900){
74         carica=5;
75     }
76     else if (tensione>3600){
77         carica=4;
78     }
79     else if (tensione>=3300){
80         carica=3;
81     }
82     else if (tensione>2900){
83         carica=2;
84     }
85     else if (tensione>2900){
```

```
86     carica=1;
87 }
88 else if (tensione<2650)
89 {
90     for (int i = 0; i < 5; i++)
91     {
92         PORTA = 0b00000000;//ledStatus
93         delay(100);
94         PORTA = 0b01000000;//ledStatus
95         delay(100);
96     }
97 }
98 else{
99     carica=0;
100 }
101 for (int i = 0; i < carica; i++){
102     PORTA = 0b00000000;//ledStatus
103     delay(200);
104     PORTA = 0b01000000;//ledStatus
105     delay(200);
106 }
107 delay(1000);
108 }

109 // the loop function runs over and over again forever
110 void loop()
111 {
112

113     if((analogRead(7)<800)&&(tensione>2650))
114     {
115         for(int i=0; i<2; i++)
116         {
117             PORTB = 0b00000100;
118             PORTA = 0b00000001; //led1
119             delay(temp);
120             PORTA = 0b00000010;//led2
121             delay(temp);
122             PORTA = 0b00100000;//led3
123             delay(temp);
124             PORTA = 0b00000100;//led4
125             delay(temp);
126             PORTA = 0b000001000;//led4
127             delay(temp);
128             PORTB = 0b00000000;//led5
129             PORTB = 0b00000101;//led5
130             delay(temp);
131             PORTB = 0b00000100;//led6
132             delay(temp);
133             PORTB = 0b00000000;//led6
134         }
135         PORTB = 0b00000000;
136         PORTA = 0b01000000;
```

```
138     delay(100);
139     PORTA = 0b00000000; //ledStatus
140     delay(1000);
141 }
142 else if (tensione>2650)
143 {
144     snore(8000);
145     tensione =SystemStatus().getVCC();
146     PORTA = 0b01000000; //ledStatus
147     delay(100);
148     PORTA = 0b00000000; //ledStatus
149     delay(100);
150 }
151 else
152 {
153     snore(8000);
154 }
155 }
```

È possibile notare come all'interno del codice è presente la funzione "getTemperatureInternal" ma non richiamata in fase di esecuzione. In future implementazioni sarà così possibile inserire un ulteriore layer di sicurezza attraverso l'utilizzo di questa funzione.

Capitolo 3

Test e Risultati

3.1 Verifiche di funzionamento

Per quanto concerne le verifiche di funzionamento, sono stati svolti numerosi test al fine di certificare la robustezza del dispositivo. Le verifiche condotte in laboratorio sono state condotte secondo norme utilizzate in ambito commerciale, quali IP68, IP67, procedimenti per certificazioni di resistenza all'acqua e polvere. Nei paragrafi successivi verranno illustrati i risultati e le metodologie utilizzate.

La validazione operativa del dispositivo, è stata eseguita in collaborazione con il nucleo elisoccorso di Trento. Desidero esprimere un sincero ringraziamento per il loro prezioso contributo durante questa fase e per i preziosi consigli forniti per il perfezionamento dei successivi prototipi.

3.2 Verifiche di funzionamento in laboratorio

Durata batteria

Al fine di verificare la durata della batteria del dispositivo sono stati svolti sia calcoli teorici che verifiche pratiche. Come anticipato nei paragrafi precedenti è possibile evidenziare differenti fasi d'utilizzo del dispositivo con rispettivi differenti consumi.

È importante notare come questi ultimi dipendano dall'elettronica utilizzata, mentre la durata di esse dipende strettamente dalla routine selezionata durante la programmazione del dispositivo. Nella tabella [Tabella 3.1](#) sono riportate le misure corrispondenti al dispositivo specifico creato per la fase di testing. I tempi fanno riferimento a un ciclo completo di accensione dei LED IR e viene ripetuto in condizioni di scarsa luminosità. Durante il giorno, quando non è necessario l'utilizzo dei LED IR, il consumo del dispositivo è irrisiono e può essere trascurato.

Utilizzando una sola batteria 18650 con una capacità di 3.2 Ah, è possibile calcolare attraverso la formula [3.2](#) l'autonomia del dispositivo di 40 ore in configurazione notturna. Ipotizzando la durata di una notte estiva di circa 7 ore, è possibile stimare

Fase utilizzo dispositivo	Consumo Corrente	Durata
Accensione LED integrato Rosso	10 mA	400 ms
Accensione LED IR	200 mA	1.5 s
Standby	3 uA	2 s

Tabella 3.1: Consumi e durate delle diverse fasi sul dispositivo

una durata di 4 giorni per singola batteria.

$$DurataBatteria = \frac{CapacitaBatteria}{\sum Durata * ConsumoCorrente} \quad (3.2)$$

In fase di verifica in laboratorio è stato possibile confermare una durata di circa 35 ore per una singola batteria. Il discostamento dal valore teorico è dovuto ad approssimazioni nel calcolo preliminare, tra le quali il non aver considerato il consumo durante il transitorio tra le diverse fasi.

Impermeabilità

Al fine di verificare l'impermeabilità del dispositivo sono stati condotti sia test in laboratorio, sia attraverso la messa in opera dell'apparato in ambiente piovoso.

Nell'ambito dell'ingegneria elettronica e della progettazione di dispositivi, si fa riferimento al concetto di "IP impermeabilità" definito dalla norma ISO 20653 e DIN 60529. L'acronimo "IP" sta per "Ingress Protection" e rappresenta uno standard universalmente riconosciuto per valutare il livello di protezione offerto da un dispositivo o un involucro contro l'ingresso di elementi esterni, siano essi solidi come polvere e detriti, che liquidi come acqua e umidità. La classificazione IP è espressa attraverso due cifre, di seguito è riportata la loro definizione secondo normativa.

ISO 20653	DIN EN 60529	Significato: Protezione contro corpi estranei, polvere e contatto
0	0	Nessuna protezione
1	1	Protetto contro corpi estranei solidi con diametro ≥ 50 mm e contro l'accesso con il dorso della mano
2	2	Protetto contro corpi estranei solidi con diametro $\geq 12,5$ mm e contro l'accesso con un dito
3	3	Protetto contro corpi estranei solidi con diametro $\geq 2,5$ mm e contro l'accesso con un utensile
4	4	Protetto contro corpi estranei solidi con diametro $\geq 1,0$ mm e contro l'accesso con un filo metallico
5K	5	Protetto contro la polvere in quantità nocive e completamente protetto contro il contatto
6K	6	A tenuta di polvere e completamente protetto contro il contatto

Figura 3.1: Tabella significato della prima cifra

Dopo aver condotto i test in laboratorio è stato possibile concludere che il dispositivo risulta essere completamente impermeabile e subacqueo. Non avendolo

ISO 20653	DIN EN 60529	Significato: Protezione contro l'acqua
0	0	Nessuna protezione
1	1	Protezione contro lo sgocciolamento dell'acqua
2	2	Protezione contro la caduta di acqua gocciolante quando la custodia è inclinata fino al 15°
3	3	Protezione contro la caduta di acqua nebulizzata fino a 60° dalla verticale
4	4	Protezione contro gli spruzzi d'acqua da tutti i lati
4K		Protezione contro gli spruzzi d'acqua con aumento della pressione su tutti i lati
5	5	Protezione contro i getti d'acqua (ugello) da qualsiasi angolazione
6	6	Protezione contro i forti getti d'acqua
6K		Protezione contro i forti getti d'acqua ad alta pressione, specifica per i veicoli stradali
7	7	Protezione contro l'immersione temporanea
8	8	Protezione contro l'immersione permanente
	9	Protezione contro l'acqua durante la pulizia ad alta pressione/getto di vapore, specialmente in agricoltura
9K		Protezione contro l'acqua durante la pulizia ad alta pressione/getto di vapore, specialmente per i veicoli stradali

Figura 3.2: Tabella significato della seconda cifra

testato per lunghi periodi d'immersione, possiamo affermare che l'apparato risulta avere una protezione IP67.

3.3 Verifiche di funzionamento sul campo

Come anticipato nel paragrafo introduttivo, grazie alla stretta collaborazione con il Nucleo Elisoccorso Trento è stato possibile verificare il corretto funzionamento dell'apparato. Il processo di verifica ha previsto molteplici incontri, durante i quali sono state sollevate critiche e suggerimenti al fine di migliorare il prodotto.

La fase inaugurale del test del dispositivo è stata effettuata nel corso del 2022, seguita dalla verifica del secondo dispositivo nell'estate del 2023. Le sperimentazioni sono state condotte inizialmente presso la pista di atterraggio dell'aeroporto Caproni; successivamente, sono state trasferite lungo una strada locale data la luminosità eccessiva riscontrata sulla pista.

Risultati

Le foto in [Figura 3.3](#) mostrano la messa in opera del dispositivo. Esse sono state scattate con un telefono e con l'utilizzo dei visori notturni in dotazione al nucleo elisoccorso locale. Il dispositivo risulta essere notevolmente visibile anche a una distanza di 500 m e con l'inquinamento luminoso della città in prossimità dell'aeroporto, non presente in ambienti montani per il quale l'apparato è stato progettato.

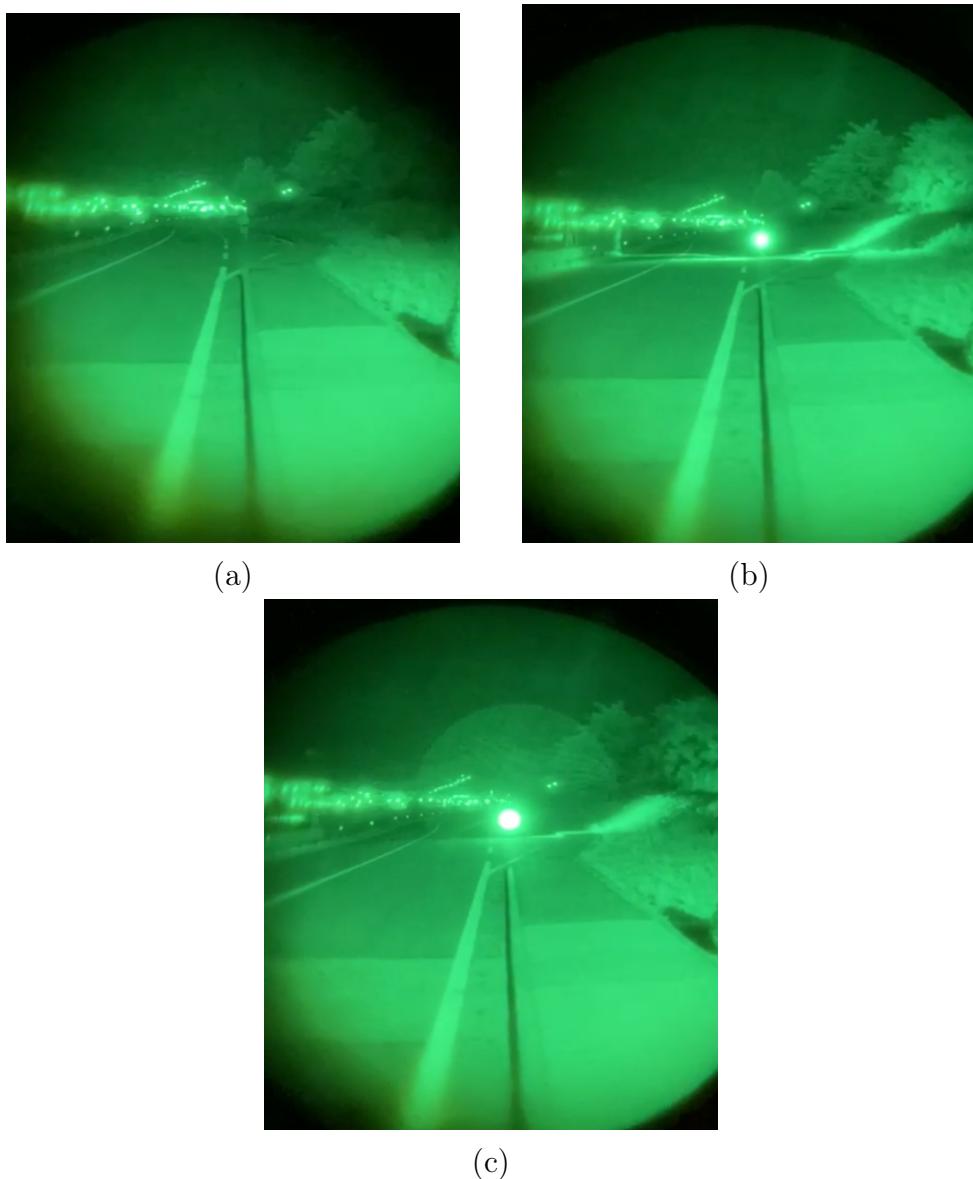


Figura 3.3: Fotografie del funzionamento del dispositivo

3.4 Confronto fra prodotti

Sintetizzando alcune delle caratteristiche dei dispositivi delineate all'interno di questo documento, è possibile creare la tabella comparativa [Tabella 3.2](#). Dall'analisi della tabella emerge chiaramente come nel corso del tempo il prodotto abbia subito miglioramenti continui fino a raggiungere la versione attuale.

Dispositivo	SVIZZERA	PROTOTIPO 1	PROTOTIPO 2
Peso	1100 g	600 g	250 g
Dimensioni	30 cm x 16 cm x 15 cm 20cm		15 cm x 6 cm
Autonomia	Illimitata con il sole	2 giorni per batteria	4 giorni per batteria
Costo	500 €	40 €	50 €
Personalizzazione	0	Capacità di adattare ogni diodo luminoso limitatamente all'alimentazione	Personalizzazione completa: selezione del pattern luminoso, tipologia di LED IR, Batterie

Tabella 3.2: Tabella di confronto tra diversi dispositivi di segnalazione IR

Capitolo 4

Discussione e Conclusione

4.1 Future implementazioni

Sebbene il progetto rappresenti un prodotto completo e ultimato, sono rimasti ancora alcuni punti che potrebbero essere ampliati e migliorati, come di seguito elencato.

1. Nonostante il dispositivo sia stato costruito e progettato con la possibilità di aggiungere un LED di segnalazione superiore, nella costruzione non è stato implementato per mancanza dei processi tecnologici. Infatti affinché il diodo luminoso sia visibile superiormente, è necessario che pure il tappo superiore sia fatto di PMMA. Quest'ultimo è facilmente costruibile disponendo di un piccola CNC con cui incidere una lastra.
2. Il dispositivo presenta il modulo di ricarica IP2312 saldato sopra la scheda. In versioni future al fine di avere una soluzione più elegante, è possibile includere sia il caricatore per 18650 che il rispettivo BMS all'interno della scheda. In particolare lo spazio inferiore risulta essere abbastanza libero da permettere la loro implementazione.

4.2 Conclusioni:

Questa realizzazione rappresenta il frutto di un lungo percorso individuale, durante il quale ho avuto l'opportunità di coltivare una vasta gamma di competenze in campi diversi. Attraverso l'evoluzione di questo progetto, ho acquisito e consolidato conoscenze fondamentali, tra cui la progettazione e la materializzazione tramite stampa 3D, la creazione di circuiti elettronici avanzati e la programmazione di sistemi embedded.

Spero con questo progetto di aver dato il mio contributo alla community slackline per quanto concerne l'ambito della sicurezza e segnalazione aerea, fiducioso che in un futuro altre persone contribuiranno al GIT di questo progetto. In conclusione si

può serenamente affermare che è stato sviluppato un dispositivo in grado di affrontare con successo le problematiche specifiche, caratterizzato da un design leggero, compatto e altamente portatile. In aggiunta, il suo prezzo accessibile ed estremamente conveniente risulta particolarmente adatto per le comunità no-profit interessate alla slackline, dove limitate risorse finanziarie potrebbero ostacolare l'adozione di dispositivi dotati di segnalazione infrarossa.

Bibliografia

- [1] Maria Pia Pedferri Barbara Del Curto, Claudia Marano. *Materiali per il design. Introduzione ai materiali e alle loro proprietà.* 2015.
- [2] Basso. *Dispense elementi di Elettronica.* Unipi.
- [3] Sirio Izzo. L'arte della slackline.
- [4] Marco Raugi. *Lezioni di elettrotecnica.* Pisa University Press, 2013.
- [5] Kurt M. Marshek Robert C. Juvinall. *Fundamentals of Machine Component Design, 7th Edition.* 2019.
- [6] Paul Scherz. *Practical Electronics for Inventors.* Wiley, 2006.