

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

Introduzione

1.1 La slackline

Lo Slacklining è lo sport, o disciplina, che consiste nel bilanciarsi e stare in equilibrio su una fettuccia 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). Lo sport potrebbe essere descritto brevemente come funambolismo svolto su fettucce di nylon/poliestere.

Una particolare declinazione della slackline è l'**Highline**, ossia la slackline portata in altezza. Essa è solitamente montata fra due picchi di una montagna, fra due alberi sopra una vallata o perfino fra due palazzi in città.

1.2 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.

La community Highline negli anni ha adottato delle procedure standard per quanto riguarda la segnalazione delle linee, consapevole di tutte le problematiche presenti. Durante le fasi diurne della giornata molteplici maniche a vento lunghe 2 m sono poste lungo un cordino parallelo alla linea, fornendo così una segnalazione visiva efficace fino a oltre un chilometro di distanza. Tuttavia, durante le fasi notturne, questa tecnica non è altrettanto efficace poiché non visibile. Di notte l'unico mezzo autorizzato al volo è l'elisoccorso che utilizza visori notturni per la navigazione molto sensibili alla luce infrarossa. L'utilizzo di dispositivi di segnalazione in grado di emetterla rappresenta un'ottima soluzione.

1.2.1 I dispositivi di segnalazione svizzeri:

Pochi paesi, come la Svizzera, prevedono già questa tipologia di installazione nella loro normativa locale. Nella "direttiva ostacoli alla navigazione aerea" possiamo trovare che, oltre alla 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. E' possibile consultare il dossier ufficiale dal sito "Ufficio federale dell'aviazione civile UFAC".

I dispositivi di sicurezza utilizzati dalle comunità di slackline svizzere sono luci LED sviluppate da un'azienda locale per una commessa di circa 200 pezzi. Sebbene il prodotto sia commercializzato e certificato, il prezzo di 500 euro risulta essere proibitivo per molte associazioni sportive no-profit e la spesa per questi dispositivi non è giustificabile in paesi europei dove non vige l'obbligo legale del loro impiego. Inoltre gli apparati svizzeri sono dotati di un pannello solare superiore che rappresenta un grande vantaggio per quanto concerne autonomia e versatilità del dispositivo, sacrificando però la portabilità dello stesso. In Svizzera, come in altri paesi, il montaggio di Highline più alte di 100 m necessita di autorizzazioni dalle autorità locali e permessi che costano centinaia di

euro, perciò installazioni di lunga durata sono rare, rendendo la cella fotovoltaica non indispensabile.

1.3 La soluzione Open source:

La presente tesi di laurea si propone di colmare il vuoto esistente nel campo della segnalazione di Highline e installazioni temporanee 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 stabilire le basi 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.

Sviluppo Prodotto

2.1 Studi preliminari

Sfruttando l'ispirazione derivante dal design dei dispositivi di segnalazione svizzeri, è stato possibile progettare e sviluppare un sistema di sicurezza basato su elementi già testati e affidabili, apportando però miglioramenti nei settori precedentemente indicati. Il percorso è durato circa 4 anni, durante i quali sono state realizzate 4 versioni, progressivamente più eleganti e tecnicamente avanzate. Di seguito sono riportate le ultime due soluzioni complete e utilizzabili.

2.2 Proof of concept:

Il prototipo deriva da uno studio molto attento e approfondito svolto nell'estate del 2022 e può essere definito come il primo prototipo completo e testato sul campo. Esso si compone di una scocca esteriore impermeabile che racchiude la parte elettronica al proprio interno, differenziando così il contenitore dal contenuto. La calotta superiore è colorata di bianco e quella inferiore di un arancione acceso, garantendo una segnalazione anche di giorno.

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

2.3 Proof of Work:

La quarta e ultima versione del dispositivo risulta essere più elegante e avanzata a livello tecnico e meccanico. Le conoscenze acquisite con lo sviluppo del prototipo precedente vengono consolidate con questo dispositivo, facendo tesoro dei punti potenzialmente critici. Il risultato è un dispositivo con dimensioni paragonabili a uno smartphone, impermeabile e con un'elettronica efficiente che permette la messa in opera del dispositivo per 4 giorni con una sola batteria.

Il design del dispositivo ne permette la produzione e assemblaggio su grande scala, senza ricorrere a tecnologie produttive additive difficilmente scalabili.

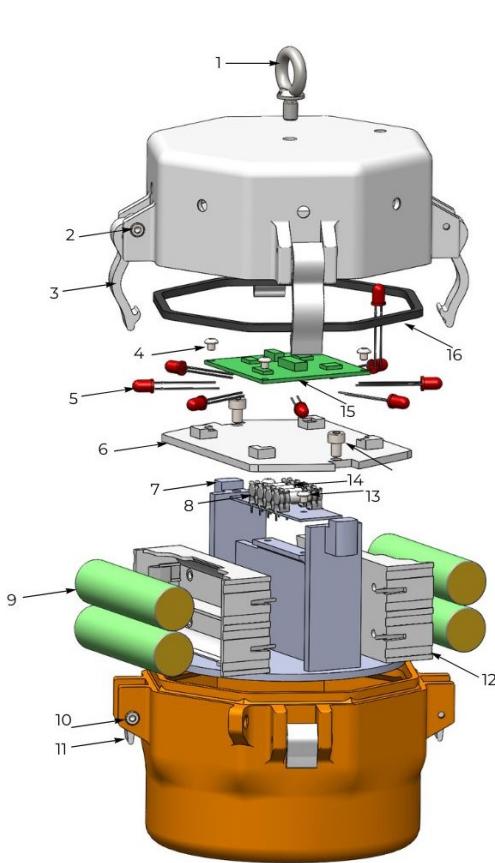


Figura 2.1: Proof of concept

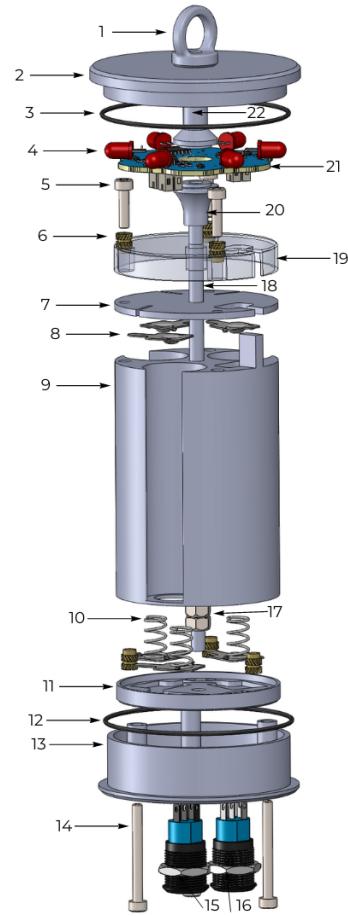


Figura 2.2: Proof of work

2.3.1 Criticitá e migliorie dei due dispositivi

Migliorie in ambito Meccanico-Elettronico:

Prototipo 1	Prototipo 2
Gli sforzi in configurazione chiusa deformano la calotta esterna. Fenomeno accentuato dalla deviazione delle linee di forza lungo il guscio esterno.	Il peso del dispositivo è interamente scaricato sulla barra filettata e quindi al gancio, le linee di forza sono ottimali.
Dispositivo resistente a schizzi.	Dispositivo con chiusura subacquea
I LED a sbalzo vulnerabili e soggetti a facile rottura	Elettronica completamente protetta all'interno del tubo in PMMA
Scheda realizzata su Millefori, non ottimizzata dimensionalmente	Circuito stampato ed assemblato utilizzando tecnologia SMD. Dimensioni drasticamente ridotte.
I LED alimentati con un'alimentazione aspecifica	LED alimentati in corrente utilizzando un LED driver.

Migliorie in ambito User-Experience:

Prototipo 1	Prototipo 2
Tedioso processo di ricarica delle batterie	Presenza della porta usb-C per la ricarica
Per l'azionamento del dispositivo è necessario aprire la calotta superiore, staccare connettori esponendo l'elettronica.	Il dispositivo è completamente sigillato ed è presente solo un pulsante esterno per il suo controllo
Non è possibile verificare lo stato di carica delle batterie.	All'accensione il dispositivo comunica la percentuale della batteria facendo lampeggiare un led integrato da 1 a 5 volte.

Test e Risultati

Dispositivo	SVIZZERA	PROTOTIPO 1	PROTOTIPO 2
Peso	1100 g	600 g	250 g
Dimensioni	30 cm x 20cm	16 cm x 15 cm	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 3.1: Tabella di confronto tra diversi dispositivi di segnalazione IR

3.1 Verifiche di funzionamento

Per quanto concerne le verifiche di funzionamento del dispositivo sono stati svolti numerosi test allo scopo di certificarne la robustezza:

- l'impermeabilità è stata verificata sia in laboratorio, sia con la messa in opera dell'apparato in ambiente piovoso. Attenendosi alla norma ISO 20653 e DIN 60529 è possibile affermare che il dispositivo possiede una protezione IP67;
- per quanto concerne l'autonomia è stato verificato che utilizzando una singola batteria 18650 con una capacità di 3.2 Ah si ottiene una durata del dispositivo di 40 ore in configurazione notturna. Ipotizzando la durata di una notte estiva di circa 7 ore, è possibile stimare un'autonomia di 4 giorni per singola batteria;
- la validazione operativa è stata eseguita in collaborazione con il nucleo elisoccorso di Trento che ha fornito preziosi consigli per il perfezionamento dei successivi

prototipi. Il dispositivo risulta essere notevolmente visibile anche a una distanza di 500 m con l'inquinamento luminoso della città in prossimità dell'aeroporto, non presente in ambienti montani per il quale l'apparato è stato progettato.



Figura 3.1: Fotografie del funzionamento del dispositivo

Discussione e Conclusione

4.1 Future implementazioni

Nonostante il progetto sia un prodotto completo ed utilizzabile, esistono alcuni punti che potrebbero essere ampliati e perfezionati:

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. Affinché il diodo luminoso sia visibile superiormente, è necessario che pure il tappo superiore sia fatto di PMMA, realizzabile usando una 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.

4.2 Conclusioni:

In conclusione si può affermare che è stato sviluppato un dispositivo in grado di affrontare con successo le sfide 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 di sicurezza dotati di segnalazione infrarossa.

Risorse extra e immagini

5.1 Fotografie



(a) Highline nelle Torri del Sella



(b) Dispositivi svizzeri

5.2 Proof of concept:

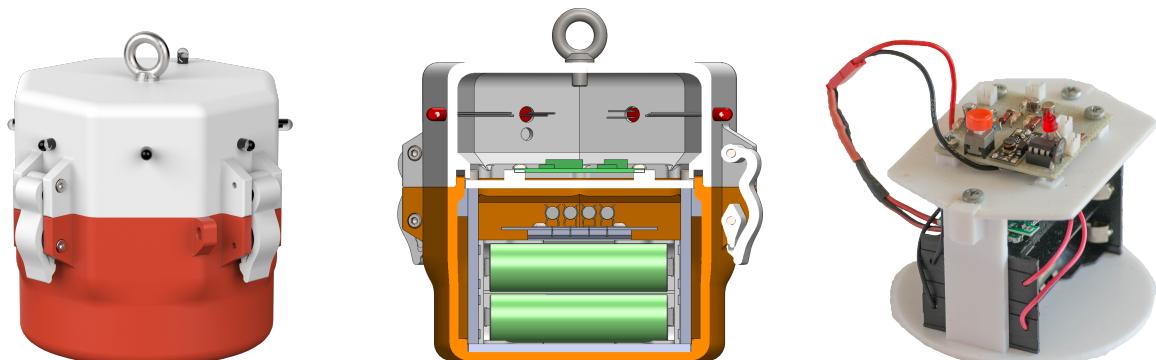


Figura 5.2: Render e fotografie

5.3 Proof of work:



Figura 5.3: Render e fotografie

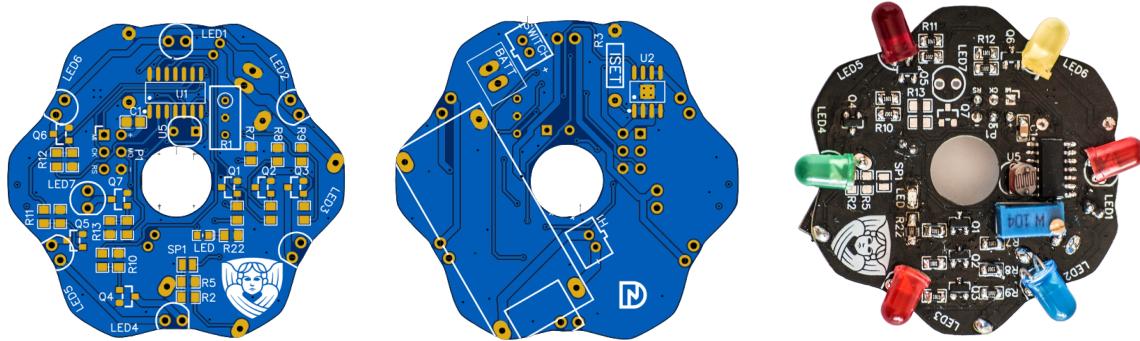


Figura 5.4: Render e fotografie