

Politecnico di Torino



Ingegneria Aerospaziale

Tesi di Laurea Magistrale

**Sviluppo tecnico e operativo di un aerostato
vincolato configurato per il monitoraggio aereo di
eventi pubblici su larga scala**

Relatore

Prof. Paolo Maggiore

Corelatore

Ing. Paolo Pari

Dott. Emanuele Sanguineti

Candidato

Gabriele Marsiglia

Marzo, 2019

”Al mio futuro”

Indice

Ringraziamenti	8
Abstract	9
Introduzione	10
1 Contesto del progetto	12
1.1 DigiSky s.r.l.	12
1.2 Horizon 2020 – MONICA	13
1.3 DigiSky in MONICA	14
1.3.1 Kappa Futur Festival	14
1.3.2 Bonn Putschenz Markt (ottobre 2018)	15
1.4 Requisiti cogenti di alto livello (Normativa EASA-ENAC)	16
1.4.1 Regolamentazione ENAC	17
1.4.2 Regolamentazione EASA	18
1.5 Requisiti	26
2 Il progetto	29
2.1 Modellizzazione del fenomeno fisico e sviluppo del codice	29
2.2 Stima delle grandezze in gioco - Validazione Modello	32
2.2.1 AirStar - White Hawk	32
2.2.2 Aeronord - SF3.0	34
2.2.3 Aeronord - SF3.5	35
2.3 Stima della resistenza	36
3 Design e fase operativa	46
3.1 Baseline	47
3.2 Pallone	48
3.2.1 Test gonfiaggio	48
3.2.2 Operazioni di sgonfiaggio	51
3.2.3 Stoccaggio	51
3.3 Design Ground Station	52
3.3.1 Primo prototipo	52
3.3.2 Secondo prototipo	54
3.3.3 La soluzione	56
3.4 Manuale operativo	59

4	Gestione del rischio	61
4.0.1	Identificazione dei pericoli	61
4.0.2	Mitigazione del rischio	70
4.0.3	Monitoraggio	75
5	Payload	77
5.1	Requisiti tecnici e di missione	77
5.2	Configurazione meteo	78
5.2.1	Datalagger Strato3	78
5.2.2	Batteria LiPo	82
5.2.3	Microcontrollore Atmel SAM R21 - Scenario 1	83
5.2.4	Baia di carico - Scenario 1	88
5.2.5	STM32 B-L072Z-LRWAN1 - Scenario 2	91
5.2.6	Baia di carico - Scenario 2	95
5.2.7	Test di comunicazione	96
5.3	Configurazione video	96
5.3.1	Prima configurazione	96
5.4	Seconda configurazione	100
	Conclusioni	103
A	Richiesta NOTAM	106
B	Modello determinazione carichi	112
C	Modello valutazione resistenza	114
D	Risk assessment	117
E	Test Report Emlid	130

Elenco delle figure

1.1	Dirigibile utilizzato nella vecchia configurazione in volo al Parco Dora, Torino, durante il KFF	15
2.1	Schema fisico (EASA Balloon Rule Book)	31
2.2	White Hawk	33
2.3	Aeronord SF3.0	34
2.4	Aeronord SF3.5- prova di gonfiaggio effettuata in hangar	36
2.5	Schema del corpo libero di un aerostato sferico soggetto ad una corrente ventosa	37
2.6	Confronto eq.di Morrison con dati sperimentali di Schlichting	39
2.7	Andamento dei valori del coefficiente di resistenza dell'aerostato in funzione del numero di Reynolds	41
2.8	Valutazione della Resistenza (Drag) o forza di trascinamento F_D [kg] al variare della velocità U_{wind}	43
2.9	Visualizzazione degli angoli di blowdown, al variare della velocità della corrente	45
3.1	Configurazione operativa di base	46
3.2	Vecchia configurazione del payload	48
3.3	Pallone sgonfio	49
3.4	Metodo di chiusura del bocchettone di gonfiaggio	50
3.5	Test di gonfiaggio effettuato con aria	50
3.6	Bombola elio e disposizione del pallone prima di iniziare il gonfiaggio	51
3.7	Primo prototipo di ground station	53
3.8	Configurazione del primo prototipo con i tiranti	54
3.9	Conformazione del secondo prototipo di ground station	55
3.10	Configurazione con controventatura	56
3.11	Soluzione adottata per la ground station	57
3.12	Dettaglio giunti triassiali base (giallo), top (viola)	58
3.13	Dettaglio giunto assiale	58
3.14	Concept del manuale operativo	60
4.1	Matrice di rischio	67
4.2	Variazione del rischio dei casi analizzati a seguito delle azioni mitigative	75
4.3	Approccio per la decisione sulla gestione dei rischi di sicurezza	76
5.1	Datalogger Strato3, a destra il sensore esterno	79
5.2	Schema di connessione dello Strato3, a destra dettaglio porta UART	80
5.3	Flowchart per interrogare il datalogger	81

5.4	LiPo 3S 4200mAh 35C Silver V2	83
5.5	Microprocessore Atmel SAM R21 Xplained Pro	85
5.6	Panoramica del kit SAM R21 Xplained Pro	86
5.7	Scenario 1 - Comunicazione tramite IEEE 802.15.4	87
5.8	Cablaggio di SAMR21-XPRO e Strato3	88
5.9	Scenario 1 - Vista superiore dell'alloggiamento	88
5.10	Alloggiamento del payload meteo	89
5.11	Scenario 1 - Assieme (sinistra) e posizionamento con il pallone (destra)	91
5.12	Panoramica kit STM32 B-L072Z-LRWAN1	92
5.13	Percorso del segnale RF e connettori	93
5.14	Scenario 2 - Comunicazione tramite protocollo LoRaWAN	93
5.15	Cablaggio tra B-L072Z e Strato3	94
5.16	Vista superiore della baia di carico	95
5.17	Vista laterale in sezione della baia di carico	95
5.18	Scenario 2 - Assieme (sinistra) e posizionamento con il pallone (destra)	96
5.19	Baia di carbonio utilizzata nel vecchio design	97
5.20	CAD prototipale della baia	97
5.21	Radiocomando Taranis X9d plus	98
5.22	Segnale Taranis per il controllo della gimbal	98
5.23	Test da banco con gimbal	99
5.24	Sistema Emlid	100
5.25	Trasmissione video con QGroundControl	101
5.26	Test da banco per Emlid	102

Elenco delle tabelle

1.1	R1-R2 - Requisiti richiesti dalla ATM-05A	18
1.2	R3-R4 - Requisiti estrapolati dalla Regulation(EU) 2018/395	21
1.3	R5-R18 - Requisiti estrapolati dalla Regulation (EU) 2018/395	22
1.4	R19-R22 - Requisiti estrapolati dalla Regulation (EU) 2018/395	23
1.5	R23-R27 - Documenti, manuali e informazioni da trasportare	24
1.6	R28-R31 - Requisiti estrapolati dalla Regulation (EU) 2018/395	25
1.7	Tabella esplicativa dei requisiti	28
2.1	R32 - Requisito indicato nel manuale operativo	32
2.2	Comparazione tra i dati di fabbrica del White Hawks e il codice	33
2.3	Comparazione tra i dati di fabbrica del modello SF3.0 e il codice	35
2.4	Comparazione tra i dati di fabbrica del modello SF3.5 e il codice	35
2.5	Valutazione del Numero di Reynolds al variare della U e della T da cui dipendono ρ e μ , considerando come dimensione caratteristica il diametro del pallone $D=3500$ mm	38
2.6	Valutazione del coefficiente di resistenza C_D al variare della velocità della corrente U e della temperatura T da cui dipende il valore del numero di Reynolds	40
2.7	Valutazione della forza di trascinamento, espressa in [N], agente sul pallone al variare della U e della T da cui dipende il Re	41
2.8	Valutazione della forza di trascinamento, espressa in [kg], agente sul pallone al variare della U e della T da cui dipende il Re	42
2.9	Angoli di blowdown, espressi in $^\circ$, al variare della velocità della corrente e della temperatura	44
4.1	Tabella delle probabilità di rischio di sicurezza	65
4.2	Tabella di gravità del rischio per la sicurezza	66
4.3	HES.5	68
4.4	HEP.4	69
4.5	HOP.2	69
4.6	HB.6	70
4.7	HENV.1	70
4.8	Azioni mitigative predisposte per HES.5	72
4.9	Azioni mitigative predisposte per HEP.4	73
4.10	Azioni mitigative predisposte per HOP.2	73
4.11	Azioni mitigative predisposte per HB.6	73
4.12	Azioni mitigative predisposte per HB.6	74
5.1	RT1-17 - Requisiti tecnici obbligatori e non	78

5.2	Tipologia dei dati registrati dallo Strato3	80
5.3	Procedura test Emlid	101

Ringraziamenti

Diverse persone meritano un ringraziamento per il supporto che mi hanno dato, aiutandomi a concludere questo intenso percorso di studi.

Ringrazio l'Ing. Paolo Pari che mi ha dato la possibilità di conoscere e comprendere le difficoltà e i diversi punti di vista da utilizzare all'interno della realtà aziendale. Ringrazio Emanuele mio tutor e i ragazzi DigiSky per i suggerimenti, i consigli e le giornate lavorative trascorse insieme.

Voglio ringraziare mia mamma per i sacrifici che ha fatto per permettermi di affrontare questa carriera universitaria. Mi hai sempre motivato e spinto a non arrendermi mai per arrivare a questo punto, sostenendomi nelle difficoltà e per questo te ne sono grato. Spero di essere stato e continuare ad essere per te motivo di orgoglio e soddisfazione.

Un pensiero è sempre rivolto a mio nonno, costantemente fonte di ispirazione e di forza.

Ringrazio mio fratello per il sostegno nei momenti bui, per le risate e le emozioni vissute insieme durante questi anni lontani da casa.

A tutti i miei amici e colleghi, conosciuti in questa splendida città, che mi hanno accompagnato in questi anni. Sappiate che ad ognuno di voi è legato un momento importante e spero, nonostante i chilometri che ci separano o che ci separeranno, di poter continuare a contare su di voi.

Per ultima, ma non per importanza, a Francesca, per avermi costantemente supportato, insegnato a credere di più in me stesso e fatto capire di avere le carte in regola per raggiungere questo traguardo.

È a tutti voi che dedico questo risultato. Grazie.

Abstract

La gestione operativa, logistica e la reattività ad incidenti ed emergenze sono una grande sfida per qualsiasi organizzatore di eventi all'aperto, in particolare se ad accesso libero, in cui il numero di persone è stimato solo in termini di capacità. Il progetto europeo MONICA, nell'ambito dei finanziamenti Horizon 2020 promossi dalla Comunità Europea, si pone di dimostrare come le città possano utilizzare le tecnologie IoT per gestire eventi culturali e sportivi di grandi dimensioni fornendo una piattaforma fisica e digitale di supporto all'organizzatore. Il progetto coinvolge diversi partner nell'ambito della ricerca scientifica per la realizzazione di una piattaforma integrata multifunzione, basata su diversi dispositivi, fissi o indossabili, in sito o remoti, connessi alla rete. In questa tesi sono stati interamente analizzati e progettati i comportamenti aerodinamici, la procedura operativa, il supporto meccanico e l'analisi del rischio per l'utilizzo di un supporto aereo vincolato integrabile in un complesso sistema di monitoraggio come quello proposto da MONICA, mediante un punto di osservazione rialzato per la raccolta di dati video e la raccolta dati da sensori ambientali. Nel dettaglio, sono state analizzate le norme nazionali e internazionali emanate da ENAC ed EASA, ricavando i requisiti di alto livello legislativo. Il passo successivo ha visto nascere il progetto meccanico di una possibile ground station di controllo e gestione a terra del payload (sensoristico) del pallone aerostatico, le cui caratteristiche di base sono emerse in seguito ad uno studio del comportamento aerodinamico. Particolare accento è stato posto sulla gestione in sicurezza delle operazioni, argomento di alta priorità nell'ambito delle operazioni aeronautiche. Sono infine riportati i risultati dei test sperimentali di laboratorio e delle dimostrazioni di casi funzionali validati durante eventi pubblici promossi da diverse città europee affiliate a MONICA. Questo lavoro, considerando i continui progressi dell'ambiente IoT, rappresenta un primo passo per la realizzazione di un sistema di monitoraggio alternativo, che può essere ulteriormente testato nei successivi eventi programmati per monitorare e valutare le performances e applicato in diversi ambiti.

Introduzione

Obiettivo del progetto MONICA è fornire una dimostrazione su larga scala di molteplici applicazioni, nuove o già esistenti, di tecnologie Internet of Things (IoT), letteralmente "Internet delle cose", per una migliore qualità della vita e per migliorare la gestione sugli effetti ambientali e di sicurezza associate agli eventi che si svolgono nei centri urbani o in ampi spazi aperti. L'IoT è la rete di dispositivi fisici, veicoli UAV (Unmanned Aerial Vehicle) e altri dispositivi elettronici, software, i sensori e la connettività che consente a questi oggetti la connessione, la raccolta e lo scambio di dati. L'IoT porta l'estensione della connettività Internet oltre i dispositivi standard, come desktop, laptop, smartphone e tablet, a qualsiasi tipo di devices fisici e oggetti quotidiani. Integrati con la tecnologia, questi dispositivi possono comunicare e interagire su Internet e possono essere monitorati e controllati da remoto. Internet applicato agli oggetti quotidiani è una realtà che ha un notevole impatto sulla vita di tutti, tanto più marcata con l'avanzamento del progresso tecnologico. Questa tesi si inserisce all'interno del progetto MONICA H2020, proponendosi di sviluppare uno strumento di supporto aereo che permetta, oltre alla raccolta di dati ambientali, la video sorveglianza di grandi aree soggette ad imponenti afflussi di persone al fine di garantirne la sicurezza e gestire le eventuali emergenze. Questa prototipazione abbraccia diversi aspetti.

In ambito legislativo, sono stati edulcorati dalle normative redatte da ENAC e EASA dei requisiti cogenti di alto livello che garantiscono l'aeronavigabilità del sistema e le procedure da adottare in casi di emergenza.

Tramite l'utilizzo di Matlab, è stato modellizzato il fenomeno fisico, stimate le forze in gioco confrontando i valori ottenuti con modelli di aerostato già esistenti sul mercato e valutata la forza di trascinamento generata da un eventuale corrente ventosa e la relativa escursione patita.

Lo studio delle caratteristiche dell'aerostato e della risposta ai fenomeni atmosferici e aerodinamici ha portato alla selezione e all'acquisto di un pallone aerostatico.

Sono stati anche predisposti diversi prototipi di "ground station" per rendere più accessibili le operazioni di ormeggio del pallone e di manutenzione del payload per agevolare le operazioni, si è realizzata interamente, dalla fase di design fino alla stampa 3D prototipale, una baia di carico in cui collocare le varie configurazioni di payload ideate per il monitoraggio, con un'elevata modularità di imbarcabilità sull'aerostato.

Al fine di migliorare ulteriormente la gestione operativa e la qualità del servizio è stata anche posta particolare attenzione alla sicurezza intesa nella duplice accezione sia di "safety", quale forma di tutela dell'incolumità delle persone coinvolte nelle operazioni aeronautiche, che di "security", quale forma di prevenzione e di neutralizzazione di atti di interferenza illecita che possono essere messi in atto nei confronti del sistema di aviazione civile, effettuando un'analisi del rischio basata, in parte,

sull'esperienza pregressa.

È stato anche redatto un manuale operativo che riassume tutte le procedure operative, l'equipaggiamento e la logistica per poter utilizzare al meglio questo strumento. La configurazione finale della struttura, della baia di carico e le modalità operative sono state scelte in base ad un'analisi costi-efficienza. Questo approccio ha permesso di identificare una soluzione che, oltre a garantire i necessari criteri e condizioni di sicurezza, massimizza l'efficienza delle operazioni riducendo i costi.

Capitolo 1

Contesto del progetto

1.1 DigiSky s.r.l.

L'azienda privata DigiSky s.r.l. si propone di fornire soluzioni di semplice utilizzo e a basso costo per il monitoraggio aereo del terreno, con tecnologie applicabili in diversi settori. DigiSky mira a sviluppare soluzioni innovative nel campo del monitoraggio e della fotogrammetria, dalla progettazione alla prototipazione, compreso il servizio completo, "chiavi in mano", nei seguenti settori:

- Servizio integrato per i test in volo di nuove piattaforme avioniche durante le fasi di ricerca e sviluppo o di prototipazione;
- Sistema integrato per la gestione in tempo reale dei dati acquisiti;
- Sistema standardizzato e certificato per l'imbarco rapido di sensori;
- Sorveglianza di impianti;
- Micro-UAV gestiti in sciami, sorveglianza e tecnologie di monitoraggio;
- Servizi e piattaforme integrati per il monitoraggio del terreno aereo a basso costo.

DigiSky ha dieci anni di esperienza in progetti sponsorizzati dalla Commissione Europea. Tra i vari progetti in cui è coinvolta è presente l'Horizon2020-MONICA in cui agisce principalmente come integratrice di sistemi di diverse piattaforme UAV per realizzare missioni di controllo e supporto alla gestione di eventi. In particolare la sfida principale che DigiSky affronterà all'interno del progetto di ricerca europeo sarà l'integrazione hardware e di sistema delle piattaforme UAV al fine di imbarcare e gestire il carico utile dei partner coinvolti nel progetto.

1.2 Horizon 2020 – MONICA

Il progetto MONICA-H2020 si pone di dimostrare come le città possono utilizzare le tecnologie IoT per gestire eventi culturali e sportivi all'aperto di grandi dimensioni in termini di controllo ambientale. Basandosi su diversi dispositivi come braccialetti intelligenti, videocamere, altoparlanti, telefoni cellulari e occhiali intelligenti, MONICA sarà in grado di offrire un insieme di applicazioni per servizi urbani avanzati, che inizialmente sono stati testati in diverse città europee come Torino, Bonn, Copenhagen, Amburgo e Lione, coinvolgendo oltre 100.000 applicazioni utenti e oltre 20 partner. Tra i partner principali figura il Fraunhofer Institute for Applied Information Technology (FIT) che ricopre il ruolo di Leader e la città di Torino.

La gestione di incidenti e emergenze improvvise e imprevedibili propone una sfida a qualsiasi organizzatore di grandi eventi all'aperto, in particolare se gratuiti in cui il numero di persone è stimato solo in termini di capacità. Pertanto, l'obiettivo è garantire il monitoraggio, la registrazione e l'analisi dell'ambiente fornendo misure per prevedere e, ove possibile, attenuare le probabilità di eventi potenzialmente pericolosi o imminenti. Oltre che gestire la sicurezza prima, durante e dopo un evento, nel rispetto delle disposizioni e dei diritti sulla privacy personale una serie di applicazioni supporta l'organizzazione dello staff. Il monitoraggio della capacità è utilizzato per prevedere e gestire gli incidenti. MONICA può garantire una comunicazione efficiente tra il personale addetto alla sicurezza, attraverso un'immagine operativa dell'ambiente (interfaccia utente grafica), il personale di sicurezza può monitorare l'evento sulla base di dati della folla in tempo reale (dimensioni, densità), dal centro di controllo allo staff sul campo. I dati campionati saranno di tipo:

- Immagini;
- Video;
- Suono;
- Dati Meteo;
- Logistici;

Tutti i dati saranno inviati ad una piattaforma centralizzata di controllo MONICA, il COP (Common Operational Picture).

Il sistema invia notifiche in caso di attività insolite, elaborate e rilevate dai software integrati che il personale di sicurezza può quindi analizzare e su cui eventualmente intervenire. Le azioni possono anche essere automatizzate, ovvero una guardia giurata, una squadra medica o un dispositivo video possono essere richiamati automaticamente dal sistema per valutare una situazione.

Altre applicazioni riguardano incidenti di sicurezza e protezione, localizzazione ed evacuazione di persone. Per quest'ultimo, il sistema può aiutare a guidare le persone da un incidente a un luogo più sicuro inviando vibrazioni o avvisi visivi tramite braccialetti o smartphone forniti come gadget dell'evento. Le informazioni vengono scambiate tramite dispositivi IoT abilitati all'evento. Questi possono essere indossati

(braccialetti intelligenti, occhiali), mobili (smartphone, aerostati) o fissi (videocamere).

In MONICA, gli scambi di informazioni sono gestiti da una piattaforma basata su cloud con sistemi di controllo che monitorano i dati raccolti ed eseguono azioni automatizzate basate sulla modellazione del comportamento. La piattaforma comprende anche componenti che analizzano i dati e rilevano gli incidenti critici, supportando gli operatori nel valutare la situazione e prendere decisioni.

1.3 DigiSky in MONICA

1.3.1 Kappa Futur Festival

Il 7 Luglio 2018, DigiSky ha partecipato all'evento pilota Kappa Futur Festival, un evento organizzato dalla società MOVEMENT Torino Music Festival in collaborazione con la città di Torino ed indirizzato agli amanti della musica elettronica. Come molti degli eventi pilota definiti dal progetto MONICA, la piattaforma sviluppata dai partner del progetto è stata utilizzata per verificare e monitorare aspetti legati alla sicurezza dell'evento e dell'inquinamento acustico. Durante il KFF si svolgono una serie di concerti pomeridiani e serali su diversi palchi predisposti nel Parco Dora, raccogliendo pertanto una grande quantità di persone in uno spazio esteso ed aperto. È stato con successo testato da DigiSky un prototipo di dirigibile vincolato, lungo 5 metri e gonfiato ad elio, comprensivo di una baia di carico contenente alcuni dispositivi funzionali (batterie) e sensoristici (videocamera Sony 4K modello... , microfono ARPA). Il pallone è stato dispiegato fino ad una quota massima di 32 metri, in un'area dedicata alle operazioni che permetteva una linea di vista su due dei palchi dell'evento. Gli obiettivi principali del test comprendevano:

- Test delle procedure operative definite;
- Test di ripresa video con salvataggio locale mediante videocamera 4K;
- Test di rilevamento audio per ARPA;

I test sono stati condotti nelle sole ore di luce, nonostante l'evento si protraesse per lo più nelle ore serali e notturne. Il KFF è stato uno dei primi eventi pilota del progetto MONICA e DigiSky è riuscita ad essere prontamente presente per sperimentare la configurazione preliminare progettata.



Figura 1.1: Dirigibile utilizzato nella vecchia configurazione in volo al Parco Dora, Torino, durante il KFF

1.3.2 Bonn Putschenz Markt (ottobre 2018)

La seconda missione che è stata condotta nell'ambito del progetto, ha visto la piattaforma aerostatica dispiegata nei cieli tedeschi di Bonn, durante la famosa fiera Pützchens Markt, svoltasi nel mese di ottobre. L'evento è promosso ed organizzato dalla città di Bonn (City of Bonn) e consiste in una serie di giornate in cui il centro del paese diventa sede di alcune spettacolari giostre e numerose bancarelle gastronomiche di cucina tipica tedesca. In Germania sono state testate e verificate:

- La precedente configurazione video già testata al KFF;
- Le procedure operative aggiornate;
- Le procedure inerenti alla logistica di una campagna dimostrativa e di test all'estero;

Nell'ambito di una singola giornata si sono svolti i test, dai quali sono emersi diversi problemi che la nuova configurazione in studio tenterà di risolvere. Tutte le considerazioni riportate sono state fatte analizzando i test report interni redatti successivamente alle due missioni descritte alle quali è seguito un lungo periodo di fermo per la definizione e l'implementazione di una configurazione più funzionale che si esporrà nei successivi capitoli.

1.4 Requisiti cogenti di alto livello (Normativa EASA-ENAC)

L'European Air Safety Agency o EASA è un'agenzia dell'Unione Europea istituita nel 2002 cui sono demandate competenze di carattere normativo ed esecutivo nel campo della sicurezza aerea. L'agenzia è competente per la sicurezza e gli altri relativi aspetti alla progettazione, produzione, manutenzione e operazioni di prodotti aeronautici, alla produzione e alla manutenzione di detti prodotti, al personale e alle organizzazioni che partecipano alle operazioni di volo degli aeromobili. I suoi compiti di natura regolamentare vengono svolti attraverso la predisposizione di norme tecniche.

Le attività di safety prevedono la certificazione e il controllo sulle condizioni di sicurezza degli aeromobili e degli aeroporti nonché la valutazione dell'idoneità degli operatori aerei, del personale di volo, del personale tecnico e di quello addetto alla manutenzione. Nelle attività di safety trovano attuazione i programmi di sorveglianza degli aeromobili, delle organizzazioni certificate, degli aeroporti, dei servizi di navigazione aerea nonché i programmi nazionali e internazionali sui vettori aerei che, attraverso ispezioni di rampa, monitorano le condizioni di efficienza degli aeromobili in transito sugli aeroporti e forniscono i dati di base per l'applicazione del Regolamento europeo del divieto operativo (c.d. "EU Safety List") delle compagnie aeree che non soddisfano gli standard di sicurezza comunitari.

L'ENAC (Ente Nazionale Aviazione Civile) agisce come autorità unica di regolazione tecnica, certificazione, vigilanza e controllo nel settore dell'aviazione civile in Italia nel rispetto dei poteri derivanti dal Codice della Navigazione.

Nell'ambito della security, l'ENAC è l'Autorità responsabile del coordinamento e del monitoraggio dell'attuazione delle norme comuni per la prevenzione degli atti di interferenza illecita nell'aviazione civile. L'ENAC presiede il CISA (Comitato Interministeriale per la Sicurezza del Trasporto Aereo e degli Aeroporti), organo deputato all'elaborazione delle politiche in materia. Inoltre agisce verificando l'attuazione del Programma Nazionale di Sicurezza ed esaminando i Programmi di Sicurezza delle compagnie aeree nazionali ed estere, ma anche provvedendo alla certificazione degli addetti alla sicurezza e dei vari operatori aeroportuali (agenti, handler, istruttori, ispettori), nonché curando i rapporti con l'industria nazionale e internazionale per favorire l'adeguamento dei sistemi di sicurezza alle nuove tecnologie.

L'ENAC rappresenta l'Italia nelle maggiori organizzazioni internazionali dell'aviazione civile, l'ICAO (International Civil Aviation Organization), l'ECAC (European Civil Aviation Conference), l'EASA, EUROCONTROL, con cui intrattiene continui rapporti di confronto e collaborazione.

Il mandato istituzionale dell'ENAC prevede, tra i tanti aspetti presenti anche:

1. la regolamentazione delle procedure dei servizi aeroportuali;
2. l'adozione dei piani di emergenza sugli aeroporti;
3. la raccolta e l'analisi dei dati sugli eventi aeronautici;

-
4. lo sviluppo e l'attuazione dei programmi internazionali e nazionali sulla sicurezza del volo;
 5. la promozione della cultura della sicurezza e del fattore umano in aviazione;

Entrambe le istituzioni garantiscono la sicurezza del volo commerciale, lavoro aereo e qualunque operazione di volo non militare sia durante le operazioni aeronautiche sia a terra. La sicurezza è intesa nella duplice accezione di safety, quale forma di tutela dell'incolumità delle persone coinvolte nelle operazioni aeronautiche, che di security, quale forma di prevenzione e di neutralizzazione di atti di interferenza illecita che possono essere messi in atto nei confronti del sistema di aviazione civile (in aeroporto e a bordo degli aeromobili).

1.4.1 Regolamentazione ENAC

L'attività svolta rientra nel campo descritto dalla Circolare ATM-05A, "Eventi e Attività speciali interessanti il Traffico Aereo" di cui l'ultima modifica è avvenuta il 23.07.2013.

Questa circolare ha lo scopo di definire, per ogni evento o attività speciale i criteri e le procedure per le richieste di pubblicazioni di informazioni aeronautiche da parte dei soggetti interessati e le richieste di emissione di NOTAM.

NOTAM è l'acronimo della dicitura inglese "NOtice To AirMen" e viene utilizzato dai piloti di aeromobili o elicotteri per essere aggiornati sulle ultime informazioni disponibili di un determinato aeroporto, sulla efficienza dei radioaiuti alla navigazione e su tutto quanto possa riguardare un volo, affinché possa considerarsi effettuato in condizioni di sicurezza.

Si applica ad eventi e attività speciali previste nello spazio aereo sovrastante il territorio italiano. Questo progetto ricade nella attività speciale di "innalzamento di palloni o dirigibili vincolati" e necessita dell'istituzione di zone soggette a restrizioni come esposto nel paragrafo 3 della circolare.

Per ottenere la richiesta di emissione NOTAM, la richiesta dovrà essere inoltrata tramite il "Notiziario Speciale" (Allegato A). Questa deve essere presentata almeno 45 giorni prima della data dell'inizio dell'attività purchè l'attività non fori le "superfici di rispetto" degli aeroporti. Tuttavia come espresso nel paragrafo 4 comma 7 : "In assenza di prescrizioni pervenute dall'ente del Servizio Traffico Aereo (ATS) e se l'altezza di innalzamento richiesta non è superiore a 40 metri dal suolo circostante non è necessaria l'emissione del NOTAM e la Direzione Aeroportuale ne informa l'organizzatore".

Qualora l'evento pubblico sia sottoposto a divieto di sorvolo dell'area sarà la D.A., preso atto della richiesta, avvenuta tramite "Modello richiesta NOTAM dalle D.A. per motivi di ordine pubblico e sicurezza" (Allegato C), di definire accuratamente l'area da sottoporre ad interdizione e quindi a volo, e effettuare i necessari coordinamenti con l'Autorità richiedente, con gli enti ATS competenti sullo spazio aereo interessato e, se necessario, con le altre D.A. interessate dall'evento, si dovrà comunque avere una zona soggetta a restrizione, e sarà responsabilità dell'Amministrazione

richiedere tale restrizione. Infine sarà l'organizzatore, a fine dell'attività, a richiedere nel più breve tempo possibile la cancellazione del NOTAM, non essendo più necessario.

Partendo dalla descrizione dei punti salienti della normativa, sono stati formulati dei requisiti legislativi che permettono l'innalzamento del pallone senza disturbare il traffico aereo.

ID.	Descrizione norma	REF.
R1	La richiesta, alla DA competente, di emissione NOTAM deve essere fatta 45 giorni prima della missione nel caso in cui si deve operare in una zona con restrizione di accesso da parte di terzi	ATM-05A
R1	La richiesta, alla DA competente, di emissione NOTAM deve essere fatta 45 giorni prima della missione nel caso in cui la missione viene svolta all'interno di una "superficie di rispetto" di un aeroporto	ATM-05A
R2	Altezza missione minore di 40m e nessuna prescrizione avvenuta dall'ente ATS	ATM-05A

Tabella 1.1: R1-R2 - Requisiti richiesti dalla ATM-05A

1.4.2 Regolamentazione EASA

Il regolamento definito Basic Regulation (regolamento base) è costituito da due regolamenti di secondo livello che ne illustrano le relative modalità attuative. Questi due regolamenti, chiamati Implementation Rules sono costituiti da un articolato e da uno o più documenti chiamati Parts (parti). Nell'articolato vengono definiti il campo di applicazione, gli obiettivi, i periodi di transizione con la normativa vigente e date di entrata in vigore. Le parti, suddivise in due sezioni, illustrano rispettivamente i requisiti che devono essere soddisfatti dai soggetti aeronautici e le procedure che devono essere seguite dalle autorità competenti. Inoltre per ognuna delle Parts, il Direttore Esecutivo dell'EASA pubblica separatamente sotto forma di "Decisions" (Decisioni) notizie esplicative ed informazioni aggiuntive che sono chiamate Acceptable Means of Compliance (metodi accettabili di conformità o AMC), norme non vincolanti adottate dall'agenzia per illustrare i mezzi al fine di stabilire la conformità con il regolamento, e Guidance Materials (GM), che assistono l'utente nel conformarsi ad una regola, utili al richiedente per conformarsi ai requisiti del Regolamento ottenendo così l'approvazione .

Di seguito è stata analizzata la normativa Regulation (EU) 2018/395 dell'08.04.2018, focalizzandosi sugli aspetti che maggiormente interessano questo progetto. Al suo interno sono presenti i regolamenti ufficialmente pubblicati con i relativi mezzi ac-

cettabili di conformità e il materiale di orientamento, compresi gli emendamenti e le Executive Director (ED) decision, adottate finora.

Nel primo capitolo, vengono inizialmente espone delle "cover regulation", le quali non sono altro che consigli forniti in generale a tutti gli operatori che sono coinvolti nelle operazioni con la categoria "balloons".

L'articolo 1 svincola questo progetto di tesi da questo regolamento, come esposto nel paragrafo 2, in quanto ricade nelle operazioni di volo con palloni a gas legati. Tuttavia si è ritenuto opportuno seguire alcune norme dettagliate per le operazioni di volo in modo da poter soddisfare dei requisiti di livello più alto e non avere inconvenienti legislativi per voli all'interno della comunità Europea oltre ad un significativo incremento di efficienza delle operazioni e qualità del servizio.

L'articolo 2 evidenzia le definizioni per la suddivisione delle categorie utilizzate tra cui quella del "pallone a gas legato" inteso come un pallone a gas con un sistema di ancoraggio che fissa continuamente il pallone a un punto fisso durante il funzionamento. Tutte le definizioni applicate successivamente si trovano all'interno dell'Annesso I all'interno della regolamentazione. Si riprendono quelle citate o che verranno utilizzate in seguito:

- "Metodi accettabili di conformità (AMC)": norme non vincolanti adottate dall'Agenzia per illustrare i mezzi per stabilire la conformità al regolamento (CE) n. 216/2008 e alle sue norme di attuazione;
- "pilota in comando": il pilota designato come comandante e incaricato della condotta di sicurezza del volo;
- "membro dell'equipaggio", una persona assegnata da un operatore per svolgere compiti a bordo del pallone o, se le funzioni sono direttamente collegate al funzionamento del pallone, a terra;
- "incidente" (accident): un evento associato all'operazione di un pallone che si svolge tra il momento dell'inizio dell'inflazione del pallone e il momento di completa deflazione del pallone, in cui:
 - a. una persona subisce lesioni gravi o mortali a causa di essere nel pallone o come risultato del contatto diretto con qualsiasi parte del pallone, comprese le parti che si sono staccate dal pallone, ma escludendo eventuali lesioni derivanti da cause naturali o che sono autoinflitti o inflitti da altre persone;
 - b. il pallone subisce danni o cedimenti strutturali che ne influenzano negativamente la resistenza strutturale, le prestazioni o le caratteristiche di volo e richiede una riparazione o sostituzione importante del componente interessato; o
 - c. il pallone è inutilizzabile o è completamente inaccessibile;
- "inconveniente" (incident): un evento diverso da un incidente associato all'operazione di un pallone che incide o potrebbe compromettere la sicurezza del suo funzionamento;

-
- "inconveniente grave": un evento associato all'operazione del pallone che si svolge tra il momento dell'inizio dell'inflazione del pallone e il momento di completa deflazione del pallone, in cui vi era un'alta probabilità di incidente;
 - "fasi critiche del volo": decollo, avvicinamento finale, avvicinamento mancato, atterraggio e qualsiasi altra fase di un volo che il pilota in comando determina come critico per il funzionamento sicuro del pallone;
 - "manuale operativo (AFM)", il documento contenente le limitazioni operative applicabili e approvate, le informazioni relative al pallone;
 - "sito operativo": sito selezionato dal pilota in comando o dall'operatore per operazioni di atterraggio, decollo o carico esterno;
 - "massa del pallone a vuoto": la massa determinata pesando il pallone con tutte le attrezzature installate come specificato nell'AFM;

Nell'annesso II sono indicati i requisiti e le operazioni di base da avere ed eseguire per poter condurre operazioni aeree con un pallone vincolato. Questi si aggiungono ai requisiti già descritti in precedenza ottenendo così un progetto di livello più alto che oltre a rispettare la regolamentazione italiana rispetti anche quella della Comunità Europea.

ID.	Descrizione norma	REF.
R3	L'operatore dimostra la conformità ai requisiti essenziali e ai requisiti del presente regolamento utilizzando metodi accettabili di conformità (AMC)	BOP.BAS.010
R4	I voli introduttivi devono essere operati secondo le regole del volo a vista (VFR) di giorno e sorvegliato per quanto riguarda la loro sicurezza da una persona che è stata nominata dall'organizzazione che effettua i voli introduttivi	BOP.BAS.015

Tabella 1.2: R3-R4 - Requisiti estrapolati dalla Regulation(EU) 2018/395

Come si nota dalle tabelle 1.1 e 1.2 ad ogni norma è associato un riferimento (REF) che indica la sezione della Regulation (EU) 2018/395 dalla quale è stata tratta e un ID che identifica il requisito che soddisfa tale richiesta. Come si vedrà in seguito, è possibile che un singolo requisito può soddisfare più di una richiesta oppure, essendo richieste di alto livello deliberatamente aggiunte, che non sia previsto nessun requisito che possa soddisfarle.

Reazione immediata a un problema di sicurezza

In caso di un problema di sicurezza l'operatore deve attuare le misure di sicurezza stabilite dall'autorità competente attraverso le direttive di aeronavigabilità e altre informazioni obbligatorie emesse dall'Agenzia.

Inoltre l'Annesso II indica le responsabilità del pilota in comando, in quanto esso deve essere responsabile per la sicurezza del pallone e di qualsiasi persona o proprietà trasportata durante le operazioni del pallone, dell'avvio, la continuazione o la cessazione di un volo nell'interesse della sicurezza, assicurare che tutte le procedure operative e le liste di controllo applicabili siano rispettate. Per iniziare un'operazione di volo il pilota in comando deve verificare che:

ID.	Descrizione norma	REF.
R5	il pallone sia aeronavigabile	BOP.BAS.030
-	il pallone sia debitamente registrato	BOP.BAS.030
R6-R7	gli strumenti e le attrezzature necessari per l'esecuzione del volo siano portati a bordo del pallone e siano operativi	BOP.BAS.030
R8	la massa del pallone sia tale che il volo può essere condotto entro i limiti definiti dall'AFM	BOP.BAS.030
R9	tutte le attrezzature e il bagaglio siano caricati e fissati correttamente	BOP.BAS.030

R10	siano rispettati i limiti operativi del pallone come specificato nell'AFM e che non saranno superati in qualsiasi momento durante il volo	BOP.BAS.030
R11-R12	le persone che assistono all'inflazione e alla deflazione della busta abbiano assistito al briefing pre-volo e indossino indumenti protettivi adeguati	BOP.BAS.030
R13	le attrezzature di emergenza pertinenti siano facilmente accessibili per l'uso immediato	BOP.BAS.030
R14- R15	nessuna persona fumi a bordo o nelle immediate vicinanze del pallone	BOP.BAS.030
R16	registrare i dati di utilizzo e tutti i difetti noti o sospetti nel pallone al termine del volo, o serie di voli, nel giornale di bordo del pallone	BOP.BAS.030
R17	in caso di qualsiasi inconveniente grave o incidente che abbia coinvolto il pallone, notificare all'autorità investigativa per la sicurezza del territorio in cui si è verificato l'evento e ai servizi di emergenza di tale Stato, senza indugio, con il mezzo più rapido disponibile	BOP.BAS.030
R18	presentare senza indugio una relazione di un atto di interferenza illecita all'autorità competente e informare l'autorità locale designata dallo Stato nel cui territorio è avvenuta l'interferenza illecita	BOP.BAS.030

Tabella 1.3: R5-R18 - Requisiti estrapolati dalla Regulation (EU) 2018/395

Il pilota in comando non deve eseguire compiti su un pallone in una delle seguenti situazioni:

- i. quando lui è incapace di svolgere le sue funzioni da qualsiasi causa, tra cui lesioni, malattia, farmaci, stanchezza o gli effetti di qualsiasi sostanza psicoattiva, o si sente altrimenti non idoneo;
- ii. se i requisiti medici applicabili non sono soddisfatti.

Ogniqualevolta i membri dell'equipaggio sono coinvolti nel funzionamento del pallone, il pilota in comando, oltre ad assicurare che tutti i membri dell'equipaggio assegnati o direttamente coinvolti nelle operazioni di volo siano adeguatamente addestrati e istruiti, a conoscenza delle regole e delle procedure relative alle loro particolari mansioni e siano consapevoli delle loro responsabilità e del rapporto di tali doveri con il funzionamento del pallone nel suo complesso, deve:

ID.	Descrizione norma	REF.
R19	assicurare che durante le fasi critiche del volo o ogniqualvolta sia ritenuto necessario nell'interesse della sicurezza, tutti i membri dell'equipaggio si trovino nelle loro stazioni assegnate e non svolgano attività diverse da quelle necessarie per il funzionamento in sicurezza del pallone	BOP.BAS.030
R20	non iniziare un volo se un membro dell'equipaggio è incapace di adempiere ai suoi doveri per qualsiasi causa, incluse lesioni, malattia, farmaci, affaticamento o effetti di qualsiasi sostanze psicoattive, o si sente altrimenti inadatto	BOP.BAS.030
R21	non continuare un volo oltre il sito operativo più vicino consentito dalle condizioni atmosferiche quando la capacità di qualsiasi membro dell'equipaggio di svolgere le proprie mansioni è significativamente ridotta a causa di qualunque inconveniente alla persona	BOP.BAS.030
R22	deve utilizzare le ultime liste di controllo (checklist) fornite dal costruttore o dall'operatore. Se i controlli effettuati prima del decollo sono stati interrotti in qualsiasi punto, il pilota in comando deve riavviarli da un punto sicuro prima dell'interruzione	AMC1 BOP.BAS.030 (a)(3)

Tabella 1.4: R19-R22 - Requisiti estrapolati dalla Regulation (EU) 2018/395

Conformità a leggi, regolamenti e procedure (BOP.BAS.045)

Il pilota in comando e tutti gli altri membri dell'equipaggio devono rispettare le leggi, i regolamenti e le procedure degli Stati in cui sono condotte le operazioni ed avere familiarità con le leggi, i regolamenti e le procedure, pertinenti all'esercizio delle sue funzioni, prescritto per le aree da attraversare, i siti operativi da utilizzare e le relative strutture di navigazione aerea .

Documenti, manuali e informazioni da trasportare

Tutti i seguenti documenti, manuali e informazioni come i limiti operativi, le procedure normali, anormali e di emergenza e altre informazioni pertinenti specifiche per le caratteristiche operative del pallone, i dettagli del piano di volo e le eventuali carte

aeronautiche attuali e idonee per l'area del volo previsto, devono essere riportati in ogni missione:

ID.	Descrizione norma	REF.
R23	il certificato di conformità	BOP.BAS.050
R24	l'AFM o documento/i equivalente/i. Si intende il manuale di volo per il pallone o altri documenti contenenti le informazioni necessarie per il funzionamento del pallone entro i termini del suo certificato di aeronavigabilità	BOP.BAS.050
R25	il/i certificato/i di assicurazione responsabilità civile di terzi	BOP.BAS.050
R26	il "diario di bordo del pallone" o documenti equivalenti, ciò vuol dire che le informazioni richieste possono essere registrate in documentazione diversa da un giornale di bordo, come il piano di volo operativo o il registro tecnico del pallone. Il registro di bordo verrà dettagliato in seguito nel manuale operativo	BOP.BAS.050
R27	qualsiasi altra documentazione che possa essere pertinente al volo o richiesta dallo Stato o dagli Stati interessati dal volo, ad esempio, moduli per conformarsi agli obblighi di segnalazione	BOP.BAS.050

Tabella 1.5: R23-R27 - Documenti, manuali e informazioni da trasportare

Quando richiesto dall'autorità competente, il pilota in comando o l'operatore mettono a disposizione di tale autorità la documentazione originale entro il periodo di tempo specificato dall'autorità che non deve essere inferiore a 24 ore.

Il certificato di aeronavigabilità deve essere un normale certificato di aeronavigabilità, un certificato di aeronavigabilità limitato o un permesso di volo rilasciato conformemente ai requisiti di aeronavigabilità applicabili.

Prima di iniziare il volo, il pilota in comando deve avere familiarità con le informazioni meteorologiche e aeronautiche disponibili per il volo previsto che comprende sia una verifica delle previsioni meteo disponibili, sia la pianificazione di una linea di condotta alternativa nell'eventualità che il volo non possa essere completato come previsto (BOP.BAS.130), anche grazie all'ausilio di strumenti, ad esempio anemometro omnidirezionale per valutare la direzione e la velocità del vento. Una volta effettuato il decollo, il pilota in comando può iniziare o continuare un volo VFR solo se le ultime informazioni meteorologiche disponibili indicano che le condizioni

meteorologiche siano pari o superiori ai minimi operativi per un volo VFR e entro i limiti meteorologici specificati nell'AFM.(BOP.BAS.145).

La normativa dà anche un'istruttoria generale per gli strumenti e le attrezzature utilizzati dagli operatori e presenti sul pallone che siano essi espressamente richiesti e obbligatori o non richiesti (Sezione 4 BOP.BAS.300). Questo aspetto verrà trattato in seguito nella stesura del manuale operativo utilizzando gli avvertimenti presenti nella Sezione 2, e gli spunti derivanti dalla Sezione 6 relativa alle procedure operative per i palloni ad uso commerciale. Alla fine del Capitolo 1, nella Sezione 7, sono esposti i criteri per la determinazione e i limiti della massa in modo da soddisfare ciascun requisito richiesto al fine di ottenere la certificazione.

Nella Subpart A del documento sono espresse le Specifiche di certificazione (CS) applicabili a palloni di gas con equipaggio libero non pilotati che operano fino a un'altitudine massima di 500 m sopra la superficie e che ottengono il loro sollevamento da un gas non infiammabile più leggero dell'aria. La Subpart B enuncia tutti i requisiti che devono essere soddisfatti ad ogni combinazione di massa e portanza nelle condizioni operative per le quali è richiesta la certificazione. L'idoneità è mostrata da test su un pallone dello stesso tipo per il quale è richiesta la certificazione o su calcoli basati sui risultati del test e da un'indagine sistematica di ogni combinazione di massa e portanza se la conformità non può essere ragionevolmente dedotta dalle masse indagate.

Per quanto riguarda la Controllabilità, il pallone deve essere controllabile in modo sicuro e manovrabile senza richiedere abilità eccezionali. Le limitazioni operative associate sono stabilite e incluse nel Manuale di volo. I requisiti di resistenza sono specificati in termini di:

ID.	Descrizione norma	REF.
R28-R29	limitazione dei carichi massimi previsti in servizio, tenendo conto dei fattori di carico	CS 31TGB.23
R30-R31	limitazione dei carichi limite moltiplicati per fattori di sicurezza	CS 31TGB.25

Tabella 1.6: R28-R31 - Requisiti estrapolati dalla Regulation (EU) 2018/395

I requisiti di resistenza comprendono i casi di carico in servizio come inflazione volo e ormeggio. I carichi sono determinati e le parti e i componenti sottoposti a particolari sollecitazioni sono progettati in conformità con l'uso previsto e dimensionati in modo tale da non guastarsi sotto carichi ricorrenti.

La continua controllabilità del pallone o altre attenuazioni sono fornite per dare ad ogni membro dell'equipaggio presente nella zona di manovra ogni ragionevole possibilità di sfuggire a lesioni gravi nelle seguenti condizioni di emergenza, quali ad esempio:

- Volo libero potenziale o non intenzionale.

-
- Operazione di terminazione in condizioni di vento che superano i limiti operativi del 50%.
 - Guasto al sistema di cavezza che impedisce la discesa dall'altezza massima di esercizio o da qualsiasi altra altezza se ritenuto più critico;

1.5 Requisiti

Di seguito sono riportati tutti i requisiti con la loro relativa descrizione al fine di rispettare le diverse indicazioni fornite dalle normative.

ID.	Descrizione requisito
R1	La richiesta di emissione NOTAM deve essere eseguita da DigiSky almeno 45 giorni prima se sono coinvolte superfici di avvicinamento aeroportuale
R2	L'altezza massima di innalzamento è di 40 metri
R3	È necessario un manuale di volo che includa i riferimenti alle normative
R4	Il volo è sorvegliato, per tutta la durata della missione da uno o più operatori
R5	Durante il volo deve essere disponibile il certificato di infiammabilità del pallone
R6	Prima del volo deve essere eseguita una verifica di integrità dell'involucro del pallone
R7	Le attrezzature e la loro disposizione è indicata all'interno dell'AFM
R8	La massa del pallone è indicata nell'AFM
R9	L'AFM deve contenere le istruzioni di montaggio della struttura e delle fasi di volo
R10	L'AFM deve contenere i limiti operativi del pallone
R11	Tutti gli operatori che assistono le fasi di inflazione e deflazione del pallone devono essere addestrati (programma di training)

ID.	Descrizione requisito
R12	È necessario effettuare un briefing pre-volo
R13	Le attrezzature di emergenza sono disposte nella zona sterile vicino agli operatori
R14	All'interno della zona sterile deve essere proibito fumare o utilizzare fiamme libere
R15	Dopo ogni missione deve essere redatto un test report entro 1 settimana
R16	In ogni test report, condotto alla fine di una missione, devono essere riportati i dati di utilizzo e gli eventuali difetti noti o presunti riguardanti il pallone
R17	Gli operatori, in caso di qualsiasi inconveniente, sono dotati un telefono con il quale possono contattare le autorità di sicurezza e/o i servizi di emergenza.
R18	In caso di interferenze illecite saranno contattate immediatamente le autorità e in seguito presentata una relazione di "atto di interferenza".
R19	L'AFM contiene le istruzioni operative per tutti i ruoli ricoperti dagli operatori presenti durante le missioni
R20	Se il numero degli operatori è minore di 2 la missione non può essere avviata
R21	Nel caso di riduzione della capacità di svolgere le proprie mansioni da parte di uno degli operatori, la missione viene sospesa temporaneamente o permanentemente.
R22	Il pilota in comando (responsabile delle operazioni) deve essere dotato di checklist per il controllo pre-volo. Se i controlli sono stati interrotti, il pilota potrà ripartire da un "punto sicuro", segnato prima dell'interruzione.
R23	Per certificato di conformità si intende il certificato di infiammabilità fornito dal produttore del pallone e un'autocertificazione fornita da Digisky

ID.	Descrizione requisito
R24	Deve essere elaborato un manuale operativo, AFM, che indica le procedure, le informazioni e i manuali necessari al funzionamento del pallone entro i suoi limiti di aronavigabilità
R25	Se possibile deve essere verificata la disponibilità di un'assicurazione predisposta dell'organizzatore dell'evento per eventuali danni a terzi causati dall'aerostato
R26	Tutti i documenti, i manuali e le informazioni sono incluse in un "diario di bordo" annesso all'AFM
R27	Deve essere disponibile qualsiasi altra documentazione che possa essere pertinente al volo o richiesta dallo Stato o dagli Stati interessati dal volo, ad esempio, moduli per conformarsi agli obblighi di segnalazione
R28	Il carico massimo portato in quota dal pallone deve corrispondere al 70% della forza ascensionale residua
R29	Il carico critico che la fune di ancoraggio deve sopportare è pari al suo carico di rottura diviso un adatto fattore di sicurezza da stimarsi mediante analisi aerodinamica e meccanica
R30	I carichi limite devono essere riportati nel manuale operativo, il carico varia a seconda delle condizioni metereologiche
R31	In caso di condizioni metereologiche avverse o non previste dall'AFM, il pilota in comando deve sospendere temporaneamente o permanentemente la missione

Tabella 1.7: Tabella esplicativa dei requisiti

Capitolo 2

Il progetto

2.1 Modellizzazione del fenomeno fisico e sviluppo del codice

Per avere un'idea delle grandezze di massima che entreranno in gioco all'interno di questo progetto, con l'ausilio di Matlab, è stato prodotto un codice.

Il volo aerostatico si chiama così perché l'aerostato per ottenere la portanza che gli consente di volare non deve muoversi nell'aria come avviene per un aeroplano. Il volo aerostatico si basa sul principio di Archimede che recita: "Un corpo immerso in un fluido riceve una spinta dal basso verso l'alto uguale al peso del fluido spostato". Ciò significa che un aerostato riempito con un gas, in questo caso elio, più leggero dell'aria che lo circonda riceve una spinta ascensionale pari al peso di una quantità di atmosfera pari al suo volume. Se questa spinta è maggiore del peso dell'aerostato esso sale nell'atmosfera.

Il peso del fluido spostato vale:

$$P = m \cdot g; \text{ [N]}$$

dove m è la massa del fluido spostato e g l'accelerazione di gravità ($g = 9.81m/s^2$). Introducendo il concetto di densità, definita come rapporto tra massa e volume del fluido:

$$\rho = \frac{m}{V}; \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

Per cui la spinta di Archimede diventa:

$$S_A = m \cdot g = \rho \cdot V \cdot g; \text{ [N]}$$

dove V è il volume di fluido spostato che corrisponde al volume del corpo immerso.

Dividendo la Spinta di Archimede per l'accelerazione di gravità si ottiene la forza generata dal volume di elio contenuto all'interno del pallone.

$$F_A = sf \cdot \frac{S_A}{g}; \text{ [Kg]}$$

dove sf è il fattore di sicurezza posto = 0,9;

Come già detto il pallone è riempito con elio. L'elio è stoccato in bombole che possono avere diversa grandezza (27, 40 o 50 litri) alla pressione $p_{bom} = 200 \text{ bar}$.

Essendo il pallone mantenuto a quota costante, quindi senza variazioni brusche di temperatura, per ricavare la stima del Volume di Elio necessario a riempire il pallone alla pressione atmosferica si è utilizzata la Legge di Boyle o legge dell'isoterma in cui il volume occupato da un gas, manenuto a teperatura costante, è inversamente proporzionale alla pressione alla quale il gas è sottoposto:

$$V_{He} \cdot p_{bom} = p_{amb} \cdot V_{pal} \quad \Rightarrow \quad V_{He} = \frac{p_{amb} \cdot V_{pal}}{p_{bom}} \text{ [dm}^3\text{]}$$

Noto il Volume di elio necessario a riempire l'involucro è possibile calcolare il numero di bombole utili, (arrotondato all'intero maggiore), nonché il peso della massa di gas:

$$N_{bom} = \frac{V_{He} \cdot 1000}{V_{bom}};$$

$$M_{He} = \frac{P_{amb} \cdot V_{pal} \cdot MM_{He}}{R_{He} \cdot T_{amb}}; \text{ [kg]}$$

Di solito gli aerostati e le mongolfiere hanno una forma sferica, il che permette di racchiudere un volume maggiore di gas a parità di superficie. In altre parole, si utilizza poco tessuto per imprigionare una grande quantità di fluido. Il tessuto deve essere leggero e impermeabile ai gas. Oggi si preferiscono materiali come il polietilene o altri tessuti in fibre sintetiche.

La baia di carico in cui, in un pallone di grandi dimensioni si possono trovare delle persone o, in caso di palloni più piccoli, il payload, è collegata all'involucro dell'aerostato da una serie di funi, che si congiungono per mezzo di una fitta rete che circonda il pallone o a da ganci istallati direttamente sull'involucro. In questo modo si ottiene una pressione minima sulla superficie del pallone, che è molto fragile. In molti casi si utilizza anche una corda che pende dal cockpit, che con il suo peso, di cui bisogna necessariamente tener conto, e la resistenza offerta all'aria, aumenta l'equilibrio e permette, in questo caso, la regolazione dell'altezza di navigazione, ottenuta semplicemente rilasciando la corda dal rocchetto vincolato alla stazione di terra.

Definite queste grandezze si procede con il bilanciamento delle forze.

Il peso totale che il pallone aerostatico dovrà portare in quota sarà quindi la somma del peso della massa della fune, della massa dell'elio, del peso dell'involucro del pallone aerostatico e ovviamente del peso del payload.

$$P_{tot} = M_{cavo} + M_{He} + M_{pal} + M_{payload}$$

La differenza tra la forza generata dal volume di elio F_A e il peso totale delle masse P_{tot} è la spinta ascensionale residua che, a seconda della sua entità conferisce stabilità al pallone in presenza di raffiche di vento, gravando tuttavia come forza tensionale sulla fune di ancoraggio.

Con l'ausilio di questo script è stata valutata anche la tensione massima sopportabile dal cavo di ancoraggio. Inizialmente si era pensato di utilizzare un cavo in acciaio inox avente una tensione di snervamento $\sigma_s = 600 \cdot 10^6 Pa$, di diametro $\phi = 2 mm$, lunghezza massima $H = 40 m$, come evidenziato nella normativa ENAC, e un peso di circa $M_{cavo} = 2.65 kg$. Questa opzione è stata in seguito scartata a causa di alcune criticità evidenziate nel risk assessment del primo concept operations (CONOPs).

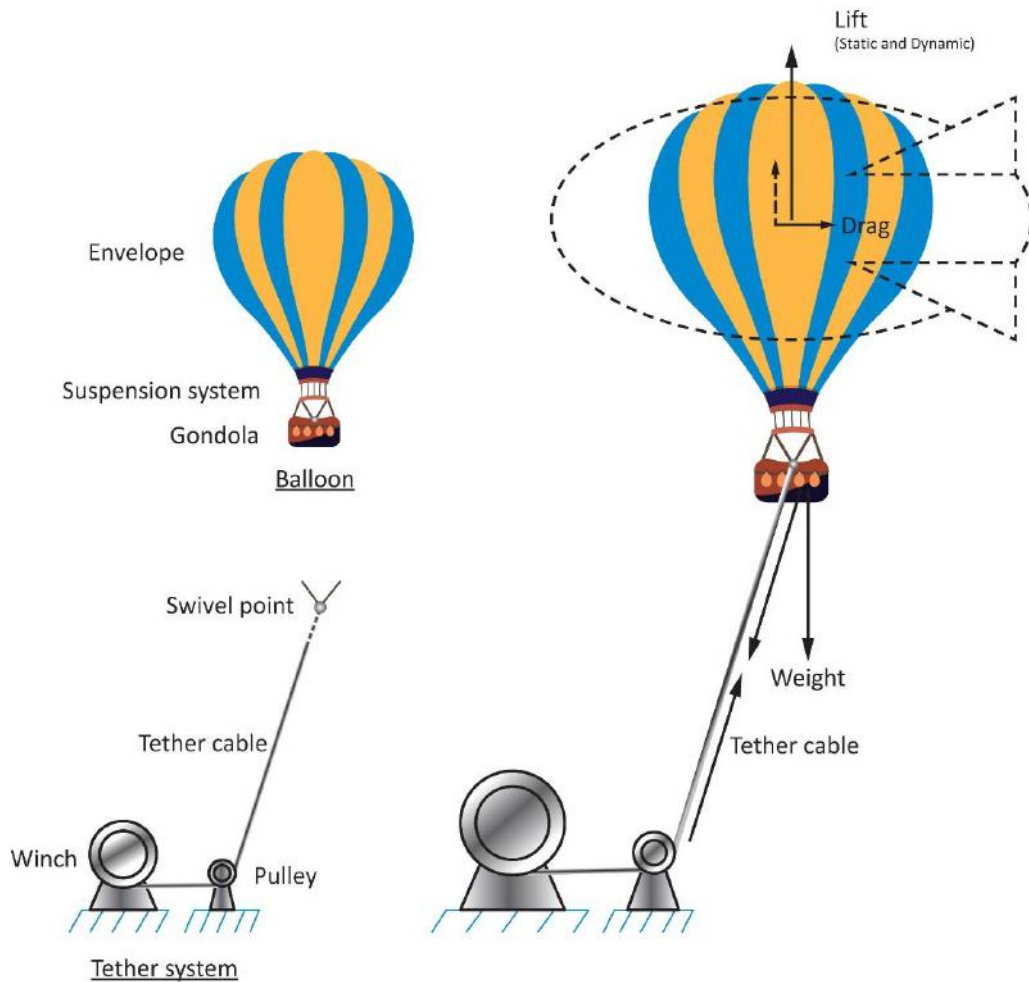


Figura 2.1: Schema fisico (EASA Balloon Rule Book)

2.2 Stima delle grandezze in gioco - Validazione Modello

Per avere un'idea delle grandezze in gioco è stato sviluppato un modello matematico che una volta inseriti i dati di missione, come il peso del payload, restituisce le forze necessarie per il suo sollevamento in sicurezza. Successivamente i dati ottenuti sono stati comparati con il relativo datasheet di vari modelli di aerostati. Tuttavia al fine di verificare se il modello restituisse dei valori plausibili e applicabili al modello fisico, è stata svolta un'analisi inversa nella quale si sono inseriti i dati di palloni già presenti sul mercato e poi confrontati i dati tra loro.

I modelli che sono stati utilizzati per questa comparazione sono stati selezionati in base ad alcune caratteristiche ritenute determinanti per questo progetto, quali:

- Forma sferoidale;
- Possibile utilizzo "tethered";
- Capacità di Payload $2 \leq m_{payload} \leq 10 \text{ kg}$
(nel codice viene sempre considerato 2 kg);
- Conformità alla regolamentazione aerea europea;
- Tempo di persistenza in aria $\geq 24\text{h}$;

Questa missione di monitoraggio ha una durata minore di 24 ore.

ID.	Descrizione requisito	REF.
R32	In caso di eventi che durano più giorni, il pallone e tutta la struttura devono essere smantellati e riposti in un ambiente chiuso e protetto fino al mattino del giorno successivo dove si effettueranno nuovamente le operazioni di montaggio della struttura e gonfiaggio del pallone seguendo tutte le procedure di controllo	AFM

Tabella 2.1: R32 - Requisito indicato nel manuale operativo

2.2.1 AirStar - White Hawk

Il modello White Hawk è prodotto dalla società francese "AirStar Aerospace". Realizzati per missioni a medio e lungo termine, i palloni Airstar legati rispondono a tutte le tue esigenze in materia di sorveglianza, osservazione, intervento e telecomunicazione. I punti di forza di questa soluzione sono:

- Persistenza: da 1 giorno a diverse settimane di funzionamento in corso senza alcun intervento umano.

- Bassi costi operativi: basso costo per ora di volo, facile formazione degli operatori, tempo di implementazione rapido, basso ingombro logistico.
- Versatile: incorporamento di molti tipi di sensori grazie ad un'ampia rete di partners, esperti nella progettazione del payload;
- Sicurezza: soluzioni affidabili a prova di errore con altissime coefficienti di sicurezza;

Questo modello è di forma ellissoidale. Il produttore certifica la Conformità alle normative aeree europee e una lunga persistenza. L'altezza operativa nominale è compresa tra i 100 e 200 metri e la velocità critica di raffica è 75 Km/h.



Figura 2.2: White Hawk

	Datasheet	Modello
$Volume[m^3]$	40.00	40.00
$F_A[kg]$	-	40.00
$M_{He}[kg]$	-	6.60
$M_{pal}[kg]$	15.00/20.00	20.00
$M_{payload}[kg]$	5.00	5.00
$Spinta\ Residua[kg]$	-	10.00

Tabella 2.2: Comparazione tra i dati di fabbrica del White Hawks e il codice

Non avendo avuto dalla casa produttrice ulteriori informazioni riguardanti il White Hawk, la convalida è stata effettuata valutando il peso del payload calcolato tramite lo script con quello indicato nel datasheet. Supponendo la massa a vuoto del pallone uguale a 20 kg, a seconda della presenza o meno della tela, si sono ottenuti valori simili a quelli indicati all'interno del datasheet.

2.2.2 Aeronord - SF3.0

Il pallone SF 3.0 è prodotto dalla società italiana Aeronord. È composto da un involucro colore bianco “translucido “ confezionato con PU poliuretano polietero saldato ad alta frequenza. Il PU poliuretano polietero è un polimero termoplastico che presenta sostanziali vantaggi rispetto ad altri materiali quali quelli a base di PVC o Caucciù :

- a. elevate caratteristiche meccaniche;
- b. elevata resistenza all'umidità ;
- c. elevata resistenza alle basse e alle alte temperature;

Inoltre il PU poliuretano polietero non è tossico a differenza dei materiali a base di PVC. Questi palloni aerostatici sono realizzati con materiali di elevate caratteristiche tecniche e quindi sono idonei per un impiego di carattere professionale. Sono stati condotti esperimenti di impiego nelle condizioni più estreme: al Circolo Polare Artico (Base Artica CNR Ny Alesund - Isole Svalbard), in alta montagna d'inverno con temperature sotto lo zero termico (anche meno 30°) e infine sul mare d'estate con temperature di oltre 40°C.



Figura 2.3: Aeronord SF3.0

	Datasheet	Modello
$Volume[m^3]$	14.10	14.13
$M_{He}[kg]$	2.4340	2.4392
$M_{pal}[kg]$	7.60	7.60
$Forza\ portante[kg]$	14.86	17.30
$F_{Ascens.}(15\ ^\circ C)[kg]$	7.30	6.76
$Spinta\ Residua[kg]$	4.7311	4.7

Tabella 2.3: Comparazione tra i dati di fabbrica del modello SF3.0 e il codice

Come si evince dalla tabella i dati forniti dal datasheet e quello del modello sono molto vicini tra loro. Il gap più evidente si ha con la forza portante, questo può derivare dalla mancata considerazione da parte del codice di tutte le toppe e le funi già ancorate al pallone oppure alla forma non esattamente sferica dovuta alla presenza del tunnel di gonfiaggio.

2.2.3 Aeronord - SF3.5

Fratello del modello SF 3.0 si distingue da esso per le dimensioni infatti, questo modello ha un raggio maggiore e di conseguenza anche le forze generate e i pesi saranno maggiori. Su questo modello è possibile inserire un'ulteriore serie di ganci in modo da poter distribuire al meglio sull'involucro i carichi di trazione che agiscono sulle funi e quello derivante dall'aggancio del payload.

	Datasheet	Modello
$Volume[m^3]$	22.50	22.4379
$M_{He}[kg]$	3.8840	3.8733
$M_{pal}[kg]$	11.0	11.0
$Forza\ portante[kg]$	27.5625	27.4864
$F_{Ascens.}(15\ ^\circ C)[kg]$	12.715	12.1057
$Spinta\ Residua[kg]$	10.1710	10.1057

Tabella 2.4: Comparazione tra i dati di fabbrica del modello SF3.5 e il codice

in questo caso l'errore è minore di quello precedente perché il tunnel di gonfiaggio ha sempre lo stesso diametro indipendentemente dal raggio del pallone. Di conseguenza il gas contenuto nel tunnel sarà in percentuale minore rispetto al modello 3.0.



Figura 2.4: Aeronord SF3.5- prova di gonfiaggio effettuata in hangar

2.3 Stima della resistenza

Nell'ambito dello sviluppo operativo di operazioni con pallone vincolato, il fenomeno ambientale più influente sulle operazioni è senza dubbio quello del vento. Per poter pianificare al meglio le attività con il pallone dispiegato in aria è necessario comprendere il comportamento dello stesso in presenza di correnti d'aria anche intense. Valutare gli scostamenti che sopravanzerebbero dalla posizione operativa originale, oltre a definire in prima approssimazione i requisiti e i limiti di operatività in termini di intensità del vento, è fondamentale per una maggiore comprensione della risposta aerodinamica del mezzo. In questo paragrafo si è valutato il coefficiente di resistenza, o di trascinamento dell'aerostato, idealizzato come una sfera, soggetto ad una corrente fluida (vento), per poter giungere ad osservazioni e conclusioni sui punti introdotti. A tal fine, è stata impostata una serie di possibili valori di condizioni di volo (velocità del vento e temperatura) con le quali si sono calcolate tutte le grandezze per ottenere il coefficiente di resistenza, la forza di trascinamento agente sul pallone e, in seguito all'azione di tale forza, lo scostamento laterale relativo alla posizione nadirale di deployment dove l'aerostato è vincolato. Conseguentemente è stato possibile determinare anche l'angolo di blowdown, definito come l'angolo che intercorre tra il suolo e il cavo di ancoraggio. Se un aerostato vincolato è soggetto ad un flusso di vento costante, si avrà che sia la fune di ancoraggio che l'aerostato

saranno "abbattuti" di un certo angolo rispetto all'orizzontale (l'angolo di blow-down), come illustrato nella Figura 1. Raggiunta la condizione di equilibrio delle forze aerodinamiche e meccaniche, l'angolo rimarrà costante. In queste condizioni, le accelerazioni possono essere trascurate, e le forze che agiscono sull'aerostato sono quelle meccaniche di richiamo agenti tramite la fune, e quelle aerodinamiche di resistenza e spinta residua (Archimede). Queste forze sono raffigurate nel diagramma del corpo libero in Figura 2.5

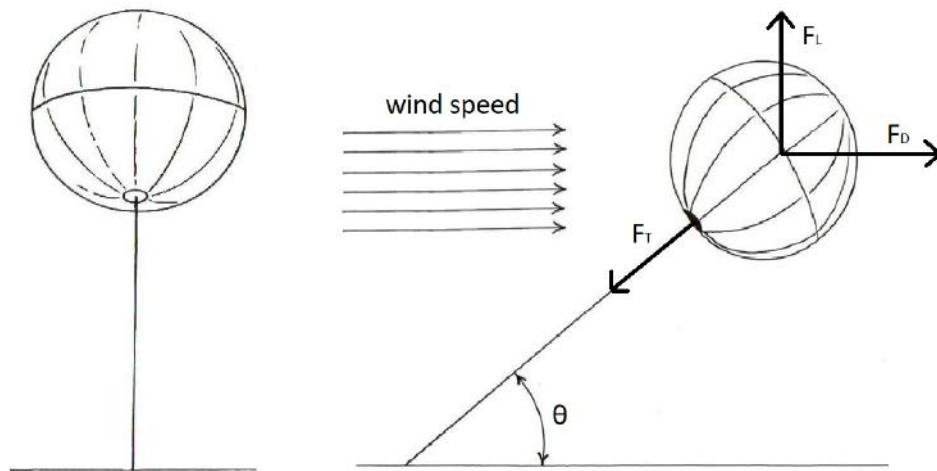


Figura 2.5: Schema del corpo libero di un aerostato sferico soggetto ad una corrente ventosa

Per poter modellizzare questo problema sono state fatte delle assunzioni semplificative, quali:

- Corrente fluida considerata di intensità costante e uniforme attorno all'aerostato.
- Si suppone il pallone aeroelasticamente indeformabile sotto l'azione della forza di trascinamento generata dal vento.
- Fune disponibile di lunghezza fissa (50m o 200m).
- Temperatura dell'ambiente in quota considerata uguale a quella rilevata a terra e uniforme, poichè ad una quota compresa tra i 50 e 200m il gradiente termico è di circa 0.5 °C ogni 100m.
- La densità considerata solo funzione della temperatura.
- Diametro massimo del pallone di 3.5 m.

Come input di velocità del vento U_{wind} , espressa in km/h, è stato considerato un vettore contenente alcuni valori di riferimento, da 1 km/h fino ad un massimo di 50 km/h, valore consigliato dal fornitore al fine di evitare danni all'involucro. Simile processo è stato seguito per la temperatura, espressa in °C con temperature realisticamente comparabili a quelle operative in inverno ed estate, da -10°C a +40°C. Nota la temperatura si ricava la densità dell'aria $\rho_{air}[kg/m^3]$ e successivamente il numero di Reynolds espresso come:

$$Re = \frac{\rho(T) \cdot U \cdot D}{\mu(T)} = \frac{U \cdot D}{\nu(T)}$$

dove μ è la viscosità dinamica [Pa · s] dell'aria, calcolata con la formula di Sutherland.

$$\mu = \frac{C_1 T^{3/2}}{T + C_2}$$

in cui $C_1 = 1.45810^{-6}$ e $C_2 = 110.4K$ sono costanti del fluido. Con questi dati i valori di Reynolds ottenuti sono:

U [Km/h]	T= -10 °C	T= -5 °C	T= 0 °C	T= 10 °C
1	7,82E+04	7,57E+04	7,33E+04	6,87E+04
5	3,91E+05	3,78E+05	3,66E+05	3,43E+05
10	7,82E+05	7,57E+05	7,33E+05	6,87E+05
15	1,17E+06	1,13E+06	1,10E+06	1,03E+06
20	1,56E+06	1,51E+06	1,47E+06	1,37E+06
25	1,96E+06	1,89E+06	1,83E+06	1,72E+06
30	2,35E+06	2,27E+06	2,20E+06	2,06E+06
40	3,13E+06	3,03E+06	2,93E+06	2,75E+06
50	3,91E+06	3,78E+06	3,66E+06	3,43E+06

U [Km/h]	T= 15 °C	T= 20 °C	T= 30 °C	T= 40 °C
1	6,66E+04	6,46E+04	6,08E+04	5,74E+04
5	3,33E+05	3,23E+05	3,04E+05	2,87E+05
10	6,66E+05	6,46E+05	6,08E+05	5,74E+05
15	9,98E+05	9,69E+05	9,12E+05	8,62E+05
20	1,33E+06	1,29E+06	1,22E+06	1,15E+06
25	1,66E+06	1,62E+06	1,52E+06	1,44E+06
30	2,00E+06	1,94E+06	1,82E+06	1,72E+06
40	2,66E+06	2,58E+06	2,43E+06	2,30E+06
50	3,33E+06	3,23E+06	3,04E+06	2,87E+06

Tabella 2.5: Valutazione del Numero di Reynolds al variare della U e della T da cui dipendono ρ e μ , considerando come dimensione caratteristica il diametro del pallone D=3500 mm

Per la valutazione del CD è stata utilizzata la correlazione di Morrison (2013), con la quale è possibile determinare il valore del coefficiente di resistenza rispetto al numero di Reynolds per valori di numero di Reynolds attorno a 10^6 (flusso strisciante, ricircolo, e turbolento).

$$C_D = \frac{24}{Re} + \frac{2.6 \left(\frac{Re}{5.0} \right)}{1 + \left(\frac{Re}{5.0} \right)^{1.52}} + \frac{0.411 \left(\frac{Re}{2.63 \cdot 10^5} \right)^{-7.94}}{1 + \left(\frac{Re}{2.63 \cdot 10^5} \right)^{-8.00}} + \frac{0.25 \left(\frac{Re}{10^6} \right)}{1 + \left(\frac{Re}{10^6} \right)}$$

dove C_D è il coefficiente di resistenza e Re è il numero di Reynolds. Con riferimento alla Figura 2.6, il coefficiente di resistenza C_D , è relativamente piatto nell'intervallo del numero di Reynolds tra circa 10^3 e $2 \cdot 10^5$. In questo intervallo, quindi, il C_D può essere considerato quasi indipendente dal Re . A numeri di Reynolds più alti, tuttavia, il coefficiente di resistenza diminuisce improvvisamente ad un valore compreso tra 0.4 e 0.5 per $Re = 2 \cdot 10^5$; si arriva ad un valore di C_D leggermente inferiore a 0.1 per $Re = 4 \cdot 10^5$. Questo improvviso calo di C_D si chiama "Drag Crisis", che è associata alla separazione dello strato limite dalla superficie della sfera. Vale a dire, per $Re < 2 \cdot 10^5$ lo strato limite sulla parte anteriore della sfera è laminare. Questo strato limite separa appena a monte della sezione centrale della sfera, che conduce a una scia molto ampia e a una grande resistenza. Per una sfera liscia, poiché il Re aumenta oltre $2 \cdot 10^5$, lo strato limite laminare inizia a transire in uno strato limite turbolento sulla superficie anteriore. Dal momento che lo strato limite turbolento è più resistente alla separazione del flusso rispetto a uno strato limite laminare, lo strato limite turbolento rimane attaccato alla superficie della sfera per una distanza maggiore attorno alla sfera, separando bene a valle della sezione mediana della sfera. La scia risultante è molto più stretta, con una resistenza inferiore corrispondente.

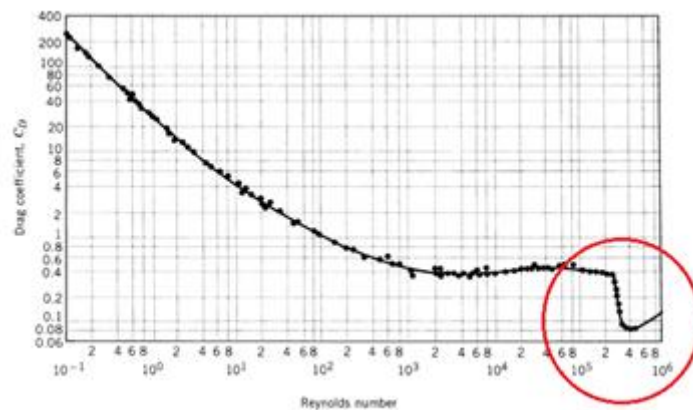


Figura 2.6: Confronto eq.di Morrison con dati sperimentali di Schlichting

La linea continua mostra i valori ottenuti con l'equazione di Morrison, la quale cattura il coefficiente di resistenza come funzione del numero di Reynolds nell'intero range di numeri di Reynolds dei dati sperimentali disponibili. I punti invece mostrano i dati per un flusso uniforme intorno una sfera (Schlichting, 1955).

U [Km/h]	T= -10 °C	T= -5 °C	T= 0 °C	T= 10°C
1	0,41773	0,41671	0,41577	0,41393
5	0,09463	0,09798	0,10244	0,11611
10	0,11502	0,11306	0,11121	0,10757
15	0,1392	0,13718	0,13525	0,13138
20	0,15616	0,15421	0,15233	0,14856
25	0,16866	0,16682	0,16504	0,16144
30	0,17825	0,17652	0,17485	0,17145
40	0,19199	0,19047	0,189	0,18599
50	0,20136	0,20001	0,19871	0,19602

U [Km/h]	T= 15 °C	T= 20°C	T= 30°C	T= 40 °C
1	0,41307	0,41226	0,41069	0,40926
5	0,12562	0,13666	0,16572	0,2013
10	0,10582	0,1042	0,10101	0,09816
15	0,12949	0,1277	0,12409	0,12069
20	0,1467	0,14493	0,14133	0,13792
25	0,15966	0,15797	0,15449	0,15116
30	0,16977	0,16815	0,16483	0,16164
40	0,18448	0,18304	0,18005	0,17715
50	0,19468	0,19338	0,19069	0,18807

Tabella 2.6: Valutazione del coefficiente di resistenza C_D al variare della velocità della corrente U e della temperatura T da cui dipende il valore del numero di Reynolds

Rappresentando graficamente i dati si ottiene un andamento mostrato in Figura 2. Come si evince dalla tabella 2.8 l'intervallo in cui si colloca questa analisi è compreso tra $Re = 5,74 \cdot 10^4$ e $Re = 3,91 \cdot 10^6$. Quindi nella parte finale del grafico (zona cerchiata).

È possibile notare come l'andamento trovato ricalchi molto bene i dati già presenti nella letteratura (Schlichting, 1955). Noti i valori del coefficiente di resistenza è possibile procedere con il calcolo della resistenza o forza di trascinamento (F_D) agente sul pallone, definita come:

$$F_D = \frac{1}{2} \rho_{air} U_{wind}^2 S C_D$$

Dove S è la superficie frontale del pallone in cui la corrente impatta, quindi ricavata con la semplice espressione geometrica:

$$S[m^2] = \pi r^2$$

U_{wind} è infine la velocità della corrente espressa in m/s.

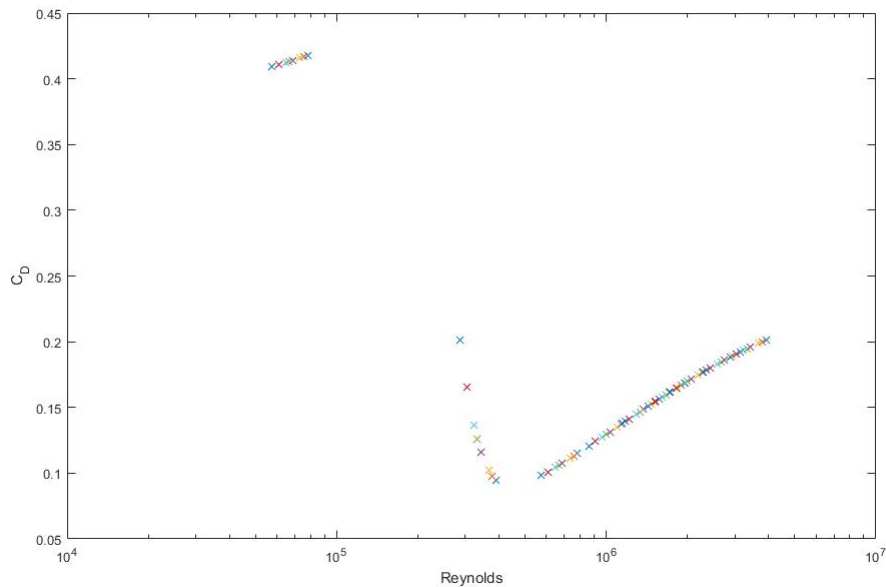


Figura 2.7: Andamento dei valori del coefficiente di resistenza dell'aerostato in funzione del numero di Reynolds

U [Km/h]	T= -10 °C	T= -5 °C	T= 0 °C	T= 10°C
1	0,20793	0,20356	0,19954	0,1916
5	1,1776	1,19653	1,22911	1,34354
10	5,7254	5,52296	5,33748	4,9789
15	15,5904	15,0774	14,605	13,6824
20	31,0916	30,1309	29,2447	27,505
25	52,4696	50,9291	49,5063	46,704
30	79,853	77,6048	75,527	71,4242
40	152,905	148,868	145,136	137,74
50	250,567	244,257	238,421	226,834

U [Km/h]	T= 15 °C	T= 20°C	T= 30°C	T= 40 °C
1	0,18782	0,1844	0,17744	0,1712
5	1,42795	1,52812	1,79001	2,10523
10	4,81187	4,66067	4,36412	4,10618
15	13,2479	12,8517	12,0628	11,3596
20	26,6822	25,9305	24,4259	23,0777
25	45,3748	44,1593	41,7172	39,5221
30	69,4741	67,6899	64,0953	60,857
40	134,216	130,99	124,466	118,572
50	221,304	216,241	205,976	196,69

Tabella 2.7: Valutazione della forza di trascinamento, espressa in [N], agente sul pallone al variare della U e della T da cui dipende il Re

Per avere un'idea delle forze in gioco la forza di Trascinamento F_D è stata convertita in kg e successivamente graficata.

U [Km/h]	T= -10 °C	T= -5 °C	T= 0 °C	T= 10°C
1	0,0212	0,02075	0,02034	0,01953
5	0,12004	0,12197	0,12529	0,13696
10	0,58363	0,56299	0,54409	0,50753
15	1,58923	1,53694	1,48879	1,39474
20	3,16938	3,07145	2,98111	2,80377
25	5,34858	5,19155	5,04652	4,76086
30	8,13996	7,91078	7,69898	7,28075
40	15,5866	15,1752	14,7947	14,0408
50	25,542	24,8988	24,3039	23,1227

U [Km/h]	T= 15 °C	T= 20°C	T= 30°C	T= 40 °C
1	0,01915	0,0188	0,01809	0,01745
5	0,14556	0,15577	0,18247	0,2146
10	0,49051	0,47509	0,44486	0,41857
15	1,35045	1,31007	1,22965	1,15796
20	2,7199	2,64327	2,4899	2,35247
25	4,62536	4,50145	4,25251	4,02875
30	7,08197	6,90009	6,53367	6,20357
40	13,6816	13,3527	12,6876	12,0868
50	22,559	22,0429	20,9965	20,0499

Tabella 2.8: Valutazione della forza di trascinamento, espressa in [kg], agente sul pallone al variare della U e della T da cui dipende il Re

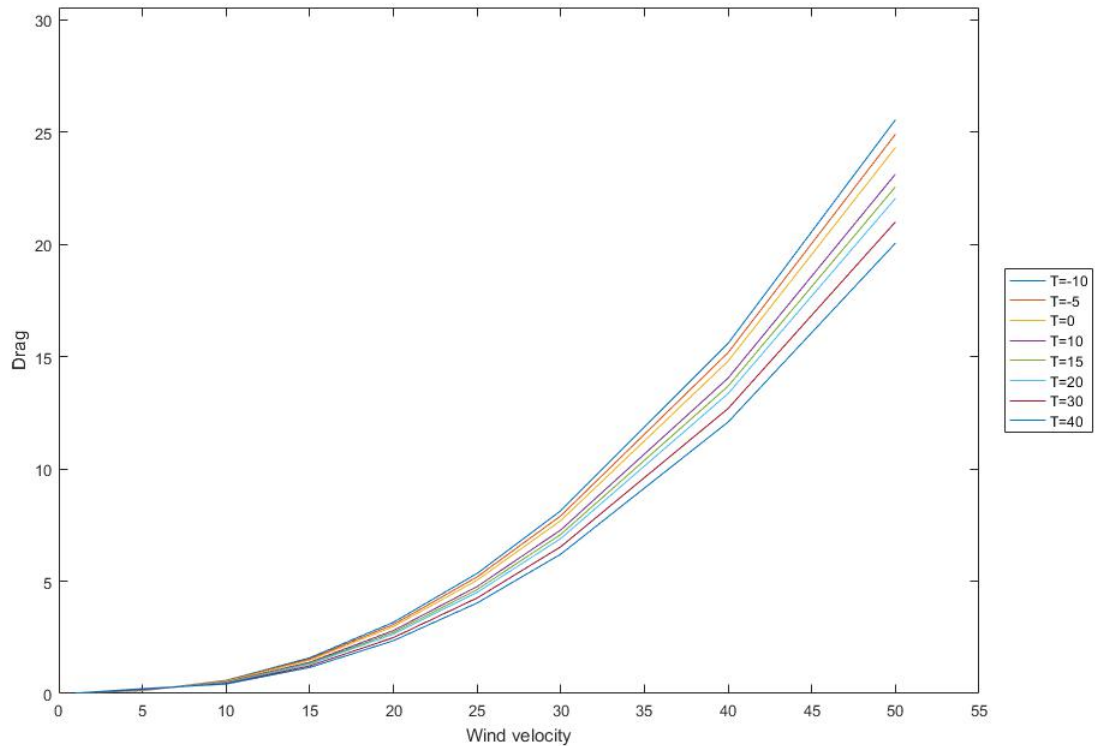


Figura 2.8: Valutazione della Resistenza (Drag) o forza di trascinamento F_D [kg] al variare della velocità U_{wind} .

Si può notare come all'aumentare della temperatura la forza di trascinamento diminuisce, questo è causato dalla variazione di densità e di viscosità al variare della temperatura. La tabella permette una lettura sufficientemente accurata fornendo in input le condizioni operative che si prevedono di incontrare, utilizzando i semplici dati di temperatura e vento.

Per quanto riguarda il pallone SF 3500 utilizzato da DigiSky e prodotto da Aerond, sarà dotato, indipendentemente dall'altezza operativa, di un payload e di alcune funi di ancoraggio che, con il loro peso, ridurranno la forza ascensionale residua necessaria alla sua stabilità. Secondo indicazioni del produttore, includendo nel calcolo il peso del pallone stesso, la forza ascensionale residua minima garantita è di 11 kg. Tenendo in considerazione un payload richiesto del peso di 2 kg e circa 2 kg di peso delle funi (considerando il vincolo principale più ancoraggi di stabilità), la forza residua disponibile risulta essere:

$$F_L = 10 \text{ kg}$$

Noti tutti i parametri necessari si procede con la valutazione dell'angolo di inclinazione del pallone aerostatico soggetto alla corrente avente velocità U_{wind} .

L'angolo di blowdown è calcolato come:

$$\theta[\text{rad}] = \text{atan} \left(\frac{F_L[\text{kg}]}{F_D[\text{kg}]} \right)$$

Successivamente, per avere maggior chiarezza, il valore è convertito in gradi. Rap-

presentando graficamente i valori della posizione raggiunta per tutte le U_{wind} e per i valori di $T_{min} = -10^{\circ}\text{C}$ e $T_{max} = 40^{\circ}\text{C}$ è possibile identificare un settore circolare di 90° , coerente con la fisica del sistema.

Grazie a questo grafico è possibile definire le massime condizioni operative in termini di vento, o le minime condizioni operative in termini di quota, a seconda dell'obiettivo della missione. Va tenuto in conto lo scostamento laterale rispetto alla posizione di deployment nella fase di valutazione dello spazio di dispiegamento e lancio: eventuali ostacoli apparentemente lontani potrebbero trovarsi sulla traiettoria di discesa del pallone in condizioni ventose. Gli scostamenti laterali che si verificano a causa dell'aumento della velocità del vento U_{wind} in condizioni standard $T=15^{\circ}\text{C}$ e $\rho_{air} = 1.225 \text{ [kg/m}^3\text{]}$.

U [Km/h]	T= -10 °C	T= -5 °C	T= 0 °C	T= 10°C
1	89,8786	89,8811	89,8835	89,8881
5	89,3123	89,3012	89,2822	89,2153
10	86,6598	86,7777	86,8857	87,0945
15	80,9699	81,2624	81,5321	82,0599
20	72,4146	72,9259	73,4001	74,3377
25	61,8595	62,5637	63,2221	64,5416
30	50,8546	51,6533	52,4074	53,9426
40	32,6833	33,3837	34,0555	35,4588
50	21,3809	21,8817	22,3650	23,3873

U [Km/h]	T= 15 °C	T= 20°C	T= 30°C	T= 40 °C
1	89,8903	89,8923	89,8964	89,9000
5	89,1661	89,1076	88,9547	88,7706
10	87,1919	87,2800	87,4528	87,6032
15	82,3090	82,5364	82,9898	83,3948
20	74,7842	75,1938	76,0182	76,7620
25	65,1778	65,7653	66,9623	68,0567
30	54,6940	55,3940	56,8407	58,1863
40	36,1635	36,8299	38,2441	39,6025
50	23,9069	24,4019	25,4670	26,5079

Tabella 2.9: Angoli di blowdown, espressi in $^{\circ}$, al variare della velocità della corrente e della temperatura

Il limite di velocità del vento oltre cui i palloni aerostatici sferici devono essere abbassati e ancorati al suolo è molto variabile in funzione della dimensione del pallone e degli ostacoli presenti ai margini della zona scelta per l'innalzamento. Gli aerostati devono essere sempre sorvegliati da un operatore avente il compito di definire il momento in cui le raffiche di vento potrebbero causare oscillazioni tali da rischiare di danneggiare il pallone o provocare danni a terzi e responsabile dell'ancoraggio al

suolo del pallone. Nel caso dell'approssimarsi di formazioni temporalesche è consigliabile abbassare il più possibile il pallone e mantenerlo ancorato a terra per tutta la durata del fenomeno anche aggiungendo delle controventature al fine di ridurre le oscillazioni.

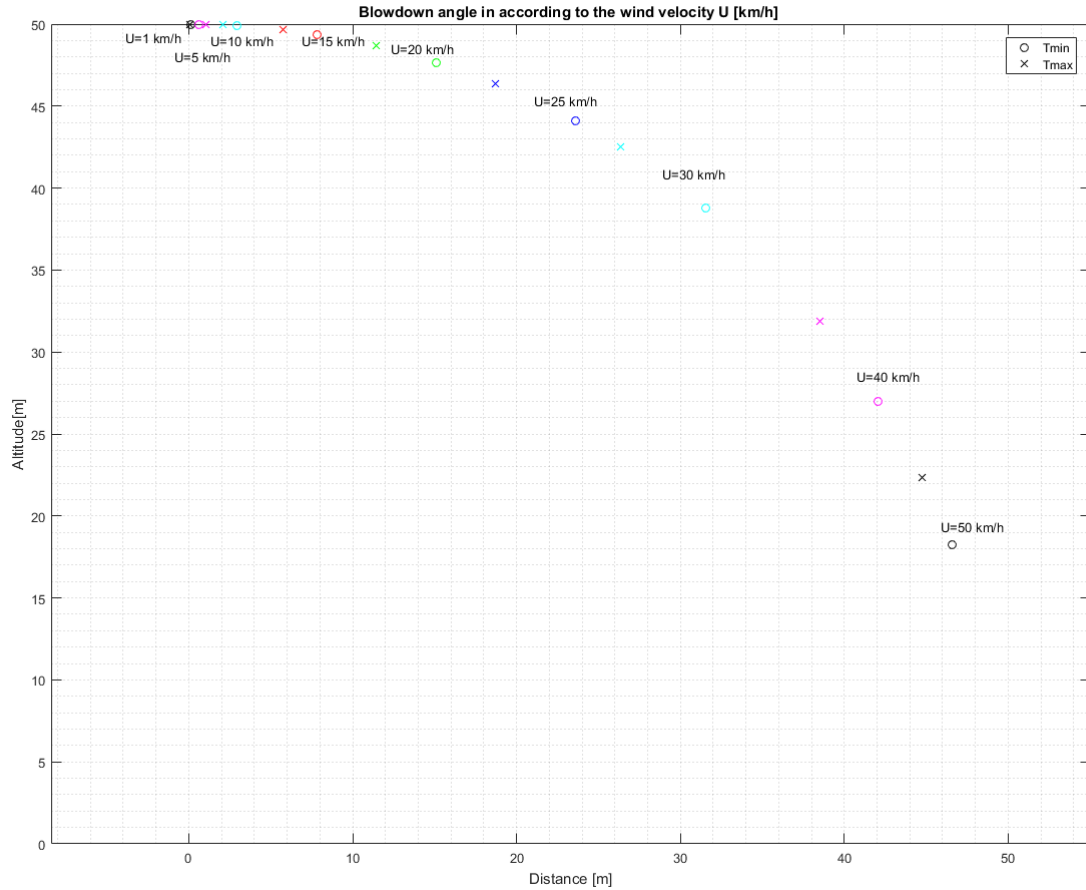


Figura 2.9: Visualizzazione degli angoli di blowdown, al variare della velocità della corrente

Capitolo 3

Design e fase operativa

Per effettuare tutte le operazioni richieste si è deciso di adottare la seguente configurazione preliminare che, a meno di qualche cambio di componenti, è destinata a rimanere sempre la stessa. All'aerostato è collegato il payload che verrà configurato nei capitoli successivi dal quale è possibile effettuare sia il tracking, sia le misurazioni meteorologiche, in entrambi i casi sarà dotato di un sistema di trasmissione wireless (antenna) per permettere la ricezione dei dati a terra. Come detto precedentemente, questa è una configurazione "tethered" quindi il pallone è collegato alla stazione di ormeggio (mooring station) tramite il cavo di ancoraggio. La stazione di ormeggio al momento di presa in carico del progetto era inesistente, quindi sono stati studiati diversi modelli di struttura in modo da sopperire il più possibile alle criticità emerse sia precedentemente che durante i vari test effettuati. Gli operatori a terra tramite un computer dotato di antenna ricevente ricevono, visionano ed elaborano i dati e le immagini. L'apparato composto dalla stazione di ormeggio, dagli operatori e dal computer ricevente è la cosiddetta stazione di terra o Ground Station (GS).

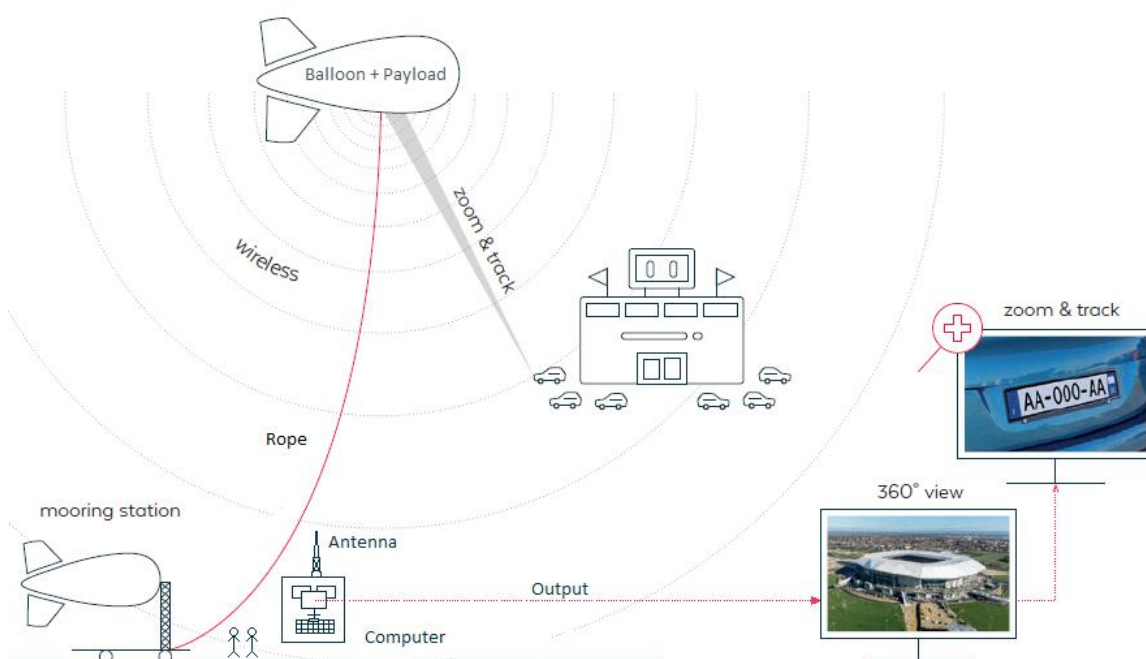


Figura 3.1: Configurazione operativa di base

3.1 Baseline

Quando è stato preso a carico il progetto, circa a metà della fase di sviluppo, si presentava la seguente configurazione operativa:

- Per quanto riguarda la documentazione, nessun documento ufficiale interno era stato emesso;
- L'ormeggio del pallone era affidato a delle pulegge agganciate a delle imbracature indossate dai membri dell'equipaggio;
- Il prototipo è stato realizzato e testato soltanto a due eventi senza nessuna scelta di configurazione definitiva, seppur siano stati realizzati i test report delle due missioni;
- Il payload aveva solo la configurazione video e comprendeva le seguenti parti:
 1. Baia di fibra di carbonio;
 2. High definition Handy Cam 4K FDR AX-53;
 3. Gremsy T3 Gimbal;
 4. ARPA microfono, installato su cellular LG;
 5. Batteria LiPo principale 4S, 4000 mAh;
 6. Wi-Fi Repeater
 7. Wi-Fi Power Supply (9 volt-2700mAh)

Per meglio comprendere ed analizzare i problemi riscontrati durante le due missioni precedenti, è stata configurata una procedura operativa e una struttura di supporto basata sull'esperienza e sui report stilati. Definito questo primo "concept of operations" è stato effettuato un completo risk assessment della configurazione, cercando di coinvolgere nell'analisi tutti gli aspetti fallaci e i punti deboli presenti sia nelle procedure che dal punto di vista delle strumentazioni in uso e delle attività necessarie. Inoltre come visto nei capitoli precedenti sono stati già definiti dei requisiti di alto livello per evitare l'insorgenza di problemi legati all'aeronavigabilità a alla gestione di situazioni di emergenza. Questi al momento della presa in carico del progetto erano totalmente assenti.

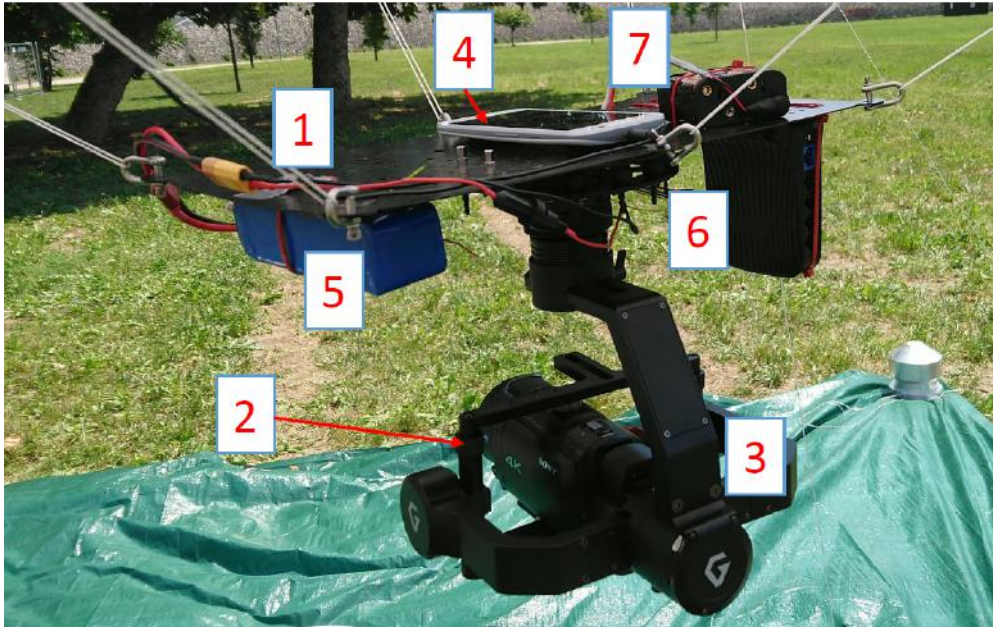


Figura 3.2: Vecchia configurazione del payload

3.2 Pallone

A seguito della stima effettuata relativa alle prestazioni degli aerostati è stato scelto di acquistare il modello SF3.5 prodotto dalla società Aeronord, il quale possiede qualità, come forza ascensionale e rapporto qualità/prezzo, migliori di quello prodotto da Aerostar. Inoltre dopo aver eseguito anche la valutazione della forza di trascinamento, descritta nel capitolo precedente, è risultato quello con il miglior compromesso tra forza ascensionale residua e forza di strascinamento generata. Al Produttore è stata richiesta una modifica, sono stati aggiunti 4 sedi di ancoraggio di tessuto, di diametro $\Phi = 20$ cm, con ganci metallici, ai quali sarà collegato il payload. È stata adottata questa soluzione in modo da poter collegare il pallone direttamente a tutti i ganci presenti nella zona equatoriale del pallone e ottenere un controllo maggiore oltre che ad una diminuzione della concentrazione degli sforzi applicati sul materiale dell'involucro.

3.2.1 Test gonfiaggio

Dopo l'acquisto sono stati condotti una serie di test di gonfiaggio, prima con aria e successivamente con elio, al fine di prendere confidenza con le tecniche di gonfiaggio e di perfezionare la procedura operativa relativa al gonfiaggio, sgonfiaggio e stoccaggio del pallone.

Prima di iniziare le operazioni di gonfiaggio ci si deve assicurare che il pallone sia ancorato in modo sicuro e non possa in alcun modo sganciarsi e "decollare" a seguito della forza ascensionale acquisita con l'immissione dell'elio all'interno dell'involucro. Per fare ciò il pallone è collegato ad un punto fisso a terra, una zavorra di massa adeguata o dispiegato mediante l'impiego di un verricello tramite l'anello di carico. Le fasi da effettuare durante il gonfiaggio sono:

-
- Ispezionare l'area operativa e rimuovere eventuali ostacoli od oggetti potenzialmente pericolosi
 - Stendere il telo di protezione di dimensioni adeguate sul quale si dispiega il pallone sgonfio per evitare di danneggiare l'involucro con superfici od oggetti affilati;



Figura 3.3: Pallone sgonfio

- Collegare il tubo di gonfiaggio al riduttore di pressione collegato alle bombole di elio. Il tubo di gonfiaggio fornito nel kit ha una pressione massima di esercizio di 10 bar;
- Stendere il tubo di gonfiaggio fino al bocchettone, assicurandosi che non vi siano torsioni o tensioni eccessive nel tubo;
- Bloccare il tubo di gonfiaggio in posizione utilizzando la fettuccia in dotazione normalmente utilizzata per chiudere il bocchettone;
- Iniziare il travaso del gas dalle bombole all'involucro aprendo la valvola della bombola in maniera molto progressiva. Una pressione di gonfiaggio eccessiva o bruschi salti di pressione possono causare danneggiamenti nella parte bassa dell'involucro;
- Quando l'involucro del pallone comincia a sollevarsi da terra sotto la spinta del gas, si agganciano un numero adeguato di zavorre alle corde di tenuta in modo che l'aerostato rimanga stabile durante tutta la fase di gonfiaggio;

-
- Quando l'involucro appare completamente gonfio chiudere la valvola della bombola ed estrarre il tubo di gonfiaggio mantenendo chiuso il bocchettone di gonfiaggio;
 - Chiudere il bocchettone di gonfiaggio utilizzando la fettuccia in dotazione come riportato nella figura 3.4.

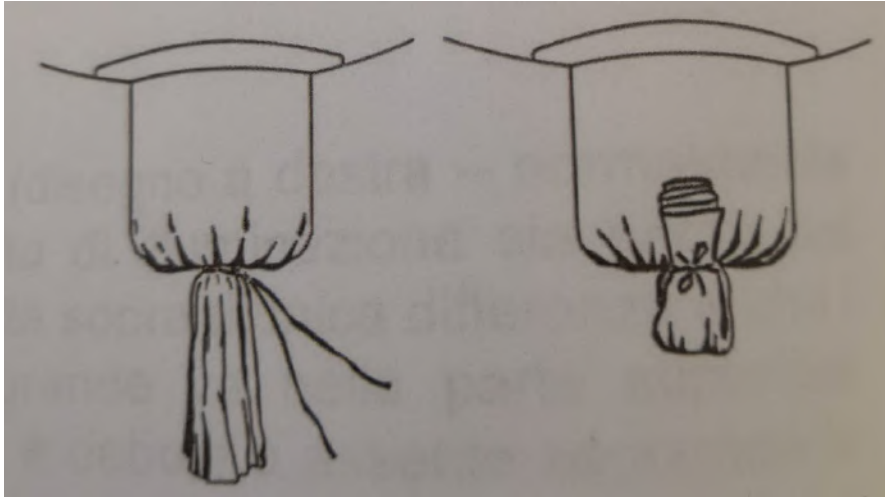


Figura 3.4: Metodo di chiusura del bocchettone di gonfiaggio



Figura 3.5: Test di gonfiaggio effettuato con aria

Per evitare di danneggiare il pallone, vista l'inesperienza, i primi test di gonfiaggio sono stati svolti utilizzando dei palloni stratosferici che quindi una volta gonfiati risalgono fino alla stratosfera per poi collassare.



Figura 3.6: Bombola elio e disposizione del pallone prima di iniziare il gonfiaggio

3.2.2 Operazioni di sgonfiaggio

A causa dell'imponente mole dell'aerostato le operazioni di sgonfiaggio sono da effettuare preferibilmente con vento molto debole o assente. In caso di raffiche di vento più importanti bisogna prestare particolare attenzione in quanto l'involucro parzialmente sgonfio offre una grande resistenza al vento. Le fasi da effettuare durante lo sgonfiaggio, qualora l'aerostato fosse stato gonfiato utilizzando elio, sono:

- Stendere il telo di protezione di dimensioni adeguate sul quale si adagerà il pallone una volta sgonfio;
- Slegare la fettuccia che chiude il bocchettone e ripiegare i bordi del bocchettone verso l'esterno in modo che rimanga aperto.
- Allentare la fune di ancoraggio principale in modo da far innalzare l'aerostato assicurandosi di avere a portata di mano la fune fissata esternamente sul top del pallone;
- Tirare verso il basso la fune al top del pallone facendo sì che l'aerostato si ribalti e il bocchettone venga portato verso l'alto agevolando così la fuoriuscita di elio;
- Riporre il pallone sul telo e arrotolarlo per eliminare eventuali sacche di gas residuo;

3.2.3 Stoccaggio

Una volta eliminati tutti i residui di gas all'interno del pallone si dispiega il pallone per tutta la sua lunghezza, l'involucro viene ispezionato, asciugato e pulito affinché eventuali detriti presenti non ne compromettino l'integrità. Successivamente viene piegato dai lati e partendo dal top arrotolato il più stretto possibile. Infine il pallone viene inserito nel sacco in dotazione e riposto.

3.3 Design Ground Station

L'aerostato in precedenza era vincolato al suolo tramite alcune pulegge agganciate a delle imbracature indossate dagli operatori. Di conseguenza svolgendo la revisione dell'intero progetto, si è scelto di introdurre anche una stazione di ormeggio o "ground station", che permetta agli operatori di svolgere in sicurezza e più tranquillamente il proprio ruolo di controllo del pallone, campionamento dei dati trasmessi dal payload e eventuale ispezione straordinaria dello stesso. La configurazione pensata consiste in una struttura sulla cui base superiore, una volta riavvolto il cavo di ormeggio, è possibile accedere al payload agevolando così la manutenzione straordinaria dello stesso.

Le caratteristiche che la struttura deve possedere sono:

- Permettere al personale un rapido e comodo accesso al payload;
- Possedere una buona resistenza alla trazione, generata dal pallone e dalle zavorre che la bloccano al suolo;
- L'ancoraggio del pallone deve essere il più stabile possibile, in modo da ridurre le oscillazioni del pallone;
- Rapido e facile montaggio e smontaggio dell'intera struttura per cui si è pensato di serializzare il più possibile i componenti;
- Stoccaggio delle parti che la compongono in una valigia da viaggio di dimensioni 60x45x20 cm;
- Prezzo di lavorazione contenuto

3.3.1 Primo prototipo

Il primo concept presentato consiste in una struttura a base quadrata sulle cui estremità, ognuna dotata di una superficie sferica, il pallone si appoggia, una volta ritratta la fune di collegamento. Così facendo il payload si trova sempre agganciato al pallone e disposto all'interno della struttura, permettendo agli operatori di effettuare la manutenzione straordinaria senza dover staccare per forza la baia di carico. La tenuta della struttura è garantita dalle piastre sulle quali vi sono poggiate delle zavorre. Al centro della base si colloca il verricello sul quale è avvolta la fune di collegamento.

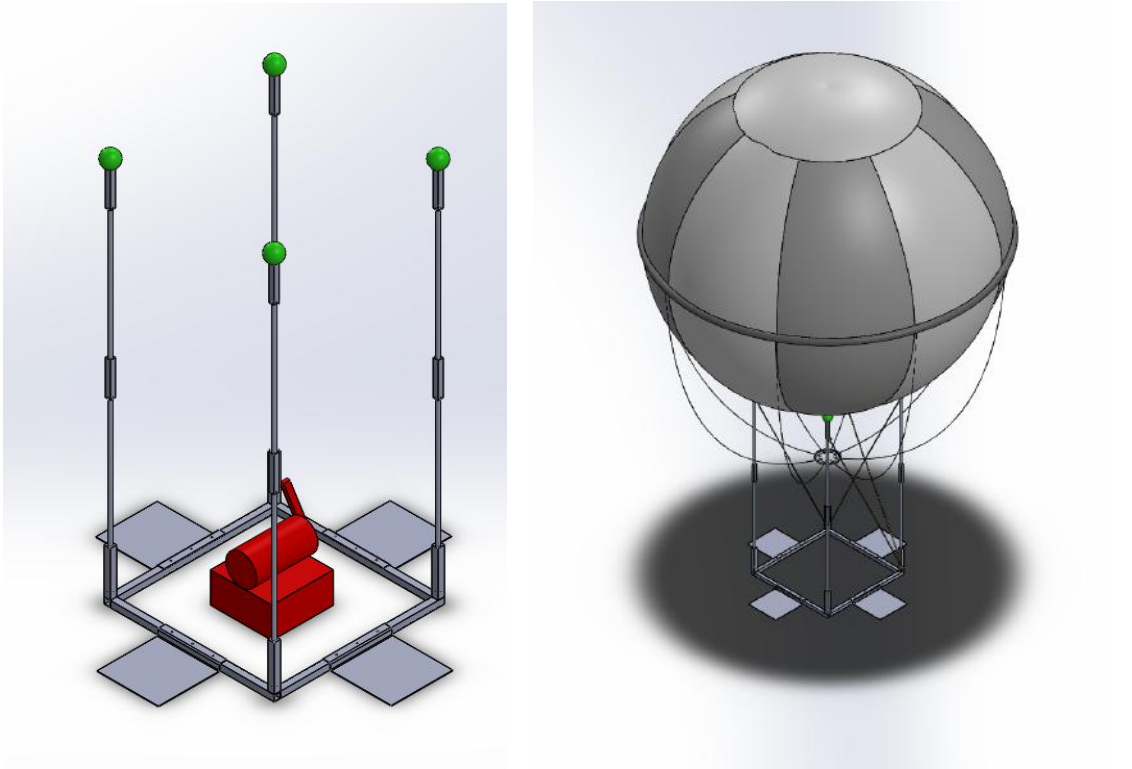


Figura 3.7: Primo prototipo di ground station

In seguito al concept di questa struttura sono state immaginate diverse condizioni operative per elaborare in modo predittivo i possibili problemi portati dalle caratteristiche della struttura. Sono state considerate le esperienze di chi ha operato con strutture simili e in seguito sono state eseguite delle analisi di ottimo che includevano l'uso dei materiali e l'eventuale costo delle lavorazioni.

Le criticità emerse dall'utilizzo di questa struttura sono state:

- il contatto continuo dell'aerostato con le superfici sferiche poste alle estremità può provocare lesioni di sfregamento all'involucro pallone;
- Buona serializzazione dei suoi componenti;
- Bassa stabilità della struttura una volta che il pallone è posato su di essa, ovviata con l'inserimento di tiranti che però rendono più difficile l'accesso all'interno della stazione di terra ocludendo 3 dei 4 accessi;
- Alto costo di produzione a causa delle diverse forme che compongono il montante e il lato della base. Invece la piastra per la zavorra è facilmente realizzabile tramite piegatura.

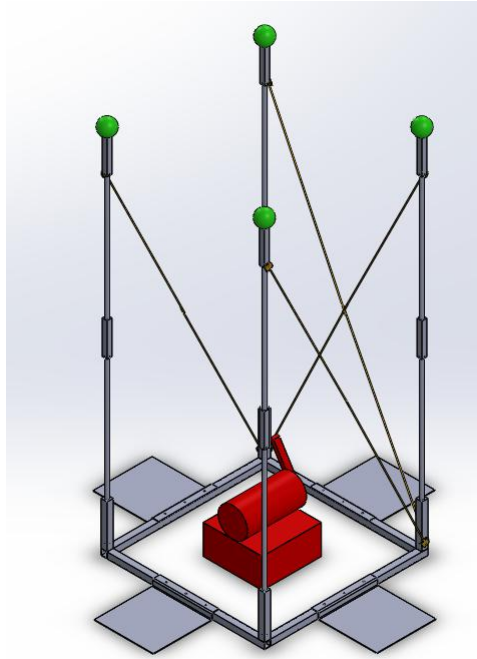


Figura 3.8: Configurazione del primo prototipo con i tiranti

3.3.2 Secondo prototipo

La seconda configurazione ideata consiste in un tronco di piramide a base quadrata sulla cui base superiore, quella minore, si appoggia la baia di carico dopo che il pallone è stato ritratto tramite l'utilizzo di un verricello. In questo modo la stabilità della baia è migliorata e gli operatori hanno la possibilità di lavorare direttamente in loco. Tuttavia il pallone non è appoggiato nè sostenuto da nulla e quindi in balia delle correnti ventose, se presenti. Si è ritenuto necessario, per migliorare la stabilità e la gestione del pallone a terra, inserire delle funi di controventatura, tale modalità è fattibile solo per aerostati di piccole e medie dimensioni, tuttavia l'aggiunta di queste funi aggiunge peso all'intero sistema, sarà quindi determinante selezionare delle funi con un'alta tensione di rottura ma allo stesso tempo avente un peso contenuto. In questa configurazione le controventature sono fissate al suolo o alla zavorra prima di eseguire il gonfiaggio del pallone, in modo che quando il pallone non è totalmente gonfio ma comunque in grado di sostenersi da solo, queste possono essere agganciate all'involucro.

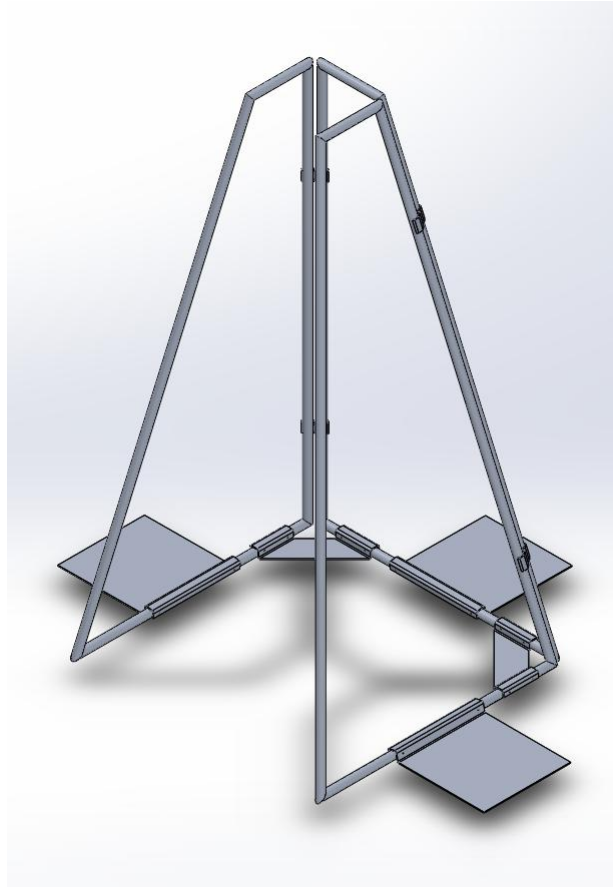


Figura 3.9: Conformazione del secondo prototipo di ground station

La struttura così progettata permette di lavorare e accedere più facilmente al payload, tuttavia sono presenti delle problematiche legate al design:

- Aggiunta di peso a bordo del pallone a causa dell'inserimento di controventature;
- Il montaggio è da considerarsi difficoltoso in quanto sono presenti alcuni giunti senza i quali la struttura non riuscirebbe a mantenersi eretta, inoltre
- la lavorazione dei componenti così come ideati, anche se tubolari, risulta essere complessa, a causa degli angoli di raccordo, e quindi costosa;
- la conformazione della struttura non permette una rapida ricollocazione delle componenti all'interno della valigia da viaggio e quindi ne compromette il trasporto.

Se dovesse essere necessaria una trasmissione video 4K, non gestibile tramite trasmissione Wi-Fi, con questa configurazione è possibile utilizzare un cavo di trasmissione sufficientemente lungo che corre lungo una controventatura. Quest'aggiunta aumenterebbe il peso del pallone ma garantirebbe di svolgere appieno una missione di questo tipo.

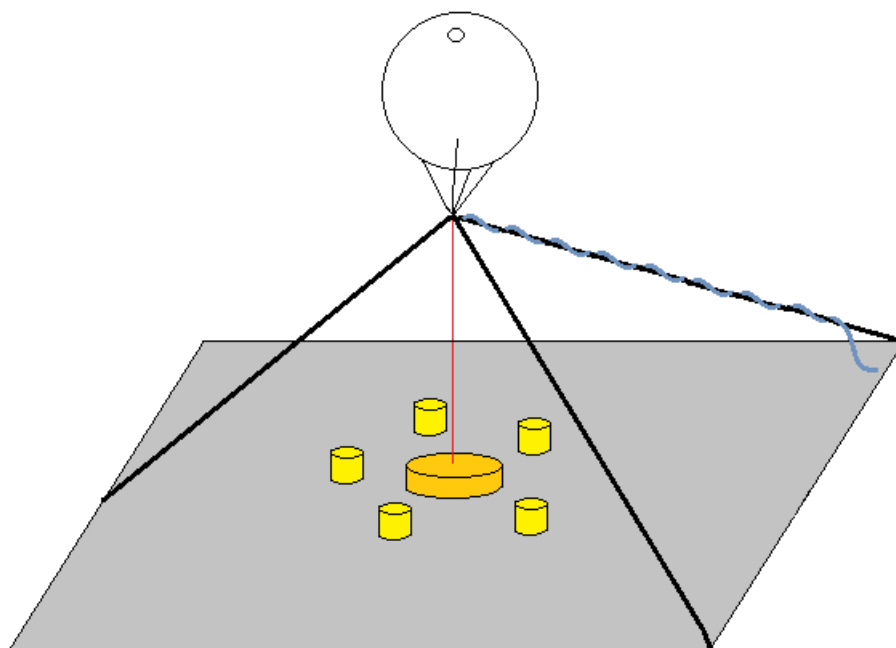


Figura 3.10: Configurazione con controventatura

3.3.3 La soluzione

Il design della struttura finale è molto simile a quella del secondo prototipo dove la forma piramidale consente al payload di essere poggiato e agli operatori di accedervi il più agevolmente possibile. Tuttavia si è provato a ridurre il peso facilitandone il trasporto. L'anima della struttura, alta 1.80 m, è costituita da tubi cavi, identici tra loro, di lunghezza 42 cm, in modo da poter essere facilmente adoperati e riposti nell'apposita valigia per il trasporto, e aventi diametro di 33 mm. Collegati tra loro attraverso dei giunti modellati appositamente a causa dei particolari angoli formati, questi sono connessi alle sezioni tubolari attraverso dei fori di accoppiamento nel quale possono essere inserite o delle spine o delle viti. La ground station è ancorata a terra tramite delle piastre sulle quali vi si pongono delle zavorre.

Non essendo ancora stata realizzata, come ulteriore misura precauzionale, sono state predisposte delle controventature permanenti di stabilità, quindi presenti anche quando questo è in volo. Disponendo le controventature triangolarmente si ottiene una maggiore stabilità indipendentemente dalla direzione della corrente ventosa, diminuendo così gli sforzi applicati sulla struttura e mitigando il rischio di incidenti.

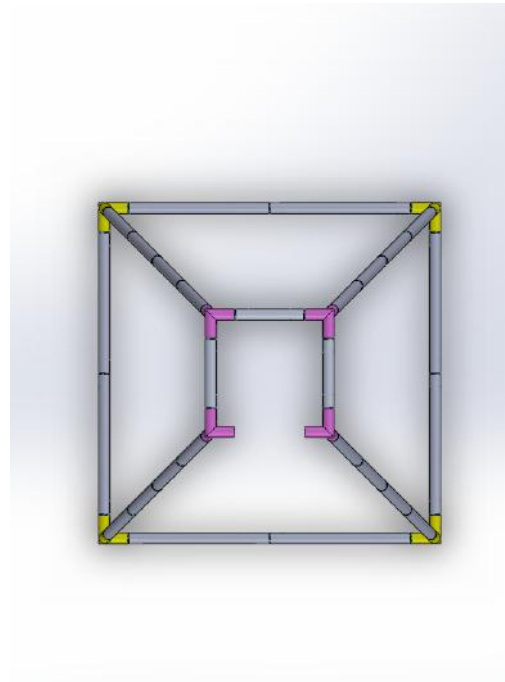
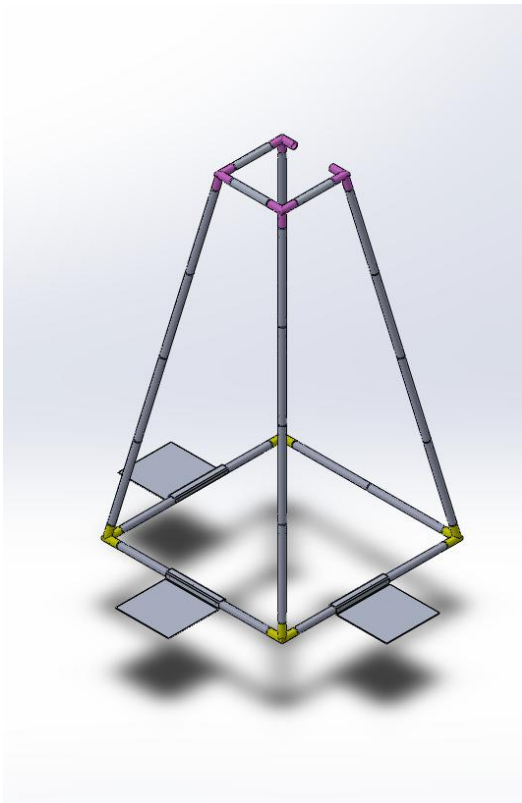


Figura 3.11: Soluzione adottata per la ground station

Questa struttura è composta da:

- 24 x Tubi $\Phi = 33 \text{ mm}$ $L = 420 \text{ mm}$;
- 3 x Tubi top $\Phi = 33 \text{ mm}$ $L = 204 \text{ mm}$;
- 4 x Giunto triassico base;
- 4 x Giunto triassico top;
- 4 x Giunto assiale;

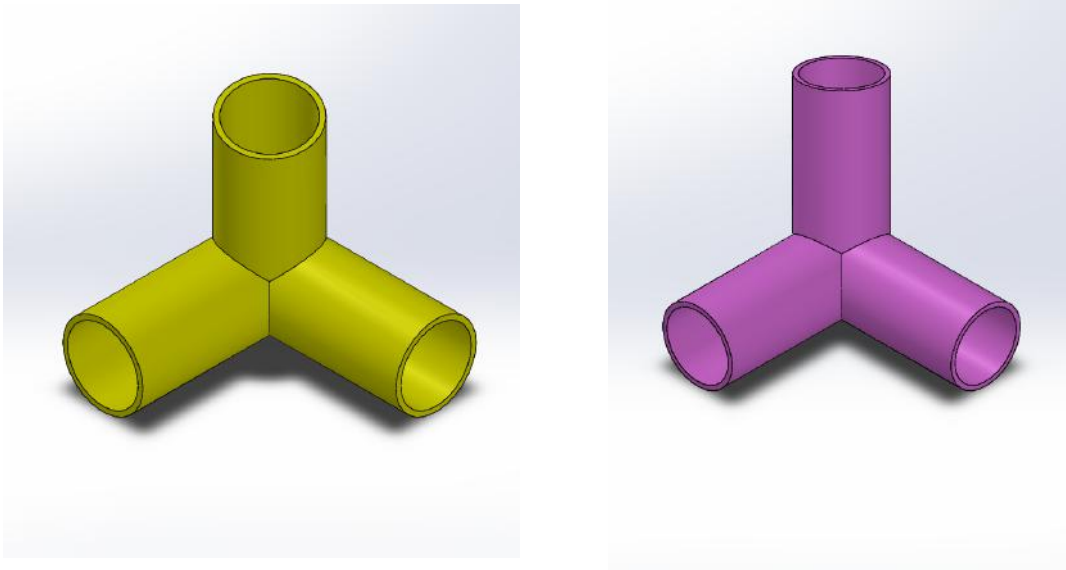


Figura 3.12: Dettaglio giunti triassiali base (giallo), top (viola)

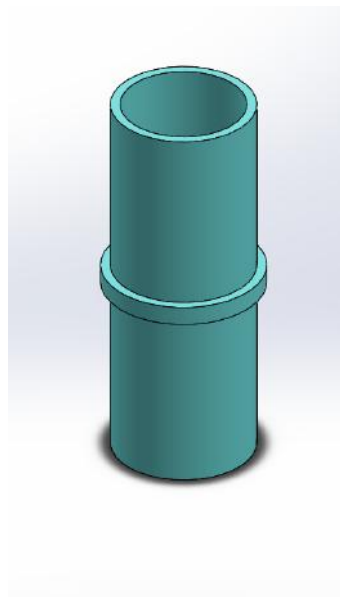


Figura 3.13: Dettaglio giunto assiale

La configurazione operativa finale prevede a seconda della grandezza dell'area sterile un diverso schieramento delle attrezzature operative a terra. Infatti in caso di un'aera piccola il verricello può essere posto all'interno della struttura, ma in caso si disponesse di un'area operativa grande il verricello potrebbe dislocato in una zona al di fuori della ground station e utilizzata una puleggia di rinvio zavorrata per ridurre le sollecitazioni agenti sul verricello.

3.4 Manuale operativo

I requisiti normativi elaborati hanno fatto emergere l'esigenza di realizzare un manuale operativo. Questo permette inoltre di condensare in un unico documento informazioni relative sia ai requisiti e alla preparazione della missione, che allo svolgimento delle operazioni, senza considerare l'apporto positivo alle sessioni di training dello staff coinvolto nelle operazioni.

Il manuale, di cui in questa tesi è stata svolta una versione in bozza, si apre con una panoramica introduttiva inerente le operazioni aeree svolte all'interno del progetto MONICA. La collaborazione necessaria con i partner viene quindi contestualizzata a seconda dell'evento per il quale è programmata la missione. Inoltre vengono esplicitati e definiti gli obiettivi della piattaforma sviluppata da DigiSky e le interfacce di cui dispone per interagire con gli altri elementi del sistema MONICA.

La prima sezione del documento descrive ruoli e responsabilità delle persone coinvolte. Ciò permette di soddisfare i requisiti dettati dalle norme dell'aviazione, chiarendo le attività e le mansioni che il personale deve svolgere nell'ambito delle operazioni. Particolare accento e dettaglio è rivolto alle figure chiave del team di lavoro, quali il responsabile delle operazioni, gli operatori e assistenti e l'organizzatore dell'evento. Una sezione dedicata al coordinamento faciliterà la preparazione e la pianificazione della missione e a chiarificare i canali di comunicazione preferibilmente utilizzabili.

La sezione successiva tratta i riferimenti normativi e legislativi applicabili. Sono evidenziate le norme di riferimento e i requisiti cogenti evidenziati, nonché i metodi di conformità applicati. Nel dettaglio vengono anche descritti i documenti da realizzare per la pianificazione, esecuzione e rapporto di missione. Sono differenziati i comportamenti e i riferimenti da utilizzare in caso di missioni in territorio italiano (dettagliatamente analizzate e testate in quanto paese di appartenenza della società, quindi preferibile scenario operativo) o in territorio europeo. Non è stata presa in considerazione l'ipotesi di operare fuori dai confini regolamentati EASA.

Procedendo verso una sezione maggiormente concreta e volta alla realizzazione della missione sul luogo dell'evento, il manuale specifica i requisiti che devono essere garantiti dall'organizzatore dell'evento in modo da garantire la sicurezza e fattibilità delle operazioni del pallone aerostatico. Molto importante lo specifico paragrafo riguardante l'area sterile di missione, che garantisce estrema libertà di manovra agli operatori DigiSky e la corretta esecuzione delle operazioni. Qui è inoltre descritta la configurazione operativa adottata, elencando inoltre i motivi di applicazione di determinate configurazioni e decisioni operative.

La descrizione della fase operativa è senza dubbio il cuore del manuale. La sezione descrive l'intero processo operativo e tutti i parametri di influenza, a partire dalle condizioni e limitazioni meteo emerse dall'analisi aerodinamica svolta, con evidenza delle condizioni operative proibitive. Il briefing di missione risulta necessario per allineare il team prima delle operazioni e stabilire una micro pianificazione delle attività necessarie anche a seconda della zona destinata al rilascio e decollo del pallone. Nel manuale è trattata nel dettaglio la fase di gonfiaggio essendo una fase critica soprattutto dal punto di vista della sicurezza dal momento in cui coinvolge bombole di gas ad alta pressione. Inoltre è richiesto l'uso di equipaggiamento specifico, oltre ad una appropriata formazione del personale. Le tre fasi di volo vere e proprie comprendono la descrizione delle attività legate al decollo, mantenimento in aria

e richiamo (atterraggio) del pallone. Riassumendo i concetti esplicitati, nel capitolo delle "Operazioni" sono inclusi i concetti su come svolgere correttamente tutte le fasi della missione.

La figura sottostante rappresenta lo schema e l'indicizzazione elaborati per il manuale in questa tesi. La bozza elaborata, disponibile nell'archivio del progetto MONICA, sarà una buona base di partenza per la stesura di un manuale dettagliato e definitivo volto a completare il set documentale fornito da DigiSky ai partner del progetto. Va considerato inoltre che il manuale andrà arricchendosi dei contributi portati da i test report svolti in azienda, dalle simulazioni effettuate nell'aeroporto, dagli eventi pubblici ai quali si è partecipato e ad eventuali suggerimenti e consigli portati dagli altri partner, oltre a modificarsi qualora vengano emendate variazioni sulle normative internazionali.



Figura 3.14: Concept del manuale operativo

Capitolo 4

Gestione del rischio

Il Safety Risk Management (SRM) è un componente chiave della gestione della sicurezza e comprende l'identificazione dei pericoli, la valutazione del rischio di sicurezza, la mitigazione degli stessi e l'accettazione del rischio. L'SRM è un'attività continua perché il sistema aeronautico è in costante cambiamento, si possono introdurre nuovi rischi e alcuni pericoli e rischi associati alla sicurezza possono cambiare nel tempo. Inoltre, l'efficacia delle strategie di mitigazione del rischio di sicurezza implementate deve essere monitorata per determinare se sono necessarie ulteriori azioni. Nel trasporto aereo, un pericolo può essere considerato come una potenziale situazione o condizione dannosa, dormiente, presente in una forma o nell'altra all'interno del sistema o del suo ambiente. Questo danno potenziale può apparire in forme diverse, ad esempio: come condizione naturale (uno scenario operativo generico) o stato tecnico (una specifica caratteristica del generale scenario di riferimento).

I pericoli sono una parte inevitabile delle attività di trasporto aereo e operazioni aeronautiche, tuttavia, la loro manifestazione e le possibili conseguenze negative possono essere affrontate attraverso strategie di mitigazione che mirano a contenere il rischio che il pericolo si traduca in una condizione non sicura o peggio ancora in un incidente. L'aviazione, in quanto sistema complesso, può coesistere con i pericoli purchè siano controllati e portati al di sotto di una soglia di accettabilità definita.

4.0.1 Identificazione dei pericoli

L'identificazione dei pericoli è il primo passo nel processo SRM. Precede una valutazione del rischio di sicurezza e richiede una chiara comprensione dei pericoli e delle relative conseguenze.

L'identificazione e la ricerca dei pericoli si concentrano su condizioni o oggetti che potrebbero causare o contribuire al funzionamento insicuro di attrezzature, prodotti e servizi relativi alla sicurezza aerea dell'aeromobile. Si consideri, ad esempio, un vento a quindici nodi. Quindici nodi di vento non sono necessariamente una condizione pericolosa. Infatti, un vento di quindici nodi che soffia direttamente lungo la pista migliora le prestazioni di decollo e atterraggio degli aerei. Ma se il vento di quindici nodi soffia al traverso sulla pista, si crea una condizione di vento in coda che può essere pericolosa per le operazioni. Ciò è dovuto al suo potenziale di contribuire all'instabilità e manovrabilità degli aerei. La riduzione del controllo potrebbe portare a un evento, come un'escursione laterale rispetto alla pista o fuoriuscita del velivolo dagli spazi della stessa.

Può capitare di confondere i pericoli con le loro conseguenze: una conseguenza è

il risultato che è innescato da un pericolo. Ad esempio, un'escursione in pista con superamento del perimetro di definizione della stessa, è una potenziale conseguenza correlata al pericolo di una pista contaminata dal ghiaccio. Definendo chiaramente il pericolo in primo luogo, è possibile identificare più facilmente le possibili conseguenze. Nell'esempio di vento trasversale di cui sopra, un risultato immediato del pericolo potrebbe essere la perdita del controllo laterale seguito da una conseguente escursione in pista. La conseguenza finale potrebbe essere un incidente. Il potenziale dannoso di un pericolo può materializzarsi attraverso una o più conseguenze. È importante che le valutazioni del rischio di sicurezza identifichino tutte le possibili conseguenze. La conseguenza più estrema, la perdita della vita umana, dovrebbe essere differenziata da quelle che comportano conseguenze minori. La descrizione delle conseguenze aggiungerà informazioni alla valutazione del rischio, al successivo sviluppo, all'implementazione delle mitigazioni attraverso l'assegnazione delle priorità e all'allocazione delle risorse. Un'identificazione dettagliata e accurata dei pericoli porterà a una valutazione più accurata dei rischi per la sicurezza e alla selezione delle misure mitigative più efficaci ed urgenti.

I pericoli esistono a tutti i livelli sia operativi che organizzativi (aziendali) e sono rilevabili attraverso molte fonti tra cui sistemi di segnalazione, ispezioni, audit, sessioni di brainstorming e giudizio di esperti. L'obiettivo è di identificare proattivamente i pericoli prima che possano causare incidenti a persone o cose o altri eventi relativi alla sicurezza. Un importante meccanismo per l'identificazione proattiva dei pericoli è un sistema volontario di segnalazione di sicurezza. Le informazioni raccolte attraverso tali sistemi di segnalazione possono essere integrate da osservazioni o risultati registrati durante le ispezioni di routine del sito o gli audit interni. I rischi possono anche essere identificati nella revisione o nello studio di rapporti di indagini interne ed esterne. Analisi e considerazioni dei rischi evidenziati ed emersi durante la revisione delle relazioni di inchiesta sugli incidenti è un buon modo per migliorare il sistema di identificazione dei pericoli. Ciò è particolarmente importante quando la cultura della sicurezza dell'organizzazione non è ancora sufficientemente matura per supportare un'efficace segnalazione volontaria sulla sicurezza, o in piccole organizzazioni con eventi o rapporti limitati. Un'importante elenco di pericoli specifici legati a operazioni e attività proviene da fonti esterne come l'ICAO, le associazioni di categoria o altri organismi internazionali. L'identificazione dei pericoli può anche considerare pericoli che sono generati al di fuori dell'organizzazione e i pericoli che sono al di fuori del controllo diretto dell'organizzazione come condizioni meteorologiche estreme. I pericoli legati ai rischi emergenti per la sicurezza sono anche un modo importante per le organizzazioni di prepararsi a situazioni che potrebbero eventualmente verificarsi.

Quando si identificano i pericoli si dovrebbe considerare quanto segue:

- descrizione del sistema;
- fattori di progettazione, compresa la progettazione di apparecchiature e compiti;
- limitazioni delle prestazioni umane (ad esempio fisiologiche, psicologiche, fisiche e cognitive);
- procedure e pratiche operative, compresa la documentazione e le liste di controllo, e la loro convalida in condizioni operative effettive;

-
- fattori di comunicazione, inclusi i media, la terminologia e il linguaggio;
 - fattori organizzativi, come quelli relativi all'assunzione, alla formazione e al mantenimento del personale, alla compatibilità degli obiettivi di produzione e di sicurezza, all'allocazione delle risorse, alle pressioni operative e alla cultura della sicurezza aziendale;
 - fattori legati all'ambiente operativo (ad esempio condizioni meteorologiche, rumore ambientale e vibrazioni, temperatura e illuminazione);
 - fattori di supervisione regolamentare, tra cui responsabilità e applicabilità delle normative e la certificazione di attrezzature, personale e procedure;
 - sistemi di monitoraggio delle prestazioni in grado di rilevare derive pratiche, deviazioni operative o un deterioramento dell'affidabilità del prodotto;
 - fattori di interfaccia uomo-macchina;

I rischi per la sicurezza associati ai rischi composti che incidono simultaneamente sulla sicurezza aerea e sull'OSHE (Occupational Safety, Health and Environmental) possono essere gestiti attraverso processi di attenuazione del rischio separati (paralleli). In alternativa, un sistema integrato di riduzione del rischio dell'aviazione e dell'OSHE può essere utilizzato per affrontare i rischi composti. Un esempio di rischio composto è un colpo di fulmine su un aereo in un cancello di transito aeroportuale. Questo rischio può essere considerato da un ispettore OSHE come un "rischio sul luogo di lavoro" (personale di terra / sicurezza sul lavoro). Per un ispettore della sicurezza aerea, è anche un pericolo per l'aviazione con rischio di danni all'aeromobile e un rischio per la sicurezza dei passeggeri. È importante considerare sia l'OSHE che le conseguenze sulla sicurezza aerea di tali rischi composti, poiché non sono sempre gli stessi. Lo scopo e l'attenzione dei controlli preventivi per OSHE e le conseguenze sulla sicurezza aerea possono essere diverse.

Le due principali metodologie per identificare i pericoli sono:

- Reattivo. Questa metodologia implica l'analisi degli esiti o degli eventi passati. I pericoli sono identificati attraverso l'investigazione di eventi di sicurezza. Gli incidenti sono un'indicazione delle carenze del sistema e quindi possono essere utilizzati per determinare quali pericoli hanno contribuito all'evento. L'indagine è un tipico strumento reattivo nell'ambito della sicurezza. Fornisce una quantità elevatissima di dati ma ad evento già avvenuto.
- Proattivo. Questa metodologia implica la raccolta di dati di sicurezza relativi a eventi con conseguenze inferiori o le prestazioni del processo e l'analisi delle informazioni sulla sicurezza o frequenza di accadimento per determinare se un pericolo possa provocare un incidente. Le informazioni sulla sicurezza per l'identificazione proattiva dei rischi provengono principalmente dai programmi di analisi dei dati di volo (FDA - Flights Data Analysis), dai sistemi di segnalazione della sicurezza e dalla funzione di garanzia della sicurezza.

I rischi possono anche essere identificati attraverso l'analisi dei dati di sicurezza che identifica le tendenze avverse e fa previsioni sui rischi emergenti, ecc. Le organizzazioni dovrebbero anche identificare i pericoli relativi alle loro interfacce di gestione

della sicurezza. Ciò dovrebbe, ove possibile, essere svolto come esercizio congiunto con le organizzazioni che si interfacciano. L'identificazione del pericolo dovrebbe considerare l'ambiente operativo e le varie capacità organizzative (persone, processi, tecnologie) che potrebbero contribuire alla consegna sicura del servizio o alla disponibilità, funzionalità o prestazione del prodotto.

Ciò dovrebbe, ove possibile, essere svolto come esercizio congiunto con le organizzazioni che si interfacciano. L'identificazione del pericolo dovrebbe considerare l'ambiente operativo e le varie capacità organizzative (persone, processi, tecnologie) che potrebbero contribuire alla consegna sicura del servizio o alla disponibilità, funzionalità o prestazione del prodotto.

Ad esempio, un'inversione di rotta dell'aereo coinvolge molte organizzazioni e personale operativo che lavorano all'interno e intorno all'aereo. È probabile che vi siano pericoli legati alle interfacce tra il personale operativo, le loro apparecchiature e il coordinamento dell'attività di turnaround.

La probabilità del rischio di sicurezza è la probabilità che si verifichi una conseguenza. È importante considerare diversi scenari in modo da considerare tutte le potenziali conseguenze. La determinazione della probabilità può essere aiutata da domande come:

- Esiste una cronologia di eventi simili a quella in esame o si tratta di un evento isolato?
- Quali altre apparecchiature o componenti dello stesso tipo potrebbero avere problemi simili?
- Quanti dipendenti seguono o sono soggetti alle procedure in questione?
- Qual è l'esposizione del rischio considerato? Ad esempio, qual è la percentuale di tempo in cui l'apparecchiatura o l'attività è in uso durante un'operazione.

Qualsiasi fattore alla base di queste domande sarà di aiuto nel valutare la probabilità delle conseguenze del rischio, prendendo in considerazione tutti gli scenari prevedibili.

Un evento è considerato prevedibile se, nelle stesse circostanze, una persona ragionevole si aspetta lo stesso tipo di evento. L'identificazione di ogni rischio possibile o teoricamente possibile non è né possibile né desiderabile. È necessario un giudizio per determinare il livello appropriato di dettaglio nell'identificazione dei pericoli. I fornitori di servizi dovrebbero esercitare la dovuta diligenza nell'identificare i rischi significativi e ragionevolmente prevedibili relativi al loro prodotto o servizio.

Per quanto riguarda la progettazione del prodotto, il termine "prevedibile" è inteso per essere coerente con il suo uso in regolamenti, politiche e linee guida di aeronavigabilità.

La tabella seguente mostra come, all'interno di questo progetto, sono state definite le probabilità di rischio per la sicurezza, distinguendo cinque categorie per indicare la probabilità relativa a un evento o una condizione non sicura. Inoltre per ciascuna probabilità è stato definito un particolare significato e assegnato un valore. Questa tabella utilizza termini qualitativi. Queste probabilità potrebbero essere definite

anche con termini quantitativi per fornire una valutazione più accurata, ciò dipende dalla disponibilità dei dati di sicurezza, dalla complessità dell'organizzazione e del funzionamento.

La nomenclatura delle probabilità e quella della gravità dei rischi è stata redatta in inglese al fine di mantenere un'analogia con quella esposta nel "Safety Management Manual (SMM) (Doc 9859)" stilata dall'ICAO, in modo da non incorrere in definizioni equivoche e mantenere delle grandezze simili seppur proporzionate all'ambito di questo progetto.

Probabilità	Significato	Valore
Frequent	Probabilmente si verificano molte volte (si è verificato frequentemente)	5
Occasional	Probabilmente si verifica a volte (si è verificato raramente)	4
Remote	Improbabile che si verifichi, ma possibile (si è verificato raramente)	3
Improbable	Molto improbabile che si verifichi (non noto si è verificato)	2
Extremely improbable	Quasi inconcepibile che l'evento si verifichi	1

Tabella 4.1: Tabella delle probabilità di rischio di sicurezza

Una volta completata la valutazione della probabilità, il passo successivo consiste nel valutare la gravità, tenendo conto delle potenziali conseguenze correlate al pericolo. La gravità del rischio di sicurezza è definita come l'entità del danno che potrebbe ragionevolmente verificarsi come conseguenza o risultato del rischio identificato. La classificazione di gravità dovrebbe considerare:

- decessi o lesioni gravi a seguito di:
 - a. essere nell'aereo
 - b. contatto diretto con qualsiasi parte dell'aeromobile, incluse le parti che sono state staccate dall'aeromobile;
- danno:
 - a. gli aeromobili subiscono danni o cedimenti strutturali che:
 - 1. influenza negativamente la resistenza strutturale, le prestazioni o le caratteristiche di volo dell'aeromobile;
 - 2. richiederebbe di norma riparazioni importanti o la sostituzione del componente interessato;
 - b. l'ATS o l'equipaggiamento dell'aeroporto subisce un danno che:
 - 1. la gestione della separazione degli aeromobili è influenzata negativamente; o
 - 2. la capacità di atterraggio viene influenzata negativamente.

La valutazione della gravità dovrebbe considerare tutte le possibili conseguenze relative a un pericolo, tenendo conto della peggiore situazione prevedibile. La tabella di seguito rappresenta una tipica tabella di severità del rischio per la sicurezza. Comprende cinque categorie per indicare il livello di gravità, la descrizione di ogni categoria e l'assegnazione di un valore a ciascuna categoria.

Gravità	Significato	Valore
Catastrophic	Velivolo o equipaggiamento distrutto. Morte	5
Hazardous	Notevole riduzione dei margini di sicurezza, disagio fisico o un carico di lavoro tale che non è possibile fare affidamento sul personale operativo per svolgere i propri compiti in modo accurato o completo. Possibili ferite gravi o danni alle attrezzature principali	4
Major	Significativa riduzione dei margini di sicurezza, riduzione della capacità del personale operativo di far fronte a condizioni operative avverse a seguito di un aumento del carico di lavoro o a causa di condizioni che compromettono la loro efficienza. Possibile incidente grave o lesioni alle persone	3
Minor	Fastidio, limitazioni operative, uso di procedure di emergenza, incidente minore	2
Negligible	Conseguenze minime o assenti	1

Tabella 4.2: Tabella di gravità del rischio per la sicurezza

Una combinazione di probabilità e gravità definisce un indice di rischio. Tutte le combinazioni di gravità/probabilità sono presentate nella matrice di valutazione del rischio di sicurezza nella Figura 4.1. La matrice di valutazione del rischio di sicurezza viene utilizzata per determinare la tollerabilità del rischio di sicurezza. Si consideri, ad esempio, una situazione in cui una probabilità di rischio per la sicurezza è stata valutata come occasionale (Occasional - 4) e la gravità del rischio per la sicurezza è stata valutata come pericolosa (Hazardous - 4).

L'indice ottenuto dalla matrice di valutazione del rischio di sicurezza deve quindi essere esportato in una tabella di tollerabilità del rischio di sicurezza che descriva i criteri di tollerabilità per la particolare organizzazione. Utilizzando l'esempio sopra, il criterio per il rischio di sicurezza valutato come (4;4) rientra nella categoria "Extreme".

Likelihood	Consequence				
	Negligible	Minor	Major	Hazardous	Catastrophic
Extremely Improbable	Low	Low	Low	Moderate	Moderate
Improbable	Low	Low	Moderate	Moderate	High
Remote	Low	Moderate	Moderate	High	Extreme
Occasional	Moderate	Moderate	High	Extreme	Extreme
Frequent	Moderate	High	Extreme	Extreme	Extreme

Figura 4.1: Matrice di rischio

In questo caso, l'indice di rischio di sicurezza delle conseguenze è inaccettabile. L'organizzazione deve pertanto intraprendere azioni di controllo del rischio per ridurre:

- l'esposizione dell'organizzazione al particolare rischio, ovvero ridurre la componente di probabilità del rischio ad un livello accettabile;
- la gravità delle conseguenze correlate al pericolo, ovvero ridurre la componente di gravità del rischio ad un livello accettabile; o
- la gravità e la probabilità in modo che il rischio sia gestito a un livello accettabile.

Per la matrice associata a questo progetto sono stati individuati 4 livelli di rischio:

- Extreme (rosso): il rischio è inaccettabile. Le azioni correttive dovrebbero essere intraprese immediatamente. Notificare immediatamente il responsabile delle operazioni. Gli operatori devono seguire la procedura operativa di emergenza.
- High (arancione): il rischio è inaccettabile. Notificare immediatamente il responsabile delle operazioni. Gli operatori devono seguire la procedura operativa di emergenza.
- Moderate (giallo): il rischio è tollerabile con le relative azioni correttive / mitigative. Notifica responsabile delle operazioni. Gli operatori devono seguire la procedura operativa di emergenza.
- Low (verde): il rischio è accettabile gli operatori devono seguire la procedura operativa.

I rischi per la sicurezza sono concettualmente valutati come accettabili (Low), tollerabili (Moderate) o intollerabili (High, Extreme). I rischi per la sicurezza valutati, poiché inizialmente cadono nelle regioni intollerabili, sono inaccettabili in qualsiasi circostanza. La probabilità e/o la gravità delle conseguenze dei pericoli sono di tale entità e il potenziale dannoso del pericolo pone una tale minaccia alla sicurezza, che è necessaria un'azione di mitigazione o un'interruzione della missione.

La considerazione dei fattori umani ha un'importanza particolare nella gestione del rischio di sicurezza (SRM - Safety Risk Management) poiché le persone possono essere sia una fonte che una soluzione ai rischi per la sicurezza:

- contribuire a un incidente o incidente attraverso prestazioni variabili dovute a limitazioni umane;
- anticipare e adottare le misure appropriate per evitare una situazione pericolosa: e
- risolvere problemi, prendere decisioni e intraprendere azioni per mitigare i rischi.

L'SRM richiede che vengano affrontati tutti gli aspetti del rischio per la sicurezza, compresi quelli relativi all'uomo. Valutare i rischi associati alle prestazioni umane è più complesso dei fattori di rischio associati alla tecnologia e all'ambiente poiché:

- le prestazioni umane sono molto variabili, con una vasta gamma di influenze interagenti interne ed esterne all'individuo. Molti degli effetti dell'interazione tra queste influenze sono difficili o impossibili da prevedere; e
- le conseguenze delle prestazioni umane variabili saranno diverse a seconda del compito svolto e del contesto.

Ciò complica il modo in cui viene determinata la probabilità e la gravità del rischio. Pertanto, la competenza dei fattori umani è preziosa per l'identificazione e la valutazione dei rischi per la sicurezza.

Come mostrato nell'Appendice 1 sono stati definiti diversi pericoli per ogni area operativa. Partendo dalle esperienze pregresse affrontate dagli operatori negli eventi passati proseguendo con l'individuazione dei problemi supponendo di utilizzare la ground station e la configurazione finale di pallone e sensor board, si sono individuate 5 aree di rischio, dentro le quali vi sono diversi pericoli (Hazards). Ad ognuno è stato attribuito un "Hazard ID" e un valore di probabilità (Likelihood) e di gravità (Consequence) determinando così la posizione del pericolo all'interno della matrice di rischio. Di seguito sono riportati alcuni rischi individuati, uno per ognuna delle aree di rischio identificate.

Hazard ID	Risk Area	Hazard	Consequence	Likelihood	Risk LVL
HES.5	Malfunzionamento Equipaggiamenti (Supporto)	Struttura non fissata correttamente	Major	Remote	Moderate

Tabella 4.3: HES.5

Con l’Hazard ID HES.5 (Hazard Equipment Support) si identifica l’erroneo fissaggio della ground station, tramite zavorre o picchetti, al suolo dal quale potrebbero scaturire diversi ”top event”, che potrebbero compromettere la missione, sia all’equipaggio (lesioni) sia al pallone (strappo provocato dal trascinarsi della struttura). Nella classificazione effettuata queste conseguenze hanno un impatto ”Major” sulla missione, tuttavia è improbabile che queste si verifichino. All’interno della matrice di rischio (Allegato 1) questo Hazard si colloca al livello (3;3) e quindi considerato ”Moderate”.

Hazard ID	Risk Area	Hazard	Consequence	Likelihood	Risk LVL
HEP.4	Malfunzionamento Equipaggiamenti (Payload)	Distacco parz. della baia di carico	Minor	Remote	Moderate

Tabella 4.4: HEP.4

Con l’Hazard ID HEP.4 (Hazard Equipment Payload) viene indicato il parziale distacco della baia di carico nella quale alloggia il payload. Tale distacco parziale comprometterebbe alcune funzioni del payload come la video-sorveglianza o il rilevamento di alcune grandezze ambientali. Nonostante questo il payload non subirebbe danni tangibili motivo per cui il rischio è stato considerato ”Minor”, inoltre la probabilità che questo evento si verifichi è stata giudicata ”Remote”, il che lo colloca al livello (2;3) e considerato ”Moderate”.

Hazard ID	Risk Area	Hazard	Consequence	Likelihood	Risk LVL
HOP.2	Problemi Operativi	Errata coordinazione con i partner	Hazardous	Improbable	Moderate

Tabella 4.5: HOP.2

L’Hazard ID HOP.2 (Hazard Operational Problem) si riferisce all’eventuale errata coordinazione del pilota in comando con i diversi partner come l’organizzatore dell’evento, che potrebbe non dedicare un’area sterile adeguata, o l’autorità aeroportuale, richiesta NOTAM non effettuata. Il ”top event” generato da questo hazard, indipendentemente dal tipo di partner coinvolto, corrisponderebbe ad una notevole riduzione dei margini di sicurezza sia per il pallone che per gli operatori. Quindi la gravità è stata considerata ”Hazardous” seppure la probabilità che si verifichi sia improbabile. La collocazione di questo pericolo nella matrice di rischio (Allegato 1) risulta essere (4;2) e quindi ”Moderate”.

Hazard ID	Risk Area	Hazard	Consequence	Likelihood	Risk LVL
HB.6	Rischi inerenti al pallone	Lacerazione involucro < 5 cm per collisione	Major	Remote	Moderate

Tabella 4.6: HB.6

Con la dicitura HB.6 (Hazard Balloon) si denota una lacerazione dell'involucro del pallone < 5 cm causata dalla collisione con gli ostacoli che potrebbero circondare l'area sterile. Il "top event" generato da questo pericolo consiste nella sospensione temporanea o nell'annullamento della missione. La gravità di questo pericolo è considerata "Major" e la probabilità che esso si verifichi è "Remote". La posizione dell'hazard HB.6 all'interno della matrice di rischio è (3;3) e quindi il livello di rischio risulta essere, anche questa volta, "Moderate" e quindi tollerato previa l'applicazione di alcune azioni mitigative.

Hazard ID	Risk Area	Hazard	Consequence	Likelihood	Risk LVL
HENV.1	Condizioni ambientali	Vento > 40 km/h	Hazardous	Remote	High

Tabella 4.7: HENV.1

Infine, l'Hazard, HENV.1 (Hazard ENVironmental) individua il pericolo di svolgere la missione con una corrente ventosa la cui velocità è maggiore di 40 km/h. La gestione dell'aerostato in queste condizioni potrebbe produrre gravi lesioni ai membri dell'equipaggio e al pallone stesso, per questo la gravità delle conseguenze è stata definita "Hazardous". La probabilità che si verifichi questo problema improbabile ma comunque possibile, quindi "Remote". Questo Hazard si colloca nella matrice di rischio in posizione (4;3), nella zona considerata di rischio inaccettabile (High).

È possibile consultare la matrice iniziale dei rischi, che include tutti gli hazards individuati, nell' Allegato 1.

4.0.2 Mitigazione del rischio

La mitigazione del rischio di sicurezza è definita come un'azione di controllo che serve a ridurre il rischio. I rischi per la sicurezza dovrebbero essere gestiti a un livello accettabile attenuando il rischio per la sicurezza attraverso l'applicazione di adeguati controlli. Questo dovrebbe essere bilanciato con il tempo, i costi e le difficoltà di intraprendere azioni per ridurre o eliminare il rischio per la sicurezza. Il livello di rischio per la sicurezza può essere ridotto riducendo la gravità delle potenziali conseguenze, riducendo la probabilità di accadimento o riducendo l'esposizione a tale rischio. In generale è più facile e più comune ridurre la probabilità che ridurre

la gravità del rischio.

Le attenuazioni del rischio di sicurezza sono azioni che spesso portano a modifiche delle procedure operative, delle apparecchiature o dell'infrastruttura. Le strategie di mitigazione del rischio di sicurezza si dividono in tre categorie:

- Prevenzione: l'operazione o l'attività è annullata o evitata perché il rischio per la sicurezza supera i benefici del proseguimento dell'attività, eliminando così completamente il rischio per la sicurezza.
- Riduzione: la frequenza dell'attività è ridotta, oppure viene intrapresa un'azione per ridurre l'entità delle conseguenze del rischio per la sicurezza.
- Segregazione: viene intrapresa un'azione per isolare gli effetti delle conseguenze del rischio per la sicurezza o creare ridondanze per proteggerle.

La considerazione dei fattori umani è parte integrante dell'identificazione di mitigazioni efficaci perché quelli umani devono essere applicati o devono contribuire alla mitigazione o alle azioni correttive. Ad esempio, le mitigazioni possono includere l'uso di processi o procedure. Senza il contributo di coloro che useranno queste situazioni nel "mondo reale" e/o individui con esperienza in fattori umani, i processi o le procedure sviluppate potrebbero non essere adatti allo scopo e comportare conseguenze indesiderate. Inoltre, le limitazioni delle prestazioni umane dovrebbero essere considerate come parte di qualsiasi mitigazione del rischio per la sicurezza, costruendo strategie di cattura degli errori per affrontare la variabilità delle prestazioni umane. In definitiva, questa importante prospettiva dei fattori umani si traduce in mitigazioni più complete ed efficaci.

Una strategia di mitigazione del rischio per la sicurezza può coinvolgere uno degli approcci descritti sopra o includere più approcci. È importante considerare l'intera gamma di possibili misure di controllo per trovare una soluzione ottimale. L'efficacia di ciascuna strategia alternativa deve essere valutata prima di prendere una decisione. Ogni alternativa proposta per la mitigazione del rischio di sicurezza dovrebbe essere esaminata dalle seguenti prospettive:

- Efficacia. La misura in cui le alternative riducono o eliminano i rischi per la sicurezza. L'efficacia può essere determinata in termini di difese tecniche, formative e normative che possono ridurre o eliminare i rischi per la sicurezza.
- Costi-benefici. La misura in cui i benefici percepiti dalla mitigazione superano i costi.
- Praticità. La misura in cui può essere implementata la mitigazione e quanto è appropriata in termini di tecnologia disponibile, risorse finanziarie e amministrative, legislazione, volontà politica, realtà operative, ecc.
- Accettabilità. La misura in cui l'alternativa è accettabile per quelle persone che ci si aspetta che la applichino.
- Applicabilità. La misura in cui è possibile monitorare la conformità a nuove regole, regolamenti o procedure operative.
- Durata. La misura in cui la mitigazione sarà sostenibile ed efficace.

- Rischi per la sicurezza residua. Il grado di rischio per la sicurezza che rimane successivo all'implementazione della mitigazione iniziale e che può richiedere misure di controllo del rischio aggiuntive.
- Conseguenze non volute. L'introduzione di nuovi rischi e relativi rischi per la sicurezza associati all'implementazione di qualsiasi alternativa di mitigazione.
- Tempo. Tempo richiesto per l'implementazione dell'alternativa di mitigazione del rischio.

Le azioni correttive devono tenere conto di eventuali difese esistenti e della loro (in)capacità di raggiungere un livello accettabile di rischio per la sicurezza. Ciò potrebbe comportare una revisione delle precedenti valutazioni del rischio di sicurezza che potrebbero essere state influenzate dall'azione correttiva. Le attenuazioni e i controlli dei rischi di sicurezza dovranno essere verificati per garantire che siano efficaci. Un altro modo per monitorare l'efficacia delle mitigazioni è attraverso l'uso di un indicatore di performance di sicurezza (SPI - safety performance indicator), parametro basato sui dati utilizzato per il monitoraggio con il quale è possibile valutare le prestazioni di sicurezza, tuttavia essendo ancora in fase prototipale non sono presenti abbastanza dati per poter eseguire questo tipo di monitoring. Risulta quindi importante coinvolgere persone con competenze adeguate in materia di fattori umani nell'identificazione, valutazione e mitigazione dei rischi.

Per quanto detto, mantenendo gli esempi citati alla fine del paragrafo precedente, si riportano le azioni correttive da effettuare al fine di mitigare i rischi ad essi associati.

Hazard ID	Mitigative and corrective actions	New Consequence	New Likelihood	New Risk LVL
HES.5	Checklist pre-volo Training e formazione PO-Assemblaggio struttura Operazione multi-operatore	Minor	Extremely Improbable	Low

Tabella 4.8: Azioni mitigative predisposte per HES.5

Per ridurre il rischio dell'erroneo fissaggio della ground station sono state predisposte alcune mitigazioni come il supporto di una checklist per evitare di dimenticare componenti della struttura. Gli operatori coinvolti saranno sottoposti ad un corso di formazione e periodicamente a training e in loco dal manuale avente la procedura operativa (PO) per l'assemblaggio della struttura. Per ridurre ulteriormente questo rischio l'operazione di montaggio non sarà eseguita da un solo operatore, ma da almeno due, in modo da poter avere un confronto immediato sul lavoro appena eseguito. Con l'ausilio di questi artifici la gravità di questo problema risulta calare, rientrando nella classificazione "Minor", così come la probabilità che questo si verifichi, riducendosi ad "Extremely Improbable". In questo modo si genera una nuova tabella di rischio che include tutti i rischi di quella iniziale però considerando anche tutte le mitigazioni. Il rischio HES.5 con le sue relative mitigazioni verrà quindi col-

locato nella matrice in posizione (2;1), di conseguenza il suo livello di rischio passa da "Moderate" a "Low".

Hazard ID	Mitigative and corrective actions	New Consequence	New Likelihood	New Risk LVL
HEP.4	Fattore sicurezza ganci Controllo pre-volo Ganci multipli	Major	Improbable	Moderate

Tabella 4.9: Azioni mitigative predisposte per HEP.4

Per attenuare la possibilità che si verifichi il distacco parziale della baia di carico, in cui alloggia il payload, dal pallone aerostatico, in fase di progettazione sono stati inseriti dei ganci ridondanti. Tutti i ganci sono dotati di un carico di rottura maggiore di circa 10 volte rispetto al peso che dovrebbero sostenere durante la missione. Infine un controllo pre-volo ne verifica il corretto aggancio. Come detto prima queste mitigazioni influenzano solo la probabilità passando da "Remote" ad "Improbable". Quindi la gravità rimane invariata. Nella nuova matrice l'hazard denominato HEP.4 si colloca in posizione (3;2) e ritenuto "Moderate".

Hazard ID	Mitigative and corrective actions	New Consequence	New Likelihood	New Risk LVL
HOP.2	Checklist pre-missione PO - Richiesta NOTAM PO - Coord. planner	Major	Improbable	Moderate

Tabella 4.10: Azioni mitigative predisposte per HOP.2

Per prevenire le criticità dovute all'errata coordinazione con i partner sono state definite delle regole operative precise riguardanti sia la richiesta di NOTAM, all'autorità aeroportuale, sia il coordinamento con l'organizzatore dell'evento. Inoltre è stata predisposta una checklist pre-missione da verificare alcuni giorni prima che la missione abbia inizio. Con queste procedure si è ridotto il livello di severità e anche l'eventualità passando alla posizione (3;2) nella zona di rischio ritenuta tollerabile.

Hazard ID	Mitigative and corrective actions	New Consequence	New Likelihood	New Risk LVL
HB.6	Delimitazione area operativa Studio comportamento aerodin. Controllo a vista Manuale produttore	Minor	Improbable	Low

Tabella 4.11: Azioni mitigative predisposte per HB.6

Le azioni correttive intraprese per ridurre il rischio di strappo al pallone in seguito alla collisione con degli ostacoli, inizialmente classificata "Moderate", riguardano diversi aspetti. Nell'area operativa è stata predisposta una delimitazione in modo da segnalare la presenza del pallone sostenuto da un continuo controllo a vista da parte dei membri dell'equipaggio. Inoltre è stato condotto uno studio aerodinamico sull'escursione che l'aerostato potrebbe subire. Infine all'interno del manuale operativo sarà inserito anche il manuale del produttore dell'aerostato al fine di intraprendere correttamente le azioni per la gestione del pallone in volo. Queste mitigazioni riducono non soltanto la probabilità che questo evento si verifichi, ma anche la gravità, qualora dovesse verificarsi. Pertanto questo rischio è considerato "Low", collocandosi nella zona verde nella nuova matrice di rischio.

Hazard ID	Mitigative and corrective actions	New Consequence	New Likelihood	New Risk LVL
HENV.1	Annullamento missione Training e formazione Manuale produttore Studio comportamento aerodin.	Major	Improbable	Moderate

Tabella 4.12: Azioni mitigative predisposte per HB.6

Per diminuire il pericolo causato dal volo in presenza di vento oltre i 40 km/h i membri dell'equipaggio saranno supportati dallo studio aerodinamico della resistenza generata dal pallone in queste condizioni, inoltre saranno stati edotti tramite un training della procedura da eseguire per gestire il pallone in tutta sicurezza. A supporto avranno il manuale del produttore. Sarà compito del pilota in comando, dichiarare l'interruzione o l'annullamento della missione, riportando al suolo il pallone qualora la gestione del pallone risultasse complicata o pericolosa. Queste precauzioni riducono il rischio facendolo passare da "High" a "Moderate".

A fronte di tutte le mitigazioni e delle azioni correttive predisposte al fine di abbassare la gravità o ridurre la probabilità, o entrambe, di un determinato rischio si passa dalla matrice di rischio iniziale a quella finale (Allegato 1), nella quale si può notare come nella maggior parte dei casi il livello di rischio è diminuito spostando la popolazione dei dati verso la zona verde in cui il rischio è considerato accettabile. Di seguito è possibile apprezzare come i rischi dovuti ai pericoli sopra esposti, a seguito delle azioni mitigative siano notevolmente ridotti.

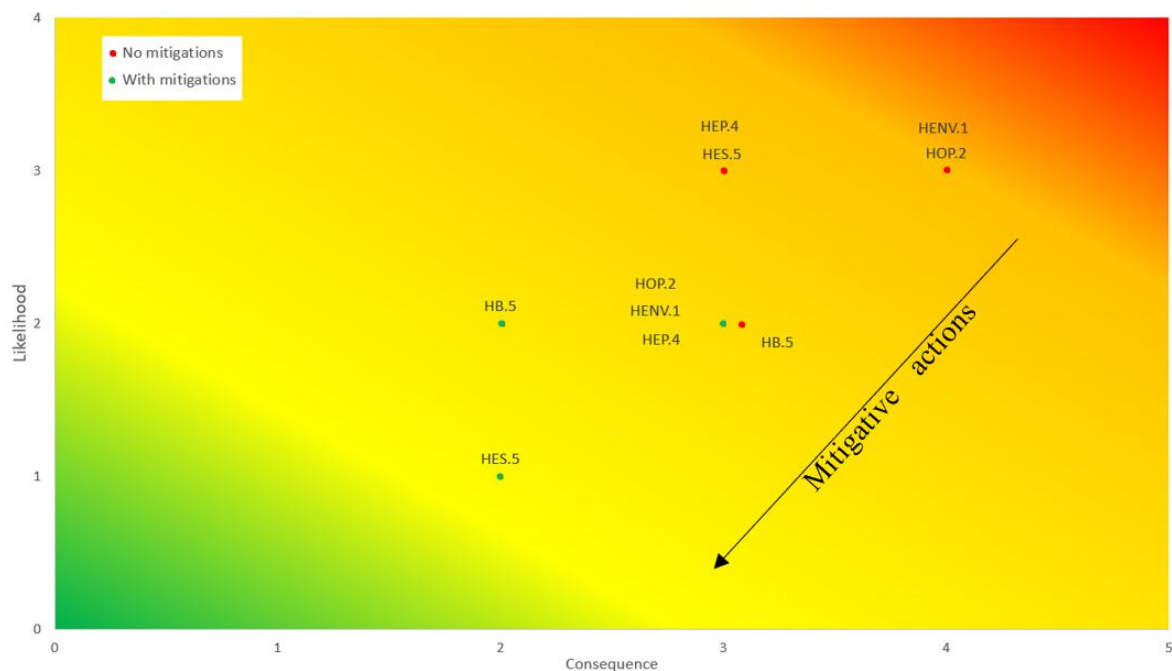


Figura 4.2: Variazione del rischio dei casi analizzati a seguito delle azioni mitigative

4.0.3 Monitoraggio

Le attività di gestione del rischio di sicurezza dovrebbero essere documentate, comprese le ipotesi sottostanti la valutazione di probabilità e gravità, le decisioni prese e le azioni di mitigazione del rischio di sicurezza adottate. Questo può essere fatto usando un foglio di calcolo o una tabella. Alcune organizzazioni possono utilizzare un database o altro software in cui è possibile memorizzare e analizzare grandi quantità di dati sulla sicurezza e informazioni sulla sicurezza. Il mantenimento di un registro dei pericoli identificati riduce al minimo la probabilità che l'organizzazione perderà di vista i rischi noti. Quando i rischi sono identificati, possono essere confrontati con i pericoli noti nel registro per vedere se il rischio è già stato registrato e quali azioni sono state intraprese per mitigarlo. I registri di pericoli sono solitamente in un formato tabella e generalmente includono: il pericolo; potenziali conseguenze; e valutazione dei rischi associati, data di identificazione, categoria di pericolo, breve descrizione, quando o dove si applica, chi l'ha identificata e quale misura è stata messa in atto per mitigare i rischi. Strumenti e processi decisionali relativi al rischio di sicurezza possono essere utilizzati per migliorare la ripetibilità e la giustificazione delle decisioni prese dai decisori della sicurezza organizzativa. Un esempio di un approccio alla decisione sul rischio per la sicurezza è fornito di seguito.

Con l'analisi effettuata sono stati indicizzati anche dei "Top event" con le eventuali conseguenze sia per il pallone che per i membri dell'equipaggio.

Nessuno dei rischi evidenziati può essere eliminato essendo tutti inevitabili nelle procedure operative definite per il raggiungimento dell'obiettivo di missione.

L'analisi costi-benefici o costo-efficacia viene normalmente effettuata durante le attività di mitigazione del rischio di sicurezza. È comunemente associato alla gestione aziendale, come ad esempio una valutazione dell'impatto normativo o processi di

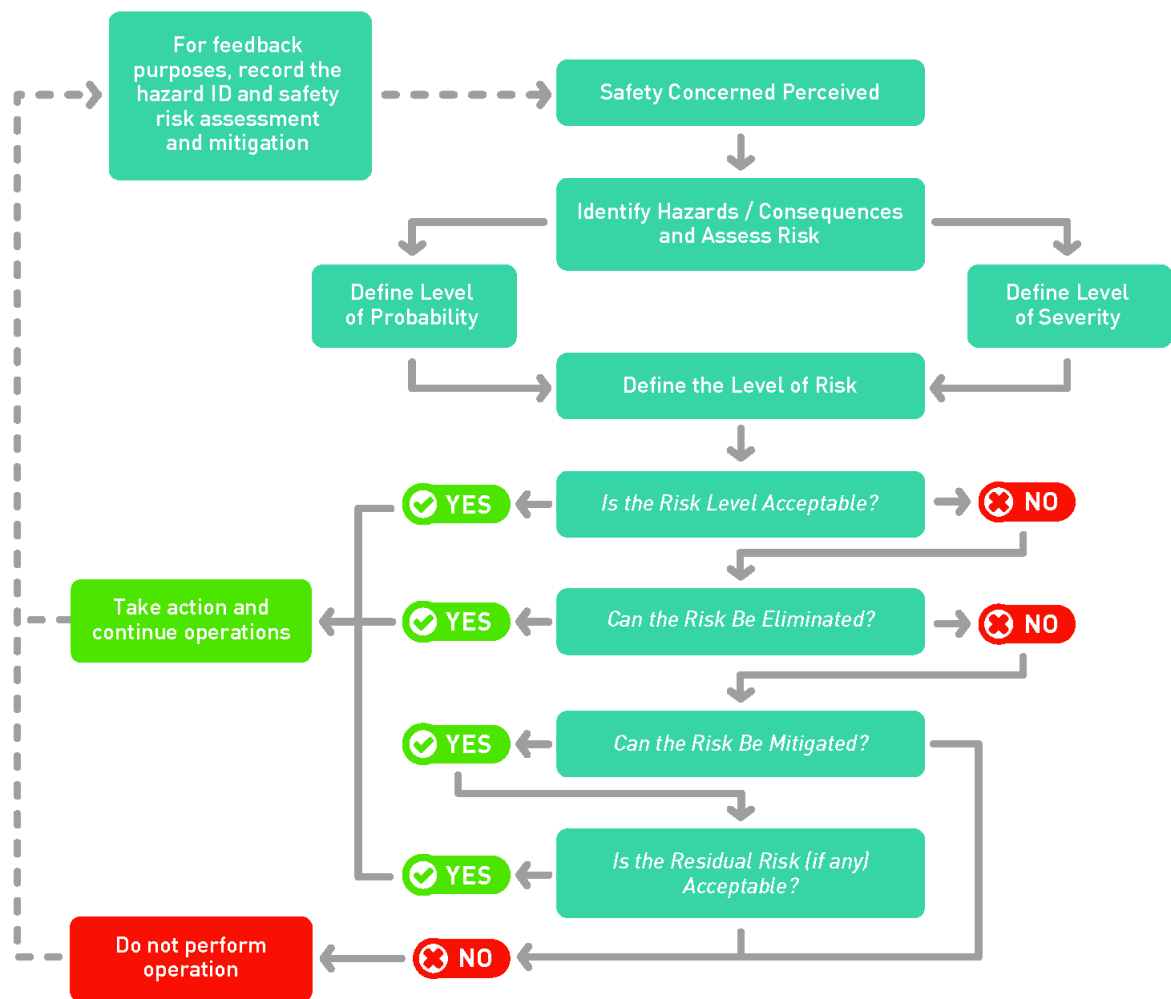


Figura 4.3: Approccio per la decisione sulla gestione dei rischi di sicurezza
(ICAO Safety Management Manual Doc.9859 2018)

gestione del progetto. Tuttavia, ci possono essere situazioni in cui una valutazione del rischio di sicurezza può avere un impatto finanziario significativo. In tali situazioni, può essere giustificata un'analisi costi/benefici supplementare o un processo costo/efficacia a supporto della valutazione del rischio di sicurezza. Ciò garantirà l'analisi costi/efficacia o la giustificazione delle azioni raccomandate per il controllo dei rischi di sicurezza, tenendo conto delle relative implicazioni finanziarie.

Capitolo 5

Payload

5.1 Requisiti tecnici e di missione

Oltre ai requisiti legislativi, descritti nel paragrafo precedente, sono presenti dei requisiti tecnici obbligatori.

Gli obiettivi principali che il payload deve raggiungere sono:

UC1. Il sensore ambientale deve misurare i dati atmosferici e successivamente deve fornirli alla piattaforma MONICA.

UC2. Il sensore ambientale deve misurare i dati atmosferici. Il sistema invierà i dati all'algoritmo DTU per la definizione di Sound Heat Map.

A seguito della riunione plenaria con i partner del progetto, sono stati definiti dei requisiti tecnici di sistema (RT), che in entrambi i casi di utilizzo devono essere rispettati ("MANDATORY"). Tuttavia alcuni requisiti sono "NICE TO HAVE", cioè sono requisiti non obbligatori ma più stringenti che se attuati migliorerebbero la qualità dei dati rilevati.

ID.	Descrizione requisito	Classificazione
RT1	Il sistema deve includere un sensore di temperatura	MANDATORY
RT2	La precisione del sensore di temperatura deve essere di almeno 0,1°	MANDATORY
RT3	Il sistema deve includere un sensore di pressione	MANDATORY
RT4	L'accuratezza del sensore di pressione deve essere almeno +/- 0,25%	MANDATORY
RT5	Il sistema deve includere un sensore di umidità	MANDATORY
RT6	La precisione del sensore di umidità deve essere almeno +/- 2%	MANDATORY
RT7	Il sistema deve includere un sensore GPS	MANDATORY

ID.	Descrizione requisito	Classificazione
RT8	Il sistema dovrebbe includere un sensore del vento omnidirezionale	NICE TO HAVE
RT9	La precisione del sensore del vento dovrebbe essere di almeno +/- 2 km/h	NICE TO HAVE
RT10	Tutti i sensori elencati precedentemente devono essere meccanicamente integrati tra di loro	MANDATORY
RT11	L'alimentazione fornita deve essere generata da una batteria LiPo da 4000 mAh, 3,7 V 4S (batteria totale 14,8 V), scarica 25C	MANDATORY
RT12	Il sistema acquisisce i dati ogni 30 secondi	MANDATORY
RT13	Il sistema dovrebbe acquisire i dati ogni 10 secondi	NICE TO HAVE
RT14	Il sistema deve generare un messaggio in formato .json	MANDATORY
RT15	Il sistema deve inviare il messaggio .json a una stazione di terra del portatile	MANDATORY
RT16	Il sistema deve includere un raspberry che rende disponibili i dati sul cloud MONICA	MANDATORY
RT17	Il sistema deve includere una connessione Wi-Fi tra il carico utile e la raspberry	MANDATORY

Tabella 5.1: RT1-17 - Requisiti tecnici obbligatori e non

Per soddisfare tali requisiti sono state sviluppate due configurazioni operative del payload meteorologico, la cui differenza risiede nel protocollo di comunicazione utilizzato per la trasmissione dei dati a terra e al cloud MONICA.

5.2 Configurazione meteo

Per configurazione meteo si intende progettare un payload che, portato in quota con il pallone, permette di misurare grandezze ambientali con una certa precisione. Questi dati successivamente devono essere inviati tramite un trasmettitore alla stazione ricevente a terra e in seguito al cloud MONICA.

5.2.1 Datalogger Strato3

Il Datalogger STRATO3 è un dispositivo per registrare i dati nei voli ad alta quota, tipicamente utilizzato per i palloni stratosferici. Registra le coordinate GPS, l'altitudine, la pressione, la temperatura interna ed esterna, l'umidità in tempo reale. Il modulo GPS registra i dati fino a un'altitudine massima di 50.000 m (164.000

piedi), che va ben oltre l'altezza raggiunta in questa missione. È possibile utilizzare questo sensore in modo autonomo, infatti i dati possono essere salvati su scheda flash micro SD non necessitando di nessuna ulteriore programmazione e il suo design a carta di credito lo rende molto funzionale e leggero (50g). Può essere alimentato sia con una batteria da 9 V sia attraverso le porta UART con una tensione di 3.3V. Premendo l'interruttore di alimentazione (S1) il datalogger inizia a localizzare la sua posizione e registra automaticamente tutti i dati. Premendo il pulsante (S2) è possibile passare attraverso i menu per visualizzare attraverso lo schermo LCD di cui è dotato, le diverse misurazioni in tempo reale.



Figura 5.1: Datalogger Strato3, a destra il sensore esterno

Il datalogger funziona al meglio se si mantiene la temperatura sopra gli 0 °C. È possibile proteggere il datalogger all'interno della sensorboard. È importante che il modulo non tocchi nessuna superficie metallica, in quanto ciò potrebbe danneggiare i contatti metallici sul modulo. Il datalogger riceve il segnale più forte se l'antenna è rivolta verso l'alto (il display disposto verso il cielo). I sensori esterni devono essere protetti dagli eventuali spruzzi d'acqua. Questo sensore permette di salvare i dati utilizzando una comune scheda microSD con una capacità massima di 32 GB. Il datalogger memorizza di default le misurazioni ogni 2 secondi. Ogni set di dati richiede circa 128 byte. Una scheda microSD da 2 GB è in grado di registrare circa 360 giorni consecutivi, questo dovrebbe essere più che sufficiente per la missione che si intende svolgere.

I file di dati sono denominati a partire da "F_" seguiti da un numero e un'estensione ".log". Il Datalogger nominerà il successivo file generato continuando la sequenza per ogni nuovo set di dati.

I dati che verranno registrati sono dettagliati nella tabella successiva.

Dati	Significato
Up-Tempo	Runtime
UTC	Tempo universale coordinato
Data	Data
RMC valido	Dati GPS validi
Sats in uso	Numero di satelliti in uso

Latitudine	Latitudine
Longitudine	Longitudine
Velocità su terreno [nodi]	Velocità rispetto terra
Velocità su terra [km / h]	Velocità rispetto terra
course over ground	Rotta
Altitudine NN [m]	Altitudine NN
Board: Temp [C]	Temperatura interna
Extern: Temp [C]	Temperatura esterna
Extern: Hum [perc]	Umidità esterna
Extern: press [hPa]	Pressione dell'aria esterna
Battery Voltage [V]	Voltaggio batteria
Logger Status for Debugging	Stato del logger

Tabella 5.2: Tipologia dei dati registrati dallo Strato3

Come detto, questo datalogger ha la possibilità di essere connesso con un trasmettitore attraverso la porta UART. I connettori sono:

- 3,3 V: tensione di alimentazione (opzionale)
- GND: Ground
- RDX: ricezione porta
- TDX: porta di trasmissione

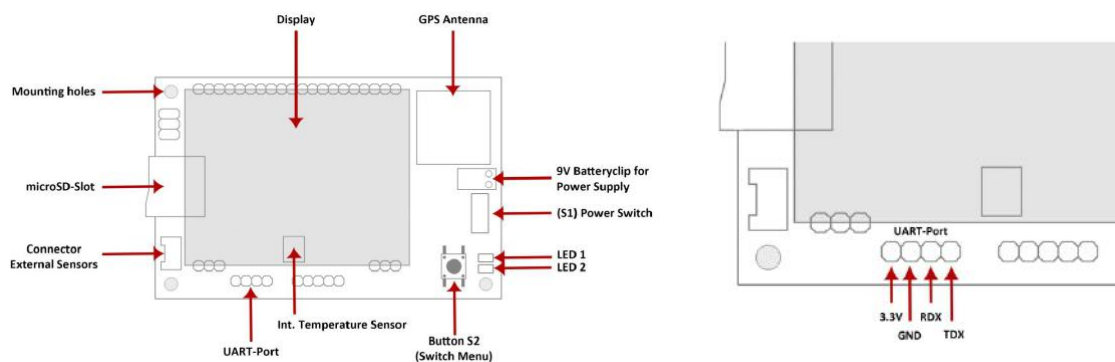


Figura 5.2: Schema di connessione dello Strato3, a destra dettaglio porta UART

Il baud rate, cioè l'indice che indica il numero di transizioni che avvengono al secondo è di 57600. Maggiore è il baud rate, maggiore sarà la quantità di dati trasmessi nell'unità di tempo (o minore sarà il tempo necessario per trasmettere un pacchetto di dati). E' altrettanto evidente che velocità maggiori impiegheranno impulsi di minore durata e quindi più sensibili alle deformazioni dei fronti di salita e di discesa, introdotti dalle capacità e induttanze parassite dei cavi di connessione. Va da se

che ricevitore e trasmettitore dovranno essere tassativamente impostati per lo stesso valore di clock, ma anche per lo stesso numero di bit del dato e lo stessa durata del bit di Stop.

Per interrogare lo Strato3 mediante raspberry/arduino e ottenere la stringa di dati sono necessari diversi step:

- Invio di T o 0x54 (ASCII)
- Invia un i o 0x69 (ASCII)
- Polling fino a quando il datalogger non conferma con 0x01. Le vecchie richieste possono essere gestite fino alla conferma.
- Subito dopo la conferma il datalogger invia la stringa di dati corrente. La stringa termina con un ritorno a capo, seguito da una nuova riga: `\r\n` o 0x0D, 0x0A.

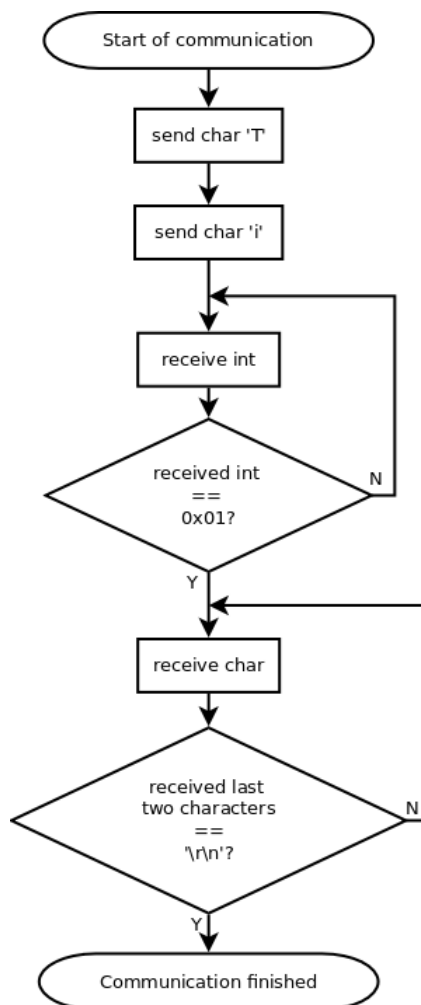


Figura 5.3: Flowchart per interrogare il datalogger

Per i test è possibile inviare le lettere T + i tramite una console seriale tramite un input da tastiera. Quindi la stringa di dati corrente verrà visualizzata nella finestra

della console. La stringa di dati ricevuta avrà la seguente struttura:

```

$;Up-Time;UTC;Date;RMC Valid;Sats in use;Latitude;Longitude;Speed over Ground
[knots];Speed over Ground [km/h];Course over Ground;\Altitude NN [m];Board:
Temp [C];Extern: Temp [C];Extern: Hum [perc];Extern: Press [hPa];Batt Voltage
[V];Logger Status \r \n

```

È importante evidenziare che queste specifiche sono state prese dalle schede tecniche del produttore. Si è ritenuto, quindi, necessario dopo aver completato l'assemblaggio del payload effettuare dei test a banco e dei test in volo per verificarne il corretto funzionamento.

5.2.2 Batteria LiPo

Le batterie LiPo (abbreviazione di Lithium Polymer) sono una particolare tipologia di batteria ricaricabile che fa parte del mondo RC, in particolare tra gli aerei, elicotteri e i multicotteri (droni). Le batterie LiPo sono la ragione principale per cui il volo elettrico è un'opzione molto più valida rispetto alla combustione interna.

Le batterie LiPo dei droni hanno tre fattori principali che le rendono la scelta perfetta per i radiocomandati rispetto alle tradizionali batterie ricaricabili come NiCd o NiMH:

- Le batterie LiPo sono leggere e possono essere realizzate in qualsiasi forma e dimensione.
- Le batterie LiPo hanno grandi capacità, nel senso che sono in grado di immagazzinare grandi quantità di potenza in un piccolo volume.
- Le batterie LiPo hanno elevati tassi di scarica per alimentare i motori più esigenti.

In breve le batterie LiPo forniscono un alto accumulo di energia condensata in poco peso ed in una varietà molto ampia di forme e dimensioni, adattandosi così ad una vasta gamma di esigenze. Questi benefici sono importanti per qualsiasi modello di RC, ma aerei, elicotteri, e droni sono la ragione per cui il volo elettrico è diventato così popolare.

Ci sono però alcuni difetti riguardanti le batterie LiPo:

- sono ancora care rispetto alle tradizionali NiCad e NiMH;
- anche se il corretto utilizzo e il corretto ciclo di carica ne aumentano la durata, le batterie LiPo non durano a lungo. Infatti possono essere eseguiti circa dai 300 ai 500 cicli di ricarica (molto meno se non curate correttamente). Detto questo, è possibile raggiungere anche i 1000 cicli di ricarica sulle LiPo di alta qualità, che hanno prezzi maggiori, se tutti gli accorgimenti vengono seguiti rigorosamente.
- a causa dell'alto accumulo di energia accoppiata con l'elettrolita volatile delle LiPo, queste possono scoppiare e/o prendere fuoco se non trattate correttamente.

-
- i cicli di carica, scarica, lo stoccaggio e le temperature ne influenzano l'intera durata di vita.

La batteria scelta per questo progetto è la LiPo 3S 4200mAh 35C Silver V2. Questo modello è formato da 3 celle ognuna delle quali genera una tensione nominale di 3.7 Volt e sono agganciate tra loro in serie (3S). La capacità indica quanta energia la batteria può contenere ed è indicata in milliampere/ora (mAh), questo modello se erogasse una corrente di 4200 milliampère si scaricherebbe in un'ora. Se si volesse più tempo di volo si dovrebbe scegliere una batteria avente capacità maggiore. Tuttavia all'aumentare della capacità si ha un aumento delle dimensioni e del peso, per questo motivo bisogna trovare un compromesso che permetta al payload di avere sufficiente capacità per portare a termine tutta la missione, mantenendo comunque una soglia minima di carica, limitando il suo peso. La sigla 35C indica che (teoricamente) è possibile scaricarla in modo sicuro ad una velocità 35 volte superiore rispetto alla capacità della batteria. Questa caratteristica influisce sia sul peso che sul costo, infatti, più alto è il valore di C, solitamente più costosa e più pesante sarà la batteria.



Figura 5.4: LiPo 3S 4200mAh 35C Silver V2

Le batterie LiPo presentano un ulteriore problema, se usate in modo scorretto, magari con un rating di scarica non adatto, queste si riscaldano superando anche i 40°. Questi eventi possono sfociare con piccoli incendi. A meno di eventi critici il materiale che compone la sensorboard o baia di carico, di cui si parlerà in seguito, sarà ampiamente resistente alle temperature che la batteria può sviluppare e al suo peso (300 gr circa).

Per poter sfruttare al meglio la durata complessiva della batteria, senza avere fenomeni di calore incontrollato, si deve adempiere ad un semplice accorgimento: caricarla almeno tra il 40 e l'80% utilizzando le apposite stazioni che permettono la definizione sia del voltaggio che dell'ampereaggio.

5.2.3 Microcontrollore Atmel SAM R21 - Scenario 1

L'Atmel SAM R21 è una serie di microcontrollori a bassa potenza che utilizzano un Processore Cortex a 32 bit unito ad un ricetrasmittitore di banda ISM a 2,4 GHz integrato a bassissima potenza. I dispositivi R21 sono disponibili a 32 e 48 pin con memoria flash fino a 256 KB, 32 KB di SRAM e operano a una frequenza massima di 48 MHz e raggiungono 2,46 Coremark/MHz. Questo dispositivo è dotato di periferiche intelligenti e flessibili, di un sistema per la segnalazione inter-periferica e di supporto per il pulsante touch capacitivo, e le interfacce.

Il dispositivo Atmel SAM R21 offre le seguenti funzionalità: Flash programmabile nel sistema, Flash seriale 512KB opzionale, controller DMA (Direct Memory Access) a 12 canali, 12 canali Sistema di eventi, controllore di interrupt programmabile, fino a 28 pin di I / O programmabili, ultra-basso Ricetrasmittitore di banda ISM a 2,4 GHz con velocità dati di 250 kb / s, orologio in tempo reale a 32 bit e calendario, tre timer / contatori a 16 bit (TC) e tre timer / contatori a 16 bit per il controllo (TCC), dove ogni TC può essere configurato per eseguire la generazione di frequenza e forma d'onda, preciso tempo di esecuzione del programma o acquisizione di input con misurazione del tempo e della frequenza del segnale digitale. I TC possono operare in modalità 8 o 16 bit, i TC selezionati possono essere collegati in cascata per formare un 32 bit TC e i tre timer/contatori per il controllo hanno funzioni estese ottimizzate per il motore,illuminazione e altre applicazioni di controllo. La serie fornisce un host embedded USB 2.0 a velocità piena e l'interfaccia del dispositivo; fino a cinque moduli di comunicazione seriale (SERCOM) che possono essere ciascuno configurato per funzionare come USART, UART, SPI, I2C up 3.4MHz e LIN slave; fino a otto canali ADC a 12 bit 350 kps con guadagno programmabile e sovracampionamento e decimazione opzionali supporta fino a 16 bit di risoluzione, due comparatori analogici con modalità finestra, Peripheral Touch Controller che supporta fino a 48 pulsanti, cursori, ruote e sensori di prossimità; programmabile Timer watchdog, rilevatore di esaurimento del marrone e reset all'accensione e debug del cavo seriale (SWD) a due pin programma e interfaccia di debug. Differenti domini di clock possono essere configurati in modo indipendente per funzionare a frequenze diverse, consentendo il risparmio energetico eseguendo ogni periferica alla sua ottimale frequenza di clock, mantenendo così un'alta frequenza della CPU riducendo il consumo energetico.

I dispositivi SAM R21 dispongono di due modalità di sospensione selezionabili via software, inattiva e in standby. In modalità di attesa la CPU viene arrestata mentre tutte le altre funzioni possono essere mantenute in esecuzione. In standby tutti gli orologi e le funzioni sono interrotte, si aspettano che quelle selezionate continuino a funzionare. Il dispositivo supporta SleepWalking, che è la capacità del modulo di svegliarsi e svegliare il proprio orologio, e quindi eseguire attività predefinite senza risvegliare la CPU. La CPU può quindi essere riattivata una base necessaria, ad es. una soglia è attraversata o un risultato è pronto. Il sistema degli eventi supporta eventi sincroni e asincroni, consentendo alle periferiche di ricevere, reagire e inviare eventi anche in modalità standby.

La memoria del programma Flash può essere riprogrammata in-system tramite l'interfaccia SWD. La stessa interfaccia può essere utilizzata per il debug on-chip non intrusivo del codice dell'applicazione.

I dispositivi SAM R21 sono supportati con una serie completa di programmi e strumenti di sviluppo del sistema, compresi compilatori C, macro assembler, programmi debugger/simulatori, programmatori e kit di valutazione.

Le caratteristiche di questo microcontrollore sono:

- Microcontrollore Atmel ATSAMR21G18A
- Embedded debugger (EDBG)
 - a. Interfaccia USB



Figura 5.5: Microprocessore Atmel SAM R21 Xplained Pro

- b. Programmazione e debugging su SAM R21 tramite Serial Wire Debug (SWD)
 - c. Interfaccia della porta COM virtuale per il targeting tramite UART
 - d. Atmel Data Gateway Interface (DGI) per il targeting tramite SPI e TWI
 - e. Quattro GPIO collegati al target per la strumentazione del codice
- I/O digitale
 - a. Due pulsanti meccanici (pulsante utente e reset)
 - b. Un LED utente
 - c. Due intestazioni di estensione
 - Antenna
 - a. Un'antenna chip in ceramica (2450AT18D0100)
 - b. Un connettore SMA per antenna esterna
 - Tre possibili fonti di energia
 - a. Potenza esterna
 - b. USB debugger integrato
 - c. USB di destinazione
 - Piezo 32kHz
 - Piezo 16 MHz
 - Interfaccia USB, dispositivo

Il kit offre una serie di funzionalità che consentono all'utente di iniziare a utilizzare le periferiche subito e per capire come integrare il dispositivo all'interno del proprio design.

Non avendo esperienza con questo genere di microprocessori si è utilizzata la versione Xplained Pro, una piattaforma di valutazione che fornisce una guida completa del microcontroller di Atmel. La piattaforma è composta da una serie di schede e schede di estensione Microcontroller (MCU), che sono integrate con Atmel Studio, i driver ASF (Atmel Software Framework) e il codice demo, i dati di supporto streaming e altro ancora. Le schede Xplained Pro MCU supportano una vasta gamma di schede di espansione Xplained Pro, che sono collegati tramite una serie di connettori e intestazioni standardizzati.

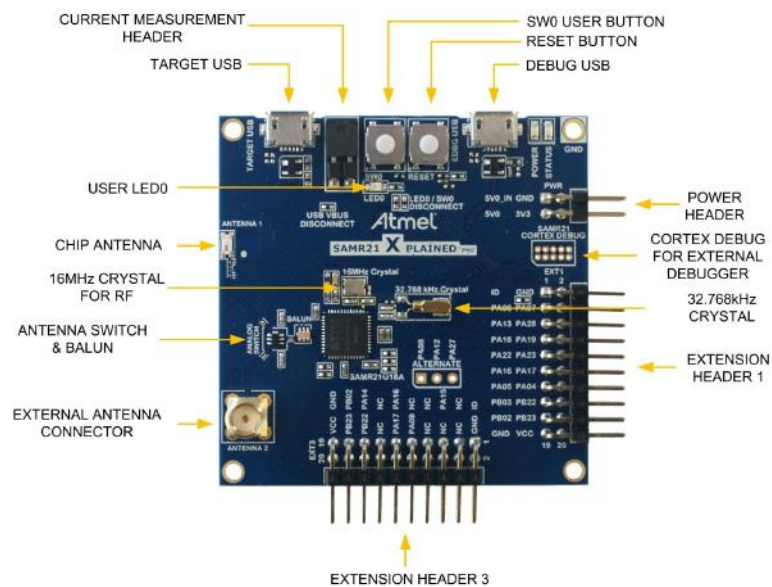


Figura 5.6: Panoramica del kit SAM R21 Xplained Pro

SAM R21 Xplained Pro ha al suo interno l'Atmel Embedded Debugger (EDBG) per il debugging on-board. L'EDBG è un dispositivo USB composto costituito da tre interfacce; un debugger, una porta COM virtuale e un data Gateway Interface (DGI). Insieme a Atmel Studio, l'interfaccia del debugger EDBG può programmare ed eseguire il debug di ATSAMR21G18A. Su SAM R21 Xplained Pro, l'interfaccia SWD è collegata tra EDBG e il ATSAMR21G18A. La porta COM virtuale è collegata a una UART e fornisce un modo semplice per comunicare con l'applicazione di destinazione tramite il software del terminale. Offre velocità di trasmissione variabile, parità e impostazioni bit di stop.

Il DGI è costituito da diverse interfacce fisiche per la comunicazione con il computer sul quale il programma è in esecuzione. La comunicazione sulle interfacce è bidirezionale. Può essere usato per inviare eventi e valori dal ATSAMR21G18A o come canale dati generico in stile printf. Il traffico sulle interfacce può essere temporizzato sull'EDBG per una tracciatura più accurata degli eventi. L'Atmel Data Visualizer viene utilizzato per inviare e ricevere dati tramite DGI. L'EDBG controlla due LED presenti sulla scheda; un LED di alimentazione e un LED di stato.

Per quanto detto il SAM R21 funge da trasmettitore verso la stazione di terra che riceve i dati attraverso una Raspberry PI3 la quale invia i dati all'eventuale operatore a terra e inoltre usufruendo di una linea Wi-Fi inoltra i dati direttamente al cloud MONICA in formato .json. La comunicazione avviene tramite lo standard IEEE 802.15.4, concepito per regolamentare il livello fisico ed il livello MAC (Media Access Control) di reti in area personale, a corto raggio, che lavorano con basse velocità di trasferimento dati (LR-WPAN, Low-Rate Wireless Personal Area Networks). Lo standard IEEE 802.15.4 prevede due distinte tipologie di dispositivi, denominati rispettivamente Full Function device (FFD) e Reduced Function Device (RFD). Gli RFD sono stati concepiti come nodi a ridotta complessità e pertanto essi possono comunicare soltanto con gli FFD. Gli FFD invece, oltre a poter operare come coordinatori nella WPAN (PAN Coordinator), possono interagire con qualsiasi altro nodo in visibilità radio, a prescindere dalla modalità di funzionamento di quest'ultimo. Sono inoltre previste due possibili tipologie di rete: a stella e peer-to-peer. La prima è stata concepita a supporto di contesti operativi semplici in cui il centro-stella (ovvero il PAN Coordinator) è in visibilità radio con tutti gli altri nodi della rete. La tipologia peer-to-peer è stata invece pensata per scenari più complessi in cui la comunicazione multi-hop rappresenta un requisito imprescindibile.

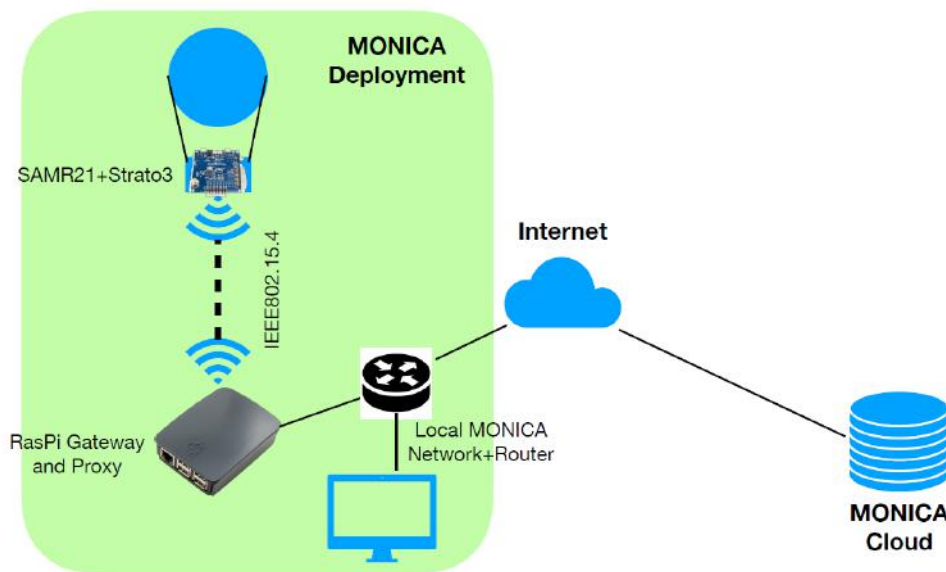


Figura 5.7: Scenario 1 - Comunicazione tramite IEEE 802.15.4

Di seguito è riportato lo schema delle connessioni elettriche da effettuare per poter utilizzare lo Strato 3 in questo scenario.

La comunicazione con lo standard IEEE802.15.4 attraverso SAMR21-XPRO presenta alcuni vantaggi (PRO) e svantaggi (CON) quali:

CON1: richiede gateway e proxy: RaspberryPi con ricetrasmettitore IEEE802.15.4;

PRO1: configurazione completamente in loco, velocità di trasferimento dati superiore rispetto a LoRaWAN;

PRO2: il gateway RaspberryPi può essere facilmente integrato con MONICA cloud;

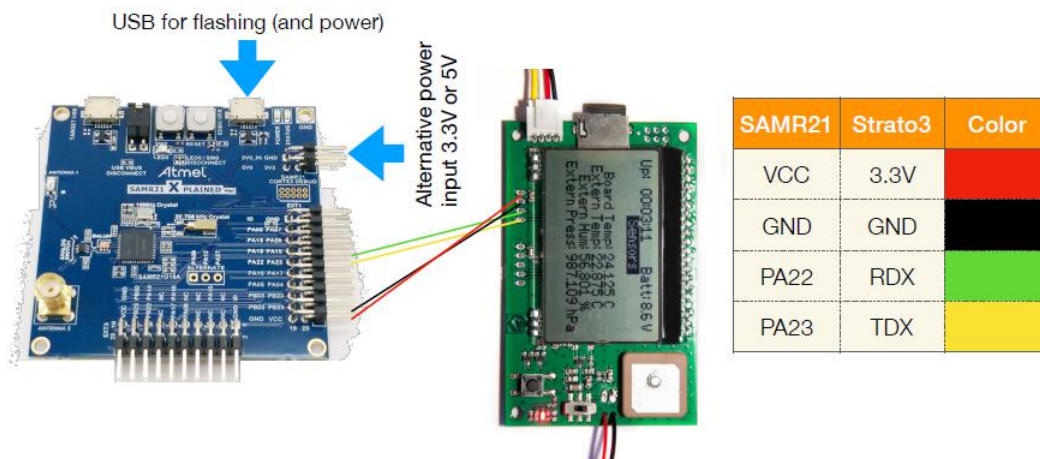


Figura 5.8: Cablaggio di SAMR21-XPRO e Strato3

5.2.4 Baia di carico - Scenario 1

Per ospitare questo tipo di payload, tramite l'uso di Solidworks, è stato progettato un alloggiamento ad hoc. Il concept consiste di due parti, una piastra piana il cui ingombro massimo è 211.30 x 186.00 cm e una sede che riprende gli ingombri delle singole componenti. Entrambe le parti sono dotate di fori, tra i quali quelli esterni hanno la funzione di connettere la baia al pallone tramite l'utilizzo di grigli in acciaio inox, il cui carico di rottura è maggiore di diversi ordini di grandezza e gli altri, interni, ne permettono la chiusura.

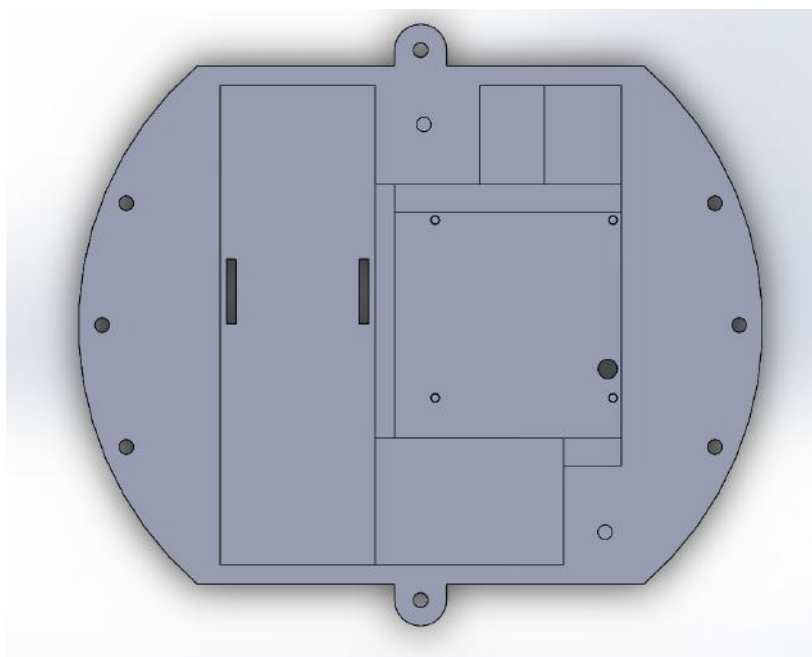


Figura 5.9: Scenario 1 - Vista superiore dell'alloggiamento

Considerando le esigue dimensioni di spessore del trasmettitore e del datalogger Strato3, questi sono stati disposti uno sopra l'altro sostenuti da dei supporti che

si inseriscono nei fori preesistenti di cui le schede sono dotate. Per facilitare la comunicazione verso la stazione di terra è stato predisposto un foro attraverso il quale fuoriesce l'antenna del trasmettitore orientata verso il basso, mentre visto che il sensore dello strato3 deve essere posto all'esterno, è stata ricavata una cavità in cui inserire tale sonda. Per la batteria invece, più ingombrante, è stato ricavato una seconda sede, dotata di linguette attraverso le quali passa una fascia di velcro che ne assicura il fissaggio. La chiusura del cockpit è assicurata da due dadi inseriti durante il processo di realizzazione e quindi permanenti, nei quali vengono inserite delle viti M4. A causa dell'esigua differenza di peso tra la batteria e le due schede non si è ritenuto necessario effettuare una distribuzione delle masse, in quanto lo sbilanciamento procurato risulterà minimo.

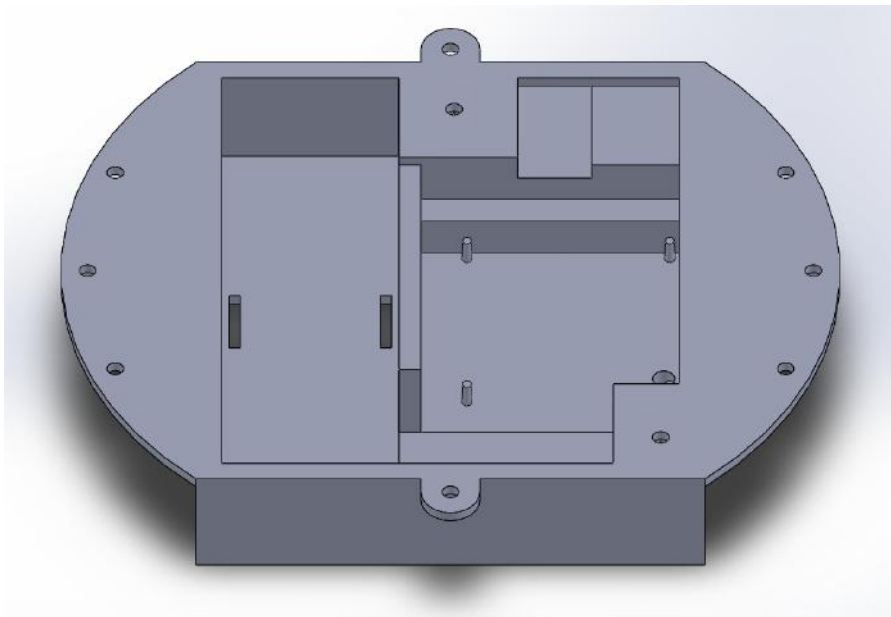


Figura 5.10: Alloggiamento del payload meteo

Il prototipo utilizzato per gli eventi prova è stato prodotto tramite stampa 3D. La stampa 3D consente di produrre oggetti tridimensionali provenienti da un modello digitale solitamente sviluppato in CAD. Questi vengono prodotti tramite la sovrapposizione perfetta di strati di polimeri condensati di varia natura in grado di aggregarsi per formare vera e propria materia solida. Come risultato si ha la realizzazione di una figura che rispetta tutte e tre le misure nello spazio reale precedentemente realizzata al computer. I materiali utilizzati per questo processo possono essere di diversa natura, in base anche agli standard produttivi con cui sono realizzati. I polimeri che possono essere utilizzati sono svariati: nel Fused Deposition Modeling (FMD), uno degli standard più usati, svariati polimeri in forma di granuli vengono fusi e stratificati ad alta temperatura fino all'ultimazione del processo quasi esclusivamente per la produzione di prototipi.

Sono stati prodotti due modelli con due polimeri diversi il PLA (acido polilattico) e L'ABS (acrilonitrile butadiene stirene).

L'ABS come polimero può assumere molte forme e può essere progettato per avere molte proprietà. In generale, è una plastica robusta con una maggiore flessibilità (rispetto al PLA). L'ABS naturale, prima che vengano aggiunti coloranti è di colore beige lattiginoso morbido. La flessibilità dell'ABS permette di creare pezzi ad incastro più facili da lavorare (i mattoncini LEGO sono realizzati in ABS). E' facilmente levigabile e lavorabile a macchina. In particolare, l'ABS è solubile in acetone permettendo di saldare parti con una goccia o due, o lisciarle creando una superficie lucida mediante spazzolatura o immergendo i pezzi completi in acetone. Rispetto al PLA, l'ABS è molto più facile da riciclare. La sua robustezza, flessibilità, lavorabilità e una maggiore resistenza alla temperatura la rendono spesso una plastica preferita al fine di usi meccanici. Il più grande ostacolo per le parti prodotte in ABS è costituito dal verificarsi di un'incurvatura verso l'alto della superficie a contatto diretto con la superficie di stampa della stampante 3D. Elementi che possono aiutare per eliminare questo problema sono il riscaldamento della superficie di stampa (ripiano riscaldato) e garantire che la superficie sia liscia, piana e pulita.

Alcuni artifici che possono essere utili a ridurre questo fenomeno sono applicati in anticipo sulla superficie di stampa per aumentarne l'adesione. Per esempio, una miscela di ABS+acetone, o uno spruzzo di lacca o della pellicola plastica biadesiva.

Il PLA invece, creato dalla lavorazione di vari prodotti vegetali, tra cui mais, patate o barbabietole da zucchero, il PLA è considerato una plastica più 'ecologica' rispetto all'ABS basato sul petrolio. Utilizzato principalmente in imballaggi per alimenti e contenitori, il PLA può essere compostato in impianti di compostaggio commerciali. È naturalmente trasparente e può essere colorato con vari gradi di traslucidità e opacità. Anche esso robusto, è più rigido dell'ABS, e quindi a volte più difficile da lavorare negli assiami ad incastro complicato e giunzioni a pin. Gli oggetti stampati in genere hanno uno aspetto più lucido rispetto all'ABS. Con un po' più di lavoro, il PLA può anche essere levigato e lavorato a macchina. La temperatura di fusione più bassa del PLA lo rende inadatto per molte applicazioni come per parti che devono trascorrere molto tempo sotto, le quali potrebbero ammorbidirsi e deformarsi. Rispetto all'ABS, il PLA mostra minore tendenza alla deformazione della parte stampata. Per questo motivo è possibile stampare con successo senza un ripiano di stampa riscaldato e utilizzare le più comuni superfici di stampa. Rimuovere totalmente il ripiano riscaldato può ancora permettere alla plastica di arricciarsi leggermente specialmente in pezzi di grandi dimensioni. La riduzione della velocità di stampa può aiutare in questi casi.

Il PLA quando riscaldato, diventa molto più liquido. L'aumento della fluidità porta a realizzare un forte legame tra gli strati, migliorando la resistenza della parte stampata. Se raffreddato attivamente con una ventola, si possono ottenere dettagli molto più nitidi senza il rischio di fessurazione o curvatura.

La baia di carico, come già descritto prima, sarà connessa a dei tasselli circolari di diametro 20 cm, ognuno dotato di gancio, appositamente predisposti in fase di produzione del pallone. Quindi il payload sarà localizzato più in alto rispetto al gancio principale al quale è legata la fune di collegamento a terra.

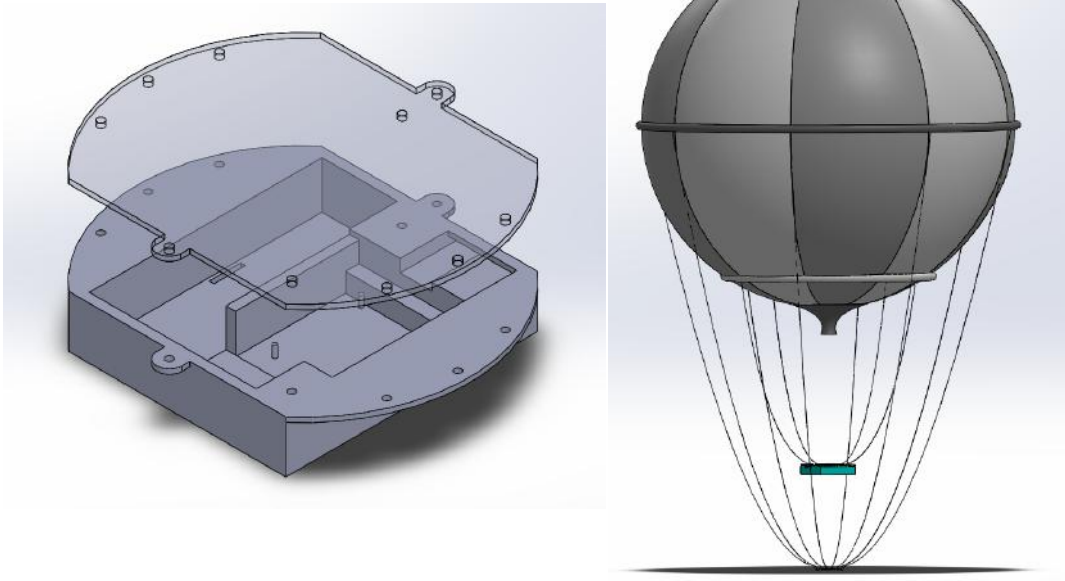


Figura 5.11: Scenario 1 - Assieme (sinistra) e posizionamento con il pallone (destra)

5.2.5 STM32 B-L072Z-LRWAN1 - Scenario 2

Il Discovery kit B-L072Z-LRWAN1 incorpora il modulo LoRa/Sigfox CMWX1ZZABZ-091. Questo Discovery kit consente agli utenti di sviluppare facilmente applicazioni con la STM32L072CZ e la connettività LoRa Sigfox RF in un unico modulo. Il B-L072Z-LRWAN1 offre tutte le funzionalità disponibili nella serie STM32L0 e offre funzioni RF a bassissima potenza e LoRa/Sigfox. Il kit B-L072Z-LRWAN1 Discovery è un kit di sviluppo a basso costo e facile da usare per valutare rapidamente e avviare uno sviluppo con un microcontroller STM32L072CZ. Questo kit include interfaccia LoRa/Sigfox RF, LED, pulsanti, antenna, connettori Arduino Uno V3, connettore USB 2.0 FS in formato Micro-B. L'ST-LINK/V2-1 integrato fornisce un debugger e un programmatore integrato nel circuito per gli MCU STM32L0. Per aiutare gli utenti a configurare un nodo completo (LoRaWAN, Sigfox o entrambi), il kit B-L072Z-LRWAN1 Discovery viene fornito con le librerie e gli esempi completi gratuiti del software STM32 disponibili con il pacchetto STM32Cube, nonché con un accesso diretto alle risorse Arm Mbed Enabled al sito web (<http://mbed.org>).

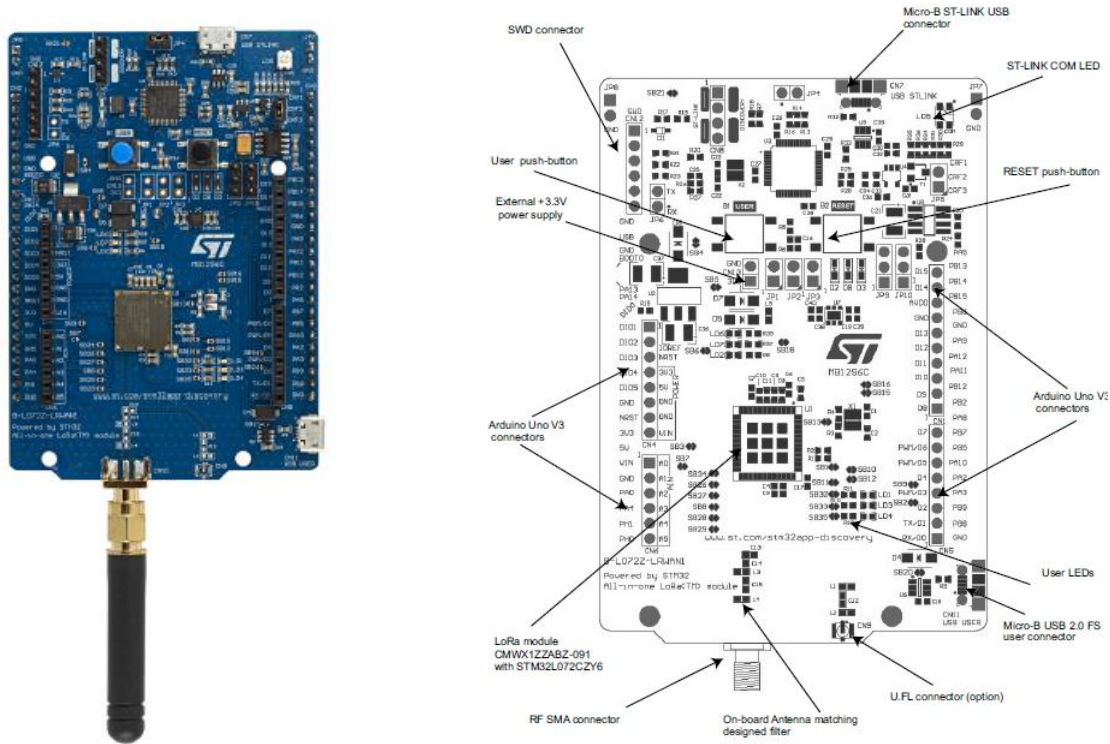


Figura 5.12: Panoramica kit STM32 B-L072Z-LRWAN1

Il kit B-L072Z-LRWAN1 Discovery include un'antenna omnidirezionale diritta 900 MHz a 50 ohm che deve essere collegata al connettore SMA CN10 per qualsiasi scopo di comunicazione RF. Ci sono due percorsi progettati per il segnale RF (la freccia blu nella Figura sottostante), il percorso predefinito è collegato all'uscita del connettore SMA (la freccia rossa) e il secondo è il connettore U.FL CN9 (freccia verde). Ciascun percorso del segnale RF include un circuito di adattamento dell'antenna che può essere montato e regolato da utenti esperti. Inizialmente, il percorso predefinito collega il segnale RF del modulo LoRa/ Sigfox al connettore SMA tramite resistori da 0 Ohm montati nella posizione C14 e C15.

Se si volesse collegare il connettore U.FL anziché SMA, si dovrebbe reindirizzare il segnale RF attraverso C13 e quindi ruotare il componente sulla traccia prevista, tuttavia per questo progetto si utilizza l'antenna SMA.

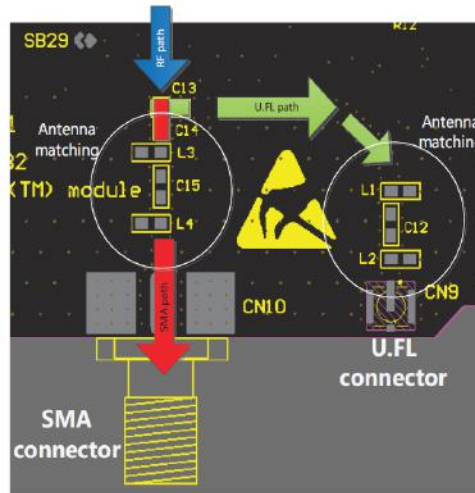


Figura 5.13: Percorso del segnale RF e connettori

Con l'utilizzo di questo modulo la comunicazione non avviene più tramite lo standard IEEE 802.15.4, ma tramite il protocollo LoRaWAN (Long Range Wide Area Network), sviluppato da LoRa Alliance.

La peculiarità di questo nuovo protocollo è la sua efficienza; infatti LoRaWAN ha un consumo di batteria esiguo, un raggio di comunicazione elevato e una trasmissione dei dati protetta (grazie alla criptazione AES-128).

Il raggio di comunicazione è di circa 2km nelle aree ad alta densità di popolazione, che si estende a 15km in campo aperto, questo viene influenzato anche dalla posizione reciproca tra il device e del gateway; se il gateway è installato in una posizione elevata il raggio sarà maggiore rispetto ad un gateway installato a livello stradale.

LoRaWAN fa parte di una categoria di tecnologie chiamata LPWAN, che significa Low Power Wide Area Network, questa tecnologia è stata sviluppata per poter permettere a sensori alimentati a batteria di inviare e ricevere dati, utilizzando il minor quantitativo di energia possibile per risparmiare la batteria.

Lo schema di comunicazione risulta essere:

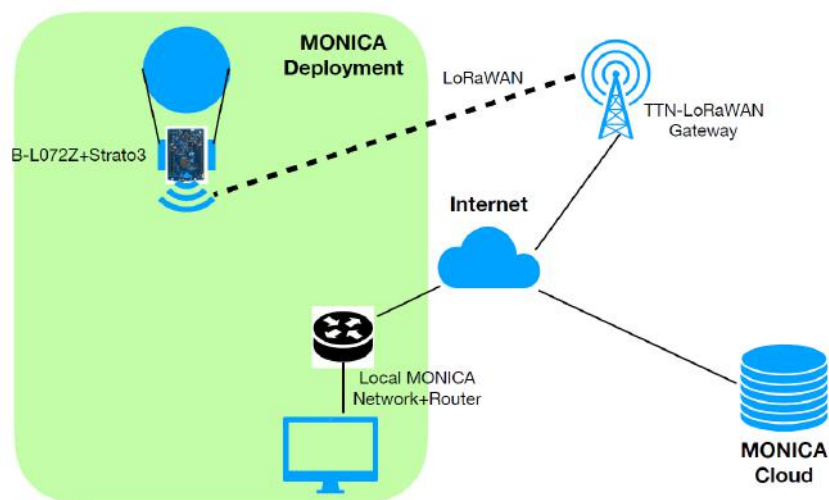


Figura 5.14: Scenario 2 - Comunicazione tramite protocollo LoRaWAN

Dove l'assieme B-L072Z connesso allo Strato3 invia i dati, tramite il protocollo LoRaWAN, e tramite il gateway LoRaWAN il cui scopo principale è quello di veicolare i pacchetti all'esterno di una rete locale. Successivamente questi dati/pacchetti sono spediti tramite l'utilizzo di una linea internet e ricevuti sia in locale dagli operatori sia nel cloud MONICA.

Come fatto precedentemente di seguito sono riportati i cablaggi da effettuare per poter utilizzare il gruppo B-L072Z + Strato3.

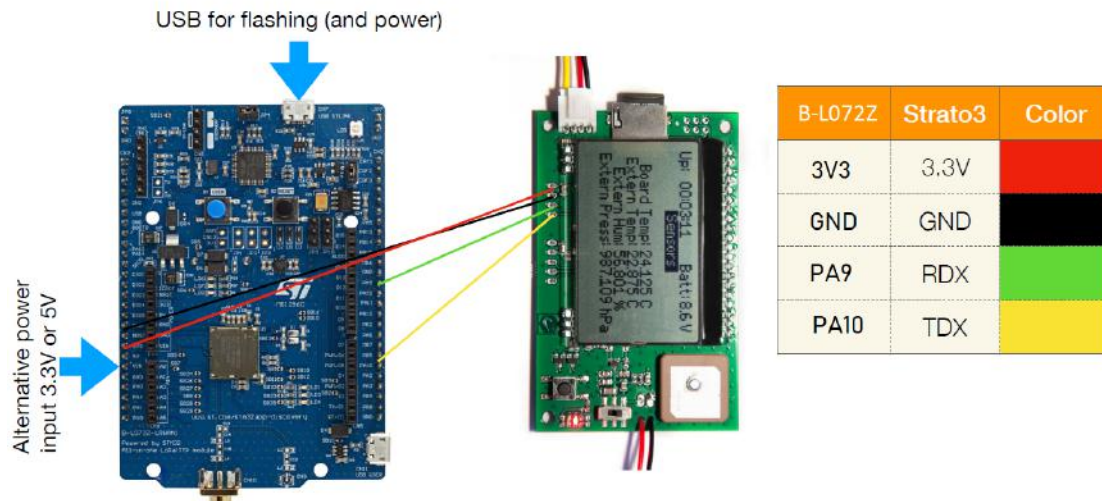


Figura 5.15: Cablaggio tra B-L072Z e Strato3

Anche la comunicazione con il protocollo LoRaWAN con STM32 B-L072Z-LRWAN1 presenta dei pro e dei contro, come:

- CON1: velocità dati inferiore rispetto alla comunicazione tramite IEEE 802.15.4;
- CON2: si basa su gateway esterni (TTN), tuttavia è possibile impostare il proprio gateway LoRaWAN;
- PRO1: non è necessario avere un gateway locale, quindi è indipendente dalla rete locale;

5.2.6 Baia di carico - Scenario 2

Come fatto per la configurazione precedente, anche per questa è stata progettata una sensorboard che, oltre a contenere il payload, può essere agganciata con facilità al pallone e che permetta agli operatori di accedervi con facilità.

L'idea generale è la stessa di quella adottata nello scenario 1, sono presenti i fori di aggancio al pallone e 2 fori per la chiusura della baia. L'ingombro è 211.30 x 186.00 cm. La posizione dei dispositivi di alimentazione e del sensore è la stessa, mentre lo spazio dedicato per il B-L0727 è diverso e di conseguenza sarà diverso anche lo spessore (che aumenta a 45 mm). Anche in questo caso la baia è prodotta tramite additive manufacturing.

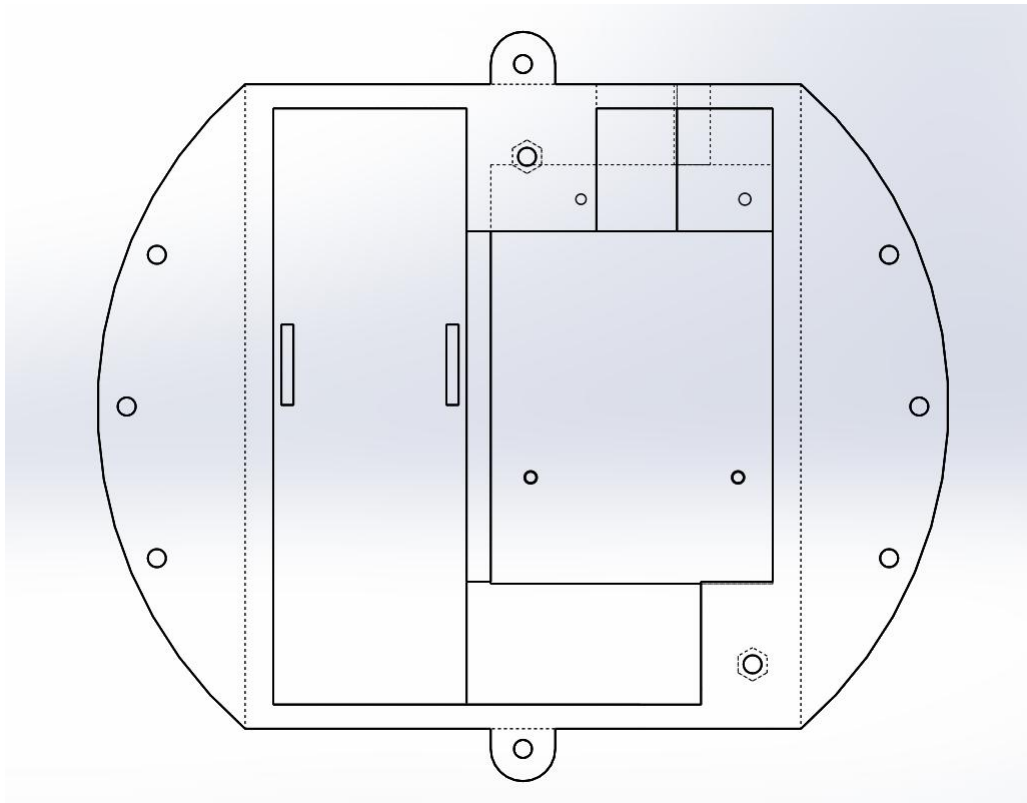


Figura 5.16: Vista superiore della baia di carico

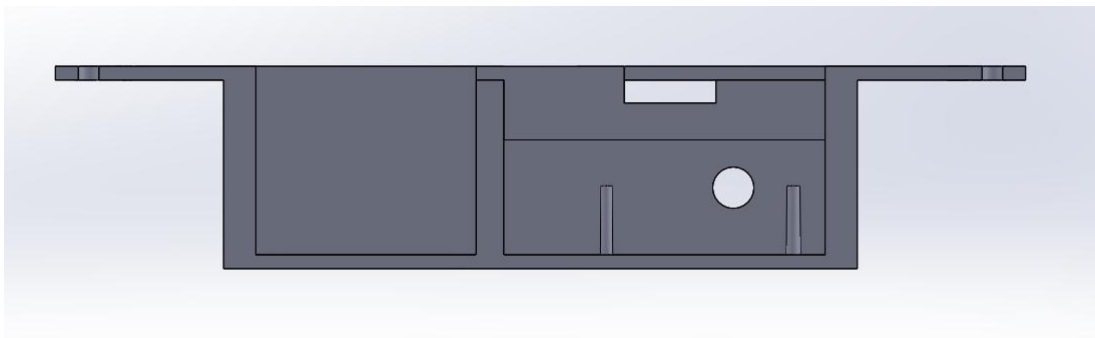


Figura 5.17: Vista laterale in sezione della baia di carico

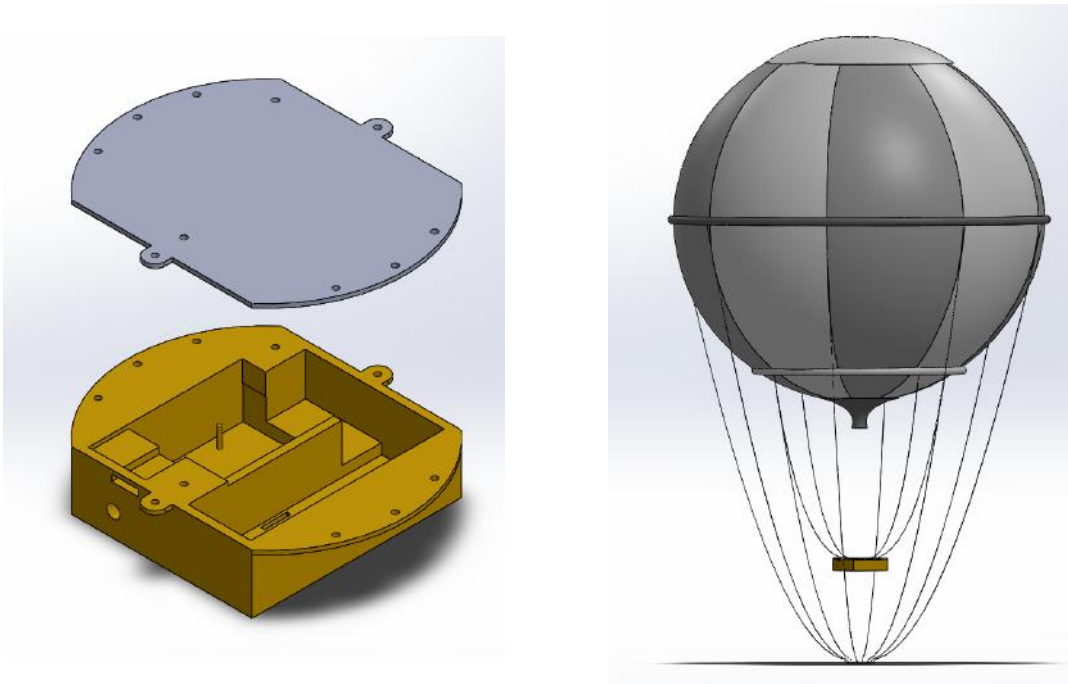


Figura 5.18: Scenario 2 - Assieme (sinistra) e posizionamento con il pallone (destra)

5.2.7 Test di comunicazione

5.3 Configurazione video

5.3.1 Prima configurazione

Questa configurazione si basa sulla baseline già adottata e testata precedentemente in DigiSky, come mostrato all'interno del capitolo 3.

La baia di carico è costituita da una lamina di carbonio, spessa 2 mm, forata, sulla cui faccia superiore tutti i dispositivi vengono fissati con delle fascette di plastica, sfruttando la trama di fori disponibile. Nella faccia sottostante l'assieme gimbal/videocamera risulta essere ancorato con 4 viti M4, dadi e rondelle.

Questa è una possibile soluzione al fine di ridurre la spesa dei dispositivi. La migliore da apportare al fine di continuare ad utilizzare questa piastra e quella, tramite la stampante 3D, di ricavare dei cases, con lo scopo di proteggere i dispositivi con tutti i cablaggi di collegamento dalle condizioni meteorologiche, che hanno la possibilità di essere bloccati direttamente su di essa.

Un'altra soluzione a basso costo è quella di rivedere il layout della piastra e procedere alla sua realizzazione tramite additive manufacturing.

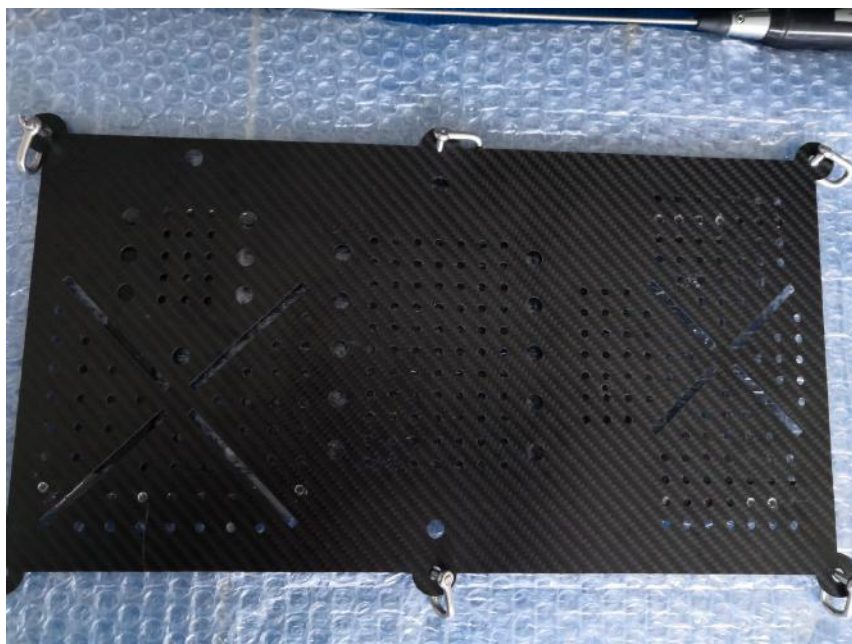


Figura 5.19: Baia di carbonio utilizzata nel vecchio design

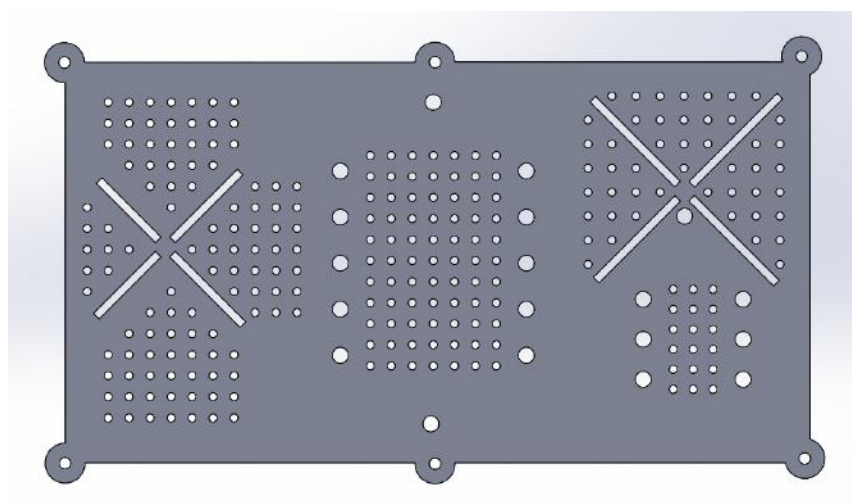


Figura 5.20: CAD prototipale della baia

A prescindere dalla configurazione di fissaggio adottata, sfruttando la baia in figura, la gimbal e la videocamera sono lasciate libere di ruotare, avendo la necessità di muoversi a 360° per effettuare riprese complete dell'area in esame. Il comando e controllo della movimentazione delle rotazioni attorno agli assi della gimbal è affidata ad un radiocomando Taranis X9d plus.

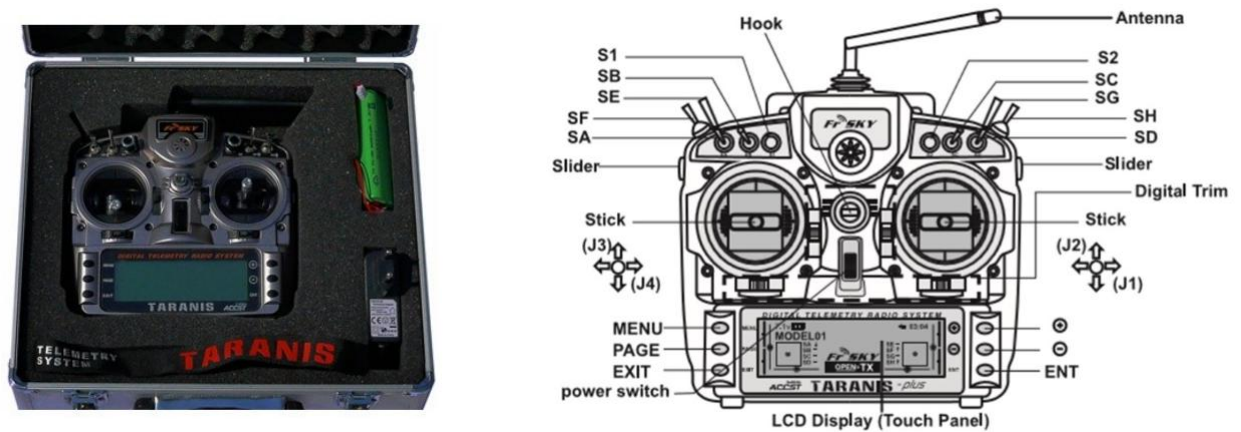


Figura 5.21: Radiocomando Taranis X9d plus

L'antenna del radiocomando non è rimovibile. Tuttavia vi è la possibilità di ruotarla di 180° e inclinarla di 90° per garantire una migliore linea di segnale. Il segnale radio è di debole intensità nella direzione frontale, maggiore nella direzione laterale. Questo può influire sulla posizione ottimale dell'operatore a terra.

L'aspetto più importante di questo trasmettitore è quello di mantenere una connessione solida con il ricevitore. Utilizza infatti una tecnologia ACCST a salto di frequenza che sfrutta l'intera banda a 2,4 GHz conseguendo un eccellente raggio di azione e aumentando la propria affidabilità. I parametri che possono influenzare la connessione tra il trasmettitore e il ricevitore, sono molteplici, quindi è stato integrato un indicatore dell'intensità del segnale del ricevitore (RSSI) in modo tale da monitorare continuamente la qualità di ricezione del segnale. Il radiocomando avviserà l'operatore prima che la qualità del segnale diventi critica dando la possibilità a questo di poter intervenire in tempo.

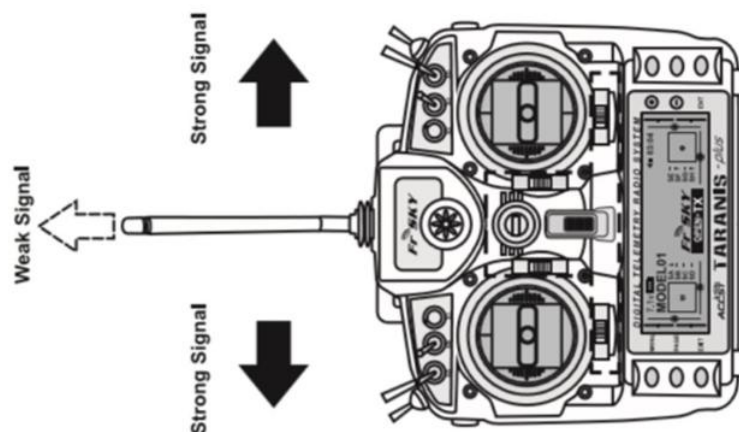


Figura 5.22: Segnale Taranis per il controllo della gimbal

Per quanto riguarda la trasmissione delle immagini 4K, questa può avvenire in due modi, tramite Wi-Fi grazie ad un ripetitore situato a bordo, oppure attraverso un cavo HDMI che corre lungo una delle controventature di ancoraggio del pallone aerostatico, fino a terra. La trasmissione del video può avvenire su un tablet/pc tramite l'applicazione interna della videocamera 4K. Nei test condotti il punto debole di questa catena è proprio questo tipo di connessione che oltre una certa distanza decade. Entrambi i metodi citati, HDMI e Wi-Fi, presentano fattori vantaggiosi congiuntamente ad alcune criticità specifiche:

Wi-Fi:

- Controllo senza fili della trasmissione video;
- Dipendenza positiva ma limitante (max range 20 metri) della App mobile propria della telecamera utilizzata;
- Latenza del segnale video a causa delle condizioni climatiche;
- Rapidità di trasmissione limitata;
- Disponibilità di connessione Wi-Fi.

HDMI:

- Trasmissione real-time ad alta qualità;
- Sviluppo di un cavo HDMI di ≈ 60 metri;
- Aumento del peso ($\approx 1,5$ kg);
- Riduzione della forza ascensionale residua, e quindi aumento dell'inclinazione causata dal vento.

A differenza del payload meteorologico gli apparati che compongono quello video non saranno disposti tutti sullo stesso lato della baia di carico. Nella superficie inferiore è posizionata la gimbal che stabilizza la videocamera rispetto al suo obiettivo. L'alimentazione dell'intero sistema è affidata ad una batteria LiPo 4S da 4000 mAh, sulla quale valgono le considerazioni fatte per la batteria precedente (paragrafo 5.2.2).

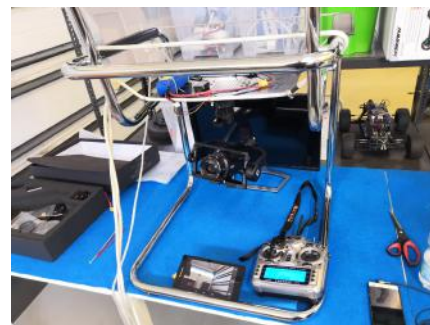
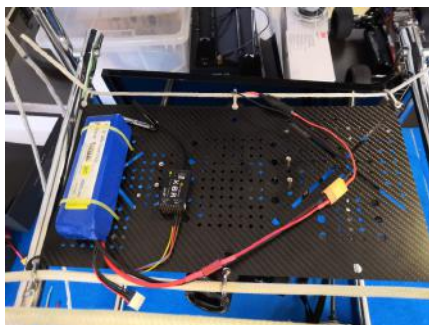


Figura 5.23: Test da banco con gimbal

5.4 Seconda configurazione

Con l'avvento della tecnologia dei droni si sono sviluppati prototipi compatti in grado di catturare video Full HD da una fotocamera integrata connessa attraverso un cavo HDMI a bordo, il cui streaming viene passato alla Ground Control Station tramite un collegamento Wi-Fi a 5,8 GHz a lungo raggio(fino a 2 km). Il team di produzione migliora costantemente il prodotto inviando ai propri utenti aggiornamenti, perfezionando così l'esperienza di ognuno. Il sistema Emlid è composto da un'unità di rilevamento esterna dotata di ricevitore multi-GNSS, doppio magnetometro e barometro ad alta precisione. Le misurazioni del sensore vengono trasferite al controller drone su un bus CAN utilizzando il protocollo UAVCAN, un modulo di potenza con sensore Hall che fornisce alimentazione e misurazioni in termini di corrente e tensione in modo affidabile al sistema Edge. Infine sono presenti due moduli Wi-Fi a 5,8 GHz a lungo raggio che supportano il video full HD e il collegamento telemetrico su una distanza fino a 2 chilometri. La banda di frequenza a 5,8 GHz consente di utilizzare apparecchiature standard RC 2.4 GHz con Edge senza interferenze. Come nella configurazione precedente anche in questa è possibile implementare la gimbal per stabilizzare la videocamera.



Figura 5.24: Sistema Emlid

Per poter lavorare con questo genere di dispositivo è necessario installare il programma QGroundControl. QGroundControl fornisce il controllo completo del volo e pianificazione delle missioni per qualsiasi drone abilitato MAVLink. Il suo obiettivo principale è la facilità d'uso per utenti professionisti e sviluppatori. Tutto il codice sorgente è open source. Nella missione in esame servirà a connettere la ground station con l'Emlid a bordo del pallone per realizzare una connessione diretta con

l'output della videocamera.

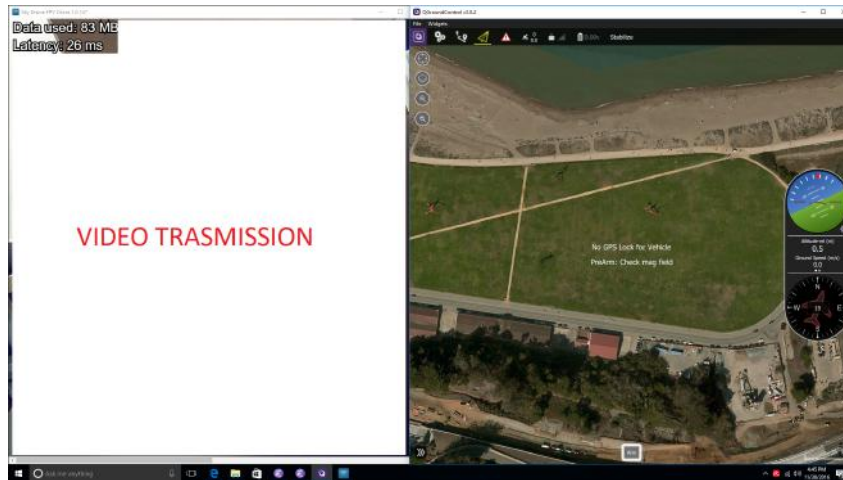


Figura 5.25: Trasmissione video con QGroundControl

Sono stati condotti diversi test con lo scopo di verificare la trasmissione tra il sistema Emlid e la stazione di terra. La strumentazione utilizzata è:

1. Software QGroundControl per Edge v3.2.4;
2. GNSS Compass
3. Controller Edge Drone
4. cavo HDMI-microHDMI
5. cavo adattatore HDMI-microHDMI
6. fotocamera Sony 4k FDR AX-53
7. batteria 4P LiPo
8. 2 x Antenna
9. modulo di alimentazione per connessione LiPo

La procedura utilizzata per il test è stata:

Step Id	Step description	Note
A.1	Firmware check (PC)	Occasionally
A.2	Calibration (PC)	Occasionally
B	Assemble system	-
C	Connection to QGround	TO be verified
D	Video transmission	To be verified

Tabella 5.3: Procedura test Emlid

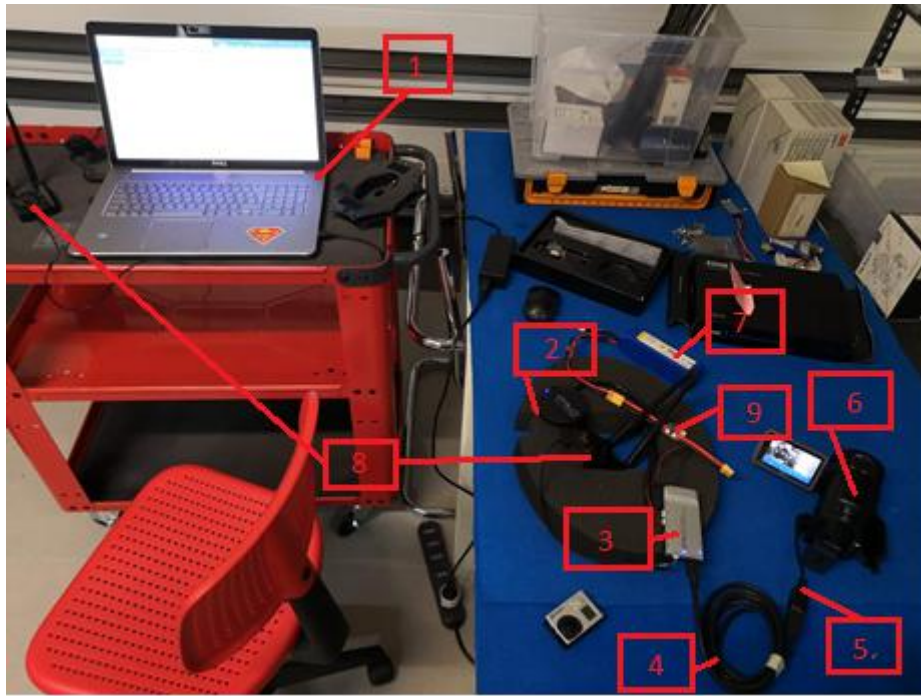


Figura 5.26: Test da banco per Emlid

Da questi test sono emersi problemi riguardanti la trasmissione video, in quanto il software QgroundControl non è pienamente supportato con un sistema Windows 10, per l'uso ottimale il produttore consiglia l'utilizzo di Linux. Un'altra criticità emersa durante questi test riguarda il cavo piatto micro HDMI-micro HDMI necessario alla connessione tra la camera e l'Edge drone controller. Per ulteriori dettagli si riporta in Appendice E il test report eseguito.

Avendo ancora dei problemi di comunicazione ed avendo il test conseguito esito negativo questa proposta è stata accantonata, ma la compattezza dell'intero sistema e l'ampio raggio di comunicazione dichiarato dal produttore sono vantaggi per i quali questa soluzione non può essere completamente abbandonata e verrà ripresa in seguito durante l'ottimizzazione delle fasi di missione.

Conclusioni

All'interno del progetto H2020-MONICA, la domanda di integrazione di diverse tecnologie IoT ha visto DigiSky contribuire con lo sviluppo di una piattaforma aerea per la rilevazione di dati e il supporto al controllo e alla gestione dell'evento. Dalle analisi effettuate e dai requisiti raccolti dai partner durante questa tesi, si è arrivati a definire la necessità di realizzare una nuova configurazione di carico utile comprensiva di un sensore di dati meteo di varia natura e una rivalutazione e riqualificazione della già esistente configurazione di acquisizione video. Il primo payload è stato definito dal principio secondo le necessità dei partner, valutandone il design, l'architettura di comunicazione ed il deployment, passando per una fase di test in laboratorio. Il payload video è stato analizzato nei suoi difetti puntando ad ottimizzare l'acquisizione dei dati e le performance della piattaforma aerostatica. Tutto il sistema è stato inoltre analizzato e documentato, fornendo materiale da consultazione non disponibile prima di questo lavoro svolto in collaborazione con la società DigiSky.

Per dare un valore aggiunto alla trattazione, si è partiti da una dettagliata analisi del comportamento aerodinamico del pallone vincolato, che ha portato alla valutazione e all'acquisto di una nuova piattaforma autosostentata, evidenziando e facendo emergere i limiti della precedente configurazione che vedeva dispiegato un dirigibile. La maggior semplicità di lavorazione e modellazione del comportamento di un pallone sferico hanno portato all'acquisto di un nuovo pallone adatto a soddisfare gli obiettivi di missione. L'analisi aerodinamica ha inoltre concesso di predire i comportamenti e la risposta del pallone a seconda del carico installato e dell'ancoraggio utilizzato per valutarne gli scenari operativi.

Particolare accento è stato dato alla definizione di un'ipotetica ground station di supporto alle operazioni, oltre ad una massiccia revisione delle procedure di dispiegamento del pallone mediante nuovi supporti meccanici, quali puleggia e verricello. La nuova disposizione delle zavorre, congiuntamente all'intelligente disposizione di apposite controventature, sono state il risultato conseguito dopo un'approfondita analisi dei precedenti eventi test alle quali aveva partecipato il team di DigiSky, oltre a report e interviste delle società ed istituzioni partner degli eventi in partecipazione. Il feedback riportato da un meeting plenario delle prime settimane del 2019 ha visto tutti i partner favorevoli allo sviluppo delle configurazioni elaborate in questa tesi.

A causa della momentanea crisi del mercato dell'elio, dovuto allo scarso reperimento di questo elemento, non è stato possibile effettuare dei test di comunicazione con la piattaforma aerostatica in volo. Tuttavia i test eseguiti in laboratorio hanno re-

stituito risultati validi. Inoltre a causa di questa mancanza non è stato possibile effettuare dei test di comportamento del pallone soggetto ad una raffica di vento.

Ultima ma decisamente di carattere rilevante la trattazione sulla sicurezza delle operazioni. Nell'attuale settore industriale, con particolare sguardo a quello aeronautico ed aerospaziale, la sicurezza è diventata la priorità principale di ogni ente o società operante nel sistema. Lo studio approfondito della teoria alla base delle tecniche di gestione del rischio, condotto tramite l'analisi della dettagliata documentazione fornita dall'International Civil Aviation Organization, ha permesso di effettuare una trattazione partita dalle radici dell'identificazione del rischio fino alla realizzazione ed implementazione di azioni mitigative volte a rendere efficienti ed efficaci le misure di sicurezza intraprese da DigiSky durante le operazioni con il pallone aerostatico.

Nelle settimane che seguono la pubblicazione di questa tesi sono previsti alcuni test nell'area dell'Aeroclub di Torino al fine di validare i calcoli di resistenza effettuati. La conclusione del progetto è prevista per dicembre 2019. Fino a questa data sarà possibile progredire con la realizzazione della ground station presentandosi al primo "main event", il Rhein in Flammen 2019, con la nuova configurazione completa e operativa. Al ritorno dalla missione, saranno disponibili nuove informazioni per proseguire il processo di realizzazione di una configurazione e una procedura di missione adeguata, efficace, efficiente e soprattutto sicura.

Riferimenti

ENAC Cir. ATM-05A "Eventi e attività speciali interessanti il traffico aereo" 2013

ENAC Regolamento "Mezzi aerei a pilotaggio remoto" Ed.2 Rev. 21/05/2018

EASA Regulation (EC) No 216/2008 "Balloon Rule Book" Rev. Mar 2018

ICAO Safety Management Manual Doc.9859/2018

Strato flight STRATO3 User-Manual

LiPo3S 4200mAh 35C SilverV2 User-Manual

Atmel SAMR21 XplainedPro User-Guide

Discovery Kit Loran UM2115 User-Manual

LoRaWAN Community, TheThingsNetwork:
<https://www.thethingsnetwork.org/community/turin/>

Software for environmental sensor written in C using RIOT-OS:
<https://github.com/RIOT-OS/RIOT>

Raspberry Pi Gateway for IEEE802.15.4, setup see
<https://github.com/RIOT-Makers/wpan-raspbian/wiki/Create-a-generic-Raspbian-image-with-6LoWPANsupport>

Gremsy T3 Gimbal manual: <https://gremsy.com/gremsy-t3-manual/>

Handycam 4K FDR AX53 User-Manual

Handycam 4K FDR AX53 Application Support:
<https://www.sony.it/electronics/support/memory-camcorders-fdr-ax-series/fdr-ax53>

Appendice A

Richiesta NOTAM

RICHIESTA NOTAM OPERAZIONI DIGISKY

PALLONE VINCOLATO – SKY

1 Identificazione velivolo

Tipologia Velivolo	Pallone/aerostato vincolato
Gas Utilizzato per il gonfiaggio	Elio (Flygas)
Produttore	Aeronord aerostati (MI)
Codice produttore	SF. 3.5
Dimensioni	Diametro 3.5 m
Massa totale al decollo	9 kg + 2 kg di payload MAX PAYLOAD 11 kg MIN PAYLOAD 9 kg
Identificativo DigiSky	SKY (<i>Sierra Kilo Yankee</i>)



Personale di riferimento DigiSky:

<u>Dott. Emanuele Sanguineti</u> Corso Fratelli Cervi 27 100093 – Collegno (TO) Cell: 342 0039815 Email: sanguineti@digisky.it	<u>Ing. Paolo Pari</u> Corso Fratelli Cervi 27 100093 – Collegno (TO) Cell: 331 6705156 Email: pari@digisky.it
--	--

2 Data, luogo e scopo delle operazioni

DigiSky richiede autorizzazione NOTAM per operare nelle date e orari seguenti:

1. Lunedì 11 Marzo 2019 – orario test dalle 12.00 alle 16.00
2. Lunedì 18 Marzo 2019 – orario test dalle 12.00 alle 16.00

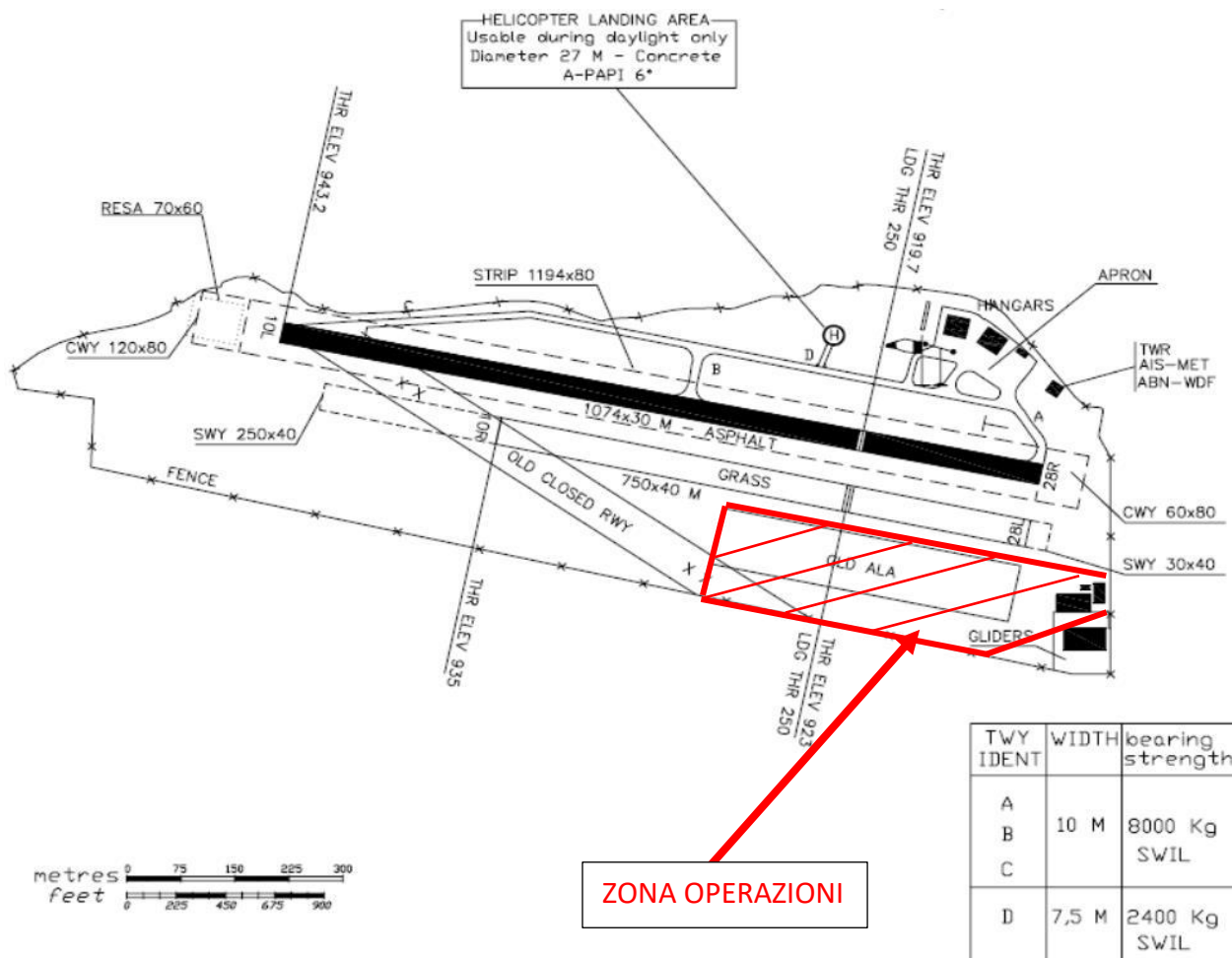
L'effettivo svolgimento o l'annullamento delle attività verrà confermato telefonicamente ad Aero Club Torino e alla TWR ENAV con anticipo di 1 ora rispetto agli orari indicati. Potrebbero compromettere le attività le seguenti motivazioni:

1. Condizioni meteo sfavorevoli (precipitazioni e/o vento superiore ai 30 km/h.
2. Approvvigionamento di elio non disponibile dal fornitore (SIAD/RIVOIRA).
3. Non superamento dei test a banco dei payload da testare (sia fallito in termini funzionali che di safety). I test a banco verranno svolti nelle prossime settimane.

Si effettueranno i seguenti test:

T1	Test della procedura operativa di gonfiaggio (in hangar)
T2	Test della procedura operativa di collegamento del payload
T3	Test della procedura operativa di dispiegamento e ritiro del pallone
T4	Verifica delle operazioni di safety (inclusa la velocità di recupero al suolo)
T5	Test payload catena di ripresa video (registrati in locale, nessuna trasmissione dati al suolo) con videocamera 4k
T6	Test sensori ambientali (rilevatori pressione, umidità, temperatura) con modello Strato3 – Stratoflight e trasmissione dato real-time a terra trasmissione 2.4GHz.

Luogo delle operazioni: evidenziato nella mappa dell'aeroporto sottostante.



3 Requisiti operativi

R1	OPERATIVO	Limite inferiore quota operativa: livello suolo (ground – GND)	MANDATORIO
R2	OPERATIVO	Quota massima di volo: 38m dal suolo	MANDATORIO
R3	OPERATIVO	Sul luogo delle operazioni devono essere disponibili minimo 2 zavorre	MANDATORIO
R4	OPERATIVO	Peso minimo delle zavorre: 20kg (cad.)	MANDATORIO
R5	OPERATIVO	Il team operativo è costituito da un minimo di 3 operatori <ol style="list-style-type: none"> 1. Responsabile operazioni 2. Operatore 3. Supporto operatore 	MANDATORIO
R6	OPERATIVO	Il cavo principale e il secondario sono dello stesso materiale.	MANDATORIO
R7	OPERATIVO	Il cavo principale di ancoraggio è dispiegato tramite verricello elettrico (portata min. 100kg).	OPZIONALE

R8	OPERATIVO	Il responsabile operazioni deve mantenere contatto radio con la TWR aeroporto LIMA per sospensione operazioni dovute a procedure di elisoccorso.	MANDATORIO
R9	OPERATIVO	Il sistema deve essere ritirato al suolo in max. 30 secondi.	MANDATORIO
R10	SAFETY	Il pallone SKY è costantemente vincolato ad almeno 2 zavorre (operatore e/o zavorra fissa al suolo)	MANDATORIO
R11	SAFETY	Il cavo principale di ancoraggio ha un fattore di sicurezza sul carico di rottura in kg pari a 2 (carico massimo ammissibile sul cavo – 60kg, carico a rottura minimo del cavo principale 120kg a trazione).	MANDATORIO
R12	SAFETY	Il pallone SKY è costantemente vincolato al suolo da minimo 2 cavi di ancoraggio (uno principale e uno secondario).	MANDATORIO

4 Responsabilità e fasi dell'attività

La seguente tabella illustra ed esplicita le responsabilità delle persone coinvolte nelle operazioni di test del pallone vincolato.

Operatore	Ruolo
Responsabile operazioni	Pianificazione di tutte le fasi di svolgimento dei test, supervisione e individuazione degli obiettivi.
Operatore	L'operatore dirige il pallone frenato e svolge il ruolo di leadership nella movimentazione, nel rilascio e nel recupero dello stesso
Supporto operatore	L'assistente segue le direttive dell'operatore per quanto concerne la movimentazione, il rilascio e il recupero del pallone. È inoltre responsabile del puntamento della camera di bordo e gestione del payload.

La seguente tabella descrive le fasi operative che verranno seguite dal team di test:

Fase	Modalità operativa
Briefing pre-volo	Analisi delle condizioni atmosferiche, definizione profilo di missione e comunicazione di conferma ad Aero Club Torino e TWR ENAV.
Check-list pre-volo	Check-list del materiale e della sequenza operazioni di gonfiaggio.
Uscita dall'hangar	Movimentazione del mezzo già distaccato dal suolo al di fuori dell'hangar.
Fase di volo	Conduzione vincolata dell'aerostato e dispiegamento fino alla quota massima se concesso dalle condizioni atmosferiche.
Rientro in Hangar	Rientro del mezzo in Hangar, fissaggio del mezzo ai supporti interni e chiusura dell'hangar.
De-briefing	Verifica integrità strutturale del mezzo ed elaborazione test report risultati.

5 Note

Si sottopongono all'attenzione le seguenti considerazioni:

1. Le funi di ancoraggio sono in via di selezione ed approvvigionamento, tutte le possibili soluzioni rispettano i requisiti sopra indicati, la specifica tecnica della fune utilizzata sarà allegata al manuale operativo che verrà elaborato.
2. La fune di ancoraggio principale sarà se possibile collegata ad un verricello elettrico utilizzato per il dispiegamento.
3. La fune di controventatura è utilizzata per incrementare la stabilità del pallone ed eventuale feedback di sicurezza in caso di rottura dell'ancoraggio principale.
4. Durante le fasi di "Volo" verrà mantenuto il contatto radio con AFIU sulla frequenza 440.75 MHz. Il nominativo sarà SKY (*Sierra Kilo Yankee*).
5. Verrà Effettuata una chiamata per rilascio del pallone vincolato a quote superiori di 2 metri "*Sierra Kilo Yankee pronto al rilascio*".
6. Verrà Effettuata una chiamata per recupero del pallone vincolato a terra "*Sierra Kilo Yankee Recuperato a terra*".
7. In caso di chiamata per traffico in circuito o in decollo (es. 118) viene garantito un tempo di recupero a terra non superiore a 30s.

Appendice B

Modello determinazione carichi

validazione_Aeronord_3500.txt

%DATI PALLONE

d_pal=3.5; %[m]

V_pal= 4*3.14*(d_pal/2)^3 /3; %[m^3]

M_pal=11 ; %[kg] ---- da scheda tecnica

p_pal= 1.01325 ; %[bar] pressione di 1 atm

%BOMBOLA

p_bom=200; %[bar]

V_bom= [27,40,50]; %[litri]

%Per ricavare il Volume di Elio necessario a riempire il pallone alla p_pal

%Legge di Boyle $P_1*V_1= p_2*V_2$

$V=(p_pal*V_pal)/ p_bom$; %[m^3] Volume di gas a 200bar

N_gas_bom= (V*1000./V_bom);

N_bom= ceil(V*1000./V_bom); % arrotondo all'intero maggiore

%CAVO

base= 10; %[m]

L_cavo = 50; %[m] Lungh. del cavo principale di ancoraggio

L_contr= 3*abs(sqrt(L_cavo^2+ base^2)); % lungh controventatura per pallone in quota max[m]

M_cavo= 0.0025 * (L_cavo+L_contr) ; %[Kg] peso cavo al metro per la lunghezza complessiva di tutte le funi agganciate al pallone

%ELIO

p_He= 1.0133; %[atm]

T_He= 273+15; % [K]

R_He = 8.20574587*10^(-5); % Costante Gas [m3 atm K?1 mol?1]

MM_He= 4.026*10^-3; %[kg/mol]

M_He= (p_He*V_pal*MM_He)/(R_He*T_He); %Peso dell' elio contenuto nel pallone [Kg]

%ARIA

rho_aria= 1.225; % densità aria [kg/m^3]

g= 9.81; %[m/sec^2]

%--- BILANCIO FORZE-----

S_Arch= rho_aria*V_pal*g; %Spinta di archimede [N]

F=(S_Arch/g); % Forza generata dall'elio [kg]

P_tot= M_cavo+M_He+M_pal; %peso totale [kg]

Risultante= F- P_tot; % questa risultante è quello che mi rimane per il payload e per la Forza stabilizzante

P_pay= 2; %[kg]

Residua= Risultante -P_pay;

Appendice C

Modello valutazione resistenza

Drag_script.txt

```

% VALUAZIONE DELLA DRAG
i=1;
U=[1, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50]; % velocità vento km/h
d= 3.5; % diametro pallone
S=pi*d^2/4; %superficie
L=50;
T=273.15+[-10 -5 0 10 15 20 30 40]; %K
C1=1.458*10^-6;
C2=110.4;
mu= C1*T.^(3/2)./(T+C2) ; %viscosità dinamica Sutherland dipende dalla
temperatura
rho= [ 1.341 1.316 1.293 1.247 1.225 1.205 1.164 1.127]; %densità dell'aria al
variare della temperatura

ni= mu./rho;

for i=1:length(U)
    j=1;
    for j=1:length(ni)
        Re(i,j)= U(i)*d/(3.6*ni(j)); % Reynolds
        CD(i,j) =24/Re(i,j) +(2.6 *
Re(i,j)/5)/(1+(Re(i,j)/5)^1.52)+(0.411*(Re(i,j)*10^(-5)/2.63)^(-7.94))/(1+(Re(i,
j)*10^(-5)/2.63)^(-8))+0.25*Re(i,j)*10^(-6))/(1+(Re(i,j)/10^6));
        % coeff di resistenza al variare del Re per una sfera
        D_N(i,j)= 0.5*rho(j)*(U(i)*0.277778)^2*S*CD(i,j); % N
        D_kg(i,j)= D_N(i,j)/9.81; % resistenza in Kg
        j=j+1;
    end
    i=i+1;
end % la matrice delle Drag è composta a righe, ogni riga è riferita alla
U(n°riga) al variare della rho

%-----PLOT DRAG-----
figure (1)
plot(U(1,:), D_kg, '-')
axis([0 max(U)+5 0 max(max(D_kg))+5 ])
legend('T=-10' , 'T=-5' , 'T=0' , 'T=10' , 'T=15' , 'T=20' , 'T=30' , 'T=40' ,
'Location','eastoutside' )
xlabel('Wind velocity [Km/h]')
ylabel('Drag [Kg] ')

%----- VALUTAZIONE INCLINAZIONE-----
Residua= 10; %kg
incl=(atan(Residua./D_kg)); %radianti
Blowdown= radtodeg(incl); %gradi
t=0;
color=['k', 'm', 'c', 'r', 'g', 'b', 'c','m','k' ];
x= L*abs(cos(incl));
y= L*abs(sin(incl));

```

Drag_script.txt

```

for t=1: length(x)
    figure (2)
    plot(x(t,1),y(t,1),'o','color',color(1,t) )
    hold on
    plot(x(t,8),y(t,8),'x','color',color(1,t) )
    axis([0 L 0 L ])
    axis equal
    txt= sprintf('U=%d km/h', U(t));
    text(x(t,4),y(t,4),{' ',txt}, 'center')
    grid minor
    title('Blowdown angle in according to the wind velocity U [km/h] ')
    xlabel('Distance [m]')
    ylabel('Altitude[m]')
end
legend('Tmin', 'Tmax' )

%-----CD-Re-----
figure (3)
semilogx(Re, CD,'x');
xlabel('Reynolds $Re= \frac{U D}{\nu}$','Interpreter','latex')
ylabel('C_D')

%-----Spostamento laterale al variare della velocità-----
figure(4)
plot(x(:,5),U(1,:),'-o')
grid minor
title(' lateral displacement according to the wind speed with T = 15°C')

xlabel('Distance [m]')
ylabel('Wind Velocity [Km/h]')

```

Appendice D

Risk assessment

Hazard ID	Risk Area	Hazards	Consequence	Likelihood	Consequence LVL	Likelihood LVL	Risk LVL	Mitigative/Corrective actions
HES.1	MALFUNZIONAMENTO EQUIPAGGIAMENTI (supporto)	Rottura cavo principale di ancoraggio per eccessiva tensione	Catastrophic	Improbable	5	2	High	<ul style="list-style-type: none"> • Cavi di controventatura (min 2) • Fattore di sicurezza su carico di rottura cavo 1.4 • Test in laboratorio sul campione del cavo
HES.2		Rottura cavo principale di ancoraggio per errore di un operatore	Catastrophic	Remote	5	3	Extreme	<ul style="list-style-type: none"> • PO - Operazioni sottobordo • Training e formazione • Cavi di controventatura (min 2)
HES.3		Rottura cavo principale di ancoraggio a causa di terzi	Hazardous	Extremely Improbable	4	1	Moderate	<ul style="list-style-type: none"> • Delimitazione area operativa • PO - Coordinamento pilot planner • Cavi di controventatura (min 2)
HES.4		Blocco del verricello	Major	Remote	3	3	Moderate	<ul style="list-style-type: none"> • Test pre-volo • PO di emergenza
HES.5		Struttura non fissata correttamente	Major	Remote	3	3	Moderate	<ul style="list-style-type: none"> • Checklist pre-volo • Training e formazione • PO - Assemblaggio struttura • Operazione multi-operatore
HES.6		Montaggio erraneo della struttura	Minor	Remote	2	3	Moderate	<ul style="list-style-type: none"> • Checklist pre-volo • Training e formazione • PO - Assemblaggio struttura • Operazione multi-operatore
HES.7		Violazione da parte di terzi dell'area operativa	Hazardous	Remote	4	3	High	<ul style="list-style-type: none"> • PO - Violazione area operativa • Delimitazione area operativa
HES.8		Aeronavigabilità non garantita a causa della mancata richiesta NOTAM	Hazardous	Improbable	4	2	Moderate	<ul style="list-style-type: none"> • PO - Richiesta NOTAM • PO - Coordinamento pilot planner • Checklist pre-volo • Annullamento/Interruzione missione

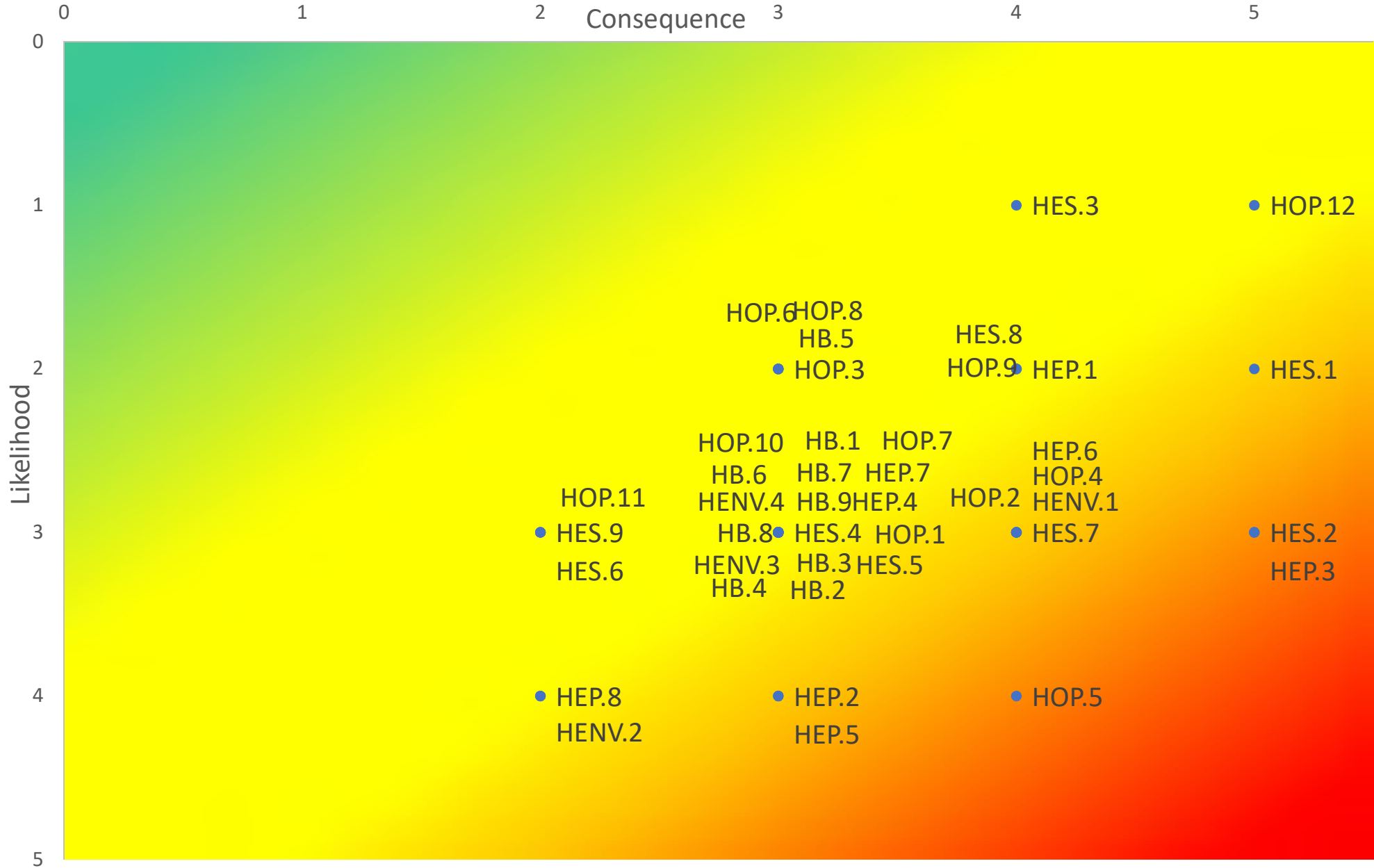
HES.9		Vincolo di sicurezza non collegato (controventatura)	Minor	Remote	2	3	Moderate	<ul style="list-style-type: none"> • Checklist pre-volo • Training e formazione
HEP.1	MALFUNZIONAMENTO EQUIPAGGIAMENTI (payload)	Principio di incendio batterie	Hazardous	Improbable	4	2	Moderate	<ul style="list-style-type: none"> • Controllo pre-volo • Test in laboratorio
HEP.2		Mancata trasmissione dei dati	Major	Occasional	3	4	High	<ul style="list-style-type: none"> • Salvataggio dati su SD • Test in laboratorio • Test pre-volo
HEP.3		Distacco totale baia di carico	Catastrophic	Remote	5	3	Extreme	<ul style="list-style-type: none"> • Fattore di sicurezza su carico di rottura ganci • Controllo pre-volo • Ganci multipli
HEP.4		Distacco parziale della baia di carico	Major	Remote	3	3	Moderate	<ul style="list-style-type: none"> • Fattore di sicurezza su carico di rottura ganci • Controllo pre-volo • Ganci multipli
HEP.5		Parziale inoperatività del payload (>50%)	Major	Occasional	3	4	High	<ul style="list-style-type: none"> • Test pre-volo • Test in laboratorio • Manutenzione straordinaria in loco
HEP.6		Principio d'incendio per cortocircuito dei collegamenti elettrici	Hazardous	Remote	4	3	High	<ul style="list-style-type: none"> • Test pre-volo • Test in laboratorio
HEP.7		Mancata erogazione di corrente da parte delle batterie	Major	Remote	3	3	Moderate	<ul style="list-style-type: none"> • Test pre-volo • Test in laboratorio • Manutenzione straordinaria in loco • Set di batterie di scorta
HEP.8		Equipaggiamento di supporto mancante	Minor	Occasional	2	4	Moderate	<ul style="list-style-type: none"> • Checklist pre-missione
HOP.1	PROBLEMI OPERATIVI	Personale insufficiente (operatori = 2)	Major	Remote	3	3	Moderate	<ul style="list-style-type: none"> • PO - Operazioni • Training e formazione • Limitazioni operative • Annullamento missione con operatori < 2

HOP.2		Errata coordinazione con i partner (Org. Evento, Autorità aeroport)	Hazardous	Remote	4	3	High	<ul style="list-style-type: none"> • PO - Richiesta NOTAM • PO - Coordinamento pilot planner • Checklist pre-missione • Annullamento/Interruzione missione
HOP.3		Lesione al personale a causa della struttura	Major	Improbable	3	2	Moderate	<ul style="list-style-type: none"> • Training e formazione • Abbigliamento operativo adeguato
HOP.4		Lesione al personale causata dal pallone	Hazardous	Remote	4	3	High	<ul style="list-style-type: none"> • Training e formazione • Abbigliamento operativo adeguato • PO di manovra • Controllo a vista
HOP.5		Lesione al personale a causa del cavo di collegamento	Hazardous	Occasional	4	4	Extreme	<ul style="list-style-type: none"> • Training e formazione • Guanti di protezione • PO di manovra • Controllo a vista
HOP.6		Lesione al personale a causa degli attrezzi di manutenzione del payload	Major	Improbable	3	2	Moderate	<ul style="list-style-type: none"> • Training e formazione • Guanti di protezione • PO di manutenzione
HOP.7		Lesioni al personale a causa di scivolamento	Major	Remote	3	3	Moderate	<ul style="list-style-type: none"> • Training e formazione • Abbigliamento operativo adeguato • Requisiti area operativa
HOP.8		Lesioni leggere al personale a causa dell'errata gestione delle bombole	Major	Improbable	3	2	Moderate	<ul style="list-style-type: none"> • Training e formazione specifica • Abbigliamento operativo adeguato • Requisiti area operativa • PO Operazioni
HOP.9		Mancata fornitura di elio	Hazardous	Improbable	4	2	Moderate	<ul style="list-style-type: none"> • Pianificazione missione • Coordinamento pilot planner • Checklist pre-missione
HOP.10		Perdita elio a causa dell'erroneo fissaggio del tubo erogatore al bocchettone	Major	Remote	3	3	Moderate	<ul style="list-style-type: none"> • PO Operazioni • Training e formazione specifica

HOP.11		Perdita elio a causa dell'erronea chiusura della bombola	Minor	Remote	2	3	Moderate	<ul style="list-style-type: none"> • PO Operazioni • Training e formazione specifica
HOP.12		Lesioni gravi al personale a causa dell'errata gestione delle bombole	Catastrophic	emely Improb	5	1	Moderate	<ul style="list-style-type: none"> • PO Operazioni • Training e formazione specifica • PO Emergenza • Coordinamento pilot planner
HB.1	RISCHI INERENTI IL PALLONE	Rottura involucro a causa dell'elevata pressione di gonfiaggio dell'elio	Major	Remote	3	3	Moderate	<ul style="list-style-type: none"> • PO Operazioni • Training e formazione specifica
HB.2		Degradazione involucro a causa dell'errato stoccaggio	Major	Remote	3	3	Moderate	<ul style="list-style-type: none"> • PO Operazioni • Training e formazione • Controllo a vista
HB.3		Degradazione involucro a causa della presenza di acqua	Major	Remote	3	3	Moderate	<ul style="list-style-type: none"> • PO Operazioni • Training e formazione • Controllo a vista
HB.4		Strappo involucro (lacerazione<5cm) per collisione con la struttura	Major	Remote	3	3	Moderate	<ul style="list-style-type: none"> • PO Operazioni • Training e formazione • Controllo a vista • Manuale del produttore
HB.5		Strappo involucro (lacerazione<5cm) per collisione con volatili	Major	Improbable	3	2	Moderate	<ul style="list-style-type: none"> • PO Emergenza
HB.6		Strappo involucro (lacerazione<5cm) per collisione con ostacoli	Major	Remote	3	3	Moderate	<ul style="list-style-type: none"> • Delimitazione area operativa • Studio del comportamento aerodinamico • Controllo continuo a vista • Manuale del produttore
HB.7		Infragilimento involucro causato dallo scambio termico con l'elio	Major	Remote	3	3	Moderate	<ul style="list-style-type: none"> • PO operazioni • Training e formazione specifica • Adattatore tubo gonfiaggio

HB.8		Danni all'involucro durante l'operazione di sgonfiaggio	Major	Remote	3	3	Moderate	<ul style="list-style-type: none"> • PO operazioni • Training e formazione specifica
HB.9		Danno involucro involontariamente arrecato dall'operatore	Major	Remote	3	3	Moderate	<ul style="list-style-type: none"> • PO Operazioni • Training e formazione • Controllo a vista • Manuale del produttore
HENV.1	CONDIZIONI AMBIENTALI	Vento >40 km/h	Hazardous	Remote	4	3	High	<ul style="list-style-type: none"> • Annullamento/Interruzione missione • Training e formazione • Manuale del produttore • Studio del comportamento aerodinamico
HENV.2		Vento fra 30 e 40 km/h	Minor	Occasional	2	4	Moderate	<ul style="list-style-type: none"> • Training e formazione • Manuale del produttore • Studio del comportamento aerodinamico
HENV.3		Operazioni con visibilità < 40m	Major	Remote	3	3	Moderate	<ul style="list-style-type: none"> • Annullamento/Interruzione missione • Training e formazione
HENV.4		Rischi legati ad operazioni notturne	Major	Remote	3	3	Moderate	<ul style="list-style-type: none"> • Annullamento/Interruzione missione • Training e formazione

Matrice Iniziale di Risk assessment



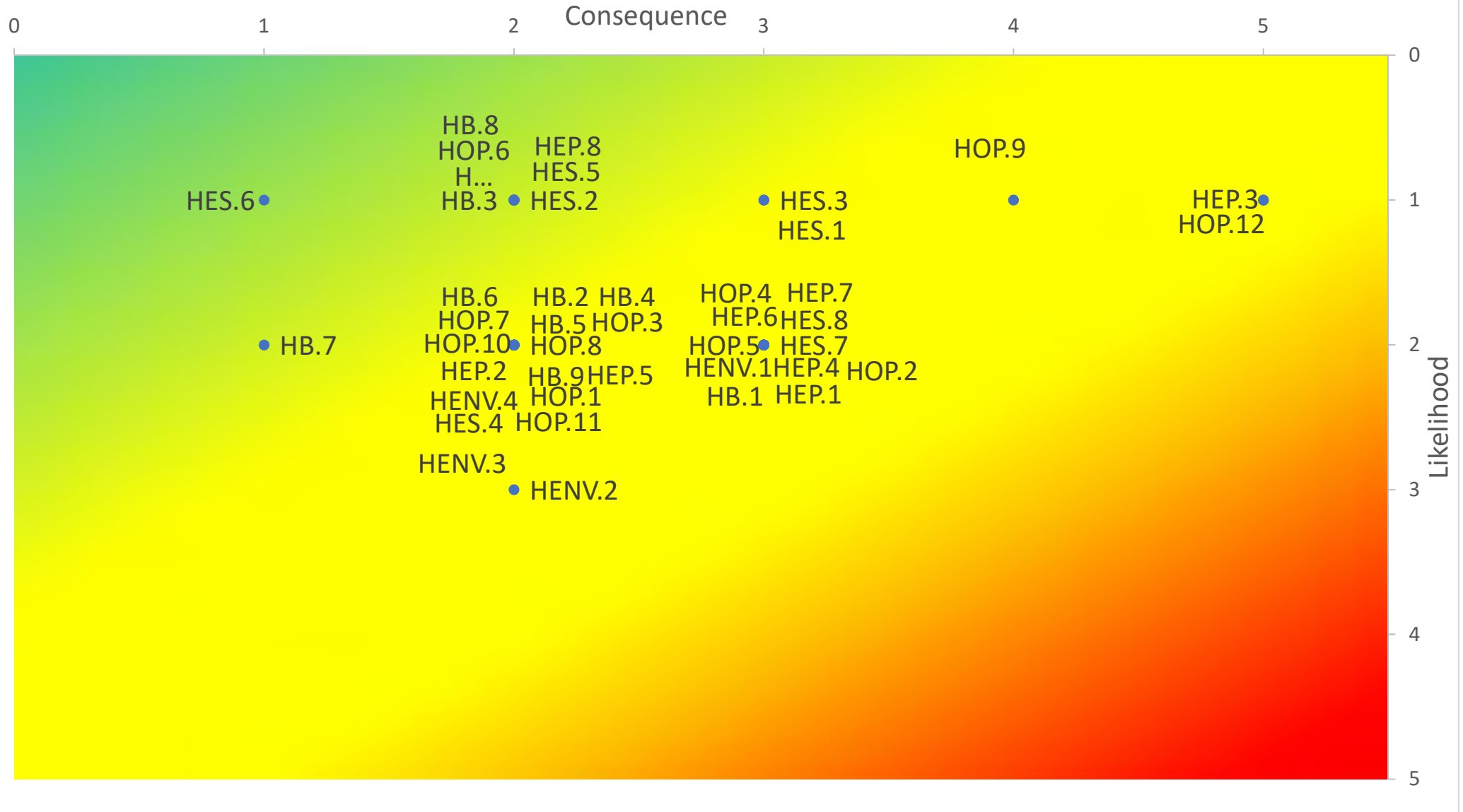
Hazard ID	Risk Area	Hazards	New Consequence	New Likelihood	New Consequence LVL	New Likelihood LVL	New Risk LVL
HES.1	MALFUNZIONAMENTO EQUIPAGGIAMENTI (supporto)	Rottura cavo principale di ancoraggio per eccessiva tensione	Major	Extremely Improbable	3	1	Low
HES.2		Rottura cavo principale di ancoraggio per errore di un operatore	Minor	Extremely Improbable	2	1	Low
HES.3		Rottura cavo principale di ancoraggio a causa di terzi	Major	Extremely Improbable	3	1	Low
HES.4		Blocco del verricello	Minor	Improbable	2	2	Low
HES.5		Struttura non fissata correttamente	Minor	Extremely Improbable	2	1	Low
HES.6		Montaggio erroneo della struttura	Negligible	Extremely Improbable	1	1	Low
HES.7		Violazione da parte di terzi dell'area operativa	Major	Improbable	3	2	Moderate
HES.8		Aeronavigabilità non garantita a causa della mancata richiesta NOTAM	Major	Improbable	3	2	Moderate
HES.9		Vincolo di sicurezza non collegato (controventatura)	Minor	Extremely Improbable	2	1	Low
HEP.1	MALFUNZIONAMENTO EQUIPAGGIAMENTI (payload)	Principio di incendio batterie	Major	Improbable	3	2	Moderate
HEP.2		Mancata trasmissione dei dati	Minor	Improbable	2	2	Low

HEP.3		Distacco totale baia di carico	Catastrophic	Extremely Improbable	5	1	Moderate
HEP.4		Distacco parziale della baia di carico	Major	Improbable	3	2	Moderate
HEP.5		Parziale inoperatività del payload (>50%)	Minor	Improbable	2	2	Low
HEP.6		Principio d'incendio per cortocircuito dei collegamenti elettrici	Major	Improbable	3	2	Moderate
HEP.7		Mancata erogazione di corrente da parte delle batterie	Major	Improbable	3	2	Moderate
HEP.8		Equipaggiamento di supporto mancante	Minor	Extremely Improbable	2	1	Low
HOP.1	PROBLEMI OPERATIVI	Personale insufficiente (operatori = 2)	Minor	Improbable	2	2	Low
HOP.2		Errata coordinazione con i partner (Org. Evento, Autorità aeroport)	Major	Improbable	3	2	Moderate
HOP.3		Lesione al personale a causa della struttura	Minor	Improbable	2	2	Low
HOP.4		Lesione al personale causata dal pallone	Major	Improbable	3	2	Moderate
HOP.5		Lesione al personale a causa del cavo di collegamento	Major	Improbable	3	2	Moderate
HOP.6		Lesione al personale a causa degli attrezzi di manutenzione del payload	Minor	Extremely Improbable	2	1	Low
HOP.7		Lesioni al personale a causa di scivolamento	Minor	Improbable	2	2	Low

HOP.8		Lesioni leggere al personale a causa dell'errata gestione delle bombole	Minor	Improbable	2	2	Low
HOP.9		Mancata fornitura di elio	Hazardous	Extremely Improbable	4	1	Moderate
HOP.10		Perdita elio a causa dell'erroneo fissaggio del tubo erogatore al bocchettone	Minor	Improbable	2	2	Low
HOP.11		Perdita elio a causa dell'erronea chiusura della bombola	Minor	Improbable	2	2	Low
HOP.12		Lesioni gravi al personale a causa dell'errata gestione delle bombole	Catastrophic	Extremely Improbable	5	1	Moderate
HB.1	RISCHI INERENTI IL PALLONE	Rottura involucro a causa dell'elevata pressione di gonfiaggio dell'elio	Major	Improbable	3	2	Moderate
HB.2		Degradazione involucro a causa dell'errato stoccaggio	Minor	Improbable	2	2	Low
HB.3		Degradazione involucro a causa della presenza di acqua	Minor	Extremely Improbable	2	1	Low
HB.4		Strappo involucro (lacerazione<5cm) per collisione con la struttura	Minor	Improbable	2	2	Low
HB.5		Strappo involucro (lacerazione<5cm) per collisione con volatili	Minor	Improbable	2	2	Low

HB.6		Strappo involucro (lacerazione<5cm) per collisione con ostacoli	Minor	Improbable	2	2	Low
HB.7		Infragilimento involucro causato dallo scambio termico con l'elio	Negligible	Improbable	1	2	Low
HB.8		Danni all'involucro durante l'operazione di sgonfiaggio	Minor	Extremely Improbable	2	1	Low
HB.9		Danno involucro involontariamente arrecato dall'operatore	Minor	Improbable	2	2	Low
HENV.1	CONDIZIONI AMBIENTALI	Vento >40 km/h	Major	Improbable	3	2	Moderate
HENV.2		Vento fra 30 e 40 km/h	Minor	Remote	2	3	Moderate
HENV.3		Operazioni con visibilità < 40m	Minor	Improbable	2	2	Low
HENV.4		Rischi legati ad operazioni notturne	Minor	Improbable	2	2	Low

Matrice finale di Risk assessment



Appendice E

Test Report Emlid

INTERNAL TEST REPORT N° - MONICA test report_01

TEST TYPE	<input type="checkbox"/> mechanical (MEC) <input type="checkbox"/> electrical/electronic (ELT) <input type="checkbox"/> SW (UNT/HIL) <input checked="" type="checkbox"/> integration (ITG) <input type="checkbox"/> flight test (FLT)
-----------	--

1 Objectives and Target Type

OBJECTIVE DESCRIPTION	TARGET TEST TYPE
Video/Data transmission test with EMLID EDGE	ITG

2 Test- <VIDEO TRANSMISSION>

2.1 Pre-Condition

Verify the correct video/data wireless transmission from board to the ground station with Emilid Edge Advanced drone controller.

2.2 Description

The test will be performed on the test bench, simulating the transmission with a 4k camera. Used instrumentation: Edge Drone controller [3], GNSS Compass [2], 2 x Antenna [8], 4S LiPo battery [7], Power Module for LiPo connection [9], Camera Sony 4k FDR AX-53 [6], Software QGroundControl for Edge v3.2.4 [1], cable HDMI-microHDMI [4], cable adapter HDMI-microHDMI [5].

2.3 Test procedure

Step ID	Step Description	Expected Result/Behaviour
A.1	Firmware check	Success
A.2	Calibration (EDGE and GNSS)	Success
B	Assemble the system	Success
C	Connection to SW	Success
D	Transmission video data	TBV

Test Results <1>: 3/12/2018

TEST ID	TEST STEP	TEST STEP RESULT (OK/KO)	NOTES (Optional)
1	A.1	OK	Test done occasionally
1	A.2	OK	Test done occasionally
1	B	OK	
1	C	OK	In case of Warning: 'Safety'> 'Arming checks'> tips only needed
1	D	KO	Camera not detected

Test Results <2>: 11/02/2019

TEST ID	TEST STEP	TEST STEP RESULT (OK/KO)	NOTES (Optional)
1	A.1	OK	Success
1	A.2	OK	Success
1	B	OK	Using the adapter cable NOT flat
1	C	OK	
1	D	KO	Camera not detected

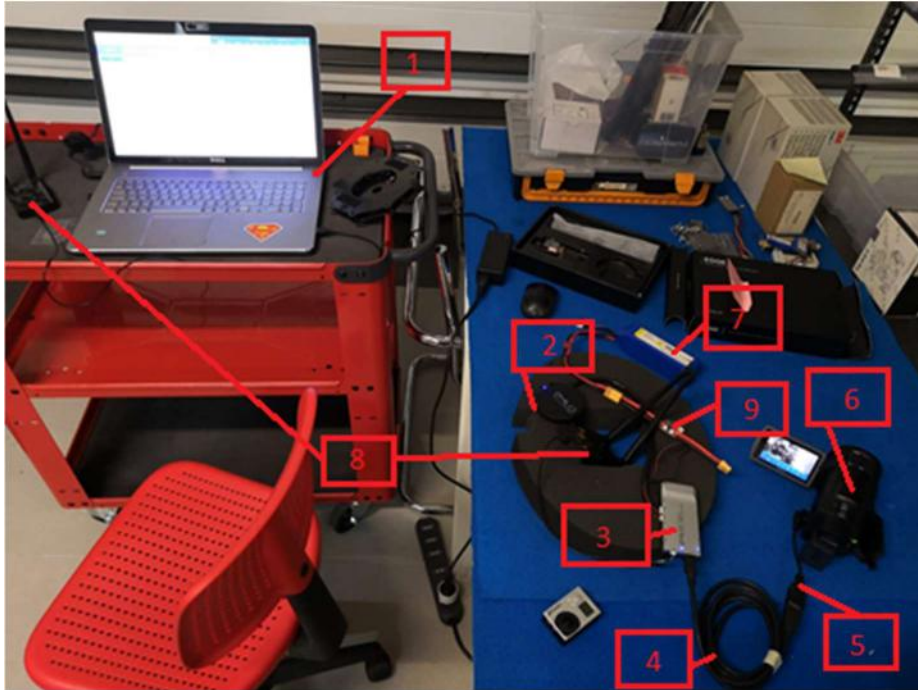
3 Conclusion

The SW QGroundControl is bad supported by Win10, it's recommended to use Linux.

A ticket has been opened at the Emlid. The camera connection is failed, the camera has not detected. The streaming is failed.

NOTE: 14/12/2018 The manufacturer recommends using a flat micro HDMI - micro HDMI cable to link the 4K camera [6] with the Edge Drone controller [3].

4 Test Report Media and General Attachment



Bench test: the photo shows the instrumental wired connections