



Università di Genova
Corso di Dottorato in Digital Humanities–
Tecnologie Digitali, Arti,
Lingue, Culture e Comunicazione

Aerial Media

di
Giorgio Rinolfi

Tesi presentata per il titolo di Dottore di ricerca (XXXIII ciclo)
Agosto 2021

Giovanni Adorni
Gianni Vercelli

Relatore
Relatore

Ringraziamenti

Giunto vicino alla conclusione di questa esperienza di dottorato mi guardo indietro e mi sento fortunato per l'immenso e fondamentale supporto ricevuto. Ci sono stati momenti difficili e senza l'aiuto ricevuto da tutti non sarei giunto fino a questo punto.

Vorrei ringraziare il Prof. Giovanni Adorni e Gianni Vercelli, relatori di questa tesi e fonti inesauribili di conoscenza. Oltre ad avermi guidato lungo tutta la ricerca e nella stesura di questo lavoro, mi hanno trasmesso la passione e l'entusiasmo necessari affinché la tesi prendesse forma giorno dopo giorno e arrivasse a questo traguardo.

Sono molti i professori che mi hanno aiutato con i loro preziosi consigli e supporto, in particolare vorrei ringraziare la guida preziosa e il sostegno di Paolo Atzori, i preziosi consigli di Massimo Malagugini, Fabrizio Bracco e Antonio Somaini. Un ringraziamento a tutti i membri e professori del dottorato di Digital Humanities, i colleghi degli altri dottorati di ricerca e i ricercatori incontrati durante il percorso e le visite all'estero. In particolare vorrei ringraziare gli amici e colleghi conosciuti durante il soggiorno a Braga e a Linz con cui abbiamo trascorso dei momenti indimenticabili che mi hanno arricchito e infuso rinnovate energie.

Vorrei ringraziare tutto il gruppo di LuminouBee, Lorenzo Marcenaro, Guglielmo Cassinelli, con cui ho condiviso l'intera avventura, la nascita e l'evoluzione di ciò che abbiamo creato è merito dell'apporto di tutti voi, la dedizione e l'impegno che avete offerto sono stati e sono tuttora insostituibili e hanno portato il progetto a questi risultati. Un grazie speciale va a Luigi Rinolfi, che oltre ad essere mio padre ha sempre creduto nel progetto e ha dedicato questi anni di lavoro e sacrifici con la sua grande esperienza e competenza a progettare le tecnologie che abbiamo realizzato, senza il tuo sostegno i droni luminosi nati a Genova non sarebbero una realtà. Vorrei ringraziare Silvano Audisio che grazie alla sua disponibilità e competenza sono sempre stati assemblati i prototipi elettronici. Un caloroso ringraziamento a tutti gli amici e collaboratori che sono passati nel nostro laboratorio e hanno condiviso e messo a disposizione le loro idee e capacità. Grazie Lucerna film e Agostino per la realizzazione del primo video natalizio con i droni luminousbee indoor e le lunghe notti passate in laboratorio. Voglio ringraziare gli amici del politecnico di Milano Massimiliano Zaroni, Michele Buccoli per la preziosa collaborazione senza la quale non avrei potuto presentare al convegno Artech l'innovativo lavoro che abbiamo prodotto assieme.

Ringrazio l'amico Philip Reul che durante la pandemia e nei momenti difficili è sempre stato disponibile e mi ha incoraggiato, inoltre mi ha aiutato a prendere contatto col gruppo CollMot, grazie al quale è nata la seconda fase sperimentale usando il loro software di controllo e senza la cui esperienza e competenza non sarei arrivato a questo risultato finale.

Vorrei ringraziare il progetto Ardupilot, tutti gli sviluppatori e la community, grazie al quale esiste un progetto aperto che ha permesso questa ricerca e tutti i droni che ho realizzato dall'inizio della mia passione.

Un ringraziamento speciale alla mia famiglia, in particolare a mia madre e mio padre: è grazie al loro sostegno e al loro incoraggiamento se oggi sono riuscito a raggiungere questo traguardo.

Un ringraziamento speciale alla mia compagna Chiara Martinetto che mi ha supportato e sopportato instancabilmente, spronato nei momenti difficili e condiviso con me ogni gioia e dolore. Grazie alla nostra piccola Alice che ha sopportato e aiutato papà come solo lei ha saputo fare.

Vorrei ringraziare anche tutti i colleghi del 33° ciclo del nostro dottorato con cui ho condiviso questa avventura e che si sono sempre dimostrati disponibili e hanno riempito di positività ed allegria il tempo passato assieme.

Una dedica speciale ai miei amici, che ogni giorno hanno condiviso con me gioie, sacrifici e successi, senza voltarmi mai le spalle. L'affetto e il sostegno che mi hanno dimostrato rendono questo traguardo ancora più prezioso.

Ringrazio tutti coloro che hanno contribuito con le loro competenze ed energie, mi hanno sostenuto e in particolare hanno aiutato e partecipato al convegno inaugurale di questa avventura e all'ambizioso progetto legato alla rappresentazione in cielo dei dati del superorganismo api: Laura Bertolino, Alice Chiapporino, Lorenzo Marcenaro, Valeria Piras, Gianni Bacino, Massimiliano Rosso, Claudio Porrini, Antonio Felicioli, Bettina Maccagnani, Antonio Sgorbissa, Mauro Migliazzi, Gennaro Acampora, Laura Capini, Diego Scarponi e tutti i ragazzi del laboratorio Buster Keaton. Grazie a tutti coloro che non sono qua inseriti ma che inevitabilmente hanno sostenuto e reso questo possibile.

Indice

Capitolo 1	12
1.1 L'obiettivo di ricerca	12
1.2 Introduzione	15
1.3 Analisi delle tecnologie disponibili	24
1.4 Confronto piattaforme uav luminose	25
1.5 Prospettive Aerial Media	28
Capitolo 2 Storia Drone Light Show	30
2.1 introduzione	30
2.2 Dal 2012 ad oggi	30
Capitolo 3 Aerial Media Design	67
3.2 Pubblicità Aerea	67
3.3 La rappresentazione puntiforme	68
3.4 Dal quadro agli elementi visivi	73
3.5 Percezione visiva	73
3.6 Rapporto figura-sfondo	74
3.7 Principi di formazione delle unità fenomeniche	77
3.7.1 Principio di prossimità o vicinanza	77
3.7.2 Principio di somiglianza	79
3.7.3 Principio del destino comune	81
3.7.4 Principio di chiusura	82
3.7.5 Principio di direzionalità/orientamento	84
3.7.6 Principio di movimento comune	85
3.8 Caratteristiche Aerial Media	86
3.8.1 Visione Ambientale	86
3.8.2 Scala	87
3.8.3 Audio-visivo	87
3.8.4 Dal piano al volume, dal virtuale al reale	88

3.8.5 L'elemento visivo: il Punto	89
3.8.6 Vertice 3D - posizione drone	89
3.8.7 Risoluzione puntiforme	90
3.9 Progettazione Aerial Media in Cinema4D	98
3.9.1 Font Design	99
3.9.2 Caratteri a singola linea	100
3.9.2.1 Lettera A	101
3.9.2.2 Lettera E ed F	103
3.9.2.3 Set caratteri a singola linea	104
3.9.2.4 Logo ricostruito singola Linea	105
3.9.3 Set caratteri doppia linea	106
3.9.4 Lettera solida	108
3.9.5 Logo Ricostruito con contorno	114
3.9.6 Elementi tridimensionali - wireframe puntiforme	117
3.9.7 Ambiguità interpretativa del 3D puntiforme	118
 Capitolo 4 Forme di luce in movimento	 120
4.1 I Nuovi Media	120
4.2 La macchina da strumento ad esecutore	120
4.3 Differenze danza e Aerial Media Art	123
4.4 Collegamenti con la Biological motion	124
4.5 Motion Design incorporato nello spazio	129
4.6 La grafica in movimento	131
4.7 Variazioni Compositive	132
4.8 Metodologia Aerial Media Design	133
4.8.0.1 Dinamiche luminose	133
4.8.0.2 Transizioni luminose	134
4.8.0.3 Apparizione immagine	135
4.8.0.4 Transizione chiusura scena	136
4.8.0.5 RasterLight	137
4.8.0.6 LightVector	142
4.8.0.7 Approccio misto	143
4.8.1 Sistema centralizzato con missione pre-caricata	148
4.8.2 Vincoli di Velocità e Accelerazione	149
4.8.3 Parametro prossimità	150
4.8.4 Coerenza numero droni	151
4.8.5 Generazione delle transizioni	151
4.8.6 Modello Aerial Media	151
4.8.7 Rotazione immagine	155

4.8.7 Site specific	156
Capitolo 5 ATOMO, il drone	160
5.1 Quadricottero	161
5.2 Uav	161
5.3 Componenti	162
5.3.1 Scheda Autopilota	162
5.3.2 ESC E Motori brushless	162
5.3.3 GPS RTK	164
Capitolo 6 Ricerca sperimentale applicata	167
6.1 Sviluppo piattaforma sperimentale LuminousBee	167
6.2 Sistema di localizzazione Indoor	169
6.3 LuminousBee Realtime	173
6.4 Sistema di comunicazione	176
6.5 Sistema offline	186
6.6 Mini Luminousbee per applicazioni Indoor	189
6.4 Il controllo dei multirotori	191
Capitolo 7 La piattaforma LuminousBee-Skybrush	196
7.1 Dall'indoor all'outdoor	196
7.2 Skybrush, GCS offline per ArduPilot	196
7.3 Modalità SHOW	198
7.4 Skybrush Live	204
7.4.0.1 Caratteristiche generali	204
7.4.0.2 Componenti Hardware	205
7.4.0.3 Comunicazione con i droni	206
7.4.0.4 Stazione base RTK	206
7.4.0.5 Router supportati	207
7.4.0.6 Pannelli utente	207
7.4.0.7 Mappa	208
7.4.0.8 3D View	210
7.4.0.9 Layers	212
7.4.1.0 UAVs	213
7.4.1.2 Assegnazione ruoli spettacolo	215
7.4.1.3 Light Control	217
7.4.1.4 Piano Predefinito di Colori	218
7.4.1.5 Pannello di controllo Show	219

7.4.1.6 Pannello Clocks	221
7.4.1.7 Pannello Locations	222
7.4.1.8 Finestra Coordinate averaging	222
7.4.1.9 Finestra Geofence	223
7.4.2.0 Polygonal geofence	224
7.4.2.1 Limiti di distanza massima e altitudine massima	225
7.4.2.2 Finestra Properties	225
7.4.2.3 Modulo Preflight	225
7.4.2.4 Modulo Tests	226
7.4.2.5 Modulo Messaggi	227
7.4.2.6 Stato RTK	228
7.4.2.7 Oggetti della barra orizzontale	229
7.4.2.8 Display settings	234
7.4.2.9 3D View settings	236
7.4.2.10 UAV settings	237
7.4.2.11 Preflight settings	239
7.4.2.12 Server settings	239
7.4.3 Configurazione dell'hardware per gli show outdoor	240
7.4.3.1 Flashing del firmware per le coreografie	240
7.4.3.2 Configurazione generale per i parametri della scheda autopilota	241
7.4.3.3 Configurazione del controllo remoto tramite radio RC	242
7.4.3.4 Configurazione della rete Wifi	243
7.4.3.5 Configurazione della stazione base RTK	244
7.4.3.6 Identificare i droni in Skybrush Live	245
7.4.3.7 Test finale delle componenti del sistema in Skybrush	245
7.4.4 Procedura di inizializzazione dello Show	249
7.4.4.1 Connessione al server Skybrush	250
7.4.4.2 Caricamento del file spettacolo	250
7.4.4.3 Calibrazione show per il sito	251
7.4.4.4 Assegnare i droni alle traiettorie della coreografia	253
7.4.4.5 Impostare il geofence	255
7.4.4.6 Caricamento della missione sui droni	256
7.4.4.7 Approvazione dei controlli prevolo	256
7.4.4.8 Verifiche manuali di prevolo	257
7.4.4.9 Impostare l'orario di inizio	257
7.4.4.10 Autorizzazione all'inizio dello spettacolo	258
7.4.4.11 Partenza dello spettacolo	259
7.4.4.12 Glossario Skybrush Live	260
7.5 Aerial Design con Skybrush studio	263
7.5.1 Panoramica	263

7.5.2 Caratteristiche principali	265
7.5.3 Concetti chiave	265
7.6 Guida rapida alla progettazione di spettacoli di droni con Skybrush Studio	269
7.6.1 Inizializzare il framework dello spettacolo in Blender	269
7.6.2 Creazione automatica della procedura di decollo	272
7.6.3 Creazione delle formazioni	272
7.6.4 Creazione di uno storyboard dalle formazioni	274
7.6.5 Crea transizioni automatiche	276
7.6.6 Aggiungi il ritorno a casa e l'atterraggio alla fine del tuo spettacolo	276
7.6.7 Controllo e verifica dell'animazione	276
7.6.8 Design luminoso-cromatico	278
7.6.9 Esporta il tuo spettacolo in .skyc	280
7.7 Interfaccia utente	280
7.7.1 Scheda Formations	281
7.7.2 Pannello Swarm	282
7.7.3 Pannello formazioni	286
7.7.4 Pannello storyboard	290
7.7.5 Pannello LED	293
7.7.5.1 Pannello di controllo LED	293
7.7.5.2 Pannello Effetti di luce	296
7.7.6 Scheda Safety ed Export	301
7.7.6.1 Pannello di controllo di sicurezza	302
7.7.6.2 Pannello di esportazione	306
7.7 Glossario Skybrush Studio	307
Conclusioni e Futuri sviluppi	310
Ridefinire la formazione di decollo dinamicamente	311
Bibliografia	313

Abstract

Nell'ultimo decennio è emerso un nuovo utilizzo dei droni tramite la realizzazione di spettacoli visivi composti da sciame di droni luminosi. Questi sistemi di droni performativi differiscono da quelli utilizzati in altre applicazioni come le riprese-fotografie o le ispezioni aeree, perché richiedono il volo simultaneo di numerosi robots in formazioni strutturate. I movimenti altamente sincronizzati e coordinati necessitano di un sistema di controllo autonomo avanzato completamente differente rispetto al tradizionale controllo manuale.

I movimenti e le dinamiche luminose vengono progettati digitalmente con programmi di animazione 3D per dare luogo ad una comunicazione visiva che ha molte analogie con i contenuti creati per i nostri display personali. Questa applicazione accelera l'occupazione dello spazio aereo pubblico e richiede sistemi robotici a sciame altamente sicuri ed affidabili.

Si è iniziato il lavoro di sistematizzazione di questa nuova disciplina analizzando le esperienze più significative realizzate. Si propone il termine di Aerial Media Design come settore di riferimento, che contiene le iniziative che indagano l'uso di sciame di droni per finalità visive, che integrano nello spazio aereo pubblico nuovi fenomeni di identità culturale creando così nuovi rapporti tra lo spazio dell'aria, l'osservatore ed il luogo fisico. Quest'ultimo racchiude una importante chiave di lettura di questa nuova disciplina; esso non è solo il contenitore, cornice, palcoscenico e sistema di riferimento, ma le caratteristiche dell'ambiente, dell'architettura e del contesto determinano, nella loro assenza, lo spazio utile per l'interazione robotica collaborativa che da forma a una rappresentazione volumetrica.

Il design visivo nello spazio aereo ha molte analogie con la Motion Graphics, utilizzando in particolare, come strumento progettuale, l'animazione tridimensionale. Questa nuova modalità espressiva sollecita la ricerca di un proprio linguaggio visivo, di nuovi strumenti e metodi, per poterla applicare a progettazioni culturali, educative ed artistiche; l'inesistenza di piattaforme accessibili ed aperte avrebbe escluso qualsiasi sperimentazione.

La sfida di questa prima ricerca è stata innovare lo stato dell'arte nell'ambito delle piattaforme tecnologiche esistenti sviluppando un drone luminoso di nuova generazione chiamato LuminousBee: basato su progetti software e protocolli aperti, dotato delle migliori tecnologie e con caratteristiche superiori di miniaturizzazione, leggerezza, integrazione e autonomia. Il sistema è stato completato con lo sviluppo di un plugin per un software di animazione tridimensionale, affinché sia possibile gestire la progettazione dei contenuti visivi e l'esportazione delle traiettorie e dei dati luminosi. La prima architettura sviluppata ha permesso di sperimentare la trasmissione realtime dei comandi durante l'applicazione alle LuminouBee trovando i punti deboli dell'attuale tecnologia disponibile. In una seconda fase l'intero sistema è stato integrato con un software di controllo a terra di terze parti con una modalità offline che ha risolto i problemi dell'implementazione precedente.

Questo software dedicato per l'esecuzione finale è basato anch'esso sullo stesso progetto Open Source dei droni Luminousbee ed utilizza il medesimo protocollo di comunicazione.

Con la realizzazione di questa piattaforma si rende disponibile una tecnologia specifica per comunicazione aerea con sciame di droni adatta ad accogliere future modifiche e implementazioni per prevedere l'integrazione di ICT esterne, quali l'implementazione di nuovi messaggi e comandi Mavlink per interagire con sistemi complementari e supportare nuove modalità operative e strumenti tecnologici richiesti da scenari applicativi da sviluppare.

Capitolo 1

1.1 L'obiettivo di ricerca

Nel 2018 dopo una fase iniziale di analisi approfondita di tutti gli attori del settore, delle caratteristiche dei sistemi esistenti hardware e software, delle loro capacità, modalità di funzionamento e limiti, si comprese chiaramente le ragioni della non esistenza di dispositivi di droni luminosi sul mercato, la mancanza di standard condivisi e la presenza di pochissime società attive. Ognuna aveva dovuto affrontare lo sviluppo di una piattaforma completa di robotica a sciame, con una nuova tipologia di droni luminosi costruiti per essere prodotti in quantità, di un software per la creazione dei contenuti visivi e di una Ground Control Station specializzata per realizzare i primi lavori con sciame eterogenei per gli eventi più importanti al mondo. Quadricotteri già esistenti per altri scopi venivano adattati con apparati luminosi; tra i primi in questo campo il Future Labs, in collaborazione con Intel, usava come base il quadricottero Hummingbird, prodotto dall'azienda tedesca Ascending Technologies. Al drone venne aggiunto, nella parte inferiore, il modulo luminoso coperto con una scocca protettiva e diffusiva, mentre nella parte superiore tutti i dispositivi di elaborazione e di comunicazione richiesti dal sistema venivano protetti da una scocca.



Fig.1.1 - *Hummingbird modificato con modulo luminoso inferiore ed elettronica nella parte superiore*

Altri droni luminosi che erano droni assemblati reperendo i componenti sul mercato, raggiungevano dei pesi importanti compresi tra il chilo e i due, e la loro autonomia era inferiore ai 10 minuti di volo; ad

esempio i droni assemblati dal gruppo ungherese CollMot che pesano 1,5 Kg, mentre un altro esempio è riportato nella figura 1.2 e mostra il drone luminoso assemblato della compagnia TaiwanDrone100 dal peso di 1.2 Kg (<https://taiwandrone100.com/>).



Fig. 1.2 - Drone luminoso assemblato da TaiwanDrone100

La realizzazione del drone dotato di un telaio in fibra di carbonio o altri materiali compositi presuppone che i vari componenti venissero assemblati intorno al telaio stesso; l'aggiunta del comparto luci agganciato nella parte inferiore e, in molti casi, di una scocca protettiva superiore per le elettroniche e di una inferiore per le luci comportano come risultato finale una forma non ottimizzata aerodinamicamente, che compromette visibilmente le performance di navigazione in condizioni di presenza di vento. Come documentato nel resoconto del lavoro eseguito a Dubai dal team Spaxels del FutureLabs (<https://ars.electronica.art/aeblog/en/2014/12/01/spaxels-dubai/>), è stato necessario togliere la copertura superiore, come mostra la figura 1.3, per non compromettere eccessivamente le performance del drone.



Fig 1.3 - Drone Hummingbird Spaxels-Intel senza la copertura superiore

Soltanto una big company come Intel, dopo anni di affiancamento con il Future Labs e con l'acquisizione nel 2016 dell'azienda tedesca Ascending Technologies, fu in grado di sviluppare e realizzare una piattaforma originale che presentò a novembre del 2016, con eliche protette e con un peso finale di 330g.



Fig. 1.4 - Prima versione Intel Shooting Star, Novembre 2016

Tutti i sistemi attuali di sciame di droni luminosi, compresa anche la nascente DroneDanceController ora DroneShowSoftware, hanno in comune un'architettura che per convenienza denominiamo "offline" per differenziarla da una tipologia "realtime". Nella tipologia offline i comandi di posizione e di controllo luci non controllo in tempo reale è l'uso di un paradigma di precaricamento sul drone, su una scheda di memoria SD, della missione prima dello spettacolo mentre la sincronizzazione tra tutti gli agenti avviene tramite il sistema GPS che è presente su ogni drone. Questo sistema inoltre prevede la presenza a bordo di una seconda unità di elaborazione oltre alla scheda autopilota, generalmente un companion computer, che aggiunge ulteriore peso e un'addizionale elemento che può introdurre malfunzionamenti che possono compromettere il funzionamento del robot volante. La ricerca su LuminousBee eseguita ha inizialmente realizzato una piattaforma "realtime", sperimentato il suo uso concreto in ambiente indoor e outdoor con una GCS sviluppata appositamente.

1.2 Introduzione

Nell'ultimo decennio si è assistito a uno sviluppo consistente degli UAV che si sono consolidati come uno strumento efficace in numerosi settori industriali e commerciali sia nei termini di una maggior efficienza che nella proposta di nuove applicazioni. Per esempio, ogni studio o progettazione che ha bisogno di acquisire dati relativi al suolo, dalla sua orografia fino a informazioni sulla vegetazione, sui manufatti presenti, sui confini, così' come qualsiasi altra misura spaziale rilevabile sulla superficie terrestre è stato rivoluzionato con l'adozione di un drone multirobot, o ad ala fissa o ibrido, con l'integrazione di una telecamera a bordo. L'accessibilità e la semplicità della raccolta di immagini tramite un drone, e tramite queste di tutte le informazioni del territorio ha creato nuove possibilità per un **monitoraggio ambientale** che può usufruire di dati mirati, creati opportunamente negli istanti temporali desiderati, così' come l'ispezione di infrastrutture, ponti e linee dell'alta tensione.



Fig. 1.2.1 - *Ispezione con uav di linee dell'alta tensione*

La ricostruzione fotogrammetrica aerea permette di misurare accuratamente e ricostruire digitalmente, oltre al territorio sorvolato, ogni genere di struttura presente, fornendo una mappa dei dati visibili applicata ad un modello tridimensionale ricostruito fedelmente, e consentendo lo studio sia di vaste porzioni dell'ambiente che di aree di difficile accesso, così come, di ogni volumetria artificiale visibile dall'alto.

Nella figura 1.2.2 il modello tridimensionale è ricostruito in basso, i marker blu in alto rappresentano i punti in cui sono state scattate le fotografie; gli scatti realizzati hanno fornito la base di dati e le textures che hanno prodotto la ricostruzione dello spazio sorvolato.

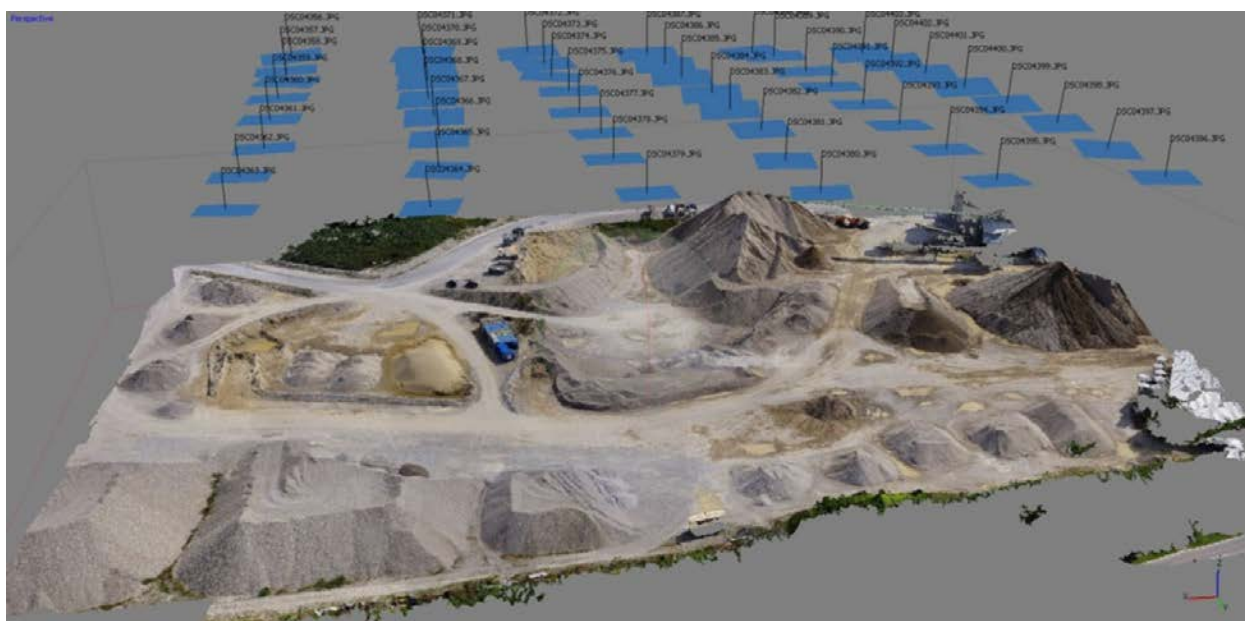


Fig.1.2.2 - Ricostruzione fotogrammetrica tramite foto a bassa quota

Si realizzano non solo mappe del territorio, perché con l'impiego di sensori termici e multispettrali si ottengono analisi specializzate per la valutazione funzionale di impianti fotovoltaici e la valutazione energetica delle strutture;

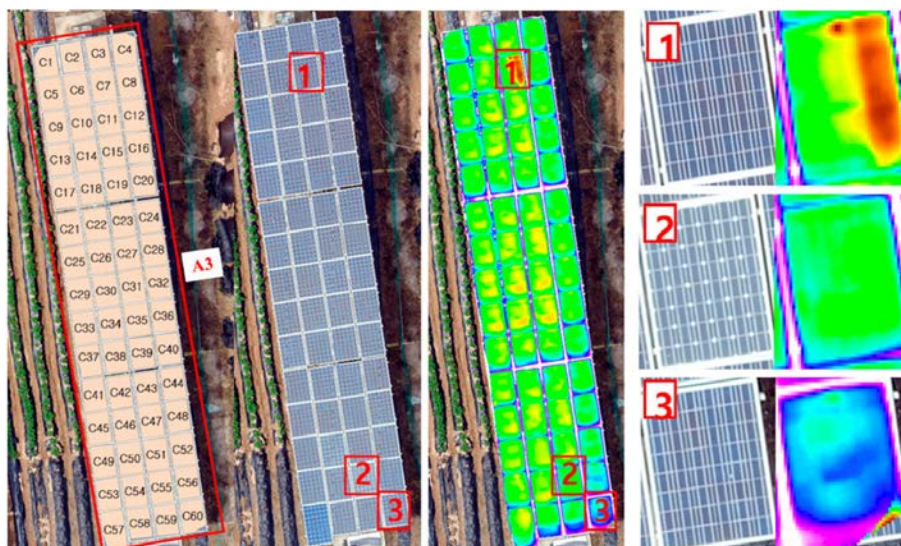


Fig.1.2.3 - Dati termici aerei per l'analisi dell'efficienza dei pannelli fotovoltaici

Allo stesso modo, anche nel settore dell'agricoltura si parla di agricoltura di precisione che propone di innovare l'agricoltura intensiva per mezzo dell'analisi di mappe specializzate nell'individuare i parametri biologici delle colture, il ristagno o la carenza idrica e ogni indice utile che consenta una gestione ottimizzata delle culture e della salvaguardia del terreno.

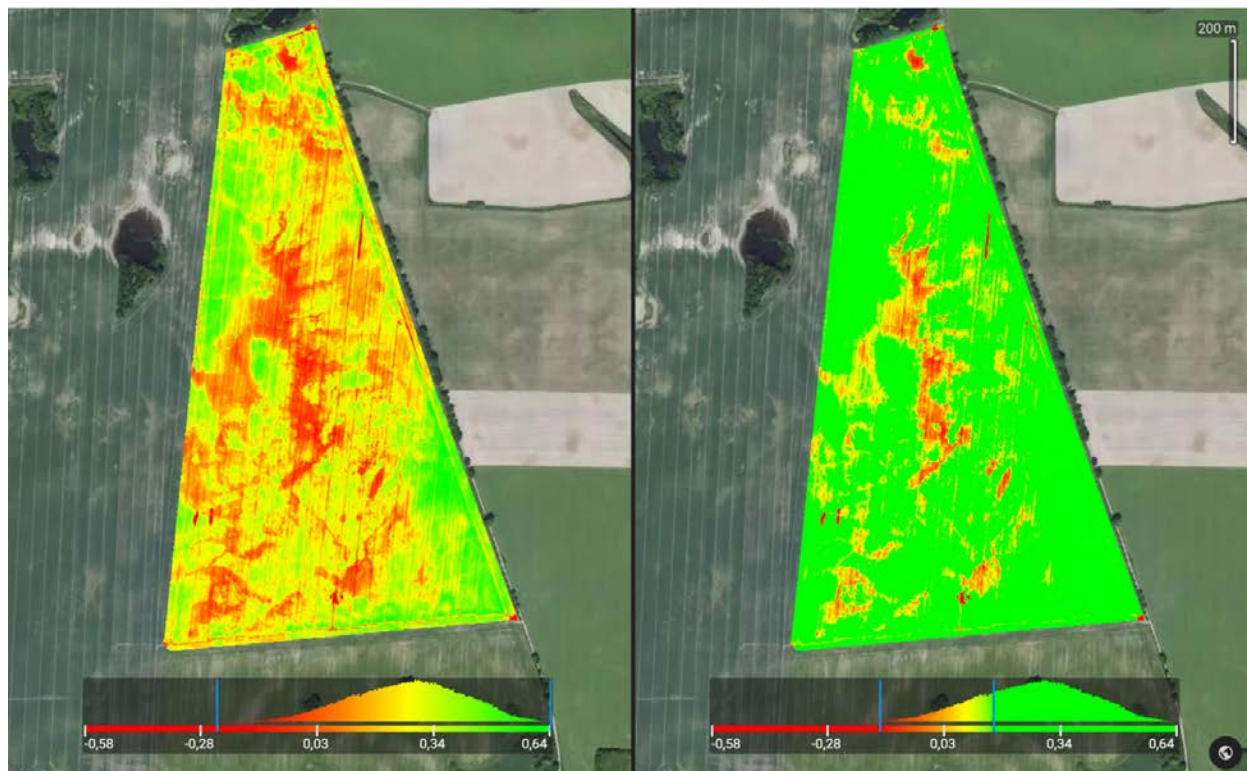


Fig. 1.2.4 - *Postproduzione dei dati multispettrali per l'agricoltura di precisione*

Oltre a questi utilizzi, in cui i flussi di dati ottici necessitano di una successiva elaborazione, [altre applicazioni](#) impiegano i dati rilevati dai droni in tempo reale; per esempio nella [sorveglianza](#) di impianti, nella [ricerca e salvataggio](#) dei dispersi o in generale in risposta ad emergenze per scopi di [protezione civile](#) in aree pericolose o inaccessibili.

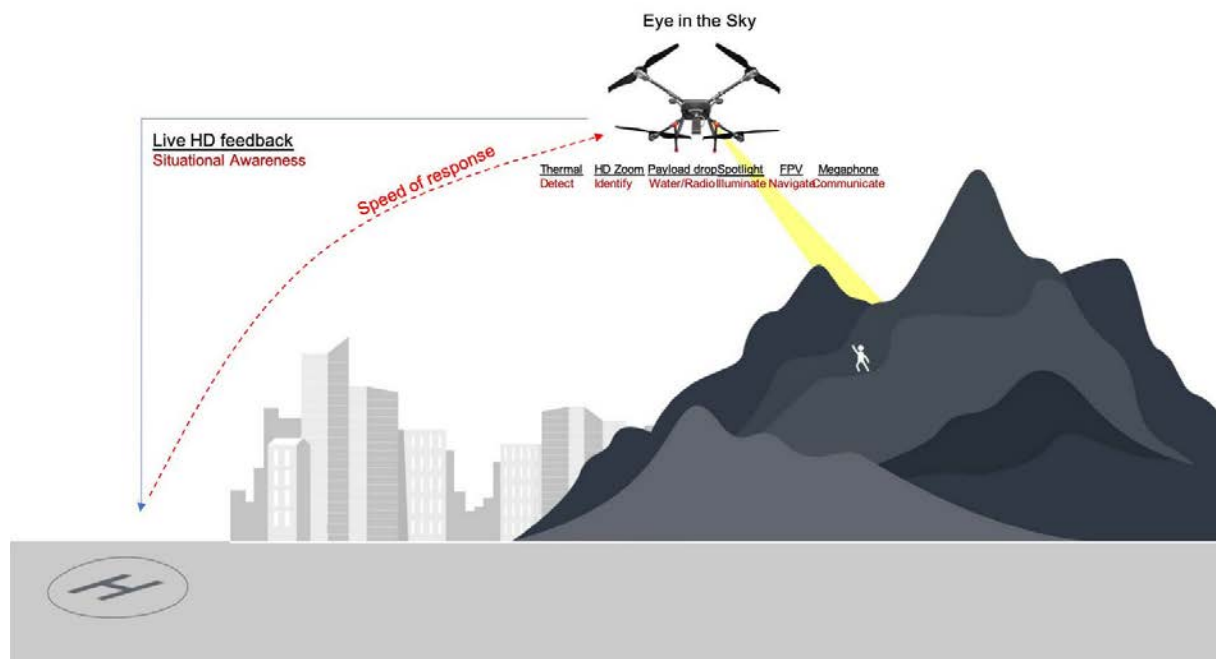


Fig. 1.2.5 - Drone per ricerca dispersi

In questa lista incompleta e non esaustiva non possiamo dimenticare gli usi per la produzione di contenuti fotografici e video che stanno trasformando il [linguaggio cinematografico](#) e delle videoriprese in generale, come anche per la promozione real estate. Lo sviluppo e l'evoluzione dei droni commerciali ha reso i costi per una ripresa aerea accessibili a qualsiasi produzione, ampliando le possibilità del linguaggio filmico grazie all'estrema flessibilità dello strumento che permette di realizzare inquadrature ravvicinate precedentemente non possibili.

A partire dal 2012, come sarà descritto cronologicamente nel secondo capitolo, alla limitata lista di applicazioni presentata, che usano il drone come uno strumento professionale e dunque in relazione allo stretto gruppo di professionisti che hanno in carico l'operazione, si aggiunge una nuova applicazione, possibile unicamente in una fascia oraria notturna, che si prefigge invece di entrare in relazione con il pubblico manifestandosi per mezzo di luci a bordo. Un uso notevolmente differente dai precedenti, con finalità nuove di comunicazione sociale e pubblica, e che ha bisogno di un flusso di lavoro e di strumenti software specifici per realizzare i vari compiti necessari. Inoltre lo strumento **drone luminoso** richiede caratteristiche specifiche a bordo, necessitando di una [dotazione di sensori](#) per l'acquisizione dei dati richiesti dalla missione, e di [attuatori luminosi](#) per farlo percepire da un pubblico. Poiché non possono essere pilotati manualmente è fondamentale la creazione di un ecosistema tecnologico che comprenda tutta l'infrastruttura ICT di comunicazione e la macchina centrale per gestire lo sciame di robots volanti coordinati. Necessitano infatti o di una modalità che realizzi su ogni drone la capacità autonoma per l'esecuzione dei comandi o di un robusto sistema di comunicazione, in grado di assicurare una connessione, robusta e ridondante, per l'esecuzione di comandi in tempo reale. In figura 1.2.6 a sinistra è rappresentata una applicazione di ispezione tramite ripresa ottica, che comporta il pilotaggio di un singolo drone tramite un radiocomando da parte di un pilota, mentre i dati di pilotaggio sono fondamentalmente mandati da terra al drone tramite il canale radio; il

sensore a bordo, una volta configurato, oltre a salvare i dati sul dispositivo, invia un flusso in streaming al pilota a terra indispensabile per condurre l'operazione di raccolta dati.

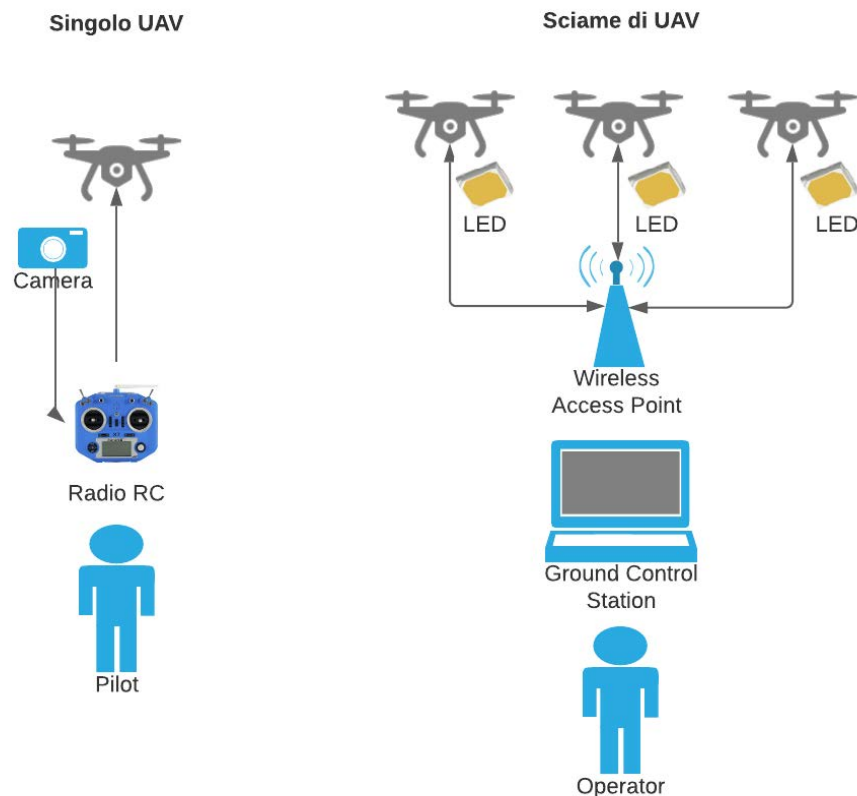


Fig. 1.2.6 - Differenza applicazione singolo UAV e sciame luminoso di UAV

Nella parte a destra l'uso di un'applicazione di sciame di UAV luminosi che implica un sistema supervisionato tramite una Ground Control Station, in cui i singoli droni hanno un comportamento autonomo e durante l'operazione inviano i dati di stato essenziali a terra grazie ai quali l'operatore può intervenire in caso di necessità tramite l'interfaccia sul computer. La loro funzione è svolta dagli attuatori luminosi che vengono comandati, emettendo fisicamente luce che strutturata in modo coordinato con gli altri componenti del sistema produce messaggi visivi di grandi dimensioni. Queste applicazioni sono agli esordi e ancora limitate per il complesso sistema tecnologico richiesto; si pensi che in Italia nessuna competenza ed esperienza aziendale è ancora maturata in questo settore. Le principali realizzazioni sul territorio italiano di coreografie luminose con droni in esterno, sono state promosse dalla città di Torino, che nel 2018 ha richiesto con un bando pubblico la realizzazione di una coreografia aerea che è stata eseguita dalla multinazionale americana Intel. Il numero limitato di soggetti attivi in questo campo ha portato allo sviluppo di piattaforme tecnologiche chiuse, tra loro diverse e non interoperabili; ciò non stimola la nascita di interfacce e protocolli condivisi e non sta favorendo la ricerca accademica in questo campo, se non per aspetti particolari e specifici come gli algoritmi per la prevenzione di collisioni nelle traiettorie, o di mission partitioning, che rimangono parti teoriche che difficilmente, per i motivi menzionati, hanno la possibilità di confrontarsi con sperimentazioni reali e con la complessità di un intero sistema di robotica a sciame che si

confronta col suo uso pratico di rappresentazione pubblica. Con questa ricerca ci si è posto l'**obiettivo** di indagare questo nuovo fenomeno, costituito da pochi anni di attività da un esiguo numero di realtà internazionali, per arrivare a **costituire la disciplina Aerial Media Art**, che fornisca le basi tecniche e metodologiche per l'applicazione di un cyber physical system per una robotica a sciame con scopi di visualizzazione in contesti urbani non strutturati.

Sono stati analizzati i sistemi esistenti per individuare le caratteristiche, i limiti e le prospettive di utilizzo in contesti reali. La mancanza di tecnologie a disposizione della ricerca ha determinato una completa **progettazione** della tecnologia e un lavoro intenso di **prototipazione** della stessa. Il carattere multidisciplinare e l'alta complessità della piattaforma tecnologica hanno richiesto uno studio vasto ed approfondito sullo stato dell'arte dell'hardware degli UAV, dei software UAV, dei sistemi di comunicazione e dei sistemi di posizionamento, degli strumenti di progettazione visiva, dei metodi di ricostruzione del sito fisico e dei sistemi di controllo a terra. L'infrastruttura di comunicazione, tra i droni, il sistema che li supervisiona a terra, ed il sistema di posizionamento, sono le ICT (Information and Communication Technologies), preesistenti al settore dei droni, fondamentali per eseguire una singola missione autonoma. Queste ICT sono state integrate nella piattaforma tecnologica sviluppata, che va da LuminousBee, drone luminoso innovativo, basato su un software per il suo controllo dotato di strumenti potenti e flessibili per ottenere una calibrazione ottimale, agli strumenti ed ai metodi per la creazione delle coreografie e la trasposizione di dati generici in un formato importabile ed eseguibile dalla di Ground Control Station che ha il compito di gestire e consentire di supervisionare il sistema in operatività. Le sfide legate all'utilizzo dei sistemi cyber-fisici a sciame per scopi di comunicazione visiva sono solo all'inizio, e questo studio si è occupato di sviluppare un innovativo sistema basato su piattaforme open source e verificarne le possibilità di evoluzione negli scenari urbani per scopi di visualizzazione di dati messi a disposizione dall'infrastruttura ICT della città intelligente e dell'infosfera.

Nel secondo capitolo tutta la ricerca sui lavori realizzati è riassunta in una storia dell'Aerial Media con i suoi protagonisti, mentre nel terzo viene presa in esame la progettazione visuale cercando dei riferimenti percettivi e confrontandosi con l'adattamento degli strumenti di design esistenti. Nella quarta sezione si affronta lo studio dell'immagine aerea in movimento, e nel quinto capitolo sono presi in esame gli elementi hardware dell'architettura del sistema e le reciproche interazioni degli stessi. Nel sesto capitolo viene descritto lo sviluppo della piattaforma LuminousBee; i limiti dei sistemi attuali definiscono lo sviluppo di un sistema hardware e software il più possibile connesso a progetti e protocolli Open Source, in modo che possa essere la base ideale per l'integrazione della visualizzazione aerea nelle città contemporanee.

Per robotica di sciame si fa riferimento a una squadra di robots, che compiono azioni collaborative similmente a come avviene in natura per esempio negli insetti sociali (termiti, api, formiche), e a tutte le tecnologie ICT, che costituiscono l'infrastruttura che rende possibile la gestione simultanea, il controllo e la comunicazione, di questa moltitudine di agenti robotici volanti.

L'obiettivo è pensare alle caratteristiche necessarie per evolvere il sistema di droni luminosi in funzione della città, ovvero agli spazi che sono condivisi da un punto di vista sociale, fisico, e

informazionale, e che evolvono sotto la spinta delle ICT sempre più pervasive, dove ogni periferica è connessa attraverso reti di dispositivi senza fili a sensori e attuatori che lavorano in sinergia per costituire l'Internet of Things nella Smart City. Le visualizzazioni con droni luminosi rappresentano uno dei primi esempi di robotica, e forse il più consistente, di sciame di droni con navigazione autonoma; in Cina si è già raggiunto il numero record di 3100 droni luminosi impiegati contemporaneamente per una visualizzazione aerea. Si prevede l'adozione sempre più diffusa di schermi aerei urbani e un aumento del numero medio di agenti impiegati in questi sistemi; la prossima sfida sarà l'automatizzazione dell'uso sul campo di questi sistemi. La tecnologia consentirà il passaggio dalle attuali esecuzioni singole, che impiegano alcune decine di persone dedicate alla preparazione sul campo di flotte di migliaia di droni, a sistemi automatizzati che si occuperanno di operazioni di servizio come sostituire le batterie e consentiranno comunicazioni più performanti, con spazi aerei dedicati affinché diventino una nuova piattaforma ICT integrata nella città.

Le applicazioni eseguite con la tecnologia degli sciame di droni luminosi fino ad oggi sono state quasi esclusivamente a carattere di intrattenimento, dagli utilizzi nei parchi divertimenti come Disneyland, alle celebrazioni per accompagnare una festività, alle coreografie per importanti eventi sportivi o musicali. Su tutti l'ambito che sta maggiormente utilizzando i droni luminosi è quello legato al marketing pubblicitario per la valorizzazione di un brand e per la promozione di un nuovo prodotto commerciale. Gli unici esempi importanti che si sono discostati dal predominante uso pubblicitario e per i grandi eventi, sono state limitate sperimentazioni come quella di Daito Manabe in relazione alla danza di performers, i primi lavori di ricerca tra arte e tecnologia del gruppo Spaxel e gli spettacoli di carattere sociale che sono stati realizzati per sensibilizzare la popolazione e ringraziare il comparto medico durante la pandemia da Covid-19. Un altro caso che ha visto la sperimentazione in ambito educativo e culturale della piattaforma tecnologica di sciame di droni luminosi, è stato condotto in Cina dal gruppo EFTY in collaborazione con l'università di Tianjin: conseguendo il record per lo spettacolo di maggior durata (raggiungendo un tempo di volo di 26 minuti e 19 secondi) e narrando la vita e la produzione artistica di Vincent Van Gogh.



Fig. 1.2.7 - EFTY, spettacolo dedicato a Vincent Van Gogh

Come si è osservato, rispetto all'uso di droni singoli come strumenti professionali, l'uso di droni luminosi per eventi a scopo pubblicitario e di celebrazione è una delle prime applicazioni che sperimenta l'uso di sciame di robots volanti. L'uso di un drone per ispezionare o acquisire dati avviene con una interazione uomo macchina in cui l'uomo è il pilota che ha il controllo manuale del mezzo; per questo motivo ogni operatore aereo certificato per queste operazioni deve avere un pilota qualificato che sovrintenda in VLOS (Visual Line Of Sign) o in BVLOS (Beyond Visual Line of Sign), in questi ultimi casi grazie anche all'aiuto di osservatori o di altri piloti distribuiti, all'esecuzione della missione. Anche il trasporto di merci tramite sistemi di UAV richiede il volo autonomo come uno sciame di UAV, ma il servizio è ancora in fase di sviluppo e l'adozione pratica su aree sperimentali e singole rotte avverrà più lentamente a causa del peso molto più elevato di questi mezzi, che devono trasportare oggetti (il limite attuale del sistema sperimentale Amazon Prime Air è di 2,26 kg) e la conseguente necessità' di essere ridondanti per garantire la sicurezza di un sistema avionico di tale peso (il servizio Amazon Prime Air intende usare mezzi dal peso fino a 25 kg). Se per la navigazione autonoma per la consegna di oggetti si stanno sviluppando sistemi per la gestione del traffico aereo essendo richiesti voli su percorsi anche superiori ai 10 km, nelle applicazioni di droni luminosi lo spazio aereo interessato è notevolmente più limitato. La maggiore densità di robots presenti nell'area di volo richiede una sincronizzazione estremamente accurata di tutti gli agenti unita ad un'altissima precisione del loro sistema di posizionamento. La caratteristica di un sistema di sciame robotico è di non potersi avvalere di un controllo manuale diretto, perché non solo non sarebbe facilmente sostenibile, all'aumentare del numero di droni, avere il corrispettivo di piloti dedicati al loro controllo, ma questa modalità non sarebbe in grado di prevenire le collisioni e, quindi, di

garantire la sicurezza delle operazioni. In una configurazione di sciame di droni l'uomo, da pilota del singolo mezzo UAV, non ha più il controllo nelle operazioni di volo ma tutt'al più sulle operazioni di volo. I piloti fanno volare i droni direttamente con l'uso della leva del motore, ma gli operatori di sciame di droni si limitano a usare mouse e tastiera per supervisionare il sistema tramite un'interfaccia, ed ad autorizzare le azioni che sono eseguite automaticamente dagli agenti.

1.3 Analisi delle tecnologie disponibili

La prima parte della ricerca si è concentrata sull'analisi dei sistemi tecnologici esistenti e dello stato dell'arte di ogni componente coinvolto, per conoscere le caratteristiche necessarie e comparare le diverse metodologie utilizzate. L'obiettivo era di individuare da una parte una soluzione pronta ed adatta ad una sperimentazione pratica in ambiente urbano outdoor, dall'altra parte doveva essere flessibile per consentire lo sviluppo di approcci alternativi alla generazione dei contenuti, ed in particolare abilitare il controllo in tempo reale che avrebbe potuto consentire lo sviluppo di applicazioni in cui dati acquisiti da reti di sensori smart sarebbero potuti essere visualizzati pubblicamente trasmettendo i valori acquisiti alla GCS (Ground Control Station, stazione di controllo a terra) e trasmessi ai droni in tempo reale. Nel 2017 non erano disponibili sistemi di sciame di droni luminosi, non era dunque possibile valutare né la componente software né quella hardware e ovviamente prevedere delle sperimentazioni pratiche. Unicamente una grande azienda produttrice di tecnologia come Intel e poche specifiche altre realtà dedicate esclusivamente a questi nuovi servizi come Skymagic e Verity (limitatamente all'uso in ambiente indoor) avevano sviluppato dei sistemi tecnologici per eseguire i propri spettacoli luminosi, ma erano e sono tuttora soluzioni totalmente proprietarie, non documentate e chiuse. Non solo quindi non erano accessibili (acquistabili e nemmeno disponibili per scopi di ricerca) ma anche in linea teorica non avrebbero permesso alcuna modifica ed interventi per sperimentare (sono oggetti tecnologici chiusi e non implementabili) applicazioni di visualizzazione non solo rivolte all'esecuzione di coreografie predeterminate, ma adattabili per la rappresentazione di flussi di dati di varia natura. L'unica piattaforma di drone per robotica di sciame disponibile sul mercato e basata su un progetto Open Source era la piattaforma prodotta dalla compagnia svedese Bitcraze denominato Crazyflie (<https://www.bitcraze.io/products/crazyflie-2-1/>). Ma questo prodotto presenta due difetti importanti che ne hanno precluso l'adozione. Può operare esclusivamente in ambiente indoor e inoltre ha un'autonomia estremamente ridotta che si attesta sui 2 minuti di volo. Anche attualmente, nel 2021, il panorama delle tecnologie disponibili per eseguire visualizzazioni aeree con droni luminosi non è cambiato; soltanto un progetto dedicato al software di controllo a terra (GCS - Ground Control Station) specifico per realizzare show luminosi è stato sviluppato negli ultimi anni e si avvale per la parte hardware di produttori terzi che realizzano specifici droni compatibili basati sul autopilota Pixhawk (<https://pixhawk.org/>). Questo programma si chiama Drone Show Software (<https://droneshowsoftware.com/>) ed è sviluppato dalla società estone SPH Engineering. Questo software proprietario permette di importare e gestire coreografie luminose; anche la componente hardware compatibile prodotta dalle aziende esterne rimane completamente proprietaria e non modificabile, e ha dei costi importanti che si aggirano sui

1000 euro per singolo drone esclusa la licenza della GCS. Un'altra azienda, la francese Drotek Events, sta completando ed introducendo sul mercato un sistema hardware e software integrato, ma anche questo è un progetto dedicato ad operatori finali e quindi chiuso, nel senso non espandibile ed implementabile e i costi rimangono allineati a quelli precedentemente menzionati. Pertanto i costi per la dotazione tecnologica, necessaria per intraprendere la sperimentazione pratica di un sistema robotico di visualizzazione nello spazio aereo per uno sciame di almeno 100 droni, ha bisogno di investimenti incompatibili con una ricerca accademica. Inoltre anche i migliori sistemi oggi disponibili non possiedono la flessibilità e alcune caratteristiche che si ritengono fondamentali e altre che sono state richieste dagli enti aeronautici preposti alla loro autorizzazione; continuano a rimanere sistemi estremamente chiusi che sono indirizzati ad operatori finali. Una capacità desiderata che non era e non è presente tutt'oggi è la modalità di funzionamento real time, e questo è confermato dallo studio fatto grazie alle informazioni raccolte dai produttori, che hanno concepito tutti i sistemi con una logica di pre caricamento a bordo dell'UAV della missione. Pertanto tali sistemi potevano essere usati solo con coreografie precisamente pianificate offline e non avrebbero potuto consentire l'integrazione e la combinazione di dati forniti da varie fonti, non solo, rimanendo nel campo dell'intrattenimento, per generare contenuti visivi interagendo con la musica dal vivo, ma anche per avviare la possibilità di interfacciarsi con reti di sensori per attuare la visualizzazione dei dati raccolti.

Riassumendo; nel 2017-2018, anno di inizio della ricerca, non erano presenti sul mercato sistemi per operare con sciami di droni luminosi ma ancora oggi nel 2021 i sistemi disponibili rimangono completamente proprietari, hanno costi troppo elevati e, come si vedrà nel prossimo paragrafo, diverse caratteristiche tecniche rimangono limitate e deboli. Per questi motivi di ricerca ho intrapreso una collaborazione con la start-up LuminousBees finalizzata allo sviluppo dedicato di una piattaforma di SUAV (small unmanned aerial vehicle) di sciame luminoso basata su di un quadricottero estremamente leggero e che incorpora tutte le caratteristiche desiderate.

1.4 Confronto piattaforme uav luminose

L'oggetto drone per essere integrato in ambiente urbano deve raggiungere livelli di sicurezza elevati per conseguire l'autorizzazione necessaria emessa dalle autorità nazionali preposte; in Italia ENAC (Ente Nazionale per l'Aviazione Civile è l'autorità italiana di regolamentazione tecnica, certificazione e vigilanza nel settore dell'aviazione civile). Una delle caratteristiche principali con cui le agenzie di regolamentazione del volo valutano la pericolosità dei sistemi UAV è la sua massa al decollo che ha un' influenza determinante sull'analisi del rischio. Nella peggiore delle ipotesi, a causa di un malfunzionamento, il drone può precipitare e la sua massa in caduta libera determina l'entità del danno che può causare a terra. Il nuovo regolamento europeo dell'autorità della comunità europea in materia, EASA, ha definito infatti la categoria degli oggetti droni più inoffensiva per quelli con una massa totale al decollo inferiore ai 250 g (chiamata open category, sottocategoria A1) precedentemente per ENAC, la categoria di droni col minor rischio e maggiori possibilità di impiego concesse era per mezzi con peso inferiore ai 300g.

Nella tabella sottostante sono inseriti i droni venduti nel 2021 per show luminosi con i dati di peso e autonomia di volo in hovering, che si intende in volo stazionario senza movimenti, sulla qualità del sistema di posizionamento e sulla presenza del terminatore di volo che è un dispositivo sempre più richiesto dagli enti preposti poichè l'unico in grado di garantire il più elevato grado di sicurezza in caso di un serio malfunzionamento.

Marca-modello	Peso	Autonomia in hovering	Tecnologia GPS RTK	Terminatore di volo
Vim drones - Mazzy star drone	460 g	18 min	RTK singola banda	Non presente
Sparkl - Sparkl One	1.103 kg	25 min	RTK singola banda	Non presente
Uvify - IFO	686 g	25 min	RTK singola banda	Non presente
Drotek - IO Star	300 g	25 min	RTK doppia banda	Non presente
Flyfire - Kaiken	270 g	25 min	RTK singola banda	Non presente
High Great - Take	403 g	8 - 10 min	RTK singola banda	Non presente
LuminousBees - LB 5	220 g	45 min	RTK doppia banda	Presente

Tabella 1

In aggiunta alle due principali criticità esposte precedentemente (la prima economica relativa al costo degli oggetti, la seconda relativa ai sistemi chiusi che non consentono lo sviluppo di implementazioni per apportare le modifiche o estensioni per l'interoperabilità con altri sistemi) la tabella 1 mette in evidenza una sintesi delle più importanti caratteristiche tecniche dei droni luminosi per uso outdoor esistenti sul mercato, per confronto, nell'ultima riga è stata inserita la soluzione UAV che è stata sviluppata dal gruppo di questa ricerca assieme alla start-up LuminousBees. La seconda colonna è riferita al peso al decollo del drone luminoso, che è la prima caratteristica che determina la classe di potenziale pericolosità associata all'UAV, ma che è anche un importante elemento per valutare la portabilità e la facilità di utilizzo di un sistema di sciame che è composto necessariamente da centinaia di unità drone. Il peso del singolo drone è strettamente legato alle dimensioni che definiscono l'ingombro di spazio necessario da predisporre a terra, e anche, la distanza minima utilizzabile tra i droni in volo. Si può notare che nessuna soluzione sul mercato riesce a stare sotto la soglia dei 250 g all'infuori del progetto sviluppato durante questa ricerca, che ha fatto del contenimento del peso e delle dimensioni compatte uno degli obiettivi fondamentali, riuscendo a realizzare l'unità singola di quadricottero luminoso con un peso inferiore alla soglia dei 250 g; attestandosi con la sua massa al decollo pari a 220 g come il mezzo per queste applicazioni dal peso più contenuto. Una caratteristica strettamente correlata con il peso dell'UAV e importante sia per la sicurezza che per l'estensione delle possibilità applicative, è l'autonomia di volo presente nella terza colonna. A parte la soluzione sviluppata, nessun dispositivo supera l'autonomia di 25 minuti. Anche il drone più pesante superiore al chilo, con l'adozione di diametri di eliche superiori, dove l'efficienza del sistema propulsivo migliora, non supera l'autonomia di 25 minuti. In particolare è stata

l'adozione della tecnologia di batterie agli Ioni di Litio che ha consentito di migliorare l'autonomia contenendo contemporaneamente i pesi nei modelli migliori nella tabella, grazie alla maggior densità energetica rispetto alla tecnologia tradizionale ai Polimeri di Litio. Il drone progettato grazie al significativo contenimento di peso ha raggiunto anche in questo parametro la miglior performance con un tempo di volo di 45 min. Per completezza si riporta che il medesimo modello sviluppato di luminousbee outdoor è già predisposto per montare delle batterie più grosse (la versione standard usa Li-Ion 18650, la versione maggiorata Li-Ion 21700) ed ha ottenuto un tempo di volo di poco superiore all'ora. Una capacità di volo per tempi maggiori si traduce in una durata maggiore per l'applicazione di rappresentazione visiva, inoltre un margine di autonomia supplementare offre anche una maggiore robustezza poiché consente di portare a termine l'applicazione anche al verificarsi di condizioni che possono ridurre il tempo di volo come un vento contrario che aumenta i consumi, temperature ambientali particolarmente fredde o la degradazione delle performance del pacco batteria.

La terza colonna, relativa alla tecnologia di posizionamento GPS RTK (Real Time Kinematics), mostra come tutti gli strumenti sul mercato, tranne il drone IO STAR della Drotek, stiano utilizzando la prima generazione di moduli per la ricezione GPS RTK, ovvero il modulo M8P dell'azienda u-blox (<https://www.u-blox.com/en/product/neo-m8p-series>). Le performance di questo componente non garantiscono la robustezza sufficiente per operazioni in ambienti urbani caratterizzati dalla presenza di edifici e strutture che possono sia coprire parzialmente il campo di osservazione dell'antenna di ricezione e sia di generare fenomeni di riflessione dei segnali GNSS.

La tecnologia RTK permette di migliorare sensibilmente la precisione finale della geo-localizzazione dei ricevitori GPS, attraverso il confronto dei propri dati con quelli registrati nello stesso intervallo temporale da uno (o più) ricevitori GPS posizionati su punti di coordinate note.

La prima generazione di sistemi GPS RTK, anche dalle prove eseguite, ha dimostrato tempi iniziali di convergenza superiori al minuto e nei casi di perdita di segnale ha dei tempi di riacquisizione superiori ai 30 secondi e che possono raggiungere anche alcuni minuti. Questi tempi si riferiscono all'intervallo di tempo in cui il modulo GPS non si trova nella sua modalità RTK di qualità in cui è garantita una accuratezza di posizionamento centimetrico e in cui si passa ad una modalità GPS tradizionale in cui 3 - 5 metri di imprecisione sono una media abbastanza attendibile e non sono accettabili per l'applicazione. La nuova generazione di moduli GPS RTK multi banda, in particolare il modulo ublox ZED-F9P raggiunge performance di gran lunga superiori, con solo alcuni secondi necessari come tempi di acquisizione iniziale del segnale o di riacquisizione dello stato di massima qualità RTK dopo una perdita del segnale: Essi garantiscono una accuratezza superiore e una robustezza notevolmente migliorata grazie al supporto di molteplici costellazioni e bande GNSS (L1C/A, L2C, L1OF, L2OF, E1B/C, E5b, B1I, B2I) in confronto alla singola banda per costellazione del modulo precedente. Nonostante i costi più elevati di questa nuova generazione di moduli GPS e delle rispettive antenne amplificate, capaci di ricevere sulle diverse bande, i vantaggi apportati di affidabilità e robustezza hanno incluso questa tecnologia anche nel drone che è stato sviluppato. La parte hardware del modulo GPS determina in maniera fondamentale la qualità di azione del gruppo di droni sia per la precisione nella stima della propria posizione e la capacità di eseguire con

precisione la navigazione e il posizionamento comandato che per la sicurezza del sistema che ha nella perdita del segnale GPS il fattore principale di criticità del sistema.

L'ultima colonna è relativa alla presenza o meno del terminatore di volo, il congegno di mitigazione del rischio utilizzabile come estrema risorsa in caso di un inevitabile e consistente malfunzionamento dello sciame di droni, che è generalmente richiesto dalla maggioranza delle autorità del volo nazionali (per esempio da ENAC e in Inghilterra dalla CAA) e permette di comandare lo spegnimento istantaneo dei motori togliendo loro l'alimentazione. E' uno strumento da usare solo in caso di emergenza e quando ogni altro tentativo di recupero e mitigazione del rischio abbia fallito. Eccetto il drone sviluppato LB 5, nessuno dei droni disponibili ha integrato un terminatore di volo. Questo dispositivo è stato implementato nella versione "offline" (illustrata nel capitolo 6.2) ed integrato a bordo del drone a Maggio 2021, è composto da due parti, un modulo radio e un attuatore che spegne i motori causando la caduta immediata del drone. La sua corretta implementazione prevede che sia gestito su un canale radio separato ed indipendente, proprio per poter essere immune in caso di malfunzionamenti del sistema di comunicazione primario e garantire la caduta verticale dei droni prima che possano raggiungere zone non sicure con presenza di pubblico. Sono stati utilizzati dei trasmettitori e ricevitori radio RC che trasmettono i segnali con il protocollo S-BUS. Si sono utilizzati moduli della radio S-BUS della FRISKY che sono dichiarati dal produttore per poter raggiungere una distanza di oltre 1,3 Km che è superiore alle necessità dell'applicazione luminosa. La parte dell'attuatore è stata considerata in modo tale da non consentirne l'attivazione accidentale. Sono necessari una sequenza di due azioni, una di attivazione e la seconda di validazione per comandare lo spegnimento dei motori. Per una maggiore sicurezza il comando di attivazione invece che un semplice selettore è assegnato a un potenziometro rotativo. Il terminatore di volo è l'unico dispositivo che garantisce il controllo del drone anche nella casistica più rara di malfunzionamento; senza di questo un drone fuori controllo non sarebbe disattivabile comportando potenzialmente gravi rischi per l'incolumità delle persone presenti; per questa ragione le autorità del volo, che devono autorizzare queste operazioni e in futuro certificare la tipologia di applicazione in scenari circoscritti, sono sempre più inclini e favorevoli a richiederne e a sollecitarne la presenza.

In conclusione si può osservare come il drone sviluppato abbia raggiunto la miglior leggerezza e autonomia nel settore, l'integrazione dello stato dell'arte dei sistemi di posizionamento e sia l'unico dotato di un dispositivo importante per la sicurezza quale è il terminatore di volo. Si anticipa che il drone è basato sul progetto Open Source ArduPilot (<https://en.wikipedia.org/wiki/ArduPilot>), usa il protocollo di comunicazione GSC - drone MavLink (<https://en.wikipedia.org/wiki/MAVLink>) che è uno standard aperto instradato sul canale principale di comunicazione che usa una interfaccia seriale-WiFi con il firmware Open Source MavESP (<https://ardupilot.org/plane/docs/common-esp8266-telemetry.html>) .

1.5 Prospettive Aerial Media

Durante questa ricerca è stato utilizzato il termine *Aerial Media* con cui si indicano le iniziative che indagano l'uso di sciame di droni per finalità visive, integrando nello spazio aereo pubblico nuovi fenomeni di identità culturale e comunicazione di massa. L' *Aerial Media* ha inedite caratteristiche e crea nuovi rapporti tra lo spazio aerea, l'osservatore e il luogo fisico in cui è inserito. Quest'ultimo non è solo il contenitore, la cornice, il palcoscenico e il sistema di riferimento, ma le caratteristiche dell'ambiente, dell'architettura e del contesto determinano nella loro assenza lo spazio a disposizione dell'interazione robotica collaborativa. Questa nuova modalità espressiva ci stimola a svilupparne il linguaggio, i suoi strumenti e nuovi metodi per poterla applicare a progettazioni socio-culturali, educative, artistiche. L' area di applicazione di maggior interesse per il futuro riguarda l'integrazione nella città intelligente in cui questo sistema diventerà una componente ulteriore che si aggiunge alle ICT distribuite sullo spazio urbano, sempre più presenti ed interconnesse tra di loro. Inizialmente diventerà un canale ulteriore per visualizzare tutta una serie di informazioni generate e acquisite dalle nostre ICT e che troveranno grazie a questi sistemi delle nuove modalità e spazi di fruizione. L'infosfera in cui siamo immersi avrà a disposizione una nuova tipologia di infrastruttura per la visualizzazione composta da una rete di agenti informativi luminosi capace di ricevere le informazioni da visualizzare.

L'obiettivo del presente studio è di colmare la mancanza di una revisione sulle applicazioni di sciame di droni luminosi e i sistemi dedicati alla loro realizzazione che sono iniziate nell'ultimo decennio, questa ricerca è rivolta a sensibilizzare la comunità perché sia partecipe alla regolamentazione delle applicazioni che utilizzano questa nuova risorsa aerea. Quest'ultima sarà sempre di più interessata dal nostro intervento, la comunità deve quindi trovare le modalità per diventare soggetto attivo, promuovere progetti inclusivi e sistemi e modalità di utilizzo collaborativo dello spazio aereo che interconnette e sovrasta i luoghi dell'abitare e del vivere. Si è immaginato un approccio in cui la tecnologia potesse non essere utilizzata unicamente a scopo pubblicitario in relazione a un consumatore ma potesse mettersi in relazione con un fruitore attivo, interessato, incluso in quanto abitante partecipe di questo ambiente aumentato.

Capitolo 2 Storia Drone Light Show

2.1 introduzione

In questa sezione vengono riportati in ordine cronologico lavori realizzati con sciame di droni per scopi di comunicazione visiva e nella quasi totalità dei casi erano dotati di un apparato luminoso. Sono stati selezionati i casi d'uso più importanti storicamente, ovvero quelli che hanno introdotto innovazioni sia sotto il profilo della comunicazione, ovvero della qualità dei risultati e la tipologia di utilizzi, sia sotto il lato tecnico. Lo scopo è quello di costruire una panoramica ampia per individuare i differenti scenari di utilizzo e i relativi requisiti. Gli show di droni utilizzano un sistema tecnologico complesso costituito da diversi sottosistemi che devono garantire la gestione di anche migliaia di veicoli volanti simultaneamente e coordinati. In questo sistema avanzato la parte della progettazione della comunicazione, che potrebbe sembrare distante dagli aspetti tecnici coinvolti e in relazione alla sola capacità espressiva, dovrà comprendere altresì non solo gli aspetti generali ma confrontarsi con i limiti peculiari del sistema per bilanciare l'efficacia comunicativa e la sicurezza operativa. Individuare gli elementi di un sistema che rappresenti l'ambito in questione, caratteristiche comuni, categorie

L'uso di robot volanti in campo espressivo è iniziato circa un decennio fa, già nel 2011, agli albori dello sviluppo dei droni civili e accessibili; i primi esempi hanno preso vita a teatro dove si è sperimentata l'introduzione di quadricotteri in scena, in aggiunta agli attori umani, inizialmente come elementi scenici radiocomandati da piloti umani R. Murphy, D. A. Shell, A. Hopper, B. Duncan, B. Fine, K. Pratt, T. Zourntos, **"A Midsummer Night's Dream (with Flying Robots)"**, *Autonomous Robots*, Vol. 30, No. 2, February 2011.

D. A. Shell, R. Murphy, A. Guerin, and A. Casey, **"Artistic Elements and Practical Challenges in A Midsummer Night's Dream with Unmanned Vehicles"**, in the *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA) Workshop on Robotics and Performing Arts: Reciprocal influences*, St. Paul, Minnesota, USA, May, 14th 2012.

I primi utilizzi dunque sono stati compiuti in spazi indoor mediante l'uso di tecnologie ottiche chiamate *sistemi di motion capture*. Molto usate per effetti cinematografici, costituiti da una serie di fotocamere ad alta velocità normalmente sensibili all'infrarosso o vicino infrarosso e da marcatori, piccole sferette fissate sugli oggetti che si vuole tracciare. Misurando la posizione di questi marcatori sull'oggetto e impostandola nel sistema questo grazie ai diversi punti di vista che osservano simultaneamente i marcatori riesce a calcolare con precisione millimetrica e ad alta velocità la posizione e anche la posa, ovvero l'orientamento dell'oggetto.

2.2 Dal 2012 ad oggi

Nel 2012 è stato realizzato uno dei primi spettacoli di droni, **Meet your creator**, finanziato dall'agenzia *Saatchi & Saatchi* e prodotto dallo studio *Marshmallow Laser Feast*. Non solo è stato pionieristico nell'uso dei droni su un palcoscenico ma la modalità utilizzata come emissione luminosa rimane unica e non è mai più stata replicata. I quadricotteri non erano equipaggiati con sorgenti luminose a bordo, come tutti gli esempi che verranno successivamente esposti; queste erano invece poggiate a terra sul palco e costituite da luci a testa mobile remotate. I droni erano equipaggiati con specchi motorizzati, ben più leggeri del sistema luminoso adottato. L'inclinazione degli specchi e la posizione dei droni erano controllate e programmabili. Il progetto è stato realizzato indoor e la localizzazione dei droni era garantita da un sistema di motion capture con camere ad alta velocità della *Vicon*. Per mezzo di questo avanzato sistema di tracking ottico la posizione dei droni veniva rilevata con un'elevata precisione e serviva per controllare in tempo reale la luce della testa mobile per orientare il fascio di luce emesso in modo da venire riflessa dallo specchio sotto il drone.

Memo Akten, uno dei principali artisti coinvolti nel progetto, lo descrive come una performance teatrale dal vivo, una scultura cinetica con quadricotteri, LEDs, specchi motorizzati e teste mobili che danzano in un balletto robotico. L'esperimento è stato quello di usare i droni per deflettere e indirizzare la luce delle teste mobili per creare una scultura luminosa sospesa che danzasse sulla musica. Declinare artisticamente le macchine e gli UAV, normalmente associati alla sorveglianza o a strumenti oppressivi, per veicolare la musica, la danza, la celebrazione della vita e la creatività.

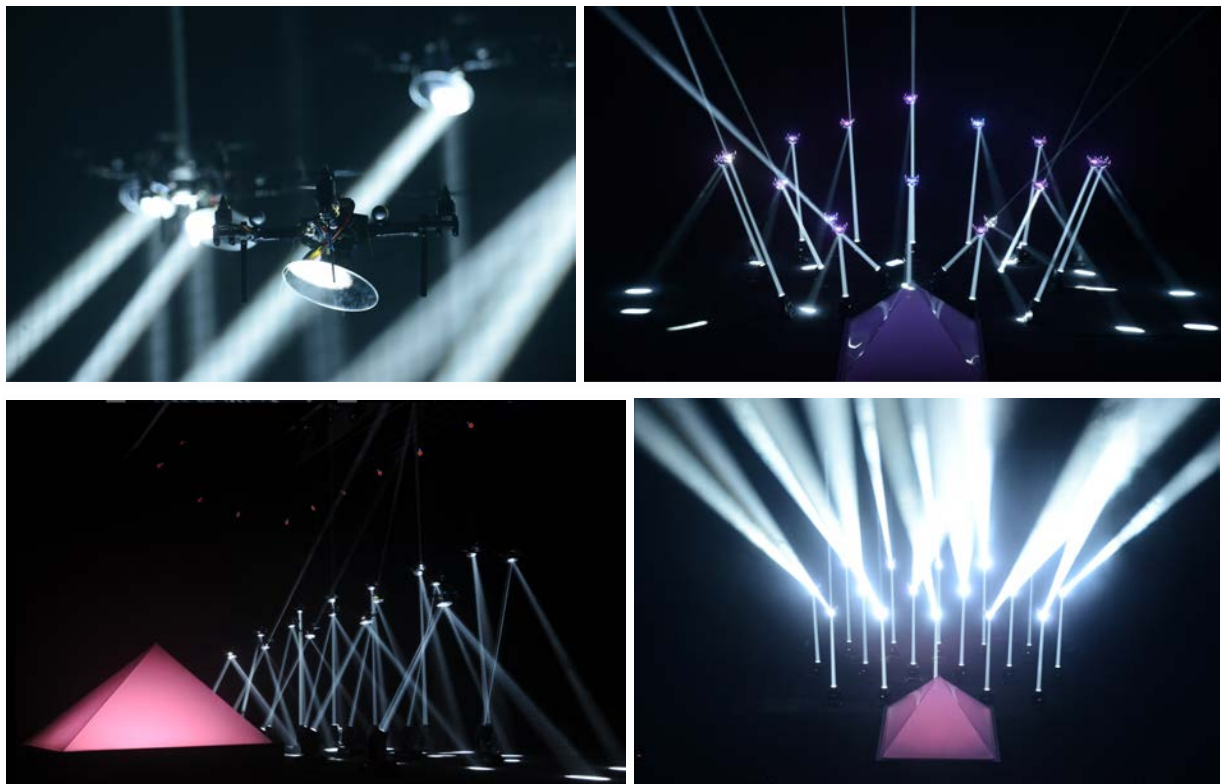


Fig.2.2.0.1 - 2021, *Meet your creator*, *Memo Akten*

Nel Settembre del 2012 il *Futurelab* che è il dipartimento di ricerca e sviluppo di *Ars Electronica* per il noto festival annuale *Ars Electronica* presentò in prima mondiale i risultati del nuovo progetto **Spaxels**, inaugurando così tra i primi al mondo, l'uso di droni luminosi per spettacoli

all'aperto. Furono utilizzati 49 droni luminosi all'aperto, movimenti in formazione e accompagnati con cambiamenti cromatici sincronizzati. E' stato realizzato un enorme occhio sopra il Danubio.



Fig. 2.2.0.2 - 2012, Spaxels, 49 droni

Il nome **Spaxels**, è una contrazione del termine spazio e pixels, sottolinea la corretta intuizione della materializzazione del pixel nello spazio fisico. Questo progetto e la sua sperimentazione hanno avuto una grande importanza avendo ispirato e stimolato la ricerca in questo settore. Inizialmente tramite piccoli *proof of concept* hanno indagato alcune idee di interazione a distanza ravvicinata e diretta tra droni e utenti e successivamente sulle possibilità espressive di una formazione di sciame luminoso. Essendo un concetto inedito si sono dovuti confrontare con lo sviluppo di un sistema hardware e software completo, con procedure e strumenti necessari. Per lo sviluppo della parte hardware fu selezionata un'azienda tedesca di eccellenza, la *Ascending Technologies*, una tra più avanzate aziende europee specializzate nella realizzazione di droni per l'industria.

A marzo 2013, 50 droni luminosi *Spaxels* sono stati ingaggiati dalla casa cinematografica Paramount per l'attività promozionale per un evento accanto al Ponte della Torre a Londra in occasione della prima mondiale del film *Star Trek into the darkness*. La coreografia ha riguardato la realizzazione del logo gigante dello Starfleet.



Fig.2.2.0.3 - 2013, *Spaxels*, evento per film *Star Trek into the darkness*

Lexus e *KMeI Robotics* nel 2013 hanno realizzato una pubblicità usando come soggetti principali dei droni, che esplorano la città di notte. Anche se non prevedeva droni luminosi, è stata una produzione pubblicitaria di alto livello che ha sperimentato l'uso di sciami di droni in voli coordinati coreografici.

La produzione ha impiegato un avanzato sistema di motion capture che veniva installato in ogni ambiente delle riprese e ogni drone era dotato di 4 marker richiesti dal sistema.



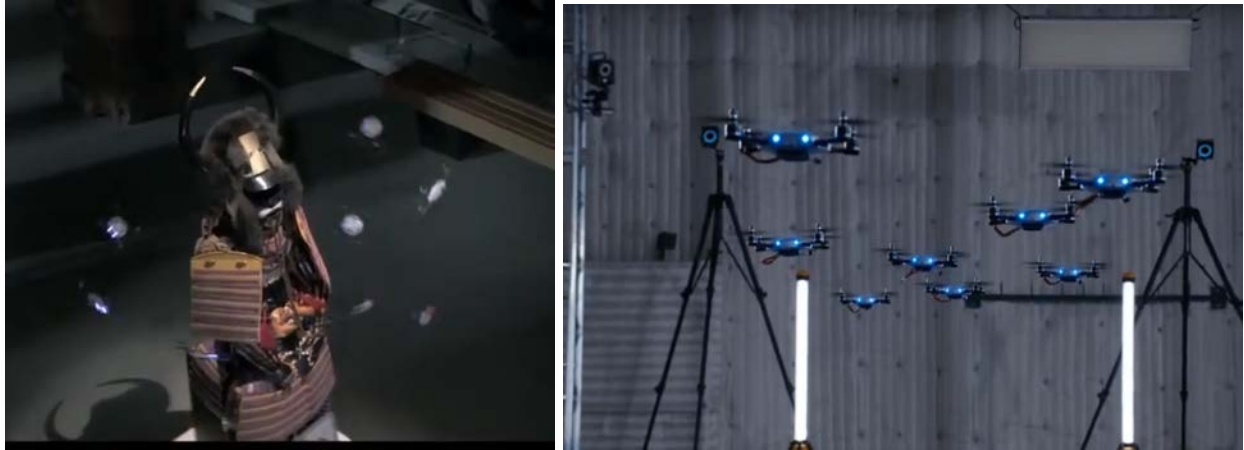


Fig. 2.2.0.4 - 2013, *KMeI Robotics, pubblicità per Lexus*

Disney nel 2014 ha depositato 3 brevetti sull'uso di sciami di droni per scopi di intrattenimento allo scopo di creare nuove attrazioni per i parchi divertimento:

1. [Aerial Display System with Floating Pixels](#)
2. [Aerial Display System with Floating Projection Screens](#)
3. [Aerial Display System with Marionettes Articulated and Supported by Airborne Devices](#)

Il primo brevetto usa il termine "aerial display" per definire lo schermo aereo e il termine "fixel" per il singolo elemento luminoso portato dal drone.

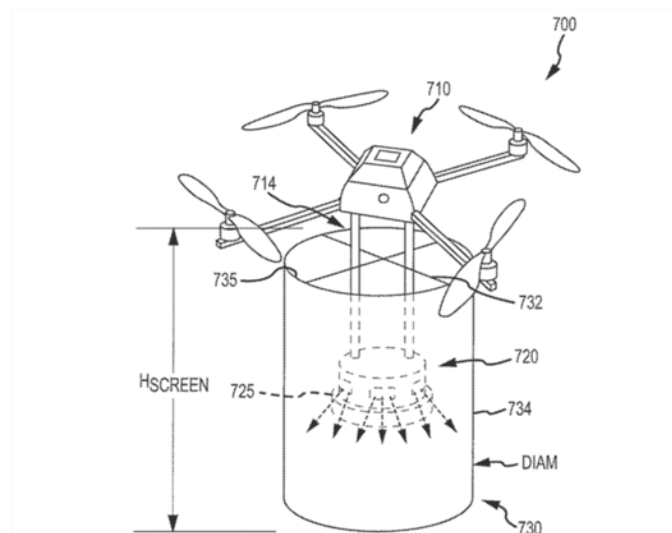


Fig.2.2.0.5 - Disegno del brevetto Disney "Aerial Display System with Floating Pixels"

Il secondo brevetto riguarda l'uso di sciame di droni per trasportare degli schermi per proiezione in modo da creare superfici proiettabili intorno agli spettatori.

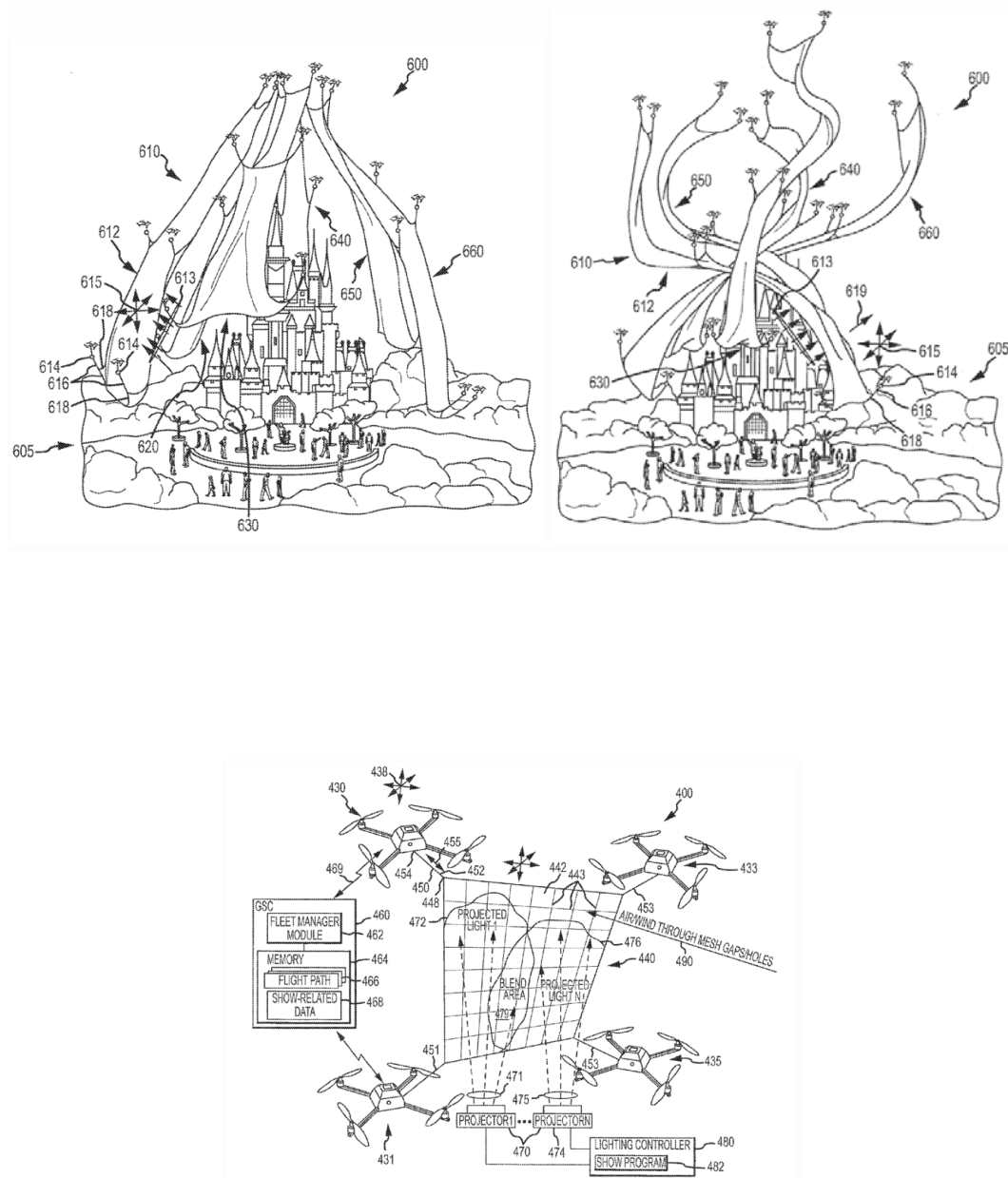


Fig.2.2.0.6 - Disegni brevetto Disney “Aerial Display System with Floating Projection Screens”

Il terzo brevetto nasce dalla collaborazione con un gruppo di ingegneri e designer industriali dell' *ETH* di Zurigo che prototiparono un drone marionettista ed una marionetta, *Maurice*, in grado di articolare le braccia, camminare, volare e illuminarsi di diversi colori.

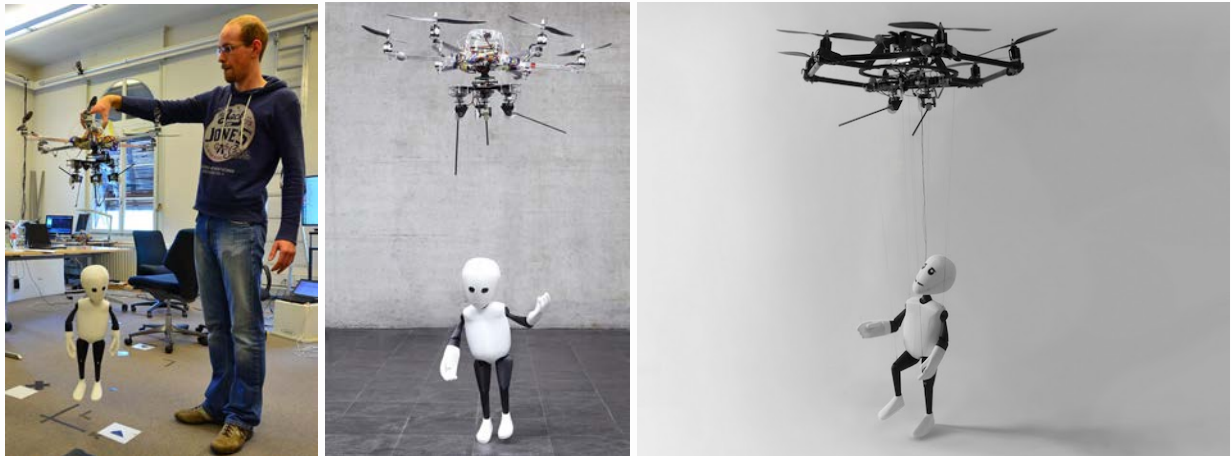


Fig.2.2.0.7 - Prototipo drone marionetta Maurice dell'ETH Zurigo

Il drone, un esacottero dotato di una piattaforma autobilanciata su cui alcuni bracci motorizzati permettono il controllo della marionetta.

Il sistema brevettato dalla *Disney* non è specificamente il prototipo *Maurice* ma riguarda un sistema più generalizzato e molto più grande di droni-marionetta in cui numerosi droni collaborano per trasportare e animare enormi apparati di marionette.

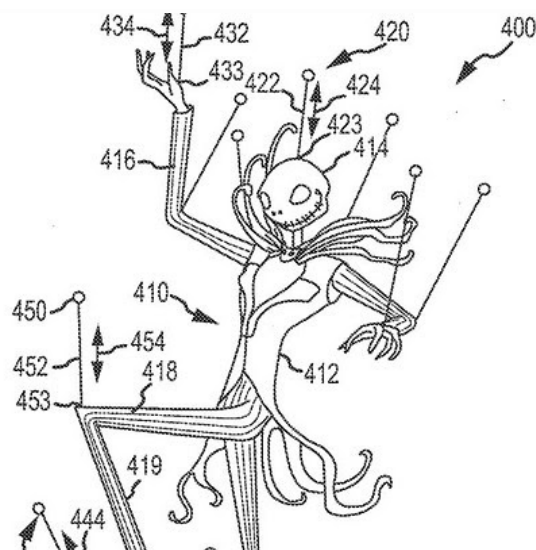


Fig.2.2.8 - Disegno dal brevetto Disney "Aerial Display System with Marionettes Articulated and Supported by Airborne Devices"

Il sistema di aerial display viene descritto con una serie di vantaggi rispetto alle precedenti tecnologie. Personaggi di enorme dimensione possono volare in modo sicuro permettendo delle rappresentazioni sensazionali. I movimenti di queste moderne marionette possono essere articolati in modo molto più complesso ed efficace che per esempio utilizzando un dirigibile. Il

materiale di queste marionette può essere composto con parti molto leggere o realizzato in modo da apparire relativamente duro e fisso (per mezzo di geometrie più pronunciate con presenza di vertici) rimanendo però morbido e flessibile, in modo da mantenere alta la sicurezza per gli spettatori sottostanti. Secondo quanto presentato in questo brevetto l'uso di marionette leggere permette a uno sciame di droni relativamente leggeri di generare la forza sufficiente a tenerli sospesi, di articolare movenze del personaggio o traslare nello spazio. Queste marionette non sono agganciate a terra in alcun modo, ma sono supportate da veicoli volanti offrendo uno spettacolo unico e dinamico.

“Dance with drone”, Marzo 2014, è il primo lavoro dell'artista *Daito Manabe* in cui sperimenta l'uso dei droni in scena. Anche se in questo primo lavoro i droni non erano dotati di sorgenti luminose è stata la prima indagine sull'interazione tra danzatore e drone, interrogandosi sulle possibilità di come la presenza scenica e le potenzialità di movimento dei droni possano supportare e accompagnare un movimento di danza. Nello specifico tre danzatrici anticipano il movimento di tre droni danzatori con gesti delle braccia o del corpo intero.





Fig.2.2.0.8 - 2014, Daito Manabe, *Dance with drone*

I droni hanno una protezione esterna alle eliche su cui sono allestiti tre marker per la localizzazione tramite un sistema di motion capture. Un triangolo bianco di base quadrata è stato attaccato all'estremità superiore del drone, ne chiude la forma aumentando la visibilità e la lettura dei movimenti, enfatizzando l'assetto che è la causa diretta dei cambi di direzione. La danza mette in scena la bellezza ma anche la difficoltà che derivano dalla gravità e dall'inerzia. Le traiettorie di volo sono state generate sia con software che è stato creato appositamente ma anche usando programmi di Computer Grafica, che hanno permesso di importare i dati registrati, e il programma di produzione musicale Ableton Live.

Per le analisi dei movimenti dei danzatori sono stati installati dei marker sui loro corpi e un sistema di camere per motion capture. Il metodo adottato prevedeva la registrazione dei dati o il campionamento in tempo reale, un processamento in moda tale da comandare i droni in accordo con i movimenti dei danzatori.

Nel Settembre 2014 Cirque du Soleil, ETH Zurich, e Verity Studios hanno collaborato per sviluppare un cortometraggio dal nome **SPARKED**, utilizzando come protagonisti un attore e 10 quadricotteri. I quadricotteri sono stati coreografati in una performance di danza e l'attore interagisce con loro a breve distanza. L'intero video si svolge in un'unica stanza ed è stato utilizzato un sistema di motion capture come sistema di posizionamento, l'unico in grado di garantire l'affidabilità e la precisione necessaria.



Fig.2.2.0.9 - 2014, *Sparked*, video narrativo con l'uso di 10 droni

Il lavoro ha portato alla creazione di una coreografia interattiva unica, dove umani e droni si muovono in perfetta sintonia.

24 drones è il lavoro presentato all'ACC (Asian Culture Center) nel 2015. L'autore Daito Manabe nel suo secondo lavoro legato all'uso di quadricotteri continua la ricerca nell'uso di dispositivi fisici in grado di espandere l'espressività corporea presentata dal vivo utilizzando 24 droni. I quadricotteri sono equipaggiati con uno sferoide luminoso posto alla loro sommità mentre la localizzazione continua ad essere affidata ad un complesso sistema di motion capture in indoor. Due sono le tipologie di movimenti del drone: movimenti prodotti dal tracking dei danzatori che seguono la danza e movimenti autonomi operati dal software che interagiscono in alcune parti con tutto il corpo di ballo e in altre con singoli danzatori.



Fig.2.2.1.0 - 2015, Daito Manabe, 24 drones

Novembre 2015, il team Spaxel con il progetto denominato Drone 100, ha conseguito il record mondiale nella categoria “Most Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) airborne simultaneously” attestando il record nella categoria. I “100 droni” sono impiegati ad accompagnare un'orchestra di 25 musicisti che suonano dal vivo la nona sinfonia di Beethoven, all'aperto nell'area dell'aeroporto Flugplatz Ahrenlohe, a Tornesch in Germania . La rappresentazione della musica ha permesso di esplorare un linguaggio composto di composizioni geometriche e astratte abbinate a colori e accensioni che seguono le dinamiche musicali. In chiusura della performance la realizzazione dell'immagine del brand sincronizzato sul noto motivo musicale.



Fig.2.2.1.1 - 2015, Spaxel, Drone 100

In Maggio del 2016 SkyMagic realizza una performance con 20 droni alla base del monte Fuji. I droni usati sono dei convenzionali quadricotteri (realizzati dall'azienda giapponese MicroAd) la componente luminosa è costituita da strisce di LED collocate su una struttura molto esile, simile a un reticolato geodetico costituito da pentagoni e triangoli e con un cerchio massimo orizzontale che fa da equatore. Questa struttura geometrica è anche una gabbia protettiva che ingloba il drone, creando così una struttura sferica luminosa attorno ad ogni quadricottero, che può atterrare sul polo inferiore pentagonale.

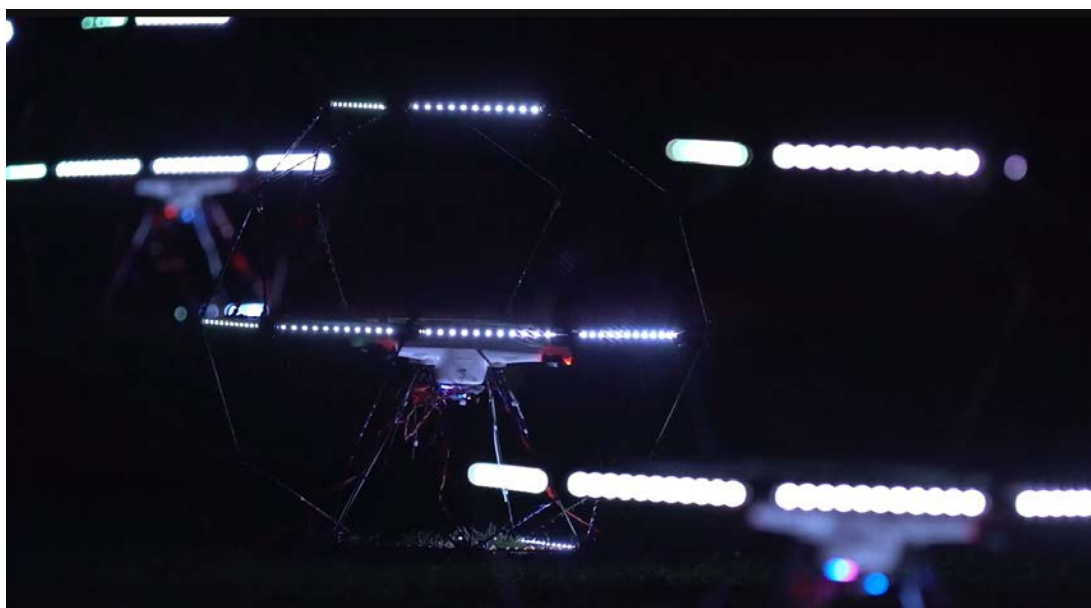


Fig.2.2.1.2 - 2016, Skymagic, dettaglio droni luminosi

Il numero di LED per drone è molto alto e sono controllabili separatamente come si percepisce in qualche scena come nell'esempio sottostante.



Fig.2.2.1.3 - 2016, Skymagic, dettaglio imprecisioni in formazione allineata

Altra particolarità di questo lavoro è la scelta di situare la performance in un contesto naturale così importante e iconico come il monte Fuji, patrimonio dell'umanità. La scelta di riprendere la scena in un momento di penombra ha consentito la visibilità del monte Fuji che diventa lo sfondo naturale creando una relazione molto forte con lo show luminoso, completando e supportando la scena.

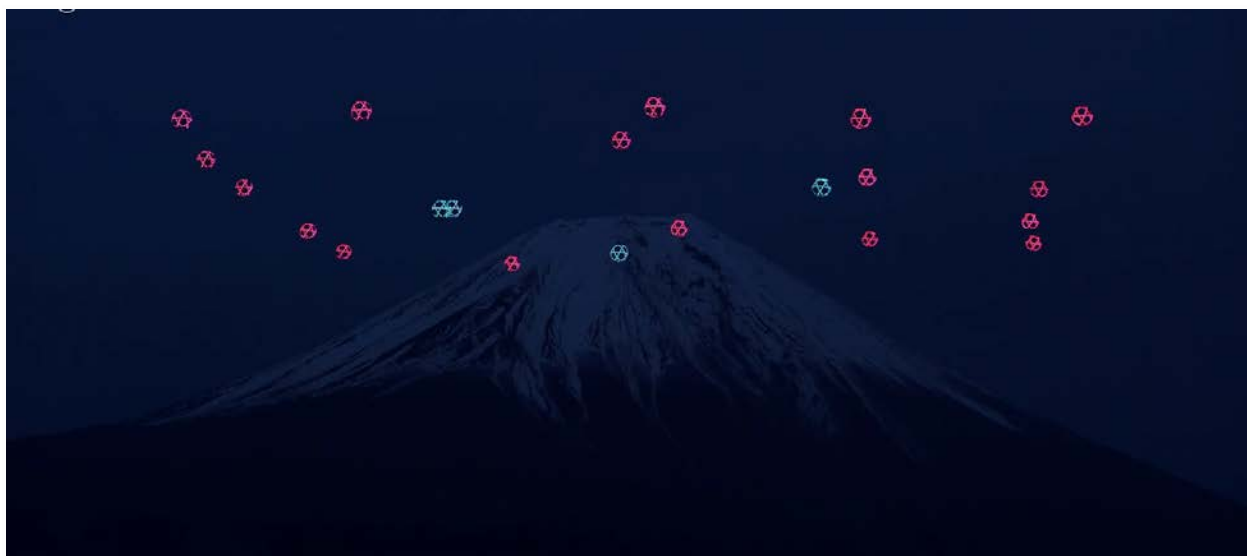


Fig.2.2.1.4 - 2016, Skymagic, performance davanti monte Fuji

Inoltre un'orchestra di suonatori del tradizionale strumento giapponese samisen suona dal vivo alla base dello show e la loro performance musicale è stato sincronizzata allo show grazie a un controllo tramite lo standard MIDI.

Nelle immagini 2.2.1.5 e 2.2.1.6, due fermi immagine in cui la figura di un triangolo capovolto, ha la base base parallela al cielo e la punta orientata verso terra, come un monte Fuji capovolto, che ruota sul suo asse verticale.

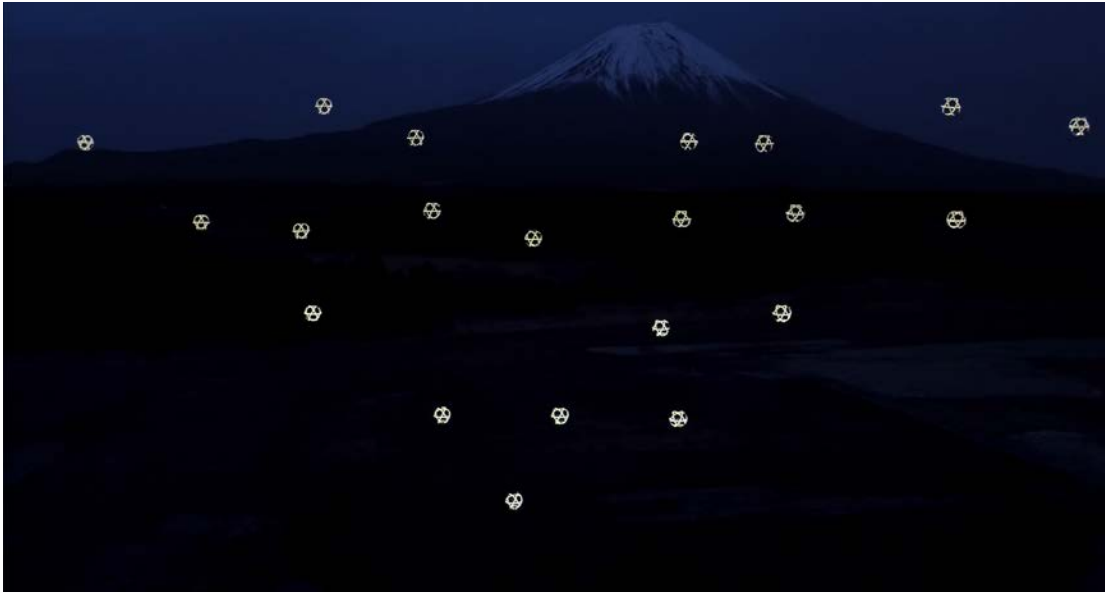


Fig.2.2.1.5 - 2016, Skymagic, formazione triangolo capovolto

La scarsa accuratezza del sistema di posizionamento dei droni implementato all'epoca non permise di determinare con precisione la struttura puntiforme originaria del triangolo, si può ipotizzare la sua composizione con 4 righe orizzontali, partendo dall'alto, la superiore composta con 7 droni, poi altri 7, 3 per la terza e l'ultima di 3 e infine il vertice inferiore.

L'imprecisione del sistema di posizionamento GPS utilizzato appare anche nell'immagine sottostante, in cui la scena triangolo esattamente di profilo rispetto al punto di vista dovrebbe essere una singola linea verticale del piano su cui giace il triangolo, invece si rileva un significativo scostamento dei 20 droni.



Fig.2.2.1.6 - 2016, Skymagic, performance davanti monte Fuji

Nonostante il basso numero di droni e la tecnologia GPS a disposizione non garantisse di ottenere degli allineamenti spaziali precisi, la sapiente combinazione di un luogo altamente scenografico che incornicia l'intera scena unita all' interazione con la musica ha creato uno show di notevole impatto.

Tra l'8 e il 12 Giugno 2016 in Australia, lo spazio aereo intorno al famoso teatro dell'opera di Sydney è stato il teatro a cielo aperto di una performance seriale creata su misura e accompagnata dall'orchestra giovanile di Sidney che suonava di fronte al teatro. E' una delle ultime collaborazioni tra Intel e il team Spaxels del Future labs con il nome di 100 droni, con i droni e il software sviluppato dal team di Linz.

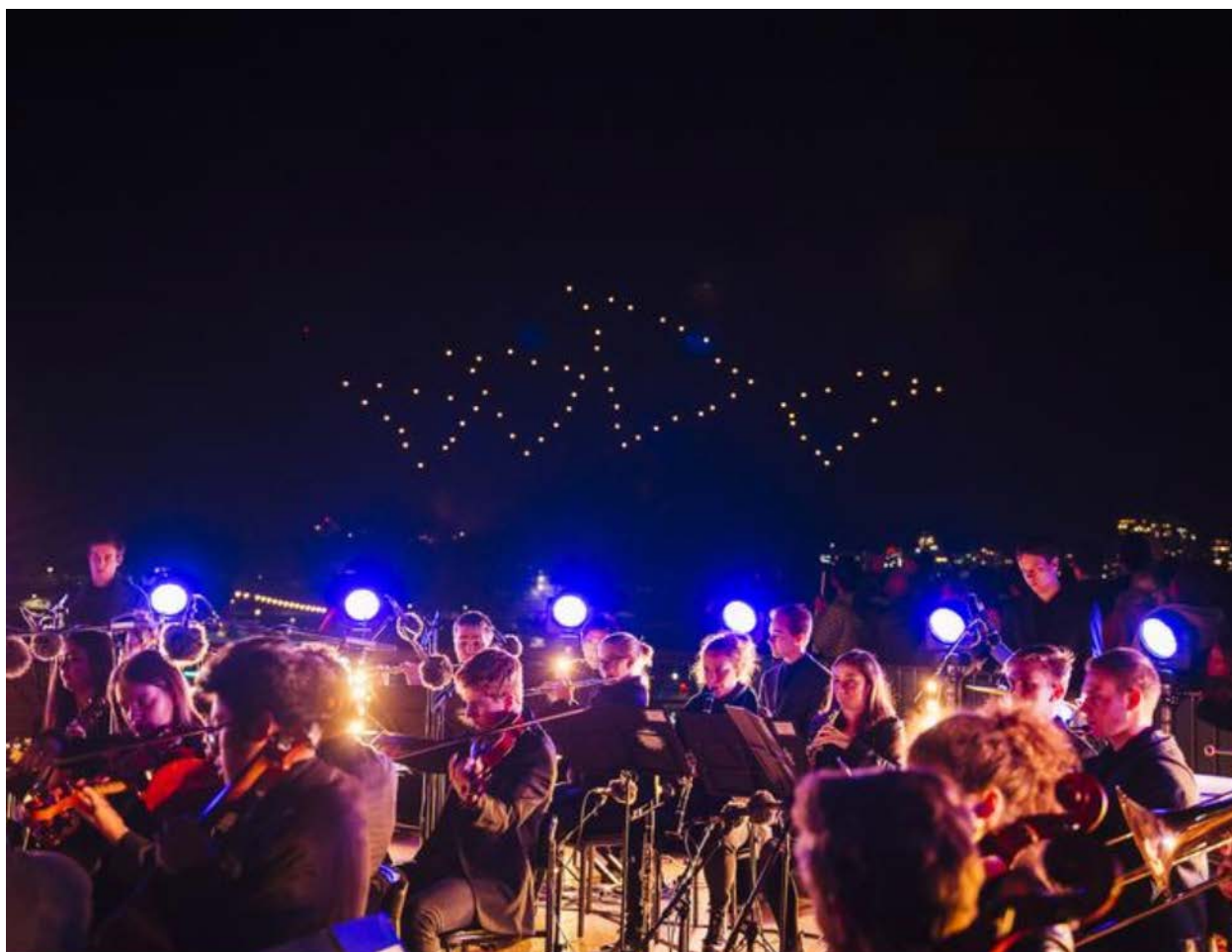


Fig.2.2.1.7 - 2016, Spaxel, performance davanti al teatro dell'opera a Sydney

Nel Novembre del 2016 Intel raggiunge per prima il numero di 500 droni utilizzati simultaneamente per uno show nei pressi di un campo sportivo della città di Krailling in Germania, realizzando il nuovo Guinness World Record. Con questo lavoro finisce definitivamente il progetto congiunto con Ars Electronica. Intel acquisisce l'azienda tedesca che aveva sviluppato il sistema hardware e realizza completamente un nuovo sistema hardware e software.

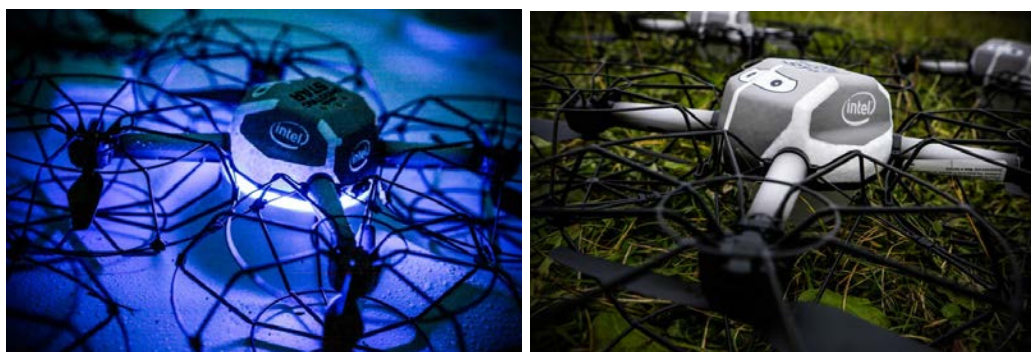


Fig.2.2.1.8 - Droni luminosi Intel

Il nuovo drone (Intel Shooting Star) con peso inferiore ai 300 g supportato da un nuovo sistema GCS è stato usato per conseguire questo record e i contenuti eseguiti sono state due scene, la prima è una formazione che rappresenta la scritta 500, il secondo invece il logo intel .



Fig.2.2.1.9 - 2016, Intel, Guinness World Record per 500 droni simultanei

Da notare il numero “500” è costruito con un contorno doppio grazie all’incremento del numero di droni, un gradiente orizzontale con i colori visibili dal rosso al viola è usato per la sua colorazione. La scritta è inclinata a favore dello spettatore, per migliorare le leggibilità rispetto al punto di vista scelto a terra e che diventa un punto di ripresa per la registrazione video. L'imperfezione della restituzione causata dall'accuratezza dei GPS utilizzati non pregiudica la leggibilità.

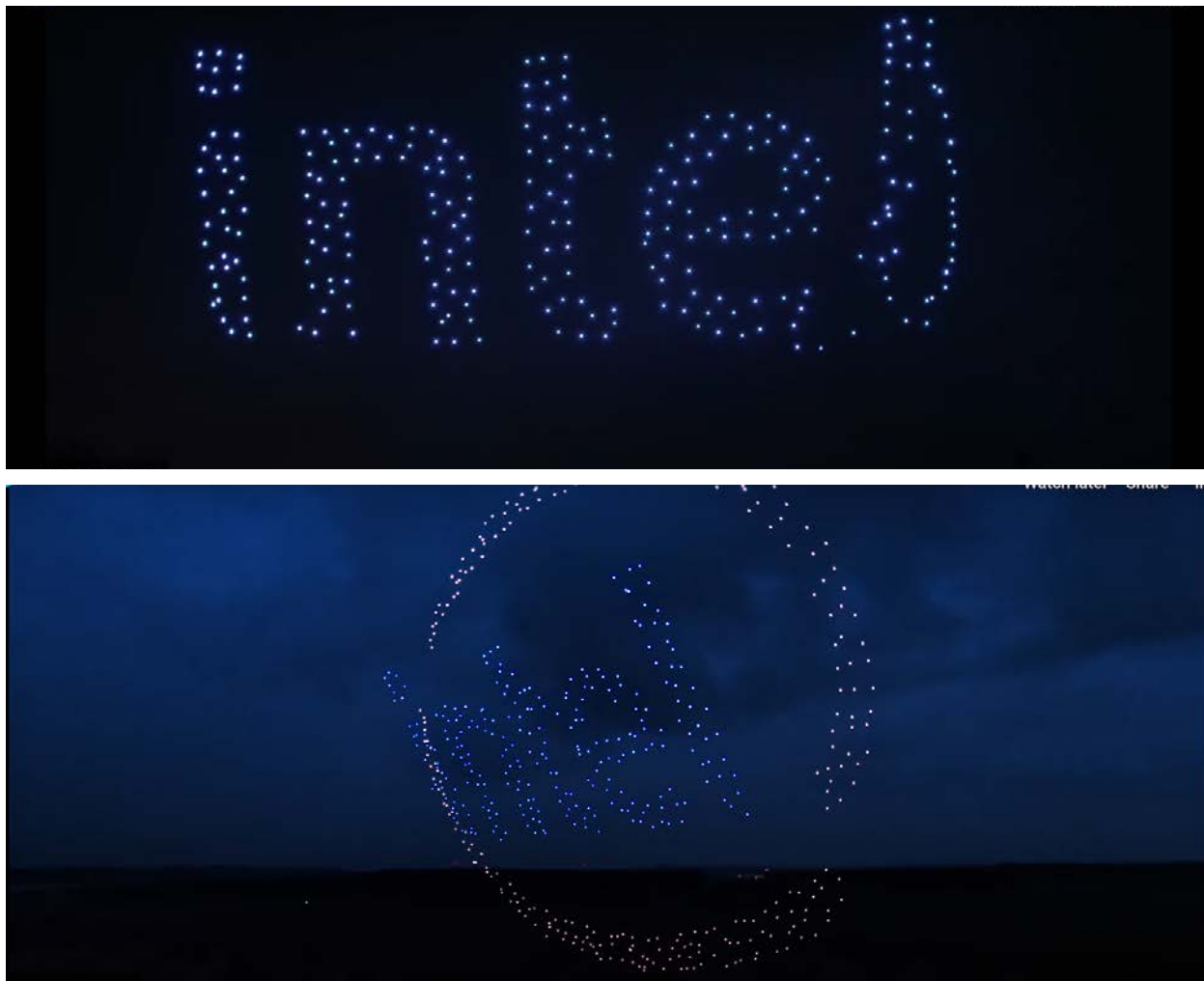


Fig.2.2.2.0 - 2016, Intel, Guinness World Record logo Intel

Per la realizzazione del logo “Intel” grazie ad una flotta di 500 droni per la prima volta è stato possibile simulare una superficie solida. Ovvero un riempimento puntiforme restituisce lo spessore interno dei contenuti visualizzati, il carattere e la grafica attorno. Il puntino della “i” di intel è una matrice 3x3 come tutto il resto della scritta “intel”, tranne la linea orizzontale della lettera “e”(formata da 2 linee puntiformi), il carattere ha una densità di 3 punti (sono 3 linee puntiformi che la realizzano). L’ovale bianco attorno è posto a una profondità diversa, in modo da risultare allo spettatore leggermente arretrato rispetto all’elemento della scritta. Il passaggio dalla doppia linea puntiforme in favore delle tre linee puntiformi sancisce il passaggio da una rappresentazione che definisce il contorno dell’oggetto alla resa anche del suo riempimento.

A Febbraio 2017 Intel usò i droni luminosi per uno dei più importanti eventi televisivi americani, la famosa finale del campionato della NFL, l’evento del Super Bowl. Fu utilizzata una flotta di 300 droni per creare una coreografia sopra il cielo dello stadio NGR di Houston durante l’esibizione a metà spettacolo della cantante Lady Gaga. Lo stadio NGR non solo si trova all’interno del traffico aereo di competenza dell’aeroporto Houston Hobby ma l’evento avrebbe coinvolto un pubblico confinato all’interno dello stadio. Lo spettacolo dei droni non fu dal vivo durante l’evento, probabilmente per difficoltà ad ottenere i permessi dall’FAA, l’autorità

competente, ma fu registrato alcuni giorni prima sopra lo stadio. Paradossalmente quindi gli spettatori presenti allo stadio non hanno visto alcun drone ma lo spettacolo dei droni fu trasmesso nella diretta televisiva. Lo spettacolo comprendeva la bandiera degli stati uniti riprodotta con una risoluzione di 15 X 20 droni di sfondo alla cantante.

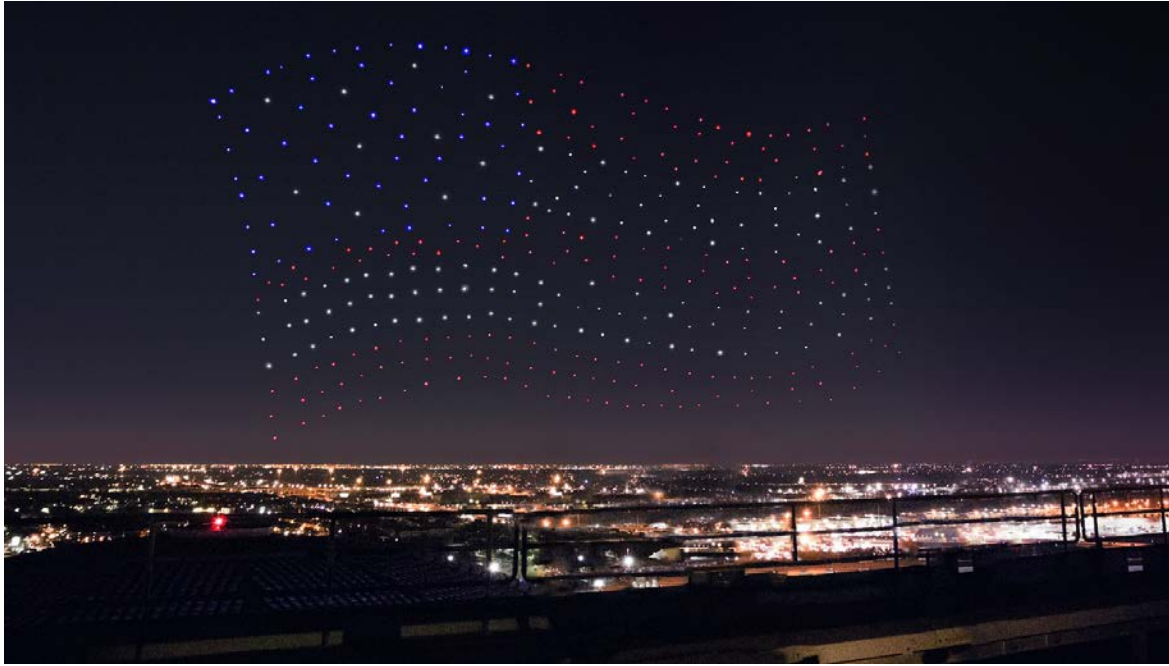


Fig.2.2.2.1 - 2017, Intel, performance durante il Super Bowl

Le altre scene sono state il logo della Pepsi che ha sponsorizzato l'evento e quello Intel.

Aprile 2017, Il gruppo austriaco Spaxels ha collaborato con una delle più grandi festival musicali del mondo, la più importante manifestazione rock del Brasile, Rock in Rio, mostrando le capacità di questa tecnologia di rappresentare la filosofia di questo festival e la sua affidabilità a performare in diverse serate alla presenza di un vasto pubblico.



Fig.2.2.2.2 - 2017, *Spaxel*, performance per festival *Rock in Rio*

A Dicembre 2017 durante Art Basel a Miami Beach è stato presentato il lavoro *Franchise Freedom*, una collaborazione tra Intel e lo Studio Drift, che ha creato un lavoro performativo con uno sciame di 300 droni.



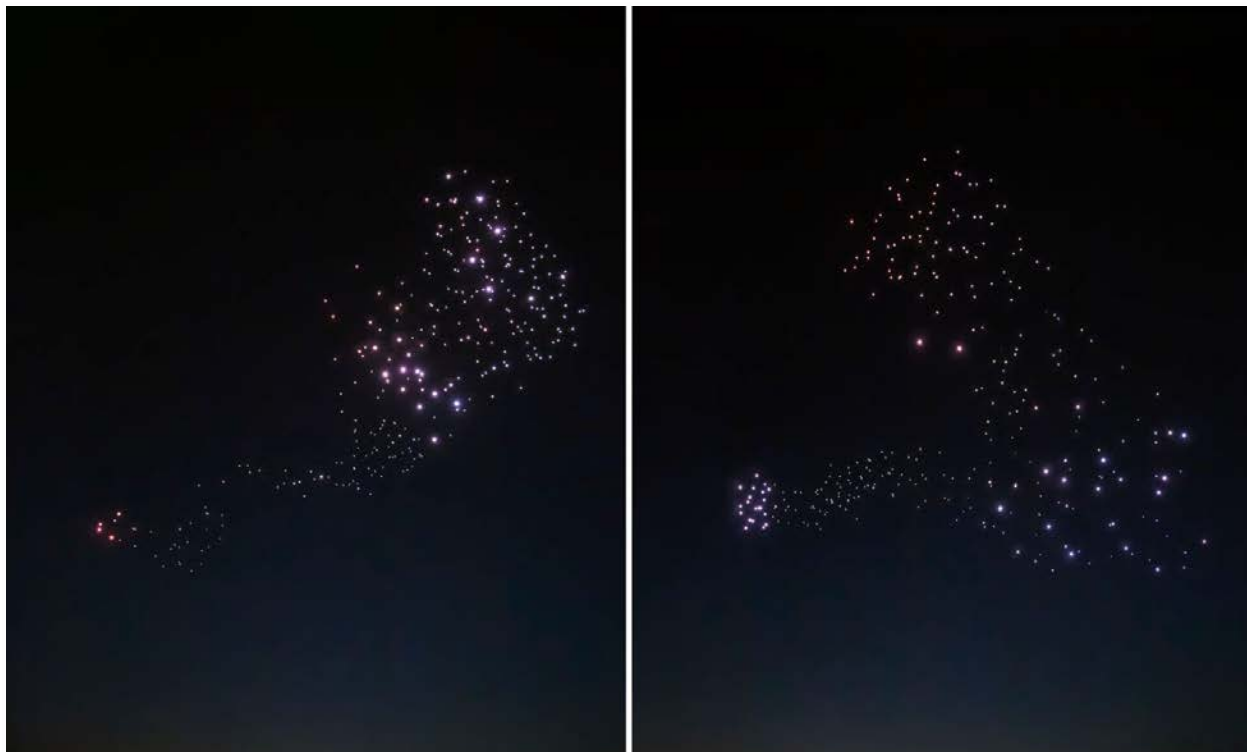


Fig.2.2.2.3 - 2017, *Studio Drift*, *Franchise Freedom*

Il valore di questo lavoro è nella tipologia e finalità, poiché non è a scopo pubblicitario di un brand, prodotto o servizio, è stato possibile esplorare la comunicazione di concetti più complessi, usando una espressione più poetica che ha realizzato forme più astratte, in qualche modo sempre delle forme rappresentative ma non più di caratteri e oggetti 3d, ma simulazioni di comportamenti naturali. La ricerca artistica su cui è fondato è partita dallo studio del comportamento di volo negli sciame di storni e ha portato allo sviluppo di un software che è stato integrato dai droni di Intel. I movimenti dei droni sono stati uniti alle loro luci e colori in modo da controllarli in base alla distanza presente tra ogni membro e gli altri, sottolineando la densità del gruppo. Questa genere di utilizzo conferma le possibilità di utilizzo per una comunicazione di carattere culturale e artistica a favore della società, in particolare gli autori hanno usato efficacemente la complessità del comportamento di sciame per ispirare lo spettatore con la bellezza delle forme prodotte e partendo dall'apparente caoticità e libertà che trasmettono, trasportare la riflessione sulle quantità a qualità di regole, operative da milioni di anni dalla vita sul nostro pianeta e che determinano la sua affascinante e funzionale orchestrazione. Invita lo spettatore ad ammirare l'interazione dei cambiamenti cinetici improvvisi che si generano all'interno della moltitudine, rivedendo nei pattern della natura le dinamiche delle nostre vite individuali inserite nella società.

A ulteriore conferma delle potenzialità di questa tipologia di comunicazione slegata da finalità commerciali è indice anche il fatto che il lavoro sia stato esibito in diversi contesti, ad Agosto 2018 ad Amsterdam, seguito da un'altra apparizione al Festival Burning Man e a Settembre 2018 e all'evento tributo per i 50 anni della missione lunare al centro della NASA.



Fig.2.2.2.4 - 2018, *Studio Drift, Franchise Freedom*

Nel Febbraio 2018 alla cerimonia di apertura dei giochi olimpici invernali di Pyeongchang in Corea del Sud Intel partecipò con una flotta di 1,218, che segnò all'epoca il nuovo record del numero maggiore di droni usati simultaneamente in uno show. Una delle scene progettate fu il

modello di uno snowboarder con più di 1200 droni, in cui il team di animazione utilizzò riprese di uno snowboarder reale per generare i contorni. Venne realizzata anche la famosa icona olimpica con i 4 anelli intrecciati. Per questa produzione Intel produsse delle simulazioni per diverse condizioni di vento che portarono a modificare la gabbia protettiva del drone per migliorare la stabilità del drone in condizioni di vento più elevate. Le condizioni meteo avverse preclusero l'esecuzione durante la cerimonia di apertura e la performance dei droni fu registrata alcuni giorni prima.



Fig.2.2.2.5 - 2018, Intel, inaugurazione olimpici invernali di Pyeongchang

Il 29 Aprile 2018 l'azienda cinese Ehang stabilisce il nuovo record mondiale per aver fatto volare contemporaneamente 1374 droni. Lo spettacolo è stato eseguito nella città di Xi'an e il numero di

1374 droni rappresenta il tratto di 13.74 km di muraglia cinese più estesa e meglio preservata dell'intera Cina presente nella città. L'interazione con l'architettura è stata uno delle caratteristiche peculiari, la zona di decollo e atterraggio è stata predisposta lungo le mura e ha interessato una lunghezza di 1200 metri della muraglia e l'altezza di volo fu di 260 metri sopra il monumento.





Fig.2.2.2.6 - 2018 Ehang, spettacolo con 1374 droni lungo la muraglia cinese

Oltre ai contenuti tridimensionali una notevole porzione di scene furono impostate con una matrice di droni disposta come un led wall in cielo, e facendo scorrere in orizzontale da sinistra a destra, i caratteri. Lo spettacolo ha presentato dei problemi tecnici che ne hanno compresso il risultato in alcuni momenti dello show e sono stati documentati degli atterraggi finali di emergenza. Come evidenziato nelle immagini in figura 2.2.9.9.8, nella porzione di sinistra si perde la coerenza della visualizzazione bidimensionale,



Fig.2.2.2.7 - 2018 Ehang, dettaglio di problemi tecnici

alcuni problemi di sincronismo e di posizionamento non corretto si verificarono durante l'esecuzione producendo gli artefatti luminosi visibili.

11 Giugno 2018, è la data di pubblicazione di un numero del Time dedicato alla rapida esplosione dei droni nella nostra cultura. Per la prima volta nella sua storia la copertina è stata realizzata con uno scatto fotografico fatto da un drone. Il soggetto dello scatto aereo è stata la rappresentazione del logo iconico della copertina del Time, composto dai bordi rossi e la grafica del titolo costituiti con 958 droni luminosi sospesi nel cielo.

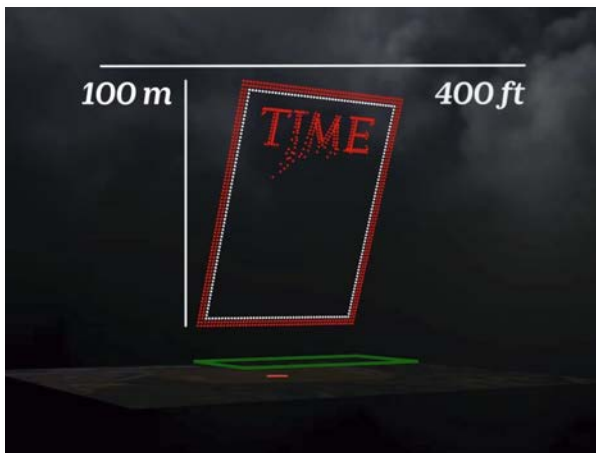


Fig.2.2.2.8 - 2018, Intel, 958 droni per ricostruire la copertina del Time

Al tempo il progetto fu uno dei più grandi show di droni realizzato negli stati uniti, creando uno schermo alto 100 metri. I droni sono stati utilizzati in una modalità inusuale e mai ripetuta successivamente: una singola formazione, bidimensionale e statica. Anche lo scopo non ha avuto ancora ripetizioni, non richiede di essere visto da spettatori dal vivo, ma di essere fotografato mentre si ricostruisce una grafica molto conosciuta, e la foto di questa formazione può essere stampata per sostituire la grafica tradizionale.

Domenica 24 Giugno 2018 è stato realizzato il primo spettacolo di droni in Italia, è avvenuto a Torino in occasione della festa patronale di San Giovanni. Per la prima volta in Europa i tradizionali fuochi d'artificio per una festa cittadina importante sono stati sostituiti da una coreografia eseguita con 200 droni luminosi.

Questa novità trasforma la festa del patrono di Torino che abbandona piazza Vittorio e la cornice del Po e approda in piazza Castello: una scelta dettata da esigenze di sicurezza di contingentare il numero degli spettatori. I droni sono decollati alle spalle di piazza Castello e hanno eseguito principalmente figure statiche e transizioni tra queste.

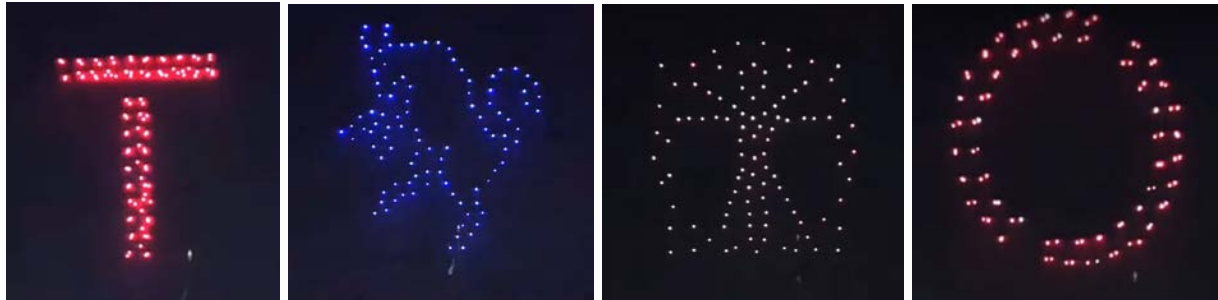


Fig.2.2.2.9 - 2018, Intel Prima esecuzione in Italia a Torino

L'anno successivo, per San Giovanni 2019, la città di Torino rinnova lo spettacolo precedente con l'esecuzione di 300 droni commissionato ad Intel. In questa occasione le coreografie sono state scene dinamiche, con geometrie tridimensionali in cui la posizione dei droni era animata nel tempo.

Il 7 Giugno 2018 Intel riconquista il Guinness world record usando a Folsom, California, una flotta di 1500 droni per celebrare il 50° anniversario dalla fondazione dell'azienda.



Fig.2.2.3.0 - 2018, 1500 droni per l'anniversario dei 50 anni di Intel

Ad Aprile 2020 uno spettacolo con 1000 droni sopra i cieli di Wuhan è realizzato per supportare la cittadinanza che sta affrontando l'uscita dalla situazione critica di lockdown e celebrare l'impegno della

comunità. vengono usati per celebrare la fine della situazione critica della pandemia e Spettacolo in Cina per celebrare la forza della nazione fine della
Nell'immagine sotto a sinistra un'operatrice sanitaria si trasforma nell'immagine di destra con la tuta protettiva necessaria per affrontare la situazione pandemica.

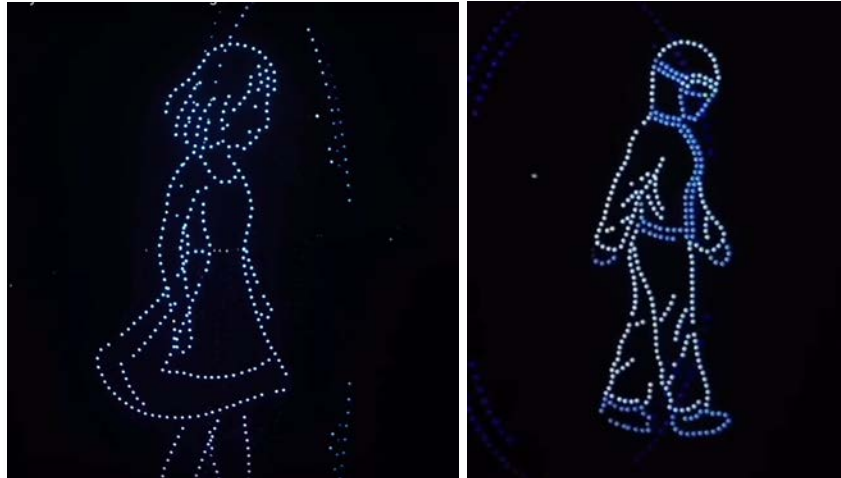


Fig.2.2.3.1 - 2020, spettacolo a Wuhan dopo la situazione pandemica

La scritta significa "Wuhan combatti, Cina combatti". Si tratta di un esempio importante in cui manca ogni riferimento promozionale e pubblicitario e che ha dimostrato una funzione di comunicazione pubblica, un messaggio sociale rivolto alla comunità tramite una singola esecuzione aerea.

Il 3 Settembre 2020 nel cielo di San Pietroburgo 2198 UAV "Salute" prodotti dall'azienda russa Geoscan attestano il nuovo record mondiale di droni usati contemporaneamente per uno spettacolo. Costruiti dall'azienda russa Geoscan lo spettacolo di 10 minuti includeva una colomba con un'apertura alare di 600 metri mentre per la visibilità gli organizzatori riportano una distanza di 3km.



Fig.2.2.3.2 - 2020, Geoscan World Guinness record con 2198 droni

Nello stesso mese di Settembre, l'azienda Shenzhen Damoda Intelligent Control Technology ha conseguito il nuovo record di utilizzo simultaneo del più alto numero di droni con 3051 drones. Il dipartimento di design dei contenuti ha creato un omaggio ai traguardi della Cina nell'esplorazione spaziale e dello sviluppo di tecnologia, come il rover Tiangong-1 per l'esplorazione di Marte, il sistema satellitare Beidou e la stazione spaziale cinese.





Fig.2.2.3.3 - 2020, Damoda World Guinness record con 3051 droni

14 Novembre 2020, l'azienda americana Verge Aero realizza lo spettacolo di droni per la chiusura del comizio elettorale dell'attuale presidente americano Joe Biden per ufficializzare la sua elezione in grande stile. Lo spettacolo non poteva essere pubblicizzato prima a causa dell'incertezza del risultato elettorale, è stato dunque tenuto segreto e non sono state eseguite prove in loco ma solo pre-visualizzazioni. Oltre a fuochi pirotecnici che hanno creato una cornice d'eccezione 200 droni sono apparsi nel cielo sincronizzati a una colonna sonora iniziata con la canzone "A Sky Full of Stars" dei Coldplay.



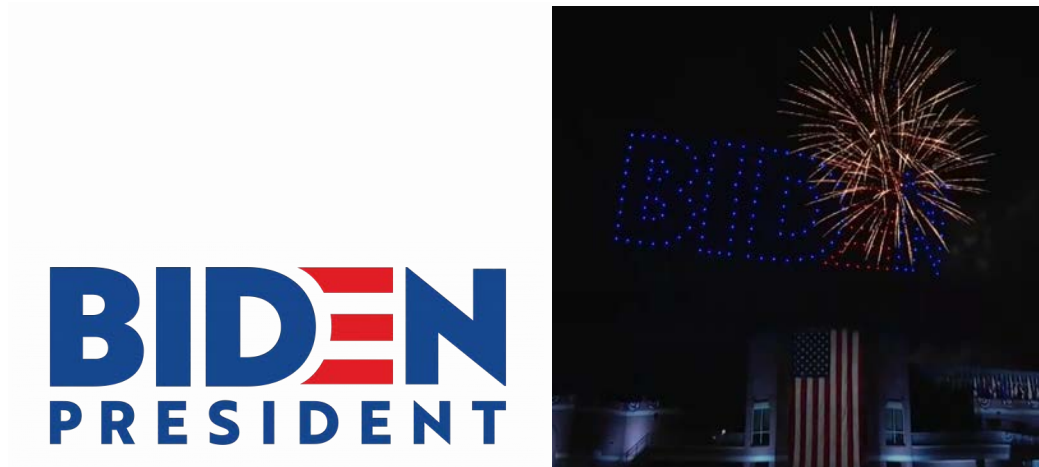


Fig.2.2.3.4 - 2020, esibizione per l'elezione del nuovo presidente USA

L'immagine aerea di larga scala parte con la riproposizione della grafica elettorale con i bordi e colori. Un contorno bianco continuo si sviluppa da una zona in alto a destra, chiudendo il tracciato e definendo la mappa degli stati uniti, poi compare il suo riempimento con una griglia rossa in cui una linea orizzontale mediana blu la divide e si espande verticalmente sostituendo lo sfondo che con una campitura blu. Nuovamente una linea orizzontale mediana, questa volta rossa compare e si espande riempiendo il contorno bianco di rosso.

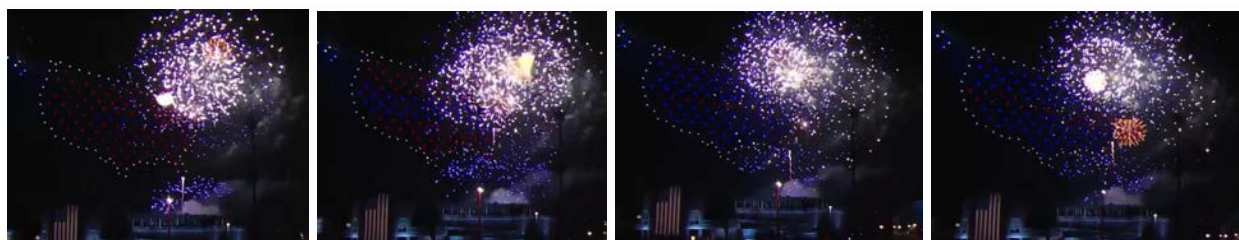


Fig.2.2.3.5 - 2020, uso combinato droni luminosi e fuochi pirotecnici

La scritta in blu "president elected" compare e alcuni droni sono animati colorandosi bianchi per poi tornare blu, simulando l'effetto di uno scintillio luminoso che verrà ripreso per la scritta "Harris".(figura 2.2.3.6)



Fig.2.2.3.6 - 2020, giochi di luce su scritta

L'unica scena effettivamente animata visualizza il numero 46 con un cerchio a contorno in rotazione in senso orario. In molti momenti la coreografia dei droni è accompagnata da fuochi pirotecnici che vanno a sovrapporsi allo show dei droni.



Fig.2.2.3.7 - 2020, unica scena con droni in movimento per l'elezione presidente USA

Dicembre 2020, FireFly, azienda americana, ha creato il primo videoclip con una coreografia di 200 droni. Anche la tipologia di contenuto realizzata è stata innovativa, una gigante faccia alta 90 metri con un labiale sincronizzato al cantato del pezzo musicale.



Fig.2.2.3.8 - 2020, Firefly usa 200 droni per realizzare un videoclip

La rock band VWLS per il singolo “High in Heaven” ha ingaggiato lo studio di animazione e design Hobbes di Detroit che ha curato la creazione dei contenuti, questo è un cambiamento importante che sottolinea l’attenzione e l’esigenza di contenuti di qualità e la loro indispensabile progettazione.

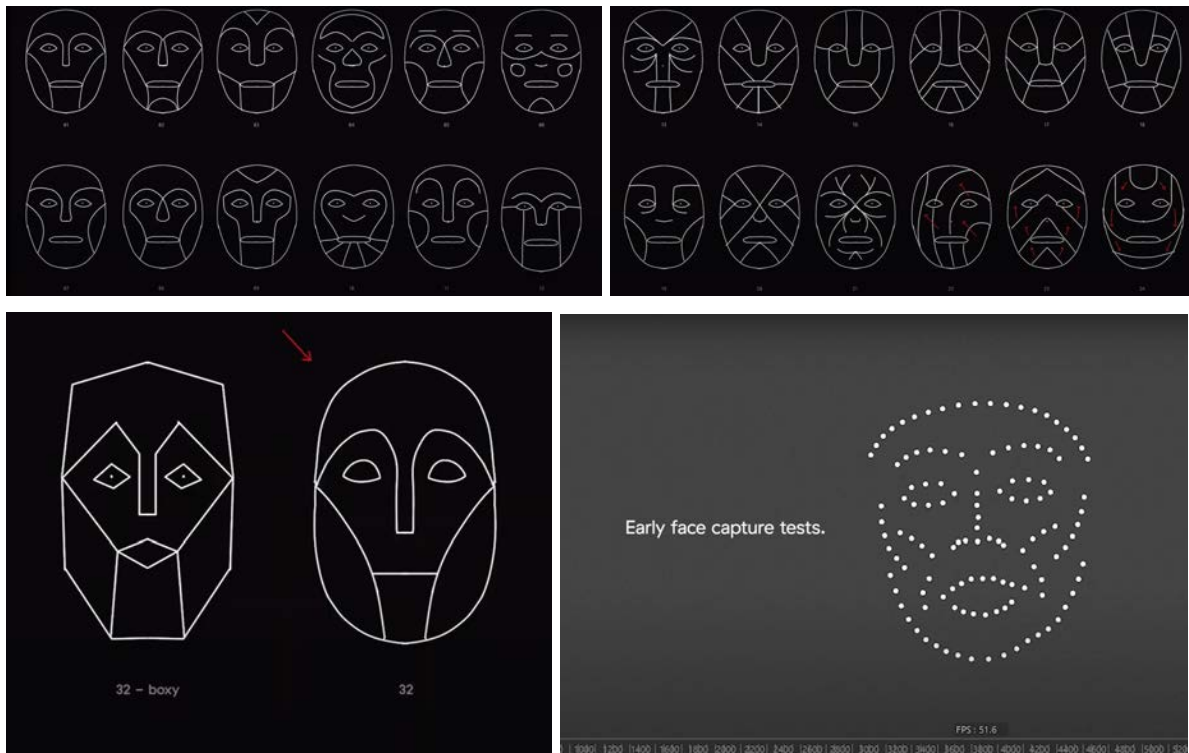




Fig.2.2.3.9 - 2020, *Firefly*, schermate di preparazione per il videoclip “High in Heaven”

La mesh è stata ricavata con l’app “Moves” della Maxon presente solo per Iphone e che permette di registrare il volto umano e convertirlo in una mesh semplificata e importarla in Cinema4D. Posizionare i 200 punti è stata la parte più lunga del progetto, una volta scelte delle posizioni queste verranno utilizzate per l’intera performance. Ogni linea è stata scelta per rappresentare tutti i piani X, Y e la profondità Z, toglierli dal contorno della faccia e posizzionarli in altre aree e aggiungerli alla bocca. Una volta assegnata la forma, i punti rimanenti sono stati usati per definire i denti.

Come riferito dall’artista i 200 punti sono keyframes di posizioni per ogni momento dell’intero show. Essendo i droni sulle labbra e le dimensioni non compatibili con i movimenti del labiale, la performance è stata eseguita a $\frac{1}{5}$ della velocità, successivamente la ripresa è stata velocizzata di 5 volte per avere il labiale corretto in sincrono con la canzone.

Stagione natalizia 2020, Intel realizza per WallMart una delle più imponenti e strutturate applicazioni del settore. Uno spettacolo natalizio usando delle canzoni a tema famose con 1000 droni per spettacoli in 8 località distinte.



Fig.2.2.4.0 - 2020, *Intel* spettacolo natalizio per Wallmart

Febbraio 2021, uno sciame di 600 droni luminoso ha eseguito uno show della durata di 26 minuti e 19 secondi presentando la vita di Vincent Van Gogh che detiene il Guinness World Record per l'animazione più lunga realizzata da uno sciame di UAVs. Lo show è stato prodotto dal gruppo cinese EFYI col supporto dell'università di Tianjin utilizzando 600 droni Agile Bee II. Molti tra i quadri più famosi del famoso pittore olandese sono stati ricreati nel cielo, tra cui immagini di girasoli, una notte stellata con una luna crescente, un gelso in autunno e un autoritratto con un cappello di paglia. Lo stile pittorico di Van Gogh è stato interpretato con le potenzialità visualizzative dei droni, pennellate audaci e drammatiche per esprimere emozione e aggiungere una sensazione di movimento, linee spezzate e vorticosi per suggerire il movimento del vento attraverso il cielo e linee corte e circolari intorno alle stelle e alla luna per creare un effetto scintillante. Lo spettacolo ha anche fatto riferimento all'esperienza della malattia mentale del pittore più avanti nella sua vita.



Fig.2.2.4.1 - 2021, EFYI spettacolo dedicato a Van Gogh

Il 29 Marzo 2021 nei cieli di Shanghai la casa automobilistica Hyundai ha accompagnato il suo arrivo nel mercato cinese col brand di lusso Genesis, commissionando la realizzazione di un imponente show di droni che ha raggiunto il nuovo record del mondo con 3281 droni in volo contemporaneamente.





Fig.2.2.4.2 - 2021, 3281 droni per Hyundai

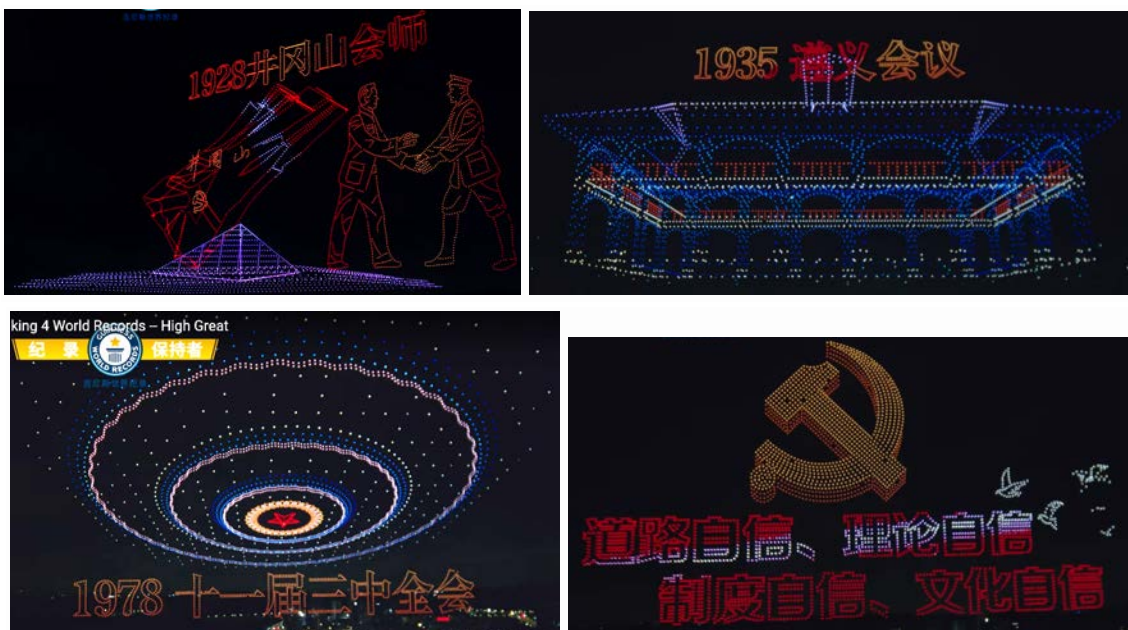
La parte principale è costituita da immagini che evocano l'identità del brand e il suo design dei prodotti. Ancora una volta, raggiungere il record del mondo col maggior numero di droni è utilizzato per associare l'installazione e il brand al progresso tecnologico d'avanguardia.

12 Aprile per celebrare i 60 anni dal primo volo spaziale di Yuri Gagarin, l'azienda russa Geoscan ha realizzato uno spettacolo celebrativo rappresentando un gigantesco razzo con lo sgancio delle varie componenti negli stadi, il primo satellite artificiale lanciato in orbita lo Sputnik-1, Vostok la nave spaziale che portò Gagarin nello spazio e l'assemblaggio della stazione spaziale Mir nel cielo.



Fig.2.2.4.3 - 2021, Geoscan per celebrare i 60 anni della missione spaziale di Yuri Gagarin

Giugno 2021 l'azienda cinese High Great supera il precedente Guinness World Record con un impressionante dispiegamento di 5200 droni. L'uso di nuovi droni dotati delle migliori tecnologie di posizionamento GPS RTK unite a dimensioni più contenute del drone permettono visualizzazioni con distanze tra i droni più contenute.



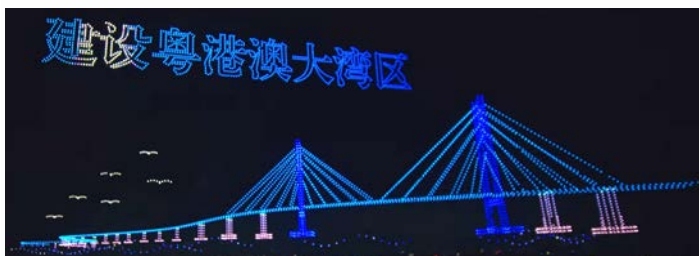


Fig.2.2.4.4 - 2021, High Great Guinness World Record con 5200 droni

Analisi dello stato dell'arte

Osservando l'evoluzione avvenuta nelle applicazione di Aerial Media è evidente la tendenza all'incremento del numero di droni dello sciame performativo per aumentare la forza della comunicazione tramite sia la maggior capacità rappresentativa e luminosa risultante. Questa considerazione pone un accento particolare sul modulo drone sotto diversi aspetti.

All'aumentare del numero di droni anche l'importanza della definizione dello strumento drone ideale assume maggior importanza

Capitolo 3 Aerial Media Design

3.1 Rimediazione aerea

La nascita di un nuovo media è accompagnata dall'uso delle tecniche e linguaggi affini consolidati da cui deriva. Questo fenomeno è stato approfondito da Jay David Bolter e Richard Grusin in *"Remediation: Understanding New Media"* che hanno coniato il neologismo remediation, rimediazione, che descrive il processo in cui un media di massa presenta in sé altri media precedenti al suo interno. Infatti si possono ritrovare alcune caratteristiche tipiche del primo all'interno di un altro successivo. In generale si parla di rimediazione dei media analogici da parte di quelli digitali (es. la pagina di un portale web, rimedia quella

di un quotidiano stampato). Gli autori definiscono la *rimediazione* come una caratteristica distintiva dei nuovi media digitali: i media interagiscono continuamente tra di loro, in un continuo processo di confronto ed integrazione, facendo sì che un medium sia in realtà un ibrido di diversi elementi.

La *rimediazione digitale* adatta i contenuti dei vecchi media al formato di quelli nuovi: si crea così un facsimile del vecchio contenuto, come se quest'ultimo sia migrato nel nuovo medium senza subire alterazioni.

Il termine, coniato da Jay David Bolter e Richard Grusin, nasce da un'intuizione di Marshall McLuhan: "*il contenuto di un medium è sempre un altro medium*". McLuhan pensava la rimediazione come una modalità di prestito tra media, basata sulla incorporazione o rappresentazione di un altro medium.

Nella trattazione qui in oggetto, si dimostra che l'Aerial Media Design è un mass media vivo con nuove caratteristiche di localizzazione territoriale, che incorpora il disegno, la pittura, la scrittura, sicuramente la grafica, e deriva principalmente dal motion design.

3.2 Pubblicità Aerea

Col termine pubblicità aerea ci si riferisce a strategie di marketing e comunicazione che usano il cielo come spazio di visione dei marchi delle aziende. E' realizzata trasportando loghi, striscioni o creando palloni, dirigibili, mongolfiere o con la tecnica dello skywriting ottenuta tramite l'emissione di fumo specifico durante il volo per creare scritte leggibili da terra.



Fig.3.2.1 - Esempi di pubblicità aerea

E' una strategia promozionale efficace quando una massa di spettatori si trova intorno alla sorgente della comunicazione come nel caso di grandi eventi e fiere. L'attività si concentra nelle zone turistiche, durante i mesi estivi lungo le spiagge, sono utilizzati aerei ultraleggeri poiché possono percorrere lunghe distanze, sorvolando sopra il mare in giornate con condizioni meteo ottime con un basso fattore di rischio.

3.3 La rappresentazione puntiforme

Nella storia dell'arte il puntinismo è stato un movimento pittorico sviluppatosi in Francia nel 1870, che più di tutti ha indagato la scomposizione dei colori in piccoli punti. I colori non vengono mescolati sulla tavolozza ma accostati sulla tela, in modo che la fusione si produca nella retina dell'osservatore. Sottolinea la divisione del colore attraverso un'elevata precisione di esecuzione compiuta in studio piuttosto che all'aperto come le opere impressionistiche, basate invece su l'immediatezza visiva. Se gli impressionisti "fotografano" l'istante sulla loro tela, Seurat - invece - partendo da un grande lavoro preparatorio e tanti bozzetti impressionisti, realizzati en plein air, "costruisce" l'attimo, l'istante. La ricerca di una rappresentazione della luce il più veritiera possibile, viene portata avanti dai puntinisti seguendo alcune teorie che prendono piede in quegli stessi anni. Due sono le scoperte nel campo della percezione visiva e sulle teorie del colore che influenzano maggiormente i puntinisti e il loro modo di intendere la pittura.

La prima si deve al chimico francese Michel Eugène Chevreul, che si occupava, tra le altre cose, di restauro di arazzi antichi. È proprio nello svolgere questo lavoro che Chevreul nota una cosa interessante: per restaurare correttamente una sezione mancante di un arazzo, infatti, è necessario tener conto dell'influenza dei colori presenti attorno alla lacuna. Scopre così che due colori giustapposti, leggermente sovrapposti o molto vicini, avrebbero avuto l'effetto di un altro colore se percepiti dall'occhio umano da una certa distanza. È il principio del "contrasto simultaneo", che lo stesso Chevreul teorizzerà compiutamente nel 1839 disegnando il famoso cerchio cromatico che avrebbe preso in seguito il suo nome.



Fig.3.3.1 - *Il cerchio cromatico di Eugène Chevreul. Pubblicazione del 1839*

Chevreul nota che ogni colore steso su un foglio bianco presenta ai lati un'aura del suo colore complementare. Così, accostando due colori complementari, l'aura di uno rafforza quella dell'altro, aumentandone reciprocamente la luminosità. Nella pittura di Seurat, l'aspetto più immediatamente riscontrabile è l'uso del colore e la tecnica adoperata: non più i tocchi e le pennellate rapide degli impressionisti ma una specie di "polverizzazione" del colore in innumerevoli punti basata non sulla semplice percezione visiva delle forme e dei volumi ma su basi scientifiche. Chevreul nella "Legge del contrasto simultaneo dei colori" aveva classificato i colori in primari (Blu, Giallo, Rosso) e secondari (Verde, Viola, Arancio), questi ultimi derivanti dall'accoppiamento di due dei tre colori primari. Chevreul aveva notato che il contrasto è più marcato tra i colori complementari cioè quelli derivanti dall'accostare un secondario col primario che non entra nella sua formazione (ad esempio accostando il verde col rosso, scartando blu e giallo che sono la coppia di primari che formano il verde; oppure viola con giallo, scartando il blu ed il rosso che sono la coppia di primari che formano il viola; ed ancora l'arancio con blu, scartando il giallo ed il rosso che sono la coppia di primari che formano l'arancio). I colori sulla tavolozza di Seurat sono puri, disposti secondo lo spettro luminoso (cioè dal rosso al violetto) e non vengono mai mescolati o sovrapposti ma solo giustapposti (mentre nella pittura impressionista i colori sono sovrapposti e giustapposti) in innumerevoli punti (da qui il termine pointillisme – puntinismo). L'altra scoperta fondamentale si deve al fisico Nicholas Ogden Rood. La sintesi delle sue ricerche può essere riassunta in questo modo: la giustapposizione di tinte primarie crea un colore più intenso, luminoso e gradevole di quanto si ottiene mescolando direttamente i pigmenti. Rood infatti sosteneva che la luce e la materia colorata (per intenderci, i colori nel tubetto) si comportano in modi completamente diversi. Se infatti mescolare i pigmenti porta a un marrone sempre più scuro, tendente al nero, mescolare fasci di luce colorata genera alla fine la luce bianca. Il puntinista abbandona la tavolozza dove si mescolano i colori. I colori si posizionano puri sulla tela, senza essere mischiati, ma solo giustapposti l'uno all'altro. Non spetta più al pittore mescolare le tinte, ma all'occhio dello spettatore che guardando il quadro da una certa distanza ottiene quella che viene chiamata "mescolanza ottica". In altri termini, i puntinisti non realizzano un semplice dipinto, ma creano una vera e propria proiezione di fasci luminosi che viene in seguito interpretata dall'occhio umano. Esattamente come accade in natura, la resa finale restituisce tendenzialmente delle composizioni statiche, artificiali, con mancanza di movimento. La mescolanza ottica era frutto anche degli studi e delle scoperte del fisico scozzese James Clerk Maxwell che usando dischi colorati - a spicchi alternati viola e verde - facendoli girare velocemente mostra come, all'occhio dell'osservatore, appaiono di colore blu a dimostrazione che la mescolanza dei colori non è solo "fisica" sulla tavolozza ma può essere anche "percettiva" cioè sulla retina.



Fig.3.3.2 - Georges Seurat, *La Tour Eiffel* (1889)

Un altro riferimento storico culturale di rappresentazione puntiforme è quello dell'arte "a punti" (*dot art*), nella pittura aborigena. In origine usata nei disegni sulla sabbia, poi nel 1971, l'insegnante d'arte Geoffrey Bardon incoraggiò gli aborigeni di Papunya a dipingere le loro storie legate al dreamtime, con lo stile che già utilizzavano per disegnare sulla sabbia su un murale sulla parete della scuola. Questo primo tentativo ottenne un enorme successo e così dai tradizionali fili d'erba e piccoli rami per applicare pigmenti naturali e colori della terra, colori acrilici e legni finiti la trasportarono su tele, formate da complesse disposizioni geometriche di punti, grosso modo equidistanti, di diversi colori. Le immagini che possono essere espressi in questo linguaggio sono quelli fondamentali della cultura e della mitologia aborigena (per esempio "uomo", "pozza", "canguro", "ciotola", "bastone per scavare" e così via). I simboli utilizzati per rappresentare questi concetti possono considerarsi rappresentazioni estremamente stilizzate della forma dell'oggetto in questione (o di una sua orma sulla sabbia) tipicamente vista dall'alto.



Fig.3.3.3 - esempi di dot art aborigena

Un sistema di visualizzazione moderno, divenuto alla portata di tutti con l'avvento della tecnica della fotogrammetria, è la nuvola di punti. Grazie alle possibilità di campionamento degli oggetti reali tramite fotografie è possibile la restituzione di una copia tridimensionale digitale precedentemente ottenibile soltanto con i laser scanner, impegnativi sistemi con limitata diffusione. La fotogrammetria è una tecnica che consente di ottenere informazioni spaziali, punti tridimensionali, sull'ambiente naturale o sugli oggetti fisici che sono stati registrati, misurati e interpretati partendo da un alto numero di immagini fotografiche, prese da diversi punti di vista, sulla medesima scena. Il nome deriva dal greco "photos" (luce), "gramma" (qualcosa di scritto o disegnato) e "metron" (misura). L'algoritmo cerca la posizione e l'orientamento dei punti in cui sono state scattate le fotografie usate come input (il dataset fotografico), confronta le informazioni dei pixel tra queste e quando trova delle correlazioni coerenti in diverse fotografie fissa i primi punti in quella che viene denominata la "sparse point cloud". Queste sono le prime coordinate tridimensionali verificate appartenenti alla scena fisica e costituiscono una sorta di impalcatura di partenza dalla quale per iterazioni successive vengono aggiunti ulteriori dettagli. Il risultato di questo processo è la restituzione di una copia tridimensionale molto accurata di un oggetto reale realizzata dall'insieme dei punti, che sono stati correlati da diversi punti di vista, e sono caratterizzati dalla loro posizione in un sistema di coordinate e da eventuali valori di colore associati. L'elevato numero di vertici serve per rappresentare strutture tridimensionali come oggetti e superfici in rilievo. Spesso le nuvole di punti non sono utilizzate direttamente ma vengono semplificate per la creazione di superfici come le mesh poligonali utilizzate nella computer grafica e nella modellazione CAD. Esistono in letteratura diverse tecniche per restituire una superficie 3D partendo da una nuvola di punti, tra le più note ci sono la triangolazione di Delaunay, che usa griglie di triangoli che hanno come vertici i punti della nuvola oppure tecniche con un approccio volumetrico come quella dei marching cubes.

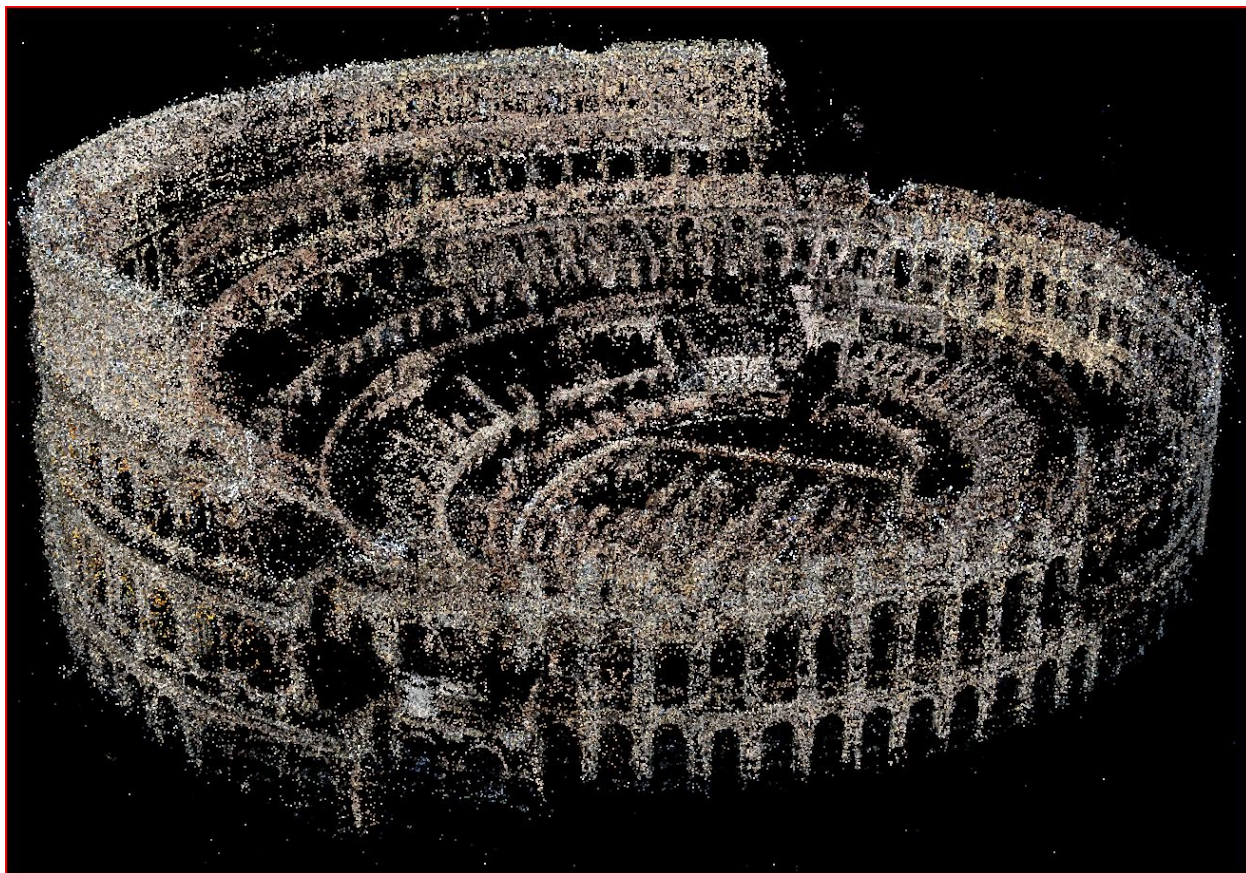


Fig. 3.3.4 - Nuvola di punti da fotogrammetria aerea

Gli esempi citati in questo paragrafo sono rappresentazioni che utilizzano come elementi dei “campionamenti” di colore presenti sulla superficie degli oggetti riprodotti. Alcuni prediligono un punto di vista a favore dell’osservatore come quello dall’alto o frontale, l’uniformità dei punti e l’omogeneità della loro distribuzione sono caratteristiche importanti che li accomunano al sistema di visualizzazione basato su punti luminosi realizzati dai droni.

In questa ricerca sono considerate le possibilità espressive mediante l’uso esclusivo di LED RGB come sorgenti di luce, che sono pertanto gli unici attuatori che emettono gli stimoli luminosi percepiti. Nel capitolo 2 “Storia Drone Light Show” sono state osservate sperimentazioni con soluzioni alternative, per esempio droni equipaggiati con specchi mobili che intercettano fasci luminosi esterni, li riflettono e manipolano, oppure l’uso di fumogeni colorati, o fuochi d’artificio tipo fontane, oppure ancora un brevetto depositato da Intel in cui presenta in linea teorica droni equipaggiati di laser che potrebbero descrivere delle linee luminose continue. Questi sono stati esperimenti singoli che non hanno portato a successivi sviluppi, probabilmente da imputare allo scarso interesse dato sia da risultati poco convincenti e sia per una complessità tecnica realizzativa non trascurabile, anche il brevetto menzionato di Intel non ha avuto alcun prototipo sperimentale a supporto.

3.4 Dal quadro agli elementi visivi

I tradizionali dispositivi per la riproduzione di immagini hanno ognuno la propria risoluzione nativa, per esempio lo standard Full HD è composto da 1920 pixel orizzontali per 1080 verticali per un totale di 2 073 600 pixel utili a generare le immagini. La matrice dei pixel è configurata

nella sua disposizione statica indipendentemente dal tipo di immagine che rappresenta: i pixel rimangono costantemente presenti e fissi anche se spenti e non utilizzati. Allo stesso modo i media come la fotografia e il cinema contengono le informazioni cromatiche dell'inquadratura, è sempre un quadro di colori che viene codificato in un formato video per essere riprodotto sullo schermo. La codifica dell'immagine comporta il campionamento dei colori che risiedono su tutta la superficie della matrice, il quadro, contenente i soggetti sopra lo sfondo.

Nella fotografia, ma ancora prima con la pittura, lo studio della composizione dell'immagine si è confrontato sul rapporto tra il soggetto e lo sfondo, e come la loro combinazione si organizza nello spazio disponibile (l'inquadratura). L'Aerial Media non ha per sua natura una matrice fissa né i limiti spaziali che questa definisce e generalmente la generazione di uno sfondo è considerata un uso poco efficiente delle risorse: il concetto di quadro connaturato allo schermo non esiste più e lo sfondo su cui appare il soggetto non appartiene più al dispositivo ma è lo spazio generalmente scuro del paesaggio notturno attorno. I punti luminosi definiscono esclusivamente i contorni di forme che sono state progettate e disegnate, e solo se il numero di punti lo consente, permettono di rappresentare anche delle campiture dell'elemento rappresentato. Allo stesso modo uno sfondo, dietro a una forma renderizzata, può essere creato. Sono elementi visivi scelti dal progettista come oggetti, creature, forme e possono essere anche immagini bidimensionali. La rappresentazione dello sfondo è subordinata anch'essa a una scelta e pertanto sarebbe opportuno parlare di elemento sfondo e definirlo come un elemento visivo, perché sarà creato solo quando è funzionale alla comunicazione e non più presente a priori perché connesso alle caratteristiche del mezzo.

3.5 Percezione visiva

Alla luce della rappresentazione realizzata esclusivamente con elementi puntiformi, sono presentati nei prossimi 7 paragrafi alcune nozioni base sulla percezione, che hanno un effetto immediato e diretto sull'informazione risultante e che bisogna dunque considerare come principi compositivi. Presi dei punti isolati con informazione limitata, perché privi di associazioni, l'interesse è comprendere quali condizioni aiutano ad aggregarli in gruppi coerenti.

Oggi il fenomeno della percezione visiva è studiato in diversi ambiti di ricerca scientifica (psicologia cognitiva, scienze della percezione, neuroscienze, neurofisiologia, neuroestetica,...) che stanno raggiungendo sempre nuovi risultati e stanno sviluppando teorie a volte in contrasto tra loro. Lo scopo di questa trattazione è iniziare una verifica della validità di queste nozioni applicate a un'immagine puntiforme per un trasferimento diretto e funzionale al campo della progettazione dei contenuti per la visualizzazione tramite droni luminosi.

La percezione è un processo organizzato attraverso il quale si arriva a strutturare un mondo fenomenico unitario, coerente e significativo, articolato in unità distinte aventi proprietà e relazioni definite. In sostanza, la sensazione e la percezione creano la relazione fra il mondo fisico e il mondo psichico.

3.6 Rapporto figura-sfondo

La mente umana organizza costantemente l'attività percettiva in modo da cogliere oggetti ed eventi in modo unitario e coerente. Questa attività ci permette di distinguere gli oggetti, le persone e gli eventi distinguendoli gli uni dagli altri e permettendoci, inoltre, di fare previsioni sugli accadimenti futuri. Nel caso della visione, la prima fase della catena psicofisica, la sensazione, fornisce una descrizione dello stimolo fisico (intensità, lunghezza d'onda, frequenza spaziale, ecc.) indipendentemente dal significato dell'oggetto. Il risultato di questa prima elaborazione dell'informazione visiva è la distinzione della figura dallo sfondo retrostante (Anolli, Legrezi, p. 51). Questa elaborazione si basa su due presupposti: che ci sia abbastanza luce, senza la quale non vediamo nulla, e che l'ambiente abbia caratteristiche tali da sollecitare i nostri sensi; esiste infatti una intensità minima che ogni stimolo fisico deve raggiungere per essere recepito (immersi completamente in una nuvola di nebbia saremmo in mancanza di riferimenti, non distingueremmo corpi e oggetti, perderemmo il senso di profondità e orientamento). Data una sufficiente presenza di luce e stimoli, quindi, la prima attività che facciamo è la distinzione tra la figura e lo sfondo. Dagli studi di Edgard Rubin (1921) risulta che:

- la figura ha una forma mentre lo sfondo è amorfo;
- il contorno appartiene alla figura e non allo sfondo;
- la figura ha una forma definita mentre lo sfondo continua dietro la figura in maniera indeterminata.

A seconda delle particolari organizzazioni degli elementi, le forme sono le figure che si staccano dallo sfondo. Nel contesto di un prodotto di design visivo, il principio di figura/sfondo spiega come alcuni elementi vengano percepiti come il soggetto della comunicazione, in primo piano, al contrario altri vengano percepiti come sfondo, in secondo piano.

Rubin ha dimostrato che l'articolazione "figura-sfondo" obbedisce a determinate condizioni, conoscendo le quali è possibile prevedere quale zona del campo assumerà con maggiore probabilità il ruolo "di figura" rispetto alle altre zone. Benché negli spettacoli di droni luminosi lo sfondo sia prevalentemente costituito dalle porzioni scure dello spazio di volo attorno ai punti luminosi alcune riflessioni possono supportare la determinazione della figure e in futuro, ma anche in alcuni casi, la generazione di uno sfondo "puntiforme" è già stata eseguita.

Si verificano i seguenti casi:

1) Grandezza relativa: a parità di condizioni, emerge come figura la zona più piccola. Come si vede nell'esempio di Fig. 3.6.1 è considerata figura l'area rossa nell'immagine di sinistra e l'area verde nell'inversione nell'immagine di destra, piuttosto che i quattro rettangoli.

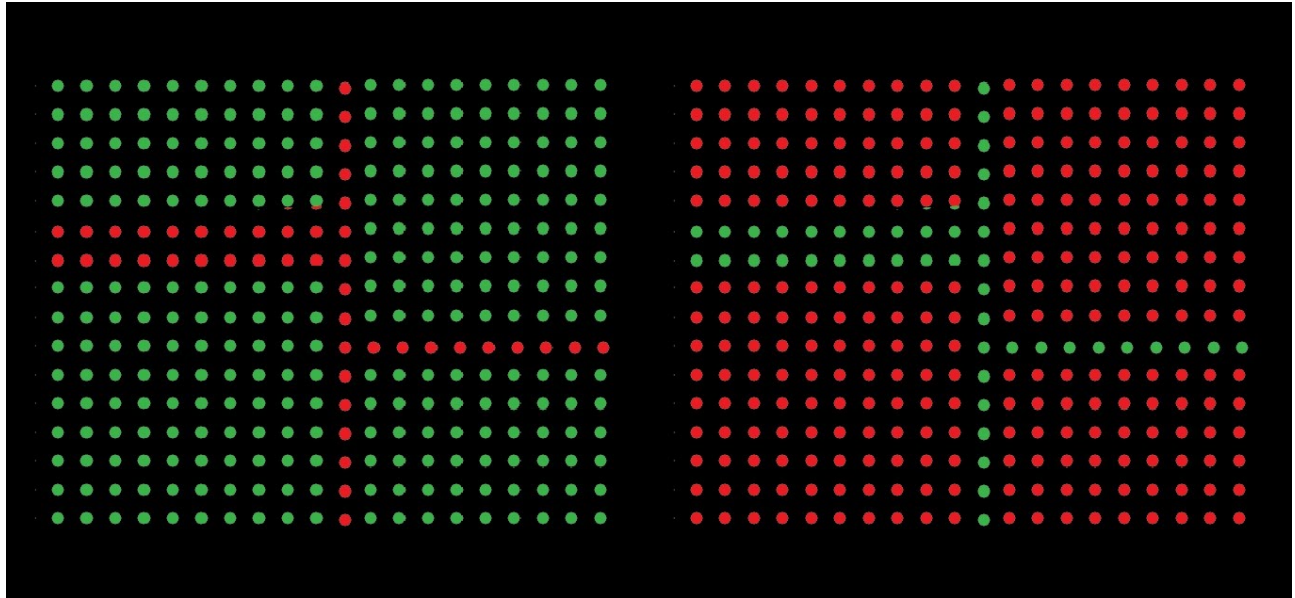


Fig.3.6.1 - *Grandezza relativa della figura rispetto allo sfondo*

2) A parità di condizioni è favorita la zona inclusa circondata da altre aree. In Fig. 3.6.2. i rettangoli piccoli all'interno di quelli grandi sembrano figure su uno sfondo, anche invertendo il fattore chiaro/scuro degli elementi.

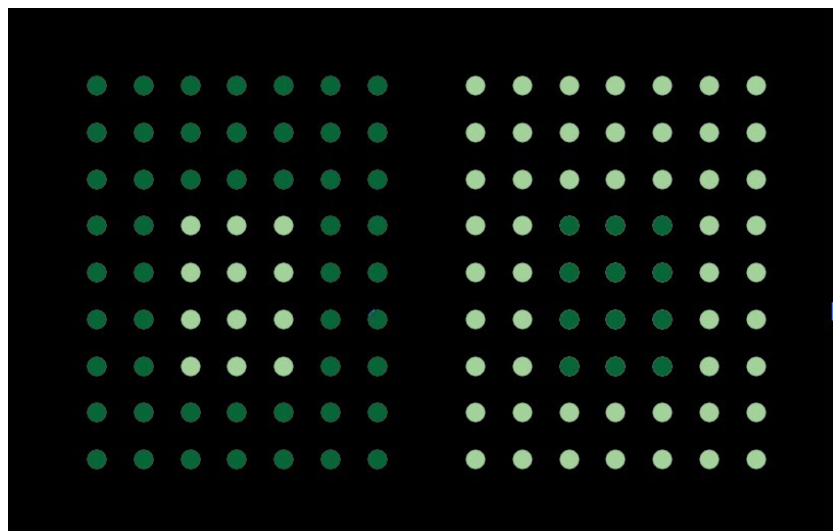


Fig. 3.6.2 - *Area inclusa della figura indipendente dal colore dello sfondo*

3) A parità di condizioni appare come figura l'area con margini convessi piuttosto che cavi. In Fig. 3.6.3 appaiono come figure le aree convesse, anche invertendo il fattore chiaro/scuro degli elementi.

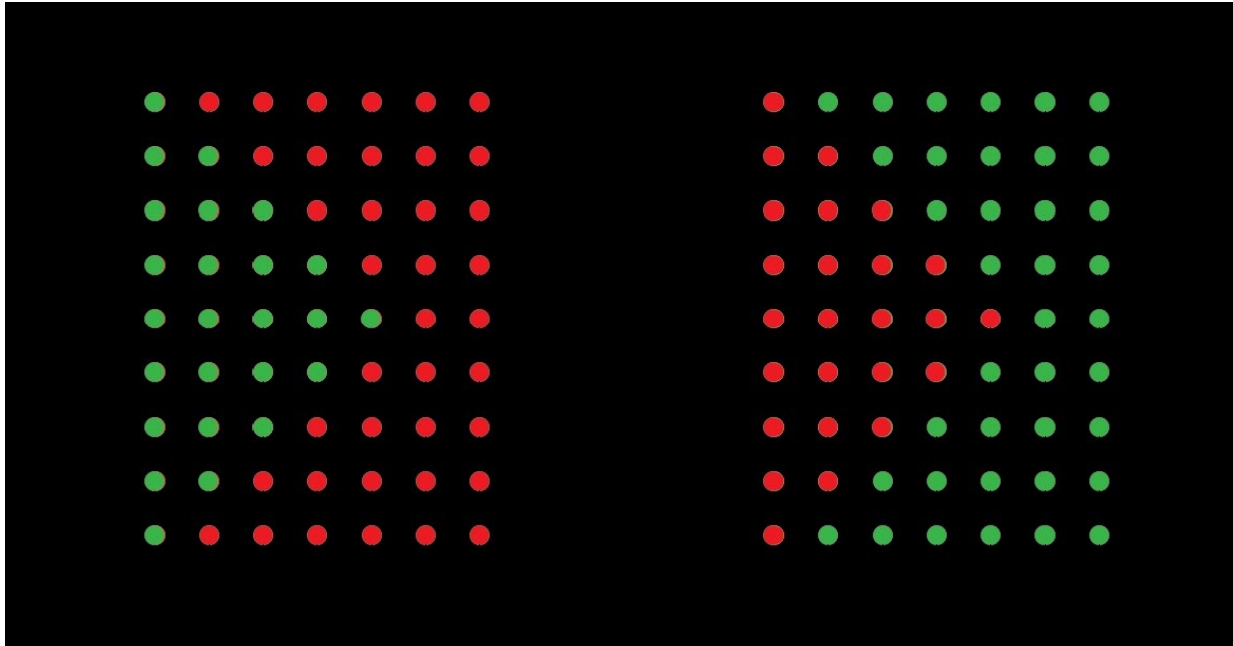


Fig. 3.6.3 – *Convessità delle figure indipendente dal colore dello sfondo*

4) A parità di condizioni tende ad essere “figura” la zona del campo che ha un orientamento spaziale in cui gli assi coincidono con la direzione orizzontale-verticale dello spazio. In Fig. 3.6.4. a sinistra prevale la visione di una croce verde, nella seconda prevale una croce rossa.

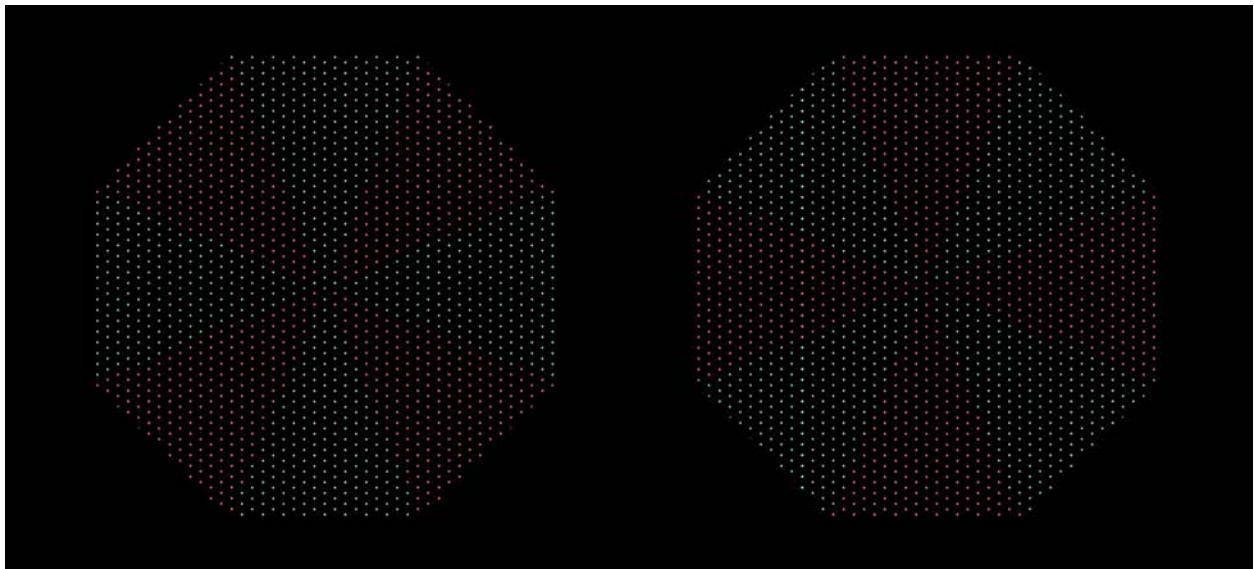


Fig. 3.6.4 – *Orientamento spaziale*

3.7 Principi di formazione delle unità fenomeniche

Per mezzo di un processo di organizzazione costante dell'attività percettiva, la nostra mente coglie oggetti ed eventi della realtà in modo unitario e coerente. La spiegazione di come compiamo le operazioni primarie di questo processo, di cui la distinzione tra figura e sfondo è il primo passo, sono oggetto di diverse teorie. Nei seguenti paragrafi faremo riferimento agli studi dei teorici della Gestalt, che “hanno postulato l'esistenza di principi di organizzazione percettiva per rendere ragione del perché certe percezioni sono più probabili di altre” (Maffei, Fiorentini, 2008, p. 12).

Per illustrare quali sono questi principi, ma soprattutto comprenderne e verificarne l'applicabilità al contesto di questo studio sono state predisposte delle composizioni puntiformi con sfondo nero.

3.7.1 Principio di prossimità o vicinanza

Secondo tale principio: “a parità di tutte le altre circostanze, tendono ad essere vissuti, come costituenti una unità, elementi vicini piuttosto che lontani” (Kanizsa, 1980, p. 48). In altre parole, più elementi vicini tra loro vengono percepiti come appartenenti allo stesso gruppo.

Osservando in Fig. 3.8.1 ognuno dei tre esempi è formato da 25 punti bianchi su sfondo nero, nel primo caso sono distribuiti mantenendo una distanza costante e sono percepiti come appartenenti ad un unico gruppo, che forma un quadrato. Nel secondo caso i nove cerchi al centro sono ravvicinati e l'immagine si divide in due gruppi: uno che forma un quadrato più piccolo al centro e uno che forma un quadrato più grande che lo contiene. Nel terzo caso si percepiscono quattro raggruppamenti che formano quadrati più piccoli e un raggruppamento che forma una croce al centro. I singoli cerchi non variano nelle caratteristiche. La percezione del quadrato deriva dalla loro collocazione e le diverse forme che si leggono variano al variare delle distanze dei cerchi. Quando la distanza diminuisce gli elementi hanno più probabilità di essere letti come un'entità unica, anche se tra loro non si toccano.

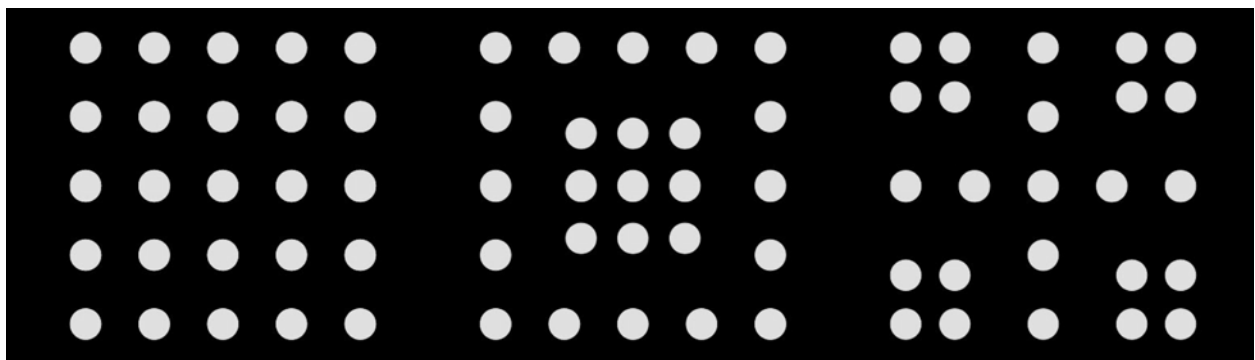


Fig. 3.8.1 - Esempi del principio di prossimità

L'esempio dei cerchi permette di capire il principio teorico che si manifesta ai nostri occhi nella realtà, determina infatti la nostra capacità di distinguere i fenomeni che incontriamo in natura, a partire, per esempio, dall'osservazione delle stelle. Guardando la miriade di stelle sparse nel cielo, individuiamo anche a occhio nudo gruppi formati da stelle che ci appaiono vicine tra loro, come le Pleiadi. Allo stesso modo, osservando i due stormi di uccelli in Fig. 3.8.2, si può notare che, nella prima foto (a), gli uccelli sono sparsi omogeneamente e non si leggono raggruppamenti particolari, mentre, nella seconda foto (b), la distanza ravvicinata tra gli uccelli ci porta a leggere la presenza di un gruppo compatto distinto dallo sfondo del cielo.



Fig. 3.8.2 – (a) *Uccelli sparsi in volo* – (b) *stormo compatto di uccelli*

Nel design puntiforme la vicinanza tra gli elementi è importante per leggere una “unità” di significato, che permette di comunicare una forma, ovvero un contenuto. Nella figura 3.8.3 la distanza minima tra i punti genera la lettura unitaria dei due gruppi di oggetti arco e freccia a sinistra e due cuori a destra.



Fig.3.8.3 - Aggregazione degli oggetti tramite distanza minima

3.7.2 Principio di somiglianza

Secondo questo principio gli elementi con caratteristiche comuni (dimensione, colore, peso, posizione, forma, eccetera) vengono percepiti come appartenenti ad uno stesso gruppo. “A parità delle altre condizioni, tendono a unificarsi tra loro elementi che possiedono un qualche tipo di somiglianza” (Kanizsa, 1980, p. 48).

I droni non variano tra di loro per quanto riguarda la forma e nemmeno per le dimensioni, le caratteristiche che possono variare sono quella cromatica e di posizione.

Vediamo i seguenti tre gruppi di cerchi neri in Fig. 3.9.1 Nel primo caso i cerchi sono distribuiti mantenendo una distanza costante. Essi si distinguono in cerchi bianchi e cerchi grigi. Questa caratteristica ci porta raggruppare i cerchi in base alla loro somiglianza cromatica, tanto da “leggere” la presenza di un’organizzazione dei cerchi su linee orizzontali alternate. Se introduciamo una variazione avvicinando una linea bianca ad una grigia usiamo il principio di vicinanza in contrasto con il principio di somiglianza (anche se esiste comunque una somiglianza di forma e dimensione) e verifichiamo che in questo caso vince il primo; si vedono infatti blocchi di linee bicolore.

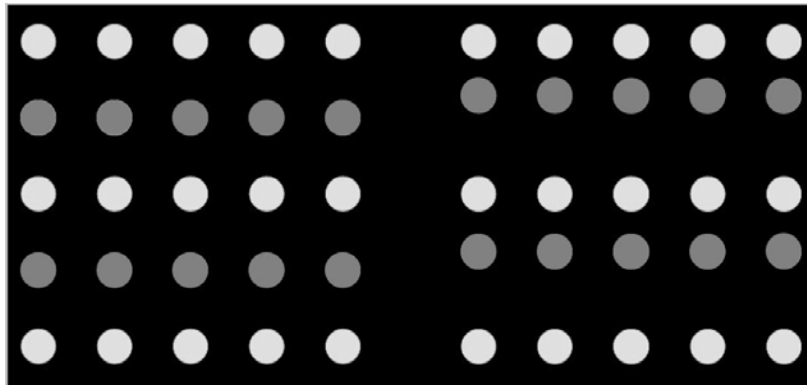


Fig. 3.9.1 (a) Distanza costante – (b) somiglianza vs vicinanza

Osservando esempi reali nella figura 3.9.2 si vede nella prima immagine (a) il comune colore viola nell’oggetto cuore a sinistra e anche nei 5 a destra permette di distinguerli immediatamente dalla scritta centrale “SZ”. La scritta presenta due valori cromatici, l’arancione e una tinta chiara interna, che oltre ad aggregare il primo il contorno e il secondo il corpo della lettera, connotano distintamente con questa doppia valenza la riconoscibilità dell’elemento. Nella seconda immagine (b) la distanza dei punti è molto omogenea ed è ulteriormente evidente come la suddivisione in gruppi cromatici permetta una chiara distinzione delle diverse forme.

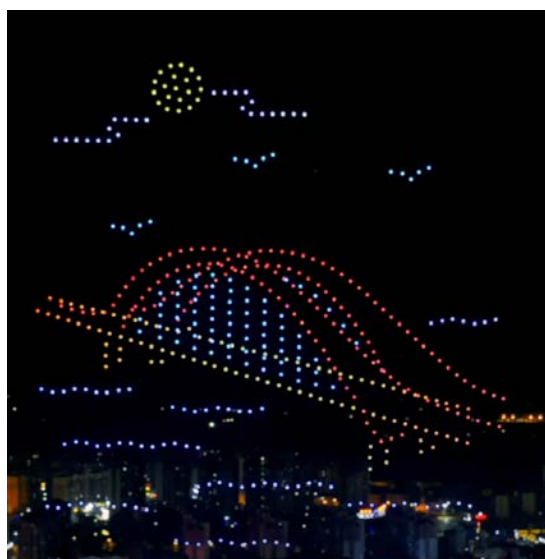
Nelle terza immagine (c) l’oggetto ponte, anche se raggruppato, per mezzo di tre gruppi cromatici sono leggibili distintamente i corrispettivi elementi: la struttura curva rossa, le verticali azzurre e la strada con i quattro pilastri gialli. La somiglianza cromatica aumenta l’aggregazione della onde blu, gli uccelli azzurri e le nuvole bianche, permettendo di fare raggruppamenti, ma anche distinzioni.



Fig. 3.9.2 (a) *Somiglianza cromatica*



Fig. 3.9.2 (b) *Somiglianza cromatica*



3.7.3 Principio del destino comune

Questo principio si trova in letteratura anche col nome di continuità di direzione, principio di continuazione e principio della buona curva. Il principio si basa sul fatto che il sistema visivo sembri funzionare in modo che “un segmento rettilineo o curvo tende ad evitare bruschi cambiamenti, ad un incrocio con altri segmenti, si unifica di preferenza con quello che continua nella medesima direzione” (Kanizsa, 1980, p. 52).

Nell'esempio in figura 3.9.1.1 la prima interpretazione che diamo intuitivamente è che vi sia una linea orizzontale sulla quale si innesta a circa metà della sua lunghezza una linea diagonale più corta. È molto improbabile che si interpreti la figura come formata da una linea spezzata (metà orizzontale e metà diagonale) alla quale è attaccata un'altra linea orizzontale.



Fig. 3.9.1.1 – (a) *principio di continuità di direzione* – (b) *interpretazione alternativa*

Nella rappresentazione puntiforme caratterizzata da elementi simili per forma e dimensione posti in successione conferiscono un'idea di unità molto forte.

Nella figura 3.9.1.2 si osserva la lettura continua di due linee curve diagonali, come nella figura sotto suddivise con due colori, piuttosto che quattro linee spezzate o due spezzate (parte di sinistra e parte di destra). Questo principio di continuità ci fa percepire come linee unite anche parti separate e immaginiamo che siano nascoste da altri elementi. Nella figura inferiore la “linea” formata dai punti azzurri pur essendo percepita come unità, è in realtà spezzata dalla continuità di quella bianca.

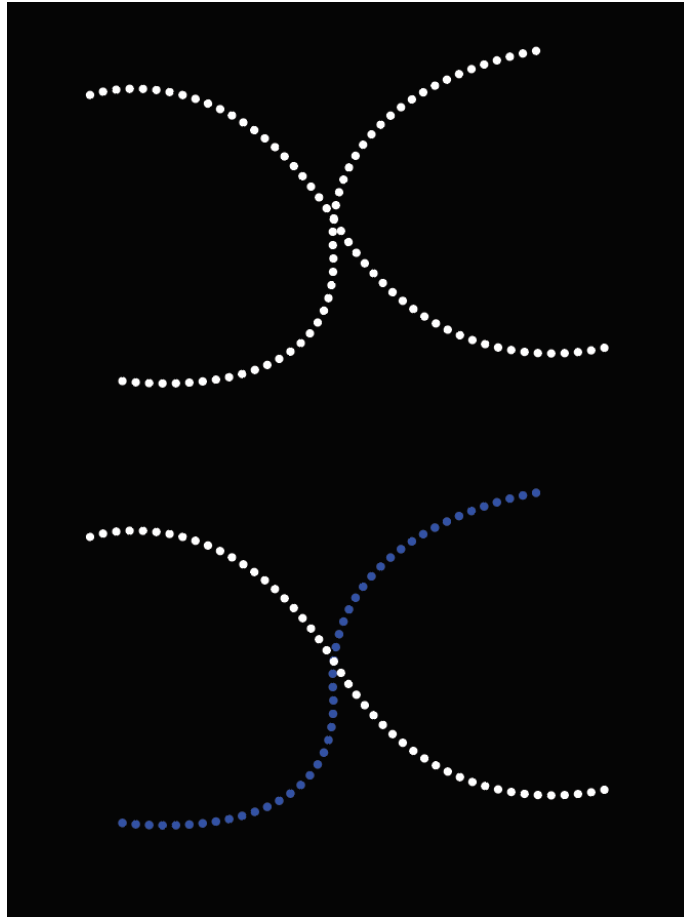


Fig. 3.9.1.2 – *continuità delle linee diagonali e continuità delle linee spezzate*

3.7.4 Principio di chiusura

Secondo questo principio la nostra mente tende a percepire delle forme chiuse che in realtà non lo sono. In figura 3.9.2.1 vediamo nell'esempio di sinistra come sia preferita la percezione della forma completa di un quadrato piuttosto che di 4 linee spezzate, anche nella figura di destra osserviamo il formarsi di un quadrato, indipendentemente dal fatto che i segni siano di colori differenti.

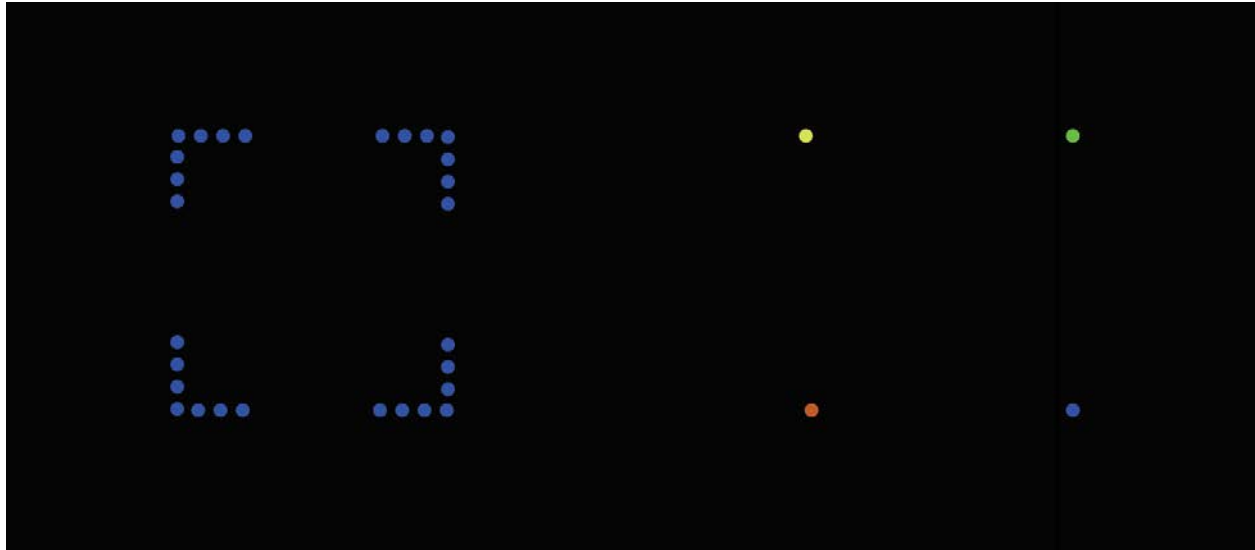
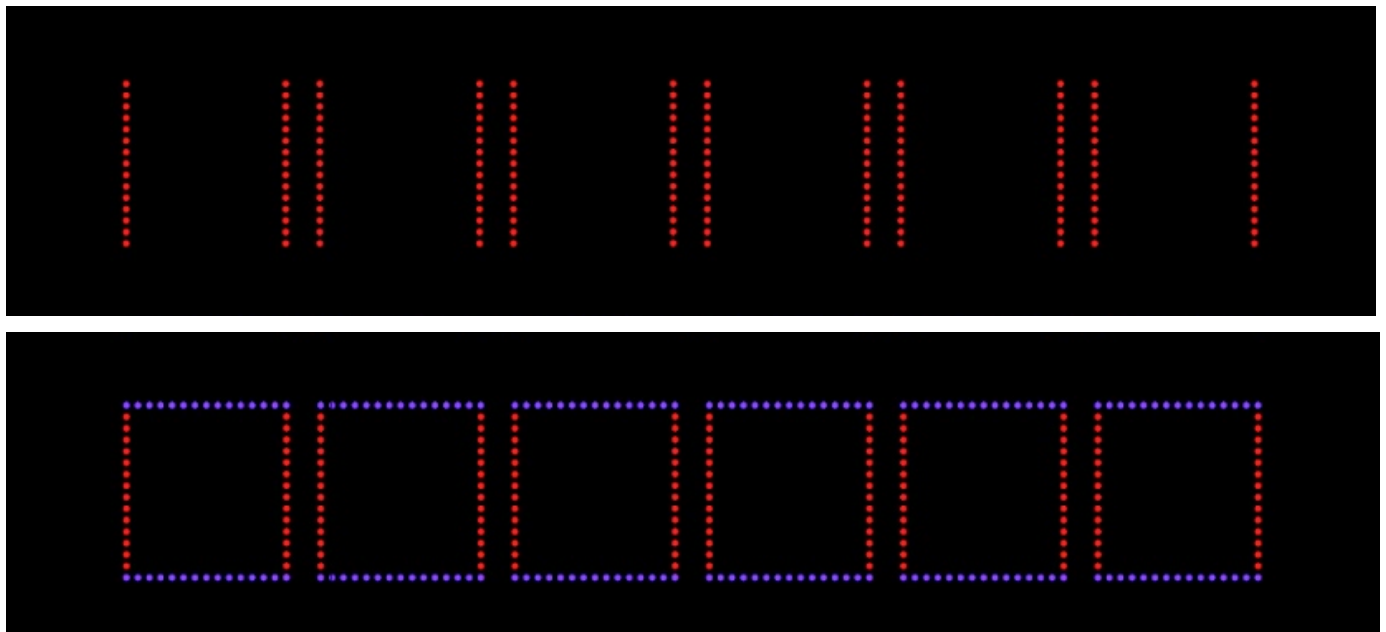


Fig. 3.9.2.1 - Esempi del principio di chiusura

Tendiamo a preferire le forme chiuse, e quindi anche quando una forma non è chiusa, il nostro cervello la completa in automatico, ricostruendo una forma in base alla memoria che abbiamo di quella forma specifica. E' un principio molto forte e spesso può prevalere sugli altri. Nella figura 3.9.2.2 si vede nella prima fila delle linee verticali che si raggruppano per vicinanza, ma che nella fila sottostante si raggruppano in quadrati aggiungendo delle linee orizzontali. La chiusura prevale sulla vicinanza e prevale anche sulla somiglianza cromatica che potrebbe far raggruppare le linee verdi.



3.7.5 Principio di direzionalità/orientamento

Questo principio definisce che a parità di altre condizioni gli elementi si allineano secondo la direzione principale nella quale sono raggruppati. Nell'esempio in figura 3.9.3.1 vediamo 3 diverse configurazioni di punti bianchi che di per sé non hanno una dimensione prevalente che può indicare una direzione, come avviene invece in un rettangolo. Nella prima configurazione sono raggruppati in una figura quadrata anch'essa senza direzione prevalente, diversamente nel secondo e terzo caso i punti sono raggruppati in due rettangoli ed acquisiscono, così, la direzione e orientamento del gruppo a cui appartengono: orizzontale il primo, verticale il secondo.

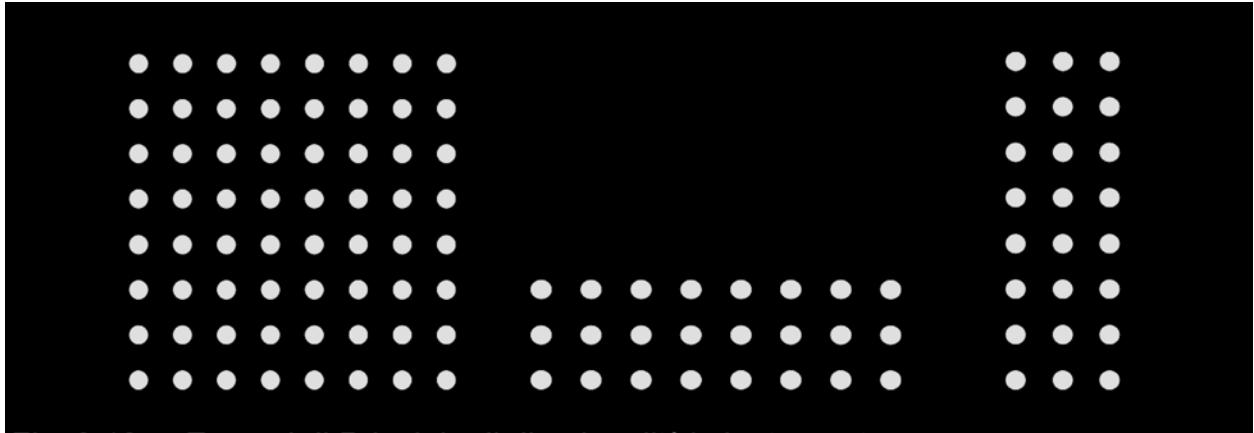


Fig. 3.9.3.1 - Esempi di Principio di direzionalità/orientamento

Secondo questo principio un segmento (come quello verde in figura 3.9.3.2) che presenta un orientamento verticale può cambiare tale orientamento e acquisirne uno diverso se viene inserito all'interno di un gruppo di elementi che genera un altro orientamento prevalente: come nell'esempio esso diventa dapprima orizzontale e poi obliquo



Fig. 3.9.3.2 - Esempi di variazione di orientamento

3.7.6 Principio di movimento comune

Anche se in letteratura questo principio spesso è assimilato al principio di orientamento o direzionalità, il movimento comune significa che a parità di altre condizioni, quando gli elementi condividono lo stesso movimento si unificano, consentendo di riconoscere un oggetto in movimento rispetto allo sfondo.

Nella figura 3.9.4.1 si vedono due gruppi: uno di quadrati e uno di rettangoli. In figura 3.9.4.2 si può notare che, ruotando soltanto alcuni di essi in eguale misura, si ottengono altri raggruppamenti basati sulla differente rotazione nello spazio.



Fig. 3.9.4.1. – Due gruppi distinti di quadrati e rettangoli



Fig. 3.9.4.2. – *Distinzione di sottogruppi per movimento comune*

3.8 Caratteristiche Aerial Media

Nei seguenti sottoparagrafi sono presentate le caratteristiche della comunicazione luminosa aerea e come il paradigma dell'animazione tridimensionale consente la progettazione del Design puntiforme necessario.

3.8.1 Visione Ambientale

Sia nei media analogici che digitali c'è sempre stato un supporto fisico come la carta o lo schermo, materiali fisici o i materiali che realizzano i dispositivi che permettono la riproduzione. Nell'Aerial Media si inaugura l'utilizzo di un supporto immateriale quale l'aria in cui i droni come pigmenti o singoli pixel si dispongono per riprodurre una comunicazione sopra il pubblico. E' un'applicazione che interagisce direttamente con i luoghi fisici che utilizza, si svolge e occupa lo spazio aereo, dunque uno spazio pubblico che grazie alla sua qualità di continuità, consente la creazione di una comunicazione che si estende sopra la frammentazione dello spazio abitato e vissuto e questa connessione mediale tende ad unificarli. L'Aerial Media è integrata in un paesaggio, che ne è il contesto e che viene trasformato, l'ambiente, naturale e artificiale, con le sue caratteristiche possiede un *genius loci* che può essere amplificato e completato, ma a prescindere dalla tipologia di contenuto rappresentato, l'ambiente insieme con l'Aerial Media formano una nuova immagine e rimangono in un continuo rapporto di interdipendenza che genera questa immagine-ambiente, ovvero un'immagine che si fa ambiente. A differenza di un tradizionale schermo che ha un angolo di visione più o meno ampio ma sempre inferiore ai 180° si ha un'immagine-scultura visibile da ogni angolazione.



Fig 3.9.5.1 - *show luminoso a Shenzhen, Cina*

3.8.2 Scala

Una differenza importante di questa immagine ambientale è l'enorme scala che può raggiungere rispetto ai media tradizionali: si è visto nel capitolo 2 esempi di eventi sia con 200 e 1000 droni che hanno sviluppato contenuti con una altezza di circa 100 metri. Il movimento dei droni determina la notevole capacità di estensione dell'immagine, grazie alla pervasività e l'assenza di limiti fisici del contenitore aria, la rappresentazione raggiunge dimensione senza precedenti e conseguentemente offre una visibilità molto estesa. I droni e le rappresentazioni che compongono sono immersi in uno spazio neutro, non predeterminato da una direzione o da un orientamento definito come avviene per lo schermo fisso e rettangolare. La comunicazione necessita di un ripensamento del contenuto sia in relazione con lo spazio fisico circostante, l'architettura e il territorio che estende e integra, sia rispetto al suo fruitore sempre ubiquo e disperso nel luogo ma al contempo con un punto di vista sempre dal basso. L'osservabilità del fenomeno è paragonabile ad uno spettacolo pirotecnico, i punti di osservazione sono in aree accessibili al pubblico e in cui la visione non è ostacolata dalle infrastrutture.

3.8.3 Audio-visivo

Come ogni forma visiva narrativa l'unione con una colonna sonora ne aumenta significativamente la forza espressiva, in un breve periodo dopo l'avvento del sonoro il cinema muto è stato completamente sostituito. Inoltre la componente audio aiuta l'interpretazione, per esempio le forme visive molto semplificate come l'animazione quando sono associate ai rumori che producono, questi possono immediatamente stimolare la lettura corretta del fenomeno rappresentato. Come si è visto, molti esempi sono stati fatti in questa direzione introducendo la componente audio durante lo spettacolo luminoso, ma la sonorizzazione di un ambiente pubblico non è normalmente presente, solo durante eventi musicali dal vivo come i concerti, una sonorizzazione ambientale è creata appositamente e predisposta con sistemi di diffusione audio comunque poco distribuiti. Inoltre la sincronizzazione dei droni con un audio esterno introduce complessità difficilmente risolvibili con i sistemi attualmente usati che si basano sul caricamento sulla memoria a bordo di ogni drone della coreografia da eseguire. La situazione cambierebbe se almeno la parte relativa al controllo delle luci fosse comandata in tempo reale dalla GCS centralizzata.

Una soluzione interessante è stata adottata da Intel nel lavoro realizzato per WallMart nel natale 2020, per ovviare alle difficoltà di creazione di una sonorizzazione ambientale per accompagnare le coreografie aeree, l'audio dello spettacolo era trasmesso su emittente radiofonica alla quale accedere per usufruire del canale audio sincronizzato alla performance.

3.8.4 Dal piano al volume, dal virtuale al reale

A parte le forme plastiche che creano oggetti come la scultura e l'architettura, la quasi totalità delle espressioni visive prodotte dall'uomo, come la pittura, la fotografia, il cinema, la grafica, e tutti i contenuti audiovisivi sono bidimensionali. Anche quelli progettati con sistemi di simulazione prospettica o propriamente tridimensionale, a causa delle limitazioni delle tecnologie di riproduzione, offrono comunque la fruizione di un'immagine 2D, proiettata cioè sulla superficie piatta o curva di uno schermo. La tecnica della prospettiva ha consentito l'illusione realistica della realtà tridimensionale, per esempio anche le moderne soluzioni come le proiezioni di contenuti tridimensionali mappate sull'architettura (projection mapping) rimangono sì distribuite sulle strutture tridimensionali fornite dagli edifici, ma l'effetto tridimensionale rimane strettamente ancorato sulla superficie della materia e anche l'eventuale illusione 3D si realizza solo quando il punto di osservazione coincide con la camera virtuale con cui la scena è stata renderizzata. Anche i moderni videogiochi tridimensionali fruiti tramite sistemi immersivi di realtà virtuale (i caschetti di realtà virtuale) rimangono comunque delle visualizzazioni generate da piccoli schermi piatti, personali e monoculari. Una caratteristica dei media immersivi è la virtualizzazione dell'esperienza offerta, si isola il fruitore dall'ambiente e dagli altri partecipanti, generando un'esperienza percettiva monoutente. Una autentica fruizione tridimensionale è, come si è già sottolineato, esclusiva della creazione scultorea, scenografica e architettonica, le quali sono forme prettamente statiche, salvo l'introduzione di meccanismi che possono permettere il movimento di alcune parti. Considerando le forme espressive in movimento come la danza o il teatro, lo spazio della rappresentazione può essere allestito con una scenografia plastica, tridimensionale, e l'azione scenica è ovviamente reale, pur tuttavia si sviluppa su un piano appoggiato e confinato prevalentemente sulla superficie del palcoscenico. Il fenomeno percettivo consentito dall'Aerial Media riporta l'accento sulla relazione con la dimensione fisica reale, la comunicazione avviene nello spazio volumetrico generando un'esperienza multi utente che va in contrasto con i piccoli schermi immersivi personali. Diversamente dalla realtà virtuale e all'immersività ad essa correlata, l'Aerial Media genera un risultato unitario, perché insiste su di uno spazio comune che è percepito da un pubblico, in cui ogni osservatore ha un punto di vista particolare del medesimo fenomeno. È un nuovo media senza cornici fisiche vocato ad una comunicazione pubblica, in cui ogni drone è un agente informazionale che concorre a generare un canale di comunicazione aerea connesso alla città intelligente. Ambiti culturali ed artistici, linguaggi, codici, per . È intimamente connesso con il luogo perché inserito in un territorio: ogni contenuto è spazializzato e orientato all'interno di uno specifico spazio fisico. La tecnologia dei droni estende nello spazio aereo, normalmente al di fuori della nostra ordinaria portata, la progettazione e la rappresentazione dell'immagine in movimento, che viene generata dall'azione di agenti robotici volanti liberi di navigare nelle 3 dimensioni.

3.8.5 L'elemento visivo: il Punto

Il punto è l'elemento base di ogni composizione visiva, la più piccola unità grafica, l'atomo di ogni espressione visuale. Ha origine quando uno strumento viene poggiato su una superficie, ovvero, secondo Kandinskij, "il punto è il risultato del primo scontro tra lo strumento e la superficie materiale". E' la forma più concisa sia nello spazio che nel tempo, poiché risulta percepibile istantaneamente. Il punto ha una sua espressività, un suo carattere, dati dalla forma, dal colore, dalle proprietà della superficie che lo accoglie, dalla sua posizione nel campo, nonché dalla materia e dallo strumento con cui è stato tracciato. Il punto, se isolato, è percepibile istantaneamente, mentre se è aggregato passa in secondo piano, perché il nostro sistema percettivo ricompone immediatamente i singoli elementi in un insieme organizzato, in un'immagine unitaria. Il punto si presenta raramente come elemento a sé stante. Generalmente perde il proprio significato dalla relazione con un altro segno, come il punto della i, che dà al segno verticale il significato di una vocale, o come il punto nel mezzo di un cerchio, che simboleggia il concetto di centro. In geometria, il punto, è chiamato concetto primitivo, ovvero non definito all'interno del sistema formale, ma usato per costruire tutti gli altri enti geometrici. Intuitivamente è considerato un'entità fondamentale priva di una qualsiasi dimensione spaziale, pertanto rappresenta una semplice posizione, la coordinata di un oggetto nello spazio.

3.8.6 Vertice 3D - posizione drone

Nella modellazione tridimensionale, il punto, può essere considerato il concetto fondamentale, ed è definito da una coordinata 3D (x,y,z). Un qualsiasi oggetto in base alla sua complessità e dettaglio è costituito da una quantità crescente di coordinate 3D, ovvero dall'insieme dei punti che ne compongono la struttura. Un oggetto 3D è un gruppo unitario di vertici, che possiede una propria origine in base alla quale può essere trasformato con traslazioni, scalature e rotazioni. Nella modellazione solida il concetto fondamentale è il vertice, ma anche per oggetti più semplici come i segmenti o le spline si usa il termine vertice per identificare i punti adimensionali che definiscono la loro forma strutturale. Nella breve storia degli spettacoli aerei le coordinate 3D, principalmente dei vertici degli oggetti, essendo l'elemento base che forma le strutture geometriche tridimensionali nei programmi di animazione tridimensionale sono diventate il collegamento tra la simulazione virtuale e lo spettacolo reale. Le informazioni contenute nella simulazione controllano gli agenti fisici droni luminosi, per un processo che assegna le coordinate virtuali alle coordinate fisiche del gps a bordo del drone. .

I vertici al di fuori del contesto della Aerial Media non hanno valore singolarmente, sono i componenti di strutture più complesse come i piani, i solidi e le forme tridimensionali dettagliate che definiscono. Nel normale processo di renderizzazione di una scena 3D non possono avere una rappresentazione (essendo senza dimensione) e pertanto non vi è utilità nella loro creazione e posizionamento. Invece in questo nuovo contesto anche il singolo punto ha un valore visivo determinante essendo sempre associato ad un drone, che potrebbe essere il punto della lettera "i" o l'occhio di una creatura. Ogni singolo punto è riferito alla posizione che deve essere mantenuta da un drone che possiede una dimensione fisica precisa e che deve essere considerata dall'inizio del processo progettuale fino all'esecuzione finale.

Il quadricottero ha una dimensione relativamente contenuta, presenta una pronunciata simmetria sul piano orizzontale, con una emissione luminosa concentrata nel suo centro geometrico, solitamente collocata nella parte inferiore a favore del pubblico sottostante. Queste caratteristiche e la notevole agilità motoria che possiede lo rendono un ideale elemento cinestetico e unità espressiva.

Il punto aereo luminoso con la sua dimensione fisica esprime il proprio valore visivo, con questa forma i simboli visualizzati che si vogliono rappresentare, l'informazione consente la forma visualizzata, deriva

dall'informazione geometrica, dove quei punti sono le coordinate tridimensionali animate, che diventano traiettorie attualizzate nello spazio fisico. Concretamente, si può pensare alla necessità di comandare la posizione di una luce che si può muovere liberamente nello spazio. Per aiutare il passaggio dai tradizionali vertici adimensionali e virtuali ai punti luminosi volumetrici, sono stati introdotti dei metodi di pre-visualizzazione che, associando marcatori o il modello semplificato dell'agente, consentono la percezione luminosa ed il volume fisico occupato, durante la progettazione, e migliorano la valutazione delle distanze. Durante la fase di design, vertici senza dimensione e non georeferenziati, vengono coreografati in una simulazione virtuale, che contiene tutti i dati di colore e posizione, per essere eseguita dagli agenti droni questa informazione viene integrata localmente, cioè, deve essere trasformata in coordinate georeferenziate, così, le traiettorie possono essere eseguite dal gruppo di luci volanti. Sia nel sistema software di Design che nella GCS Skybrush messa a disposizione dal gruppo CollMot, sono stati sviluppati strumenti per la traduzione delle informazioni delle traiettorie e sul colore associato, per consentire l'interoperabilità tra diversi formati 3D di provenienza e la formattazione richiesta dalla GCS. Il nome punto luminoso, sottolinea lo scopo di questo ente destinato alla sua visibilità, se all'aperto, dopo o durante il tramontare del sole, nelle condizioni di limitata luce ambientale della notte la percezione di ogni punto è fornita dalla luce che emette. La valenza luminosa è la caratteristica coreografica peculiare di questo nodo permettendone la presenza scenica e il valore espressivo. A differenza di un attore tradizionale il drone luminoso presente e percepito nella scena può variare istantaneamente la sua intensità luminosa a 0 e pur mantenendo la sua collocazione nello spazio scenico, passa in questo modo da uno stato di presenza a uno di non presenza (scomparsa). Il drone spento davanti al nostro campo visivo non è visibile, questo è funzionale per diverse fasi ausiliarie come la fase di decollo, atterraggio, il cambio scena, ma anche per la comparsa puntuale dell'elemento al giusto momento o semplicemente per la sua apparizione solo a costruzione avvenuta, senza doverlo anticipare mostrandone la formazione.

3.8.7 Risoluzione puntiforme

Ogni forma rappresentata, dalla scena più semplice con un singolo punto alla scena complessa definita grazie a migliaia di punti, è costituita da punti luminosi su sfondo scuro, questi sono la costante ed esclusiva materia base. Il numero di droni disponibili è la variabile che determina la capacità di rappresentazione degli oggetti desiderati. L'immagine in figura 3.9.9.2 mostra come anche un modesto numero di droni, 48, ha conseguito una notevole capacità figurativa riuscendo a rappresentare due oggetti, animare la bottiglia ed il passaggio del fluido al bicchiere. Un corretto design che sa valorizzare le forme e ottimizzare ogni drone è la chiave per



Fig.3.9.9.2.1 - CollMot, Neversea Festival in Romania

50 droni sono il numero minimo di droni per uno spettacolo all'aperto, nonostante qualche spettacolo agli inizi sia stato eseguito anche con numeri inferiori, correntemente gli spettacoli partono da 100 droni ma generalmente 200 è l'ammontare di droni maggiormente utilizzato come numero minimo. Sotto la soglia dei 200 droni si lavora principalmente con immagini bidimensionali, in cui le forme sono definite da una singola linea di contorno, allo stesso modo, per visualizzare delle scritte si usano caratteri a singola linea.



Fig.3.9.9.2.2 - *CollMot, Neversea Festival in Romania*

Si è dimostrato percettivamente efficace l'uso di piani e figure bidimensionali a cui sono applicati effetti di distorsione in tre dimensioni, in figura 3.9.9.2.3 con 100 droni è stata ottenuta la rappresentazione solida di una figura ampia e la sua animazione tramite deformazione.

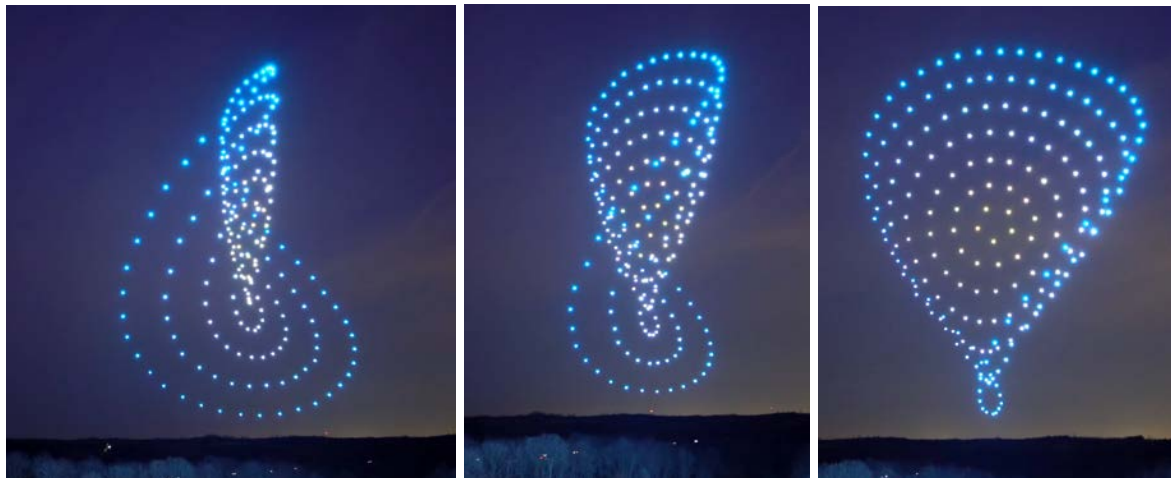


Fig.3.9.9.2.3 - *FireFLy esempio con 100 droni*

E' difficile, con pochi punti, ottenere delle rappresentazioni convincenti di solidi tridimensionali statici, si usano gradienti lungo la geometria per facilitare la percezione o trasformazioni di scala e rotazioni.



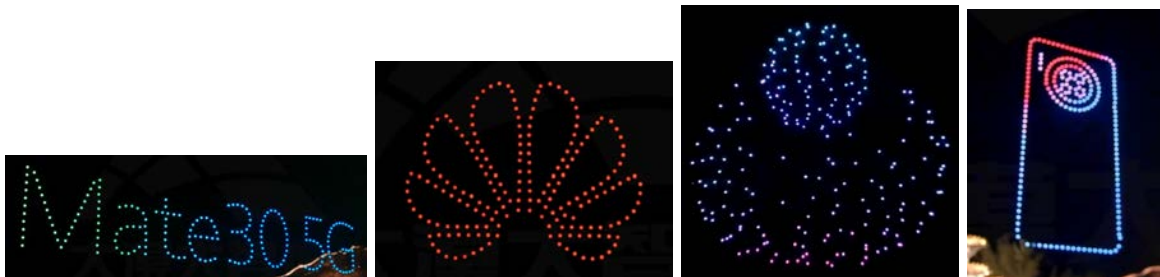
Fig.3.9.9.2.3 - CollMot, Neversea Festival in Romania

Nell'immagine a sinistra un cubo e in quella a destra una sfera, fermati in una immagine, risultano poco riconoscibili, come vedremo nel capitolo “delle forma in movimento- dinamico” nella scena, per aumentarne l'efficacia, una rotazione è impartita alla geometria sulla sua origine geometrica. L'azienda cinese DAMODA, che fino a Giugno 2021 detiene il record dello show col maggior numero di droni, ha creato un video con un utile campionario di scene composte da 100 droni al record attuale di 3100 droni. In questo contesto, per illustrare l'aumentare delle capacità rappresentative all'aumentare del numero di droni coinvolti, è utile riportare una selezione degli esempi associati alle varie categorie di flotte utilizzate.

100 droni



200 droni



300 droni



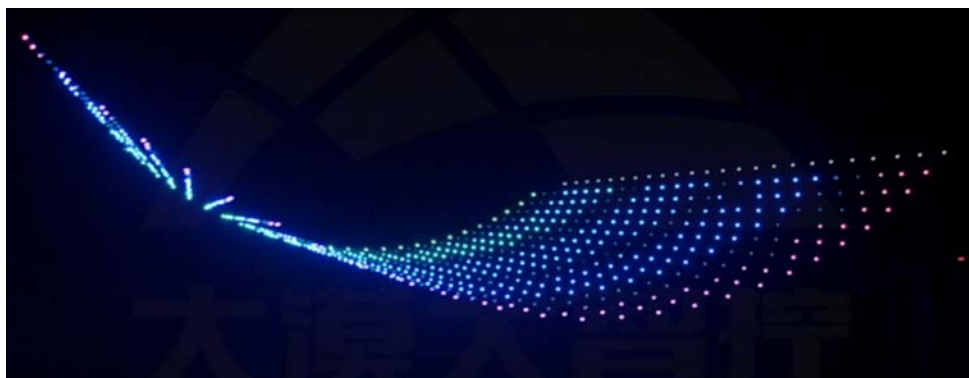
500 droni

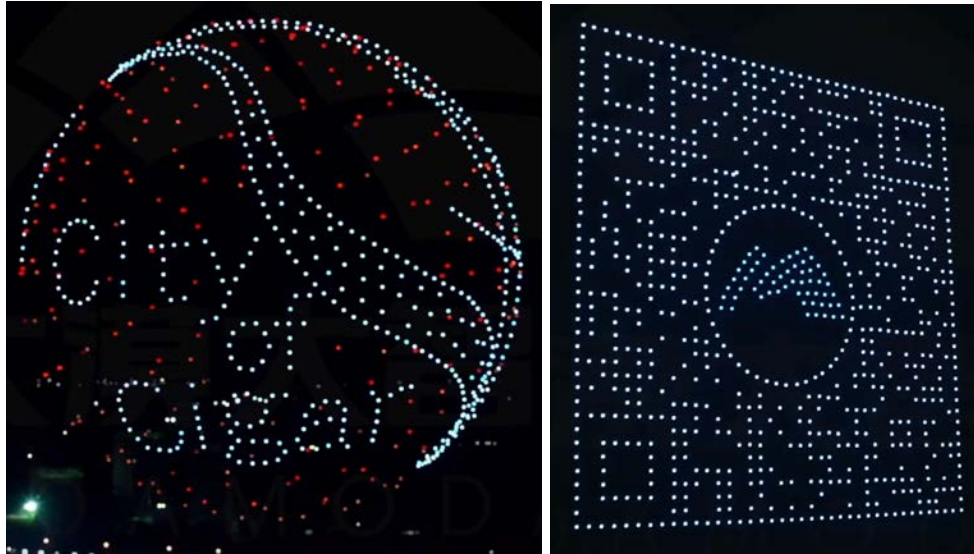


600 droni



700 droni





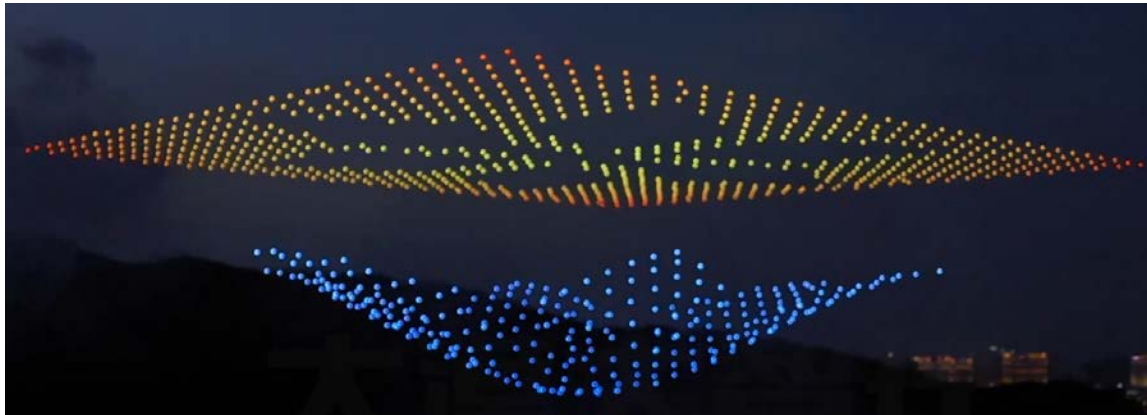
800 droni



900 droni



1000 droni



1200 droni



1500 droni

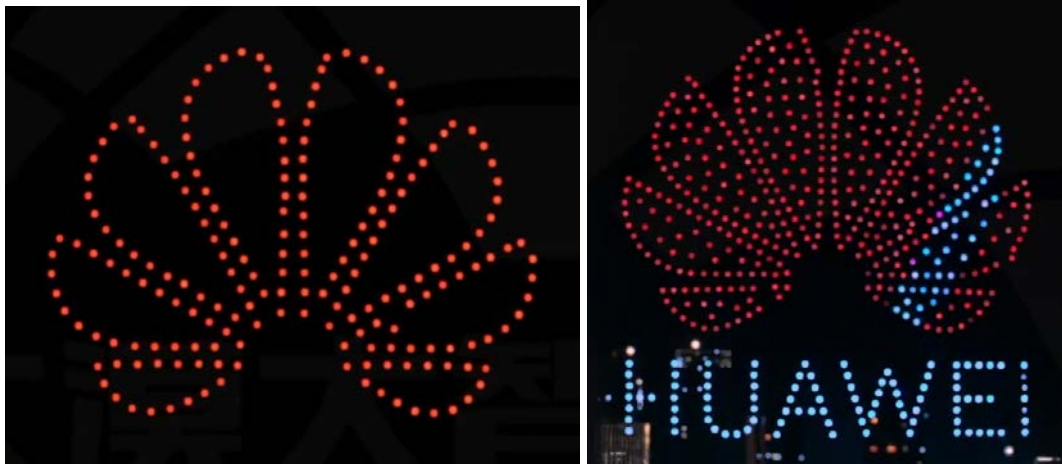


3051 droni

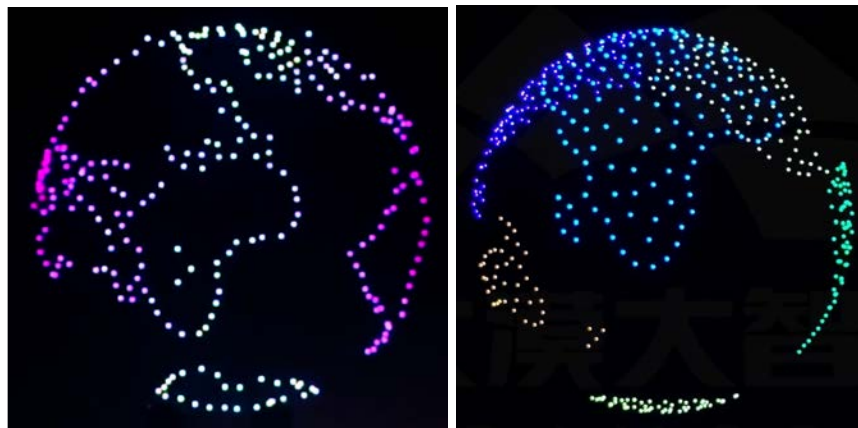


All'aumentare dei droni disponibili il dettaglio e la potenziale estensione spaziale della rappresentazione crescono. Sotto i 500 droni le forme sono create dal contorno semplice degli

oggetti, è a partire dai 500 droni che si nota la comparsa di elementi in cui il contorno è riempito con una griglia per simulare un riempimento solido.



200 droni - 800 droni



300 droni - 500 droni

3.9 Progettazione Aerial Media in Cinema4D

Essendo una nuova applicazione non sono stati ancora sviluppati dei software dedicati alla creazione dei contenuti coreografici pertanto gli spettacoli di droni hanno utilizzato gli strumenti di progettazione tridimensionale preesistenti. Sono stati i programmi di animazione 3D che hanno colmato questa richiesta e vengono utilizzati per una parte limitata delle loro capacità, in particolare due sono le componenti e strumenti usati per la progettazione delle coreografie aeree. La prima è la sezione di modellazione, per comporre gli elementi nello spazio, rappresentare gli oggetti, le creature e le scene, la seconda è la sezione di animazione, per muovere, trasformare, produrre interazioni fra le forme create e animare la luci. Queste due componenti però, come il programma in cui sono inseriti, sono pensati per creare simulazioni di oggetti ed animazioni, in generale scene virtuali dove tutto è possibile e non vi è nessuna limitazione in ciò che può essere creato e animato nella scena, per esempio le dinamiche e i comportamenti possono essere determinate da regole fisiche non realistiche. Per poter chiarire i punti presentati in questo paragrafo è utile soffermarsi su alcune nozioni base relative ai dati di posizioni.

Internamente i programmi di animazione 3D associano ad ogni vertice un ID univoco, ogni oggetto è costituito da una serie ordinata e continua di punti.

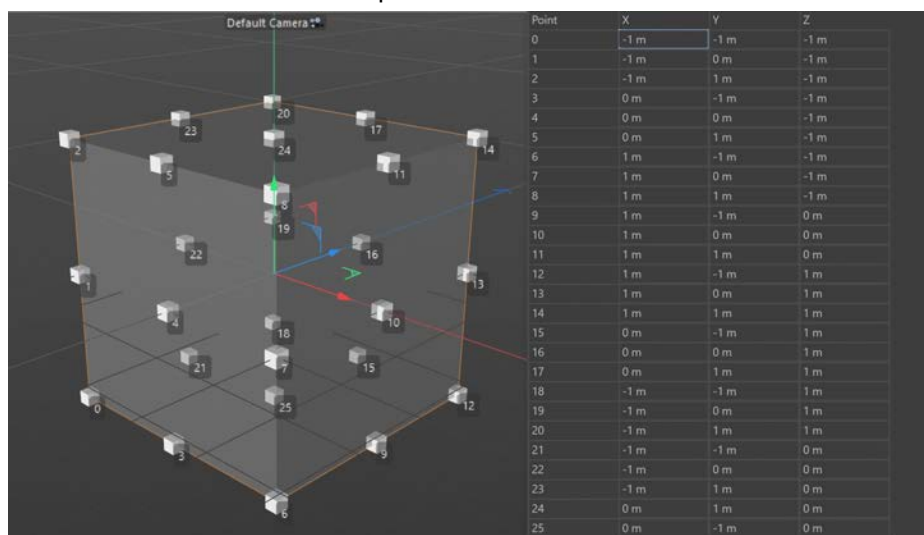


Fig.3.9.9.3.1 - solido 3d e i suoi vertici che lo costituiscono

Nel pannello di destra nella figura 3.9.9.3.1 sono elencate le coordinate relative a un gruppo composto di 26 punti associati al solido cubo visibile nella parte di sinistra.

Queste posizioni sono relative a un istante temporale, al frame corrente: ogni animazione ha un elemento chiave che si chiama key frame (key). Le chiavi contengono i movimenti e le altre informazioni pertinenti un oggetto in un determinato momento dell'animazione. La maggior parte delle animazioni necessitano la definizione di almeno due chiavi. Il cambiamento del valore di una proprietà di un oggetto viene interpolato tra questi due keyframe (per esempio la traslazione da 0 nella chiave 1 a 100 m nella chiave al frame 50). Il movimento può essere visto mettendo in play l'animazione. Le tracce di animazioni servono per differenziare le proprietà che sono correntemente animate, rappresentano i cambiamenti temporali di una proprietà dell'oggetto.

3.9.1 Font Design

In questa sezione vengono presentati differenti procedimenti che sono stati eseguiti per la fase di creazione di missioni luminose per la rappresentazione della scrittura delle parole. Ogni procedimento risolve una diversa richiesta, nel primo si creano i font di un intero alfabeto alfanumerico (puntiforme) a singola linea usando come modello un font classico, nel secondo l'approccio di rappresentazione luminosa a singola linea viene applicato per rappresentare un logo esistente. Poiché gli strumenti esistenti non sono stati creati prevedendo le necessità della restituzione puntiforme, diversi metodi sono stati utilizzati all'interno del programma tridimensionale Cinema4D. Utilizzando gli strumenti integrati nel software sono stati creati font puntiformi usando tentativi sempre più complessi alla ricerca di metodi in grado di garantire un controllo sulla distribuzione e di automatizzare la strutturazione puntiforme per non renderla completamente manuale. L'esperienza acquisita valutando i risultati ottenuti permette di comprendere i limiti di ogni metodo basato sugli strumenti integrati ma anche di identificare quale metodo e interfaccia ideale per ottenere le caratteristiche desiderate della distribuzione dei punti. Le due regole iniziali desiderate sono l'omogeneità della distanza tra i punti all'interno del carattere, e la maggior coerenza possibile di questa distanza tra i punti in ogni lettera del carattere.

E' suddiviso in 3 sezioni, dedicate alla creazione di specifici set di caratteri sempre più definiti e che richiedono l'uso di un maggior numero di punti: a singola linea, a doppia linea (contorno interno ed esterno), contorno e riempimento interno.

3.9.2 Caratteri a singola linea

I caratteri a singola linea sono la tipologia preferenziale perché sono quelli che necessitano del minore numero di punti. Sono state selezionate singole lettere per essere rappresentate con un numero fisso di punti. Per ottenere ciò sono stati costruiti elementi spline per lavorare sulla **distribuzione** dei punti lungo la geometria del carattere.

Il primo progetto si è prefissato la costruzione di un set di caratteri a singola linea partendo da caratteri esistenti e consolidati. Sono stati scelti caratteri maiuscoli perché generalmente necessitano di minore definizione per essere rappresentati puntiformi, sono maggiormente lineari e senza diramazioni. La maggioranza degli apparati per la segnalazione luminosa stradale e i tabelloni informativi per la comunicazione pubblica utilizzano infatti caratteri maiuscoli senza per questo compromettere la leggibilità delle parole. E' sicuramente la terminazione delle aste che deve essere lineare, per essere pulita e facile da leggere e, al contempo, permette di risparmiare punti necessari. Per questa ragione sono stati selezionati e confrontati 3 font senza bastoni e grazie, molto diffusi: Arial, Tahoma e Verdana.

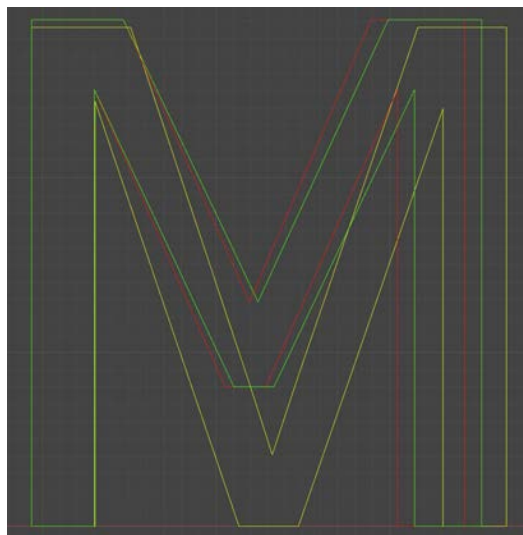


Fig. 3.9.9.5 - 3 tracciati vettoriali della lettera M, con font Arial, Tahoma e Verdana

E' stato impiegato l'elemento MoText di Cinema4D che consente di immettere una scritta come input e selezionare, tra i set di caratteri installati sul computer, il carattere desiderato. MoText visualizza la scritta inserita creandone il tracciato vettoriale. Nella figura 3.9.9.5 sono allineati a sinistra 3 oggetti MoText, la lettera M impostata con tre diversi font. Col colore giallo è rappresentato il font Arial, con il rosso il Tahoma e il verde per il font Verdana. Si procede creando tanti oggetti MoText per ogni singola lettera che deve essere costituita puntiforme. Questo procedimento ha bisogno di creare tanti oggetti Matrix associati ai tracciati vettoriali delle singole lettere per consentire di configurare opportunamente la distribuzione delle differenti lettere. Nel caso del carattere a singola linea il tracciato vettoriale dell'oggetto Motext deve essere usato come guida per la costruzione di un tracciato spline a singola linea che verrà usato come input dell'oggetto Matrix per disporre i punti di lettere a singola linea.

3.9.2.1 Lettera A

Il primo passaggio è la creazione del tracciato spline per definire il tratto singolo che si vuole creare. Nell'immagine 3.9.9.5.1 a sinistra mostra lo studio della lettera A per mettere a confronto i 3 caratteri inizialmente presi in esame. Nell'immagine di destra l'interpretazione manuale di una struttura mediana, costruita con 2 spline aperte, per creare il tracciato a singola linea della lettera A.

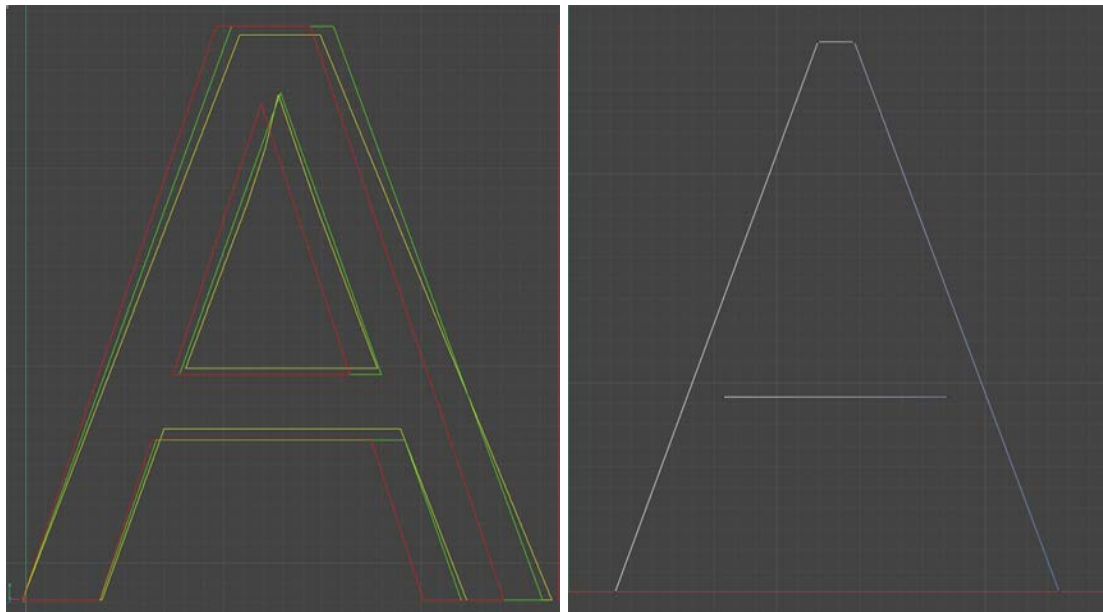


Fig.3.9.9.5.1.1 - A sinistra 3 tracciati vettoriali della lettera A, a destra la spline mediana

La figura 3.9.9.5.1.2 mostra una serie di prove di restituzione del carattere A utilizzando il tracciato mediano creato nel passaggio precedente. Impostato il tracciato come guida per la distribuzione dei punti si procede ad incrementare il numero degli stessi lungo le 2 spline separate, analizzando percettivamente la qualità della restituzione puntiforme e il comportamento nei punti critici. Per questa prima prova è stato sperimentato uno script python che permette di selezionare per ogni segmento della spline il numero di punti desiderato e in automatico questi vengono distribuiti con la medesima distanza tra di loro. Sono state prodotte 6 soluzioni, partendo dall'uso di 9 punti totali a sinistra, poi 10, 11, 13, 15 e 17 per l'ultima a destra.

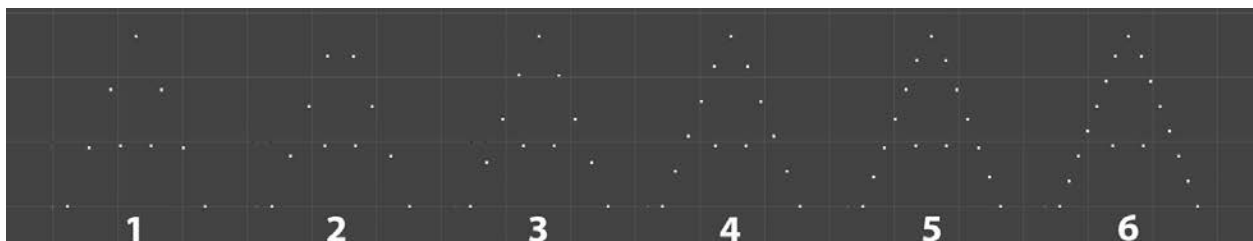


Fig. 3.9.9.5.1.2 - Lettera A con diverse densità di punti

La definizione del tratto orizzontale interno è stato fissato con due punti, invece la parte variabile, sono la seconda spline formata dai due tratti obliqui. Nella prima soluzione per la parte variabile sono usati 7 punti, sul vertice superiore giace il 4° punto. La spaziatura lungo la parte obliqua è troppo alta rispetto a quella presente sul tratto orizzontale, composto ora anche dal 2° e 6° punto presenti sulla spline della parte variabile. L'aumento dei punti totale, da 7 a 8 totali, nella seconda soluzione non permette di assegnare un singolo punto al vertice superiore, il punto di incontro delle rette oblique. Pertanto due punti hanno la stessa coordinata verticale e tra di loro si instaura una distanza orizzontale troppo ridotta, ciò ha fatto scartare nelle soluzioni successive l'attribuzione di numeri pari per questa spline in modo da evitare questa situazione sullo spigolo. Osservando le successive soluzioni della lettera A, la numero 5 appare nel complesso come il miglior compromesso raggiunto con questo approccio. A conclusione della prima lettera prodotta è utile fare due considerazioni, la prima per sottolineare che la situazione del doppio punto per il vertice superiore della lettera A, nella seconda soluzione, è causata dalla struttura della spline mediana creata nel primo passaggio. La seconda riguarda la scelta della miglior soluzione tra le sei prodotte, questa, come la definizione di un set di caratteri, può essere fatta soltanto valutando l'omogeneità della distribuzione tra la lettera A e tutte le altre lettere dell'alfabeto.

3.9.9.5.2 Lettera B

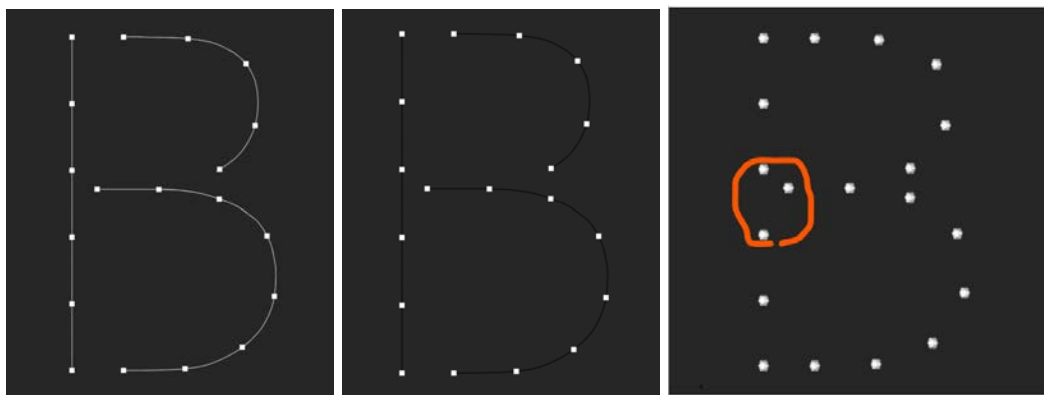


Fig 3.9.9.5.2 - Studio lettera B

Inizialmente si era composta la lettera B con solo due splines (una per l'asta verticale e la seconda per le due curve), ma la parte centrale in cui le due curve si uniscono generano sovrapposizioni dei punti virtuali. Pertanto, come si mostra la figura 3.9.9.5.2 la lettera B ha richiesto la costruzione manuale di 3 distinte splines in modo tale da non far sovrapporre i punti nel tratto orizzontale centrale che è stato annesso alla sola spline della curva inferiore. Nonostante il maggior lavoro manuale per calibrare una omogenea distanza tra i punti tra le 3 splines, la difficoltà di trovare una configurazione che consenta la presenza di un punto sulla linea verticale allineato con la linea centrale orizzontale rimane irrisolto come mostra la parte cerchiata in rossa nell'immagine a destra.

3.9.2.2 Lettera E ed F

Costruendo con le spline la lettera “E” è possibile ricostruirla con 2 segmenti separati, il primo può partire dall’asta superiore orizzontale, passare per l’asta verticale e finire tracciando l’asta inferiore orizzontale. Il secondo segmento delinea l’asta orizzontale mediana. Usando per il primo segmento una distribuzione basata su un distanziamento omogeneo dei punti facendo opportunamente coincidere la presenza del primo e ultimo punto con gli estremi del segmento non è stato possibile trovare una valore adatto a far coincidere un vertice nel punto di congiunzione tra le due spline, in cui l’asta verticale incontra l’asta orizzontale mediana.

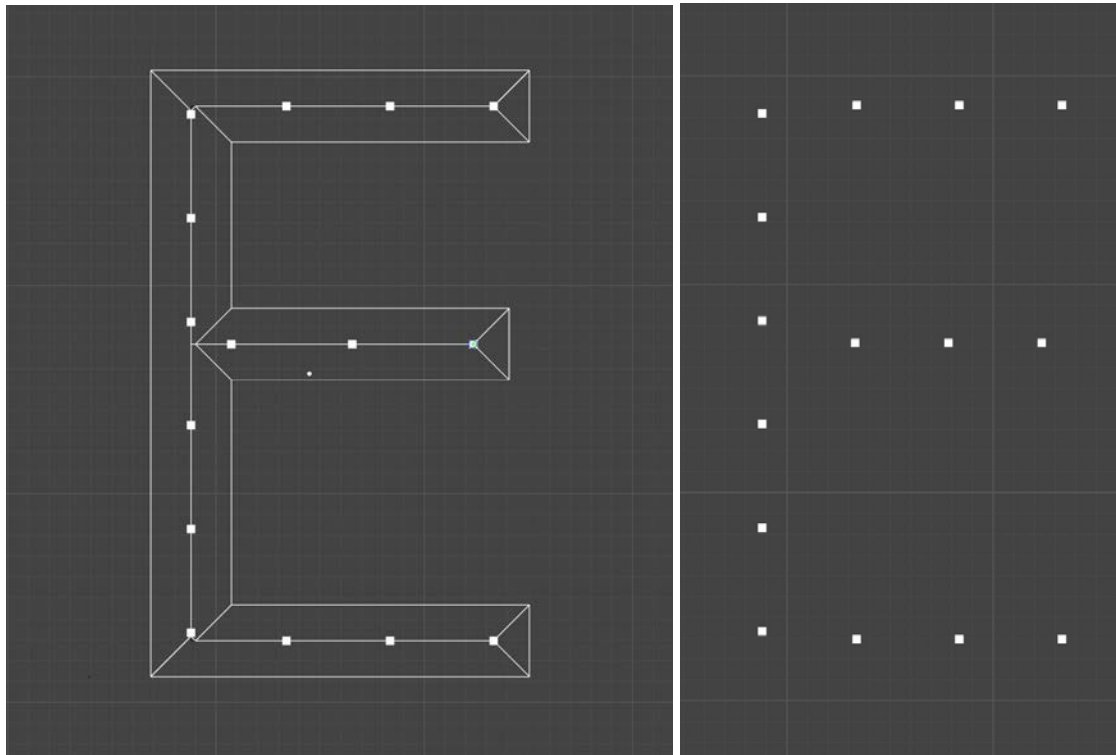


Fig. 3.9.9.5.3.1 - studio lettera E

Coma si nota in figura 3.9.9.5.3.1 il disallineamento in altezza tra il primo e l’ultimo punto costruiti sull’asta verticale rispetto al vertice iniziale e finale dell’asta verticale è relativamente contenuto, mentre il difetto più marcato è il disallineamento esistente tra i 3 punti dell’asta orizzontale mediana che non trovano un quarto punto costituito da quelli esistenti sull’asta verticale. La correzione di questo difetto ha bisogno di un intervento nella struttura del carattere modificando opportunamente l’altezza dell’asta orizzontale mediana per allinearla con un punto dell’asta verticale.

Per la lettere F sussiste il difetto precedente incontrato con la lettera E, i due caratteri differiscono solo per la mancanza dell’asta inferiore nella lettera F.

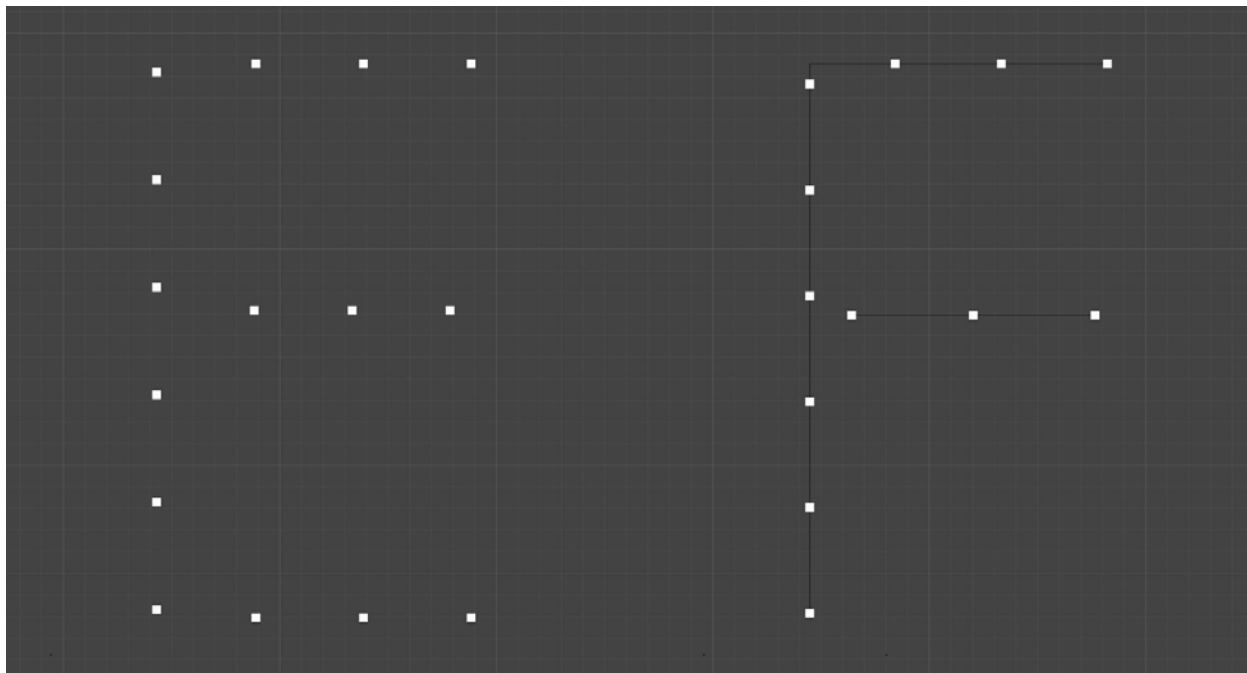


Fig. 3.9.9.5.3.2 - *studio lettera F*

3.9.2.3 Set caratteri a singola linea

Nel confronto tra le restituzioni delle prime 5 lettere è evidente la problematica di ottenere contemporaneamente una distanza omogenea tra i punti e la coincidenza del punto-drone sul vertice della forma della lettera.

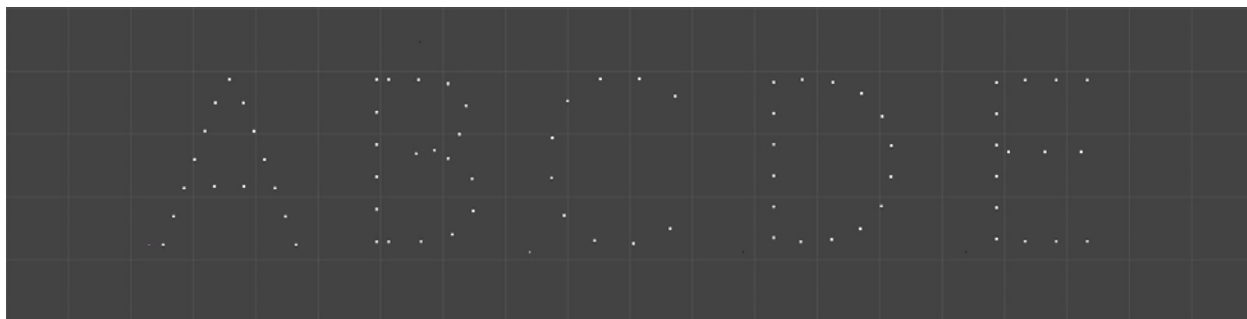


Fig. 3.9.9.5.4.1 - *Studio prime 5 lettere dell'alfabeto*

La compresenza di entrambe le condizioni è ottenuta pienamente solo per la lettera C poiché è formata da una singola curva. Per la lettera D la concomitanza delle 2 condizioni è quasi raggiunta, dando priorità all'asta verticale in modo da rendere accurato il posizionamento del primo e del sesto punto ai capi del segmento e poi lavorando alla parte curva trovando la distanza tra i punti più simile al segmento verticale e che permette di minimizzare la differenza tra le distanze di raccordo inferiore e superiore. La lettera A ha bisogno di una simmetria perfetta sui segmenti obliqui e successivamente di una modifica al segmento orizzontale per allinearli in modo da trovare una continuità con i punti già presenti. Per la lettera B, come già

descritto, costituita da 3 segmenti la situazione si complica ulteriormente nelle 3 giunture fra questi. Il lavoro di affinamento ha reso necessarie numerose iterazioni, che ha permesso di cambiare l'approccio iniziale che dava precedenza all'utilizzo del minor numero di spline a favore di una scomposizione manuale di ogni segmento. Nonostante un lavoro preparatorio maggiore richiesto per costruire separatamente ogni singolo segmento questo metodo consente di avere un controllo completo sulla collocazione dei vertici di particolare valore percettivo e di ottenere un distanziamento più omogeneo sulle giunture dei segmenti. L'approccio di creare spline separate per aumentare il controllo ottenibile è stato apportato su ogni lettera e numero, il risultato più uniforme ottenuto con questo approccio è presentato nell'immagine nella figura 3.9.9.5.4.1.



Fig. 3.9.9.5.4.2 - Set di caratteri alfanumerici

3.9.2.4 Logo ricostruito singola Linea

Per approfondire le problematiche nella costruzione di caratteri a singola linea e confrontarsi con la restituzione di una parola e gli allineamenti tra le lettere di cui è composta. E' stato creato il tracciato mediano della scritta "luminous" del logo esistente visibile in figura 3.9.9.5.5.1.



Fig. 3.9.9.5.5.1 - Scritta a singola linea sovrapposta al logo esistente

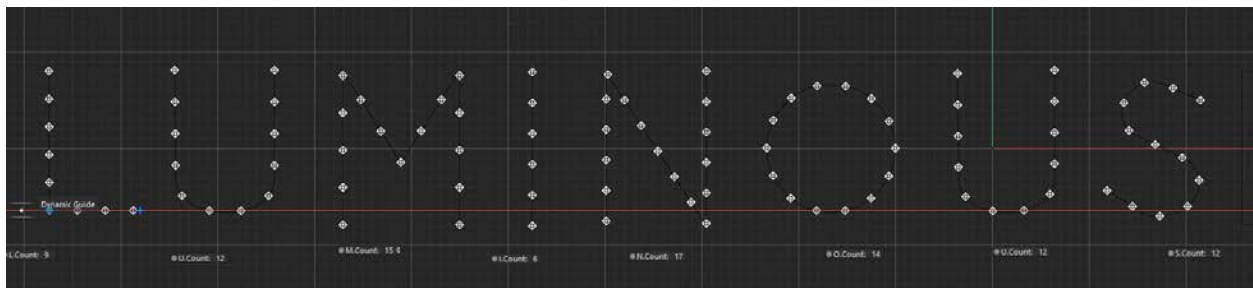


Fig. 3.9.9.5.5.2 - *Tracciamento a singola linea di un logo esistente*

La lettera L ha richiesto il minor numero di punti (9) e la lettera N ne ha richiesto il numero maggiore (17). Un difetto evidente si presenta nella lettera M e N, nelle quali è importante avere un solo vertice negli spigoli di congiunzione tra le aste verticali e la trasversale spezzata per la M e l'obliqua della N. In questo modo però sia la linea di appoggio inferiore che quella superiore sono oltrepassate causando altezze diverse fra i caratteri. Operando una seconda iterazione è possibile sistemare la maggior parte di queste problematiche. Rimane evidente che la ricostruzione a singola linea di un normale logo richiede delle opportune modifiche come mostra la linea di appoggio rossa nella figura 3.9.9.5.5.2 che, come la superiore, deve essere comune ad ogni carattere.

3.9.3 Set caratteri doppia linea

La creazione della versione a singola linea ha comportato la creazione di una linea mediana sull'asta del carattere. Un carattere a doppia linea non ha bisogno della creazione di strutture di supporto ed è descritto dalle aste dei caratteri che formano il doppio contorno presente normalmente in ogni tratto del carattere. Si è proceduto utilizzando il font Tahoma utilizzato per la costruzione dei caratteri a singola linea. Sono stati creati in Cinema4D sei elementi MoText distinti per rappresentare le lettere componenti la parola "genova". Un settimo elemento MoText è stato creato (mantenendo le impostazioni usate nei 6 MoText delle singole lettere) per scrivere l'intera parola "genova" ed ottenere una guida per la corretta spaziatura tra le lettere che è stata usata per distribuire orizzontalmente le sei lettere separate.

La realizzazione di visualizzazioni puntiformi di caratteri a doppia linea partendo da caratteri reali (font Tahoma) ha mostrato molteplici difficoltà e problemi per ottenere delle simmetrie ideali tra i due contorni: oltre i due principali problemi già incontrati nella tipologia a singola linea, la presenza dei punti-droni sui vertici e l'omogeneità tra le distanze dei punti tra i segmenti separati, si è verificata una difformità nel risultato puntiforme tra tratti apparentemente uguali nello stesso carattere.

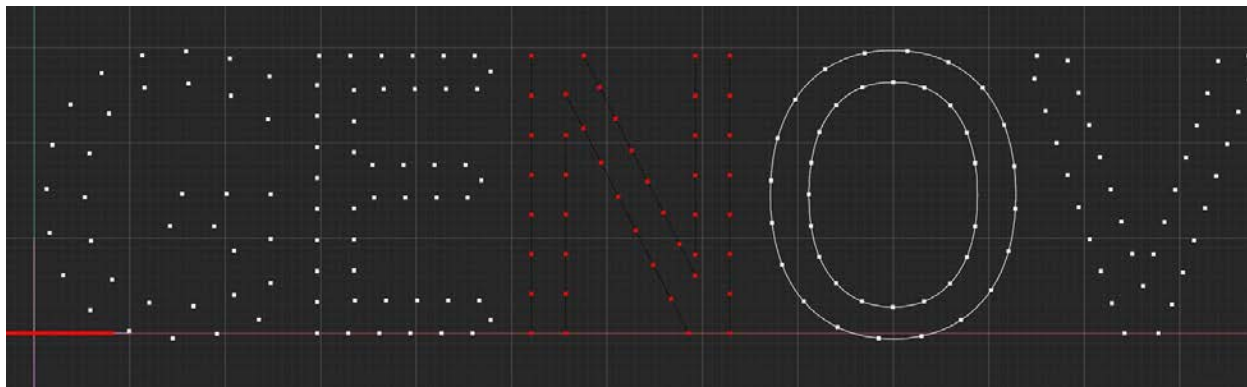


Fig. 3.9.9.5.6 - *Prima distribuzione sul contorno della parola "genova"*

Per verificare le difformità nella distribuzione dei punti all'interno dello stesso carattere si è isolato il problema nella lettera N e misurato i tratti delle aste. Come mostra la figura 3.9.9.5.7 i tratti considerati di uguale lunghezza presentano invece delle misure differenti.

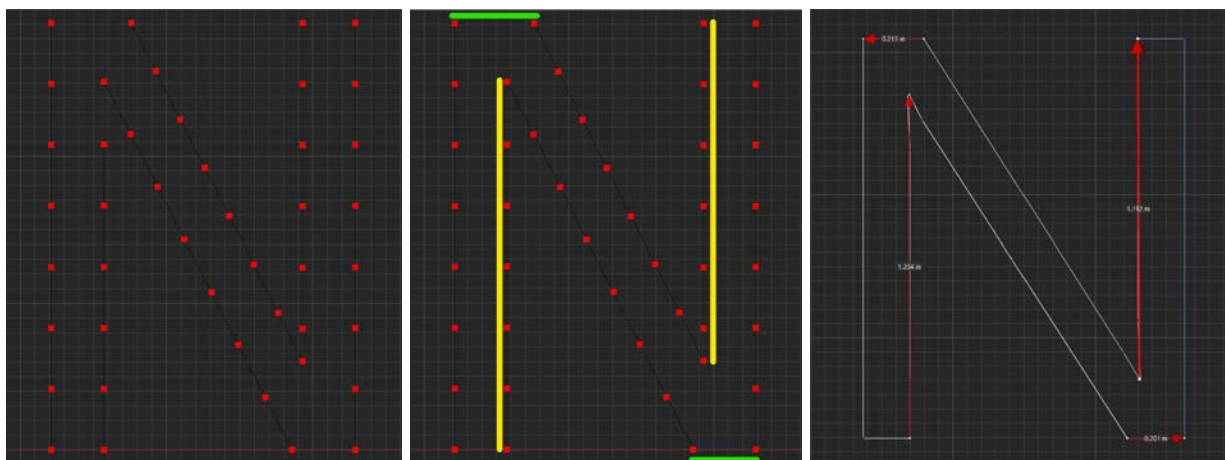


Fig. 3.9.9.5.7 - *Studio lunghezze singoli tratti lettera N*

Per escludere un difetto nel processo di vettorializzazione del software 3d si è misurato un secondo font l'Arial Black. La medesima problematica è stata riscontrata utilizzando un secondo carattere preso in esame, come mostra la figura 3.8.9.2. Le dimensioni delle parti che apparentemente sarebbero dovute essere concordanti verificate puntualmente sono dissimili.

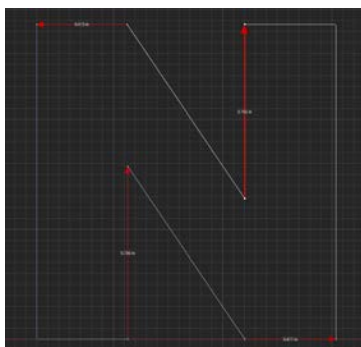


Fig. 3.9.9.5.8 - Studio lunghezze tratti nel carattere Arial Black

In figura 3.8.9.3 lo studio sulla difformità dei tratti della lettera N è stato esteso su 5 font.

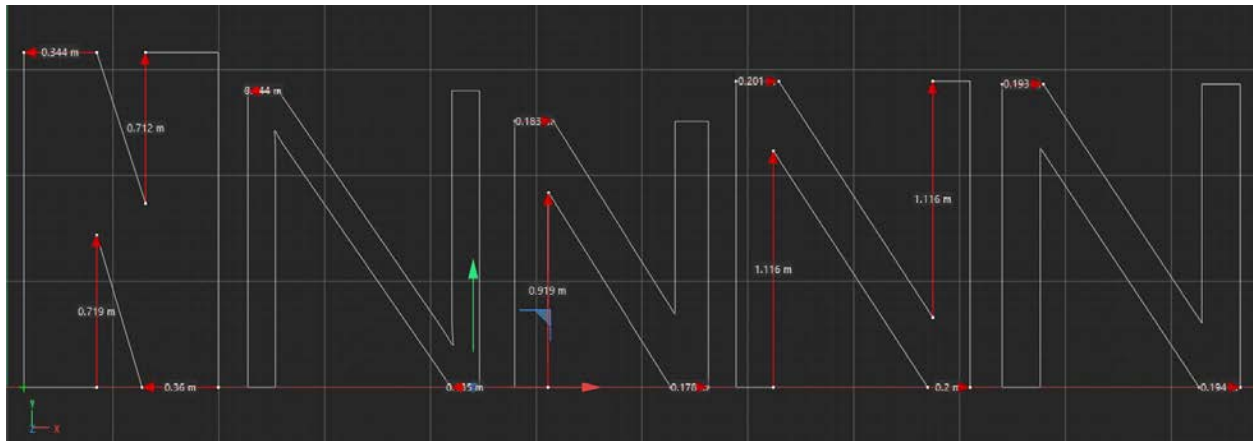


Fig. 3.9.9.5.9 - Misurazione dei tratti nella lettera N in 5 font

Si è appreso chiaramente che i caratteri sono stati opportunamente manipolati proprio dal processo di font design per attuare le opportune correzioni ottiche.

In conclusione per la creazione di caratteri a doppia linea un processo manuale di adattamento è richiesto se si parte come riferimento da set di caratteri esistenti, anche su parti strutturali apparentemente non critiche.

3.9.4 Lettera solida

Dopo aver studiato la rappresentazione di caratteri a singola e doppia linea, le due modalità più indicate quando si hanno a disposizione uno sciame di droni limitato, questa sezione si confronta con la resa del corpo del carattere con un riempimento puntiforme che ha bisogno di uno sciame che generalmente supera i 200 agenti. Il primo approccio è stato quello di generare un reticolato che riempie la faccia con una figura regolare che diventando più densa permette di ricostruire percettivamente una superficie solida per il corpo della lettera. Un metodo alternativo consiste nel suddividere all'interno dei contorni della lettera con spline tra loro parallele. Quest'ultimo metodo, nella versione più essenziale con 3 spline e tutte le serie dispari, ibrida esattamente il primo studio relativo alla restituzione a singola linea, in cui la linea mediana costituisce il riempimento più essenziale, con il secondo studio del bordo interno ed esterno, il contorno dell'oggetto. Ne consegue l'elevato numero di punti necessario per realizzare la resa solida puntiforme delle lettere, questo studio ha imposto il limite di 200 punti disponibili e sono state usate le 2 lettere "G" ed "E" accostate oppure singolarmente. Le prove sono state condotte esplorando le possibilità offerte dallo strumento di generazione di lettere (MoText), questo oggetto integra un pannello di configurazione della resa e gestione della faccia frontale e posteriore della

lettera e anche una sezione per abilitare e configurare la gestione del profilo del suo bordo. La prima possibilità presa in esame è stata quella di generare la faccia frontale, definendo come questa mesh deve essere costituita. Le modalità Triangles/Quadrangles producono Triangoli e Quadrilateri, rispettivamente, N-Gons crea un singolo poligono, queste prime 3 modalità non creano nuovi punti sulla faccia perciò non sono utilizzabili poichè non suddividono la mesh al suo interno e non è possibile ottenere il riempimento desiderato.

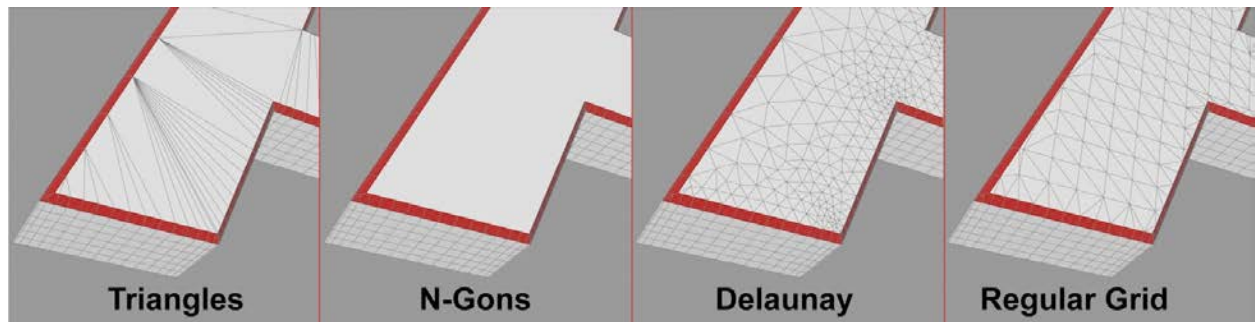


Fig. 3.9.9.6.1 - *Raffronto tra le suddivisioni della mesh prodotta dell'oggetto MoText*

La modalità Delaunay offre suddivisioni molto adatte per animare e deformare l'oggetto senza causare artefatti, ma la sua resa organica rimane troppo irregolare e il controllo che offre è insufficiente per ottenere una suddivisione omogenea (Fig. 3.9.2).

E' stato usato il font Noto Sans nella sua versione bold in modo da ottenere uno spessore per le lettere adatto per una visualizzazione di questa superficie. Per distribuire i punti sono stati usati oggetti Matrix configurati per usare gli elementi MoText che generano la lettera G e la E come referenti. Nell'elemento Matrix la distribuzione dei punti è stata configurata sui vertici della suddivisione, ottenendo 715 droni come numero necessario per la lettera G, senza possibilità di eseguire una suddivisione con un minor numero di elementi nell'elemento MoText, usando triangoli di maggior dimensione.

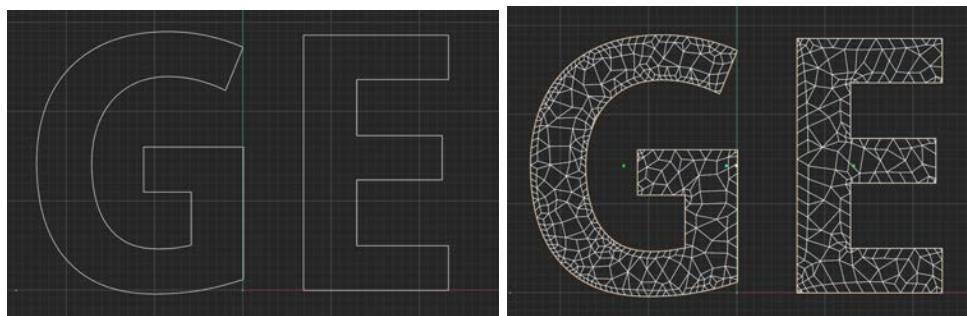


Fig. 3.9.9.6.2 - *Tracciato vettoriale a sinistra, suddiviso con metodo Delaunay a destra*

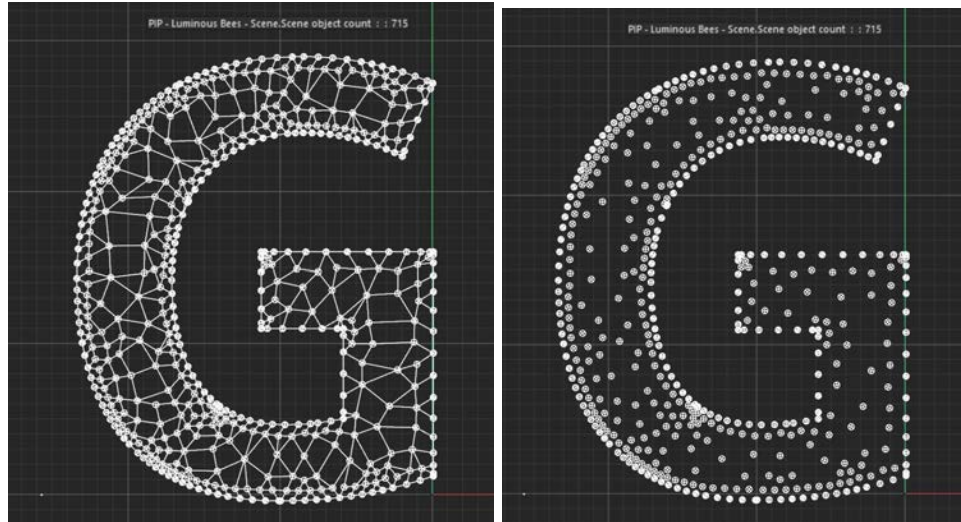


Fig. 3.9.9.6.3 - *Suddivisione con la tipologia Delaunay e distribuzione sui vertici*

Provando a cambiare la distribuzione dai vertici al centro dei poligoni il numero di punti scende a 669, una diminuzione troppo contenuta, che non migliora la distribuzione troppo irregolare e caotica (figura 3.9.9.6.4).

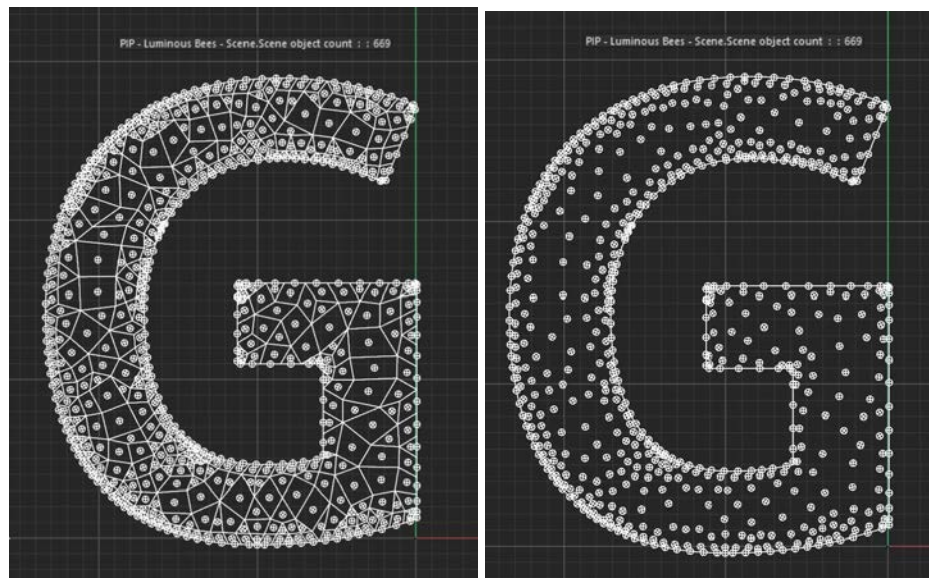


Fig. 3.9.9.6.4 - *Suddivisione con la tipologia Delaunay e distribuzione sul centro dei poligoni*

Usando la modalità “Griglia regolare” la faccia viene costruita con poligoni di dimensioni simili distribuiti in maniera regolare.

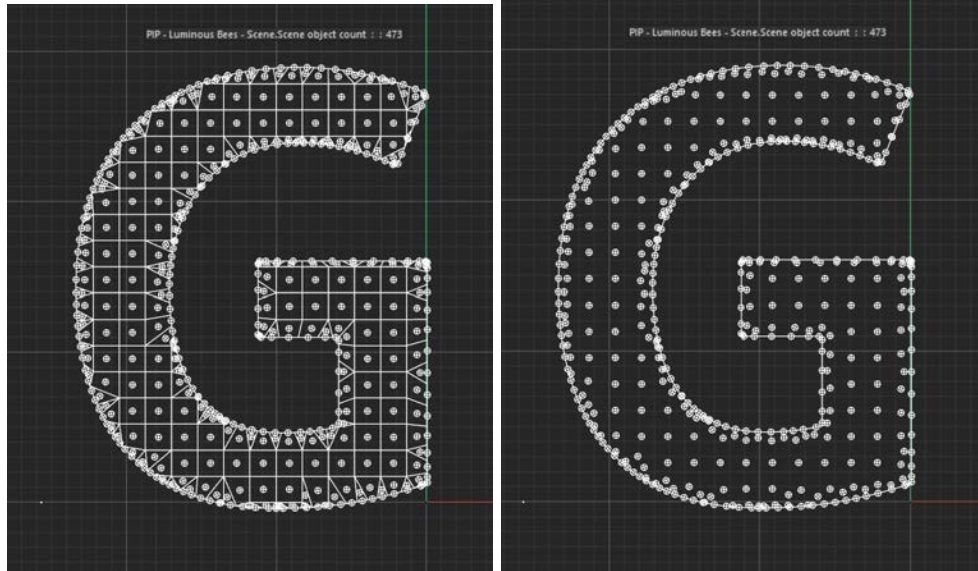


Fig. 3.9.9.6.5 - Suddivisione a griglia regolare e suddivisione Spline in modalità subdivided

Nell'immagine in figura 3.9.9.6.5 è stata usata la distribuzione nei centri dei poligoni e grazie al notevole controllo offerto dal parametro size in questa modalità si è raggiunto il numero di 473 punti. Si notano troppi artefatti indesiderati nei bordi senza possibilità di intervenire ulteriormente con questo strumento.

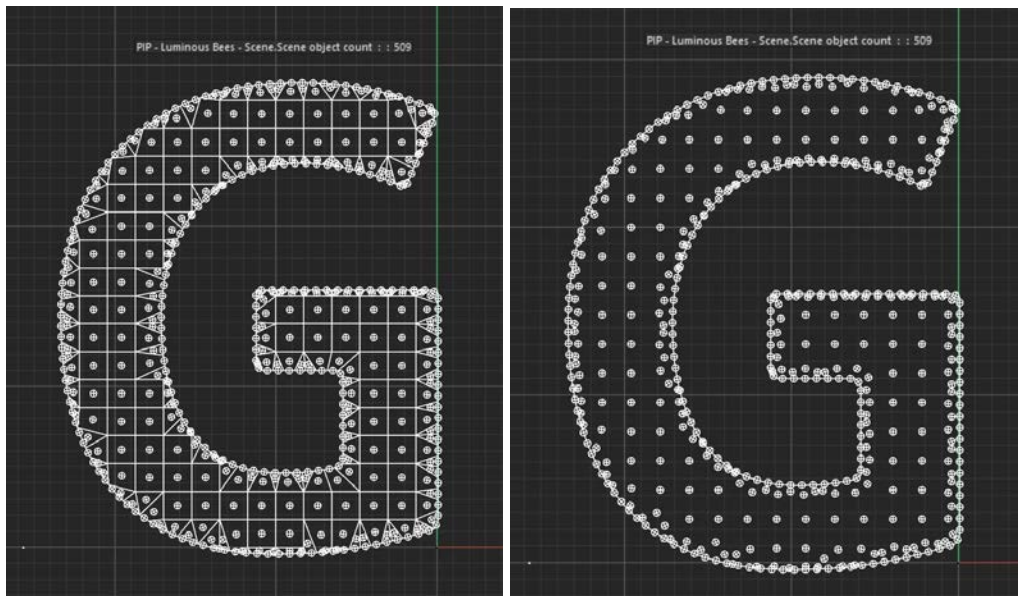


Fig. 3.9.9.6.6 - Suddivisione a griglia regolare e suddivisione Spline in modalità uniform

Intervenendo su un parametro della suddivisione della spline, che compone la lettera, da subdivided a uniform, il numero totale di droni necessario aumenta a 509 e il risultato sui bordi non migliora come mostra la figura 3.9.9.6.6. Anche aumentando considerevolmente il valore size nel tentativo di raggiungere un numero contenuto di punti totale è risultato evidente

l'incompatibilità di questo metodo per ottenere una opportuna tassellazione del corpo e dei bordi del contorno (Figura 3.9.9.6.7).

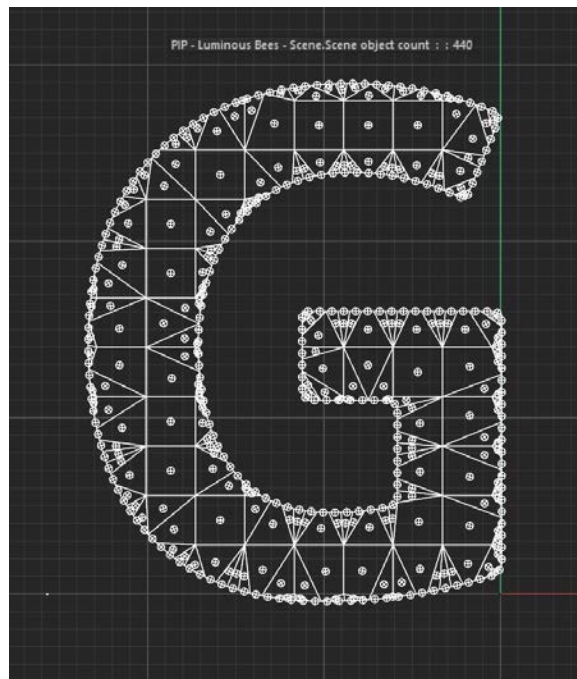


Fig. 3.9.9.6.7 - *Suddivisione a griglia regolare e suddivisione Spline in modalità uniform e size al minimo*

Il secondo metodo considerato utilizza la costruzione manuale di tutti i segmenti del contorno del carattere e dei segmenti necessari per il riempimento interno. Come mostrato in figura 3.9.9.6.8, 3 segmenti paralleli sono stati creati per tracciare i caratteri della lettera G e della lettera E: 2 segmenti per i bordi esterni e una linea mediana, creando quindi 3 splines.

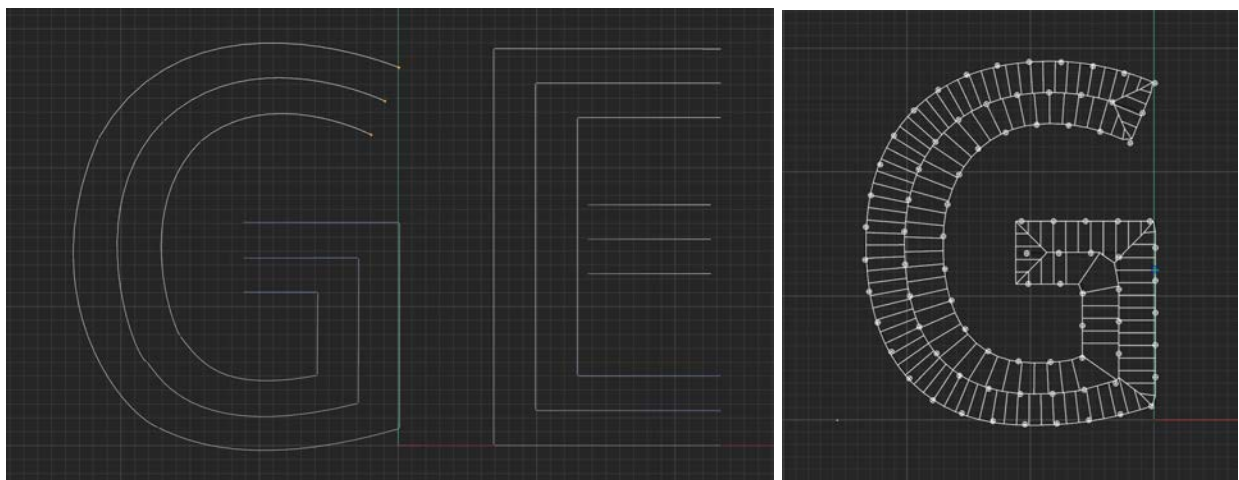


Fig. 3.9.9.6.8 - *Costruzione manuale con l'uso di 3 splines*

L'immagine a destra mostra le guide usate per costruire le splines parallele sulla lettera G. Nell'immagine a sinistra sono visibili le splines ottenute per le due lettere. La G è possibile costruirla con 3 segmenti, nella lettera E per evitare sovrapposizioni è necessario trattare il bastone orizzontale mediano con 3 segmenti separati. Inoltre come mostrato dalla colorazione dei segmenti dal bianco al blu, corrispondenti al primo e ultimo punto del segmento, ogni gruppo morfologico è stato costruito, ed è importante che sia costruito, con la medesima direzione inizio - fine.

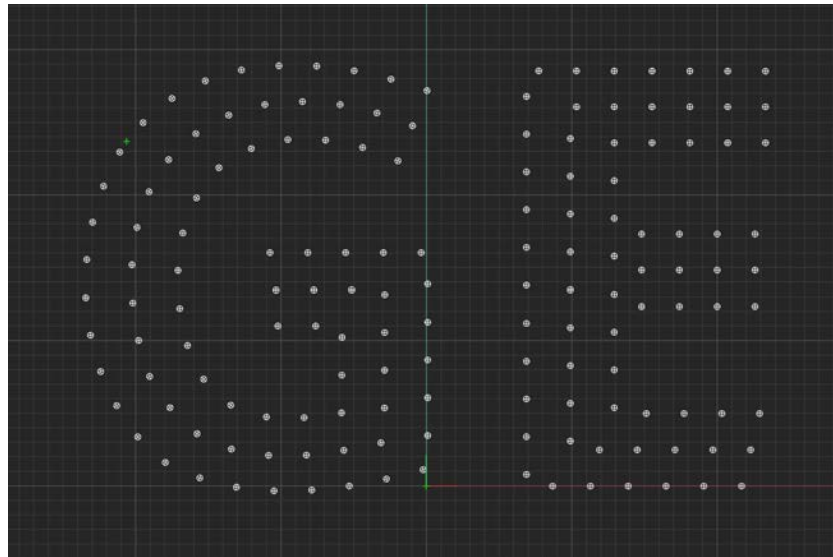


Fig. 3.9.9.6.9 - Distribuzione droni su gruppo di 3 segmenti

In Fig. 3.9.9.6.9 si mostra la distribuzione dei droni ottenuta con le strutture di splines precedenti. Per poter associare i droni alle geometrie sono stati creati 2 gruppi "G" ed "E" ed in ognuno sono state nidificate all'interno tutti i segmenti relativi. Sono stati creati 2 elementi Matrix e configurati per attuare la distribuzione su oggetti esterni, che sono stati impostati sui due gruppi creati precedentemente. Nell'oggetto Matrix è stata usata una distanza costante configurata su un valore di 13 m su entrambe le lettere che ha permesso di ottenere una distanza relativamente simile tra i droni nel reticolato a base quadrata che struttura un riempimento omogeneo della superficie. Il problema di questo metodo si rivela alla fine dei segmenti, per esempio nella lettera G, nell'estremo del segmento orizzontale i punti finali delle 3 splines parallele non sono più allineati e giacenti sui loro vertici come accade invece all'inizio, nella parte curva superiore. Lo stesso difetto si nota nella lettera E all'estremo del bastone orizzontale inferiore. Tale difetto è provocato dalla diversa lunghezza dei segmenti, pertanto l'allineamento è perfetto all'inizio in cui parte la distribuzione dei punti, allineata tra di loro e giacenti sul vertice, ma, alla fine dei segmenti questa caratteristica desiderata non è raggiungibile perfettamente. Il secondo problema è la concomitanza dei punti sui vertici delle splines, questo è evidente negli angoli retti superiore e inferiore della lettera E. Settando la distanza tra i punti lungo il tracciato non si hanno ulteriori controlli per allineare i punti sui vertici lungo la spline. Un terzo problema si verifica per la lettera E a causa della seconda tripletta di splines per il tratto mediano orizzontale. L'allineamento verticale e la distanza orizzontale tra i

punti componenti i 3 tratti sull'elemento verticale e sull'elemento orizzontale sono rispettivamente sfalsati e disomogenei.

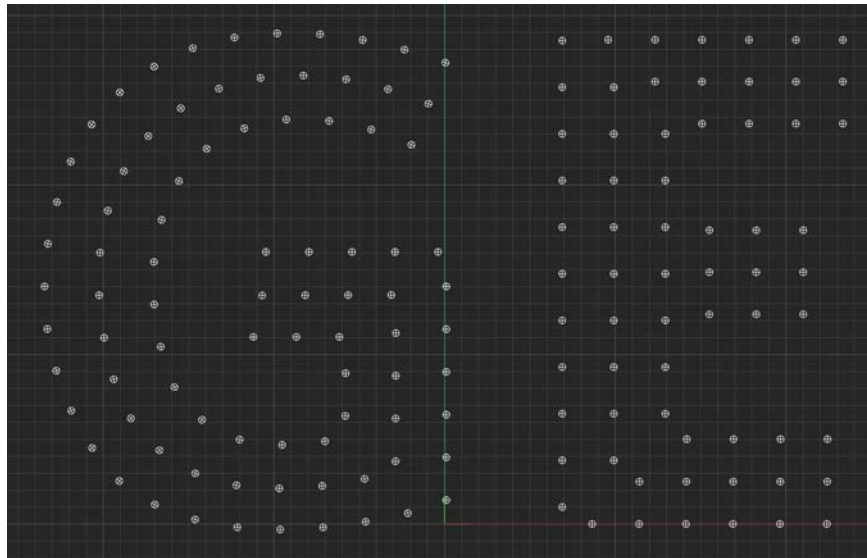


Fig. 3.9.9.6.9.1 Rifiinimento manuale della distribuzione

Nella Fig. 3.9.9.6.9.1 si mostra il risultato raggiunto intervenendo nell'elemento Matrix sul parametro di distanza per la distribuzione dei punti in modo da incrociare il valore che riesce a minimizzare i tre difetti precedenti simultaneamente.

In conclusione dell'ottimizzazione eseguita la lettera G è formata da 87 punti che possono venire associati grazie al plugin sviluppato ai droni.

3.9.5 Logo Ricostruito con contorno

Nei paragrafi precedenti si sono creati dei font appositi e costruite delle metodologie per tracciarli, si è anche visto nel paragrafo 3.8.2 un processo per rappresentare con una singola linea un logo già esistente, in questo paragrafo si affronta la resa puntiforme del contorno di un logo esistente. Il bilanciando del numero dei punti e la leggibilità finale della lettera si confronta con la ricostruzione dei loghi e delle grafiche esistenti che sono state e continueranno ad essere una delle richieste principali da parte di istituzioni, committenti, partners, sponsor che devono essere rappresentati e comunicati. La ricchezza dei dettagli nelle forme delle lettere create per la grafica convenzionale, diversamente dagli esempi precedenti in cui erano semplificati a priori, esigono considerazioni ulteriori e hanno portato a nuove modalità affinando i metodi individuati precedentemente, per consentire la precisione ed il controllo necessario. Per lo studio è stato usato un logo reale di una nota azienda italiana, questo presenta un riempimento centrale con un contorno interno ed esterno.

CAMPARI

La prima esecuzione (figura 3.9.9.7.1) è servita per analizzare l'elemento del tracciato color oro del bordo, che non è un tratto assimilabile ad una linea, ma possiede anch'esso uno spessore da tenere in considerazione. Nell'immagine di sinistra è stato scelto inizialmente di delineare il tracciato color oro sul suo bordo esterno, ovvero dove incontra il bianco dello sfondo. Questo comporta l'allontanamento tra i bordi interno ed esterno del singolo carattere e al contempo avvicina i tracciati tra i caratteri adiacenti. Questo ha permesso di considerare 3 diverse possibilità di intervento per fissare la posizione delle splines rispetto allo spessore del contorno: sul suo bordo esterno (immagine a sinistra), sulla mediana del contorno (immagine centrale) oppure sul bordo interno (immagine a destra).



Fig. 3.9.9.7.1 - 3 possibilità di tracciamento del contorno

Negli esempi riportati nella figura soprastante la prima soluzione che usa la parte più esterna del tracciato del carattere è stata scartata perché peggiora la separazione con i caratteri limitrofi, la terza pure è stata scartata perché dando priorità alla definizione dei vertici della forma, comporterebbe la minor distanza tra i droni posizionati sui vertici, compromettendo la realizzazione in spazi di volo ridotti dove la distanza precauzionale di 1 metro tra due droni potrebbe non essere rispettata.

Tra le tre opzioni individuate si è scelto di posizionare le splines sul centro dello spessore del contorno. Sono stati confrontati due approcci differenti, il primo che ha come priorità la distanza omogenea tra i punti lungo il tracciato, il secondo invece che dà priorità alla presenza dei punti sui vertici della forma. Si è proceduto costruendo le splines passanti per la mediana del tratto oro del contorno. Dando priorità ai vertici si è resa necessaria la creazione di un elemento spline ulteriore per ogni lettera che contenesse i vertici necessari (figura 3.9.9.7.1). Per ogni lettera sono stati creati dei gruppi separati, al loro interno sono raggruppate le diverse splines necessarie per la ricostruzione puntiforme opportuna della singola lettera.

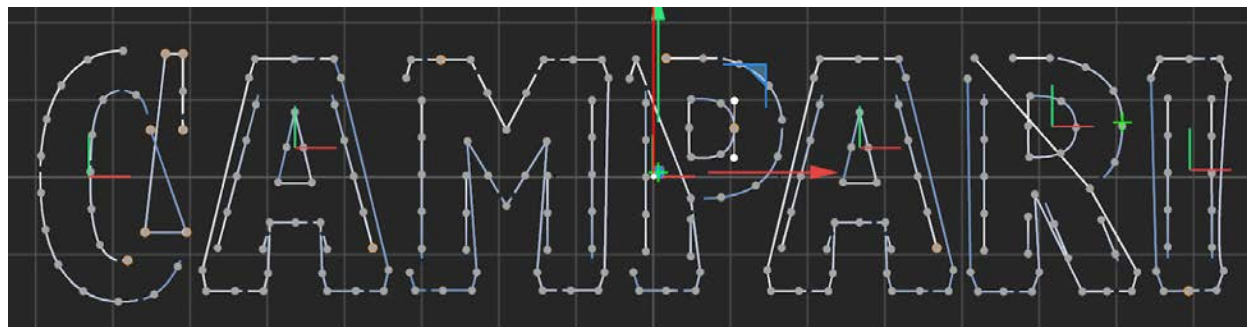


Fig. 3.9.9.7.2 - Splines necessarie per visualizzazione con priorità ai vertici

Ogni splines ha bisogno di configurazioni specifiche per la distribuzione dei punti, come mostra la figura 3.9.9.7.2 i due elementi spline (vertex e riempimento) per la sola lettera C, hanno due elementi Matrix distinti, poiché il primo è configurato per una distribuzione sui soli vertici e il secondo ha la distribuzione impostata come step, con un valore di step di 2.103 m. Le lettere A, P, R oltre a queste due splines hanno richiesto una terza separata per l'elemento interno, il quale a sua volta è stato assegnato a un terzo elemento Matrix.

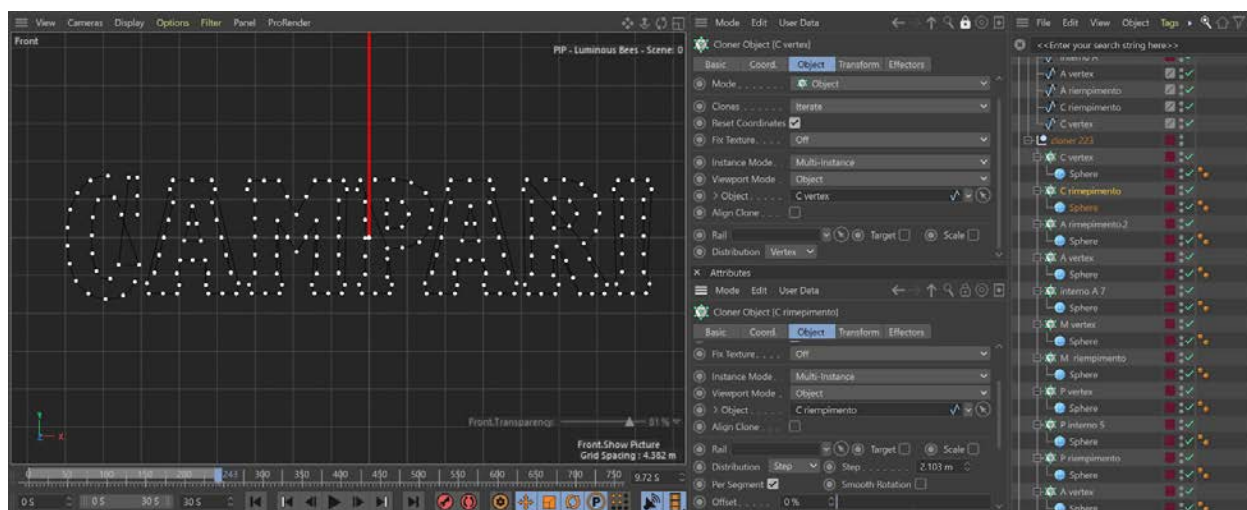


Fig. 3.9.9.7.2 - Dettaglio configurazione Matrix per lettera C

Configurando opportunamente gli oggetti Matrix per ogni tipologia di splines creata e in modo da ottenere la maggior omogeneità tra la distanza dei punti tra le lettere è stato ottenuto il risultato in fig. 3.9.9.7.3 con il logo ricostruito con l'uso di 223 punti totali.



Fig. 3.9.9.7.3 - Risultato della distribuzione con precedenza ai vertici

3.9.6 Elementi tridimensionali - wireframe puntiforme

La visualizzazione Wireframe (letteralmente fil di ferro) si riferisce agli oggetti tridimensionali e si occupa di mostrare gli spigoli di un oggetto: comprende ogni vertice, questi a loro volta definiscono ogni segmento e questi formano ogni poligono che forma la struttura geometrica del modello.

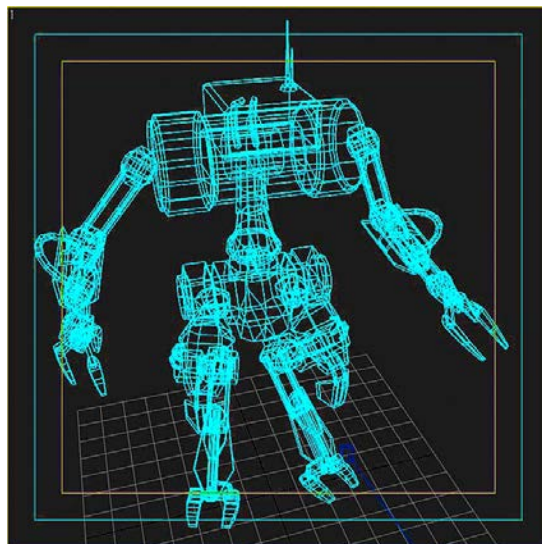


Fig. 3.9.9.8.1 - Visualizzazione Wireframe di un modello poligonale

Il wireframe, come per la tradizionale modellazione 3D, anche per questo nuovo uso è la struttura fondamentale, solitamente nella preparazione dei contenuti per Aerial Media si procede con una semplificazione, riducendo i vertici da cui è costituita per ricavare delle nuove linee guida per l'elemento da visualizzare. Una prima necessità di resa delle sue linee in punti sufficientemente ravvicinati operando delle suddivisioni ulteriori per distribuire i punti per rendere nella modalità puntiforme la presenza della superficie. A differenza della visualizzazione solida, l'oggetto rimane trasparente al suo interno, non possiede una superficie, né un volume. Contiene la griglia geometrica sulla quale passano le superfici dell'oggetto che definiscono i limiti del suo corpo fisico. L'assenza della materia, della sua continuità cromatica e della resa fotorealistica prodotta dall'illuminazione crea ambiguità nella lettura e nell'interpretazione della forma geometrica in modalità wireframe. La sovrapposizione delle facce anteriori e posteriori, cioè una rappresentazione che non fa distinzione tra le parti visibili e le parti non visibili di un oggetto è la differenza di questa modalità di visualizzazione rispetto alla percezione umana della realtà. Nel disegno tecnico le ambiguità e la difficoltà di lettura della rappresentazione legate alla distinzione tra parti visibili e non visibili sono gestite utilizzando linee tratteggiate per queste ultime. Nell'Aerial media che ha una modalità di visualizzazione puntiforme, che fa della modalità "tratteggiata" il suo unico stile grafico, si deve analizzare il modello da visualizzare e trovare le modalità opportune per aumentare le informazioni fornite allo spettatore che potenzialmente può avere molteplici punti di vista attorno allo spazio aereo della visualizzazione, oppure si può decidere e limitare l'angolo di visione offerto agli spettatori e nascondere i punti delle parti nascoste.

3.9.7 Ambiguità interpretativa del 3D puntiforme

Una possibilità per ovviare alla visibilità delle parti occluse è quella di rendere invisibili le facce posteriori, che sono ostruite dalle superficie più prossima all'osservatore.

L'evoluzione della resa puntiforme per gli oggetti tridimensionali per Aerial Media ha portato negli ultimi anni a confrontarsi con l'ambiguità causata dalla visione dei punti appartenenti alle facce normalmente nascoste dalle superfici in primo piano. Il problema nasce dalla caratteristica puntiforme e dalla osservazione potenzialmente da ogni punto di vista degli spettatori attorno al campo aereo della visualizzazione.

Nei lavori più recenti 2020-2021 per la rappresentazione di modelli tridimensionali le geometrie vengono spesso semplificate opportunamente, per ottimizzare l'uso dei droni limitati disponibili e anche per eliminare punti che potrebbero confondere la resa tridimensionale.

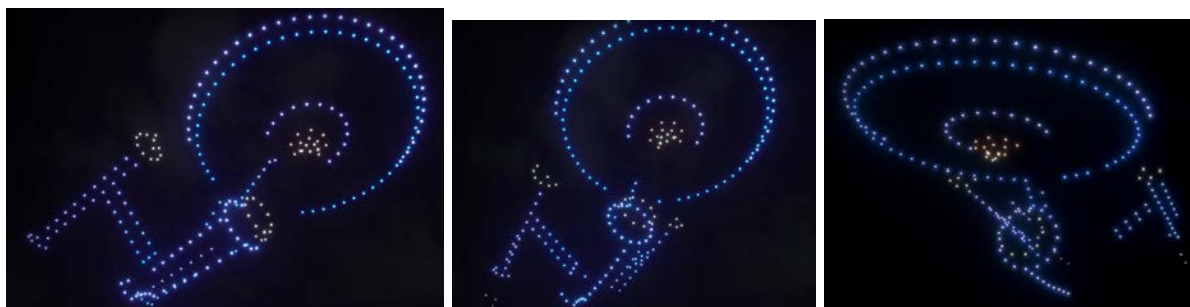


Fig. 3.9.9.8.1 - estratti da uno spettacolo aereo luminoso

Nell'esempio in fig. 3.9.9.8.1 che ha come soggetto la nave di StarTrek si nota la forma circolare superiore non chiusa e gli elementi cilindrici inferiori che sono definiti usando linee orizzontali per la parte inferiore, visibile a tutti gli spettatori in primo piano, senza confonderne la lettura con linee dell'elemento cilindrico superiori o laterali.

Nell'esempio riportato in fig. 3.9.9.8.2 estratto da una coreografia natalizia eseguita a Dicembre 2020 da Intel, è osservabile la predisposizione delle 2 campane per una visione ottimizzata a 180 gradi frontale, il riempimento della superficie delle campane si è avvicinato al rendering della scena 3D poiché si occupa di rappresentare solo le parti della loro superficie visibili dal punto di vista della foto.



Fig. 3.9.9.8.2 - Due campane per visualizzazione frontale

Capitolo 4 Forme di luce in movimento

4.1 I Nuovi Media

Alla fine degli anni '80 iniziarono a svilupparsi le prime interfacce per la creazione di immagini digitali, sia vettoriali che raster; successivamente apparvero le prime forme di animazione tridimensionale che nel corso degli anni '90 ebbero un ulteriore impulso grazie all'uso di tecnologie in tempo reale e alla diffusione del Web ampliando ulteriormente le possibilità di applicazione e interazione di questi nuovi strumenti e favorendo così lo sviluppo di nuove forme di arte interattiva, dando inizio a quella che oggi si può definire come New Media Art. La New Media Art, qualsiasi essa sia, ha infatti alla sua base l'uso delle tecnologie e del digitale che hanno consentito di ibridare diverse materie e campi di applicazione.

La visualizzazione tramite sciami di droni luminosi ha mostrato le possibilità concrete di questa nuova forma di comunicazione che può essere declinata a carattere informativo visualizzando dati (Aerial Data Visualization), di valenza narrativa e di intrattenimento o culturale ed artistica. In questo primo lavoro del suo genere ci si riferisce all'Aerial Media Design quale termine generale per affrontare espande i nuovi media nello spazio aereo e sta identificando

4.2 La macchina da strumento ad esecutore

L'uso dell'automazione meccanica nel teatro ha una storia molto antica, in cui i primi esempi risalgono all'antica Cina alla dinastia Han (3 secolo a.C.) dove già vennero costruite orchestre meccaniche e altri dispositivi per l'intrattenimento dell'imperatore. Nel corso dei secoli valenti ingegneri e complessi meccanismi idraulici hanno continuato la realizzazione di apparati usati in scena, spesso risultando in installazioni molto grosse ed elaborate, perlopiù create ad hoc per quel specifico spettacolo. Anche in tempi moderni, con l'arte performativa e le tecnologie digitali, è quasi sempre necessaria la costruzione di sistemi specifici ex novo. Solo in un numero limitato di casi è stato possibile adattare tecnologie esistenti; interessanti esempi sono alcune performance che hanno impiegato bracci robotici, normalmente destinati per l'automazione industriale, che grazie alle loro estesa flessibilità e programmabilità sono stati utilizzati su un palco assieme con un performer umano (come per esempio il lavoro "HUANG YI & KUKA" dell'artista coreografo Huang Yi).

Un tassello molto importante che contribuì all'ibridazione della moderna tecnologia informatica è stato il campo di studio e di applicazione chiamato *physical computing* che indica progetti nell'intersezione tra informatica, elettronica e interaction design. Si tratta di creare sistemi attraverso l'uso di hardware e software che interagiscono col mondo reale; schede come *Arduino*, una popolare interfaccia elettronica con microprocessore e con un linguaggio di programmazione per comandarla, molto usata nel physical computing, permette di collegare sensori, utili ad acquisire dati dall'ambiente, elaborarli all'interno della scheda per effettuare delle risposte nell'ambiente, azionando motori e attuatori di vario genere. Nell'ultimo decennio si è inserito anche l'uso della robotica di sciame, un insieme coordinato di robot autonomi, e in particolare di droni luminosi. Uno dei primi studi in questo campo "[Dance of the flying machines](#)"

ha permesso di inquadrare questo ulteriore passo nell'uso della tecnologia e degli strumenti digitali, per creare dei movimenti coreografati, eseguiti non più da umani ma da macchine che esprimono nuove forme artistiche fruite dal pubblico. L'articolo mette subito in evidenza diversi problemi tecnici da risolvere in questo nuovo campo come la generazione delle traiettorie, il volo esente da collisioni, la sincronizzazione tra gli automi coinvolti e la capacità di esecuzione del movimento. Sono sfide complesse e inedite e sono le premesse tecniche che introducono alla ridefinizione dell'interazione tra l'uomo e una macchina con capacità sempre più evolute che le permettono di interagire su un piano socio-artistico-culturale.

L'articolo procede facendo riferimento all'ambito di ricerca tra la musica e la robotica, che ha portato a risultati inediti sia nell'interazione uomo-macchina sia nella creazione di nuove esperienze musicali. Oltre agli interessi specifici, dalla parte scientifica e umanistica, l'obiettivo finale è quello di creare performance audio-visive con qualità sia estetiche che di intrattenimento in grado di coinvolgere un pubblico sempre più ampio.

Tecnologie come luci, sistemi di riproduzione audio e video sono largamente utilizzate nel campo dello spettacolo, controllate da remoto e programmabili con sofisticate interfacce, infatti, sono numerosi gli standard e protocolli funzionali per la loro interoperabilità.

Il punto distintivo è l'ibridazione della macchina, che non è più solo l'insieme degli strumenti che assistono il processo di creazione artistica, ma la macchina diventa essa stessa il nuovo soggetto performativo e, nella maggior parte dei lavori realizzati, nemmeno più, solo una parte complementare della scena. Questa macchina, inoltre, come è nel caso dello sviluppo di robot umanoidi, non cerca più di imitare il comportamento umano, ma è un generatore di espressività alternativa perché ha un'identità diversa, autonoma, con caratteristiche e capacità peculiari.

Per gli show con robot volanti la fase di progettazione è compiuta tramite un computer e il software apposito così è anche durante il controllo esecutivo dell'atto scenico, e questo, è affidato e costituito, come si è visto, dall'interazione di un gruppo di droni in cui l'uomo è assente dalla scena, ed è la macchina, autonoma, con le sue caratteristiche peculiari l'unico soggetto in scena. Sarebbe necessario analizzare come cambia tutta la fase preparatoria tra il consueto allenamento di un corpo di ballo, di una compagnia teatrale o di un gruppo musicale e le nuove performance realizzate con performer robotici ed anche il rapporto con chi ha la responsabilità della qualità finale. Poiché l'ideazione e la progettazione dei contenuti espressivi di questi sciami robotici volanti rimangono saldamente di competenza umana, viene a crearsi un rapporto molto più intricato tra creatore umano ed esecutore robotico. E' una responsabilità che richiede una relazione profonda tra uomo e macchina, l'operatore umano deve infatti approfondire la conoscenza del sistema tecnologico, le sue capacità e limiti, per configurare adeguatamente tutti i sottosistemi che possono condizionare il controllo in modo tale che sia raggiunto il risultato finale con una performance di qualità. Per le caratteristiche di essere in volo e in presenza di persone la deve essere eseguita con elevati standard di sicurezza e precisione. Allo stesso modo in cui avviene la direzione di un attore umano chiamato ad eseguire una parte dello spettacolo, attraverso l'osservazione della sessione di prova è necessario riuscire a valutare la qualità del risultato, individuando cioè le sequenze che hanno funzionato e ciò che deve essere perfezionato, individuando per queste ultime i fattori determinanti in modo da poter intervenire. A differenza di un lavoro tradizionale non ci sono operatori umani a cui impartire le indicazioni utili e con cui lavorare sulla messa a punto del lavoro, questo importante apporto e scambio attivo che sussiste tra i tradizionali esecutori e la direzione manca completamente.

Pertanto operare in funzione della riuscita espressiva del lavoro è una completa responsabilità della direzione e degli operatori, che si estende all'uso di ulteriori strumenti digitali, valutando la registrazione del video e confrontandola, grazie ai dati telemetrici, con la ricostruzione delle traiettorie eseguite, al fine di verificare quali agenti hanno disatteso il risultato previsto. Successivamente si esamina nel dettaglio, nei droni selezionati, i valori registrati nei log del volo per arrivare a comprendere le probabili cause e studiare gli interventi da implementare nelle prove successive. L'analisi delle cause e la ricerca delle soluzioni richiede una costante attenzione e notevole preparazione tecnica del gruppo di operatori. La coordinazione dell'esecuzione dello sciame, i collaudi e la preparazione degli agenti performativi, l'adattamento della coreografia allo scenario reale sono compiti che richiedono un'importante cura dal controllo a terra, l'attore robotico non è consapevole dello stato di andamento dei compagni automi e non possiede alcuna capacità di modificare il proprio comportamento dinamicamente, come d'altronde non è nemmeno in grado di valutare la qualità della sua esecuzione. Nel processo di preparazione e nell'esecuzione della coreografia aerea vi è dunque una notevole componente tecnica, inoltre, mentre nella danza, come nel teatro e nella musica si è codificato il linguaggio delle potenzialità espressive legate al corpo umano ed è affine e compreso da tutti, nel senso che i gesti compiuti da un interprete umano sono potenzialmente riproducibili da chi ha il ruolo di coordinarli e i limiti e le difficoltà ad essi legati sono comprensibili dal direttore artistico. Invece le facoltà di una macchina semiautonoma volante dipendono da una meccanica che è gestita da specifici algoritmi di controllo così distanti dall'essere direttamente comprensibili. Inoltre gli strumenti di diagnosi impiegati negli spettacoli robotici e il linguaggio specifico sono entrambi agli albori e saranno necessari ulteriori studi per individuare linee di sviluppo opportune. Pertanto, almeno in questa fase iniziale degli spettacoli robotici, le indicazioni trovate durante la valutazione di una prova si traducono spesso in modifiche al progetto coreografico, che viene adattato per permettere di essere interpretato con maggiore fedeltà mantenendo alta l'efficacia espressiva piuttosto che modificare la parametrizzazione del drone o di qualche sua componente. La corretta manutenzione del robot garantisce le sue funzionalità e la ripetibilità esecutiva, a differenza del professionista umano non è influenzato dalle molteplici variabili a cui è soggetta la sua concentrazione e abilità tecnica e fisica. Eseguita con successo una scena, grazie all'affinamento dell'hardware e del software di gestione e ad una calibrazione fine specifica, la macchina diventa un ideale esecutore seriale di virtuose acrobazie di gruppo, con un grado di fedeltà e accuratezza estremamente elevato e le tradizionali sessioni di allenamento fisico, atletico e tecnico dell'attore umano non sono più necessarie, diversamente sono richieste prove generali per verificare il funzionamento del sistema nel nuovo scenario, la fattibilità tecnica della coreografia preparata, la copertura della rete di comunicazione e la qualità di ricezione delle informazioni del sistema GNSS. L'allenamento delle tradizionali capacità tecniche e fisiche dell'interprete umano è trasposto nel lavoro sui parametri del software della macchina (lo stack software della flight control) per migliorare la sua risposta, ovvero per diminuire lo scarto tra il comando impartito (esecuzione ideale) e l'effettivo risultato eseguito. Le componenti tecnologiche, gli algoritmi e la loro parametrizzazione sono dunque il nuovo organismo esecutore con cui il ruolo umano di ideatore, direttore e tecnico deve lavorare per creare questo spettacolo nuovo, post-umano. L'interazione uomo-macchina è focalizzata prevalentemente sulla parametrizzazione del controllo della posizione, la qualità di navigazione e il lavoro di

preparazione durante le prove: si deve migliorare la capacità performativa e una volta raggiunto un determinato livello qualitativo esso diventa una capacità di esecuzione autonoma sempre ripetibile. Questo non deve suggerire affinità con un impianto di produzione industriale automatizzato da cui dipendono performance produttive stabili, nella rappresentazione aerea si esegue una coreografia per comunicare ad un pubblico. Il processo necessario per giungere a una qualità di esecuzione stabile in uno spettacolo robotico implica una relazione molto intima e costante tra uomo e macchina: il controllore umano acquisisce una forte empatia con la macchina attraverso un continuo processo di partecipazione, così come la sinergia che avviene tra un musicista con lo strumento musicale e il linguaggio della musica o per l'artista visivo con i pennelli e i colori.

In questa fase iniziale degli spettacoli con droni anche la parte di progettazione dei contenuti necessita che il coreografo e l'animatore acquisiscano una serie di competenze tecniche riferite all'hardware per conoscere e controllare i limiti e le capacità espressive, dovranno anche comprendere gli strumenti per la composizione coreografica che si avvale di software di animazione 3D declinati per progettare una performance avendo una formazione composta da una moltitudine di robot reali. Come ogni creazione artistica il suo fine è di quello essere al servizio di colui che la fruisce, negli spettacoli robotici volanti, in cui l'azione scenica risiede nei movimenti che posizionano l'attività luminosa e cromatica nel tempo e nello spazio in rapporto con i messaggi veicolati e la musica, il risultato si incarna in un complesso costituito da uomo-supervisore e la macchina che esegue, l'aspetto interessante non è solo la sostituzione del gruppo di danzatori umani con una piattaforma tecnologica, ma come l'interazione richiesta dall'esecuzione performativa stia favorendo una partecipazione sempre più attiva e consapevole del supervisore umano al funzionamento del sistema tecnologico.

4.3 Differenze danza e Aerial Media Art

Nella danza il soggetto è la figura umana che agisce sul palco ed il corpo umano possiede una forza espressiva formidabile che va ben oltre la successione di posizioni e movimenti che interpreta, interessando sia la sfera emotiva che intellettuale. I quadricotteri a differenza dei danzatori umani e in qualche misura anche rispetto ai robot umanoidi, non possiedono mimica facciale e nemmeno espressività labiale, hanno un'espressività basata esclusivamente sulle posizioni e assetto assunti nel tempo. La ricerca di movimenti che risultino espressivamente convincenti allo spettatore è un elemento importante da considerare ma bisognerà approfondire e considerare le peculiarità del moto del drone in funzione dell'attività luminosa e questa in rapporto col gruppo dei droni che realizza unitariamente il risultato finale.

Nei lavori pubblicati del gruppo collegato allo studio Verity si fa riferimento soprattutto alla danza, che certamente ha studiato le possibilità di composizione del movimento nello spazio, ma incentrate sull'uso del corpo umano e le sue caratteristiche. Inoltre il numero di danzatori-attori interessati rispetto all'ambito della Aerial Media è significativamente più contenuto e difficilmente raggiunge le centinaia di persone coinvolte. E' proprio la compresenza di un alto numero di esecutori il fattore necessario per sviluppare le formazioni di punti e le caratteristiche cromatiche che causano la rappresentazione dell' Aerial Media. L'interazione simultanea tra 100 fino a 1000 unità è lo scenario normale del sistema visuale usato

correntemente. Negli ultimi anni il continuo aumento del numero di droni sta aumentando sempre più il dettaglio visivo e la vocazione figurativa del mezzo, che ad oggi ha superato le 3000 unità impiegate in uno spettacolo, per costituire gli oggetti rappresentati. Lo spettacolo aereo consiste nel continuo disporsi dei droni per costruire le parti necessarie a rappresentare le forme e gli oggetti che percepirà lo spettatore. Ogni drone da un punto di vista del controllo dell'UAV compie una navigazione, che da un punto di vista della visualizzazione è la performance cinetica dei punti luminosi funzionale alla sua resa. Ogni scena è essenzialmente un oggetto visivo che si anima, tra una scena e l'altra bisogna collegare l'ultima posizione dei droni nella scena corrente con la posizione iniziale della scena successiva. Si potrebbe parlare di una visualizzazione puntiforme performata da droni, dove la matrice ordinata composta dai punti luminosi fissi di un tabellone segnaletico, si trasforma in continuazione in un sistema dinamico composto da punti in movimento per comporre le forme visualizzate. Grazie all'affidabilità sempre crescente dei droni e la possibilità di scalare il sistema di comunicazione per il loro controllo si prevede un aumento continuo del numero dei droni coinvolti.

4.4 Collegamenti con la Biological motion

Un paradigma sperimentale che condivide la rappresentazione puntiforme delle composizioni create con gli show luminosi di droni e allo stesso tempo costituisce una solida base teorica per la percezione di queste formazioni visive puntiformi è stato usato nella ricerca in psicologia della percezione visiva per lo studio dei movimenti biologici sin dagli anni '70. La ricerca di Gunnar Johansson per studiare la percezione di vari pattern di movimento del corpo umano e di animali, impiegò un metodo che rese possibile lo studio delle relative informazioni visive isolandole da ogni aspetto figurativo, come i contorni e gli aspetti visivi del corpo del soggetto che li produce, offrendo dunque all'osservatore, un adeguato stimolo distale del movimento senza alcuna interferenza dalla percezione figurativa e formale dello stesso. Questo risultato fu ottenuto applicando delle sorgenti luminose sui nodi principali del corpo e descriverne il movimento. Le ricerche di Gunnar Johansson verificarono che già 10 o 12 sorgenti luminose poste negli snodi principali di un corpo vivente in movimento, in adeguate combinazioni di movimento, generano uno stimolo prossimale che fornisce un'impressione convincente del movimento, per esempio della camminata, come l'osservazione naturale del corpo reale mentre cammina. L'osservatore non ha la facoltà di raggruppare i punti in combinazioni alternative e nemmeno di classificarli come una serie di punti in movimento senza relazioni. La ricerca di Johansson sul movimento biologico si basò sui metodi impiegati per lo studio della percezione dei movimenti meccanici. Infatti, la struttura geometrica dei patterns del movimento nel corpo umano e nei quadrupedi (per esempio lo schema della camminata) è determinata dalla costruzione del loro scheletro. Constatò che questi schemi di movimento erano immediatamente descritti come una combinazione di una serie di movimenti assimilabili al moto del pendolo delle estremità di una giuntura. In alcuni casi questi movimenti sono combinati con una deformazione elastica della colonna vertebrale. Le relazioni temporali in una serie di iterazioni di moti del pendolo hanno uno schema molto regolare, così questa interazione porta ai movimenti del corpo una velocità abbastanza costante.

Diversi tipi di movimenti umani come camminare, correre, danzare, i movimenti mentre si pratica skate, sono composti da una serie di combinazioni di moti del pendolo, specifici per i differenti tipi di movimenti.

Due punti luminosi posti su uno sfondo non strutturato sono percepiti come i punti finali di un segmento rigido, invisibile, in movimento. Allo stesso modo 4 punti rappresentanti i vertici di un quadrato restituiscono le informazioni visive del movimento di un quadrato rigido (Johansson, 1950, 1964; Johansson & Jansson, 1968; Borjesson & von Hofsten, 1972, 1973). Se vi è coerenza nelle relazioni spaziali tra i punti la percezione dell'oggetto non presenta ambiguità come la modifica della sua forma o della sua rotazione in tre dimensioni, diversamente queste due ambiguità si verificano e l'appartenenza a un unico gruppo di punti è supportata dal solo movimento comune dei punti.

Da un punto di vista meccanico, le giunture del corpo umano sono i punti finali delle ossa, che possiedono una lunghezza costante e al tempo stesso sono i punti di connessione delle unità motorie.

Il filone di ricerca della "Biological Motion" ha coniato il termine Point Light Display (PLD) che indica l'uso di punti luminosi che permettono lo studio della percezione visuale dei movimenti biologici senza il ricco contesto visuale tipico dell'animazione.

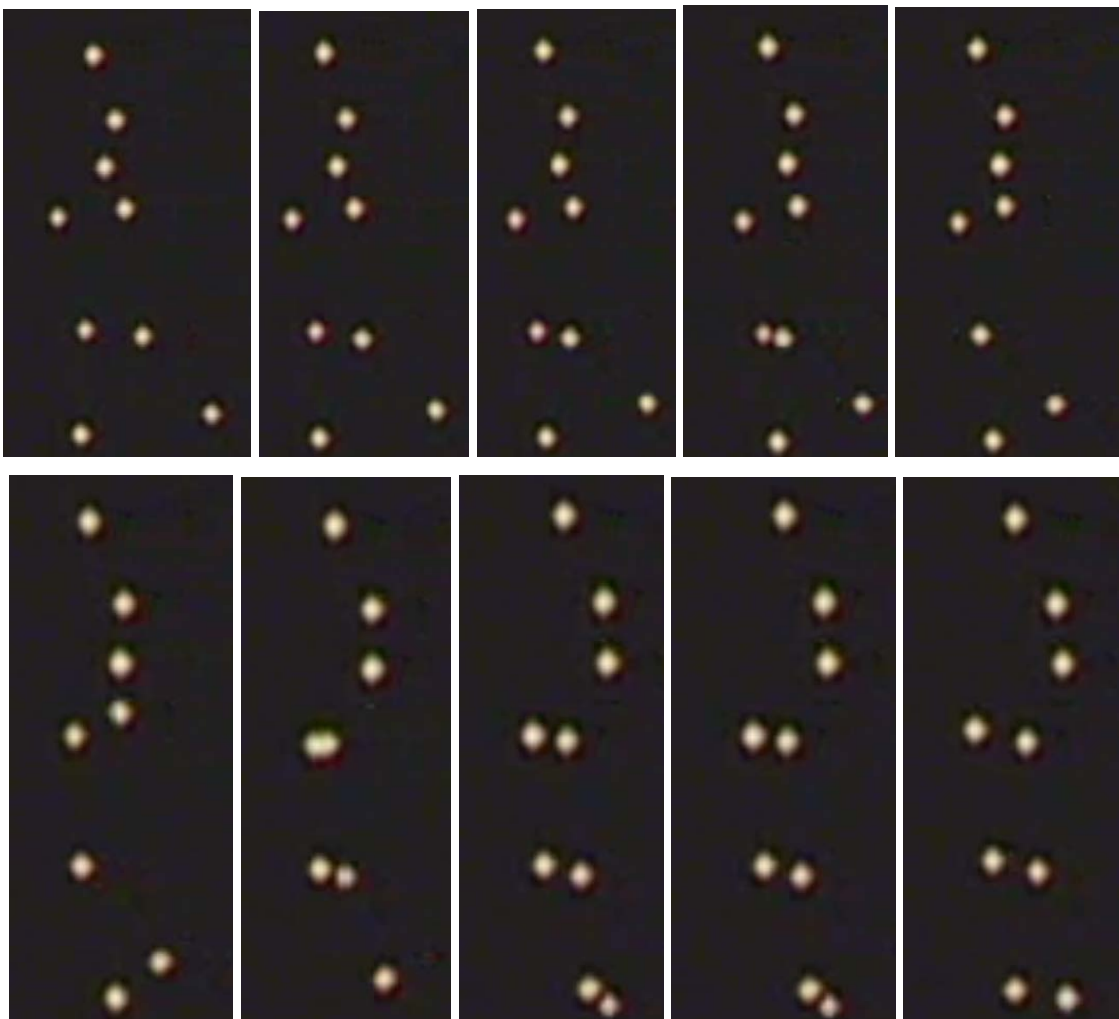


Fig.4.4.1 Gunnar Johansson, registrazione camminata umana

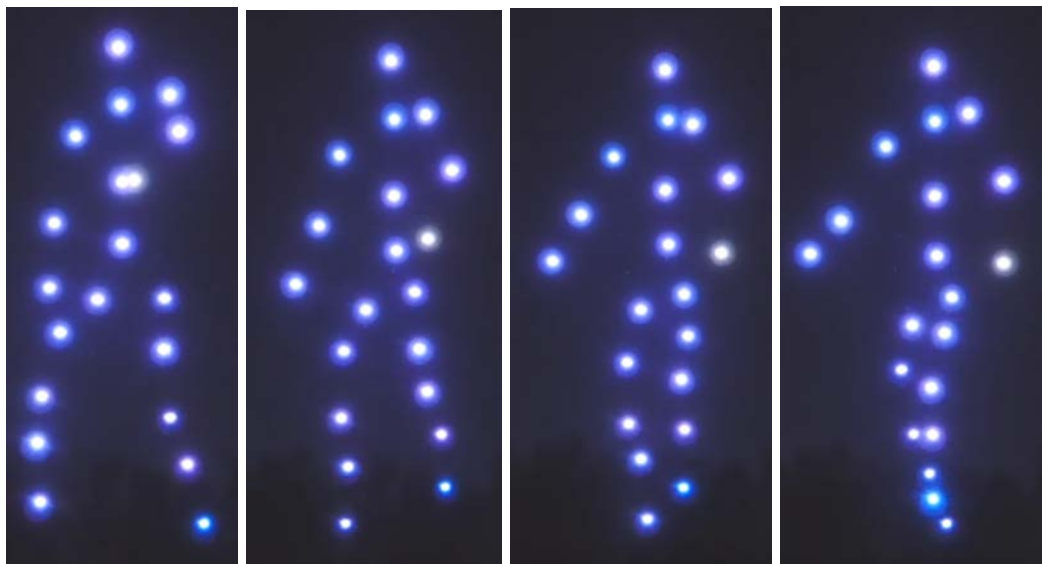


Fig. 4.4.2 camminata umana creata con droni luminosi

Con la sequenza in figura 4.4.1 e la sequenza in figura 4.4.2 si mettono in comparazione la raffigurazione puntiforme di una camminata umana, nella prima prodotta dagli esperimenti di Johansson con la sottostante in cui 20 droni sono stati usati dal gruppo estone degli Ugcs che tra i primi, nel 2019, hanno realizzato una camminata umana con 20 droni.

Nella realizzazione con i droni, per la loro dimensione contenuta, la catena cinematica del corpo umano non subisce le occlusioni presenti nei punti luminosi nelle immagini prodotte negli esperimenti di Johansson. Se da una parte questa caratteristica determina una potenziale maggiore ambiguità nella percezione della forma, il raggio di visibilità non è vincolato a limiti prestabiliti e la figura può essere sia ruotata che osservata da vari punti di vista.

La resa del movimento è accurata e realistica nei video di Johansson, essendo luci direttamente collegate al corpo umano, le creazioni digitali possono ottenere una qualità comparabile grazie all'impiego di sistemi di motion capture che fanno da intermediari tra una azione reale catturata nello spazio fisico e i dati di posizione disponibili nel software 3d per animare gli oggetti virtuali



Fig. 4.4.3 - *spettacolo di droni luminosi*

L'immagine in figura 4.4.3, un corridore e una scia di particelle alle sue spalle per aumentare la resa del movimento, è presa come esempio della tendenza in tempi più recenti di aumentare la risoluzione aumentando il numero di droni totale, preferendo la disposizione dei droni sulla superficie dei modelli, creando una nuvola di punti che densifica un'apparenza solida degli elementi. Pertanto

La serie di frame sottostanti è presa dal gruppo Ugcs che sperimenta con un numero contenuto di droni, inferiore ai 50, la figura in movimento di una renna. Per il corpo della renna si è preferito definire la sagoma della renna, e non ottimizzare il numero di droni, definendo una singola linea, che porta a creare un piano 2d e punti di vista frontali preferenziali, il palco è una singola linea come le zampe usate per la catena cinematica del quadrupede. I due arti anteriori sono costituiti con una serie di 5 punti, il terzo punto è il nodo di giunzione a partire dal quale i successivi due punti costituiscono la parte terminale dell'arto collegato alla zampa. Anche i due arti posteriori sono configurati con una serie di 5 punti, partendo dall'alto il secondo

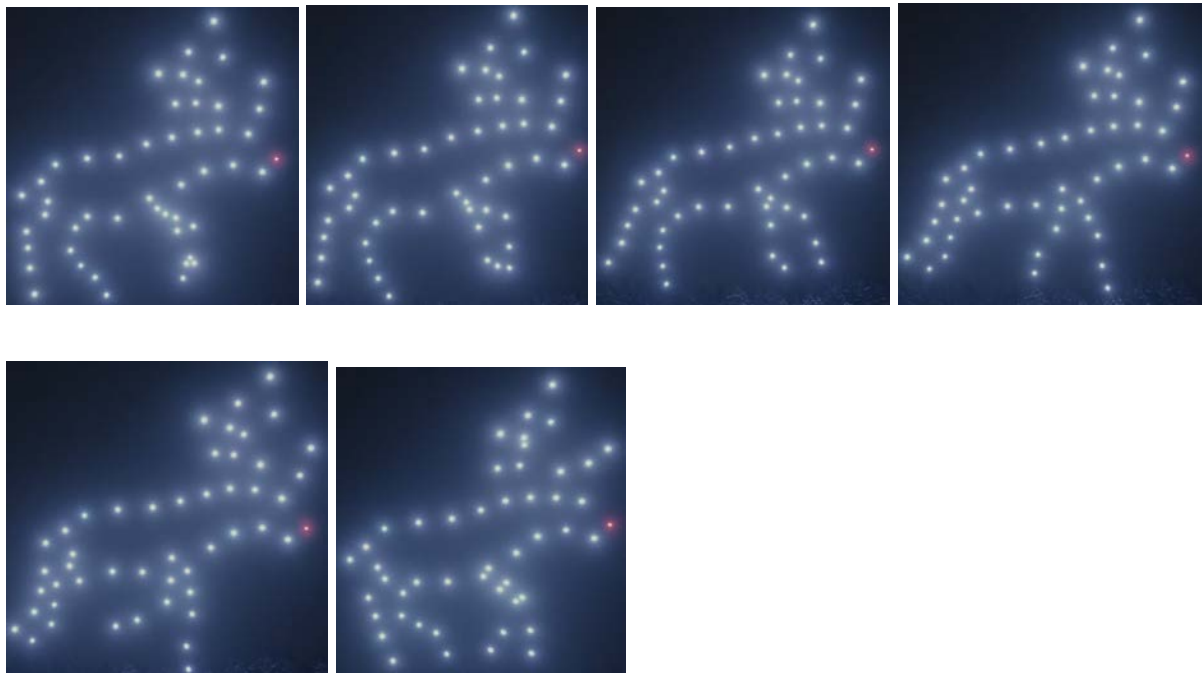


Fig. 4.4.4 - *animazione renna con droni luminosi*

Nell'esempio in figura 4.4.4 Interessante notare come la scelta di un singolo punto rosso posto sulla punta del muso dell'animale diminuisca le ambiguità



Fig. 4.4.4 - animazione renna con droni luminosi in occasione del capodanno scozzese

L'esempio in figura 4.4.4 mostra il lavoro eseguito per celebrare il capodanno scozzese (Hogmaday) del 2020 con 150 droni, nella prima parte l'animale in scena è una renna che corre attraversando diversi ambienti. Il design usato per rappresentare la renna usa diverse informazioni visive formali, quali il contorno del corpo della renna e il segno a singola linea puntiforme che descrive i palchi del cervide. Ma come gli esempi usati nelle ricerche del movimento biologico il design 2d dell'animale è funzionale a una efficace visione frontale che permette di eliminare ogni ambiguità nell'identificazione del soggetto in movimento durante tutta la sua animazione. Questa forma della figura dell'animale senza dubbio attua una immediata identificazione dell'animale, inoltre la percezione del movimento è ulteriormente supportata dall'espansione e compressione del corpo che accompagna realisticamente il movimento. La resa dell'animale e del suo movimento, pur non avendo impiegato dei marcatori su un animale vero, risulta convincente frutto del lavoro di produzione dei contenuti della motion graphic.

4.5 Motion Design incorporato nello spazio

Dal punto di vista della progettazione dei contenuti e la natura di questi gli spettacoli luminosi di droni sono una nuova categoria della produzione della grafica in movimento, o, come è chiamata comunemente in inglese motion graphics. Il processo progettuale è simile, ogni componente è creato per la storia narrata, comunica raffigurando forme e colori, spesso abbinati a suoni e una colonna sonora. La motion graphics è un termine molto ampio, ma che non indica un film, ma potrebbe essere la sua sequenza introduttiva, la pubblicità, un video, delle infografiche, è una modalità di comunicare con lo spettatore. E' più libera ed estesa dell'animazione, abbraccia risultati visivi prodotti tramite le tecniche molteplici, dal video, al 3d, al disegno, alla fotografia e alla grafica appunto in movimento nelle sue possibilità più varie, incorporando tutti gli strumenti e le combinazioni fra questi, è di fatto il termine più generico di per riferirsi ai contenuti video. All'infuori degli spettacoli aerei è veicolata per mezzo di un tradizionale schermo rettangolare, o meglio codificata in un supporto digitale con una risoluzione in un formato video rettangolare. Il suo scopo è la produzione di animazione visiva digitale e l' Aerial media condivide questo stesso obiettivo, riproducendo un contenuto visivo digitale interpolato con punti-droni, il numero dei punti utilizzati sta aumentando sempre di più per espandere le possibilità figurative e aumentarne l'efficacia. Le forme e le loro configurazioni sono libere di apparire e muoversi nello spazio, in un quadro fluido e il tempo delle scene è partito da pochi secondi ai pochi minuti attuali, con un tempo di narrazione totale ancora in una media di 10 minuti. La cultura, le tecniche, i principi dell'animazione basata su keyframe con l'attenzione al tempo che è il ritmo, la durata, e l'interazione con la qualità del movimento sono la base della progettazione dell' Aerial Media. L'animazione, può essere dolce e fluida, oppure energica e secca, senza quello che in animazione 2D si chiama easing in e easing out. Si può parlare di flusso per poter definire e organizzare all'interno del tempo totale delle sequenze di movimento diverse componenti. I movimenti sono combinati e variati, ci possono essere elementi che ricorrono, in contrasto e che si ripetono. Le tipologie di progetti di motion design includono le pubblicità, i titoli dei film, l'identità di un canale, di uno spettacolo televisivo, produzioni di digital signage, projection mapping, sequenze video nei videogiochi, banner per il web, contenuti per installazioni immersive e motion design interattive. Sta emergendo anche un mercato per le piattaforme digitali come Instagram e Facebook. Progetti di motion design di natura meno commerciale includono animazioni per spazi espositivi, ricerche visive, animazioni poetiche e installazioni artistiche. Motion graphic design è la progettazione delle grafiche usate nel contesto delle immagini in movimento. Per dare un esempio utile nel tradizionale contesto della messa in onda televisiva, pensiamo a una mappa che deve apparire come sfondo dietro al presentatore nel notiziario. Questa mappa è una grafica, una composizione di elementi sovrapposti a un flusso di video. Termine ancora riduttivo per inglobare quello che il graphic design è diventato negli ultimi 50 anni e il motion graphic man mano che la società dedica sempre più tempo alla loro fruizione sulla superficie degli schermi. Vi è consenso nel considerare come causa dell'importanza crescente di questi contenuti l'incontro tra l'immagine e

la parola, che consente una significativa potenza comunicativa. Le comunicazioni ben progettate emergono dalla moltitudine di comunicazione della vita moderna e richiamano la nostra attenzione. Cambiano le credenze e i comportamenti delle persone. Lo sviluppo delle emittenti televisive ha portato dentro le case del mondo sviluppato l'intrattenimento e i telegiornali. Il graphic design con la sua trasmissione in tutto il mondo ha accelerato rapidamente il motion design che è diventato di dominio del grande pubblico.

L'aggiunta della dimensione temporale ha fatto evolvere la grafica in qualcosa di nuovo. Con l'influsso della timeline le vecchie e statiche tecniche dei designers si sono trasformate in nuovi campi da esplorare. La storia del cinema, dell'animazione e degli effetti speciali ha fornito degli spunti per i pionieri praticanti. E' difficile trovare altri campi che hanno attinto da una così vasta varietà di discipline creative, che includono e non si limitano alla pittura, l'illustrazione, la scrittura, la grafica, l'animazione, il filmmaking, il sound design, la composizione musicale e la coreografia.

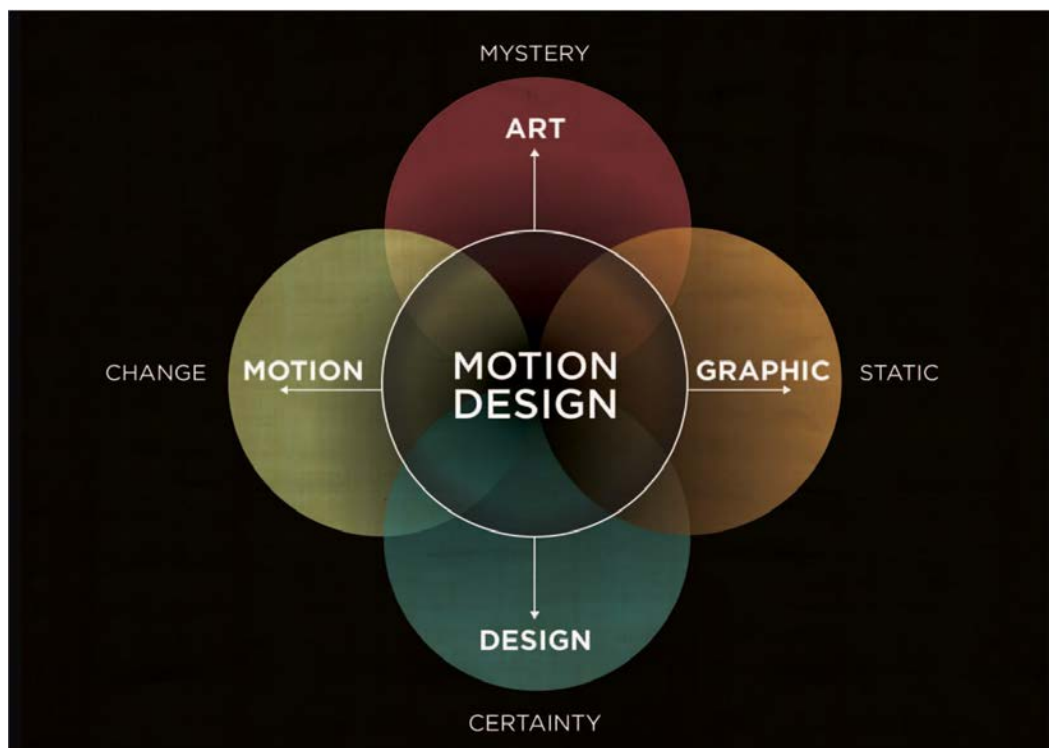


Fig. 4.5 - illustrazione tratta dal libro "Design for Motion: Fundamentals and Techniques of Motion Design"

Il Motion Design combina sia l'animazione che la grafica. La prima ha come caratteristica peculiare il cambiamento che avviene nel tempo e include discipline quali il cinema, l'animazione e il suono. La seconda non cambia nel tempo e include la grafica, l'illustrazione, la fotografia e la pittura. Il cambiamento avviene nel tempo, per questo il motion design è spesso chiamato time-based media. Le installazioni interattive, artistiche e la new media art possono anche non avere una durata definita o può essere differita rispetto al tempo in cui viene fruita. Il movimento offre l'opportunità di lavorare con le qualità del ritmo e della tensione.

Indipendentemente dalla durata temporale la conoscenza di come creare contrasti interessanti nel tempo è essenziale per creare un motion design di impatto.

Arte e Design sono due poli del motion design, una più riferita alle forme artistiche e l'altra al design commerciale. L'arte tradizionale afferisce al mistero o all'ambiguità mentre l'arte commerciale ha l'obiettivo di comunicare certezza. Uno spot di 30 secondi, può trasportare lo spettatore per i primi 25 secondi in un'avventura che ispira emozioni e concetti e continuare inequivocabilmente con i finali 5 secondi con il logo animato del brand senza lasciare incertezza su chi ha promosso la comunicazione.

4.6 La grafica in movimento

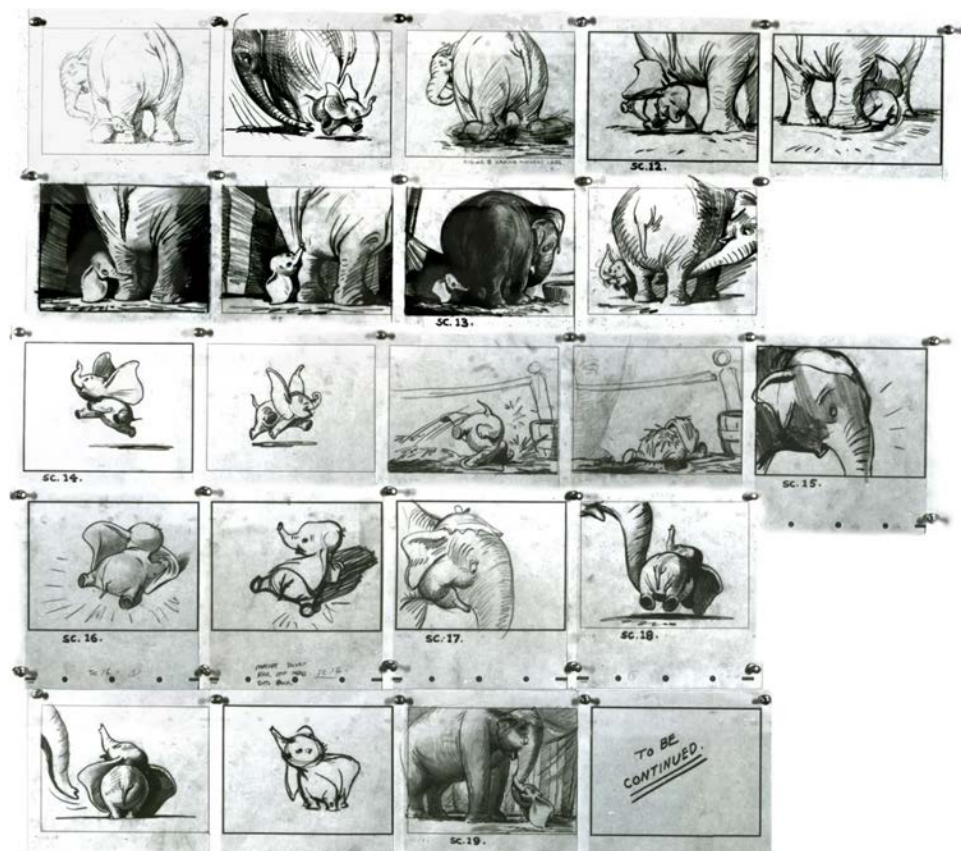


Fig. 4.6.1 - Schizzi di Dumbo e la sua mamma della Disney e il suo maestro Bill Peet

La relazione tra il movimento e la grafica è vitale per il motion design. L'immagine fissa definisce lo spazio, la profondità e il punto di vista. I fotogrammi statici mostrano istanti del progetto di motion design, ma illustrano anche lo stile visivo. Iniziando da un singolo frame, il designer può immaginare e pianificare l'animazione. Composizioni efficaci sono create più facilmente in forma grafica che può essere trasformata poi in animazione. Indipendentemente dallo stile dell'immagine grafica, la buona qualità della sua composizione è fondamentale per generare interesse nello spettatore. Il principio del contrasto e della tensione come strumento per creare interesse è condiviso tra l'animazione e la grafica. Il contrasto crea tensione e questa cattura lo

sguardo sulla composizione. La tensione può essere prodotta concettualmente, dalla storia o dalla composizione dell'immagine. Il contrasto è la chiave per generare la tensione, rimanendo nel campo della progettazione visiva la contrapposizione tra lo spazio pieno e vuoto, i toni chiari e scuri, una scala piccola e grossa, sono esempi che creano questo interesse visivo.

4.7 Variazioni Compositive

Il Motion design crea variazioni compositive nel tempo, questi cambiamenti della composizione, sorprese inattese e una comunicazione d'impatto, permettono di incrementare o diminuire la tensione. Per creare un movimento efficace bisogna prima creare una composizione efficace. Questo è un fondamentale collegamento tra la grafica e la sua controparte in movimento. E' inoltre importante mutare la composizione con intenzione. Il cambiamento può avere diverse qualità, lento e quasi impercettibile oppure violento. Il movimento della composizione può rallentare al punto di diventare simile alla grafica, il momento di svolta tra grafica statica e animata è esattamente il momento dove si percepisce un cambiamento nell'immagine-ambiente. La progettazione dell'immagine in movimento unisce la creazione di immagini con la narrazione. Un progetto tradizionale di animazione ha bisogno di un **concetto** forte, uno **stile visivo**, una **storia** e **specifiche per il formato finale**. Nell'Aerial Media Design il formato finale potrebbe sembrare non contemplato o implicitamente fissato. L'elemento che sancisce il formato, la grandezza e le sue specifiche è il luogo reale dove sarà messo in scena, i limiti e caratteristiche dell'ambiente fisico scelto diventano i requisiti invalicabili per il design del contenuto aereo. Il dimensionamento dello spazio di volo equivale alla forma e dimensionamento dello spazio dell'immagine pittorica, grafica bidimensionale. Le specifiche del formato finale sono dunque il luogo, la dimensione dello spazio di volo, insieme al numero dei droni coinvolti.

Come rilevato da (DRONE SHOWS: CREATIVE POTENTIAL AND BEST PRACTICES, Markus Waibel, Bill Keays, and Federico Augugliaro January 2017) i droni condividono lo spazio fisico degli spettatori e dei performer, e questo, denotano gli autori, li rende molto più intimi. E' importante anche da sottolineare come la loro capacità di movimento estenda lo spazio scenico oltre ogni tradizionale limite, la formazione dinamica dei droni nello spazio ridefinisce momento per momento il formato del contenuto visivo. Probabilmente è la capacità di movimento nelle tre dimensioni che li rende simili ad un essere vivente, generando un coinvolgimento empatico che normalmente non è associato alle macchine. Gli autori sottolineano come i droni, decorati con costumi, luci e diretti con uno scopo hanno la capacità di trasmettere emozioni e intenzioni, diventando loro stessi attori. Nell'articolo citato precedentemente sono riportate numerose tipologie di usi dei droni per scopi di intrattenimento: animation of flying characters, flying lighting displays, movement of stage props and scenographic elements, and the creation of flying robot actors and synthetic swarms. Inoltre la stessa ricerca sottolinea come gli show di droni siano delle applicazioni significativamente distinte dagli altri utilizzi come le ispezioni, il monitoraggio, la fotografia. Innanzi tutto prevedono l'uso di molteplici droni in volo simultaneo, questa caratteristica da sola richiede un volo autonomo, senza un controllo manuale a livello del singolo drone. L'impiego di piloti umani non sarebbe possibile, lo scenario in cui sono utilizzati sia in interno che in esterno è di quasi assenza di luce, il che rende il volo LOS (Line of Sight, ovvero col costante contatto

visivo del pilota) sia impraticabile e sia altamente rischioso, non è possibile realizzare voli in formazione in cui solo perfette sincronizzazioni possono realizzare forme e movimenti intenzionali. Intenzione è la parola chiave che bene sintetizza il bisogno di controllo, sincronizzazione per l'esito artistico, drammaturgico e narrativo. Si parla di sculture nello spazio, con movimenti e luci animati e ancora di precisi sincronismi per rappresentare comportamenti capaci di animare coerentemente dei personaggi o degli oggetti.

4.8 Metodologia Aerial Media Design

Un progetto di Aerial Media è l'unione tra il movimento di una formazione di droni e una dinamica luminosa-cromatica. Nei prossimi sottoparagrafi vengono presentate alcune delle tipologie di animazioni delle luci, delle posizioni dei droni e di interazione queste che stanno consolidando l'iniziale linguaggio narrativo dei droni luminosi.

4.8.0.1 Dinamiche luminose

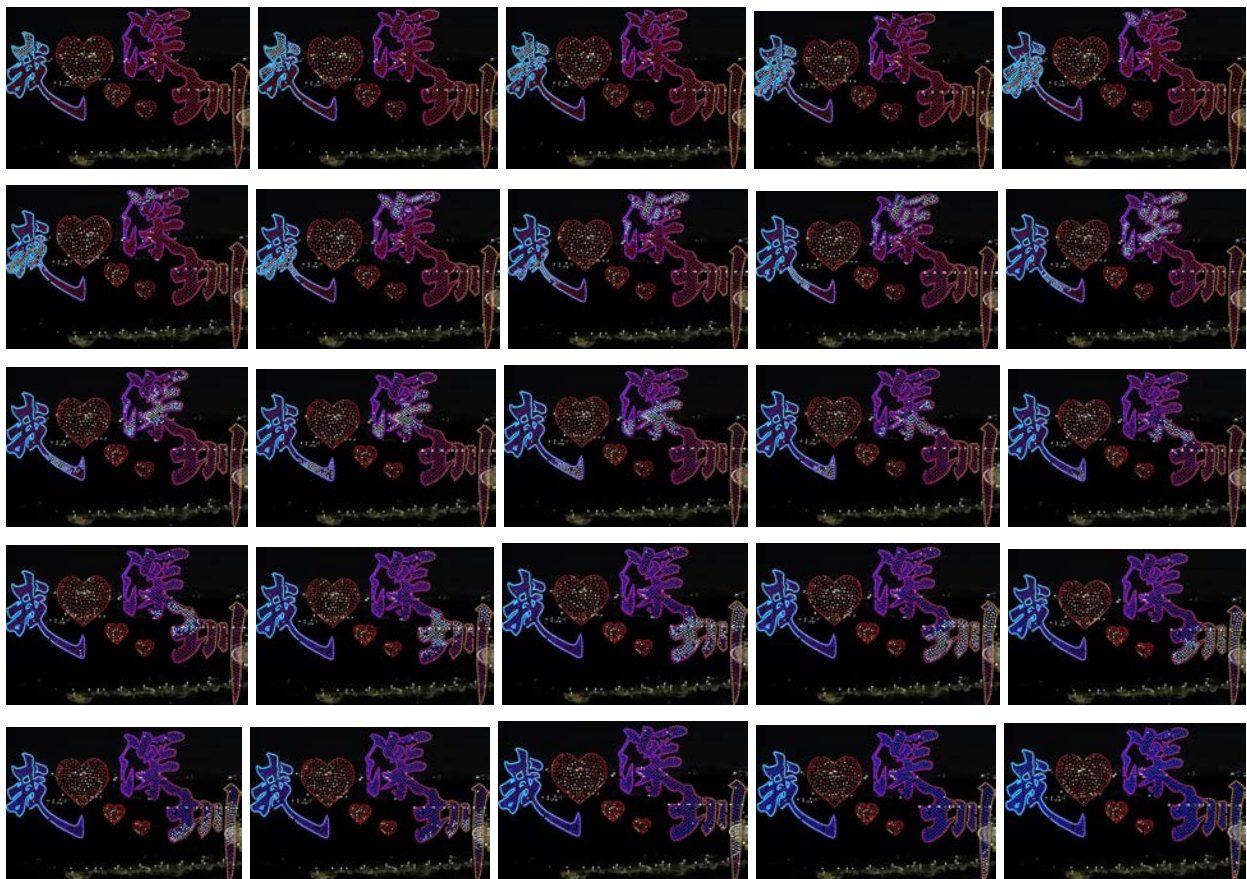


Fig. 4.8.0.1 - Sequenza con passaggio di animazione luce

La sequenza di immagini in figura 4.8.0.1 mostra uno dei metodi più usati per animare un soggetto rappresentato simulando un passaggio di luce che lo percorre secondo un orientamento. Questa tecnica permette di apportare una dinamica a uno degli elementi fissi, i cui droni non sono soggetti a spostamenti

spaziali. I due ideogrammi laterali con al centro un'iconografia composta di 3 cuori, variano il loro colore base che diventa bianco al passaggio di un elemento rettangolare obliquo che percorre la scena dal margine superiore sinistro al margine inferiore destro.

In figura 4.8.0.2 una scritta statica è animata con una animazione ad alta frequenza del suo colore che transita dal blu al rosso. Due chiavi di animazione del colore della formazione di droni offre un potente risultato che rende dinamico l'elemento e che interagisce con la totalità dell'emissione luminosa prodotta che influisce anche sull'ambiente circostante.



Fig. 4.8.0.2 - *scritta statica e dinamica intermittente con due colori*

In figura 4.8.0.3 due sequenze mostrano contenuti a bassa quota che comparendo progressivamente permettono di percepire l'importanza dell'apporto luminoso che interagisce col contesto ambientale aumentando l'illuminazione aerea e la conseguente maggiore illuminazione degli elementi fisici sottostanti presenti.

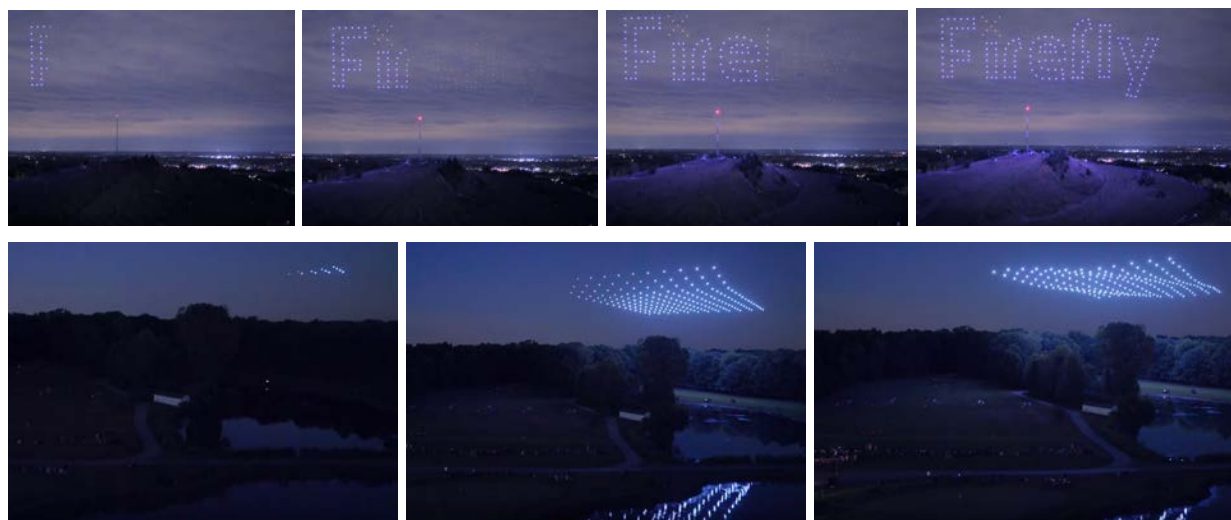


Fig. 4.8.0.2 - *L'emissione luminosa dei droni e il rapporto con l'ambiente*

4.8.0.2 Transizioni luminose

Nel linguaggio audiovisivo transizioni e dissolvenze sono tra gli elementi base usate in fase di montaggio all'inizio di ogni sequenza video, alla loro conclusione e durante il passaggio tra due sequenze consecutive. Anche nel linguaggio visivo aereo si stanno sperimentando e consolidando modalità per l'introduzione, la conclusione e il passaggio tra una scena e la successiva. Nei prossimi sottoparagrafi grazie ad alcune sequenze di fotogrammi vengono presentate alcune tecniche che sono state utilizzate

per l'apparizione, la dissolvenza e la transizione tra scene o, all'interno della stessa scena, le stesse dinamiche luminose usate per i diversi elementi presenti.

4.8.0.3 Apparizione immagine

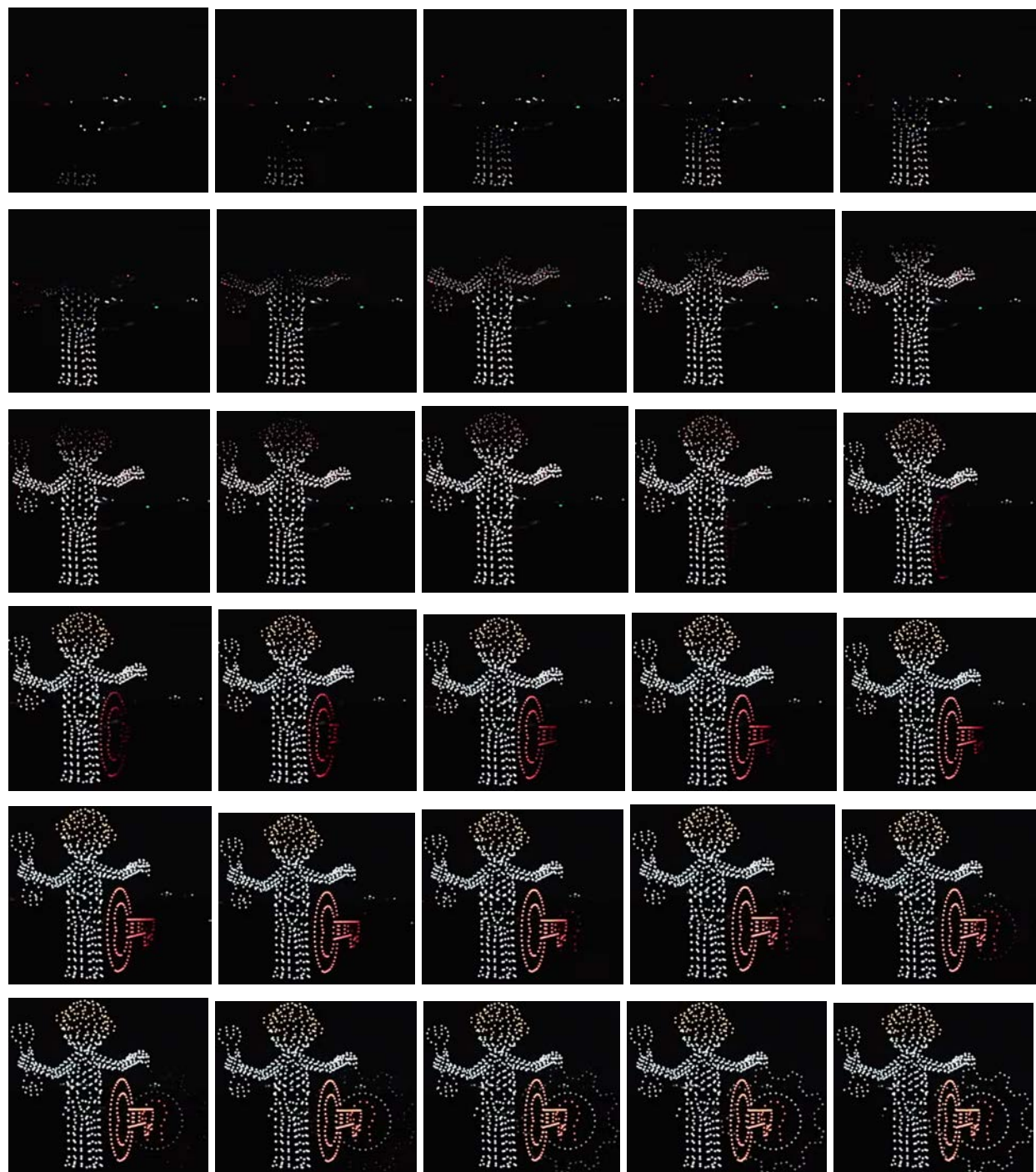


Fig. 4.8.0.2.1 - *Apparizione in tre fasi*

La transizione presentata dalla sequenza in figura 4.8.0.2.1 si svolge per l'apparizione di una scena composta da un modello 3d e icone 2d e ha una durata di meno di 3 secondi. Inizialmente è utilizzato un gradiente dal nero (non visibile) al bianco che agisce su un omino 3d stilizzato, si sposta con un

movimento verticale dal basso all'alto, rendendo visibile l'elemento 3D dai piedi fino alla sommità del suo capo. Successivamente un secondo gradiente dal rosso al bianco illumina, con un movimento orizzontale, una chiave che entra nella serratura e attiva un ingranaggio. Facendo apparire la chiave, il soggetto dell'azione, parte un terzo gradiente circolare che dal punto centrale che fa apparire la serratura davanti alla chiave.

4.8.0.4 Transizione chiusura scena





Fig. 4.8.0.4 - *Transizione con noise di chiusura scena*

L'esempio rappresentato in figura 4.8.0.4 è una sequenza di circa 3 secondi utilizzata per realizzare una dissolvenza a nero di una scena con una forma tridimensionale. Per analizzare correttamente la sequenza bisogna precisare che i droni rimangono perfettamente fissi nella loro posizione, come si nota nel primo frame in alto a sinistra, dalla parte inferiore dell'oggetto, inizia un passaggio luminoso che investe tutti i punti dell'immagine con un movimento verticale dal basso all'alto. La caratteristica di questo passaggio luminoso rispetto al precedente è la ricchezza della variazioni cromatiche che non sono riconducibili a un gradiente composto da più colori che riproduce in ogni punto la medesima sequenza luminosa, i colori possono essere generati tramite il concatenamento di varie operazioni, e queste possono variare spazialmente sia per colore e sia come frequenza dell'attivazione di quest'ultimo.

4.8.0.5 RasterLight

E' stato scelto questo nome per dare risalto all'aspetto della composizione dell'immagine a partire dai pixel che la compongono, infatti, come avviene nel processo di rasterizzazione di una immagine ogni pixel è codificato col proprio valore cromatico. Questa tecnica di animazione prevede la suddivisione dei droni in diversi sottogruppi, in cui ogni sottogruppo descrive un frame diverso dell'animazione del medesimo elemento. Pertanto è una condizione necessaria per realizzare una sequenza RasterLight quella di avere ogni sottogruppo predisposto nella posizione desiderata. E' la componente luminosa che è dinamica, vengono accesi in sequenza i sottogruppi, generalmente in ogni istante solo un sottogruppo è acceso, in modo che, anche se i droni coinvolti in questa tecnica sono fissi in posizione, l'accensione in successione dei sottogruppi-frame uno dopo l'altro consenta la percezione del movimento allo stesso modo in cui questo fenomeno avviene in una sequenza video. Nella RasterLight, poiché i droni sono utilizzati per rappresentare l'elemento figurativo e non un quadro tradizionale con una risoluzione fissa, il numero di droni è variabile da sottogruppo a sottogruppo.

Si hanno quindi i droni in posizione statica, suddivisi in tanti sottogruppi per dare luogo alla rappresentazione dei frame dell'animazione per mezzo dell'accensione luminosa che si alterna progressivamente da un sottogruppo al successivo in sequenza.



Fig. 4.8.0.4 - esempio di *RasterLight*

In figura 4.8.0.4 un set di 6 frame compone l'animazione di un uomo che corre. Esistono 5 matrici che vengono accese alternativamente in progressione che producono la percezione della corsa dell'uomo stilizzato.

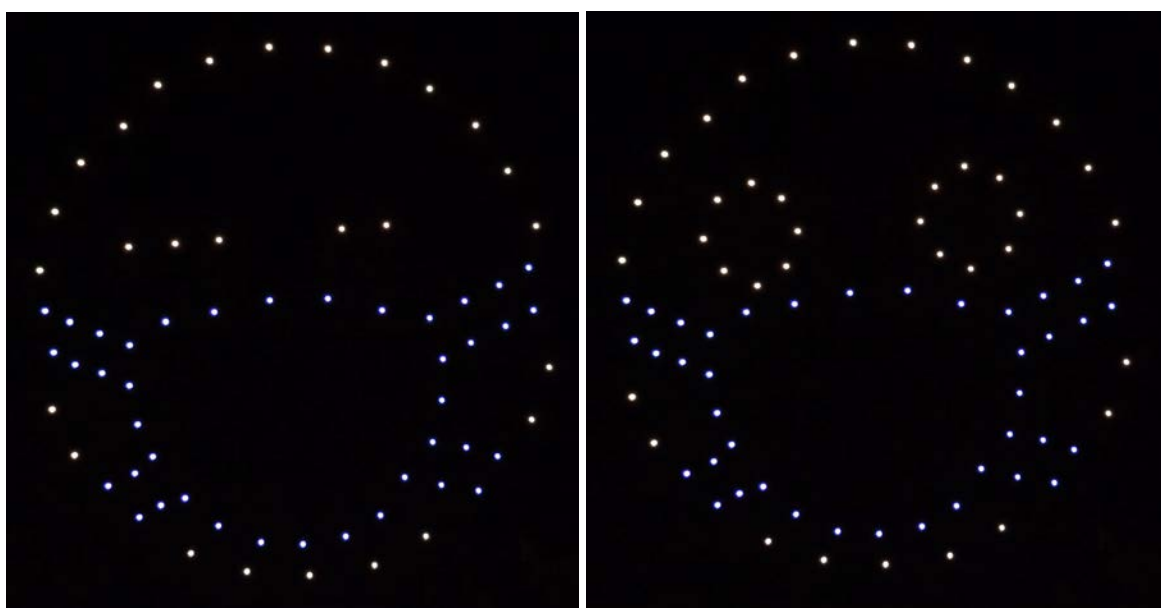


Fig. 4.8.0.5 - animazione *RasterLight* di 2 frame

In figura 4.8.0.5 un esempio di tecnica *RasterLight* composta con soli due fotogrammi che anima l'apertura degli occhi di un'icona stilizzata di una faccia con mascherina.

Un caso particolare è quando la tecnica del *RasterLight* è utilizzata in un singolo gruppo-fotogramma per generare delle dinamiche luminose che possono oltre che far apparire, sparire come le transizioni analizzate nei paragrafi precedenti, dinamicizzare degli elementi creando il contenuto della scena.

Nell'estratto sottostante questa tecnica è utilizzata su un unico gruppo, una scritta con ideogrammi che sono animati con un gradiente ovale che dal centro dell'elemento si espande verso l'esterno.



太 陽

水 新

[illegible]

新 社 区 新 家 园

10. 11. 2019

北 京 人 民 大 学

北 京 市 人 民 政 府

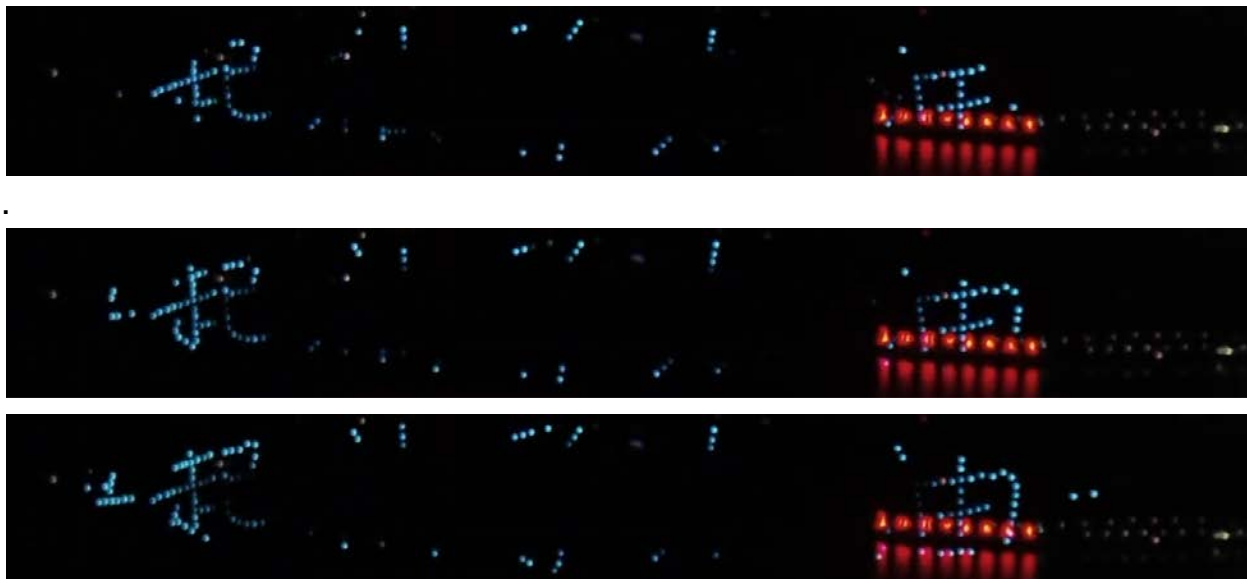
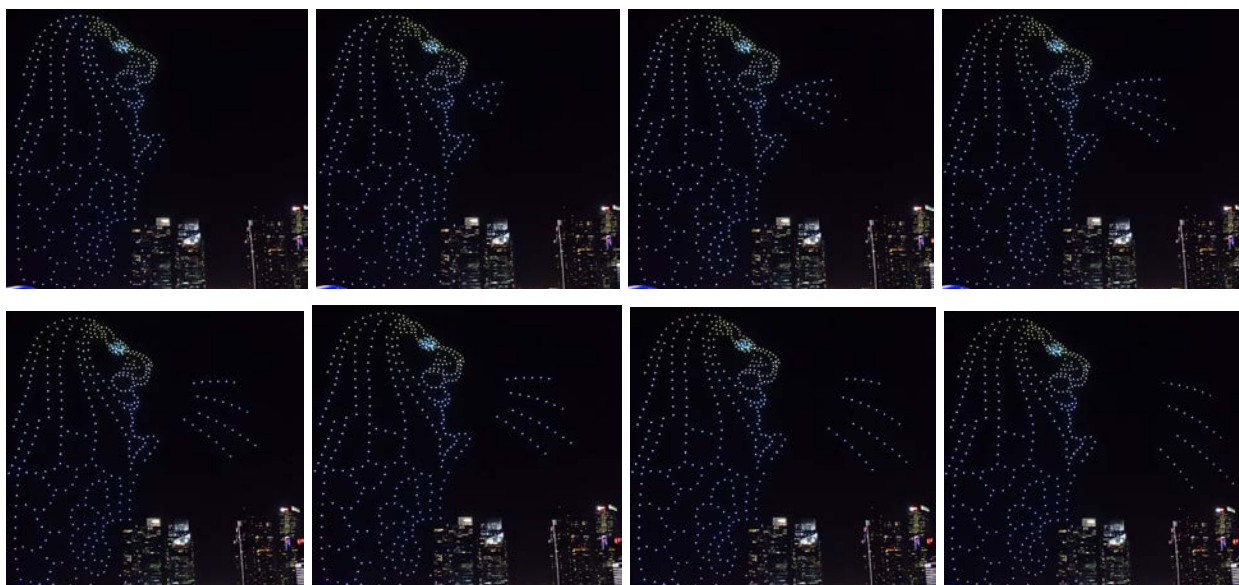


Fig. 4.8.0.6 - esempio di *RasterLight*

Un altro esempio di RL costituito da un unico gruppo, è mostrato nell'esempio in figura 4.8.0.7. Il leone sulla sinistra rimane fisso di posizione e sempre acceso, vi sono sulla destra 4 curve a singola linea interessate dall'animazione RL. Partendo dalla bocca del leone sono illuminate da sinistra verso destra, simulando una emissione di queste linee da parte del leone. Il primo frame mostra solo l'elemento leone e a partire dal secondo fino al quarto frame i 4 segmenti si espandono verso destra accendendo punti adiacenti, a partire dal quinto frame si iniziano a spegnere i punti più a sinistra, simulando un movimento delle 4 linee da sinistra a destra, come se scaturissero dalla bocca del leone.



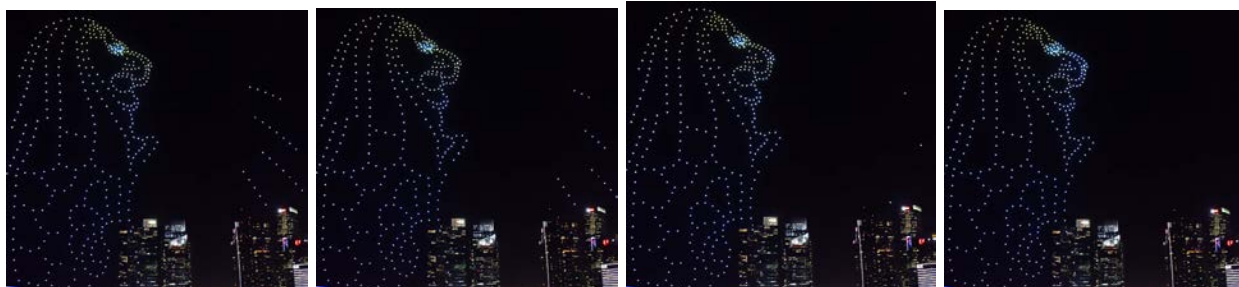


Fig. 4.8.0.7 - *RasterLight con passaggio di luce su singola formazione*

4.8.0.6 LightVector

E' stato scelto il termine LightVector per gli approcci di animazione in cui i droni sono in movimento nello spazio e questo produce l'animazione dell'elemento. Vi è dunque una traiettoria di navigazione, determinata da un vettore di movimento, lungo cui il drone è comandato. Questa modalità non necessita di avere sottogruppi di droni, tutti o una parte dei droni sono in movimento con una velocità appropriata a seconda del movimento che la parte rappresentata deve compiere. Due sono i principali vantaggi di questa tecnica rispetto a quella del RasterLight, il primo è l'alta qualità della resa dell'animazione, poiché non vi è alcuna interpolazione o parte di movimento non effettivamente prodotta, ma i punti animati compiono il movimento effettivo. Il secondo beneficio riguarda l'ottimizzazione del numero dei droni, poiché non dovendo predisporre n sottogruppi per gli n frame di animazione necessari, si possono usare tutti i droni disponibili per dettagliare gli elementi animati e procedere con l'animazione muovendo fisicamente i droni. La tecnica LightVector sembrerebbe la modalità migliore e da usare in esclusiva, si può dire che sia così per tutti i casi dove è possibile usarla, ovvero quando la necessità di spostamento dei punti non supera la velocità eseguibile dal drone. Con l'aumentare delle dimensioni della visualizzazione e il ristretto tempo in cui l'animazione deve svolgersi, si traduce in contenuti da visualizzare, in cui alcune parti, se non tutte, hanno bisogno di muoversi con una tale velocità che non consente l'approccio LightVector..

Nell'estratto sottostante le due gocce laterali che scendono sono costituite dagli stessi droni, che scendendo verso le mani in basso, spostano col loro lento movimento fisico la sagoma. Lo stesso si ritrova per le due mani che si spostano leggermente simulando lo strofinamento tramite il reale movimento dei punti che le costituiscono.



Fig. 4.8.0.9 - *esempio LightVector con movimento mani e gocce*

Nell'esempio sotto nei primi 6 fotogrammi la Lightvector porta alla creazione della sagoma dell'automobile con una funzione simile a una dissolvenza iniziale che fa apparire la scena.

Nei successivi tre fotogrammi, sempre in LightVector, le due ruote ruotano sul loro centro e sopra la linea superiore rossa. Negli ultimi 3 frame prima due poi tre punti bianchi si muovono realmente da sinistra a

destra, simulando delle particelle o linee di movimento che aiutano a simulare un movimento dell'automobile verso destra anche se rimane in posizione statica.

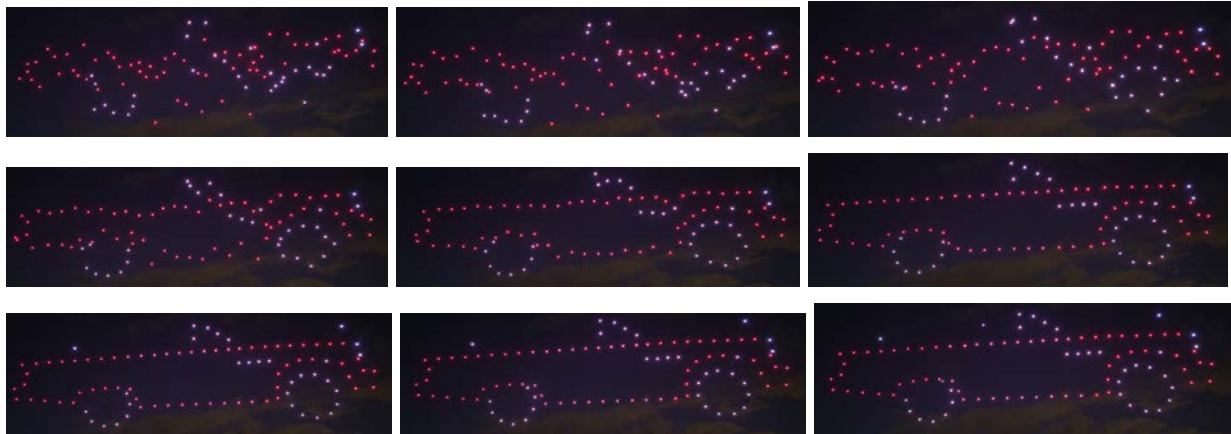


Fig. 4.8.0.9 - *LightVector con passaggio di luce su singola formazione*

Un altro caso in cui è largamente usata la VL è per ruotare oggetti in 3d come per il modello dell'elmetto nell'esempio sottostante.



Fig. 4.8.1.0 - *LightVector per la rotazione di un elemento 3D*

4.8.0.7 Approccio misto

Come si è visto LightRaster e VectorLight sono due approcci complementari per la rappresentazione animata, infatti può essere utile utilizzare entrambe le modalità all'interno della medesima scena.



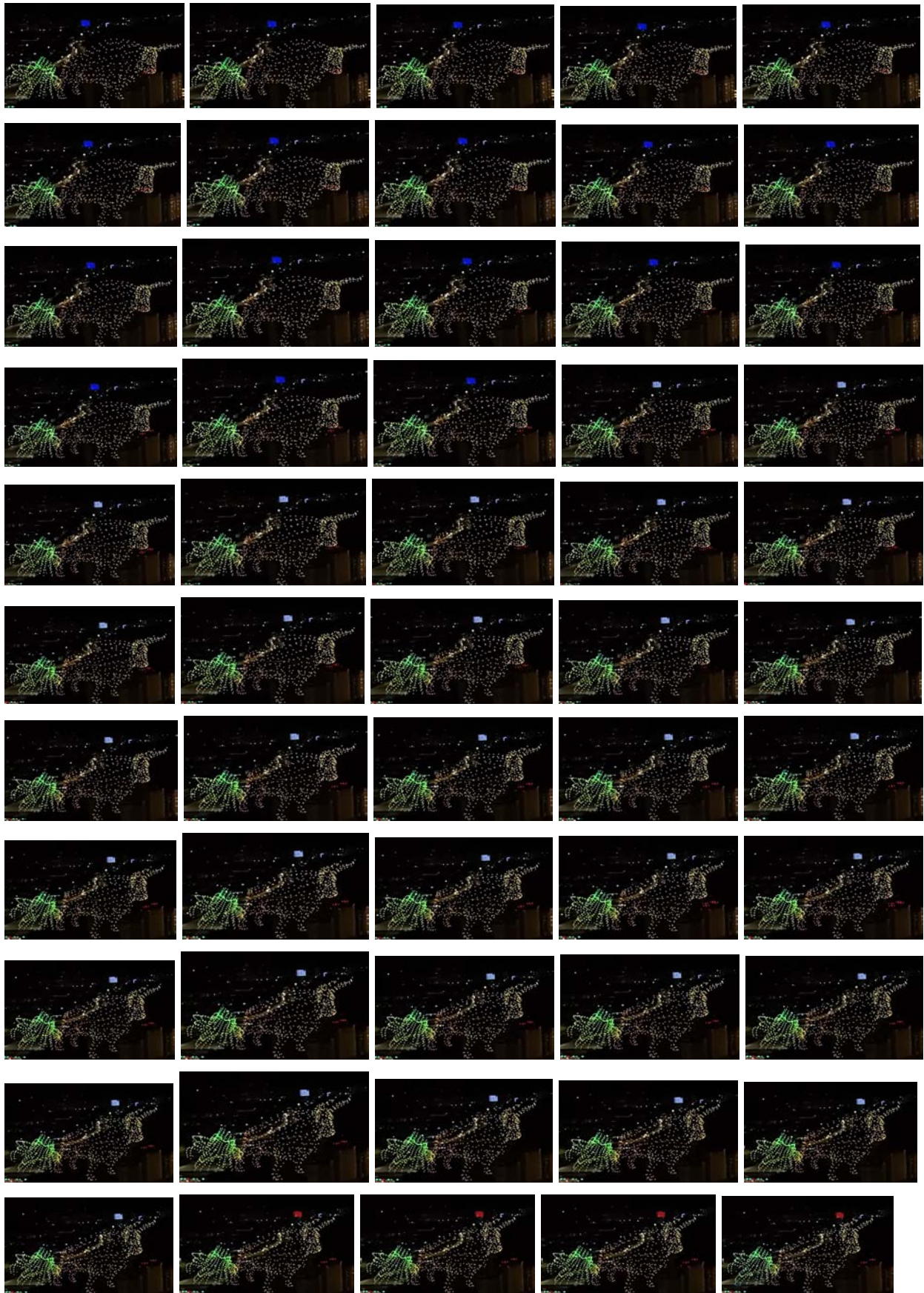


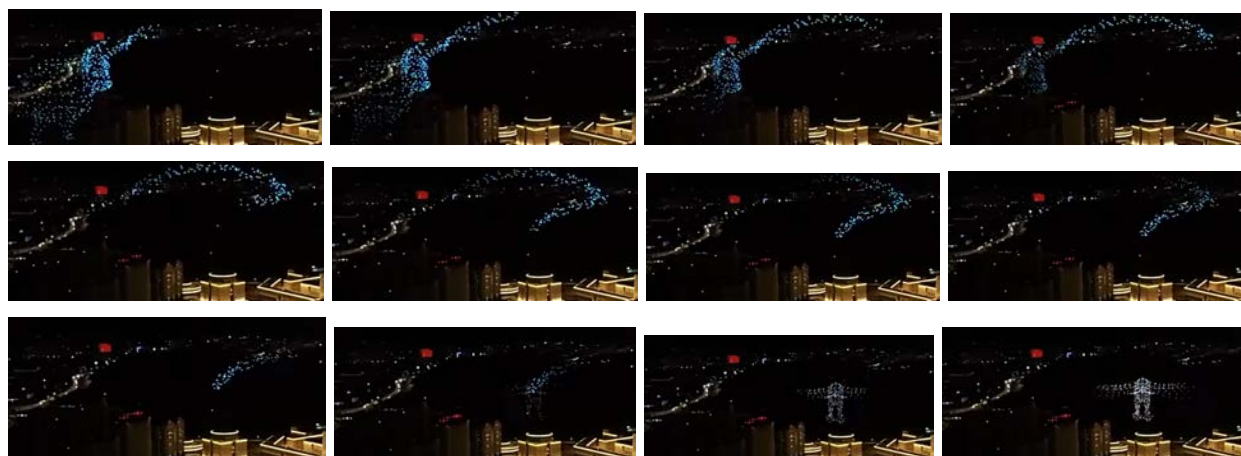
Fig. 4.8.1.1 - prima parte con animazione tramite LightVector

Nell'estratto in figura 4.8.1.1 sono riportati appositamente tutti i frame della registrazione video per comprendere la lentezza del movimento effettuato. La scena mostra un toro che alza la testa, l'animazione ha una resa molto alta poiché è stata usata la tecnica del LightVector. Osservando la sequenza di immagini da sinistra a destra si avanza di un singolo frame, se si osserva in verticale sulla stessa colonna si ha un avanzamento di 5 frame.



Fig. 4.8.1.2 - seconda parte con animazione tramite RasterLight

Nell'estratto in figura 4.8.1.2 la scena continua dall'ultimo frame dell'estratto precedente, in questa seconda fase il toro e la sua coda rimangono fissi per l'intera durata. Si usa il RasterLight per controllare la luce, questa viene impiegata inizialmente per variare la tonalità della coda del toro dal verde iniziale all'azzurro e contemporaneamente questa nuova colorazione si estende andando ad interessare l'intero corpo del toro. L'animazione continua impiegando sempre la modalità RasterLight che continuando il passaggio del gradiente colora di azzurro e successivamente spegne le forme del toro dalle sue parti posteriori fino alla testa.



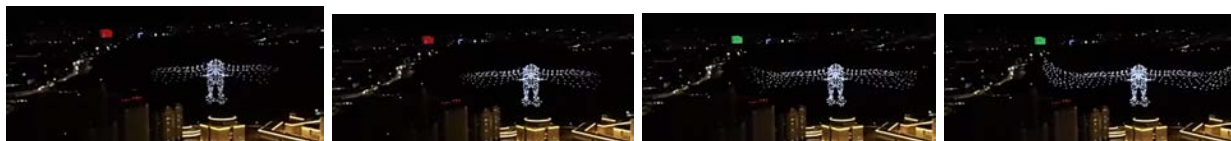


Fig. 4.8.1.3 - terza parte con animazione tramite RasterLight

L'estratto in figura 4.8.1.3 è la continuazione della seconda parte precedente e continua l'approccio RasterLight che arrivato in prossimità della testa del toro continua sviluppandosi inizialmente alla destra del toro mostrando un gruppo di droni che visualizzano una scia particellare, per poi continuare in basso. Questa scia particellare simula un passaggio di energia che partendo dal toro a metà della terza riga inizia a scomparire come scia e inizia ad illuminare un terzo gruppo di droni che, sempre statici perché già in posizione, visualizzano un nuovo modello tridimensionale di un uccello visibile nella quarta riga. Quindi partendo dalla fase precedente una RasterLight colora progressivamente l'elemento toro, lo spegne e si sviluppa nella scia particellare che si mostra, si spegne e arriva a visualizzare un secondo animale uccello.

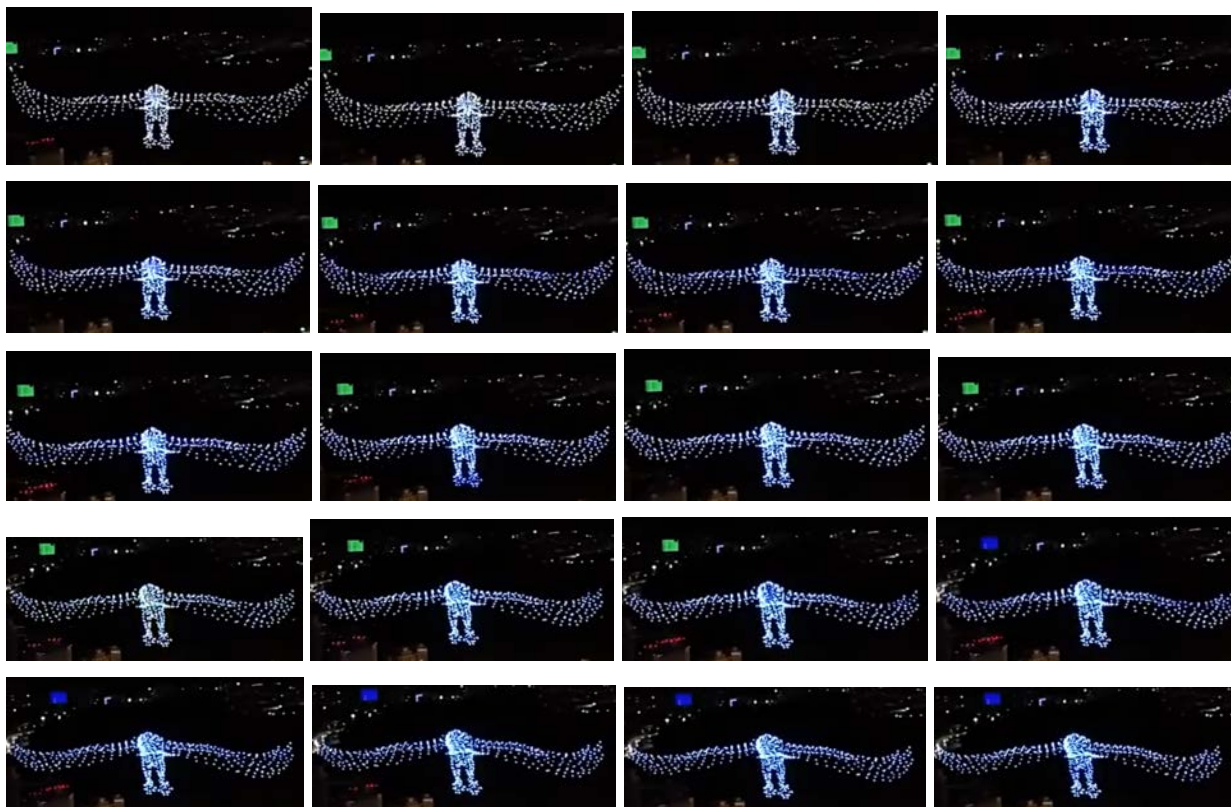


Fig. 4.8.1.4 - quarta parte con animazione RasterLight e LightVector

Come visibile nel quarto estratto nella figura 4.8.1.4 lo stesso gradiente cromatico della RasterLight iniziato nella fase due colora dapprima in bianco l'uccello e poi in azzurro. Durante la colorazione da bianco ad azzurro del volatile inizia anche una LightVector che inizia lo spostamento fisico dei droni del volatile per animarlo con il suo volo. Il movimento del volatile risulta quasi impercettibile restituito frame per frame. Come mostrato in questa sequenza considerata per intero sono state usate entrambe le modalità, dove è stato possibile per l'animazione del toro e del volatile è stata usata la LightVector per ottenere la fluidità necessaria all'animazione di un personaggio. Il principio è quindi quello di determinare gli elementi animati compatibili con il VectorLight che fornisce la miglior qualità dell'animazione e non necessita di utilizzare ulteriori droni.

E' anche possibile utilizzare contemporaneamente LV (LightVector) e RL (RasterLight) sul medesimo elemento e simultaneamente, ovvero si avrà una selezione dell'elemento illuminata dalla RL e l'elemento è contemporaneamente in movimento. Nell'esempio riportato nella sequenza di immagini nella figura 4.8.1.5 è rappresentata una scena con un pianeta centrale con un anello orizzontale e altri due ai suoi lati. Tutti i pianeti, le sfere blu e la viola centrale, ruotano in VL, e anche l'anello bianco attorno alla sfera viola è animato in VL.

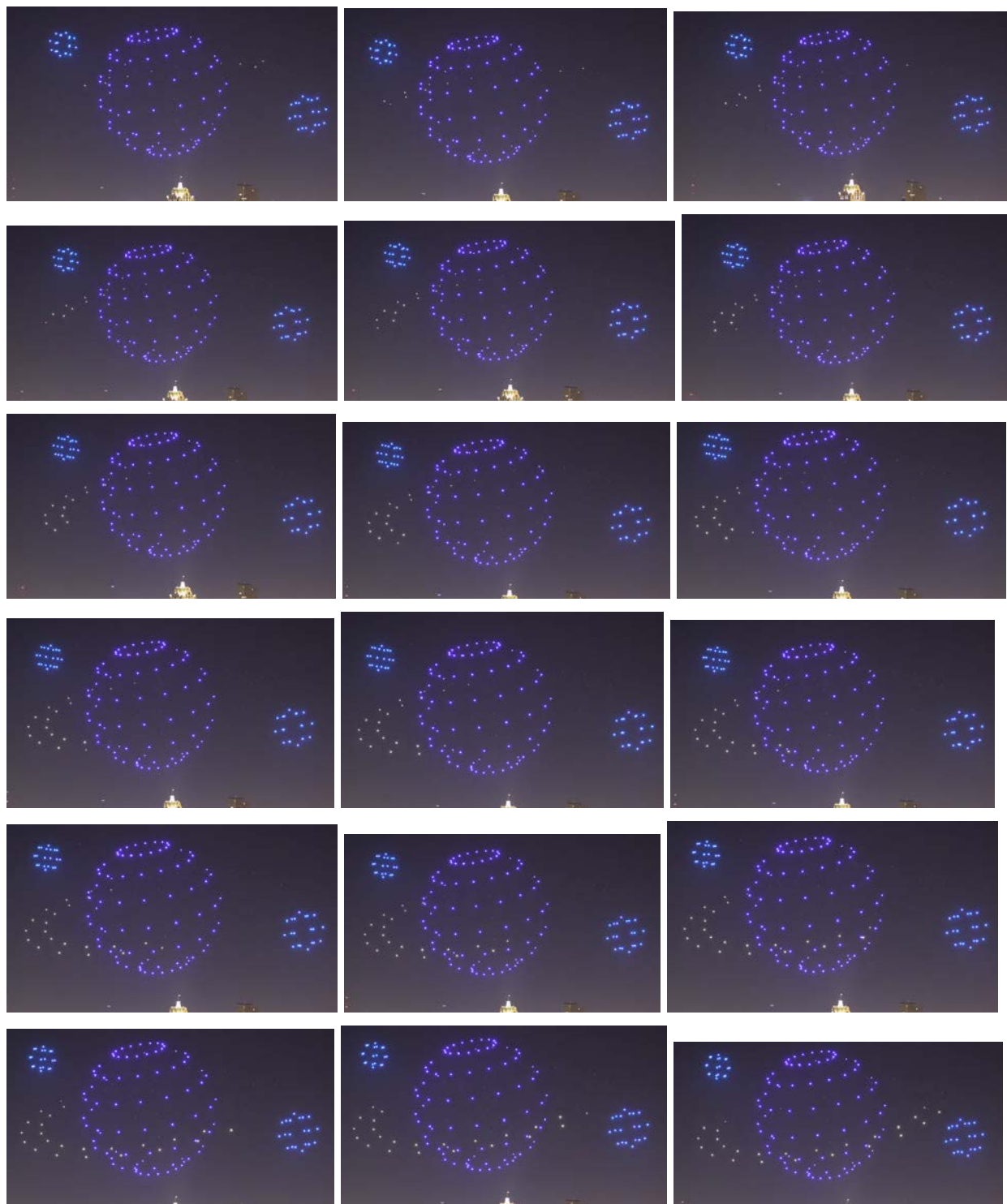


Fig. 4.8.1.5 - terza parte RasterLight e VectorLight contemporaneamente

Ad ogni frame anche l'apporto del RL è facilmente visibile, infatti qualche nuovo punto si accende, nella direzione antioraria del movimento, sulla punta dell'anello e qualche punto si spegne sulla coda dell'anello. Il movimento LV dell'anello ha la stessa direzione dell'effetto RL è lento perciò poco visibile, ma contribuisce a valorizzare l'animazione antioraria dell'anello con un apporto di fluidità che solo il movimento reale può restituire.

Nella figura 4.8.1.6 è mostrato un altro esempio in cui sono stati usati nello stesso elemento la modalità RL e LV. Un uomo al centro della scena posa le mani sulle colonne di una porta, al centro della cornice superiore della porta si accendono in rosso (RasterLight) dei frammenti, questi sono i precursori della frattura che si crea più avanti nella sequenza originale in cui la porta si divide in due parti che lentamente si distaccano tra di loro.

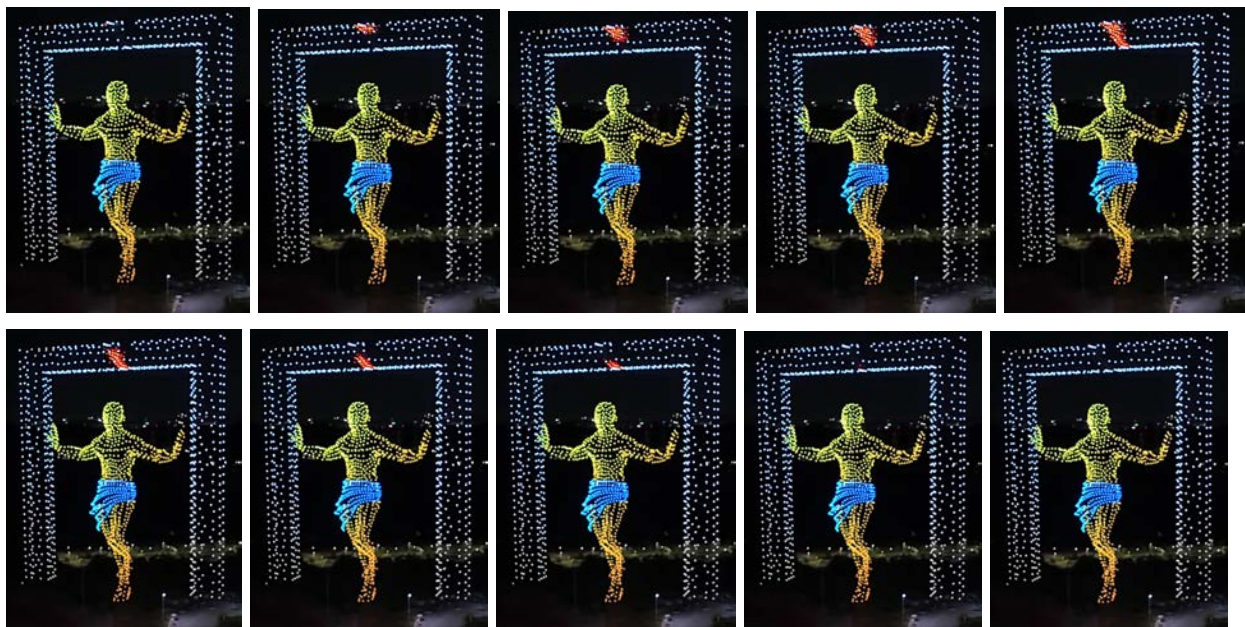


Fig. 4.8.1.6 - terza parte Ras

4.8.1 Sistema centralizzato con missione pre-caricata

Le applicazioni di show di droni sono un sistema complesso composto da diverse ICT opportunamente interoperanti: la parte software per la creazione delle coreografie, la stazione di controllo per la gestione del volo, la piattaforma hardware del drone, il sistema di posizionamento a bordo del drone, la stazione base GPS RTK a terra, il sistema di comunicazione primario per la telemetria e i messaggi, il sistema di ricarica delle batterie e trasporto a contorno. E' importante sottolineare come tutte queste componenti declinate per un uso di robotica a sciame siano alla loro prima generazione e molte di queste (come la stazione base RTK e il sistema WiFi) sono prese da oggetti generici in commercio. E' importante tenere in considerazione questo perché alcune delle condizioni presentate nei prossimi paragrafi sono legate alle limitate possibilità dello stato attuale delle relative tecnologie, inoltre il sistema di controllo attualmente utilizzato è centralizzato, dove dunque non è presente una intelligenza distribuita in cui ogni singolo agente conosce la posizione degli altri componenti dello sciame nè, tanto meno, è presente la capacità di risposta individuale degli agenti che permetterebbe un comportamento adattivo, dinamico,

cioè in grado di mutare in tempo reale. I sistemi oggi usati sono tutti basati su delle traiettorie precalcolate, in cui ogni componente dello sciame ha prima del decollo un piano di volo completo che è stato attentamente generato tenendo conto di tutte le traiettorie degli altri droni coinvolti, integrando in questo percorso l'esatto punto di decollo ed atterraggio. Le conseguenze di questo attuale paradigma sono che i droni non possono eseguire alcuna variazione alla traiettoria caricata, questo significa che, in totale sicurezza, non è possibile volare meno del previsto e quindi di atterrare prima del completamento della coreografia per esempio a causa di una batteria poco carica o malfunzionante. Con i sistemi attuali non è possibile alcuna sostituzione di droni durante lo show, cioè di sistemi in grado di funzionare in modo continuativo oltre l'autonomia di una singola batteria, ma nemmeno è possibile variare la zona di decollo o di atterraggio senza generare un nuovo piano di volo che deve essere aggiornato prima del decollo a bordo dei droni. Le implicazioni di questa prima generazione di sistemi, sotto forma di vincoli, sono presentate nel prossimo paragrafo.

4.8.2 Vincoli di Velocità e Accelerazione

Nell'animazione 3D, essendo una simulazione virtuale, un punto può assumere qualsiasi variazione di posizione tra due istanti T_1 e T_2 . Al contrario, nell'esecuzione reale, il drone che precedentemente era solo impersonato da un vertice che per esempio traslava di 20 metri in una direzione in un tempo di 5 secondi, ora deve fisicamente eseguire tale movimento. Ciò è condizionato in prima istanza da una velocità massima V_{max} e da una accelerazione massima A_{max} che sono generalmente misurate in condizioni controllate ed ottimali e permettono di determinare le performance dinamiche che può effettivamente sostenere. Sono quindi due parametri specifici del drone e sono determinati fisicamente dalle componenti meccaniche propulsive del mezzo (motori, eliche e il sistema di alimentazione) e anche dal peso complessivo, la sua distribuzione e l'aerodinamica. Inoltre, a livello software vi è tutta una serie di settaggi, iniziando dal software della scheda autopilota è presente la parametrizzazione del sistema di controllo dei PID, vi sono parametri generali che influiscono sulla navigazione, altri specifici della modalità di volo usata, quelli che determinano il comportamento per la tenuta di posizione e la sua correzione, in aggiunta, vi è anche una parametrizzazione del firmware degli ESC, che ancora a priori imposta e può limitare come i motori vengono controllati: tutti questi settaggi pertanto influiscono e concorrono a caratterizzare la performance dinamica e di reazione del mezzo. Sono parametri che vengono analizzati ed affinati ogni volta che viene cambiata qualche componente propulsiva o l'assetto del drone, bisogna osservare la qualità di tenuta della posizione, che significa anche la reazione a fattori esterni, quale il vento, la qualità di esecuzione della traiettoria impostata, ovvero quanto si discostano le posizioni reali rispetto a quelle desiderate. Questo lavoro viene condotto sia visivamente e sia tramite l'analisi dei log (il salvataggio delle informazioni a bordo del drone) valutando e comparando i risultati ottenuti al variare di ogni parametro. Questa analisi e la sua verifica sperimentale può essere molto complessa e lenta, anche perché i parametri sono spesso in una tale relazione che devono essere cambiati assieme influenzandosi reciprocamente. Sia le impostazioni software che i valori di velocità e accelerazione del drone vengono determinati in modo conservativo per non essere invalidati, come per esempio nel caso di forze esterne come un vento contrario alla direzione di navigazione, che ritardando il raggiungimento della posizione desiderata genererebbe problemi di difficile previsione sulla traiettoria successiva e dell'intera coreografia. Da tenere in considerazione anche dei margini sui motori che benché dello stesso tipo hanno delle tolleranze di produzione tra un esemplare e l'altro. Una volta individuato il compromesso ottimale tale set di valori viene salvato come lista di parametri di riferimento valida fino a una nuova revisione e pertanto verrà installato su ogni mezzo della flotta. Velocità e accelerazione massime sono limiti imprescindibili degli agenti e devono essere presenti nel software di creazione dei contenuti delle verifiche in sottofondo che permettono di avvisare quando un punto di animazione supera questi limiti. Questo aspetto è molto importante, come evidenziato nell'esempio del vento come fattore esterno

perturbante, l'intera coreografia è costituita dalla formazione dei droni che assume tutte le posizioni in successione, pertanto è buona prassi costruire e validare ogni segmento di animazione prima di costruire parti successive, diversamente potrebbero non essere eseguibili e richiedere molto tempo il riadattamento delle parti successive; per comprendere meglio le implicazioni si suggerisce di pensare a una coreografia che deve andare a tempo sulla musica.

4.8.3 Parametro prossimità

I droni in volo sono oggetti con pale rotanti che rispecchiano la formazione del gruppo di vertici animato nella scena 3d. I primi hanno una dimensione e un ingombro per cui possono fisicamente collidere mettendo a rischio persone e cose sottostanti, i secondi no. In ricerca è stato sviluppato un plugin per il software cinema4D in modo da impostare la scena con misure in metri e supportare l'operatore con una rappresentazione dell'ingombro sferico massimo attorno all'oggetto drone oltre ad offrire la possibilità di visualizzare una versione semplificata del modello drone. Come visibile nella figura 4.8.1.7 appena dei vertici tridimensionali sono associati ad una scena della coreografia vengono creati dei nuovi oggetti, la sfera e il modello del drone.

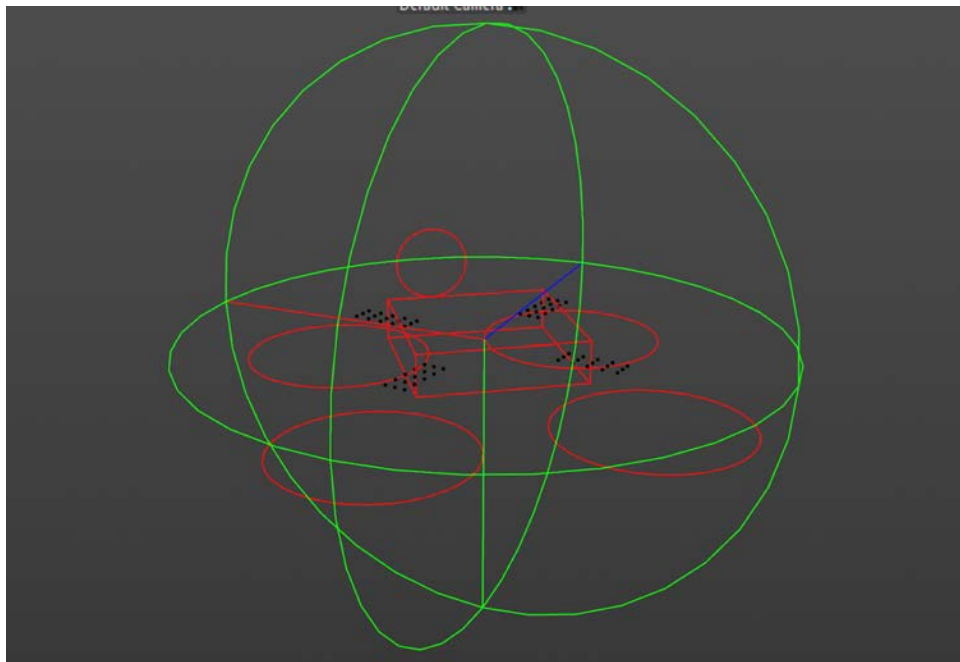


Fig. 4.8.1.7 - visualizzazione drone nello strumento di Design in Cinema4D

Inoltre è stato introdotto un parametro di prossimità minima, impostabile dell'operatore, che serve sia per la verifica finale e sia durante il playback dell'animazione, qualora venisse violata la prossimità minima, un elemento grafico mostra esattamente dove la condizione non è rispettata. Anche inavvertitamente la coreografia non viene esportata se tale condizione è violata e una finestra di dialogo segnala in quale frame temporale e tra quali droni sussiste tale problema.

In questo modo non vi è possibilità di creare scene di animazione in cui i droni si avvicinano troppo tra di loro, una volta create tutte le parti di animazione necessarie bisogna generare le transizioni per unirle nella coreografia.

4.8.4 Coerenza numero droni

Un'altra condizione che deve essere rispettata è la coerenza del numero di droni tra tutte le scene. Per ogni coreografia uno dei primi parametri da definire è il numero di droni da utilizzare, definito come "*droni spettacolo*", questo è importante poiché impostata una modellazione e su questa impostata l'animazione rimane specifica per tale numero di droni e non sarebbe possibile eseguirla con un numero diverso. Durante la modellazione è importante avere a disposizione il conteggio del numero di droni in ogni scena per creare le geometrie, suddividerle e impostare la distribuzione dei punti trovando la miglior mediazione tra la densità dei punti negli oggetti da rappresentare e il limite del numero di droni a disposizione. Se in una scena a livello di design non si raggiunge il numero dei "*droni spettacolo*", in questo caso sarà creato un gruppo "*coerenza droni*" con all'interno un numero di oggetti droni pari al numero di *droni spettacolo* - il numero di droni che compongono la scena in corso di modellazione. Così il conteggio del numero di droni nella scena sarà uguale al numero di *droni spettacolo*. Questo gruppo serve solo per mantenere la condizione di coerenza valida e non ha nessuna funzione rappresentativa, pertanto, sarà mantenuto spento e statico per tutta la durata della scena, e verrà collocato opportunamente per non disturbare le azioni coreografate.

Se in alcune scene il numero di droni all'interno del *gruppo coerenza* è più alto del 20% del numero totale di droni è consigliato verificare le geometrie per individuare le possibili aree in cui creare delle distribuzioni aggiuntive.

È evidente che le scene di decollo e atterraggio sono create con il numero di droni totali.

Quando questo procedimento viene rispettato in ogni scena all'interno della coreografia, questa condizione è correttamente rispettata e permette di passare al prossimo paragrafo dedicato alla generazione delle transizioni.

4.8.5 Generazione delle transizioni

Creare una coreografia che contiene la scena_A e la scena_B implica anche generare le traiettorie che collegano le posizioni in cui si trovano tutti i droni al frame finale della scena_A alla loro posizione al frame iniziale della scena_B. Una traiettoria deve essere calcolata per la navigazione di tutti i droni presenti nello spettacolo, questa parte dalla posizione nella scena di decollo e collega ogni posizione da una scena alla successiva, fino alla posizione della scena di atterraggio. Considerando ora la determinazione delle transizioni è più chiaro che per essere risolte la coerenza del numero di droni è la condizione che rende possibile il collegamento di X droni della scena_A a X droni della scena_B. Nella transizione inoltre devono essere rispettati i limiti di velocità e di accelerazione massimi per cui, a parità di algoritmo per generarle, la durata della transizione dipende da questi parametri. L'altro parametro usato dalla transizione è quello della prossimità minima, poiché per generare una coreografia esente da collisioni è necessario, partendo da scene animate che non violano la prossimità minima al loro interno, unirle attraverso transizioni che rispettino tale parametro di prossimità.

Infine, come già introdotto, la generazione delle transizioni risolve anche il compito di collegare la prima e ultima scena coreografata con le formazioni di servizio che sono la formazione di decollo e la formazione di atterraggio, generalmente l'operatore ha a disposizione .

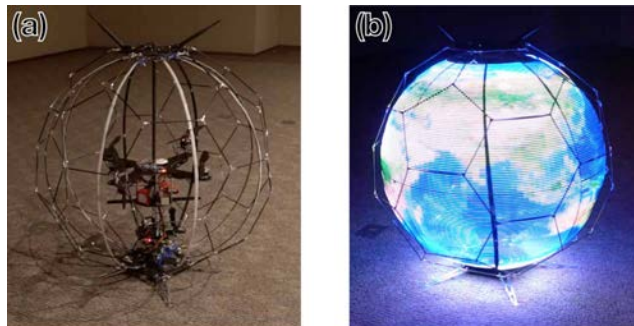
4.8.6 Modello Aerial Media

L'obiettivo del presente paragrafo è di fornire una definizione formale del campo altamente multidisciplinare dell'uso di sciame di droni luminosi, individuarne i parametri interni, associati all'area di visualizzazione, ed esterni, che ne configurano la relazione con il pubblico. Infine suggerire future integrazioni della ricerca rivolte all'analisi percettiva del fenomeno, in modo da identificare le metriche con cui predeterminare i parametri interni sufficienti a garantire la visualizzazione finale in modo che siano correttamente interpretati i referenti figurativi.

In letteratura si trovano alcuni prototipi che hanno previsto l'utilizzo di droni multirotori per scopi di comunicazione visiva (Flying display: a movable display pairing projector and screen in the air; In-situ-displaydrone: facilitating co-located interactive experiences via a flying screen; Displaydrone: a flying robot based interactive display; iSphere: Self-Luminous Spherical Drone Display) che si dividono in sistemi di proiezione di due tipologie: con un drone equipaggiato con un proiettore di immagini, libero di proiettare sulle superfici disponibili, o con un sistema composto da un drone proiettore e da un drone con schermo di proiezione oppure sistemi in cui un singolo drone trasporta o genera uno schermo.



Midair displays: exploring the concept of free-floating public displays



iSphere: Self-Luminous Spherical Drone Display

Fig. 4.8.6 - 2 esempi di singoli droni per visualizzare immagini

Queste sperimentazioni prevedono visualizzazioni rivolte a piccoli gruppi, anche utenti singoli per una visualizzazione mirata, in cui i droni trasportano o generano un sistema di visualizzazione tradizionale definito da una superficie.

Tali sistemi però non rientrano nella categoria dell' Aerial Media che presuppone l'uso di sistemi di sciame di droni, in cui gruppi omogenei di entità UAV, dotate di sorgente luminosa, concorrono alla generazione, in un volume spaziale, di immagini determinate dalla distribuzione simultanea dei punti luminosi-droni.

Come nello schermo tradizionale l'unità minima è il pixel, nell' Aerial Media il nodo base è il singolo drone in navigazione. La presenza e il movimento dei droni non spostano lo schermo ma animano l'elemento rappresentato, ed il loro coordinamento può essere centralizzato, decentralizzato o basato su missioni pre caricate a bordo di ogni drone; in ogni caso è la concomitanza della loro presenza che determina la realizzazione dell'immagine Aerial Media od il loro movimento in formazione che determina la realizzazione dell'animazione.

Per *parametri interni* si intendono i parametri che configurano la visualizzazione aerea.

Il **numero di droni** corrisponde al numero di elementi-punti che compongono le formazioni visuali, è una caratteristica che ha delle similitudini con la risoluzione tradizionale dello schermo fisso, è la disponibilità di punti per definire gli elementi e genera la loro riconoscibilità.

La **prossimità minima** è la minima distanza in metri tra due punti della visualizzazione, ovvero tra i corrispettivi centri geometrici.

Il **lato orizzontale scena**, indica l'estensione massima orizzontale in metri di una scena.

Il **lato verticale scena**, indica l'estensione massima in metri verticale di una scena.

Il **lato coreografia** indica l'estensione massima in metri dello spazio di volo per l'intera coreografia, può essere orizzontale o verticale.

I *parametri esterni* sono i parametri legati ai punti preferenziali di osservazione

Il **punto di vista principale** rappresenta l'area primaria di collocazione del pubblico, i contenuti verranno

Il **punto di vista secondario** rappresenta una seconda area che consente la presenza del pubblico e con importanza minore rispetto alla principale. L'angolo che sussiste tra il punto principale e il punto secondario è quello minimo utile per le rotazioni dei contenuti per configurarsi a favore del pubblico

Il **punto di vista terziario** rappresenta una terza area disponibile per la presenza del pubblico, di minor importanza rispetto al punto di vista secondario.

La **distanza minima pubblico** indica la distanza in metri tra il punto di vista più vicino al centro della rappresentazione e il centro della rappresentazione. Questo punto di vista usato nella simulazione per valutare la leggibilità della rappresentazione in relazione alla prossimità minima tra droni.

Per la creazione delle formazioni si usa generalmente il parametro di prossimità, o valori di poco superiori, come distanza minima per la distribuzione dei droni, determinando così anche la scala degli oggetti. L'alternativa che ha il modellatore è di partire da una misura legata allo spazio performativo, per esempio la larghezza dello spazio di volo e di conseguenza scalare gli elementi creati per adeguarli allo spazio disponibile.

Queste due modalità, per intervenire nella modellazione o nella scalatura finale del modello, presentano dei limiti importanti per una corretta impostazione della rappresentazione in relazione alla percezione del pubblico: non sono infatti adatte ad ottimizzare la visualizzazione affinché mostri un eventuale risparmio sui droni totali dello spettacolo o segnali, nel caso opposto, il mancato raggiungimento di una qualità minima per garantire la corretta percezione della scena rappresentata.

Va considerato che il concetto stesso di qualità minima rappresentativa, per il paradigma visuale puntiforme in studio, è ancora poco indagato scientificamente. Attualmente chi può valutare la qualità percettiva è soltanto l'operatore del servizio: durante la costruzione delle coreografie, la

qualità finale è verificata percettivamente da un numero molto limitato di persone, ovvero quelle che operano nella fase di produzione dei contenuti, in genere un modellatore-animatore 3d, oppure, durante le prove, da chi sovrintende le operazioni di volo. Oltre ad essere un campione limitato di persone, entrambe le tipologie di soggetti sono anche a conoscenza delle immagini prodotte, pertanto la loro aspettativa percettivamente si discosta da quella di un utente medio del pubblico. Inoltre, per i modellatori-animatori 3d incaricati di preparare le scene, la valutazione del risultato è mediata dallo schermo, condizionata dai marcatori usati per la simulazione dei droni e dal punto di vista scelto per la modellazione. Durante le prove invece le operazioni e il controllo a terra avvengono, per quanto possibile, in prossimità dell'area di volo e della zona di decollo: punti di osservazione che non sono comparabili con tutti i possibili punti di osservazione del futuro pubblico.

Il lavoro di preparazione della coreografia si concentra sull'efficacia espressiva, ma il numero di droni da utilizzare non sempre viene stabilito secondo gli elementi della coreografia: la distribuzione dei punti è essenzialmente un processo empirico, basato sulla continua autovalutazione in corso d'opera del risultato sullo schermo. Inoltre negli strumenti disponibili per la creazione coreografica non è prevista la collocazione del pubblico: la valutazione percettiva dal suo punto di vista non è quindi una pratica consolidata. In questo paragrafo è stato presentato un primo modello (basato sui parametri interni e i parametri esterni) per la preparazione dello schermo aereo impostato sui punti preferenziali di visione del pubblico. Interrogarsi sulla qualità della percezione, da parte del pubblico, significa anche compiere delle valutazioni di ciò che si va a rappresentare. Ha come scopo di determinare la distanza minima tra i droni, al superamento della quale il risultato percettivo rimane invariato; questo permetterà eventualmente di diminuire il numero di droni o di destinarli ad altre geometrie.

Così come ha lo scopo di comprendere la distanza massima oltre la quale la figura è rappresentata in maniera troppo rarefatta (data da un numero di punti insufficiente e tra di loro troppo distanti) da non essere più interpretata correttamente dal pubblico. Si rimanda a ulteriori ricerche nel campo della percezione visiva per valutare le distanze che permetterebbero di predeterminare la desiderata distribuzione dei punti sulle superfici per la loro corretta interpretazione nello scenario reale.

La prima variabile per un tale modello dello schermo è l'origine della visualizzazione; in base a questa è possibile individuare i punti di vista preferenziali che dovranno comprendere principalmente la zona più ampia, che può ospitare il maggior numero di pubblico, ed eventualmente il punto di vista più vicino e più lontano che si desidera raggiungere.

La distanza dal punto di vista deve anche tenere conto dell'altezza dello schermo dal suolo: più è elevata l'altezza dello spettacolo e più il pubblico circostante avrà una visione rivolta verso il cielo, e se questo può rappresentare uno svantaggio per la minor comodità di visione, consente nei centri urbani di superare le barriere architettoniche che ne possono compromettere la visibilità.

Uno spettacolo a bassa quota oltre a valorizzare direttamente la visione del pubblico nelle immediate vicinanze comporta un apporto maggiore di illuminazione e colorazione all'ambiente sottostante, e per questo è necessario ricordare che il decadimento dell'intensità luminosa non è lineare ma esponenziale. Un'altra interessante possibilità di interazione è fornita dalla presenza di superfici d'acqua che riflettono la coreografia: impostato il modello sulla distanza tra i punti di vista del pubblico e l'origine dello spettacolo, si potrà procedere determinando la scala

massima della scena avendo predeterminato il numero dei droni, o in alternativa determinando il numero di droni necessario per realizzare la scena in base alla dimensione che si desidera raggiungere.

Lo schermo aereo ha l'obiettivo di comunicare attraverso la rappresentazione puntiforme che è una riduzione del messaggio visivo ad una campionatura puntiforme. La novità introdotta è la scala di grandi dimensioni dell'immagine mai raggiunta prima, unita alla possibilità di essere eseguita sopra al livello del terreno, da pochi metri fino ad oltre 100, con la conseguente visibilità fino ad alcuni chilometri di distanza. Sono necessari ulteriori studi di percezione sul campo per determinare la distanza massima di visibilità del fenomeno visivo prodotto da un sistema uav luminoso, e anche per valutare la resa percettiva del fenomeno reale nel punto di vista preferenziale, per valutare la distanza massima tra due punti adiacenti sul medesimo tracciato, che consentono di produrre la corretta interpretazione del segnale visivo principale.

4.8.7 Rotazione immagine

Per favorire la leggibilità di una scritta bidimensionale a un pubblico maggiore, disposto intorno all'area di visualizzazione, la rotazione in Vector Light su un asse verticale centrata sulla larghezza dell'immagine, sia su contenuti bidimensionali, per estendere la disposizione frontale del piano 2D a favore del pubblico (visibile nel primo esempio della figura 4.8.7), ma anche per contenuti tridimensionali, (nel secondo esempio in figura 4.8.7) per aiutare la corretta lettura volumetrica, è possibile restando con i punti agli estremi laterali dell'immagine entro i limiti di velocità.

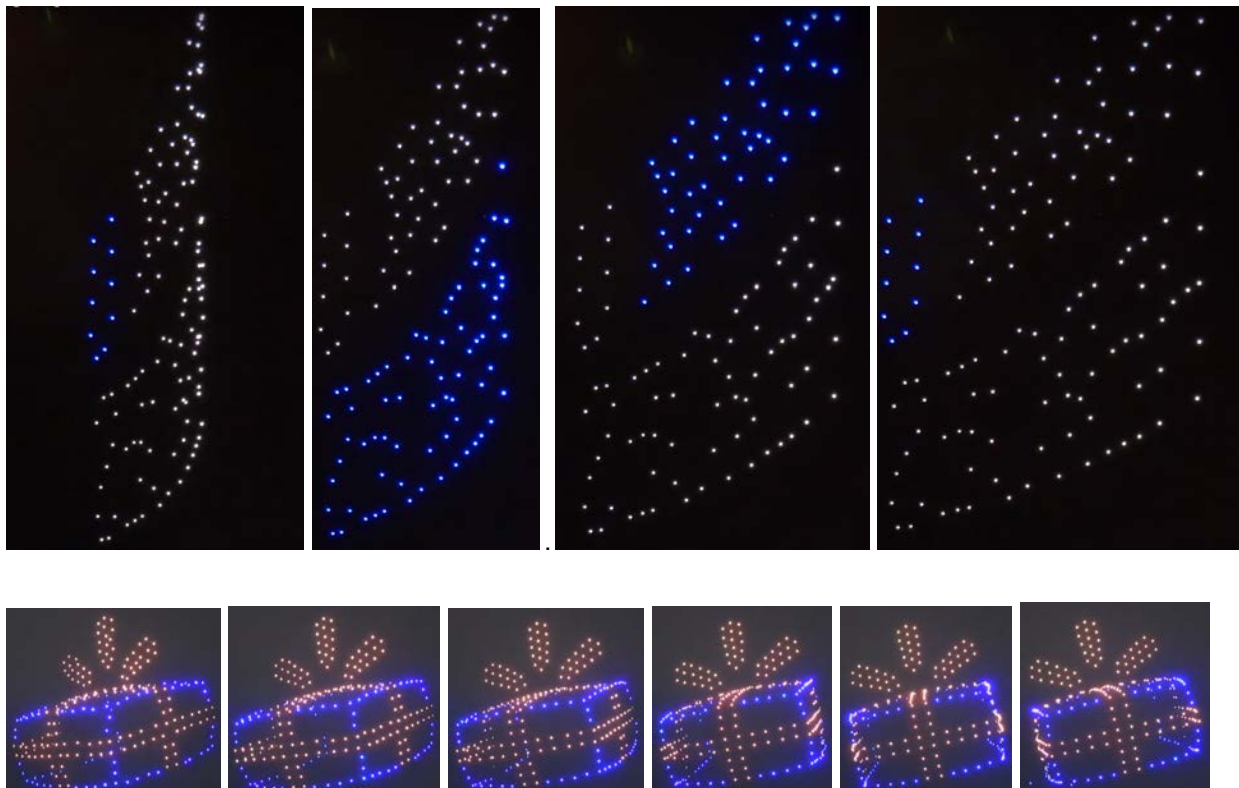


Fig. 4.8.7 - esempi di rotazione dell'immagine aerea

4.8.7 Site specific

Per ottenere dal software di Design l'esportazione del piano di volo dal decollo all'atterraggio a terra e tutte le verifiche relativamente al sito reale e le sue caratteristiche spaziale, gli ostacoli presenti e la visibilità rispetto ai punti di osservazione è stato introdotto l'uso del modello dello spazio fisico che verrà usato per l'esecuzione. Si lavora con strumenti in grado di importare le informazioni del territorio, i DEM (Digital Elevation Map), impostando la coordinata di origine o sul centro dello schermo aereo o sulla zona di decollo. Si prepara una scena contenente la ricostruzione del sito e i suoi dintorni (in figura 4.8.7.1 la ricostruzione dell'ambiente, al centro è selezionata la porzione quadrata centrale, avente come centro il punto centrale dello schermo aereo) utili per posizionare i diversi punti di vista. Nel progetto contenente la costruzione del sito vengono successivamente importati i progetti separati delle scene dei contenuti per essere opportunamente integrati tramite operazioni di scalatura e posizionamento in un file unico dal quale può essere esportata la coreografia eseguibile dalla GCS.

Avere a disposizione la ricostruzione in scala dello spazio fisico che ospita l'intervento di Aerial Design è funzionale anche alla creazione della prima scena che generalmente è anche l'ultima scena, relative alla fase di decollo e atterraggio, collocarle nell'area predisposta insieme alla seconda e penultima scena che sono la disposizione della griglia dell'area di decollo e atterraggio in quota di volo e leggermente più estese per avere adeguati margini di sicurezza.

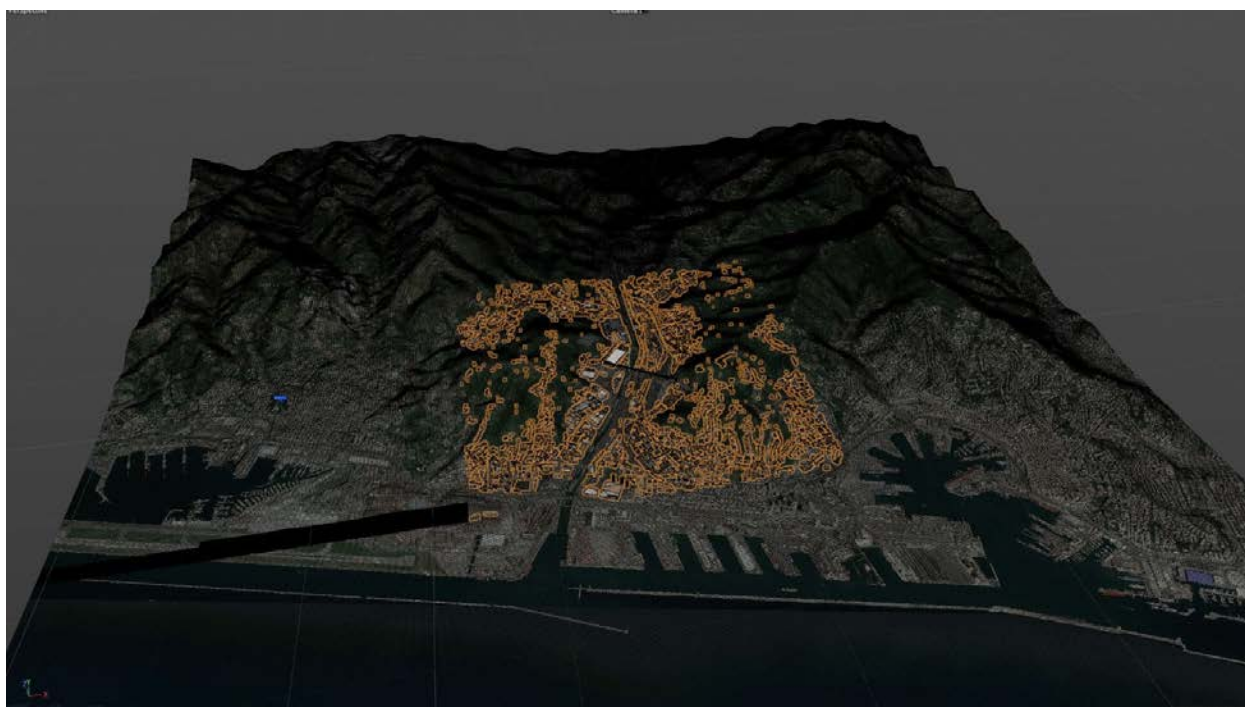


Fig.4.8.7.1 - modello DEM per la preparazione delle scene



Fig.4.8.7.2 - in rosso il rettangolo dell'area di volo



Fig.4.8.7.2 - simulazione scena integrata nello spazio fisico

Con questo approccio basato sulla collocazione dei contenuti e delle zone a terra di servizio nello spazio reale si riesce a determinare con esattezza le misure necessarie alla progettazione e a finalizzare le traiettorie corrette, inoltre è possibile generare delle simulazioni convincenti integrate nell'ambiente e le infrastrutture presenti come mostrato in figura 4.8.7.2.

La relazione con lo spazio fisico è una caratteristica fondamentale della visualizzazione aerea, la scelta stessa dello spazio aereo da dedicare alla rappresentazione dei contenuti avviene studiando le opportunità compositive offerte da una precisa collocazione spaziale. Inizialmente

si studia preliminarmente una location tramite una mappa satellitare per individuare la presenza di massima degli spazi necessari al decollo ed atterraggio. Solo un sopralluogo fisico permette con sicurezza di valutare le difficoltà legate alla presenza di alberi, lampioni, recinzioni, barriere architettoniche tra la zona di decollo e la zona dello spazio aereo e una visibilità ottimale, non ostruita da alcuna presenza naturale o artificiale, dalle zone dove dovrà risiedere il pubblico verso la zona scelta in cui avverrà la rappresentazione aerea. Superate le precedenti verifiche è necessario procedere con le simulazioni tridimensionali, per fare ciò è necessario stabilire il numero di componenti della flotta per verificare la presenza di uno spazio sufficiente ad ospitare la formazione dei droni per il decollo dello sciame. (Come si vede nella figura sottostante)

E' stato utilizzato il plugin Dem Earth per il software Cinema4D (<https://cinemaplugins.com/c4d-plugins/dem-earth/>) che consente di scaricare i dati DEM (Digital Elevation Map) del territorio e integrarli con i dati dal database del progetto Open source Open Street Maps che permette di acquisire le informazioni relative alle architetture e ai confini territoriali.

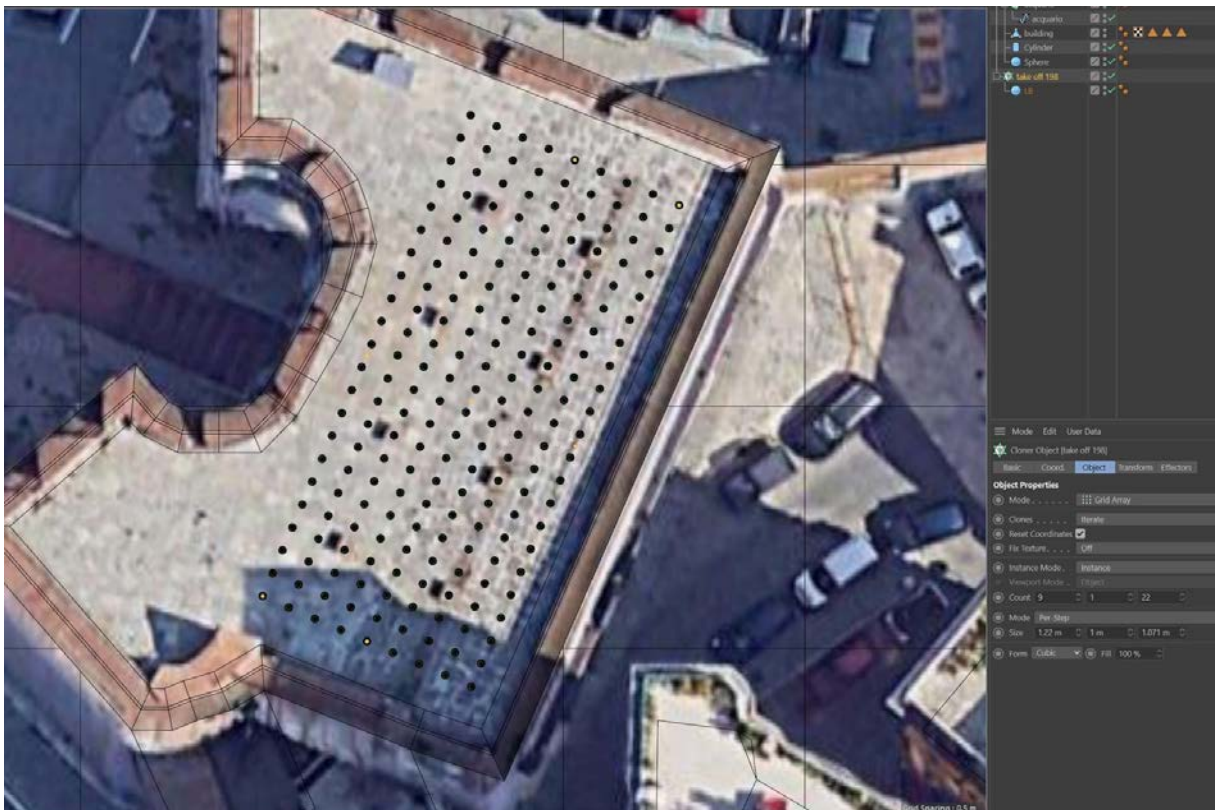


Fig.4.8.7.2 - creazione di una zona di decollo su di un tetto calpestabile



Fig. 4.8.7.3 - esempio di modello tridimensionale del luogo per l'intervento di Aerial Media

Per prima cosa bisogna settare la scala del progetto di cinema4D in metri e nelle preferenze generali del programma l'unità di misura in metri. L'aspetto importante è allineare la scala dell'oggetto Dem earth (il luogo fisico ricostruito) in modo che 1 m dell'oggetto corrisponda a 1 metro nella scala del progetto di animazione di cinema.

Capitolo 5 ATOMO, il drone

In questo capitolo viene presentato l'oggetto drone, la singola componente unitaria dello sciame robotico volante. Si individuano le differenze con le altre tipologie di mezzi volanti radiocomandati e si dettagliano i componenti necessari al suo funzionamento.

Le applicazioni di comunicazione luminosa con robotica volante hanno tutte come protagonisti dei droni, ed in particolare è adottata esclusivamente la tipologia con quattro motori, chiamata comunemente quadricottero. Questi sono dei droni multirotori, chiamati anche ad ala rotante, ovvero dotati di eliche, e non ad ala fissa, come gli aeroplani. Solo i mezzi ad ala rotante consentono il volo stazionario, ossia la capacità di mantenere una posizione fissa nello spazio. Per rappresentare nel cielo una forma che deve essere vista da un pubblico, il quale rimane fisso nel suo punto di osservazione, è fondamentale che la desiderata rimanga delimitata in uno spazio predeterminato. Si fornisce così il normale rapporto tra osservatore ed oggetto osservato (libro, quadro, teatro, cartellone pubblicitario, cinema), in cui è presente la tipica percezione dei fenomeni visibili del paesaggio, in cui oggetti fissi richiedono e promuovono uno sguardo e un'attenzione anch'essa ferme; inoltre, solo la fissità dell'oggetto visualizzato, che non è trasportato spazialmente consente il naturale e corretto rilevamento dei movimenti di animazione dell'oggetto stesso.

L'altra caratteristica distintiva dei droni è il decollo e l'atterraggio verticale; non hanno come altre tipologie di aeromodelli bisogno di un corridoio a terra necessario per queste operazioni e anche solo questo aspetto preclude l'utilizzo di mezzi diversi.

L'introduzione del drone, o meglio del multirottore, presenta una fondamentale caratteristica distintiva rispetto a tutti gli altri aeromodelli. Esso infatti non ha nessuna capacità aerodinamica per mantenere un assetto stabile in volo con il controllo diretto da parte di un pilota ma necessità dell'intermediazione di un sistema intelligente a bordo per provvedere a questa funzione. Infatti anche per il solo mantenimento della stabilità è necessaria una continua regolazione della velocità di rotazione di ogni singola elica che deve avvenire con un'elevata frequenza di ripetizione realizzabile solo da una capacità elaborativa a bordo. Questa è fornita da un microcontrollore opportunamente programmato per acquisire i dati della posa istantanea rilevati dalla sensoristica inerziale, costituita da un giroscopio e generalmente accoppiato a un accelerometro. In versioni più avanzate per consentire funzionalità autonome complesse sono stati presto aggiunti il barometro e il magnetometro, il primo permette di mantenere la quota di volo e il secondo l'orientamento del mezzo. Per poter poi realizzare una navigazione completamente autonoma è necessario anche l'utilizzo di un GPS che fornisce la conoscenza della posizione nello spazio. Quindi il drone già dalla forma più elementare (con il solo giroscopio) ha iniziato la sua trasformazione da dispositivo elettromeccanico a robot con elementare capacità di autolivellamento, migliorata poi con l'uso dell'accelerometro; nel passo successivo l'uso del barometro gli consente il mantenimento della quota di volo e il magnetometro permette di mantenere l'orientamento; infine il GPS permette il mantenimento della posizione desiderata. Queste capacità percettive consentono al robot il pieno ed autonomo controllo delle sue potenzialità motorie, non solo per i già citati aspetti di stabilità ma anche per l'esecuzione dei comandi di navigazione impartiti da un pilota, o, nei sistemi più evoluti, tramite i dati elaborati dagli algoritmi di navigazione autonoma.

5.1 Quadricottero

I multirotori si differenziano anzitutto per il numero di motori impiegati; questi devono essere in numero pari per permettere l'equilibrio delle forze di sostentamento applicate e qualora si intenda anche garantire il sostentamento in volo in caso di avaria di un gruppo di propulsione essere in quantità non inferiore a sei. Per i mezzi di dimensioni più contenute e per impieghi in cui si possono garantire le condizioni di sicurezza richieste sono largamente utilizzati i quadricotteri, ossia multirotori con 4 eliche. Sono dei veicoli aerei estremamente agili, i loro tratti chiave distintivi sono la capacità di decollo e atterraggio verticale e hanno una grande capacità di generare rapidi cambi di moto traslato e rotatorio.⁰

L'efficacia dei mezzi a decollo verticale ed il rapido sviluppo di nuove caratteristiche ed applicazioni ha portato in breve tempo ad una loro ampia diffusione ponendo serie difficoltà alle autorità e istituzioni preposte alla loro regolamentazione e integrazione nello spazio aereo. Questo ancora oggi dopo più di un decennio dalla loro comparsa rappresenta un tema molto attuale e complesso; esiste una gamma molto ampia di velivoli semiautonomi da 20 g a oltre 50 kg così come modelli autocostruiti o di produzione industriale. Il drone autonomo, connesso a una rete informatica in telemetria e supervisionato da terra svilupperà molteplici applicazioni urbane e necessiterà di opportune regole per questo nuovo traffico a bassa quota.

5.2 Uav

L'acronimo UAV è il termine internazionale per Unmanned Aerial Vehicles, usato in campo professionale e accademico; individua un veicolo capace di navigare nello spazio aereo senza un pilota a bordo. Nel linguaggio comune si indica lo stesso oggetto con il termine drone, che tradotto dall'inglese ha il significato più antico di fuco, l'esemplare maschio di una famiglia di api. Esistono diverse ipotesi sulla scelta di questo termine, questa prima entomologica, è basata sulla somiglianza del ronzio prodotto dal volo del maschio dell'ape con quello delle eliche rotanti che sono la parte propulsiva della maggioranza dei droni. L'altra ipotesi viene dall'ambito militare poichè la marina britannica negli anni '30 del secolo scorso sviluppò un bersaglio telecomandato per le esercitazioni di tiro che era derivato dal biplano DH 82 Tiger Moth ("falena tigrata") che denominò DH 82B Queen Bee ("ape regina"). Successivamente la marina americana si ispirò al Queen Bee per sviluppare il proprio modello e in omaggio all'originale l'aveva chiamato drone. Questo tema entomologico continuò durante la seconda guerra mondiale dove in aggiunta alla produzione di bersagli telecomandati chiamati "target drone" vennero sviluppati veicoli per missioni militari "assault drone". Nei primi anni della comparsa dei droni civili il termine drone è stato accompagnato da una forte connotazione negativa nella società proprio perché era conosciuto in riferimento agli strumenti bellici di offesa sempre più sofisticati, difficili da intercettare perché piccoli e silenziosi e capaci di colpire i bersagli in modo sempre più preciso.

Gli UAV sono uno dei componenti di un unmanned aircraft system (UAS); che include una stazione base di controllo o Ground Control Station (GCS) e un sistema di comunicazione fra di loro.

Il volo degli UAV può avere diversi gradi di autonomia, esistono modalità di volo sia sotto il controllo remoto di un operatore umano che sono assistite da algoritmi processati dal computer di bordo chiamato scheda autopilota o Flight Controller in inglese.

A differenza degli aeromobili tradizionali, gli UAV sono stati pensati in origine per azioni in condizioni e scenari pericolosi per l'uomo. Nonostante questi utilizzi siano stati incentrati inizialmente sulle applicazioni militari, il loro utilizzo sta crescendo rapidamente nel settore della fotografia aerea, nel monitoraggio ambientale, per la consegna di pacchetti, in agricoltura, nella sorveglianza, nell'ispezione delle infrastrutture e persino nelle gare di droni.

5.3 Componenti

In questo paragrafo sono presentati i componenti elettronici fondamentali di un sistema UAV e in particolare nel sottoparagrafo 5.3.3 si approfondisce il sistema di posizionamento che è un elemento di significativa importanza per gli show luminosi. In aggiunta a questi la scheda autopilota deve essere connessa a un dispositivo di comunicazione per attuare la connessione con la stazione base a terra.

5.3.1 Scheda Autopilota

E' una scheda dotata di un microprocessore (MCU) su cui viene caricato il firmware del sistema di volo. E' l'intelligenza necessaria al drone ed è la caratteristica fondamentale che lo distingue dai precedenti aeromodelli ad ala fissa che possono volare ed essere comandati manualmente, senza alcuna capacità di calcolo, controllando direttamente la velocità dei motori e i diversi attuatori che modificando l'assetto delle superfici alari consentono la capacità di pilotaggio senza la presenza di una elettronica e la derivante intelligenza.

La flight controller gestisce i comandi manuali ma abilita tutta una serie di funzioni, come l'autolivellamento, la risposta a forze esterne o altri comportamenti legati a specifiche modalità di volo, che hanno la capacità di intervenire sul controllo dei motori molto più rapidamente del controllo umano tramite radiocomando.

Il microprocessore svolge queste funzioni acquisendo i dati da tutti i sensori disponibili e comandando un set di attuatori per svolgere svariate funzioni tra cui quelle fondamentali ed indispensabili quali il controllo dei motori per mantenere la quota di volo o l'autolivellamento nei multirotori. In quest'ultimi con la regolazione del regime di rotazione dei motori non si ottiene solo il livellamento del mezzo ma anche il suo spostamento in ogni direzione e la sua capacità di ruotare intorno al suo asse centrale secondo il controllo impartito dall' autopilota.

La trasmissione e la ricezione dei dati avviene con l'impiego di diverse interfacce quali le UART, SPI, I2C che permettono l'uso di sensori esterni e in generale la connettività con altri dispositivi come ad esempio per la comunicazione dei dati di telemetria.

5.3.2 ESC E Motori brushless

Nei multirotori vengono impiegati quasi esclusivamente motori brushless (senza spazzole). Sono motori alimentati in corrente continua di elevata efficienza caratterizzati da notevole semplicità costruttiva e da praticamente insignificante necessità di manutenzione e al contempo una aspettativa di funzionamento più elevata. Questo per l'assenza del consumo delle spazzole a seguito dello sfregamento sul rotore come invece accade alle altre tipologie di motore in cc e in ca. Altra caratteristica importante è la rapidità e la precisione di risposta ai comandi. A differenza delle altre tipologie di motore il brushless richiede la presenza di una intelligente circuiteria elettronica per controllare la corretta sequenza di attivazione delle fasi del motore e così' regolarne la velocità' secondo i valori desiderati.

Electronic Speed Controller è il componente elettronico a cui è affidato il controllo di velocità del motore brushless. Il controllo del drone dipende interamente dalla velocità variabile dei motori che azionano le eliche. L' ESC interfaccia la scheda autopilota con il motore di cui regola il regime di rotazione a partire dal segnale PWM generato dall'autopilota per variare i giri dei motori in base alla condizione attuale del drone e al comando impartito. Gli ESC per multirottore hanno velocità di aggiornamento più rapida rispetto agli standard 50Hz utilizzati nella maggior parte delle applicazioni con radio modelli. Nei moderni multirotori sono presenti svariati protocolli per il trasferimento dei dati dalla flight controller all' Esc oltre al già citato tradizionale PWM quali Oneshot42, Oneshot125, Multishot e DShot. Il DShot è un protocollo digitale e offre diversi vantaggi rispetto al controllo analogico come ad esempio una risoluzione più elevata ed elimina la necessità di calibrazione riferita al segnale minimo e massimo della radio. I moderni ESC contengono un microprocessore che interpreta il segnale di ingresso e governa il motore utilizzando un apposito firmware. La spinta data dall'autocostruzione dei droni ha portato nel tempo allo sviluppo di molti firmware tra cui il BiheliS open source e il Biheli32 che sono progetti ben consolidati e duttili consentendo agli utenti il controllo di numerosi parametri per calibrare finemente il funzionamento in base ai differenti motori, eliche e sistemi di alimentazione. In figura 5.1 è mostrata l'interfaccia utente per la configurazione di un ESC con Biheli32.

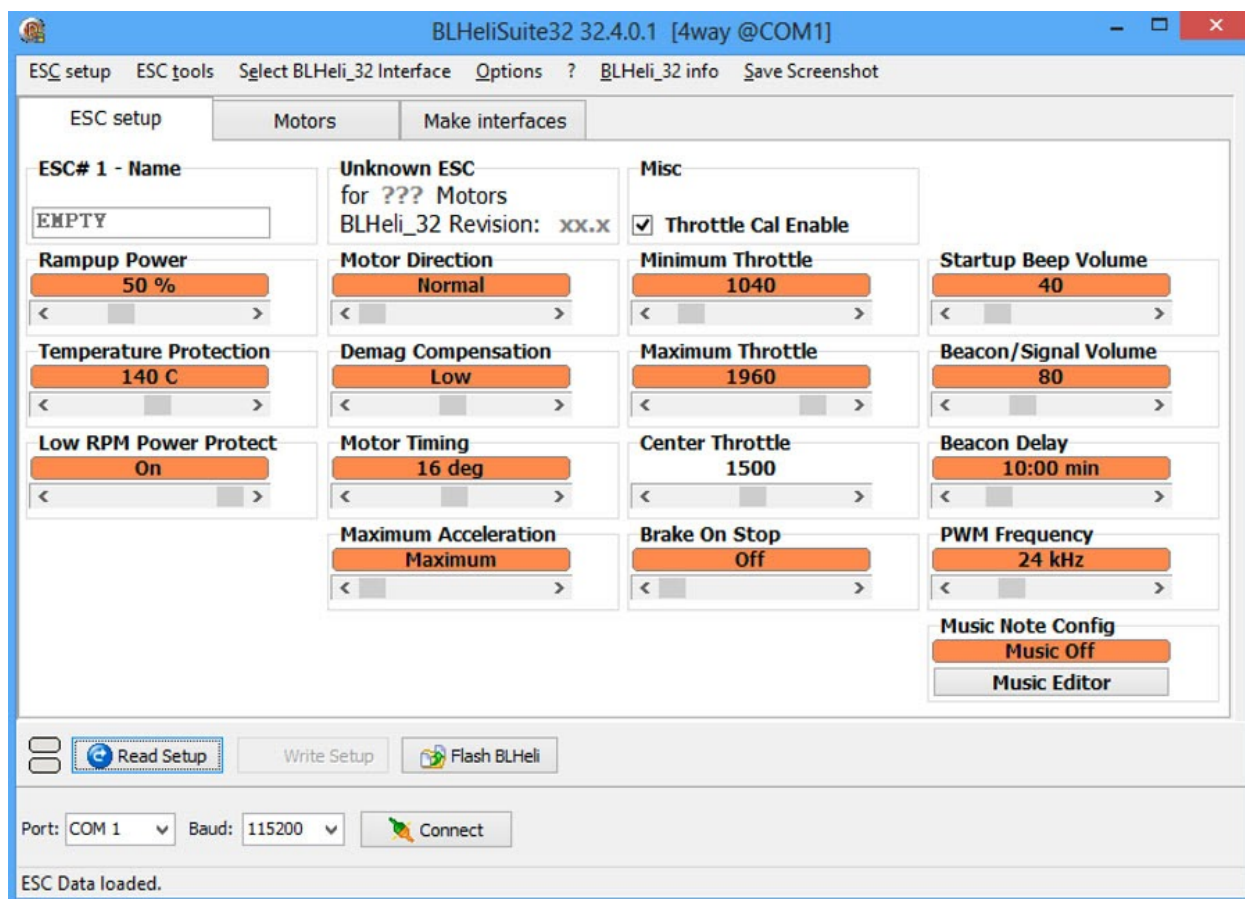


Fig. 5.3.2 - pannello configurazione ESC BLHeli32

Una importante nuova funzionalità è stata introdotta con il supporto alla telemetria degli ESC in tempo reale, che permette alla Flight controller di ricevere su una porta UART dati di telemetria come gli RPM, la temperatura e i consumi istantanei. La conoscenza degli RPM permette di ottenere un filtraggio del rumore causato dal passaggio delle eliche sul braccio del drone ottenendo un segnale del giroscopio più pulito a tutto vantaggio del sistema di controllo.

5.3.3 GPS RTK

Il GPS è uno strumento che troviamo ormai anche in molti dispositivi di uso comune quali smartphone e navigatori per auto e trova vasta applicazione anche negli UAV. La precisione nella localizzazione fornita da questi dispositivi per uso civile non è però molto elevata risultando normalmente dell'ordine di qualche metro. Per la navigazione autonoma di uno sciame di droni dove le distanze devono essere rigorosamente rispettate questa precisione è assolutamente insufficiente e si deve ricorrere ad una tipologia particolare di GPS denominata RTK che consente di raggiungere precisioni di posizione dell'ordine di pochi centimetri. Il sistema real-time kinematic (RTK) migliora la precisione della posizione comparando la fase del segnale inviato dai satelliti ricevuto a bordo con il segnale ricevuto e ritrasmesso al drone da una stazione base fissa la cui posizione assoluta è nota. La precisione ottenuta in questo modo

permette al drone di calcolare la posizione relativa con una imprecisione di alcuni millimetri e la propria posizione assoluta nell'ordine di pochi centimetri.

La tecnologia RTK si basa sulla differenza di fase della portante dinamica in tempo reale ed è una tecnologia di misurazione differenziale che realizza una funzione di posizionamento rapida e ad alta precisione mediante l'osservazione sincrona della stazione di riferimento e della stazione mobile utilizzando il valore di fase della portante osservato. Il posizionamento dinamico in tempo reale (RTK) è una tecnologia di navigazione satellitare utilizzata per migliorare l'accuratezza dei dati di posizione ottenuti da sistemi di posizionamento satellitare (GNSS) come GPS, GLONASS, Galileo e beidou. Oltre al contenuto informativo del segnale, utilizza anche misurazioni della fase portante del segnale e si basa su una singola stazione di riferimento o stazione virtuale di interpolazione per fornire correzioni in tempo reale, fornendo una precisione fino al livello del centimetro. In particolare, con riferimento al GPS, il sistema è comunemente indicato come carrier phase enhancement o CPGPS ed è adatto per rilievi del territorio, indagini idrologiche e navigazione con veicoli aerei senza equipaggio. Il sistema RTK è composto da una stazione di riferimento, diverse stazioni mobili e un sistema di comunicazione radio. Utilizzando la tecnologia RTK, la correlazione spaziale degli errori di osservazione tra la stazione di riferimento e la stazione mobile viene utilizzata per eliminare la maggior parte degli errori dei dati di osservazione della stazione mobile mediante differenza, in modo da ottenere un posizionamento di alta precisione

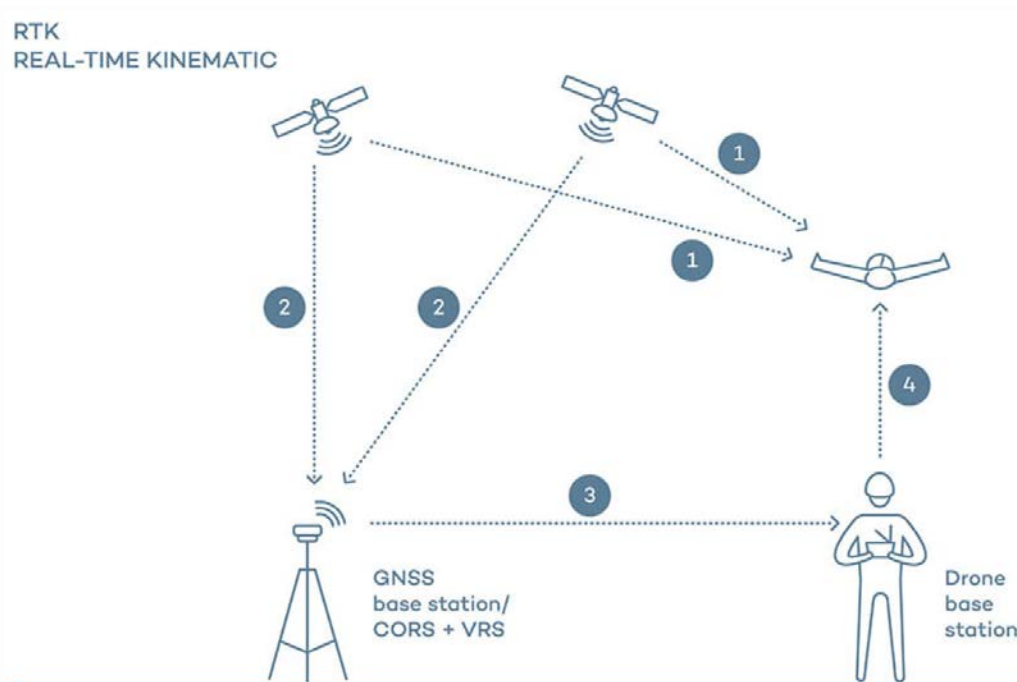


Fig. 5.3.3 - Schema funzionamento sistema GPS RTK

In figura 5.5.1 sono evidenziati i 4 canali di comunicazione richiesti dal sistema RTK: 1. Il collegamento tra satelliti e drone, 2. Il collegamento tra i satelliti e la stazione base GNSS o reti

CORS (Servizi di Posizionamento tramite rete di stazioni GNSS permanenti), 3. Il collegamento tra la stazione base o CORS e la GCS, e 4. Il collegamento tra la GCS e il drone.

I GPS RTK fino a un paio di anni fa erano oggetti molto costosi usati solo in applicazioni professionali e solo l'entrata in campo di produttori di moduli progettati per un impiego di massa ne ha reso possibile un impiego sempre costoso rispetto ai GPS ordinari ma comunque giustificabile in caso di mancanza di alternative.

Il modulo GNSS NEO-M8P utilizzato nella quasi totalità dei droni che ne richiedono l'uso è un prodotto della prima generazione della casa produttrice Ublox e fornisce buone prestazioni di precisione ma difetta di robustezza nella ricezione del segnale in ambienti con scarsa visibilità dei satelliti o caratterizzati da interferenze e riflessioni dei segnali come gli ambiti urbani. Inoltre in caso di perdita della qualità del segnale può impiegare un tempo di svariate decine di secondi per la riacquisizione della condizione ottimale, situazione inaccettabile per la gestione di una missione con uno sciame di droni. Il superamento di queste problematiche è arrivato con il nuovo modulo F9P sempre della Ublox e' un ricevitore multicostellazione e multibanda che permette di ricevere contemporaneamente i segnali di tutte e quattro le reti GPS mondiali (GPS, GLONASS, GALILEO e BEIDOU) e per ciascuna di esse il segnale trasmesso su due bande di frequenza distinte. La grande quantità di satelliti ricevuti in questa maniera consente una rapida convergenza del sistema nel fornire la posizione in maniera accurata e garantisce un robusto mantenimento di questa condizione; anche nel caso di perdita il ripristino è molto rapido

5.4 Droni per Light Shows

In questo capitolo verrà analizzato lo stato dell'arte delle piattaforme per Aerial Media. L'ampia comparazione tra le soluzioni esistenti ha permesso di approfondire le caratteristiche desiderate e di conseguenza definire le linee guida per lo sviluppo di una soluzione innovativa che punta all'evoluzione verso un sistema Aerial Media IoT capace di estendere le applicazioni a progetti di Smart cities. La prima parte riguarda lo studio dell'hardware, composto principalmente dal drone, dal sottosistema di posizionamento (il Global Navigation Satellite System abbreviato con GNSS per outdoor) e di comunicazione. L'attenzione è sulle caratteristiche qualificanti per l'applicazione, quindi la caratteristica di funzionamento a sciame autonomo e la capacità luminosa al servizio della comunicazione visiva.

	Peso (g)	Dimens ioni (mm)	Ho veri ng tim e (mi n)	batterie	eliche	motori	GNSS	LED	Resiste nza al vento (m/s)	Sistema di comunicazione

Droteck	300	280x280 x52 senza eliche	20	Li-ion 2S	5" 5030	2S	RTK Ublox F9P	1 RGBW	35km/h	Primary Radio Link Encrypted Wi-Fi Module (5 Ghz) Secondary Radio Link Encrypted Networking RF Module (2.4 Ghz)
Uvify	1050	400x400 x125	25	LiPo 4S 4200 mAh	7"	4S	RTK	27W, 840 lm	15 knots	2.4 GHz (Remote control) 2.4 / 5.8 GHz (Wi Fi) Sub 1 GHz (Telemetry)
Kaiken	280	280x280 x80	25	Li-ion 2S	5"	n.d	RTK NEO- M8P	900 Lumen	8m/s	Telemetry link Wi-Fi 2.4 GHz / 5 GHz RTK correction link LORA 2.4 GHz RX Only Remote control FrSky-compatible 2.4 GHz
Sparkl	1706	450x450 x155		Lipo 4S 6750 mAh 14,8 V	n.d	n.d	n.d	n.d	45 km/h	2,4 GHz (remote control) 2,4 / 5,8 GHz (Wi-Fi) 433 MHz (Telemetry)
Vim Drone	460	340x340 x80	18	LiPo2S, 7.6V, 3000-mA h	6" fibra di carboni o	2300 kV	RTK	RGB LED 4W	7m/s	Radio transmit, 915MHz/868MHz/2.4G Hz, 3km Long Range Control WIFI transmit, 2.4G, 120m Long Range Control Remote Control, 2.4G, 1km distance
LB	245	190x190 x80	45	Li-ion 2S	5" 5030	1404 2600 kv	RTK Ublox F9	100 LEDs 1500 Lumen		

Fig. 5.4.1 - Tabella comparativa sistemi Droni per Light Shows

In tabella 5.4.1 sono riportati i dati aggiornati a Novembre 2021 dell'offerta disponibile di droni per applicazioni di Aerial Media. Le prime due colonne si riferiscono al peso e alle dimensioni

dell'unità drone luminoso. L'applicazione di visualizzazione aerea con droni luminosi richiede un consistente numero di unità droni luminosi che si può far partire dalle 100 unità e si è visto che per le applicazioni più complesse hanno già raggiunto le 5000 unità impiegate simultaneamente. Questo alto numero pone gli show con droni luminosi tra i sistemi di robotica di sciame con più agenti robotici coinvolti, infatti le esigenze pratiche legate all'operatività sia gestionali, di preparazione, logistiche e anche di trasporto del sistema tecnologico sono di estrema importanza. La prima colonna della tabella, il peso concorre in buona misura a determinare la sicurezza e le conseguenti limitazioni autorizzative per il volo nello spazio aereo. Le maggiori differenze di peso dipendono principalmente da 3 elementi, dalla tecnologia di batterie, il tipo di telaio, la presenza di un companion computer esterno alla scheda autopilota e dal sistema di localizzazione. Le batterie tipicamente utilizzate nei droni sono a polimeri di Litio, LiPo, provengono dai sistemi radiocomandati usati nell' aeromodellismo in cui continuano ad essere ampiamente impiegate, la più recente tecnologia a Litio Ioni, Li-Ion, fornisce una maggiore densità energetica (mediamente maggiore del 30%) e se compatibile con i requisiti propulsivi consente di ottenere una notevole riduzione del peso complessivo. Poiché è il peso dell'oggetto drone che determina il dimensionamento del sistema propulsivo necessario, la sua riduzione dipende dagli elementi telaio del drone e di ogni componente elettronica e la loro interconnessione tramite il cablaggio necessario. Maggiore è l'utilizzo di componenti tipici dei mezzi UAV assemblati (scheda autopilota, ESC, radio RC, WiFi, Telemetria) minore sarà la riduzione del peso dovuta in parte all'utilizzo di componenti non specializzate, che offrono funzioni non necessarie per l'applicazione e non ottimizzate per le funzioni richieste, e che richiedono la presenza di un cablaggio convenzionale. In funzione della scelta delle tecnologie più adatte alla riduzione del peso (batterie Li-Ion invece delle Li-po) e di una sistematica progettazione di ogni componente elettronica tesa all'integrazione e alla scelta delle soluzioni che ottimali nelle caratteristiche specifiche si realizza l'ampia diversità tra il peso maggiore del drone Sparkl, con 1,7 kg, che utilizza le batterie LiPo, una scocca protettiva completa, al drone Kaiken della FlyFire che arriva a 280g. Il peso del mezzo e la dimensione il diametro delle eliche sono particolarmente correlate in modo che una classe di eliche è adatta a generare la spinta necessaria al sollevamento del peso richiesto. L'estensione del diametro delle eliche varia dai 7" e superiori dei modelli più pesanti ai 5" di quelli più leggeri. Il diametro delle eliche e il peso complessivo determinano le dimensioni del drone, che variano dai 450 mm ai 280 mm delle soluzioni più compatte e più leggere. L'ingombro dell'unità implica assieme alla precisione di mantenimento della posizione la distanza minima necessaria tra i droni in volo e le dimensioni dell'area di decollo e atterraggio per disporre tutti i droni della flotta utilizzata. E' importante ridurre entrambe le distanze in volo e nella disposizione a terra, nella prima per aumentare la densità dei punti della raffigurazione e la seconda, che limita le dimensioni dell'area operativa a terra aumenta la capacità le possibilità effettive di utilizzo dello sciame di trovare gli spazi di decollo e atterraggio disponibili nelle vicinanze dello spazio aereo per lo spettacolo. Il sistema di posizionamento è tra i principali responsabili della qualità dell'esecuzione delle traiettorie e della generale sicurezza operativa, si usa la tecnologia RTK che necessita di una base RTK a terra che deve trasmettere ai droni i dati di correzione. Il modulo ricevente della base e dei droni è lo stesso e può essere a singola banda (L1) o multi banda (L1/L2 e aggiuntive), la loro differenza sta nella quantità di dati che possono ricevere dai satelliti. I ricevitori multibanda garantiscono una maggiore robustezza del sistema aumentando la loro capacità di osservazione che è meno

compromessa da angoli ridotti da ostacoli che si sovrappongono tra antenna e visibilità del cielo, mantenendo una precisione centimetrica anche negli usuali scenari di impiego nei centri cittadini dove la presenza di edifici riduce la visione senza ostacoli tra l'antenna ed il cielo. La caratteristica fondamentale dell'applicazione è la visibilità della fonte luminosa che è determinata sia dalla potenza luminosa rappresentata in Lumen, ma anche dell'estensione dell'area luminosa. Tutte le soluzioni disponibili utilizzano diodi a LED RGB in quantità ridotte da uno a quattro elementi concentrate al centro del drone e affidano ad una calotta diffusiva la creazione di un volume luminoso di maggiori dimensioni rispetto alla sorgente luminosa. Maggiore è l'altezza di questa calotta luminosa e migliore la visibilità della fonte luminosa, di contro queste soluzioni necessitano di questa componente aggiuntiva che aumenta il peso e anche l'esposizione al vento che influenza negativamente il mantenimento della posizione desiderata del drone. Altro importante sottosistema è quello di comunicazione che è solitamente diviso in due parti principali, quello relativo ai dati telemetrici dai droni alla GCS, per il monitoraggio a terra, e quello relativo ai dati di correzione RTK dalla base GPS a terra a tutti i ricevitori GNSS sui droni. Entrambe le comunicazioni sono importanti, ma se la mancanza di comunicazione telemetrica determina la perdita controllo da parte dell'operatore ma mantiene la capacità di autonoma esecuzione della missione da parte del drone, comprese le capacità autonome di sicurezza come per esempio il rientro in caso di batterie scariche o l'atterraggio immediato in caso di volo oltre lo spazio di volo sicuro. Diversamente nel caso di problemi alla rete di comunicazione dei dati di correzione RTK viene compromessa la generale capacità operativa poiché manca la capacità autonoma sia di proseguire la missione e di rientro alla zona di decollo. Per questo motivo per la comunicazione dedicata ai dati di correzione del sistema GPS è solitamente impiegato il sistema radio che garantisce la maggior distanza operativa. Oltre a questi due fondamentali canali di comunicazione le piattaforme più avanzate hanno un terzo canale di comunicazione per la radio RC che può consentire un controllo manuale tramite radiocomando dello sciame in situazioni di emergenza durante il decollo e l'atterraggio. Una caratteristica che non è presente nelle piattaforme disponibili è la presenza di un canale indipendente per attivare il dispositivo di terminazione del volo in caso di emergenza.

5.4.1 Architettura software di controllo

L'analisi del sottosistema di comunicazione condotta nel paragrafo precedente permette ora di inquadrare meglio le architetture software adottate per il controllo degli sciame di droni per spettacoli luminosi. A parte 2 realtà che hanno sviluppato internamente oltre alla parte hardware anche la GCS per il controllo a sciame, VimDrones e Drotek events, e quest'ultima anche il

firmware della scheda autopilota, gli altri produttori di droni

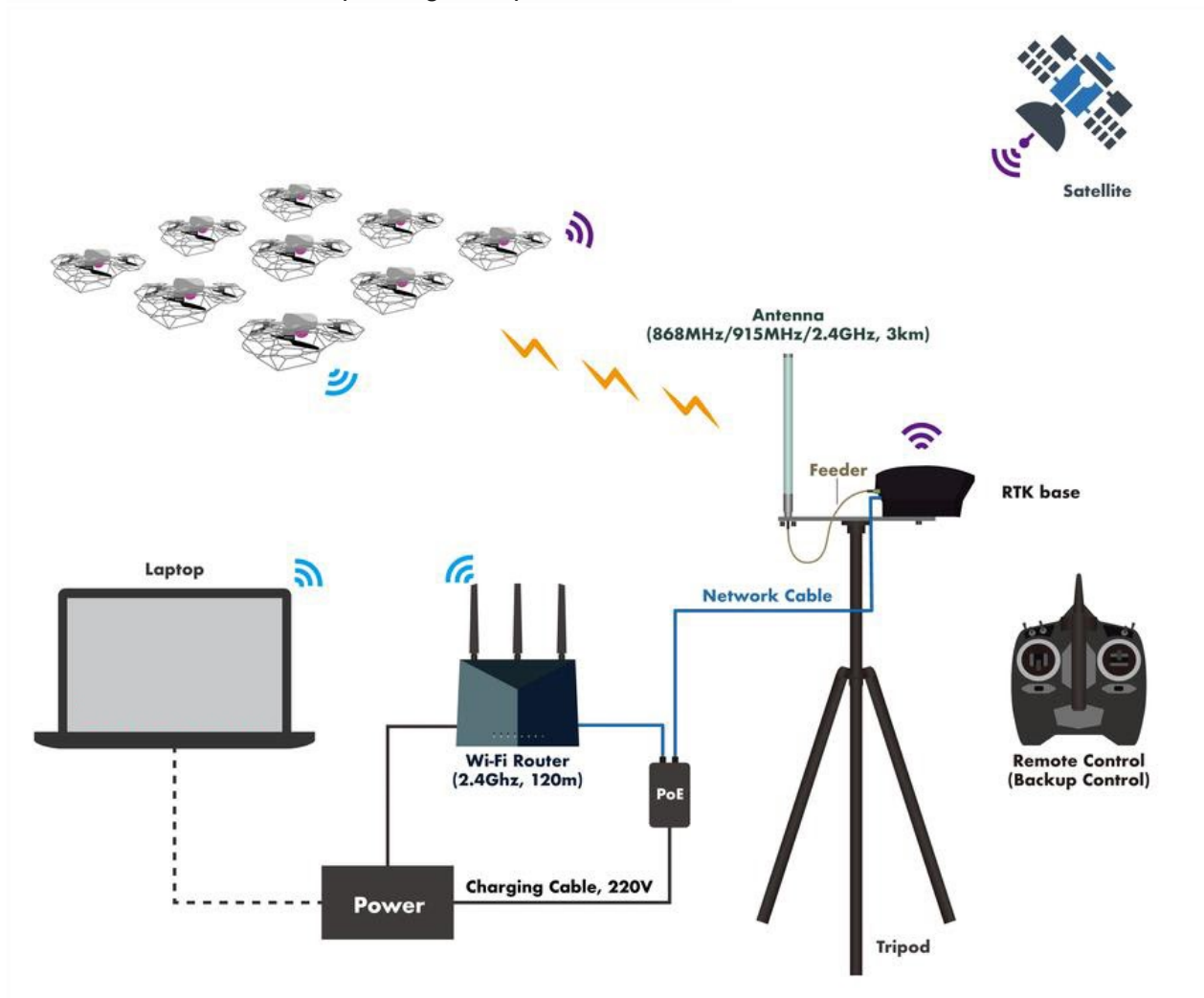


Fig. 5.4.2 - Schema dell'architettura offline

usano delle ground control station prodotte da terzi e specifiche per le esigenze degli show luminosi. Sono due le soluzioni software esistenti Drone Show Software della SPH Engineering e Skybrush di CollMot, la prima si basa sul sistema autopilota Pix4 (<https://px4.io/>), il secondo sul sistema autopilota ArduPilot (<https://ardupilot.org/>). Sono le GCS per gestire le traiettorie di volo della coreografia, offrono visualizzazioni 2D e 3D, la simulazione della coreografia in un ambiente tridimensionale e il monitoraggio dei dati telemetrici dello sciame di droni. Si basano sul paradigma che in questa ricerca è chiamato offline, ovvero la GCS acquisisce il file della coreografia, esportato dal software 3d, e si occupa del trasferimento delle singole traiettorie ai droni connessi. In questa modalità di funzionamento è necessario che ogni UAV abbia una memoria a bordo adibita alla traiettoria ad esso assegnata, a questo scopo sono utilizzate Flight controller che permettono l'utilizzo di una memoria SD card. La traiettoria è salvata sulla scheda sd in una fase preparatoria, prima dell'esecuzione dello spettacolo, successivamente viene trasferita in una memoria interna della flight controller per eliminare possibili malfunzionamenti

legati alla lettura della memoria esterna della scheda SD. Utilizzano gli UAV con una modalità autonoma prevista dal progetto del firmware di volo, nel caso di ardupilot denominata Guided, che rimane in attesa dei comandi di posizione desiderati. A questa modalità di volo vengono implementate alcune caratteristiche specifiche, come ad esempio, la partenza del procedimento di decollo all'orario stabilito. Una volta che lo sciame è decollato viene eseguito un loop che verifica la traiettoria del drone al tempo corrente della coreografia, calcola la posizione desiderata e la velocità per il drone e la impartisce allo stesso controllo che viene utilizzato dalla modalità di volo chiamata guided in Ardupilot. Questo è eseguito all'incirca 10 volte al secondo. Il punto chiave qui è che, a differenza della modalità missione, si ha una traiettoria singola, continua, vincolata a tempo e velocità. In altre parole, la traiettoria caricata sul drone definisce esattamente quando si deve essere in un punto specifico e quanto velocemente si deve giungere in quel punto, a differenza della modalità missione dove non si ha alcun vincolo di tempo per un waypoint, e nemmeno di velocità.

Come mostrato in figura 5.4.2 in questo paradigma definito offline non vi è nessun comando di posizione trasmesso dalla GCS agli UAV durante il volo, ma il passaggio delle posizione avviene a livello del singolo UAV. Durante l'esecuzione dello spettacolo i messaggi del protocollo Mavlink che vengono scambiati sono le informazioni di telemetria mandate dagli UAV alla GCS, e secondariamente i comandi che la GCS può impartire agli UAV per fare delle calibrazioni, settaggi prima del decollo, o comandi di controllo attivati dall'operatore in caso di criticità. Per la comunicazione dei dati telemetrici e i comandi che la GCS può inviare si utilizza una rete WiFi alla quale è connessa la GCS e i droni, ogni drone è identificato dalla GCS tramite l'ID impostato nella scheda autopilota che viene trasmesso nei pacchetti delle informazioni del protocollo Mavlink, allo stesso modo l'ID univoco è usato per instradare i comandi impartiti dalla GCS ai droni. Il secondo canale di comunicazione è dedicato ai dati di correzione dalla base GPS RTK che invia, solitamente utilizzando dispositivi radio a 433 o 868 o 915 Mhz, in modalità broadcast a tutti droni connessi.

Capitolo 6 Ricerca sperimentale applicata

6.1 Sviluppo piattaforma sperimentale LuminousBee

Come indicato già nel 2008 dal documento conclusivo del workshop "Beyond RFID - The Internet of Things" organizzato dalla commissione europea e EPoSS i fattori abilitanti di un paradigma di IoT sono stati identificati in varie aree: energetica, intelligenza, comunicazione, integrazione, interoperabilità e standard aperti.

Come di seguito verrà descritto, questi fattori abilitanti della tecnologia IoT sono stati presi in considerazione per le applicazioni di visualizzazione aerea con sistemi di sciame di UAV e incorporati nella ricerca. La ricerca applicata ha attraversato due fasi principali, la prima

denominata realtime, che ha affrontato la sfida di controllare i singoli agenti in tempo reale (dati di posizione e luminosi) e la seconda chiamata offline in cui si è riprogettato l'elemento UAV e il sistema sciame UAV e GCS per adeguarlo a questa modalità alternativa di funzionamento già utilizzata nelle piattaforme esistenti.



Fig. 6.1.0 - *prototipo LuminouBee realtime versione 4*

Il lavoro per rendere compatibile il sistema alla modalità offline ha dunque mantenuto inalterate le caratteristiche distintive ottenute nel progetto hardware del sistema realtime (tecnologia di batterie a Li-Ion, estrema compattezza e leggerezza, alta autonomia di volo, sistema di localizzazione di altissima qualità, 3 canali di comunicazione indipendenti, Led SMD distribuiti sulla superficie sottostante del telaio) e ha apportato ulteriori aggiornamenti migliorativi alla piattaforma tecnologica. E' stato rivisto il comparto batterie per consentire la sostituzione della componente energetica in una singola rapida operazione. Le due batterie Li Ion 18650 grazie a una leggerissima struttura stampata con le stampanti per la prototipazione rapida sono state inglobate in un singolo modulo batteria, eliminando contemporaneamente ogni possibilità di una errata inserzione con inversione di polarità delle stesse. Inoltre con la nuova soluzione di pacco batteria singolo si è aggiunto un modulo luminoso sottostante composto da ulteriori 40 LEDs RGB SMD 5050 incrementando dai precedenti 60 LED SMD 5050 agli attuali 100 raggiungendo i 1500 lumen totali. Sempre in riferimento alla conversione del sistema alla modalità offline, anche la parte software relativa alla GCS doveva adattarsi alla gestione dello sciame col paradigma dei dati di posizione e colori dello spettacolo precaricati a bordo dei droni. Per raggiungere questo risultato si è intrapresa la collaborazione con i creatori del software

Skybrush, una ground control station per coreografie aeree luminose con UAV dotati di firmware basati sul progetto open ArduPilot e protocollo di comunicazione MavLink. Ad ulteriore dimostrazione del valore della scelta operata di adottare i migliori progetti Open è dimostrato dalla rapida capacità di interoperabilità che si è ottenuta tra l'hardware LuminousBee e la GCS Skybrush. I due progetti sono stati collegati tramite un nuovo firmware Ardupilot che contiene e fa interagire le definizioni hardware relative alla scheda elettronica LuminousBees i parametri del firmware ArduPilot associati e la parte di codice del firmware sviluppato per Skybrush, entrambi pienamente compatibili e basati sul codice Ardupilot e col protocollo di comunicazione Mavlink.

Come visto nel primo capitolo tutti i sistemi esistenti dipendono dal caricamento, prima del decollo, su ogni drone dei dati della traiettoria da eseguire. Questo nella maggioranza dei sistemi di cui è stato possibile conoscere nel dettaglio lo schema di funzionamento ha richiesto l'adozione di un companion computer che fa da intermediario tra la flight controller e il flusso di dati della traiettoria, si occupa di inviare le posizioni desiderate alla scheda autopilota alla frequenza ottimale. Per esempio, nei sistemi sviluppati sul firmware Arducopter (come Taiwan drone 100 e Vim drones), ma anche in quelli gestiti dal firmware Pixhawk (come il progetto commerciale Drone Dance Controller), i firmware delle schede degli autopiloti non erano in grado di gestire direttamente l'elevato numero di posizioni di cui è composta la traiettoria di uno spettacolo ed è necessario l'uso di un companion computer che trasferisce progressivamente le singole posizioni alla scheda dell' autopilota. Questo approccio prevede la presenza prima del decollo di una architettura centralizzata, prevalentemente unidirezionale, dove la GCS dopo aver importato il file dello spettacolo contenente tutte le traiettorie di cui è composto, invia ad ogni drone esclusivamente la sua specifica traiettoria e successivamente imposta un orario di inizio dello spettacolo, basato sul tempo ricevuto dal GPS che è condiviso da tutti gli agenti e alla GCS (rispettivamente attraverso il sistema di posizionamento a bordo di ogni drone e la base RTK). Una volta iniziato lo spettacolo gli agenti sono autonomi per l'esecuzione della propria missione; questa è la differenza fondamentale della modalità offline rispetto a quella real-time e permette di concludere una missione anche al verificarsi di malfunzionamenti alla GCS o al sistema di comunicazione GCS-agenti uav. Questo è l'elemento chiave che ha risolto la scalabilità del sistema all'aumentare del numero dei droni ma anche permette una robustezza intrinseca rispetto al sistema di comunicazione dal momento che ogni elemento dello sciame di UAV possiede internamente l'intero pacchetto di dati della missione da eseguire (preparati per lo spettacolo pertanto esenti da collisioni e in rispetto delle caratteristiche esecutive). Il sistema di comunicazione primaria è rimasto invariato sia nella versione realtime che nella versione offline, con l'uso del modulo WiFi per soluzioni IoT ESP8266, utilizzato per la trasmissione dei dati telemetrici dai droni alla GCS. Questo permette lo scambio dei dati, messaggi e comandi tra la GCS e i droni, offrendo all'operatore la capacità di monitorare tramite l'interfaccia della GCS le informazioni sullo stato di ogni drone per controllare la corretta esecuzione della missione e intervenire in caso di anomalie con azioni di emergenza. La definizione di modalità "offline", indica dunque che la navigazione e l'attività luminosa degli agenti dipende dai dati precaricati su ogni drone e di contro non sono contemplate istruzioni inviate in tempo reale. Grazie all'integrazione tra la piattaforma hardware Luminousbee e la componente software Skybrush, che ha sviluppato una modalità di volo aggiuntiva al firmware Ardupilot, denominata Show, la quale risolve il problema del passaggio delle posizioni contenute nel file precaricato

senza la necessità di un companion computer, il peso, le dimensioni finali e i consumi dell'unità LuminouBee è rimasta inalterata.

Il primo progetto sperimentale sviluppato ha riguardato lo sviluppo del sistema denominato "realtime" per consentire di determinare il comportamento spaziale e luminoso degli agenti in relazione ai dati acquisiti esternamente, come ad esempio da una rete di sensori esterna connessa al sistema. Il punto di maggiore criticità di questo approccio è legato al sistema di comunicazione che deve garantire un'elevata robustezza e la banda necessaria alla trasmissione di una grande quantità di dati che cresce linearmente all'aumentare dei droni controllati. In questa versione inoltre era possibile indirizzare i dati di controllo delle luci individualmente ad ognuno dei 60 LEDs per sperimentare la percezione di stati luminosi composti da diversi colori contemporaneamente. Questa modalità comporta un ulteriore consumo della banda disponibile e il suo effetto riduttivo nei riguardi del numero massimo di droni utilizzabili è stato mitigato nel progetto hardware del drone con l'utilizzo di un secondo canale di comunicazione distinto da quello della telemetria.

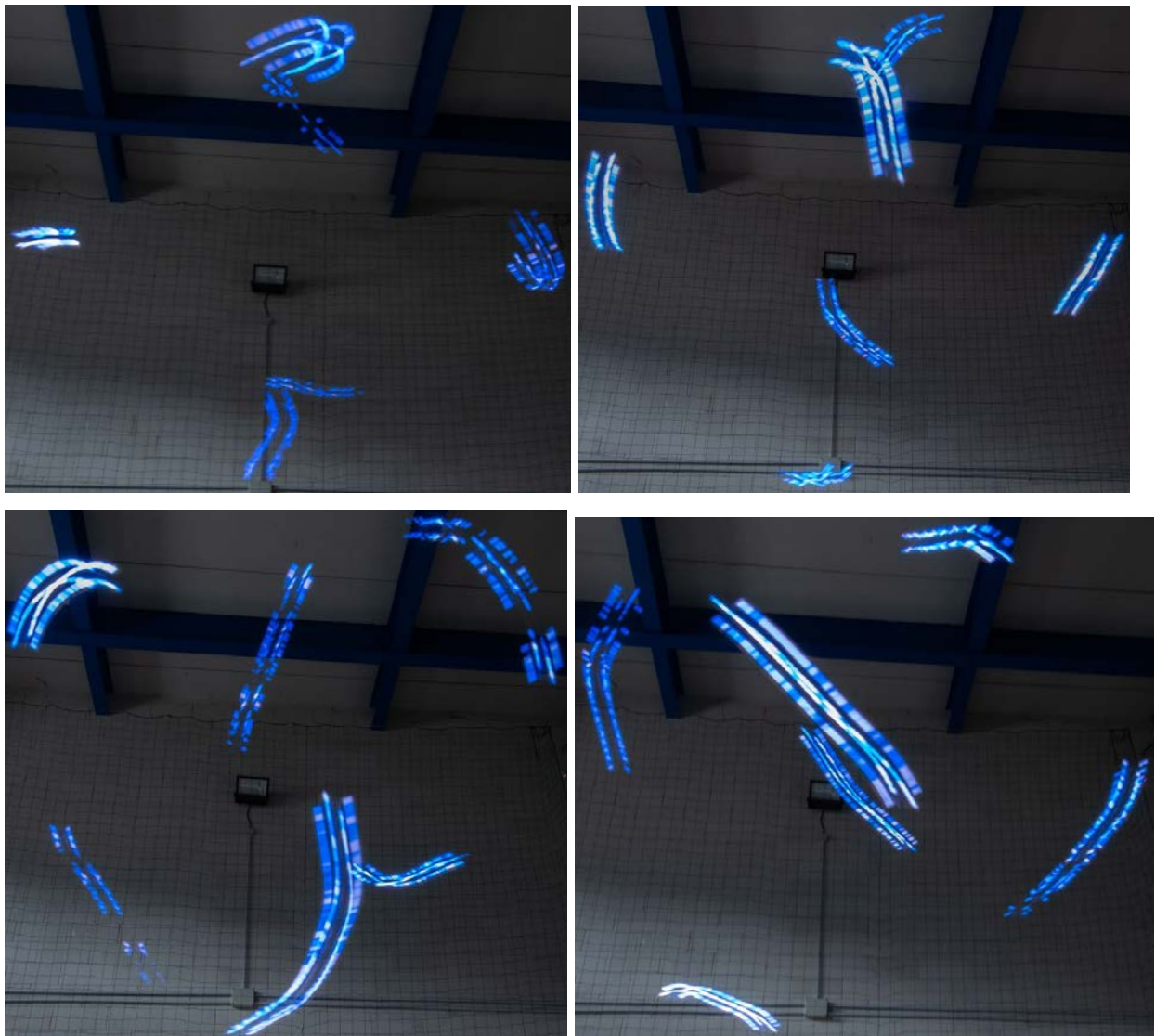


Fig. 6.1.1 - set di fotografie con tempi di esposizione superiori a 1 secondo realizzate con 6 Luminousbee realtime

6.2 Sistema di localizzazione Indoor

Per la necessità di poter verificare le reali performance in maniera costante e continuativa durante lo sviluppo del progetto in un spazio sempre disponibile, eliminando le problematiche dell'ambiente esterno quali le condizioni meteorologiche incompatibili, gli spostamenti del sistema e le autorizzazioni necessarie per operare con un sistema sperimentale di sciame autonomo, è stato sviluppato un sistema di localizzazione indoor. Questo è basato sulla tecnologia radio UWB (Ultra Wide Band) che consente di ottenere la posizione assoluta di oggetti nello spazio. Il sistema ha molte analogie con il sistema satellitare GPS, è composto da 2 gruppi di dispositivi distinti, le ancore o beacons allestiti nello spazio indoor come i satelliti del sistema GPS e i tag come i ricevitori GPS, in ogni oggetto che ci permette la sua localizzazione. Le ancore quindi rimangono fisse, hanno una posizione nota che viene misurata con precisione millimetrica e sono installate opportunamente nell'ambiente. Queste costituiscono l'infrastruttura che permette il calcolo della posizione da parte dei tag installati sui droni mobili che determinano così autonomamente la loro posizione.

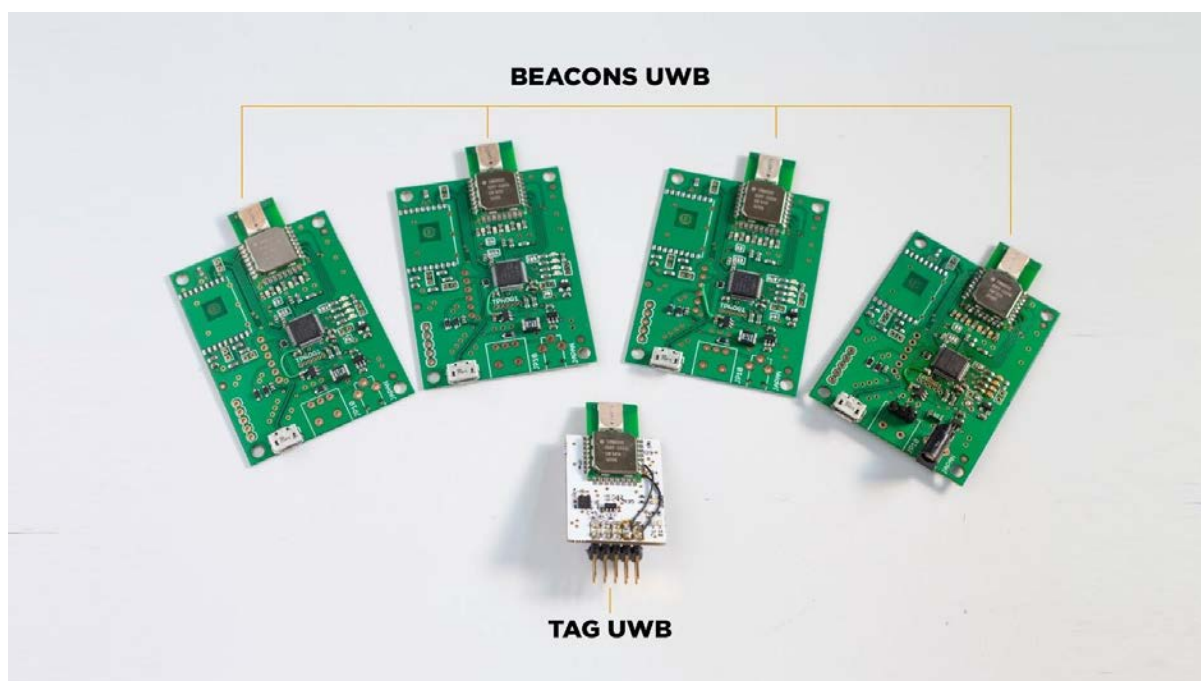


Fig.6.2.1 - 4 ancore uwb (beacons) e un tag uwb

Grazie all'invio di brevi messaggi radio ad alta frequenza tra le ancore e i tag, il sistema determina la distanza tra ogni ancora e i tag e calcola la posizione del tag da questa informazione. Tutte le informazioni necessarie a calcolare la posizione sono disponibili al tag e

questo abilita la stima della posizione a bordo di ogni drone, diversamente da altri sistemi di posizionamento in cui la posizione è calcolata da un computer esterno ed inviata ai robots. In questo modo ogni luminousbees ottiene la conoscenza della sua posizione, è capace di mantenere una posizione autonomamente senza controllo manuale e senza la presenza di un computer esterno e di una rete di comunicazione. Il calcolo della posizione avviene direttamente sulla MCU (MicroController Unit) della scheda autopilota e viene passata all'EKF (Enhanced Kalman Filter) del progetto Ardupilot dove viene integrata con la sensoristica inerziale accelerometro e giroscopio e anche dal sensore barometrico. La modalità di posizionamento utilizzata è chiamata Time Difference of Arrival (TDoA), prevede che ogni ancora mandi in continuazione dei pacchetti contenenti informazioni di tempo tra loro sincronizzate su un segnale inviato da un'ancora master (l'ancora 0). Il tag alla ricezione di questi pacchetti può calcolare la distanza relativa tra due ancore calcolando la differenza del tempo di arrivo dei pacchetti. Dalle informazioni della TDoA è possibile calcolare la posizione 3d nello spazio. In questa modalità il tag sul drone è completamente passivo, in ascolto dei pacchetti che sono inviati esclusivamente dalle ancore; questo è un fattore importante perché permette l'aggiunta di nuovi tags senza aumentare il carico di scambio di informazioni del sistema. E' così possibile utilizzare un numero qualsiasi di luminousbee contemporaneamente senza pregiudicare il funzionamento della localizzazione e risulta ottimale per l'uso di robotica di sciame. Il sistema prevede il posizionamento di 8 ancore ai vertici dello spazio di volo in una stanza, Il calcolo della posizione è ristretto allo spazio delimitato dalle 8 ancore. Il sistema delle ancore è suddiviso temporalmente e sincronizzato per poter impiegare 8 ancore. Ogni ancora ha un proprio ID che è incluso nel pacchetto che trasmette.

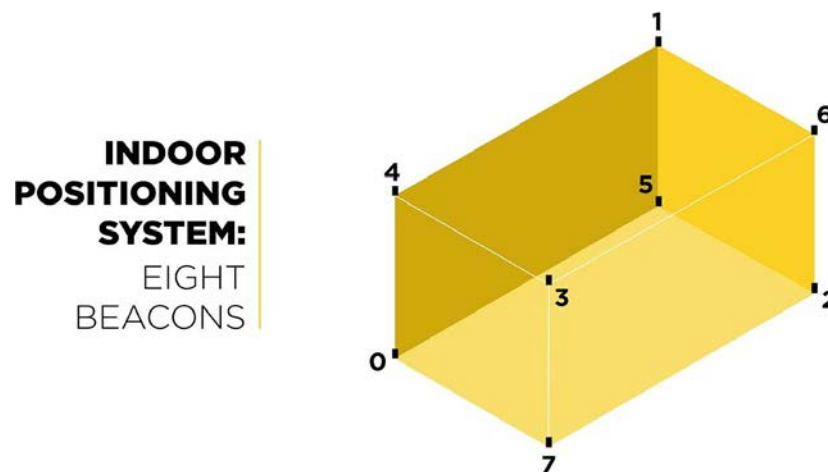


Fig. 6.2.2 - *posizionamento delle 8 ancore nella stanza*

Il modulo UWB usato nelle ancore e nei tags è il medesimo, è un dispositivo radio che manda e riceve dei pacchetti radio che contengono pochi bytes di dati. I pacchetti impiegano un tempo molto ridotto ed è possibile determinare con una precisione molto alta il momento in cui sono stati ricevuti. I moduli contengono un orologio ad alta precisione che è usato per determinare l'istante in cui i pacchetti sono mandati o ricevuti. Le ancore trasmettono i pacchetti e rimangono

in ascolto anche dei pacchetti dalle altre ancore. Quando un'ancora riceve un pacchetto da un'altra ancora include alcune delle informazioni contenute nel pacchetto ricevuto nel prossimo pacchetto che spedisce. In base ai timestamps esegue dei calcoli per determinare il "Time of Flight" (la distanza tra l'altra ancora) che viene incluso nel pacchetto inviato insieme con il timestamp ricevuto. Diversamente il Tag resta solo in ascolto e sulla base dei dati contenuti nei pacchetti ricevuti calcola la sua posizione. La qualità delle misure prodotte dal sistema dipende dalle onde radio che non devono essere influenzate da riflessioni causate dalle pareti o presenza di ostacoli che si sovrappongono tra le rette che congiungono le antenne dei moduli UWB dei tag e delle ancore. Per minimizzare le riflessioni dovute alle pareti dello spazio interno sono stati creati dei supporti in legno di altezza 60 cm su cui sono fissate le ancore, in modo da distanziare le ancore inferiori dal pavimento e quelle superiori dalla parete a cui sono fissate.



Fig. 6.2.3 - centro dell'antenna dell'ancora UWB

L'algoritmo per la TDoA funziona conoscendo la posizione del centro dell'antenna di ogni ancora (figura 6.2.3) rispetto a tutte quelle presenti nel sistema, l'ancora con ID 0 diventa l'origine del sistema e sono quindi da misurare le 7 posizioni delle antenne delle ancore in riferimento all'ancora 0 come illustrato in figura 6.2.4 .

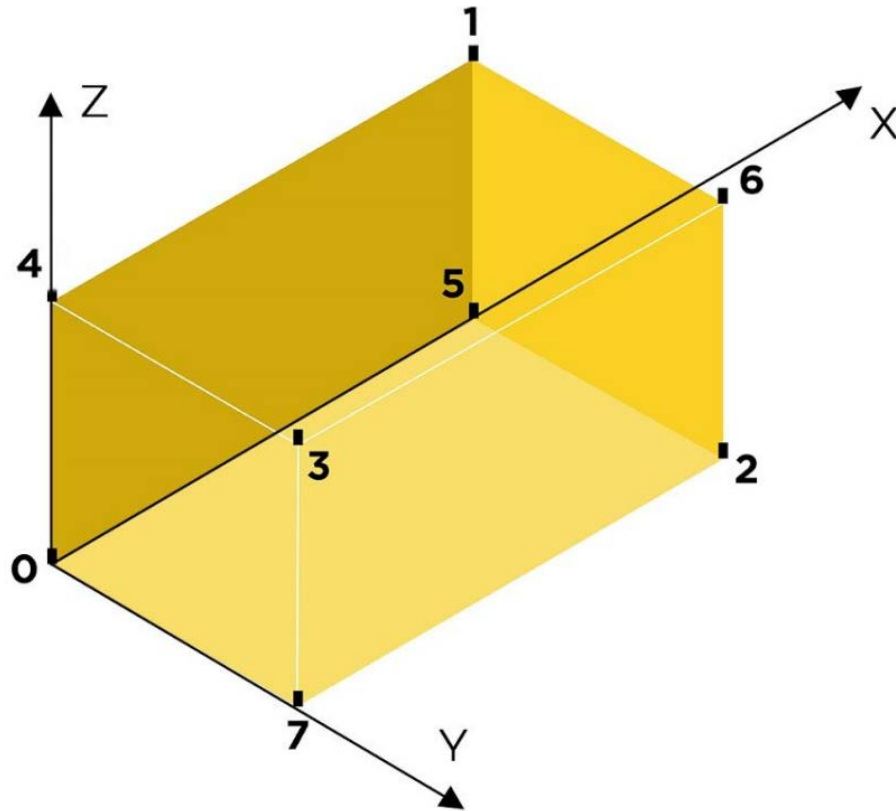


Fig 6.2.4 - posizionamento ancore e sistema di coordinate

Il sistema di posizionamento indoor è stato usato durante lo sviluppo dei prototipi realtime e rimane il sistema di posizionamento usato dalla versione per applicazioni indoor.

6.3 LuminousBee Realtime

Le linee guida che hanno indirizzato lo sviluppo della piattaforma uav per visualizzazione sono quattro: la miniaturizzazione del dispositivo, la massima integrazione, l'aumento della capacità computazionale a bordo, e l'utilizzo del maggior numero di sistemi open source di basso livello. Il primo punto, in realtà comprende altre due caratteristiche che sono il contenimento del peso totale dell'oggetto con l'obiettivo di non superare i 250 g, ed il raggiungimento di elevate performance di autonomia di volo grazie all'aumento dell'efficienza del sistema. In un processo produttivo tradizionale anche selezionando la componentistica più aggiornata e leggera assemblata su un telaio di carbonio oltre a richiedere cavi di collegamento, connettori e viti di fissaggio, non si potrebbe comunque ottenere un ottimale profilo aerodinamico che può facilmente produrre un'amplificazione delle vibrazioni presenti che peggiorerebbero le performance del sistema di controllo, in particolare per quadricotteri di piccole dimensioni, con poco peso che non aiuta a smorzare le vibrazioni e dal regime di rotazione più elevato delle eliche che tende a produrre più vibrazioni. Inoltre un sistema di fabbricazione tradizionale

avrebbe richiesto un lavoro manuale di assemblaggio e di saldatura, non ideale per l'ottimizzazione necessaria per la realizzazione di uno sciame di centinaia di unità.

Come firmware della scheda autopilota si è scelto Arducopter, un progetto Open-source tra i più attivi e completi, particolarmente sviluppato per le funzionalità autonome, tra cui una modalità di volo denominata Guided, usata per la prima GCS sviluppata, in cui ogni drone è costantemente in ascolto di ogni nuova posizione desiderata inviata dalla GCS.

Per la tecnologia delle batterie è stata scelta la tipologia Litio-Ioni che fornisce la migliore densità energetica tra le tecnologie disponibili. Tra i formati esistenti di questa tipologia è stato scelto lo standard 18650, di gran lunga il più prestante per dimensioni e peso in relazione alla densità energetica fornita. Sulla scorta di noti parametri basilari per la progettazione di un drone con le migliori caratteristiche di efficienza e anche in base alle precedenti esperienze nel settore si è individuata la soluzione ottimale per il sistema di alimentazione.

Considerando che una singola batteria 18650 pesa circa 48 g, con l'utilizzo di due batterie in serie si raggiunge un peso intorno ai 100 gr. che si avvicina molto al rapporto ideale di uno a due tra il peso del comparto alimentazione e il peso totale al decollo. Inoltre la tensione di alimentazione generata di 7,4 V nominali permette l'uso di motori ed eliche ad alta efficienza che come risultato hanno consentito tempi di volo eccezionali. Normalmente le batterie ai polimeri di Litio, tradizionalmente utilizzate per alimentare i droni, sono dotati sia di un cavo con il connettore di bilanciamento che dei cavi con i connettori per l'alimentazione che devono essere collegati ai connettori presenti su di una piastra di alimentazione. Il secondo punto, ovvero la ricerca della massima integrazione, è stato l'elemento portante di tutta la progettazione comportando il contemporaneo soddisfacimento di molti degli obiettivi proposti. L'innovativo progetto del drone sviluppato ha previsto una soluzione in cui tutte le parti sono state integrate su una unica scheda elettronica che contiene tutte le componenti necessarie e supporta l'alloggiamento del pacco batteria in modo sicuro ed efficace. Per quest'ultimo scopo sono stati individuati degli holder metallici saldati direttamente sulla scheda che consentono senza ulteriori supporti l'inserimento, lo sgancio e la tenuta sicura delle batterie. Per la parte propulsiva sono state effettuate molte prove comparative per scegliere l'elica da 5" più efficiente caratterizzata dal minor peso e minor passo geometrico, ovvero l'inclinazione delle pale.

L'aver progettato e realizzato direttamente l'intera elettronica per tutte le componenti del drone ha permesso di integrare solamente i componenti elettronici più adeguati ed aggiornati escludendo ogni funzione e parte non necessaria e di eliminare ogni connettore e cavo di connessione; i collegamenti infatti sono realizzati direttamente con le piste sulla scheda elettronica senza bisogno di saldature. Con l'obiettivo del contenimento delle dimensioni per ottenere i conseguenti minor peso e risparmio energetico è stato preferito per ogni singolo componente elettronico impiegato il formato più piccolo disponibile, il tutto alloggiato su una unica scheda elettronica a quattro strati con uno spessore di 1,6 mm con anche vantaggi nei tempi di lavorazione e nei costi più contenuti. Realizzata ogni funzione hardware necessaria (scheda autopilota, sensori inerziali giroscopio, accelerometro, magnetometro, scheda GPS, moduli WiFi) è stata disposta opportunamente in modo da realizzare la struttura portante necessaria come telaio del drone. Nella parte centrale ha trovato alloggiamento il giroscopio, l'accelerometro e il barometro con la scheda autopilota, nei bracci invece gli esc che sono responsabili della gestione dei motori. La larghezza del braccio è conseguenza di svariate considerazioni: la necessità di garantire una sufficiente resistenza meccanica e assenza di

vibrazioni, lo spazio minimo necessario per la componente ESC ospitata e per la più conveniente disposizione della componente luminosa alloggiata nella parte inferiore dei bracci. Per quest' ultima sono stati selezionati dei LEDs SMD RGBW ad elevata luminosità che applicati direttamente in quantità di 15 nella parte inferiore di ciascun braccio eliminano la necessità di una scheda dedicata separata e dei relativi connettori e cavi. Per il fissaggio dei motori è stato ricavato sul pcb, nella parte terminale dei bracci, lo spazio necessario unitamente ai fori per le viti di fissaggio e ad un pratico connettore di collegamento. Sono stati infatti fatti produrre motori custom secondo le specifiche elettriche e meccaniche desiderate e con cavi di collegamento di lunghezza ben definita e terminati con un connettore di accoppiamento a quello montato sui frame.

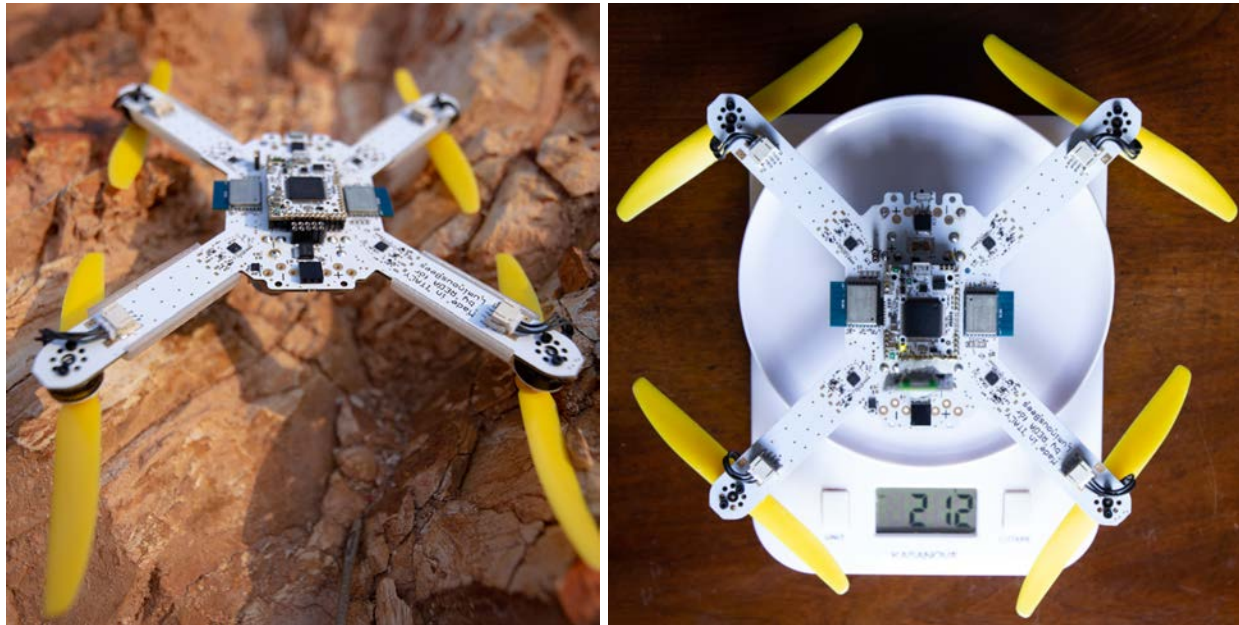


Fig. 6.1.0.1 Prototipo 3 con FC esterna visibile al centro

Il progetto finale è il risultato di varie iterazioni, in cui ogni prototipo elettronico è stato collaudato a banco, testato in volo e messo a confronto con i precedenti per analizzare le capacità di volo, il funzionamento della sensoristica inerziale e del magnetometro. In questo modo dopo alcune prototipazioni è stato possibile confrontare nelle medesime condizioni differenti configurazioni. In questo modo è stato possibile individuare la collocazione ottimale per i motori, inizialmente collocati sopra il frame (visibile in figura 6.1.0.3) sono stati successivamente sistemati sulla parte inferiore del frame, ottenendo il miglior risultato di autonomia del sistema. Il pacco batteria, invece, è stato fissato sulla parte inferiore del frame in modo che la sostituzione delle batterie non coinvolga il modulo di localizzazione fissato nella parte superiore. In figura 6.1.0.3 è visibile il secondo prototipo in cui la power board risiedeva in un pcb separato, fissata meccanicamente sotto al frame principale, che oltre a contenere la parte di alimentazione contiene anche un secondo modulo ESP8266 caratteristico di tutta la prima categoria denominata realtime in cui si hanno due canali di comunicazione separati per i dati di posizione e quelli luminosi.



Fig. 6.1.0.3 prototipo 2 con power board esterna, FC esterna e motori sopra il frame

Il prototipo successivo ha integrato nel pcb del frame sia il pcb esterno della power board e sia la scheda autopilota ottenendo una configurazione in cui il pcb principale contiene l'intera elettronica escluso il modulo GPS RTK e l'antenna amplificata esterna per le diverse bande richieste dal modulo ZED F9 della ublox. Non essendo disponibile lo spazio per l'integrazione del modulo GPS questa è la configurazione finale del prototipo realtime.

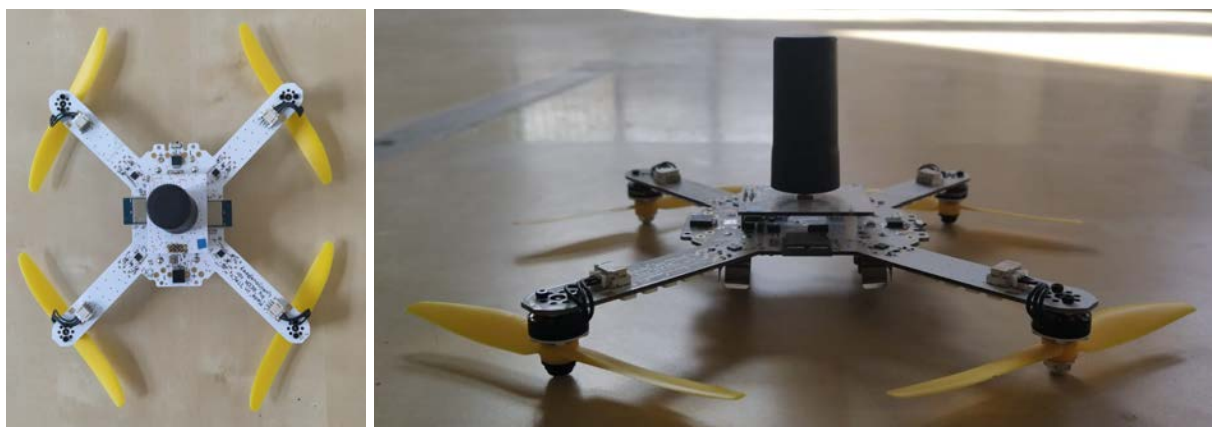


Fig. 6.1.0.4 - *prototipo 3 LuminouBee realtime*

6.4 Sistema di comunicazione

Per il sistema di comunicazione wireless è stato integrato il chip ESP8266, uno dei Soc (System on a Chip) microprocessore WiFi più utilizzati per soluzioni IoT. Fornito dal produttore cinese Espressif Systems e' un chip a basso costo dotato nativamente del supporto completo ai protocolli TCP/IP e delle funzionalità di Access Point e di Station, completato da una potente MCU (microcontrollore) in grado di interfacciarsi direttamente con il mondo esterno sia con svariate tipologie di canali di comunicazione che tramite I/O per l'input o l'output di dati digitali e analogici. Il chip è stato presentato ai produttori occidentali nell'agosto 2014 con il modulo ESP-01, realizzato da un produttore di terze parti: AI-Thinker. Il prezzo molto basso ha permesso a molti progettisti di creare applicazioni IoT basate su schede e moduli che utilizzano

il chip ESP8266. Nella nostra applicazione abbiamo utilizzato il modulo WROOM 02 costruito dal produttore stesso del chip ESP8266 che ha la peculiarità di essere fornito in due versioni intercambiabili con antenna integrata sul pcb che con connettore per il collegamento ad una antenna esterna.

Nella prima versione del sistema denominata “realtime” sono stati usati 2 moduli ESP8266, come visibile nello schema in figura 6.1.1, quello di sinistra è collegato direttamente alla scheda autopilota e realizza il sistema di comunicazione telemetrico bidirezionale tramite il protocollo Mavlink. Sul microprocessore del modulo è stato installato il firmware open source MavESP basato su di uno standard aperto, realizzato appositamente per consentire il collegamento tra una scheda autopilota Pixhack o Ardupilot con le rispettive GCS. Il firmware oltre che abilitare le funzionalità WiFi, può collegarsi ad una rete esistente o crearne una, si occupa di fare da intermediario dei messaggi e comandi con il protocollo MavLink o il piu’ avanzato Mavlink2. Inoltre supporta il proprio set di parametri e comandi Mavlink

(<https://github.com/dogmaphobic/mavesp8266/blob/master/PARAMETERS.md>). Il progetto di questo firmware Open Source è stato inizialmente sviluppato su questo repository pubblico <https://github.com/dogmaphobic/mavesp8266> e ad esso e’ stata aggiunta una versione aggiornata e dedicata al progetto ArduPilot (<https://github.com/tridge/mavesp8266>) compatibile col protocollo MavLink2. Quest’ ultimo e’ richiesto anche per il funzionamento della telemetria bidirezionale con gli ESC che è stata supportata dal progetto ArduPilot e integrata in seguito nella piattaforma luminousbee.

Per il sistema UAV sviluppato in questo studio il canale di comunicazione che utilizza il protocollo Mavlink, sia nel primo progetto realtime che nella seconda versione offline, adotta la trasmissione wifi in modalità’ UDP.

La modalità’ UDP per gestire la comunicazione tra la control ground station e gli agenti droni e’ la più’ adatta specialmente nell’ applicazione real time perché’ non necessitando della conferma della corretta ricezione del messaggio trasmesso e della sua iterazione nel caso di errore garantisce il throughput piu’ elevato possibile.

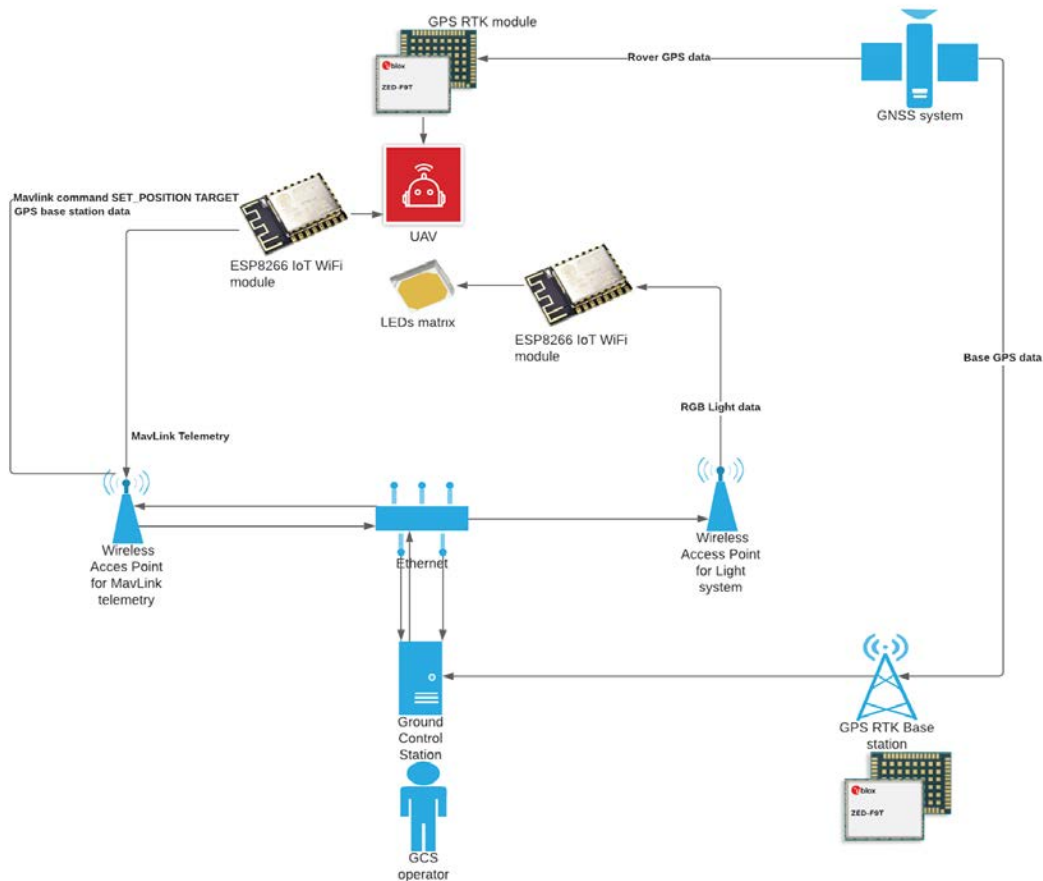


Fig. 6.1.1 Schema soluzione realtime

Sempre nello schema 6.1.1 a destra si trova un secondo modulo ESP8266 interfacciato direttamente con il modulo luminoso composto dalla matrice di LED RGBW sottostante al drone. I dati RGB delle luci sono inviati al modulo luminoso a una frequenza maggiore, 30hz, rispetto ai dati di posizione; questo canale dati per le luci e' unidirezionale dalla GCS in direzione degli agenti e non invia dati di ritorno alla GCS. Questo approccio con due canali wifi distinti è stato scelto per aumentare la banda disponibile e permettere l'uso di un maggior numero di droni suddividendo in due reti WiFi distinte i comandi di posizione e i comandi luminosi.

6.4.1 Deep Music on Air

Il sistema realtime è stato impiegato per la realizzazione del progetto presentato alla conferenza Artech con il paper "Deep Music on Air" <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/3359852.3359970> nato dalla collaborazione con il gruppo LuminuosBees e due ricercatori Massimiliano Zanoni e Michele Buccoli afferenti al Politecnico di Milano. Il progetto ha sperimentato le possibilità di visualizzazione con un gruppo di LuminouBee di dati elaborati da una intelligenza artificiale,

realizzando uno dei primi esempi di uso dell'Aerial Media per la data visualization. Le traiettorie e le dinamiche luminose sono generalmente delle animazioni create nella fase di produzione dei contenuti in funzione dello storyboard finalizzato nella fase di preproduzione. La novità del lavoro presentato risiede nel fatto che i droni luminosi sono stati utilizzati per rappresentare un dataset, quindi per realizzare quello che viene chiamato una *data visualization*. Nello specifico i dati provengono dall'elaborazione di una Deep Neural Network (DNN) usata per l'ascolto di musica ed addestrata per il riconoscimento musicale e per fornire consigli di brani musicali simili, individuando, ad alto livello, il genere e il mood dei brani sottoposti.

Il lavoro è stato preparato offline registrando l'output dei descrittori della DNN, ossia il valore di attivazione dei neuroni, durante l'ascolto della musica. Il collegamento ai droni è stato ottenuto associando i valori registrati con un mapping intermedio per comandare i colori e la posizione verticale dei droni. La rete artificiale usata è composta da 5 livelli gerarchici, dal primo che compie analisi di basso livello del segnale fino all'ultima che effettua interpretazioni di alto livello come il riconoscimento dell'emotività legata alla musica o il genere musicale. Ogni livello è composto da 32 neuroni ognuno addestrato al riconoscimento di una particolare feature musicale. L'allestimento esecutivo del progetto prevede l'immersione dello spettatore nell'attività dell'intelligenza artificiale usando l'attività luminosa-cromatica di uno sciame di N droni Luminousbee per manifestarla in volo attorno agli spettatori. L'esecuzione della data visualization è sincronizzata alla riproduzione del file audio, in modo che la rappresentazione cromatica emessa dall'apparato luminoso dei droni consenta di percepire l'attività della DNN sincronizzata e quindi associata agli stessi istanti musicali che gli spettatori ascoltano in contemporanea. La DNN ha bisogno di campioni audio di una certa durata, si è cercato di ottimizzare il suo funzionamento su campioni di breve durata riuscendo ad impostare la loro lunghezza a 5 secondi, pertanto una colonna sonora, opportunamente preparata e composta da diversi generi musicali, è stata divisa in campioni di 5 secondi (il primo blocco da 0 a 5 secondi, il secondo da 1 a 6 secondi e così via). I risultati del primo livello della DNN sono stati usati come input per il secondo livello e così via fino al quinto e ultimo livello. Si rimanda al paper per una descrizione in dettaglio della preparazione e processamento dei campioni, che ha generato infine un file csv contenente i valori normalizzati dell'intera DNN (160 descrittori assimilabili a singoli neuroni) ad una risoluzione di 30 Hz (visibili in Fig.6.1.2.3). I valori registrati indicano l'intensità di attivazione di un neurone, un valore di 0 significa che il neurone non ha riconosciuto in quel momento la feature alla quale è stato specializzato nel processo di apprendimento. Un valore di 1, diversamente, indica la sua attivazione e dunque il riconoscimento massimo.

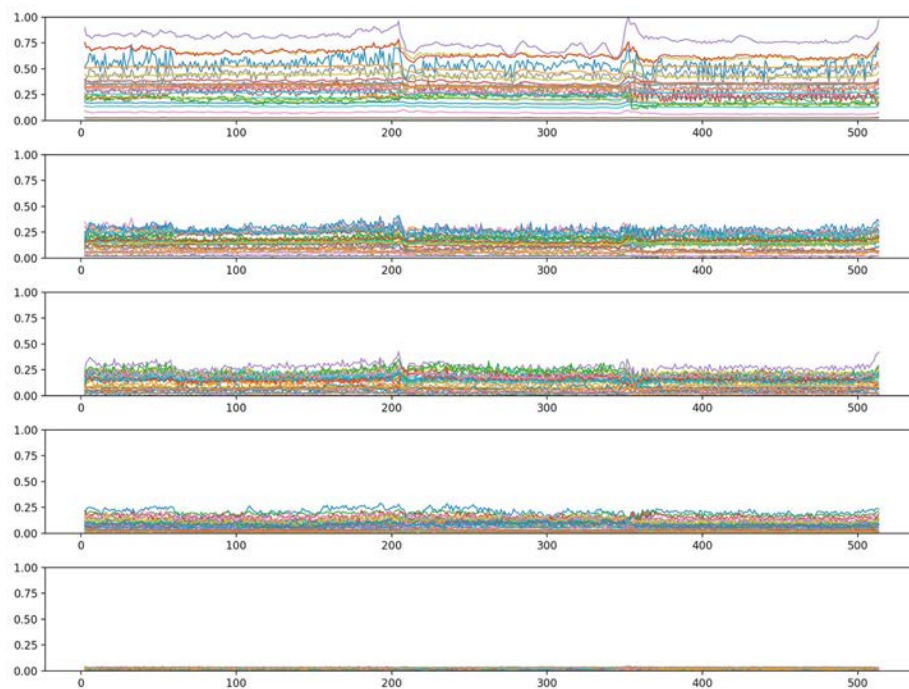


Fig. 6.1.2.1 - dal basso verso l'alto i 5 livelli della DNN con i valori raw

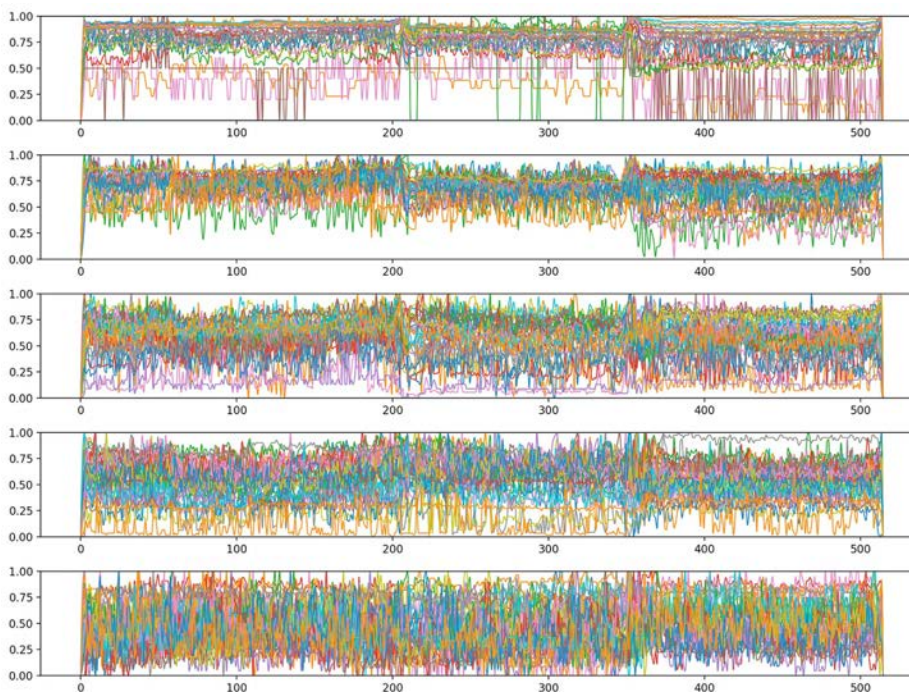


Fig. 6.1.2.2 - Dati di attivazione interpolati divisi per livello

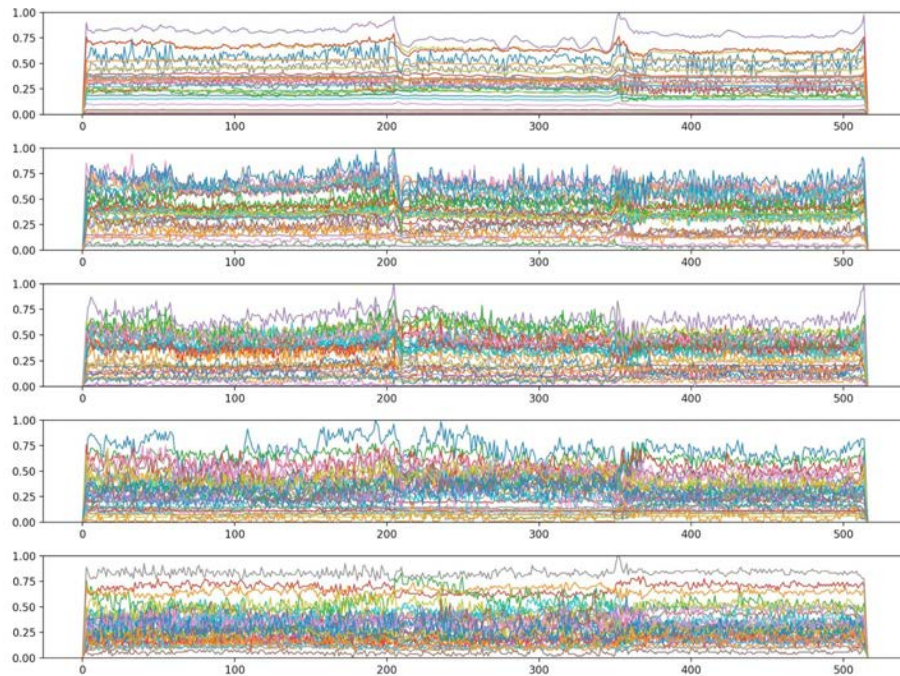


Fig. 6.1.2.3 - *Dati finali di attivazione normalizzati*

La prima visualizzazione ha previsto l'uso di un solo livello della rete, associando 4 valori alle 4 matrici luminose presenti sui bracci di ogni drone. In questo modo con l'utilizzo di 8 droni è stato possibile rappresentare l'attività di tutti i descrittori presenti in un livello.

Nella figura 6.1.2.1 è visibile la mappa cromatica costruita per esaltare le dinamiche di intensità di attivazione, il colore nero-blu associato a valori prossimi a 0, il colore rosso-bianco per rappresentare l'attivazione massima.

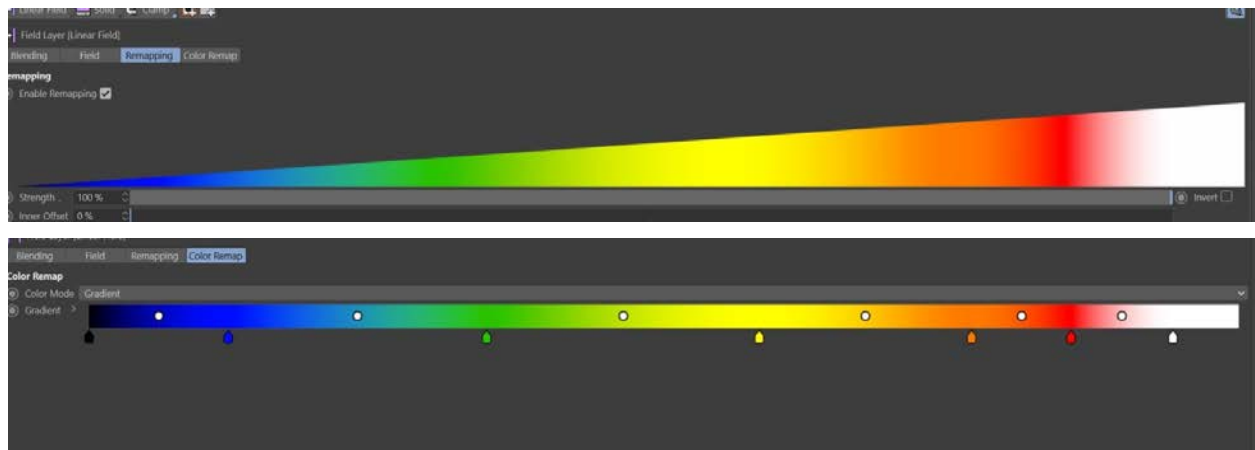


Fig. 6.1.2.4 Gradiente cromatico costruito per rappresentare il livello di attivazione

L'immagine in figura 6.1.2.5 mostra un fotogramma del primo approccio che ha consentito di utilizzare un limitato numero di droni, 8, per rappresentare 32 sorgenti di dati, ovvero l'intero set di dati costituenti un livello della DNN. Questo è stato possibile grazie ad una caratteristica presente nell'architettura "realtime" in cui il sistema permetteva un controllo separato dei 60

LEDs. Poiché ogni LuminousBee realtime possiede 60 LEDs divisi in 4 gruppi da 15 LEDs presenti su ogni braccio, è stato scelto di suddividere il singolo drone in 4 elementi luminosi distinti a cui vengono inviati 4 valori RGB così che ogni drone potesse rappresentare 4 descrittori differenti. La figura 6.1.2.5 mostra dei fotogrammi di 8 Luminoubee ripresi in laboratorio mentre stanno eseguendo la data visualization basata sui dati acquisiti, si nota che ogni drone rappresenta 4 differenti stati cromatici disposti sui suoi bracci.



Fig. 6.1.2.5 - viste dal basso di 8 Luminousbee che eseguono il livello 5 della DNN

Per realizzare il file contenente le traiettorie e i dati cromatici è stata utilizzata la capacità di Cinema4D di importare i dati da un file CSV preparato opportunamente. In figura 6.1.2.6 nella prima colonna sono contenuti gli istanti temporali, nelle successive sono presenti i descrittori appartenenti al primo livello (L1 = livello 1, Dx rappresenta il numero del descrittore da 1 a 21 visibile nell'immagine).

Time s	L1_D1	L1_D2	L1_D3	L1_D4	L1_D5	L1_D6	L1_D7	L1_D8	L1_D9	L1_D10	L1_D11	L1_D12	L1_D13	L1_D14	L1_D15	L1_D16	L1_D17	L1_D18	L1_D19	L1_D20	L1_D21
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.25	0.186765	0.009804	0.010294	0.205392	0.173039	0.161765	0.007843	0.022059	0.381853	0.117647	0.096569	0.172059	0.127451	0.116176	0.449002	0.001961	0.054902	0.166667	0.230392	0.078431	0.256863
2.5	0.373529	0.019608	0.020588	0.410784	0.346078	0.323529	0.015686	0.044118	0.763725	0.235294	0.193137	0.344118	0.254902	0.232353	0.898039	0.003922	0.109804	0.333333	0.460784	0.156863	0.513725
3.5	0.363725	0.016667	0.020588	0.393137	0.340196	0.3	0.017647	0.044118	0.714706	0.230392	0.187255	0.347059	0.25	0.268627	0.827451	0.003922	0.10098	0.431373	0.441176	0.15098	0.559804
4.5	0.366667	0.016667	0.020588	0.390196	0.340196	0.281373	0.015686	0.042157	0.715686	0.230392	0.186275	0.319608	0.226471	0.236275	0.820588	0.003922	0.09902	0.432353	0.438235	0.15	0.571568
5.5	0.367647	0.016667	0.020588	0.393137	0.341176	0.29902	0.015686	0.043137	0.714706	0.231373	0.187255	0.323529	0.236275	0.236275	0.823529	0.003922	0.1	0.506863	0.440196	0.151961	0.654902
6.5	0.360784	0.014706	0.020588	0.381373	0.342157	0.304902	0.015686	0.044118	0.676471	0.228431	0.182353	0.322549	0.242157	0.248039	0.799002	0.003922	0.091176	0.499002	0.431373	0.148039	0.647059
7.5	0.362745	0.014706	0.020588	0.381373	0.342157	0.279412	0.015686	0.045098	0.681373	0.228431	0.182353	0.342157	0.261765	0.215686	0.80098	0.003922	0.091176	0.484314	0.431373	0.147059	0.576471
8.5	0.364706	0.015686	0.020588	0.390196	0.342157	0.362745	0.016667	0.045098	0.691373	0.230392	0.184314	0.347059	0.256863	0.226471	0.820588	0.003922	0.091176	0.489216	0.438235	0.15098	0.644118
9.5	0.366667	0.015686	0.020588	0.391176	0.343137	0.294118	0.016667	0.045098	0.699002	0.231373	0.185294	0.363725	0.260784	0.219608	0.812353	0.003922	0.091176	0.434314	0.440196	0.15098	0.537259
10.5	0.366667	0.017647	0.020588	0.393137	0.342157	0.333333	0.016667	0.045098	0.699002	0.231373	0.185294	0.359804	0.256863	0.235294	0.823529	0.003922	0.097059	0.459804	0.439216	0.151961	0.591176
11.5	0.369608	0.018627	0.020588	0.396078	0.342157	0.320588	0.014706	0.045098	0.711765	0.232353	0.187255	0.344118	0.255882	0.230392	0.834314	0.003922	0.098039	0.456863	0.441176	0.152941	0.560784
12.5	0.368627	0.018627	0.020588	0.395098	0.343137	0.298039	0.014706	0.041176	0.710784	0.232353	0.187255	0.326471	0.226471	0.220588	0.823549	0.003922	0.098039	0.368627	0.441176	0.151961	0.481373
13.5	0.365686	0.018627	0.020588	0.394118	0.344118	0.285294	0.015686	0.041176	0.70098	0.231373	0.186275	0.311765	0.22549	0.236275	0.818627	0.003922	0.09902	0.464706	0.441176	0.151961	0.586275
14.5	0.363725	0.018627	0.020588	0.394118	0.345098	0.270588	0.015686	0.041176	0.696078	0.231373	0.186275	0.353922	0.221569	0.249002	0.817647	0.003922	0.098039	0.419608	0.441176	0.152941	0.535294
15.5	0.365686	0.017647	0.020588	0.393137	0.345098	0.286275	0.014706	0.041176	0.70098	0.231373	0.186275	0.318627	0.206863	0.258824	0.823529	0.002941	0.097059	0.516667	0.441176	0.151961	0.653922
16.5	0.366667	0.017647	0.020588	0.394118	0.345098	0.301961	0.015686	0.042157	0.708824	0.232353	0.187255	0.32549	0.22549	0.221569	0.820588	0.003922	0.098039	0.430392	0.442157	0.151961	0.526471
17.5	0.366667	0.017647	0.020588	0.395098	0.345098	0.278431	0.015686	0.042157	0.709804	0.232353	0.187255	0.348039	0.228431	0.22451	0.829412	0.003922	0.098039	0.408824	0.443137	0.151961	0.507843
18.5	0.368627	0.016667	0.020588	0.396078	0.346078	0.29902	0.015686	0.043137	0.715686	0.233333	0.188235	0.328431	0.234314	0.219608	0.838235	0.003922	0.097059	0.451961	0.445098	0.152941	0.561765
19.5	0.367647	0.016667	0.020588	0.395098	0.346078	0.317647	0.016667	0.043137	0.709804	0.233333	0.188235	0.32549	0.241176	0.249002	0.837255	0.003922	0.097059	0.440196	0.444118	0.151961	0.528431
20.5	0.368627	0.016667	0.020588	0.398039	0.346078	0.32549	0.016667	0.043137	0.716667	0.233333	0.188235	0.334314	0.245098	0.25	0.843137	0.003922	0.098039	0.453922	0.446078	0.152941	0.570588
21.5	0.367647	0.015686	0.020588	0.392157	0.346078	0.294118	0.014706	0.043137	0.703922	0.232353	0.186275	0.341176	0.241176	0.239216	0.845098	0.003922	0.093137	0.476471	0.443137	0.15098	0.596078
22.5	0.363725	0.017647	0.020588	0.393137	0.344118	0.352941	0.015686	0.042157	0.693137	0.231373	0.185294	0.361765	0.229412	0.246078	0.839216	0.003922	0.096078	0.458824	0.442157	0.151961	0.569608
23.5	0.366667	0.018627	0.020588	0.397059	0.343137	0.336275	0.016667	0.042157	0.707843	0.232353	0.187255	0.347059	0.22549	0.249002	0.842157	0.003922	0.098039	0.456863	0.444118	0.152941	0.589216
24.5	0.368627	0.018627	0.020588	0.396078	0.343137	0.335294	0.015686	0.041176	0.714706	0.232353	0.187255	0.308824	0.221569	0.230392	0.843137	0.003922	0.09902	0.427451	0.444118	0.152941	0.537259
25.5	0.365686	0.018627	0.020588	0.394118	0.342157	0.287255	0.016667	0.043137	0.702941	0.231373	0.186275	0.323529	0.232353	0.226471	0.829412	0.003922	0.1	0.460784	0.442157	0.151961	0.591176
26.5	0.365686	0.018627	0.020588	0.394118	0.343137	0.288235	0.015686	0.041176	0.707843	0.231373	0.186275	0.319608	0.213725	0.245098	0.82549	0.003922	0.09902	0.413725	0.441176	0.151961	0.503922
27.5	0.365686	0.017647	0.020588	0.392157	0.344118	0.269608	0.014706	0.042157	0.701961	0.231373	0.186275	0.316667	0.228431	0.22451	0.820588	0.002941	0.097059	0.520588	0.440196	0.15098	0.661765
28.5	0.364706	0.017647	0.020588	0.393137	0.343137	0.286275	0.015686	0.041176	0.703922	0.231373	0.186275	0.348039	0.229412	0.216667	0.822549	0.003922	0.098039	0.449002	0.441176	0.151961	0.561765

Fig. 6.1.2.6 - il file csv con i dati di attivazione della DNN

In Cinema4D è stato realizzato un progetto contenente 6 oggetti Null che sono stati collegati a blocchi di 32 descrittori del file CSV originale. In questo modo si sono ottenute un totale di 160 tracce di animazione divise in 5 gruppi da 32 tracce. In figura 6.1.2.7 si mostra la visualizzazione del gruppo di 32 tracce di animazione appartenenti al livello 3.

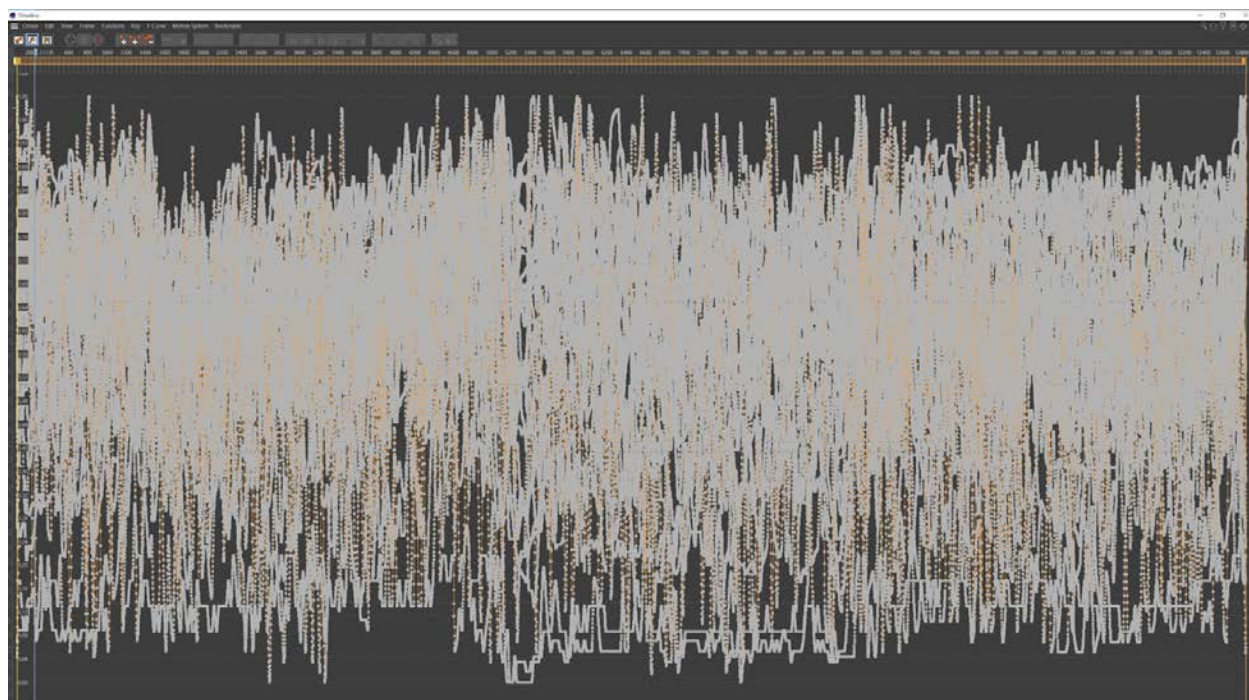


Fig. 6.1.2.6 - le 32 tracce appartenenti ai descrittori del livello 3 della DNN

Nell'immagine 6.1.2.7 si mostra un dettaglio all'inizio del brano in cui si nota a sinistra la partenza comune di tutti i 160 descrittori con l'assenza di stimolazione, dopo all'incirca due secondi dall'inizio ogni descrittore in risposta alla musica in input registra il suo valore di attivazione tra 0 e 1 e viene associato alla mappa cromatica presentata in figura 6.1.2.4.

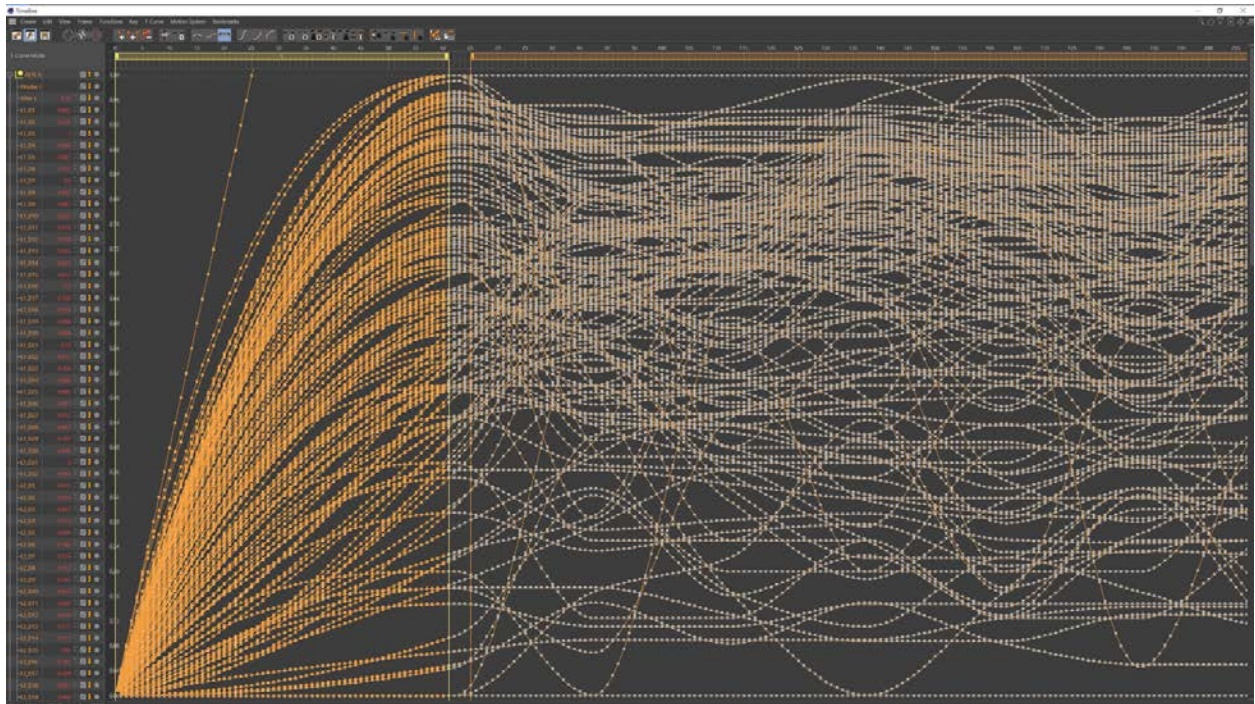


Fig. 6.1.2.6 - dettaglio di tutti i 160 descrittori all'inizio del brano musicale

Sono state esportate 6 differenti coreografie ed eseguite separatamente per rappresentare tutti i 160 descrittori con 8 LuminouBee. Dopo questo primo approccio alla visualizzazione con un numero limitato di droni è stata simulata una configurazione con 160 droni per visualizzare contemporaneamente l'attività dei 5 livelli dell'intera DNN. Per la costituzione della struttura geometrica sono stati creati 6 oggetti Matrix, configurati in modalità radiale e composti ognuno da 32 elementi, raggruppati all'interno del gruppo "Scenes" (Fig. 6.1.2.7)

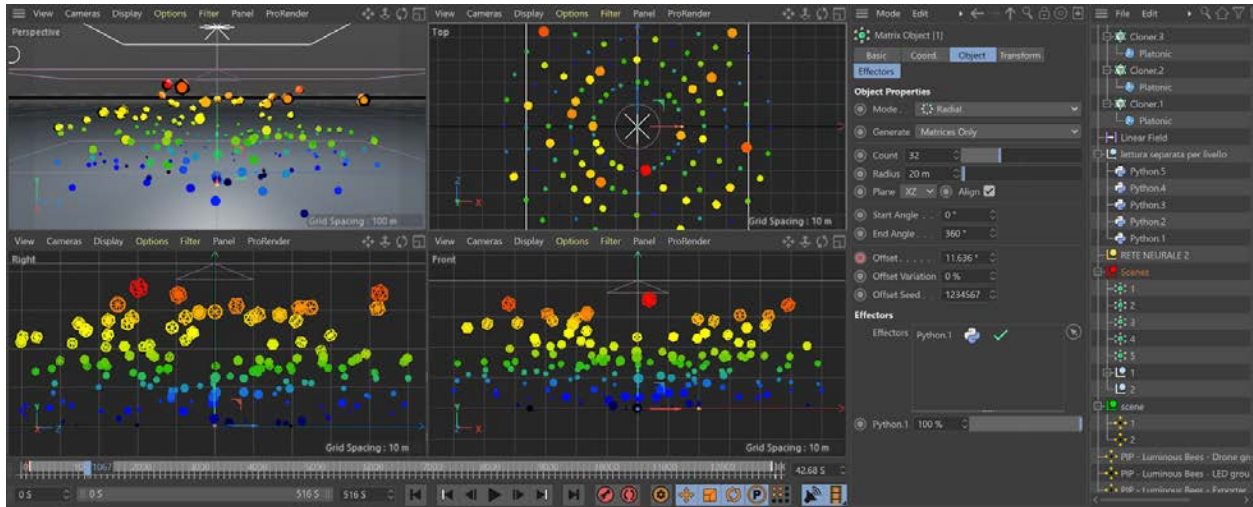


Fig. 6.1.2.7 - 5 Matrici radiali e 5 script python per indirizzare i set di dati

Ognuna delle 5 Matrici era trasformata da un modificatore python associato nella sezione “Effectors”, ogni script python è configurato per leggere la selezione dei 32 descrittori componenti i differenti livelli. Costruito il sistema per i 160 elementi, composto dal sottosistema per la distribuzione geometrica e quello per gestire e indirizzare correttamente la base dati (i colori), è stato usato il plugin luminoubees per creare 2 scene, una di decollo e una per la datavisualization.

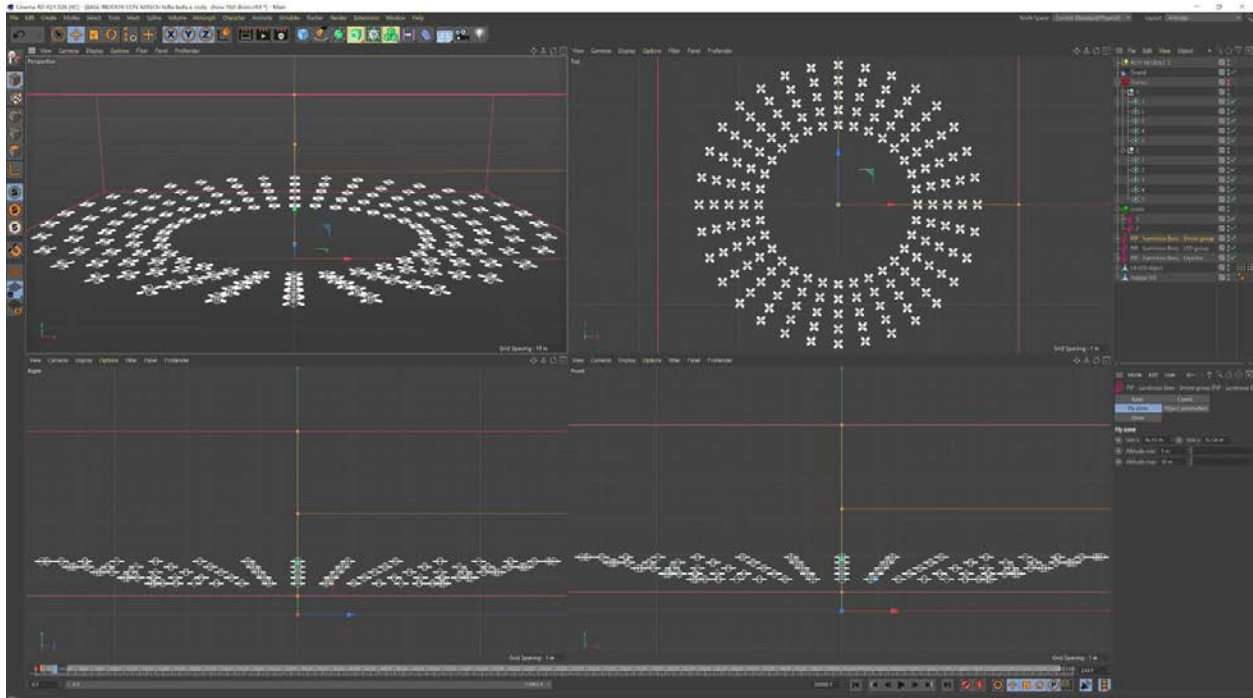


Fig. 6.1.2.8 - simulazione di 160 luminousbee composte da 5 gruppi di 32 droni disposti in 5 cerchi concentrici

Ogni sequenza di valori di un descrittore è una traccia di animazione che è stata associata alla posizione sull'asse Z (la quota di volo) di ogni drone. Per generare i dati cromatici è stato sufficiente configurare un oggetto "Linear Color" (Fig. 6.1.2.4) nel sistema Field che gestisce i valori cromatici del plugin sviluppato. In questo modo la scena è completamente parametrica, al cambiare dei dati sorgenti, la colorazione di tutti gli oggetti droni è generata conseguentemente.

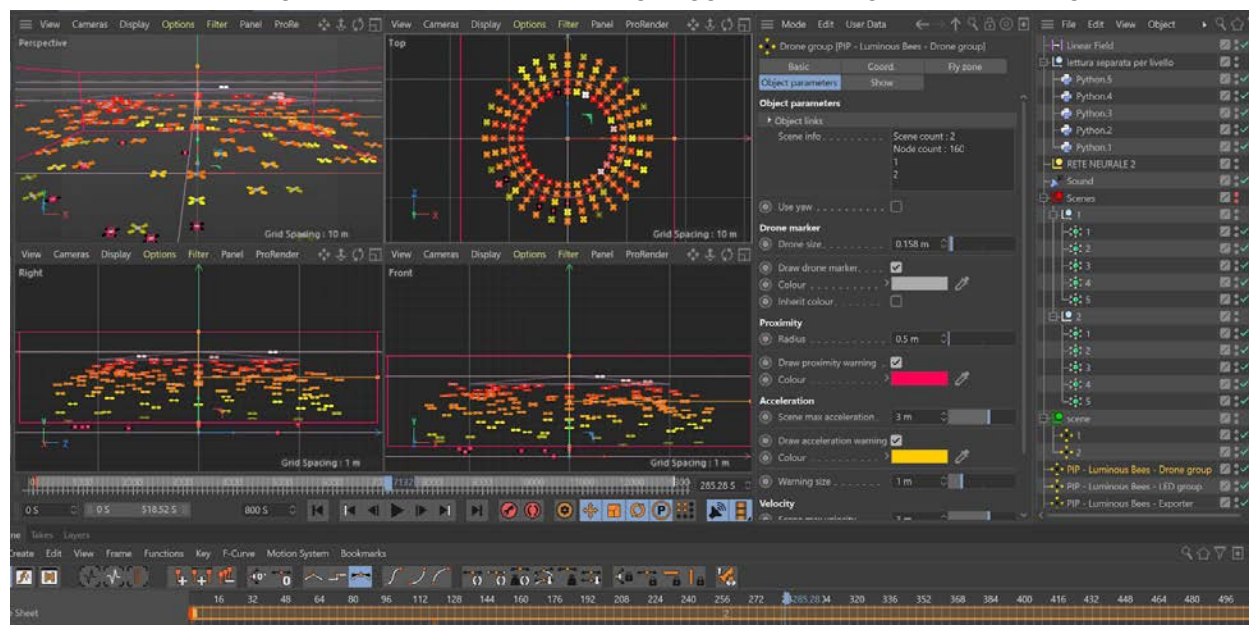


Fig. 6.1.2.9 - sistema parametrico per l'esportazione della missione per 160 luminoubees

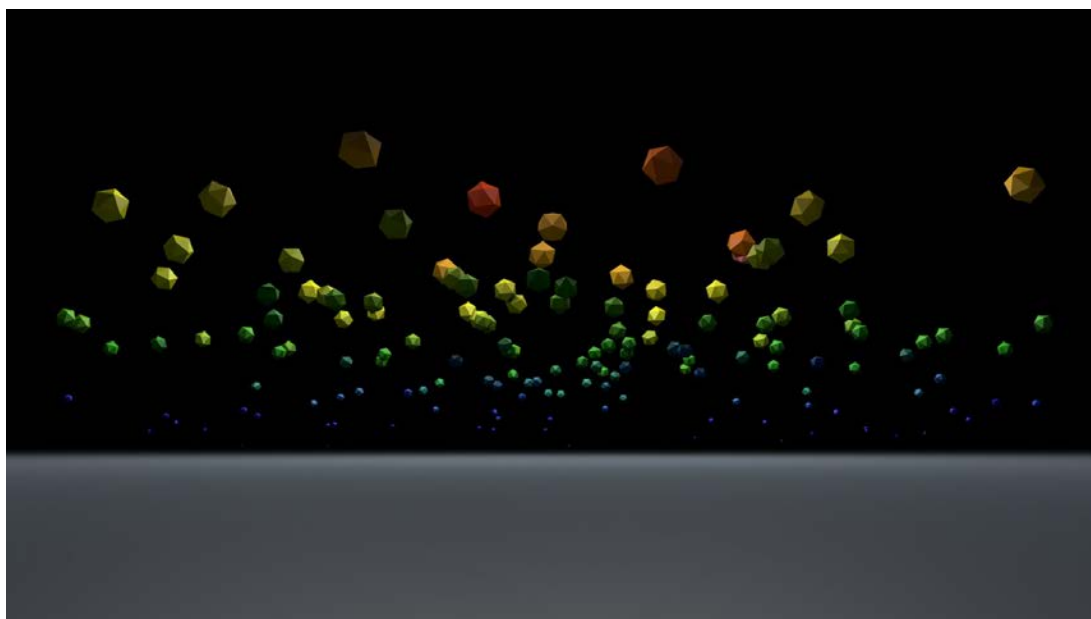


Fig. 6.1.2.7 - rendering della simulazione dei 160 descrittori della DNN

6.5 Sistema offline

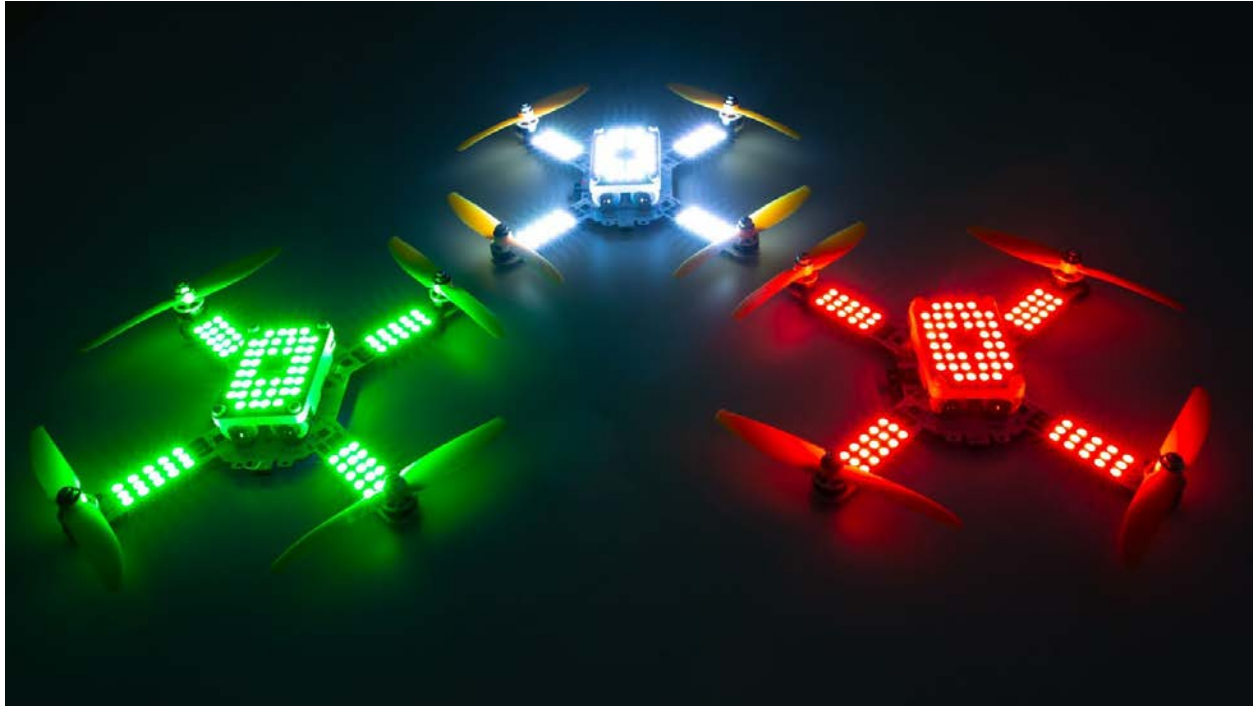


Fig. 6.2.0.1 - *trio di Luminousbee offline*

Per soddisfare le esigenze di robustezza necessarie per gestire un sistema costituito da uno sciame formato da una grande quantità di droni e' risultato indispensabile ricorrere a soluzioni che possano eliminare i problemi derivanti dall'architettura del sistema di comunicazione sperimentata nel progetto "realtime". Nella precedente modalità la trasmissione dei dati di posizione, tramite il protocollo MavLink, e dei dati per la gestione delle luci erano inviati in tempo reale dalla GCS a ogni drone. Questo sistema presenta delle forti vulnerabilità legate alla banda finita del sistema WiFi e qualsiasi problema all' access point, al router e alla corretta ricezione dei dati da parte dei droni determina l'immediata perdita del loro controllo: perdita di sincronia cromatica e luminosa, ma molto più grave e che presenta seri rischi di sicurezza, la mancata ricezione delle posizioni desiderate, che garantiscono il volo di gruppo esente da collisioni. Inoltre in un contesto outdoor le distanze da coprire sono enormemente maggiori rispetto a quelle necessarie indoor, per di più possono sorgere esigenze legate allo scenario come l'impossibilità di installare la GCS e il sistema a terra di comunicazione (Access Point e relativa antenna esterna) nei pressi dell' area di volo introducendo ulteriori criticità alla corretta ricezione dei droni. Grazie all'interesse del gruppo di ricerca ungherese Elte afferente al dipartimento di Fisica Biologica dell'università di Budapest e che ha costituito la realtà CollMot, a collaborare con la nostra ricerca si è deciso di unire in modo complementare la GCS sviluppata dalla loro ricerca, specifica per coreografie luminose a sciame, con l'hardware Luminousbee sviluppato da questa ricerca. Due sono gli aspetti fondamentali che hanno reso possibile e interessante l'integrazione tra i due sistemi, la GCS è stata realizzata per interagire

con autopiloti basati sul progetto Arducopter e il protocollo di comunicazione usato basato sullo standard MavLink ha comportato la totale compatibilità tra i due sistemi. Il secondo punto risiede nel fatto che il limite del firmware Arducopter standard che impedisce l'utilizzo di una sequenza ingente di coordinate di una missione era stato risolto sviluppando una nuova modalità di volo apposita che consente anche di evitare l'uso di un companion computer esterno non compatibile con i pesi e la totale integrazione del sistema uav Luminousbee. Lo sviluppo della piattaforma hardware compatibile con la GCS del gruppo ungherese chiamata "Skybrush" è derivato dall'ultimo prototipo della versione "realtime" con tutte le qualità già consolidate con la necessità primaria di rivedere il sistema di comunicazione. La nuova architettura elimina la trasmissione istante per istante da parte della GCS delle posizioni desiderate e dei dati per le luci, ma invece prevede il salvataggio di questi dati sulla scheda SD a bordo del drone e la nuova modalità di volo gestisce il passaggio di questi dati al controllore di posizione e di velocità. Questa nuova filosofia richiede una fase preparatoria iniziale, quando i droni sono ancora a terra, la GCS invia un file, contenente i dati della traiettoria e i dati luminosi, che viene salvato da ogni drone sulla propria scheda SD. La componente luminosa precedentemente pilotata dal secondo modulo ESP8266 è stata collegata direttamente alla scheda autopilota, ed eliminato questo secondo modulo Wifi dedicato alle luci. E' stato mantenuto il modulo WiFi ESP8266 collegato alla Flight controller come canale di comunicazione principale. Questo serve nella fase preparatoria iniziale per l'upload delle missioni su ogni drone e durante il volo per inviare alla GCS la telemetria di base. Una volta impartito il comando di partenza ogni agente luminoso possiede a bordo l'intera sequenza di informazioni da eseguire e anche l'eventualità di un malfunzionamento della GCS o della rete WiFi non pregiudicherebbe la capacità dei droni di concludere autonomamente la missione assegnata. Il punto fondamentale è che questo canale di comunicazione primario (visibile a sinistra nella figura 6.2.0.2), che usa il protocollo Mavlink, riceve solamente i dati telemetrici essenziali dai droni e non ha invece nessun carico di dati da inviare ai droni.

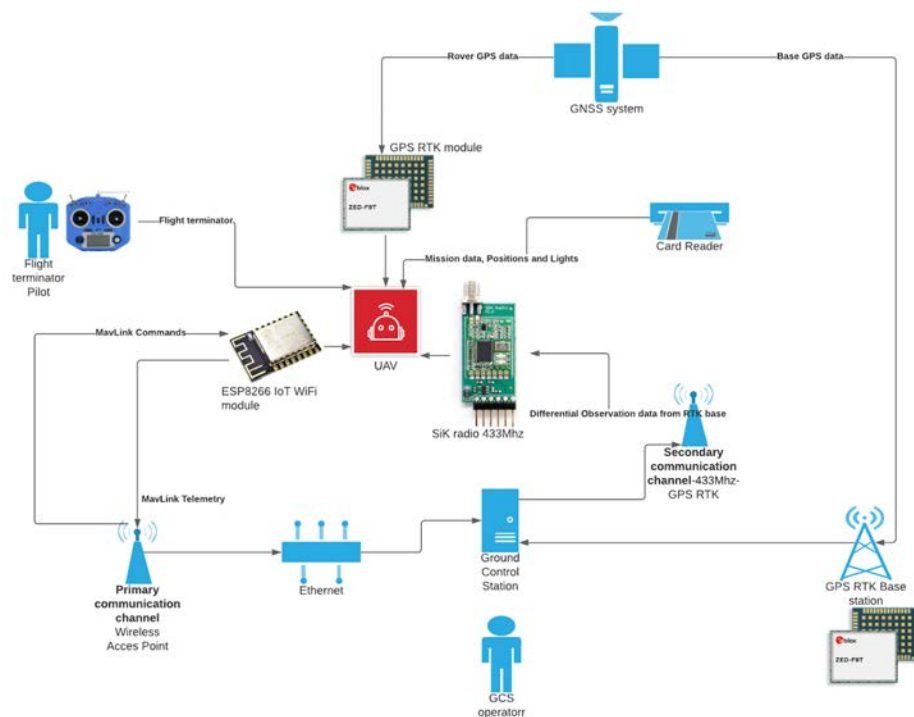


Fig. 6.2.0.2 - architettura sistema "offline"

L'unico invio di informazioni ai droni sul canale primario avviene in caso di emergenza, singoli comandi o per richiamare selettivamente un gruppo o l'intera flotta al punto di partenza oppure per compiere un atterraggio. Al posto del secondo modulo ESP8266 (prima usato per l'invio delle informazioni al comparto luci) è stato implementato un canale di comunicazione secondario basato sul modulo radio SiK a 433 Mhz ed utilizza un firmware Open Source. Questo canale secondario ha un raggio di copertura notevolmente più elevato del sistema WiFi primario, con una opportuna antenna a terra arriva ben oltre 1.5 km ed è utilizzato per inviare i dati differenziali della base GPS RTK garantendo la robustezza del sistema di posizionamento. Inoltre può essere anche configurato in caso di necessità per ricevere le informazioni telemetriche dai droni per sopperire a malfunzionamenti del sistema WiFi primario. E' stato inoltre implementato un terzo canale radio indipendente per il dispositivo del terminatore di volo, spesso richiesto da molte autorità nazionali di regolamentazione del volo per rispondere alle richieste di autorizzazione di volo in scenari outdoor. In figura 6.2.0.3 è visibile al centro del drone sulla destra il modulo di colore verde del canale secondario composta dalla radio SiK a 433 Mhz, sulla sinistra si trova il modulo ESP8266 del canale di comunicazione primario.



Fig. 6.2.0.3 - vista dall'alto del drone offline senza apparato GPS RTK

6.6 Mini Luminousbee per applicazioni Indoor

Mini LuminousBee è la seconda piattaforma di quadricottero integrato che è stata sviluppata per questa ricerca insieme alla startup Luminousbees, che ne ha curato la progettazione dell'elettronica e ha seguito la sua realizzazione. L'obiettivo è quello di trovare una soluzione ideale per spettacoli luminosi in spazi chiusi, dove le ridotte dimensioni e la presenza di situazioni particolari come il caso di uno spettatore seduto in gradinata (pertanto con grave impedimento a vedere gli emettitori luminosi posizionati sotto il telaio del drone) cambiano radicalmente lo scenario proprio nel rapporto tra lo spazio performativo e le possibili azioni dello sciame al suo interno ed anche per la percezione del loro output luminoso da parte dei punti di vista particolari dello spettatore. Inoltre le rappresentazioni in spazi indoor limitati avendo a disposizione dei mezzi di dimensioni più contenute avrebbero potuto usare un numero di punti superiore, per procedere in questa direzione dalle eliche da 5" del mezzo per outdoor sono state scelte eliche da 3" per la versione indoor. Per la parte di alimentazione il sistema a 2S è stato riprogettato per per un funzionamento a 1S con una singola batteria Litio-Ioni.

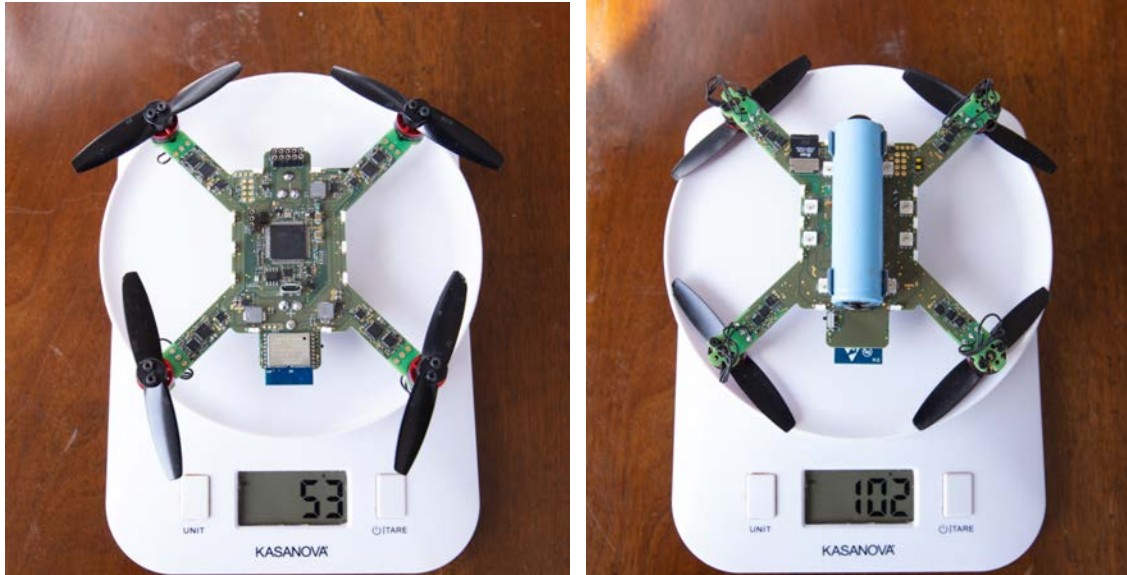


Fig. 6.3.1 - seconda versione mini LB, a sinistra peso senza batteria, a destra con batteria

Come la versione outdoor il primo obiettivo della famiglia di uav sviluppate e' quello di diminuire il peso e le dimensioni complessive per rendere questi mezzi intrinsecamente più sicuri consentendone l'utilizzo in sciami coordinati anche in presenza di un pubblico molto vicino all'area performativa. Nonostante importanti progetti commerciali di robotica a sciame indoor con droni generici e luminosi sono stati realizzati con motori a spazzole, brushed, (Bitcraze e Lucie Verity) questi sono riusciti a raggiungere un contenuto peso finale dai 23g ai 50 g, di contro, la loro autonomia non supera rispettivamente i 7 minuti e i 3 minuti di volo massimi. Inoltre solo peggiorando significativamente questi tempi di volo possono supportare dei pesi aggiuntivi che ovviamente in termini assoluti sono molto contenuti non superando i 15 grammi. Soltanto questa categoria indoor ha delle distanze dal pubblico o dalle telecamere di uno studio una distanza contenuta per cui può aver senso equipaggiare il drone con "costumi di scena" per dare degli effetti particolari e in linea con la tematica della performance. Il progetto

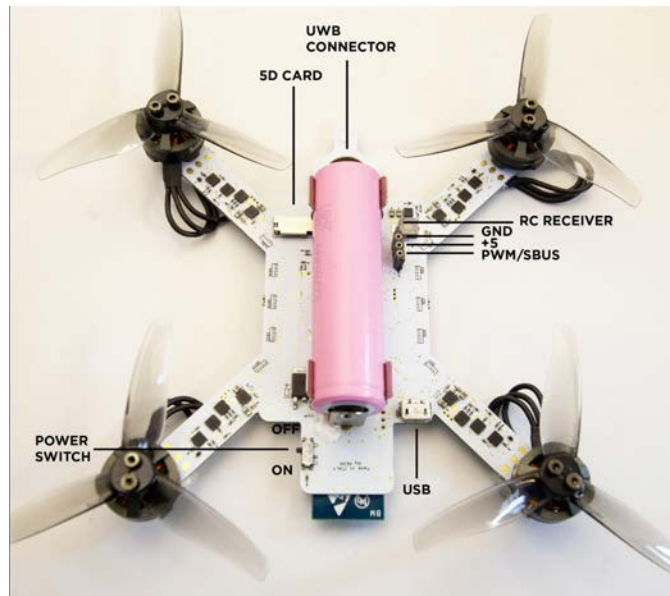


Fig.6.3.1 - Parte superiore della mini LuminousBee

6.7 Il controllo dei multirotori

Il controllo dei multirotori è basato sul loop dei PID, in sintesi si misura l'output e lo si compara all'input che si desidera e si determina il valore del segnale di errore presente ($e(t)$), usando questo valore di errore si applicano le componenti di azione proporzionale, l'azione integrata e l'azione derivativa basate sulle costanti impostate. Questi vanno nel processo di controllo, determinando un output che viene nuovamente misurato, comparato all'azione desiderata e determinato il segnale di errore in un ciclo continuo.

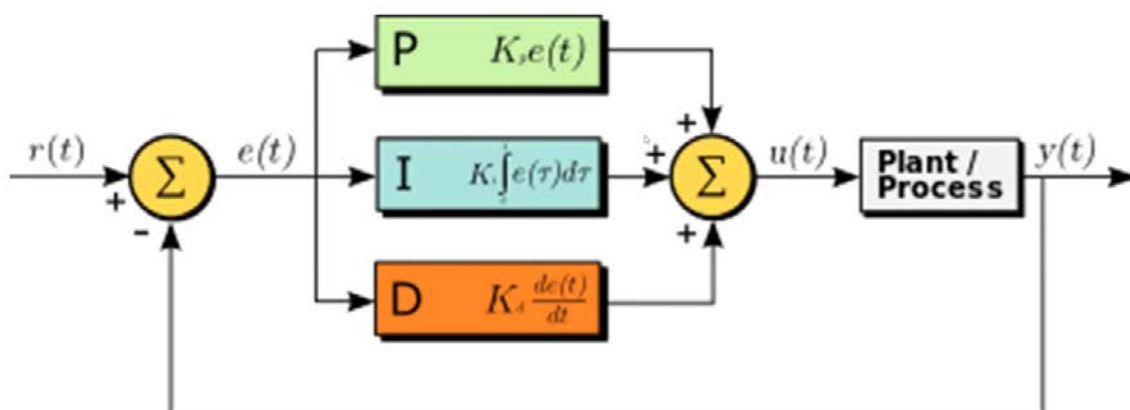


Fig.6.4.1 - Implementazione del PID Loop all'interno di ArduPilot

Se si vuole ottenere una variazione a step nel controllo, come mostrato nella figura 6.4.2 dal grafico blu "Reference", si nota che al variare della costante K applicata alle componenti PID si ottiene una diversa risposta del controllo. Il grafico rosso mostra una risposta conservativa generata da un basso valore di K , che determina una risposta lenta caratterizzata da un alto ritardo. Il grafico viola è generato da un alto valore di K che genera una risposta aggressiva producendo un controllo eccessivo che supera il controllo desiderato, ovvero il drone risponde rapidamente ma va oltre la risposta necessaria, traducendosi in un segnale di errore alto che viene corretto in modo eccessivo come evidenziano le oscillazioni nel grafico viola. Il comportamento a cui si vuole tendere è rappresentato nel grafico verde, che presenta una risposta rapida che si allinea velocemente al controllo desiderato del riferimento in blu e possibilmente non lo oltrepassi.

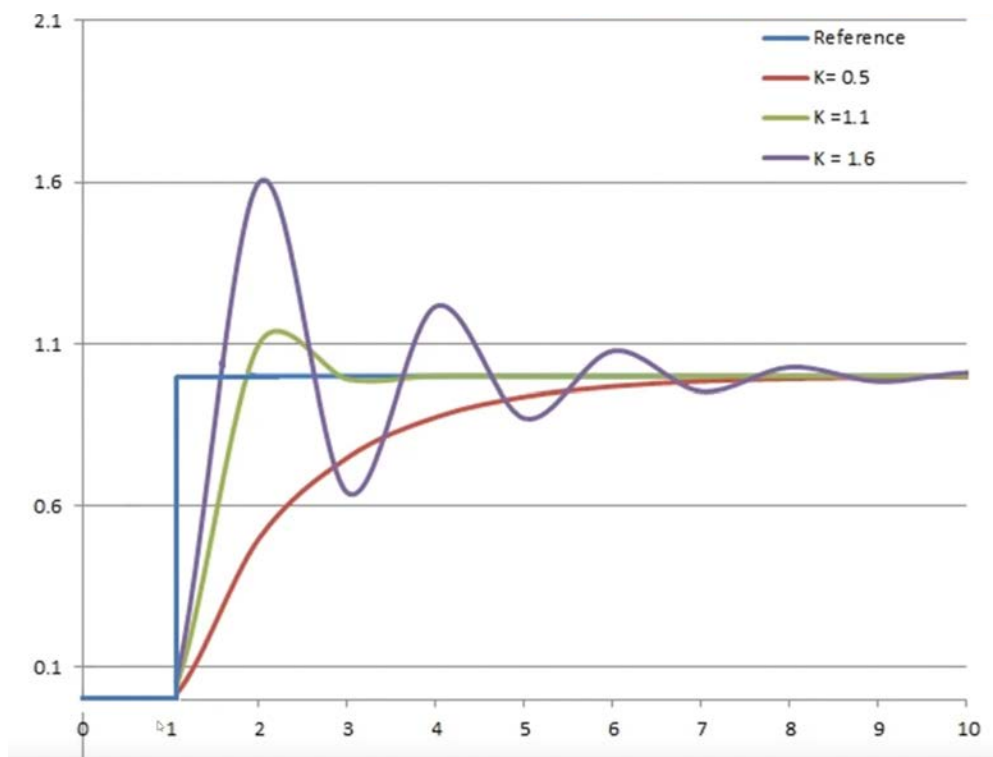


Fig. 6.4.2 - simulazione di output del sistema PID al variare della variabile K

Il problema di questo ciclo è il rumore presente nei multirotori, questo si introduce nel processo solitamente nella fase della misurazione di ciò che accade, questa misura non rappresenta solamente la velocità e angolo di rotazione del multirottore ma incorpora una certa quantità di rumore che entra nel segnale di errore. Questo problema si accentua nei droni di piccola taglia, dove lo smorzamento meccanico delle vibrazioni è di difficile risoluzione e nel progetto completamente integrato LuminousBee nei primi prototipi era stato necessario l'uso di una unità inerziale ammortizzata separata e collegata alla scheda autopilota con un cavo piatto flessibile come visibile in figura. 6.4.3



Fig.6.4.3 - dettaglio IMU esterna ammortizzata

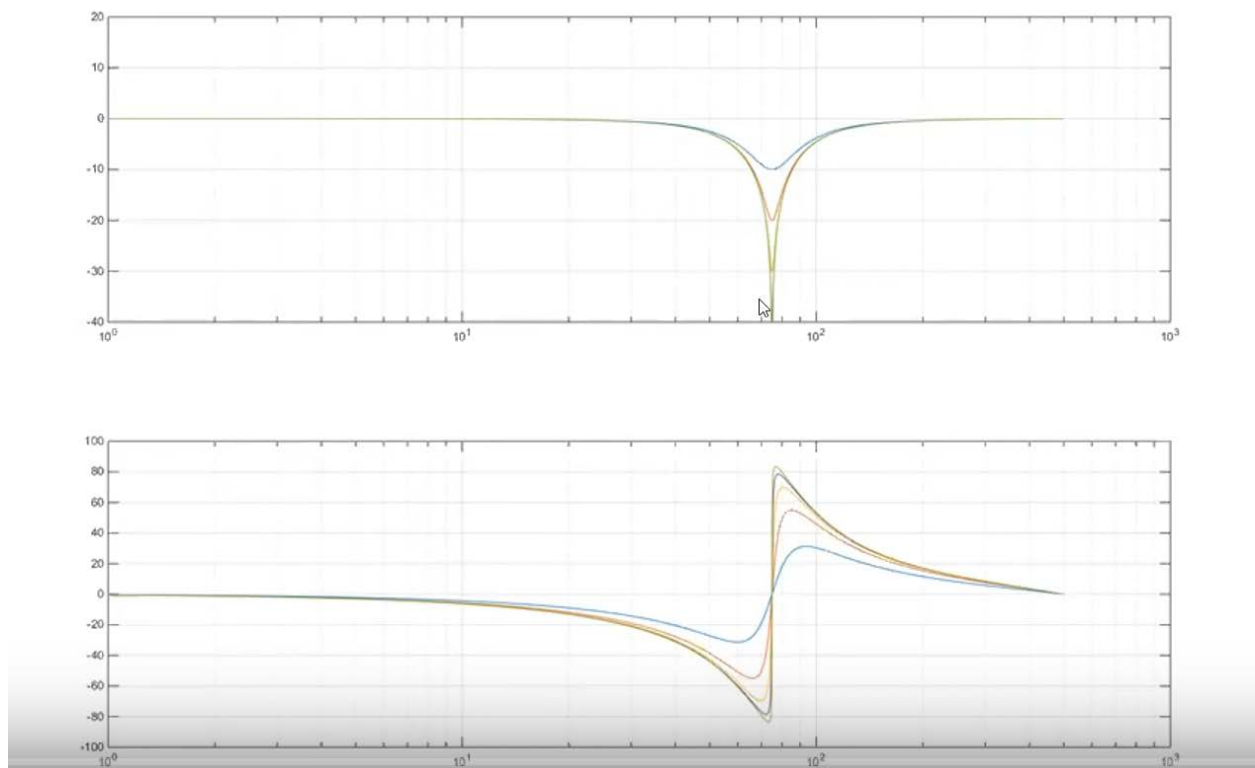
Senza eliminare le vibrazioni registrate dal giroscopio la misura usata nel ciclo di controllo è incerta e questo si traduce in un delta di errore non corretto, pertanto il controllo del loop dei PID determina una correzione che non è corretta perché l'errore considerato non è esatto, ma contiene l'errore più il rumore. Quindi il rumore determina delle correzioni che non sono necessarie per il controllo che si vuole. Il rumore è generato dal sistema meccanico di propulsione, cioè dai motori, dall'imperfezione del bilanciamento delle eliche e nel momento di passaggio delle eliche sul braccio del frame del multirobotore. La struttura del drone soggetta a vibrazioni può avere altre sorgenti che producono rumore a certe vibrazioni, quali ad esempio le risonanze del frame, le armoniche di queste risonanze e, oltre al frame, le altre componenti del drone possono innescare delle risonanze. Questo indeterminato rumore prodotto dal volo del drone, come abbiamo visto, entra nel ciclo di controllo e pertanto può venir amplificato attraverso il loop dei PID, andando a peggiorare in qualche modo il rumore in ingresso traducendosi in un controllo non corretto. Nella costruzione dei droni infatti ci si concentra sulle modifiche al drone fisico utilizzando telai rigidi e poco flessibili che riducono la trasmissione delle vibrazioni e delle armoniche, e poiché la misurazione delle vibrazioni è causata dalla sensoristica inerziale, la si isola dalle vibrazioni, con supporti e materiali antivibranti, o aggiungendo peso a contatto diretto in modo tale che l'inerzia di questa massa aggiuntiva smorzi la vibrazione. Le possibilità di intervento sul drone fisico vengono però decisamente limitate con l'impiego di droni sempre più piccoli e leggeri, in cui la imu o la stessa flight controller sono così piccole e soprattutto leggere con un peso complessivo per il quale lo smorzamento delle vibrazioni risulta molto complesso e poco praticabile.

L'altra possibilità per mitigare le vibrazioni è quella offerta dal software con risultati molto interessanti. Questo perché si conosce da dove provengono le vibrazioni, ovvero in base alle

frequenze degli RPM dei motori e alle armoniche di queste frequenze. La strategia è quella di usare un filtro di Notch a queste frequenze riuscendo ad eliminare una parte consistente del rumore amplificato nel ciclo dei PID e anche una parte del rumore misurato in ingresso, per quanto riguarda il sistema di controllo, poichè altre componenti nel sistema software continuano ad essere soggette al rumore.

Il filtraggio usato nel progetto Ardupilot non utilizza un singolo filtro di notch, ma una serie di filtri di Notch, per questo è stato chiamato filtro Harmonic Notch che idealmente dovrebbero essere settati alle frequenze di campionamento dei giroscopi. Inoltre questi filtri multipli non sono fissi, il parametro della frequenza armonica imposta il centro della frequenza del filtro sul tempo.

La figura sottostante mostra la risposta in frequenza per diversi valori di attenuazione del filtro, si nota in particolare la relazione tra il valore di attenuazione del filtro e la larghezza della banda coinvolta; al crescere del valore di attenuazione l'intervallo di frequenze che si eliminano diventa sempre più ridotto, il filtro può coprire una banda più ampia con attenuazioni basse, ma con alti valori la banda interessata diventa estremamente stretta.



Bisogna aggiungere che nei multirotori di piccola taglia è presente molto rumore dei motori perciò è importante acquisire il più accuratamente possibile le frequenze specifiche in cui è presente. Ogni motore ha una frequenza differente sia perchè ogni motore è controllato

indipendentemente e inoltre ogni motore anche alla stesso RPM genere un diverso rumore a causa delle differenze meccaniche come un bilanciamento non perfettamente omogeneo. Questo è un primo aspetto da considerarsi per eliminare il rumore dei motori, Arducopter possiede diversi sistemi per determinare queste frequenze target del rumore dei motori; la più accurata è quella basata sulla telemetria in tempo reale degli ESC rispetto agli RPM a cui pilotano i motori, nella versioni più recenti è stato introdotto anche un metodo basato FFT (Fast Fourier Transformation) in tempo reale. Perché il filtraggio funzioni efficacemente è molto importante la frequenza di aggiornamento, ovvero la frequenza con cui può variare la frequenza centrale del filtro, più questa è alta e migliore sarà il risultato. Se la frequenza di aggiornamento è bassa si verifica una latenza tra l'istante in cui è stata effettuata la misura e l'istante in cui è applicato il filtro, e quindi potrebbe non essere più rappresentativo dello stato attuale andando a sopprimere frequenze non più corrette. Pertanto frequenze di aggiornamento elevate diminuiscono la latenza, e fintanto che l'elaborazione di questi dati non compromette la capacità della CPU, l'accuratezza della misura migliora sensibilmente.

Capitolo 7 La piattaforma LuminousBee-Skybrush

In questo capitolo viene presentata la Ground Control Station Skybrush Live e il software di Design delle coreografie Skybrush Studio. Entrambi i software sono stati realizzati dal gruppo ungherese CollMott con cui si è avviata una stretta collaborazione per integrare gli sviluppi reciproci in una soluzione tecnologica unitaria per le applicazioni di Aerial Media. La GCS è stata sviluppata per lavorare con l'hardware Luminousbee, per lo sviluppo del software di Design questa ricerca ha partecipato attivamente alla progettazione condividendo l'esperienza acquisita con il primo strumento sviluppato per il software di animazione Cinema4D nel potente software di animazione Open Source Blender.

7.1 Dall'indoor all'outdoor

Durante il 2020 la piattaforma LuminouBee dopo la fase di validazione condotta in laboratorio con il sistema di localizzazione indoor è stata preparata con un ricevitore GPS RTK basato sul modulo ZED F9 della ublox per condurre dei test in campo aperto. Come descritto nel capitolo precedente la modalità realtime e la relativa GCS ha evidenziato nell'uso outdoor la fragilità del sistema di comunicazione non compatibile con la sicurezza necessaria per un sistema robotico volante in azione in prossimità di persone. Bisognava ricorrere alla modalità offline senza introdurre un'ulteriore unità di elaborazione (companion computer), questo approccio è stato messo a disposizione dalla soluzione software Skybrush disponibile per il progetto Ardupilot.

7.2 Skybrush, GCS offline per ArduPilot

A fine 2020 è iniziato il lavoro di integrazione delle tecnologie hardware LuminouBee sviluppate durante i due anni precedenti con una parte software, la GCS, sviluppata dal gruppo CollMot di Budapest. Questa collaborazione ha portato anche a trasportare l'esperienza maturata con lo sviluppo della parte di design delle coreografie tramite il flusso di lavoro in Cinema4D, Grazie a questa collaborazione si è potuto fondere l'esperienza maturata da questo team, che dal 2015 realizza spettacoli di droni luminosi autocostruiti sviluppando strumenti software dedicati al controllo di sciame di uav basati sul progetto Open Source Ardupilot. Infatti il progetto LuminousBee condivide i medesimi sistemi software di basso livello (software scheda autopilota e protocollo di comunicazione). Il gruppo CollMot nel corso del 2019 e 2020 ha perfezionando il set di tool dedicati alla gestione e controllo dello sciame dotandolo di una pratica interfaccia utente per migliorarne l'usabilità creando il software Skybrush.

Skybrush è un software composto da alcuni moduli, ognuno può essere utilizzato indipendentemente o in abbinamento agli altri.

- Skybrush Live - drone show management and fleet control framework
- Skybrush Studio - strumento per la creazione delle coreografie

- SkyBrush Viewer - visualizzatore 3D delle coreografie per validazione e presentazione
- SkyBrush Backstage - gestione della flotta e dei log di volo

Inoltre è presente l'applicazione Skybrush Sidekick che consente di ottenere su un secondo computer un ulteriore canale radio verso i droni per aumentare la ridondanza con la seconda configurazione presentata di seguito.

Questo software basato su una modalità offline è stato messo a disposizione della presente ricerca per la sua integrazione con la piattaforma Luminousbee con l'obiettivo di creare una piattaforma integrata LuminousBee-Skybrush di nuova generazione e basata sulla modalità offline. La Ground control station è un componente critico per la sicurezza, il suo compito è garantire che le traiettorie caricate dall'operatore siano trasmesse al drone in modo che possano essere eseguite in sicurezza. Lo sviluppo congiunto della piattaforma sta permettendo di influenzare vicendevolmente la parte hardware e la parte software avendo a disposizione per entrambe le parti un gruppo di sviluppo dedicato e altamente competente. Con questo approccio si è puntato a strutturare una configurazione modulare della piattaforma introducendo canali di comunicazione flessibili e supportandoli da componenti software, permettendo due configurazioni principali.

Nella configurazione più semplice:

1. * un computer portatile
2. * wifi, radio 433 MHz opzionale e stazione base RTK collegati al laptop, preferibilmente tramite un hub USB alimentato
3. * Skybrush Server e Live in esecuzione sul laptop, Sidekick non è necessario; il server è configurato per gestire anche la radio a 433 MHz e la stazione base RTK
4. * il primo laptop invia correzioni RTK sia tramite Wi-Fi che con la radio a 433 MHz
5. * trasmettitore RC extra da 2,4 GHz associato a tutti i droni contemporaneamente, nelle mani dell'operatore (opzionale, ma è bello averlo in quanto è un canale veramente indipendente)

La configurazione di cui sopra è rappresenta la base ma non ha un canale secondario completamente ridondante (senza il trasmettitore RC) perché se il computer della GCS avesse dei problemi viene a mancare sia il collegamento wifi che il collegamento radio a 433 MHz. Quindi, per una ridondanza migliorata è stata prevista una configurazione più estesa che garantisce maggiore robustezza:

1. * due laptop
2. * antenna wifi e base RTK collegate al primo laptop
3. * Radio 433 MHz collegata al secondo laptop
4. * Skybrush Server e Live sono in esecuzione sul primo laptop
5. * Skybrush Sidekick è in esecuzione sul secondo laptop

* il primo laptop invia correzioni RTK sul collegamento wifi e rispecchia i dati RTK su Skybrush Sidekick su una porta dedicata

* il secondo laptop si collega alla porta a disposizione dal primo laptop, legge il flusso RTK e lo invia via radio ai droni, inoltre puoi inviare comandi di base a tutti i droni dalla radio

Entrambe le due configurazioni precedenti possono essere migliorate se si dispone di una stazione base RTK che utilizza il Bluetooth (ad es. Javad Triumph-2); in tal caso, non è necessario collegare fisicamente la stazione base RTK al primo laptop, è sufficiente collegare i due tramite Bluetooth. Oppure con una stazione base RTK con un modem radio, si collega il ricevitore della radio RTK al laptop e non è necessario un cavo tra la base RTK stazione e il laptop.

7.3 Modalità SHOW

E' stato modificato il firmware Ardupilot sul drone, sviluppando una nuova modalità di volo denominata SHOW. Questa modalità ha molte affinità con la modalità GUIDED mode di Ardupilot. Una volta raggiunto il momento impostato per il decollo e avvenuto il decollo, il drone esegue un ciclo in cui verifica la sua traiettoria al momento corrente della coreografia, calcola la posizione e la velocità desiderata e le invia al controllo che è usato nella modalità GUIDED.

La modalità SHOW carica l'intera traiettoria dalla scheda SD alla memoria interna al boot del sistema per evitare qualsiasi lettura della SD mentre il drone è in volo. La traiettoria è compressa e rappresentata come una sequenza di segmenti lineari e di curve Bezier cubiche. Durante il volo, la scheda autopilota richiede al modulo di gestione della traiettoria 10 volte al secondo la posizione desiderata e la velocità desiderata e usa questi valori come input per il controllore della posizione e della velocità. La maggior parte dei software di animazione tridimensionale come Blender, Cinema4D, 3DSMax generano i campioni delle traiettorie a intervalli regolari (generalmente 24 fps o 25 fps), gli sviluppatori di Skybrush hanno implementato un proprio modulo che interpola le curve Bezier e i segmenti lineari sui campioni per ottenere una efficiente rappresentazione della traiettoria al drone anche se si hanno solo punti campionati. Questo viene eseguito con una frequenza di 10Hz, la frequenza del ciclo può essere modificata con un parametro, ma i test eseguiti dagli sviluppatori di Skybrush non ha riscontrato benefici nell'aumento della frequenza sopra i 10Hz.

Nonostante esista la modalità AUTO che è basata su una missione precaricata sulla scheda SD a bordo del drone, la differenza sostanziale è la presenza di una precisa traiettoria definita continuamente con dei vincoli temporali e di velocità. In altri termini, la traiettoria caricata sul drone descrive esattamente quando è richiesto trovarsi in una posizione specifica e con quale velocità bisogna giungere a quella posizione. Al contrario nella modalità AUTO non ci sono vincoli temporali e nemmeno di velocità.

La nuova modalità SHOW ha un gruppo di parametri specifici denominati col suffisso SHOW_*, contengono i parametri che configurano il comportamento relativo alla modalità di volo SHOW. I dettagli dei parametri SHOW sono presentati di seguito.

SHOW_CTRL_MODE

Configura la modalità dell'algoritmo di controllo della posizione integrato nel firmware

Valore	Descrizione
0	Solo Controllo Posizione
1	Controllo di posizione e di velocità

SHOW_CTRL_RATE

La frequenza di aggiornamento desiderata

Intervallo	Incremento minimo	Unità di misura
1-50	1	Hz

SHOW_GROUP

Indice del gruppo a cui il drone appartiene

Intervallo	Incremento minimo	Unità di misura
0-7	1	Nessuna

SHOW_LED0_CHAN

Configura il canale usato per il comando alla luci LED

Può essere configurato l'uso del canale PWM per il controllo delle luci, o il canale MAVlink.

SHOW_LED0_COUNT

Configura il numero di LEDs presenti nel modulo luminoso.

SHOW_LED0_TYPE

Assegnamento del canale LED 0 a una tipologia di uscita LED

Valore	Significato
0	Spento
1	Mavlink
2	Neopixel
3	ProfiLED
4	Debug
5	SITL
6	Servo

SHOW_MAX_XY_ERR

Massimo errore in metri di piazzamento tollerato prima del decollo. Un valore 0 disabilita i controlli sulla precisione del piazzamento XY.

Intervallo	Incremento minimo	Unità di misura
0-20	0.1	m

SHOW_MODE_BOOT

Configura quando il drone deve passare alla modalità SHOW automaticamente

Valore	Descrizione
0	Mai
1	All'avvio
2	Quando autorizzato
3	All'avvio e quando autorizzato

SHOW_ORIENTATION: l'orientamento dell'asse X del sistema di coordinate dello show in senso orario relativamente al Nord, -1 se disabilitato

Intervallo	Incremento minimo	Unità di misura
-1-360	1	gradi

SHOW_ORIGIN_AMSL

L'altitudine sopra il livello del mare dell'origine del sistema di coordinate dello show, -10000000 per disabilitarlo

Intervallo	Incremento minimo	Unità di misura
-10000000-10000000	1	mm

SHOW_ORIGIN_LAT

La latitudine dell'origine del sistema di coordinate dello show, 0 per disabilitarlo

Intervallo	Incremento minimo	Unità di misura
-9000000000-9000000000	1	1e-7 gradi

SHOW_ORIGIN_LNG

La longitudine dell'origine del sistema di coordinate dello show, 0 per disabilitarlo

Intervallo	Incremento minimo	Unità di misura
-18000000000-18000000000	1	1e-7 degrees

SHOW_PRE_LIGHTS

Impostazione della luminosità del segnale luce del drone usato per rappresentare le informazione di stato quando il drone è a terra

Intervallo	Incremento minimo	Unità di misura
0-3	1	nessuna

SHOW_START_AUTH

Imposta se il drone è autorizzato a iniziare lo show all'orario programmato

E' settato a zero di base ed è impostato a zero ad ogni riavvio. Il valore di questo parametro è controllato regolarmente dalla GCS, la GCS compara il suo valore con il valore desiderato e lo aggiorna sul drone se necessario. Il valore desiderato è determinato dallo stato del pulsante di autorizzazione in Skybrush Live.

Intervallo	Incremento minimo	Unità di misura
0-1	1	nessuna

SHOW_START_TIME

L'orario di inizio dello show nella notazione tempo del sistema GPS (GPS time of week timestamp), valori negativi per disabilitarlo

Intervallo	Incremento minimo	Unità di misura
-1-604799	1	secondi

SHOW_SYNC_MODE

La modalità di sincronizzazione temporale per iniziare lo show

Valore	Descrizione
0	Conto alla rovescia
1	Tempo GPS

SHOW_TAKEOFF_ALT

L'altitudine per iniziare lo show sopra la posizione di decollo attuale

Intervallo	Incremento minimo	Unità di misura
0-5	0.1	metri

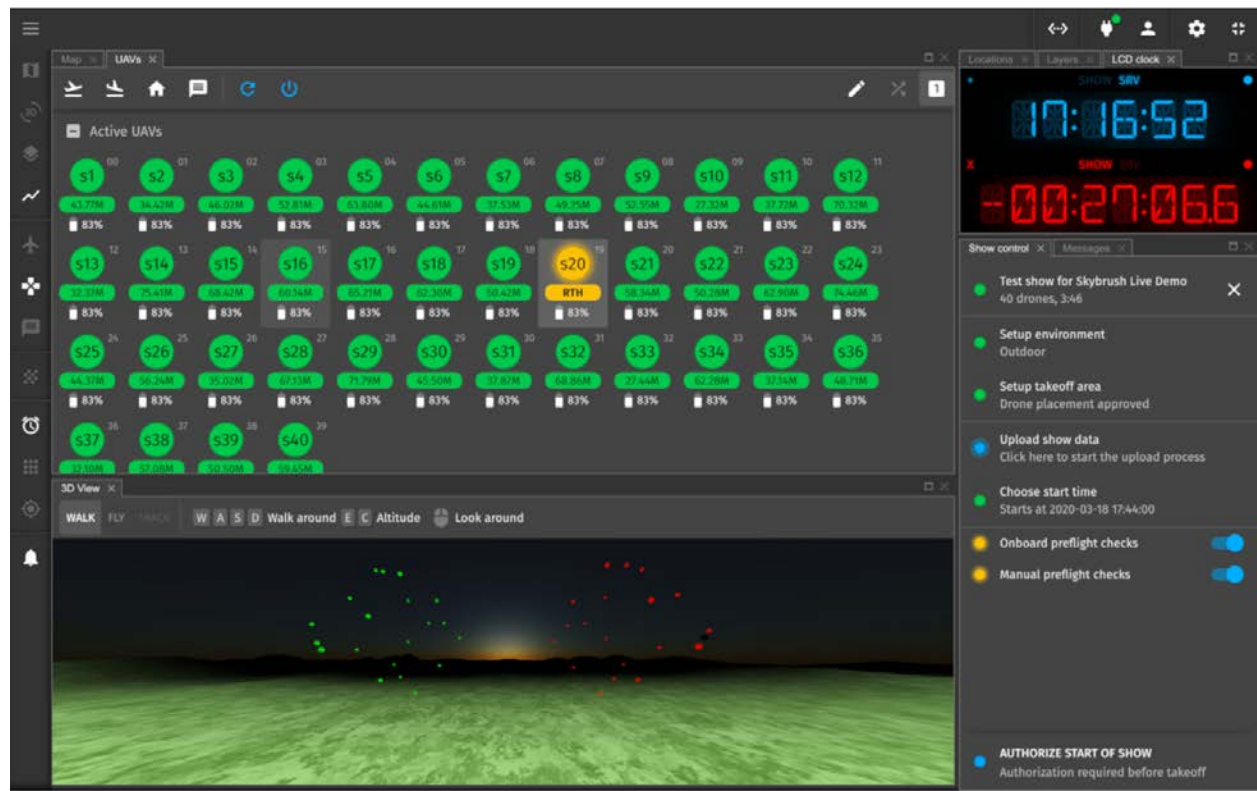
SHOW_VEL_FF_GAIN

Moltiplicatore usato nella fusione della velocità desiderata del drone per il velocity target del controllo di posizione

Intervallo	Incremento minimo	Unità di misura
0-1	0.1	nessuna

Questo parametro controlla il valore del feed-forward della velocità quando si controlla il drone durante lo show. Il valore di 1 sui test condotti dal gruppo di Skybrush ha prodotto le traiettorie più fedeli a quelle comandate a discapito di occasionali oscillazioni verificatisi in corrispondenza di improvvise decelerazioni e stop del drone. E' necessario condurre ulteriori prove con differenti coreografie per valutare eventuali benefici delle calibrazioni possibili tra 0 e 1, un valore uguale a 0 imposta l'uso del solo controllo della posizione (senza feed-forward sulla velocità), col risultato di un comportamento più rilassato ma un controllo meno accurato.

7.4 Skybrush Live



Skybrush Live è una delle componenti della suite Skybrush, una soluzione software integrata per il design, la visualizzazione, le prove e l'esecuzione di spettacoli con droni luminosi. Il software è stato messo a disposizione dall'azienda Spinoff universitaria "CollMot" che ha curato lo sviluppo come piattaforma completa e indipendente integrando un'architettura affidabile e robusta con un'interfaccia pulita e intuitiva. Lo sviluppo di questo software integra sia l'esperienza acquisita dal gruppo in 10 anni di ricerca in sciame di droni (<http://hal.elte.hu/drones/>) che nell'operare show di droni luminosi dal 2015 come CollMot.

7.4.0.1 Caratteristiche generali

Come accennato la filosofia di sviluppo dello strumento software Skybrush è basata su una ricerca accademica decennale e sull'esperienza pratica di esecuzione di spettacoli in vari contesti internazionali, il sistema è utilizzato costantemente ed è stato validato in molteplici scenari reali. Il software è multiplatforma e supporta i principali sistemi operativi: Linux, macOS, Windows 10 e sono disponibili versioni basate su cloud/browser. Sono supportate diverse tipologie di computer come workstation fisse, portatili, schermi tattili e smartphones. La piattaforma è client-server, dove il server è un meta livello tra differenti hw di droni, accessori hw (stazione base RTK, router Wifi, ...) e Skybrush Live. Questo permette anche di utilizzare molteplici clients con differenti livelli utente che consentono l'impostazione di diverse funzioni e responsabilità per il personale.

La compatibilità è ottenuta sulla base del codice del progetto aperto Ardupilot che il sistema supporta nell'ultima versione stabile integrando uno specifico show flight mode.

Il sistema supporta anche funzionalità avanzate di sciame decentralizzati se i droni sono equipaggiati con un companion computer supplementare e includono per esempio la pianificazione del volo automatico a livello di sciame e che evita le collisioni interattivamente, ovvero proprio l'auto organizzazione dell'intelligenza collettiva .

Per la sincronizzazione esterna con sistemi usati nel campo degli spettacoli è supportato il time code MIDI, l'interfaccia Open Sound Control, un temporizzatore integrato per la sincronizzazione temporale e la sincronizzazione dello spettacolo su input esterni. E' supportato Il timecode MIDI con la visualizzazione del tempo corrente e la sincronizzazione. Se il supporto MIDI Time Code è abilitato nel server (è disabilitato per impostazione predefinita) e si collega un'appropriata sorgente MIDI Time Code alla macchina che esegue il server, si ottiene un nuovo tipo di clock MIDI nel pannello Clocks che mostra il timestamp MIDI. Il server può quindi avviare lo spettacolo in base all'ora in cui il timecode MIDI raggiunge un punto specifico, quindi in questo momento il pannello "Orologi" ha due tipi di orologio sulla tua macchina: "SHOW" (che è il timestamp dello spettacolo, inizia a funzionare non appena assegnando un orario di inizio allo spettacolo) e "SRV" (che è l'orologio del server). Se il supporto MIDI Timecode è abilitato, ottieni un terzo clock chiamato "MTC" (MIDI Time Code) Se il Timecode MIDI viene abilitato sul server (è normalmente disabilitato) e alla macchina su cui risiede il server Sky Brush viene collegata una sorgente di Time Code MIDI si avrà la nuova tipologia di orario MIDI nel pannello Clocks chiamata "MTC" che mostra il timestamp MIDI. Il server può a questo punto attivare la partenza della coreografia in un istante determinato dal raggiungimento di un determinato valore del timecode MIDI.

L'interfaccia utente è stata sviluppata per supportare le operazioni in campo ed è improntata a caratteristiche di essenzialità e chiarezza per agevolare un controllo reattivo e preciso; supporta input via mouse o touch screen. I pannelli utente sono flessibili, possono essere posizionati, raggruppati e scalati liberamente. I pannelli disponibili sono la visuale sulla mappa 2D, quella 3D, la lista dei droni e una visuale compressa.

Il pannello Show control guida attraverso una sequenza di passaggi per una corretta impostazione delle operazioni pre volo. E' anche possibile inserire delle sequenze personalizzate di controlli prevolo. Il sistema accoppia automaticamente le traiettorie di volo dello spettacolo ai droni. L'attuazione di un file spettacolo in un nuovo sito è supportata da una semplice configurazione e da strumenti come il geofence a livello di sciame. E' integrato il client RTK per la stazione base gestendo la fase di osservazione iniziale.

7.4.0.2 Componenti Hardware

Un sistema completo per eseguire gli show di droni consiste nei seguenti componenti:

1. Un computer per l'esecuzione di Skybrush Server;

2. Uno o più clients per l'esecuzione di Skybrush Live. Per quest'ultimo sono preferibili computer portatili, ma periferiche anche più compatte con schermi tattili sono supportate. Quando si usa un solo client è anche possibile, per convenienza, usare la stessa macchina su cui è eseguito Skybrush Server;
3. Una flotta di droni;
4. Un router che garantisce l'accesso a una rete per tutti i componenti;
5. Una stazione base RTK o un servizio NTRIP, che è un sorgente di correzioni RTK basate su una stazione base mantenuta da terzi.

7.4.0.3 Comunicazione con i droni

Skybrush Live è l'interfaccia che comunica con i droni, la stazione base RTK e le altre periferiche attraverso Skybrush server. Skybrush server può essere eseguito su una macchina separata o localmente sullo stesso computer di Skybrush Live. Skybrush server converte i messaggi nel linguaggio specifico del drone, il protocollo Mavlink, in un formato riconosciuto da Skybrush Live. Configurando opportunamente ogni periferica connessa quali il modulo di comunicazione (una penna usb Wifi), una stazione base RTK, l'opzionale sorgente di timecode esterno, viene riconosciuta automaticamente dal sistema. Il canale di comunicazione primario è costituito da un modulo wifi con interfaccia seriale attaccato a una porta telemetrica. La componente luminosa è controllata dalla scheda autopilota.

7.4.0.4 Stazione base RTK

Il sistema è compatibile con qualsiasi stazione base in grado di ricevere le stesse costellazioni e bande su cui operano i Gps installati sui droni e con qualità non inferiore a quella di questi ultimi. La stazione base trasmette i messaggi RTCM su un canale di comunicazione (seriale o porta USB, con una connessione TCP o un collegamento Bluetooth). In alternativa si possono utilizzare i dati forniti da un servizio NTRIP offerto da operatori terzi che forniscono in maniera analoga alla stazione base i dati di correzione RTCM tramite un collegamento internet .

Per garantire la completa autonomia e compatibilità e la miglior qualità di posizionamento è stata utilizzata una base RTK basata sullo stesso chip integrato a bordo del ricevitore del drone, l' u-blox F9P ed è stata implementata in automatico la procedura di self-survey prima della trasmissione dei messaggi di correzione. La fase preliminare di site-survey e' necessaria per determinare la posizione della base con l' indice di precisione desiderato ed e' così possibile avere una soluzione operativa sul campo di gestione del sistema di posizionamento completamente integrata

7.4.0.5 Router supportati

Il router Wifi che fornisce la rete wireless tra i droni e la ground control station è un componente essenziale del sistema. Deve poter sostenere la comunicazione tra centinaia di nodi (a seconda del numero di componenti dello sciame) e la sua antenna deve avere una capacità di penetrazione a lunga distanza. Le aree urbane densamente abitate tendono a generare molto disturbo sul tradizionale canale dello standard Wifi a 2.4 GHz, pertanto una periferica a doppia banda sarebbe ma questo presuppone anche un sistema a bordo del drone compatibile con queste ulteriori bande e sarebbe opportuno investigare questo aspetto in futuri sviluppi del progetto.

Inoltre utilizzando un singolo router, questo diventa il singolo punto di vulnerabilità dello sciame di droni, pertanto un malfunzionamento del router può compromettere la comunicazione tra la GCS e i droni. Un secondo canale di comunicazione radio e un controllo remoto tramite una radio RC permettono allo sciame di essere pilotato in condizioni di emergenza verso un punto di atterraggio in sicurezza.

7.4.0.6 Pannelli utente

Skybrush Live ha un design personalizzabile e flessibile in cui ogni funzione è raggruppata all'interno di un pannello utente. I pannelli sono elencati nella barra laterale sulla sinistra della finestra principale. Nell'immagine in figura 7.4.0.6 sono presentati i pannelli che forniscono le funzionalità principali:

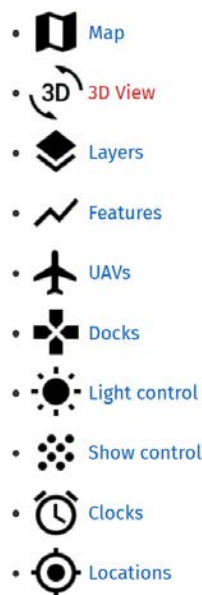


Fig. 7.4.0.6 - I pannelli presenti nell'interfaccia di Skybrush

7.4.0.7 Mappa

La finestra della mappa fornisce la visuale ortografica dall'alto dei droni e degli altri oggetti collocati sul livello base della mappa.



Fig.7.4.0.7 - Finestra mappa

La mappa può essere ingrandita, spostata e ruotata con gli strumenti presenti in alto a sinistra o con i tasti di scelta rapida. Un pulsante per scalare e centrare sul gruppo di droni totale è disponibile per focalizzare la vista sull'intero sciame automaticamente. Gli oggetti sulla mappa sono organizzati in livelli separati come la mappa base, UAVs, funzionalità, l'origine. Il contenuto, l'ordine e la visibilità di questi livelli e gli oggetti associati ai livelli è modificabile nel pannello Livelli. I differenti oggetti sono associati a differenti azioni che possono essere eseguite sulla mappa. Per agire su un oggetto bisogna prima selezionarlo. Dopo l'attivazione di una selezione il tasto destro apre un menù contestuale che mostra le azioni possibili dell'oggetto specifico. La selezione è globale per il sistema, una selezione di uno o più oggetti è valida per qualsiasi pannello. L'accesso alle posizioni operative sulla mappa è permesso da un sistema georeferenziato di posizionamento definito impostando sulla mappa una coordinata di origine e una direzione. L'origine è modificabile con un click destro e selezionando "Set map origin here" dal menu contestuale; alternatively, nella pagina Display all'interno del menu Preferences è

possibile inserire la coordinata dell'origine della mappa e l'orientamento come mostrato in figura 7.4.0.7.1 .

FLAT EARTH COORDINATE SYSTEM		
Type NWU	Map origin 47.4869224°, 18.9200946°	Orientation (X+ axis) 59.0°

Fig.7.4.0.7.1 - interfaccia per impostare l'origine e l'orientamento della mappa

L'origine della mappa è raffigurata sulla mappa con un cerchio rosso con una linea rossa allineata sull'asse x e una linea verde in direzione dell'asse y.

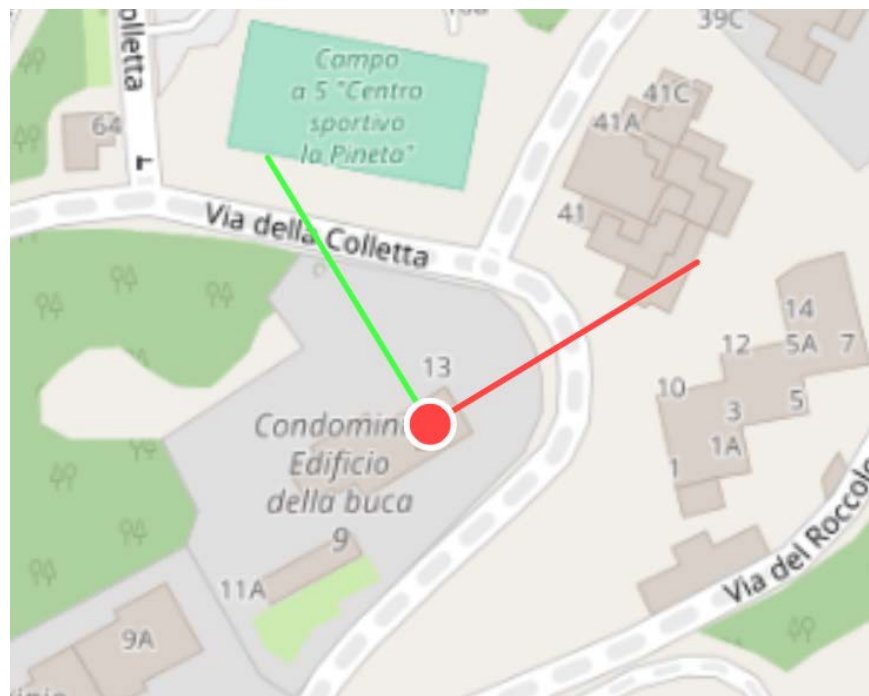


Fig. 7.4.0.7.2 - dettaglio del marcatore di origine sulla mappa

Muovendo il cursore sopra la mappa si effettuano delle misurazioni di distanze; un finestra di dialogo in basso a destra mostra su 3 righe queste informazioni (figura 7.4.0.7.3):

la posizione del cursore in coordinate geodetiche (latitudine e longitudine);

la posizione del cursore nel sistema di posizione impostato;

la distanza in metri e l'angolo dall'origine impostata.



Fig. 7.4.0.7.3 - informazioni relative alla posizione del cursore rispetto all'origine

7.4.0.8 3D View

Il pannello della 3D View fornisce una vista tridimensionale della flotta di droni nel sistema di coordinate relativo all'origine dello spettacolo all'interno di un ambiente virtuale.



Fig. 7.4.0.8 - pannello 3D View

E' presente una finestra *3D View* nel pannello *Preferences* in cui è possibile configurare l'apparenza della finestra 3D View, abilitare e disattivare specifici componenti, come le traiettorie dei droni selezionati o la posizione di decollo e atterraggio.

Lo scenario 3D può essere cambiato a seconda di uno scenario outdoor o indoor. Per esecuzioni indoor si possono visualizzare le pareti della stanza, o le pareti che definiscono

l'area di volo; queste possono essere configurate nel pannello Show control all'interno di Setup environment.

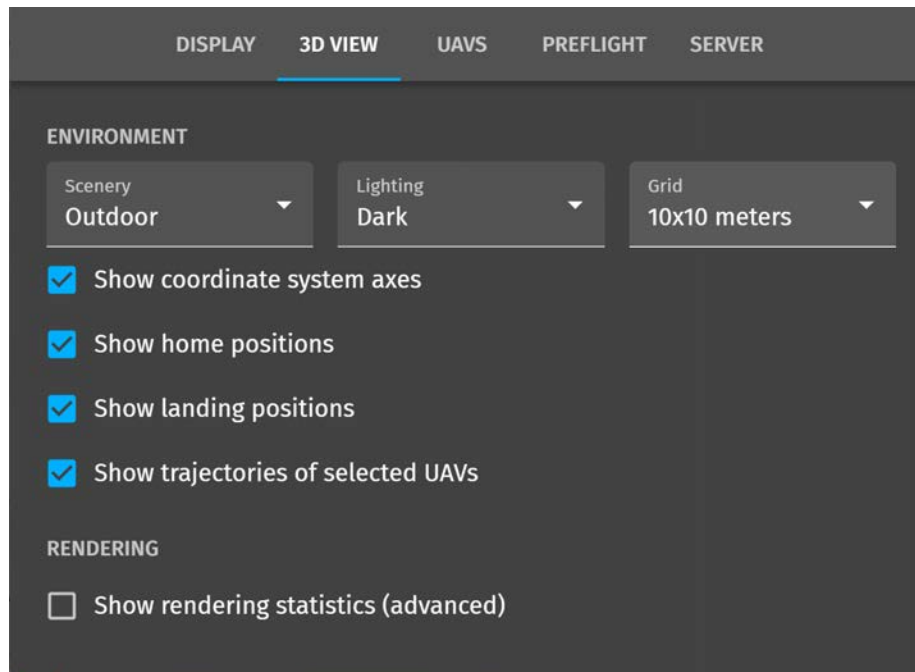


Fig. 7.4.0.8.1 - impostazioni per la 3D view

La navigazione nell'ambiente tridimensionale virtuale avviene tramite i tasti e le azioni visualizzate nella parte superiore del pannello.

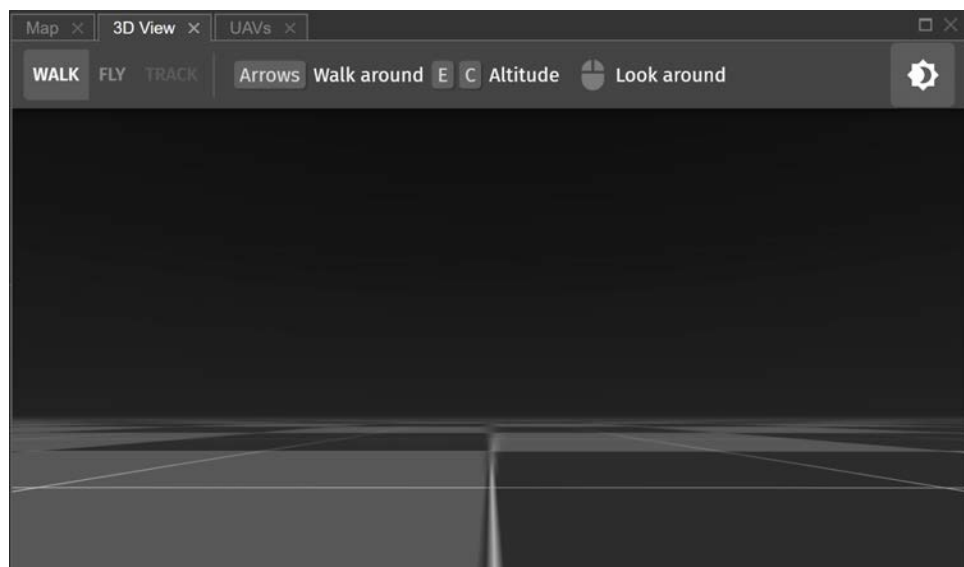


Fig. 7.4.0.8.2 - *pannello 3D View e barra superiore per la navigazione*

I droni sono rappresentati con una sfera e il colore associato è il medesimo che è emesso dal modulo luminoso del drone.

La finestra 3D View non è un ambiente di simulazione, il contenuto visualizzato è generato dai dati telemetrici in tempo reale dalla flotta di droni collegata. A differenza della componente software Skybrush Viewer che invece permette di simulare lo spettacolo insieme con la musica associata senza la necessità dell'hardware.

All'interno del pannello 3D View si possono selezionare i droni, questa selezione rimane persistente anche per gli altri pannelli. Posizionando il cursore sopra un drone, l'icona del cursore cambia e l'identificativo del drone compare accanto; il drone si seleziona col tasto destro del mouse.

7.4.0.9 Layers

Gli oggetti sulla mappa sono organizzati all'interno di livelli. Il pannello Layers permette di aggiungere o rimuovere elementi già presenti, cambiare l'ordine dei livelli o configurare i parametri del livello.

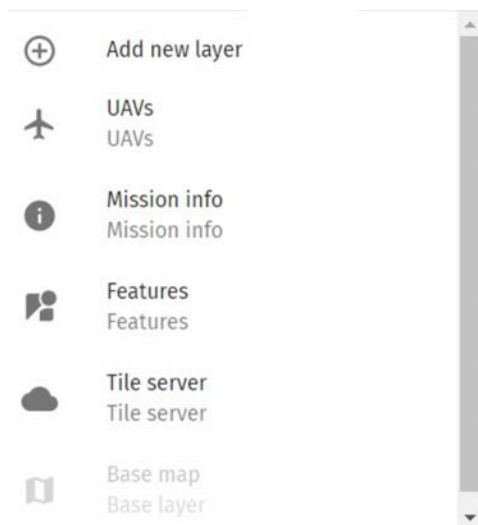


Fig. 7.4.0.9 - *pannello Layers*

Il pannello Layers elenca i livelli attivi nell'ordine in cui appaiono nella mappa (il primo della lista corrisponde al livello superiore sulla mappa). Cliccando il pulsante *Add new layer* si aggiunge un nuovo livello all'inizio della lista. Selezionando uno specifico livello è possibile modificarne le proprietà. Per cambiare la posizione del livello nell'ordinamento dei livelli si agisce sulle frecce presenti nella parte inferiore nella finestra delle proprietà del livello.

Le opzioni del livello base consentono di selezionare la sorgente per la mappa (Fig. 7.4.0.9.1) .

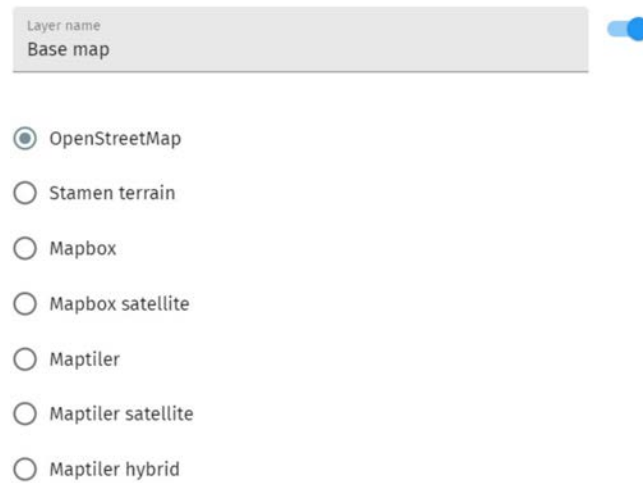


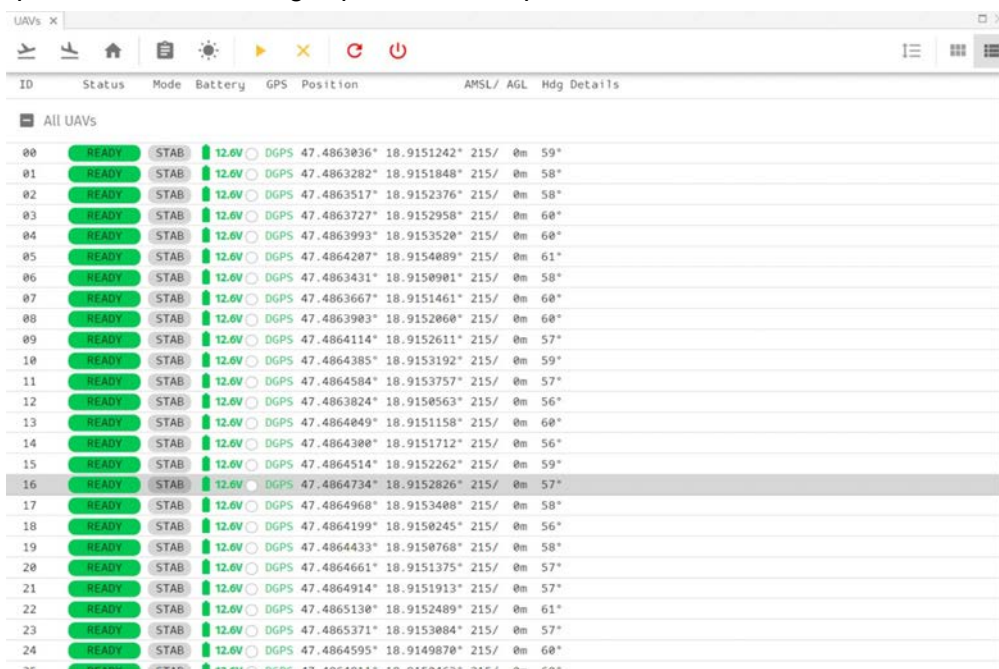
Fig. 7.4.0.9.1 - *selezione sorgente di dati per la mappa*

7.4.1.0 UAVs

La finestra UAVs fornisce una visione globale degli UAVs utilizzati in due modalità: compressa e lista. La modalità lista contiene informazioni maggiori, ma il numero di droni visualizzati istantaneamente è minore. La modalità compressa è ottimizzata per mostrare unicamente le informazioni di stato essenziali ma per un numero di droni più elevato in uno spazio ridotto. Si può cambiare la modalità di visualizzazione tra quella a lista e quella compressa, premendo il pulsante in alto a destra del pannello.

Nella visualizzazione come lista, ogni riga corrisponde a un UAV. Ogni riga mostra l'ID fisico e l'ID show di ogni UAV, lo stato del mezzo, la modalità di volo, il livello della batteria, lo stato di qualità del posizionamento GPS, la posizione, l'altitudine, l'orientamento, il colore attuale nello

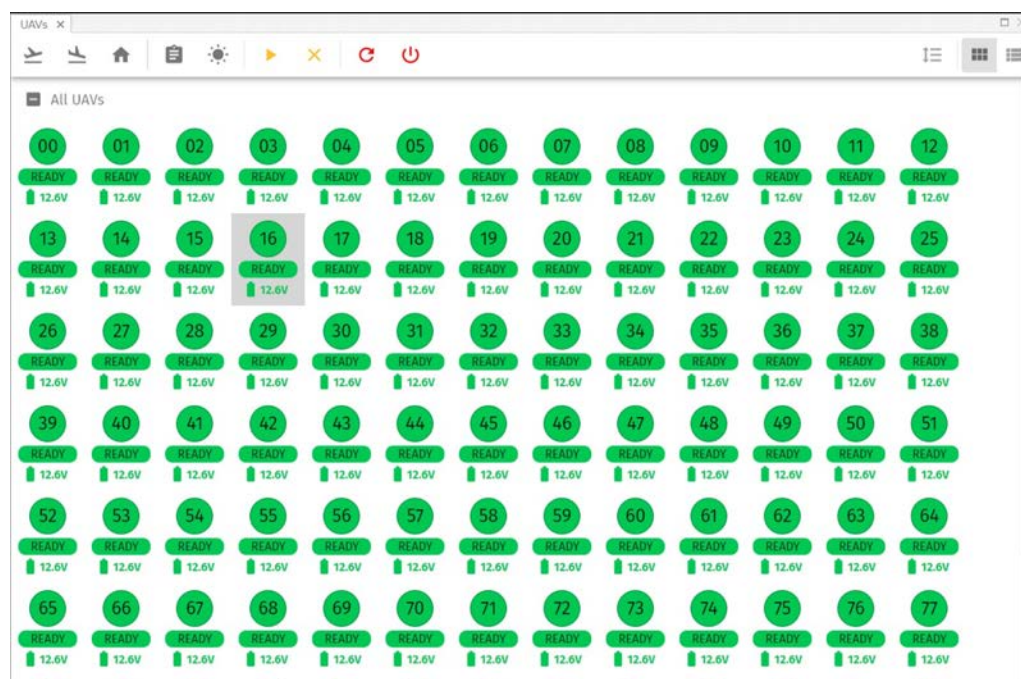
spettacolo e altri dettagli specifici dello spettacolo.



ID	Status	Mode	Battery	GPS	Position	AMSL	AGL	Hdg	Details
00	READY	STAB	12.6V	DGPS	47.4863036° 18.9151242°	215/	0m	59°	
01	READY	STAB	12.6V	DGPS	47.4863282° 18.9151848°	215/	0m	58°	
02	READY	STAB	12.6V	DGPS	47.4863517° 18.9152376°	215/	0m	58°	
03	READY	STAB	12.6V	DGPS	47.4863727° 18.9152958°	215/	0m	60°	
04	READY	STAB	12.6V	DGPS	47.4863993° 18.9153520°	215/	0m	60°	
05	READY	STAB	12.6V	DGPS	47.4864207° 18.9154089°	215/	0m	61°	
06	READY	STAB	12.6V	DGPS	47.4864331° 18.9150901°	215/	0m	58°	
07	READY	STAB	12.6V	DGPS	47.4863667° 18.9151461°	215/	0m	60°	
08	READY	STAB	12.6V	DGPS	47.4863903° 18.9152060°	215/	0m	60°	
09	READY	STAB	12.6V	DGPS	47.4864114° 18.9152611°	215/	0m	57°	
10	READY	STAB	12.6V	DGPS	47.4864385° 18.9153192°	215/	0m	59°	
11	READY	STAB	12.6V	DGPS	47.4864504° 18.9153757°	215/	0m	57°	
12	READY	STAB	12.6V	DGPS	47.4863824° 18.9150563°	215/	0m	56°	
13	READY	STAB	12.6V	DGPS	47.4864049° 18.9151158°	215/	0m	60°	
14	READY	STAB	12.6V	DGPS	47.4864300° 18.9151712°	215/	0m	56°	
15	READY	STAB	12.6V	DGPS	47.4864514° 18.9152262°	215/	0m	59°	
16	READY	STAB	12.6V	DGPS	47.4864734° 18.9152826°	215/	0m	57°	
17	READY	STAB	12.6V	DGPS	47.4864968° 18.9153408°	215/	0m	58°	
18	READY	STAB	12.6V	DGPS	47.4864199° 18.9150245°	215/	0m	56°	
19	READY	STAB	12.6V	DGPS	47.4864433° 18.9150768°	215/	0m	58°	
20	READY	STAB	12.6V	DGPS	47.4864661° 18.9151375°	215/	0m	57°	
21	READY	STAB	12.6V	DGPS	47.4864914° 18.9151913°	215/	0m	57°	
22	READY	STAB	12.6V	DGPS	47.4865130° 18.9152489°	215/	0m	61°	
23	READY	STAB	12.6V	DGPS	47.4865371° 18.9153084°	215/	0m	57°	
24	READY	STAB	12.6V	DGPS	47.4864595° 18.9149870°	215/	0m	60°	

Fig. 7.4.1.0 - visualizzazione UAV modalità lista

Nella modalità di visualizzazione compressa ogni UAV è mostrato attraverso l'icona e tutte le informazioni essenziali attorno: ID fisico e di spettacolo, lo stato del mezzo, indicato anche attraverso un colore e il livello della batteria.



ID	Status	Mode	Battery
00	READY	STAB	12.6V
01	READY	STAB	12.6V
02	READY	STAB	12.6V
03	READY	STAB	12.6V
04	READY	STAB	12.6V
05	READY	STAB	12.6V
06	READY	STAB	12.6V
07	READY	STAB	12.6V
08	READY	STAB	12.6V
09	READY	STAB	12.6V
10	READY	STAB	12.6V
11	READY	STAB	12.6V
12	READY	STAB	12.6V
13	READY	STAB	12.6V
14	READY	STAB	12.6V
15	READY	STAB	12.6V
16	READY	STAB	12.6V
17	READY	STAB	12.6V
18	READY	STAB	12.6V
19	READY	STAB	12.6V
20	READY	STAB	12.6V
21	READY	STAB	12.6V
22	READY	STAB	12.6V
23	READY	STAB	12.6V
24	READY	STAB	12.6V
25	READY	STAB	12.6V
26	READY	STAB	12.6V
27	READY	STAB	12.6V
28	READY	STAB	12.6V
29	READY	STAB	12.6V
30	READY	STAB	12.6V
31	READY	STAB	12.6V
32	READY	STAB	12.6V
33	READY	STAB	12.6V
34	READY	STAB	12.6V
35	READY	STAB	12.6V
36	READY	STAB	12.6V
37	READY	STAB	12.6V
38	READY	STAB	12.6V
39	READY	STAB	12.6V
40	READY	STAB	12.6V
41	READY	STAB	12.6V
42	READY	STAB	12.6V
43	READY	STAB	12.6V
44	READY	STAB	12.6V
45	READY	STAB	12.6V
46	READY	STAB	12.6V
47	READY	STAB	12.6V
48	READY	STAB	12.6V
49	READY	STAB	12.6V
50	READY	STAB	12.6V
51	READY	STAB	12.6V
52	READY	STAB	12.6V
53	READY	STAB	12.6V
54	READY	STAB	12.6V
55	READY	STAB	12.6V
56	READY	STAB	12.6V
57	READY	STAB	12.6V
58	READY	STAB	12.6V
59	READY	STAB	12.6V
60	READY	STAB	12.6V
61	READY	STAB	12.6V
62	READY	STAB	12.6V
63	READY	STAB	12.6V
64	READY	STAB	12.6V
65	READY	STAB	12.6V
66	READY	STAB	12.6V
67	READY	STAB	12.6V
68	READY	STAB	12.6V
69	READY	STAB	12.6V
70	READY	STAB	12.6V
71	READY	STAB	12.6V
72	READY	STAB	12.6V
73	READY	STAB	12.6V
74	READY	STAB	12.6V
75	READY	STAB	12.6V
76	READY	STAB	12.6V
77	READY	STAB	12.6V

Fig. 7.4.1.1 - visualizzazione UAV modalità compressa

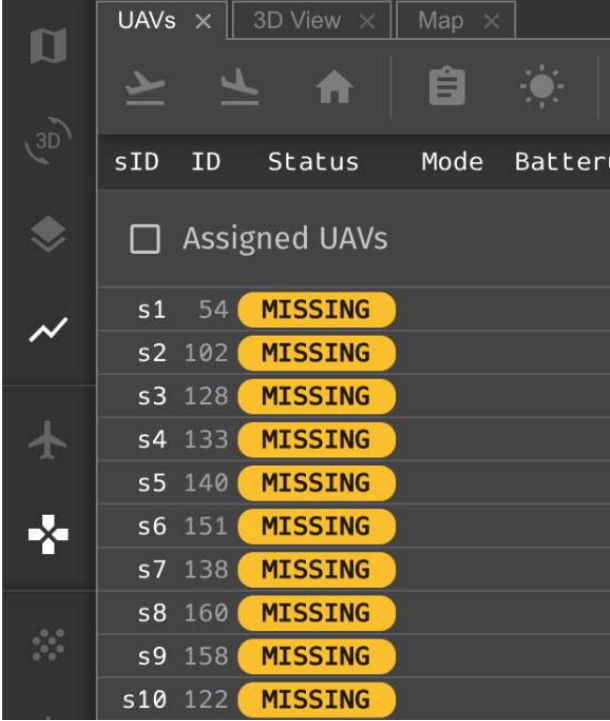
7.4.1.2 Assegnazione ruoli spettacolo

Se molteplici UAVs sono usati nella stessa missione le traiettorie della missione, *ID spettacolo* (show ID), devono essere assegnate agli *ID droni fisici* (physical ID). Quando si crea una coreografia per una flotta di un numero x di droni viene esportato uno spettacolo impostato con traiettorie assegnate dal drone 1 al drone x. Ogni drone ha un ID fisico specifico e non si conosce quale drone eseguirà la traiettoria definita nella coreografia. Quando si è sul posto per eseguire realmente lo spettacolo ci saranno dei droni fisici che eseguiranno le traiettorie e i loro ID fisici saranno differenti da quelli salvati nella coreografia.

Può essere assegnato l' *ID spettacolo* ai singoli *ID fisici* con gli strumenti presenti nella parte centrale superiore del pannello UAVs, o in modo automatico se i droni sono alimentati e attivi e la loro posizione è sufficientemente accurata.

Per mappare automaticamente gli *ID spettacolo* con gli *ID fisici* si interviene nel pannello UAVs procedendo con una sequenza di operazioni. Questa procedura permette di collocare i droni fisicamente senza un ordine preimpostato. Bisogna caricare una missione, impostare la zona di decollo e di atterraggio, posizionare i droni nella zona di decollo, abilitare edit mode nello strumento di assegnazione nella parte superiore del pannello UAVs e concludere con il pulsante *Assign spares*.

E' possibile intervenire con una assegnazione manuale dello show ID. Se la modalità di mappaggio nella parte superiore del pannello UAVs è impostata in modalità edit, è possibile accoppiare gli ID fisici a ID di spettacolo individualmente. Nella parte superiore del pannello le istruzioni contestuali guidano l'operatore nei passaggi da eseguire. La rappresentazione dello show ID è visualizzato preceduto da una 's' per distinguerlo dall'ID fisico.



sID	ID	Status	Mode	Battery
☐ Assigned UAVs				
s1	54	MISSING		
s2	102	MISSING		
s3	128	MISSING		
s4	133	MISSING		
s5	140	MISSING		
s6	151	MISSING		
s7	138	MISSING		
s8	160	MISSING		
s9	158	MISSING		
s10	122	MISSING		

Fig. 7.4.1.2 - *Pannello UAV, ID fisico e ID spettacolo*

Per il controllo degli UAV la visualizzazione a lista consente di impartire una lista limitata di comandi a un drone singolo, una selezione o l'intero sciame. Nella parte superiore sinistra della barra strumenti del pannello UAVs sono presenti i seguenti comandi che possono essere assegnati ai droni selezionati:

- Takeoff
- Land
- Return to home
- Open properties dialog
- Flash lights
- Arm motors
- Disarm motors
- Reboot

- Power off

7.4.1.3 Light Control

Il pannello light control permette il controllo del colore delle luci su tutti i droni connessi, sovrascrivendo lo stato corrente dei droni con il colore singolo selezionato.

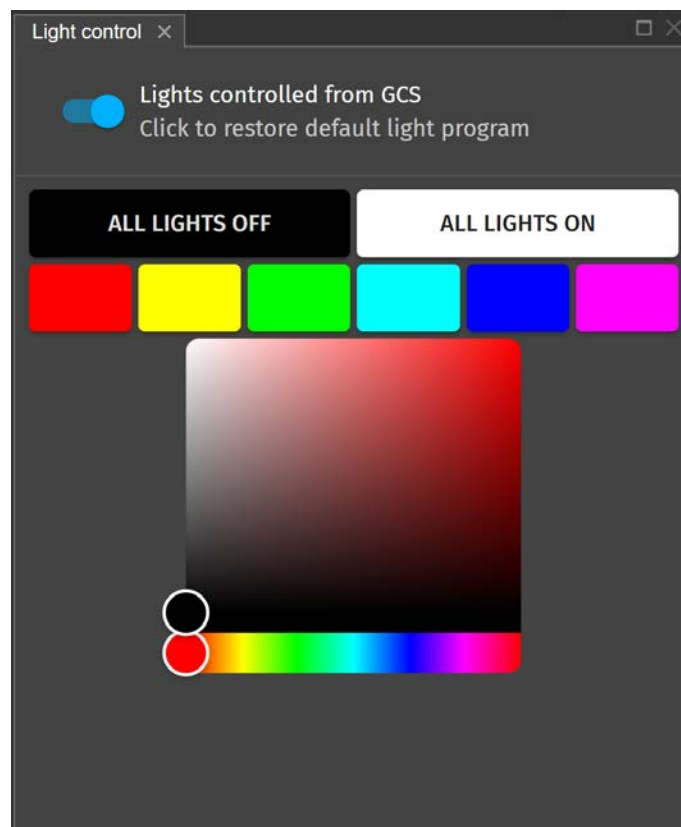


Fig. 7.4.1.3 - *Pannello Light control*

Il primo interruttore in alto nell'interfaccia specifica se la modalità di sovrascrizione del colore è attiva o disattiva. Se si attiva GCS color override, il colore selezionato nella parte inferiore del pannello viene trasmesso a ogni drone. Se GCS color override è disabilitato, la colorazione del drone ritorna al piano di colori predefinito del sistema.

La funzionalità di sovrascrittura del colore ha questi utilizzi principali:

- spegnere tutte le luci prima dello spettacolo per nascondere la flotta agli spettatori;
- accendere tutte le luci sui droni durante lo spettacolo, creando un livello cromatico omogeneo in qualsiasi momento, indipendentemente dal programma luci. Questo è

- anche utile per rispondere a richieste di alcune autorità della sicurezza del volo per esempio per rendere visibile lo sciame in caso di avvicinamento di un aeromobile;
- per testare la connessione wifi con i droni a distanza dalla ground control station;

Nella parte superiore sono presenti alcuni campioni di colore, sono pulsanti che definiscono alcuni colori base. Nella parte inferiore un grafico di colori permette di impostare il colore nello spazio colore HSV (Hue, Saturation, Value). Si seleziona la tonalità nella parte inferiore e si imposta la saturazione e l'intensità al centro nel pannello col gradiente.

Se un drone non riceve messaggi di colore dalla GCS per più di 30 secondi, torna al piano predefinito di colori.

7.4.1.4 Piano Predefinito di Colori

In questa sezione sono illustrati i codici colore emessi dal modulo luminoso del drone associati allo stato corrente.

Colori differenti hanno significati specifici:

Rosso - errore

Arancione - RTL o atterraggio

Giallo - le preparazioni prima del decollo sono in corso

Blu - il sistema è pronto e in attesa

Verde - il sistema è pronto

Le pulsazioni indicano le situazioni in cui è necessaria l'attenzione dell'operatore, pulsazioni rapide indicano situazioni potenzialmente pericolose (per esempio l'attivazione dei motori o la loro attivazione imminente).

Nella tavola sottostante è presentata la lista completa dei possibili schemi colore e il loro significato.

Tabella 1. Codici Colore

	Descrizione
Bianco, lampeggio rapido	Il pulsante "flash lights" è stato premuto sulla GCS per identificare visivamente i droni singoli all'interno dello sciame. Questo segnale scompare in automatico dopo pochi secondi.

Viola, pulsazione lenta	Calibrazione del magnetometro in corso
Giallo, lampeggio	Il drone è a terra, i controlli prevolo non sono conclusi (qualsiasi modalità tranne SHOW)
Giallo, pulsazione lenta	Il drone è a terra, i controlli prevolo non sono conclusi (SHOW mode)
Blu chiaro	Il drone ha eseguito tutti i controlli prevolo in SHOW mode ma non ha ancora ottenuto l'autorizzazione al volo.
Verde, pulsazione lenta	Il drone è pronto al decollo in modalità SHOW (validati i controlli prevolo, autorizzato al decollo). Ci sono più di 10 secondi prima dell'inizio dello show e i motori non sono ancora armati.
Verde, lampeggio veloce	Il drone è prossimo alla partenza (mancano meno di 10 secondi all'inizio dello SHOW, i motori sono armati ma il drone è a terra)
Sequenza luci preprogrammata	Il drone sta eseguendo lo show luminoso in modalità SHOW.
Rosso, lampeggio	Errore dell'autopilota
Bianco	Il drone è in volo escluse le modalità RTL, LAND e SHOW
Arancione, lampeggio	Il drone è in volo in modalità ritorno al punto di decollo (RTL)
Arancione, fisso	Il drone è in volo in modalità LAND
Arancione, lampeggio rapido	Il drone è a terra in modalità LAND e motori armati
Verde	Il drone è atterrato correttamente dopo lo spettacolo in modalità SHOW

7.4.1.5 Pannello di controllo Show

Il pannello di controllo dello show guida l'operatore attraverso il processo di inizializzazione dello spettacolo attraverso una precisa sequenza di passaggi.

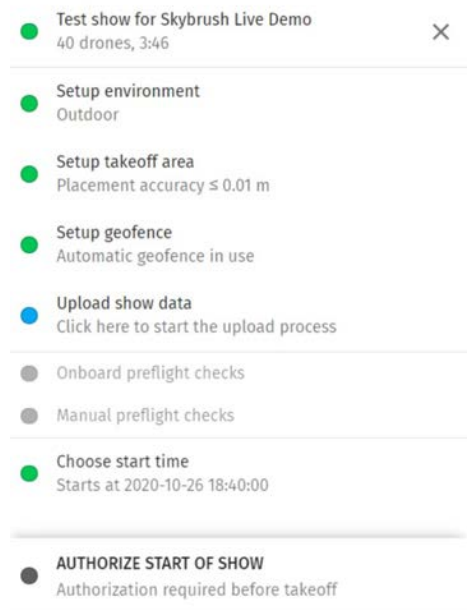


Fig. 7.4.1.5 - *Pannello di controllo show*

Il colore affianco ad ogni passaggio indica il suo stato. Bisogna procedere dall'alto verso il basso, seguendo le indicazioni e modificare ogni passaggio in colore verde per completare con successo l'intera procedura.

Il passaggio finale nella lista di controllo prevolo è "Authorize start of the show". Premendo questo pulsante, il pannello cambia in un'interfaccia con grossi pulsanti per le azioni di armamento, disarmamento dei droni o interrompere lo show con la procedura di ritorno al punto di partenza, atterraggio o halt (terminatore di volo globale) delle operazioni. I comandi possono essere inviati soltanto ai droni selezionati, o possono essere trasmessi a tutti i droni nella rete.

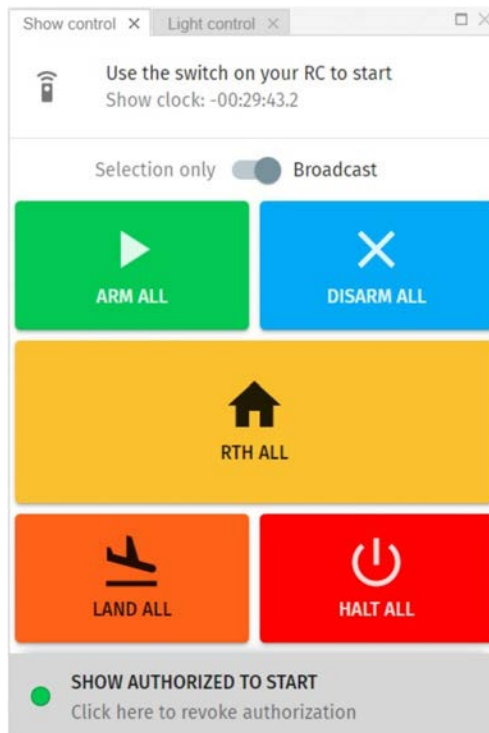


Fig. 7.4.1.5.1 - pannello show control dopo l'autorizzazione

Per rimuovere l'autorizzazione prima che lo show inizi, è necessario premere nuovamente il pulsante "Show authorized to start", questo è possibile soltanto prima della partenza dello show.

7.4.1.6 Pannello Clocks

Il pannello Clocks mostra lo stato dell'orologio fornito dal server, include l'orologio del server (SRV), l'orologio dello show (SHOW), MIDI Time Code (MTC) e altri aggiuntivi presenti sul server. Nella configurazione normale è presente nella lista almeno l'orario SHOW e SRV.



Fig. 7.4.1.6 - pannello Clocks

E' possibile aggiungere un orologio sullo schermo o rimuovere il corrente cliccando sui segni in alto a sinistra di ogni orologio. Per cambiare l'orologio visualizzato in un pannello cliccando in alto al centro in una delle possibili opzioni (per esempio SHOW, SRV).

7.4.1.7 Pannello Locations

Il pannello Locations permette di salvare dei siti personalizzati con i corrispondenti parametri della mappa (rotazione, livello dello zoom) per le missioni.



Fig. 7.4.1.7 - 3 siti salvati nel pannello Locations

Cliccando sul pulsante "Add new location" si può creare un nuovo sito; premendo l'icona dell'ingranaggio a fianco a un elemento si possono modificare i parametri del sito salvato precedentemente. Cliccando su ogni elemento nella lista salvata si accede alla navigazione del sito selezionato.

7.4.1.8 Finestra Coordinate averaging

Questo strumento è utile quando c'è bisogno di misure geodetiche accurate per configurare l'area per uno show di droni. Permette di usare i droni come dei sensori per marcare certi punti di interesse, ed eseguire una media delle posizioni misurate lungo un periodo di tempo prolungato per ottenere la più elevata accuratezza possibile.

+

–

⏸

▶

↺

📄

📍

01	47.8307173° 19.0317418° 0.0m std.dev. in XY	0.0m AMSL 140 samples	0.0m AGL Duration: 0:29	📄
02	47.8306948° 19.0317996° 0.0m std.dev. in XY	0.0m AMSL 35 samples	0.0m AGL Duration: 0:07	📄
03	47.8306723° 19.0318574° 0.0m std.dev. in XY	0.0m AMSL 24 samples	0.0m AGL Duration: 0:05	📄

Select at least two items to calculate the bearing and distance between them

Fig. 7.4.1.8 - *pannello coordinates averaging*

Le icone sulla barra superiore permettono di aggiungere o rimuovere droni dalla lista per il calcolo delle media, mettere in pausa, riprendere o iniziare il processo di media delle coordinate, copiare in memoria le coordinate risultanti o sulla mappa. Selezionando più droni per la media è possibile rilevare la distanza tra di loro.

7.4.1.9 Finestra Geofence

La finestra Geofence permette di creare un geofence intorno alle traiettorie della missione.

Geofence settings

SAFETY MARGINS

Horizontal	20	m	Vertical	10	m

PROPOSED LIMITS FOR CURRENT MISSION

Max distance	30	m	Max altitude	30	m

VERTEX COUNT REDUCTION

☒ Simplify polygon

Maximum vertex count

10

CLEAR CURRENT FENCE APPLY CLOSE

Fig. 7.4.1.9 - finestra di configurazione del Geofence

La configurazione del geofence è trasmessa e salvata sul drone insieme alla missione. Pertanto, se si modifica un qualsiasi settaggio del geofence è necessario salvare nuovamente la missione sul drone

7.4.2.0 Polygonal geofence

E' stato sviluppato un geofence poligonale specifico per gli show luminosi, che permette di creare un geofence proprio in relazione con le traiettorie della coreografia. Per configurarlo bisogna impostare i seguenti parametri:

- Il margine di sicurezza orizzontale e verticale intorno alle traiettorie
- Il numero massimo di vertici per il geofence (questo parametro è valido se "Simplify polygon" è attivato)

Premendo il pulsante "Apply", il geofence con un contorno a punti rossi viene creato sulla mappa intorno all'area dello spettacolo.

Dopo la creazione il geofence poligonale può essere editato manualmente sulla mappa.

E' anche possibile generare un geofence manualmente con gli strumenti disponibili nel pannello mappa. Finita la sua creazione bisogna impostarlo come geofence nelle sue proprietà, ovvero col tasto destro sulla mappa e scegliendo "Use as geofence".

7.4.2.1 Limiti di distanza massima e altitudine massima

In aggiunta al geofence poligonale, un geofence basato sulla distanza è creato sia orizzontalmente che verticalmente. Questi limiti basati sul geofence delle distanze sono calcolati automaticamente e sono mostrati come parametri non modificabili basati sui margini di sicurezza impostati.

7.4.2.2 Finestra Properties

La finestra delle proprietà mostra informazioni dettagliate sullo stato del singolo drone, permette di eseguire differenti procedure di test e calibrazione dei sensori a bordo del drone e di comunicare con questi attraverso i messaggi supportati.

La finestra delle Proprietà può essere attivata sia attraverso la barra degli strumenti del pannello UAVs selezionando un singolo drone, eseguendo un doppio click su un singolo drone o tramite il menù contestuale eseguendo un click destro sul singolo drone.

Il lato sinistro della finestra delle proprietà contiene pulsanti per comandi specifici (decollo, atterraggio, ritorno a casa, lampeggio delle luci, armamento motori, disarmamento motori, riavvio autopilota, halt) e le informazioni dello stato generale del drone in analisi. Sul lato destro della finestra si possono selezionare sezioni differenti per differenti funzioni.

7.4.2.3 Modulo Preflight

Il modulo Preflight mostra in dettaglio tutte le informazioni disponibili sulle condizioni relative al prevolo.

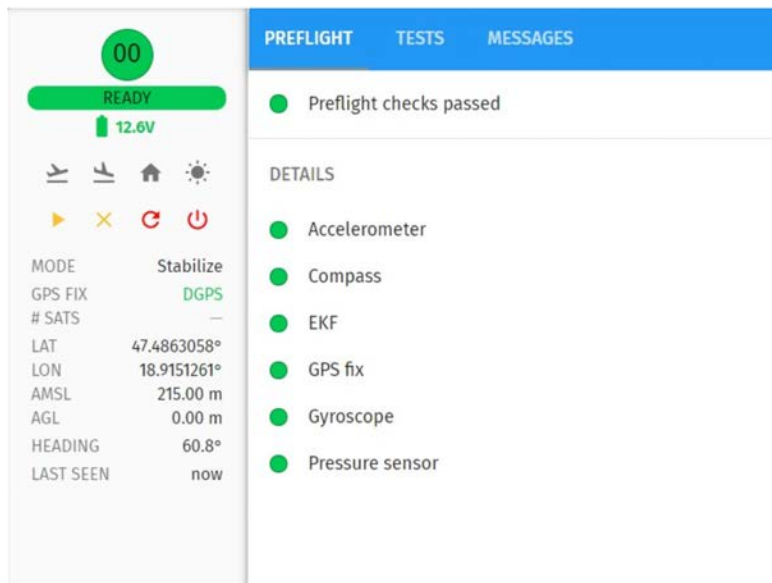


Fig. 7.4.2.3 - Finestra Preflight

Lo schema di colore generale è mantenuto anche in questa sezione; verde è associato al superamento con successo, il rosso significa errore.

7.4.2.4 Modulo Tests

Il modulo TESTS permette di eseguire differenti test sui componenti del sistema, come il test dei led, il test dei motori, la calibrazione del barometro, la calibrazione del giroscopio.

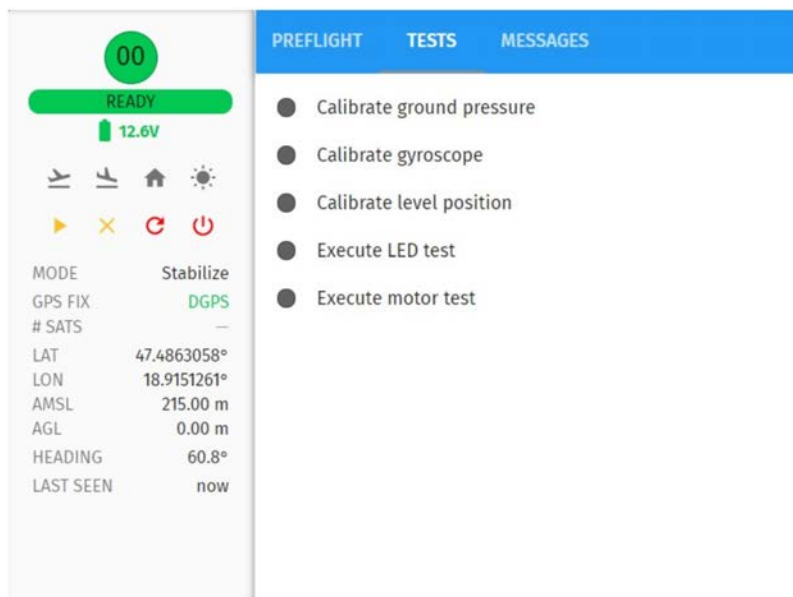


Fig. 7.4.2.4 - Finestra modulo Test

Selezionando uno dei test è possibile eseguirlo. L'indicatore affianco al test selezionato diventa verde quando il test è stato completato con successo.

7.4.2.5 Modulo Messaggi

Il modulo MESSAGGI abilita la trasmissione e la ricezione di messaggi diretti al drone e dal drone, generalmente per scopi di diagnosi o per accedere a funzioni che non sono presenti nell'interfaccia della GCS.

I messaggi di stato generali in arrivo dal drone sono mostrati in automatico.

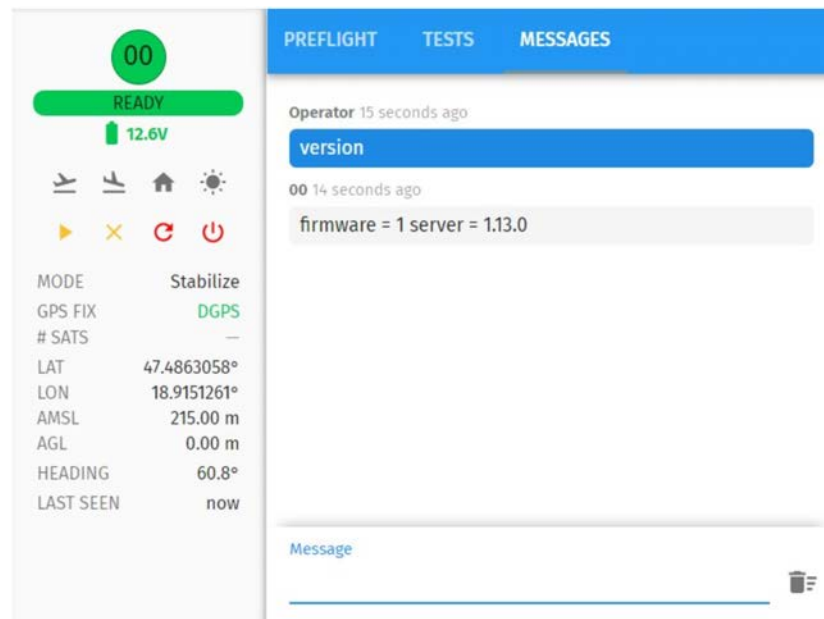


Fig. 7.4.2.5 - Finestra modulo messaggi

Tavola dei messaggi supportati :

color R G B	Sovrascrive il messaggio al modulo luminoso con il colore RGB impostato (i valori per i canali R,G e B sono compresi tra 0 e 255)
color #RRGGBB	Sovrascrive il messaggio al modulo luminoso con il colore RGB impostato (espresso con numeri esadecimali)
color PARAM1	Sovrascrive il messaggio al modulo luminoso con il colore impostato se PARAM1 è riconosciuto come il nome del colore

color off	Disabilita il controllo da parte della CGS del modulo luminoso
mode PARAM1	Imposta il drone nella modalità di volo associata al PARAM1, per esempio show, land, rth, loiter etc.
Param PARAM1	Carica il valore associato al PARAM1 nel parametro di configurazione dell'autopilota
Param PARAM1=VALUE	Imposta il valore di un parametro di configurazione dell'autopilota PARAM1 a VALUE
Test led	Esegue un test per il modulo luminoso
Test motor	Esegue il test ai motori singolarmente per tutti i motori consecutivamente
version	Mostra la versione del firmware dell'autopilota

7.4.2.6 Stato RTK

La finestra di dialogo dello stato del sistema RTK mostra i dettagli dei dati di correzione RTK in arrivo dalla stazione base in uso verso gli UAVs. E' possibile verificare l'attività e la potenza del segnale dei singoli satelliti e quali sono utilizzati per le correzioni RTK. Sono presenti anche alcune statistiche sui differenti messaggi di correzione inviati agli UAVs.

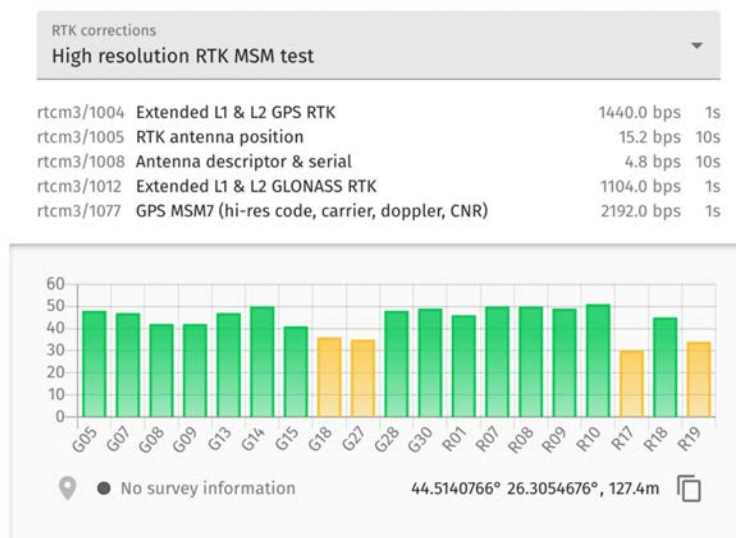


Fig. 7.4.2.6 - Finestra RTK

Nel caso in cui la sorgente dei dati RTK è una stazione base locale, la modalità di rilevamento è avviata in automatico per individuare la posizione della stazione base prima di trasmettere i

segnali di correzione. E' disponibile nella parte inferiore della finestra di dialogo il dato di precisione del rilevamento e la posizione della stazione base utilizzata. Nella stessa finestra è possibile configurare la durata minima della fase di rilevamento e la precisione desiderata.

7.4.2.7 Oggetti della barra orizzontale

Alcuni utili strumenti sono organizzati nella parte superiore destra della schermata principale, come evidenziato nella figura 7.4.2.7.

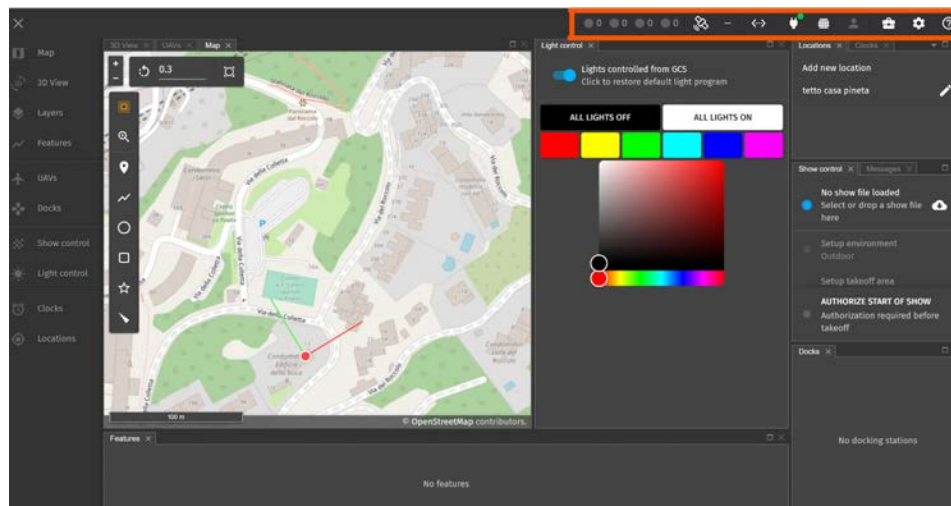


Fig. 7.4.2.7 - selezione degli strumenti barra orizzontale

I seguenti strumenti sono disponibili in questo raggruppamento:

-  UAV status
-  Battery status
-  RTK status
-  Connections
-  Server connection
-  Geofence
-  Authentication
-  Toolbox
-  Preferences
-  Help

Fig. 7.4.2.7 - dettaglio strumenti della barra orizzontale



Fig. 7.4.2.7.0.1 - icona widget UAV status

UAV Status mostra le statistiche complessive sullo stato degli UAVs dello sciame. Gli UAVs sono suddivisi in quattro gruppi non sovrapposti:

Il primo, il gruppo verde corrisponde agli UAVs che non presentano problemi.

Il secondo, il gruppo blu corrisponde agli UAVs che presentano un codice di errore a livello di informazione (per esempio inizializzazione).

Il terzo, il gruppo giallo corrisponde a UAVs con un codice di errore al livello di allerta (per esempio un livello di batteria basso).

Il quarto, il gruppo rosso corrisponde a UAVs con un errore critico (per esempio l'interruzione del segnale GPS e un errore del magnetometro).

Posizionando il cursore sopra i gruppi si ottiene la lista degli effettivi ID fisici appartenenti come visibile in figura 7.4.2.7.0.2 .

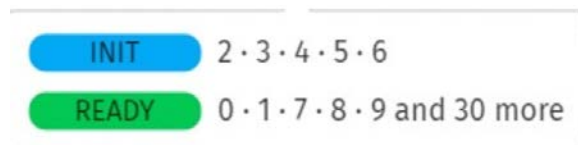


Fig. 7.4.2.7.0.2 - visualizzazione degli ID fisici relativi a UAV status

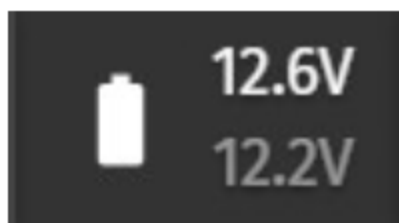


Fig.7.4.2.7.0.2.1 - icona widget battery status

Battery status mostra una sintesi della carica delle batterie nello sciame:

La prima riga indica il livello di carica media;

La seconda riga indica il livello di carica batteria minima.



Fig. 7.4.2.7.0.3 - icona widget RTK status

Status RTK mostra una sintesi dei dati di correzione RTK in arrivo dalla stazione base in uso verso gli UAVs. Il pallino verde sull'icona dello strumento indica lo stato generale dei dati di correzione RTK, mentre il pannello contestuale, come mostrato nella figura 7.4.2.7.0.4, mostra il numero dei satelliti attivi per tutte le sorgenti RTK.

	Satellite count	19
us	GPS	11
RU	GLONASS	8

Fig. 7.4.2.7.0.4 - dettaglio dei satelliti attivi

Cliccando sull'icona di questo oggetto si apre la finestra di dialogo Status RTK per configurare in dettaglio la sorgente delle correzioni RTK.



Fig. 7.4.2.7.0.5 - icona widget Connections

Connections mostra lo stato delle connessioni tra il Server Skybrush e le periferiche, come il modulo wifi che comunica con gli UAVs, la radio per la telemetria che trasmette le correzioni RTK ai droni o la stazione base RTK.



Fig. 7.4.2.7.0.6 - icona widget Server connection

Server connection si occupa della configurazione di come Skybrush Live si connette al Server Skybrush.

Il Server Skybrush è un livello intermedio necessario tra Skybrush Live e gli UAVs, la stazione base RTK e le altre periferiche.

Il server Skybrush viene eseguito in sottofondo e può supportare differenti dispositivi client sulla rete locale o globale che esegue Skybrush Live. Questo comporta che lo stesso UAVs può essere raggiunto da molteplici operatori simultaneamente, con responsabilità condivise o suddivise secondo la *user authentication*.

Nell'oggetto Server connection è possibile impostare tra l'identificazione automatica o la configurazione manuale. Per impostare manualmente è necessario definire URL, la porta e il tipo di connessione al server Skybrush.

Il colore del pallino sull'icona dell'oggetto mostra lo stato del server Skybrush. Se è verde la connessione è funzionante, è gialla in presenza di allarmi o in fase di inizializzazione e rossa in caso di disconnessione.



Fig. 7.4.2.7.0.6 - *icona widget Geofence*

Geofence mostra lo stato dei settaggi relativi al geofence. Il pallino verde indica che il geofence è stato creato. Cliccando l'icona geofence si accede alla finestra di dialogo Geofence per configurare i parametri del sistema di geofence automatici.



7.4.2.7.0.7 - *icona widget Authentication*

Authentication permette di eseguire l'accesso autenticandosi al server Skybrush con nome utente e password. Il server Skybrush può essere configurato per permettere due modalità di accesso multiutente. La prima può escludere alcuni utenti dall'accesso ai dati telemetrici e dalla possibilità di inviare comandi ai droni, la seconda introduce la possibilità di impostare livelli di accesso differenti, per esempio una modalità di solo lettura senza poter inviare comandi ai droni per l'operatore di supporto tecnico e un accesso completo al controllo per il pilota principale.



7.4.2.7.0.8 - *icona widget Toolbox*

Toolbox contiene strumenti utili a supporto dell'operatore UAV durante le operazioni. Questi strumenti sono collocati sulla schermata principale come finestre di dialogo. L'oggetto Toolbox contiene lo strumento Coordinate averaging e License info.



7.4.2.7.0.9 - icona widget Preferences

Preferences permette di configurare Skybrush Live secondo le esigenze specifiche dell'utente e dello scenario. Nella barra superiore della finestra dell'oggetto è possibile accedere a diversi gruppi di settaggi (DISPLAY, 3D VIEW, UAVS, PREFLIGHT, SERVER) e configurare i parametri desiderati.

7.4.2.8 Display settings

DISPLAY 3D VIEW UAVS PREFLIGHT SERVER				
Theme Light mode				
Coordinate format Decimal degrees (signed)				
MAP WIDGETS				
☒ Show mouse coordinates				
☒ Show scale line				
FLAT EARTH COORDINATE SYSTEM				
Type NWU	Map origin 47.4869224°, 18.9200946°		Orientation (X+ axis) 59.0°	

Fig. 7.4.2.8 - Finestra display setting

Theme

Per impostare la modalità chiara o scura a seconda delle condizioni della luce esterna.

Coordinate format

Per configurare come mostrare le coordinate GPS nel sistema

Map widgets

Show mouse coordinates

Per impostare la visibilità o nascondere la coordinata GPS corrispondente alla posizione del mouse quando è presente sopra la mappa.

Show scale line

Per mostrare o nascondere la scala della mappa

Flat Earth coordinate system

Type

Permette di impostare la tipologia di sistema di coordinate relativo usato nella mappa. Le scelte possibili sono NEU (North-East-Up) o NWO (North-West-Up), questi corrispondono a sistemi di coordinate relative sinistrorsi e destrorsi con l'asse x positivo che punta verso il Nord.

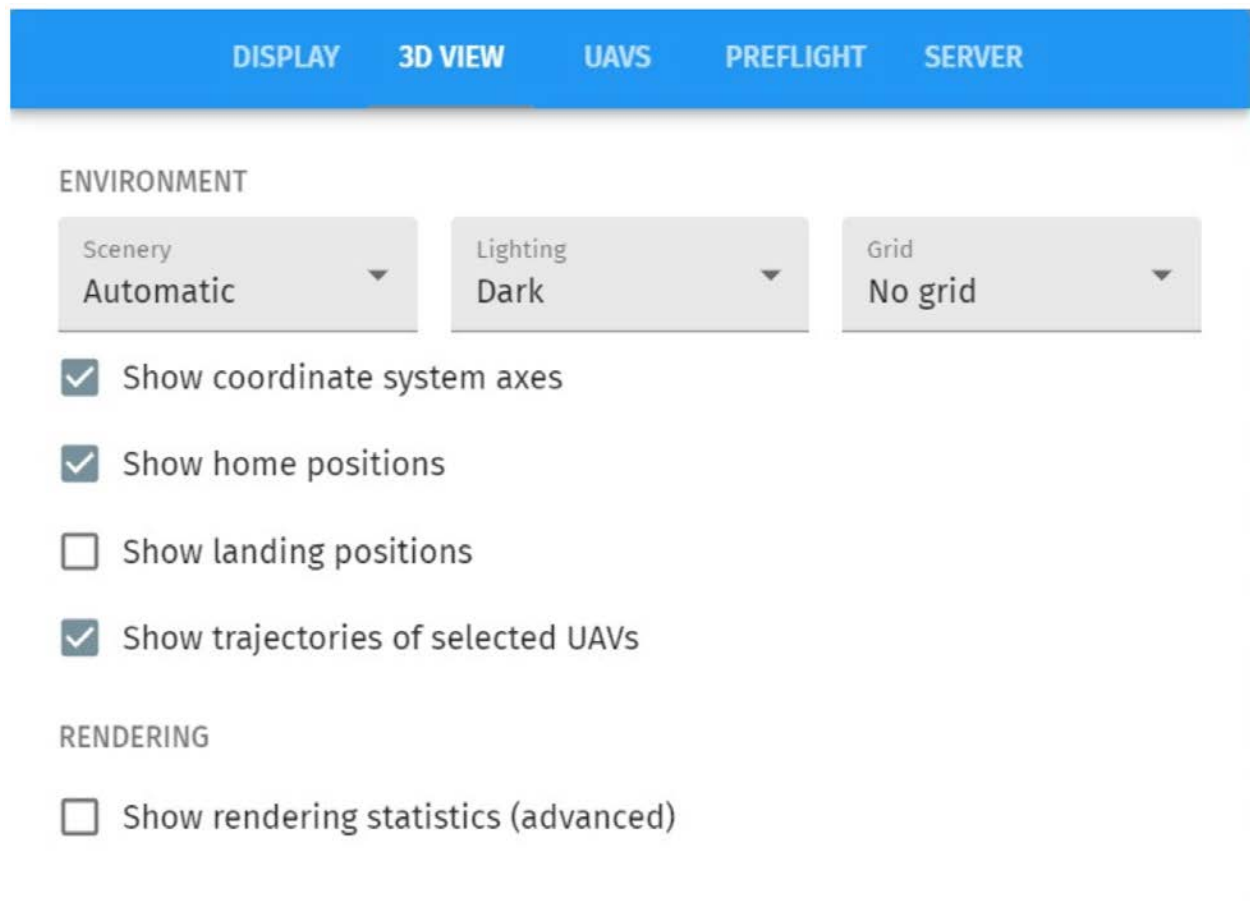
Map origin

Imposta l'origine assoluta del sistema di coordinate relativo sulla mappa. I valori per la latitudine e longitudine sono impostabili in gradi.

Orientation

Imposta la rotazione dell'asse X+ del sistema di coordinate relativo in relazione al Nord, nella direzione positiva.

7.4.2.9 3D View settings



DISPLAY 3D VIEW UAVS PREFLIGHT SERVER

ENVIRONMENT

Scenery Automatic

Lighting Dark

Grid No grid

☒ Show coordinate system axes

☒ Show home positions

☐ Show landing positions

☒ Show trajectories of selected UAVs

RENDERING

☐ Show rendering statistics (advanced)

Fig. 7.4.2.7.1.1 - finestra settings 3D View

Environment

Scenery

Imposta lo scenario per lo sfondo della visuale 3D virtuale (Outdoor, Indoor o Automatic, basato sul contenuto del file dello spettacolo).

Lighting

Imposta le condizioni di luce, Light o Dark, luminose, diurne o di oscurità, notturne.

Grid

Imposta la visibilità o nasconde la griglia e configura la grandezza della griglia.

Show coordinate system axes

Per mostrare o nascondere gli assi del sistema di coordinate nella vista 3D.

Show home positions

Per mostrare o nascondere la coordinata di decollo nella vista 3D.

Show landing positions

Per mostrare o nascondere la coordinata di atterraggio nella vista 3D.

Show trajectories of selected UAVs

Per mostrare o nascondere le traiettorie degli UAVs selezionati (massimo 5). Questa funzionalità è attivabile solo se uno spettacolo è stato assegnato ai droni.

7.4.2.10 UAV settings

Fig. 7.4.2.10 - *finestra settings UAVS*

Warn about not seen drones

Questo campo serve per impostare il limite di tempo in secondi oltre il quale è evidenziato un UAV che non trasmette dati telemetrici.

Mark drones as gone

Imposta il limite temporale in secondi oltre il quale un drone viene marcato come mancante.

Forget unseen drones

Questo campo permette di abilitare o disabilitare ed impostare un limite temporale oltre il quale i droni mancanti vengono eliminati permanentemente dalla scena.

Default battery settings

Questo gruppo di parametri permette alla GCS di impostare correttamente gli allarmi visuali per i differenti livelli di tensione della batteria.

Cell count

Questo campo configura il numero di celle usate nel pacco batterie del drone.

Full charge

Imposta il livello di tensione a piena carica per la singola cella della batteria usata.

Low threshold

Questo campo imposta il valore della tensione corrispondente a una soglia bassa della singola cella della batteria usata.

Critical threshold

Questo campo setta il valore della tensione corrispondente alla soglia critica della singola cella della batteria usata.

Battery display style

Configura il modo in cui è visualizzato il livello della batteria, con il voltaggio o tramite un valore percentuale.

Mission setup

Desired placement accuracy

Imposta la precisione desiderata per il piazzamento dei droni nel pannello di controllo dello show. Valori più elevati permettono di tollerare un rumore sulla posizione maggiore ma richiede anche una distanza maggiore tra le posizioni di decollo. Se i droni superano la soglia di precisione per il piazzamento in automatico viene segnalato all'operatore.

Desired heading accuracy

Imposta la precisione desiderata per l'orientamento nel pannello di controllo dello show. Se l'orientamento dei droni supera la soglia impostata in automatico viene segnalato all'operatore.

7.4.2.11 Preflight settings

DISPLAY 3D VIEW UAVS **PREFLIGHT** SERVER

Enter your preferred manual preflight check items, one per line.

Manual preflight check items

User defined:

- Write here to change preflight checklist in the Show Control Panel

Weather:

- Wind speed is within an acceptable range
- Visibility sufficient for flight
- Precipitation within acceptable range

Permissions:

- Drone pilot license is valid

Lines ending with a colon (:) become headings.

⚠ Preflight check items changed; do not forget to save. RESET SAVE

Fig. 7.4.2.7.1.3 - finestra Preflight settings

Questa finestra permette di configurare i check preflight manualmente impostando le caratteristiche che verranno visualizzate nel pannello Show Control. Ogni linea non vuota apparirà come un elemento separato della lista, mentre le linee che terminano con ":" diventano i titoli delle sezioni. Premendo il tasto save viene salvato lo stato corrente impostato, premendo il tasto reset si torna alla checklist di default.

7.4.2.12 Server settings

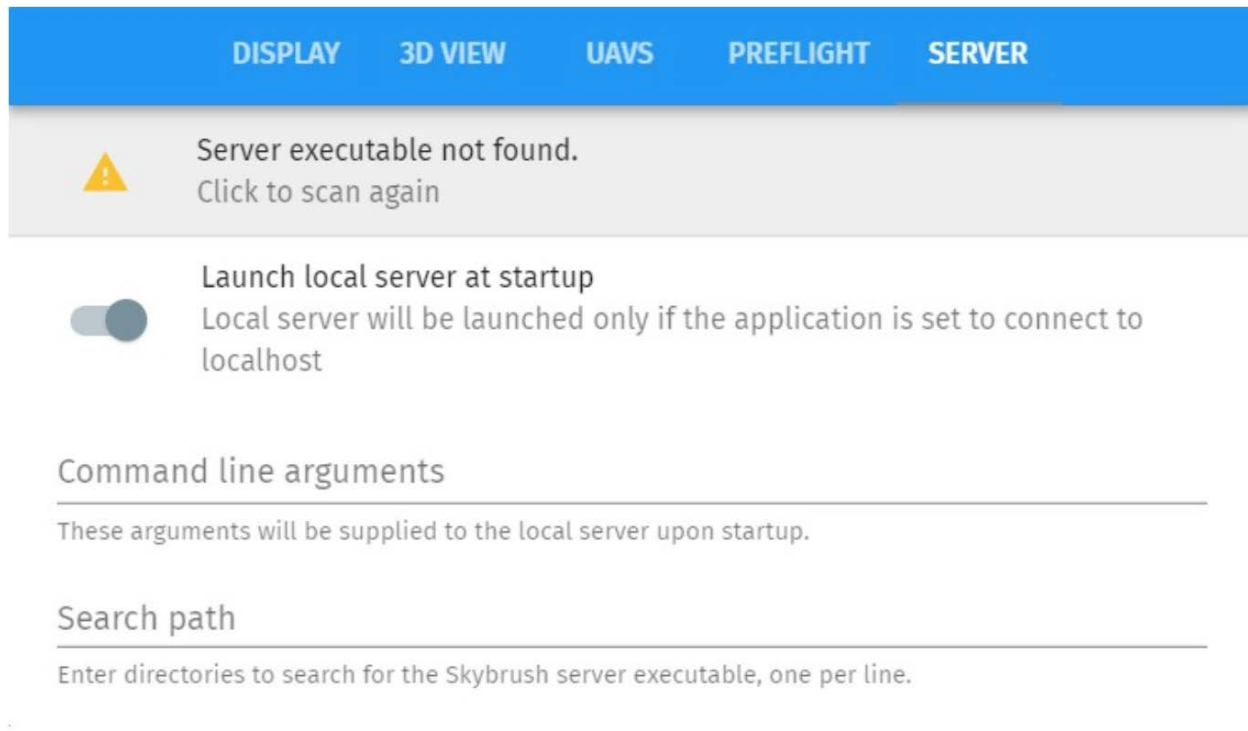


Fig. 7.4.2.12 - *finestra Server settings*

Quando Skybrush Live e Skybrush Server sono installati sullo stesso computer, Skybrush Live può avviare automaticamente il server in background all'avvio di Skybrush Live stesso. Le impostazioni in questo pannello controllano dove Skybrush Live sta cercando l'eseguibile del server e quali argomenti aggiuntivi della riga di comando vengono passati al server all'avvio.

7.4.3 Configurazione dell'hardware per gli show outdoor

In questo capitolo vengono dettagliati i passaggi necessari per configurare la piattaforma uav a sciame luminousbee per funzionare tramite la GCS Skybrush, in modo che la piattaforma sia pronta ad essere utilizzata sul campo per una comunicazione luminosa.

7.4.3.1 Flashing del firmware per le coreografie

Il firmware specifico deve essere sovrascritto su ogni drone dello sciame, utilizzando Mission planner o un altro strumento che supporta il flashing del firmware Arducopter per salvarlo a bordo del drone.

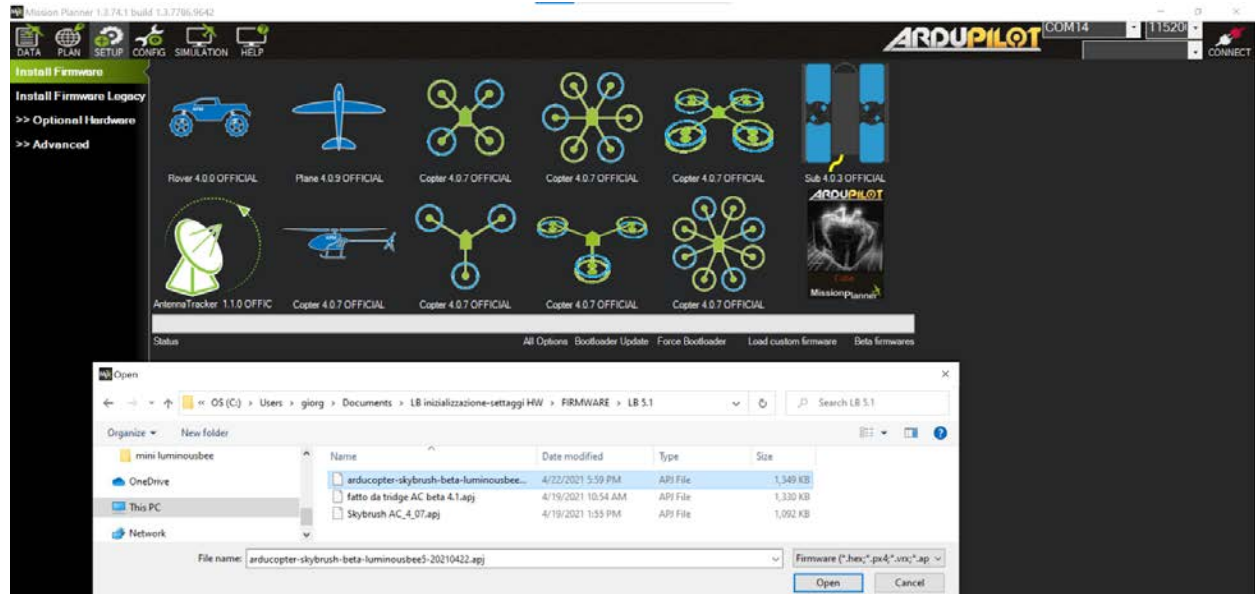


Fig.7.4.3.1 - caricamento di un firmware con Mission Planner

7.4.3.2 Configurazione generale per i parametri della scheda autopilota

Dopo aver allineato tutti i droni dello sciame con il firmware modificato bisogna configurare correttamente alcuni parametri standard e i parametri specifici della nuova modalità di volo SHOW utilizzando Mission Planner, altre GCS o Skybrush Live.

Il primo requisito è impostare il protocollo MAVLink 2 invece che MAVLink 1 in tutti i canali seriali dove è utilizzato:

`SERIALx_PROTOCOL 2`

Dove x è il numero del canale da configurare.

MAVLink 2 è richiesto per il canale seriale dedicato al Wifi e anche per il controllo dei LED tramite MAVLink.

Per ottimizzare la banda di comunicazione sul canale Wifi, ed evitare problemi di saturazione della banda disponibile nel caso di uso di molti droni è necessario disabilitare tutta la comunicazione non desiderata:

`SRx_* 0`

Dove x è il numero del canale seriale della connessione Wifi.

Configurazione del modulo luminoso

Il modulo luminoso è l'attuatore principale dei droni per spettacoli luminosi. La soluzione hardware sviluppata LuminousBee utilizza 60 LEDs in totale suddivise sui bracci del

quadricottero, 4 matrici di 3*5 LEDs su ogni braccio e un modulo centrale sotto il pacco batterie con 40 LEDs, per un totale di 100 LEDs.

Sono stati utilizzati dei LEDs SMD, cioè saldati direttamente sul pcb del drone. Sono LEDs RGBW collegati in serie e comandati direttamente dal software Skybrush con specifico protocollo inviato su un singolo segnale; caratteristica molto interessante e' che il guasto di un singolo led non pregiudica il regolare funzionamento di quelli a valle come solitamente accade.

I LEDs sono collegati a una delle porte di uscita RC dell'autopilota. Ogni striscia LED contiene più LED, ma tutti i LED verranno impostati sullo stesso colore in qualsiasi momento.

Per impostazione i parametri corretti della componente luminosa:

SHOW_LED0_TYPE 3

Oltre a impostare il tipo di LED, bisogna anche parametrizzare il firmware su quanti LED ci sono su una singola striscia e quale canale RC usare.

SHOW_LED0_CHAN 7

SHOW_LED0_COUNT 15

7.4.3.3 Configurazione del controllo remoto tramite radio RC

E' stato abbinato l'uso di un controllo remoto RC comune a tutti i droni per ottenere un collegamento indipendente, sicuro e affidabile su distanza superiori al canale Wifi tra l'operatore e tutti i droni per gestire alcuni comandi a livello dello sciame, come ad esempio il passaggio alle modalità di volo, l'inizio dello show, i test dei motori e di decollo. Il sistema LuminousBee-Skybrush è comunque in grado di funzionare anche in assenza del controllo remoto RC.

Modalità SHOW

Lo show è eseguito esclusivamente nella modalità di volo SHOW. L'impostazione normale di Skybrush Live è sviluppata in modo da non attivare le modalità di volo in automatico, l'operatore è responsabile per questi comandi in modo da essere sempre sicuro del controllo del sistema. Skybrush Live comanda il cambio di una modalità di volo sul drone quando riceve l'input dall'operatore per esempio con la pressione di un pulsante sull'interfaccia utente.

Per attivare la modalità di volo SHOW con un controllo remoto RC, bisogna impostare con il valore 127 una delle modalità di volo, per esempio:

FLTMODE3 127

Con questa impostazione si ha la possibilità di attivare e disattivare la modalità SHOW in ogni momento, utilizzando la radio RC.

In aggiunta alla modalità di volo SHOW vengono impostate nella radio RC altre modalità di volo con opportuni selettori, come ALT_HOLD, LOITER, RTH o LAND per poter controllare il drone direttamente in caso di necessità.

E' necessario verificare che tutti i droni siano in modalità SHOW prima del volo per permettere l'inizio dello SHOW. Quando non viene usato il controllo RC, il parametro SHOW_MODE_BOOT quando è impostato su 1 i droni sono forzati ad inicializzarsi in modalità SHOW, se è impostato su 2 il passaggio viene comandato all'autorizzazione dello SHOW.

In alternativa, è sempre possibile il passaggio alla modalità SHOW inviando il messaggio mode show ai droni selezionati da Skybrush Live.

Inizio dello Show

Nel sistema sono possibili due opzioni per la partenza dello show. La prima predefinendo un orario assoluto che farà partire lo spettacolo in automatico, la seconda dà inizio allo show utilizzando manualmente il selettore del controllo remoto RC. Per abilitare l'inizio dello spettacolo con un selettore dalla radio RC, è necessario impostare il valore 248 come una delle opzioni dei parametri RC, per esempio:

RC7_OPTION 248

Con questo settaggio ogni attivazione del canale 7 farà partire i motori e lo spettacolo dopo esattamente 10 secondi se i droni sono in modalità SHOW, l'inizio dello show è autorizzato e i controlli di prevolo sono passati con successo.

7.4.3.4 Configurazione della rete Wifi

La prima verifica consiste nell'accertamento che i droni siano nella stessa rete di Skybrush Server e pertanto i segnali base, ovvero i pacchetti Mavlink dell' heartbeat siano inviati sulla porta in cui Skybrush Server è in ascolto.

Il modulo WiFi su interfaccia seriale è configurato con un intervallo che va dall'indirizzo 192.168.0.1 al 192.168.0.254 e 192.168.0.255 è riservato per la trasmissione broadcast.

La configurazione dei droni avviene in modo che le ultime cifre dell'indirizzo IP siano le medesime dell'ID del sistema Mavlink (controllato dal parametro SYSID_THISMAV nel firmware), questo stesso ID è replicato su una targhetta fisica sul drone in modo che sia facilmente identificabile con un'osservazione visiva e questo stesso numero viene usato quindi sia come ID del sistema MAVLink e sia come le ultime cifre dell'indirizzo IP.

Skybrush Server è configurato di base per rimanere in ascolto sulla porta UDP 14550 in tutte le interfacce reti del computer su cui è in esecuzione. Pertanto è necessario impostare i droni in modo che l'invio dei pacchetti MAVLink dell'heartbeat sia sulla porta UDP 14550 o all'indirizzo

broadcast 192.168.0.255 o all'indirizzo IP del computer che esegue Skybrush Server. Nel primo caso è possibile avere il server in un qualsiasi computer connesso alla rete, mentre nel secondo caso può risiedere soltanto nella macchina con l'indirizzo IP che è stato impostato.

La trasmissione unicast (uno ad uno) tra i droni e Skybrush Server è gestita dal server: che rimane in ascolto sulla porta UDP 14550 e registra i pacchetti Mavlink di heartbeat in ingresso, creando un'associazione tra l'ID del sistema MAVLink del drone e l'indirizzo IP e la porta dal quale proviene. I comandi che devono essere indirizzati al drone con il proprio l'ID del sistema MAVLink sono spediti dal server allo specifico indirizzo IP e porta dal quale il segnale di heartbeat proviene. Per questo il drone deve al tempo stesso essere in ascolto sulla stessa porta UDP sulla quale invia i suoi pacchetti.

La trasmissione di tipo broadcast è utilizzata tra Skybrush Server e i droni per le correzioni RTK (quando sono mandati tramite WiFi) e per specifici comandi che interagiscono con l'intero sciame. Nella configurazione standard di Skybrush Server invia in broadcast in UDP sulla porta 14555 all'indirizzo broadcast della rete (192.168.0.255). Perciò anche i moduli WiFi su interfaccia seriale dei droni devono rimanere in ascolto dei pacchetti in arrivo in UDP sulla porta 14555.

In sintesi queste sono le configurazioni da eseguire:

Skybrush Server ascolta in UDP sulla porta 14550 su tutte le interfacce della rete, ed invia in broadcast all'indirizzo 192.168.0.255 in UDP alla porta 14555.

I droni devono trasmettere l'heartbeat in UDP alla porta 14550 o all'indirizzo IP di Skybrush Server o all'indirizzo broadcast della rete.

I droni devono ascoltare sulle porte UDP che utilizzano per mandare i segnali di heartbeats in modo da ricevere i messaggi unicast da Skybrush Server.

I droni devono inoltre ascoltare per pacchetti broadcast in arrivo in UDP sulla porta 14555.

7.4.3.5 Configurazione della stazione base RTK

Il sistema sviluppato e testato usa una stazione base RTK basata sul modulo U-blox F9P. La stazione base RTK va installata sicura e stabile, in modo che non possa muoversi e da avere una vista aperta del cielo. Bisogna collegare la base RTK al computer con Skybrush Server, selezionarla in Skybrush Live come sorgente delle correzioni RTK. Questo avvierà la procedura di auto osservazione e al suo completamento inizierà la trasmissione degli appropriati messaggi di correzione.

Si è considerata la connessione USB tra la base RTK e il computer della GCS come la più affidabile anche se è possibile utilizzare una connessione Bluetooth o WiFi.

I requisiti minimi per la frequenza dei messaggi necessari sono i seguenti:

- RTCM3/1077 (GPS MSM7 correzioni): almeno uno al secondo
- RTCM3/1087 (GLONASS MSM7 correzioni): almeno uno al secondo
- RTCM3/1006, 1008 or 1033 (posizione dell'antenna): almeno uno ogni dieci secondi

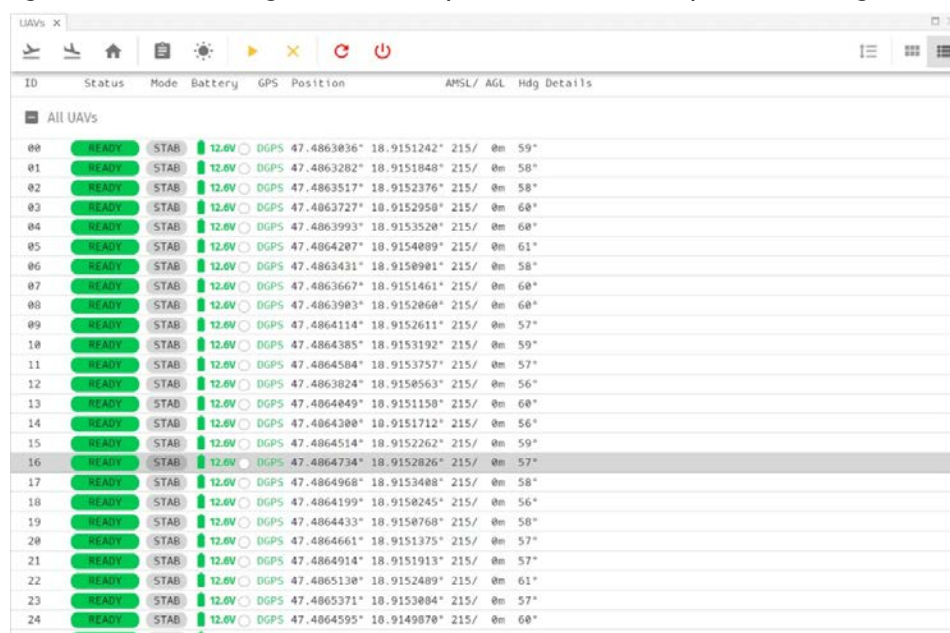
Oltre alle correzioni GPS e GLONASS, si possono attivare le correzioni BeiDou (RTCM3/1127), Galileo (RTCM/1097) o QZSS (RTCM3/1117) a seconda dell'area in cui si opera.

7.4.3.6 Identificare i droni in Skybrush Live

Completata la configurazione dei componenti hardware è possibile verificare lo stato dei droni nel pannello di Skybrush Live.

Avviato Skybrush Server nel tab UAVs di Skybrush Live sono visualizzati i droni connessi nella lista degli UAV.

Di base sono presentati con la vista a griglia, questa mostra solo le informazioni essenziali, ma permette di comprenderne dai 50 a 100 in una singola schermata. Per i test viene usata normalmente la visualizzazione a lista che permette di accedere a maggiori informazioni, in cui ogni drone ha una riga intera a disposizione che comprende dettagliate informazioni sullo stato.



ID	Status	Mode	Battery	GPS	Position	AMSL/	AGL	Hdg	Details
00	READY	STAB	12.6V	DGPS	47.4863836° 18.9151242°	215/	0m	59°	
01	READY	STAB	12.6V	DGPS	47.4863282° 18.9151848°	215/	0m	58°	
02	READY	STAB	12.6V	DGPS	47.4863517° 18.9152376°	215/	0m	58°	
03	READY	STAB	12.6V	DGPS	47.4863727° 18.9152950°	215/	0m	60°	
04	READY	STAB	12.6V	DGPS	47.4863993° 18.9153528°	215/	0m	60°	
05	READY	STAB	12.6V	DGPS	47.4864207° 18.9154089°	215/	0m	61°	
06	READY	STAB	12.6V	DGPS	47.4863431° 18.9150901°	215/	0m	58°	
07	READY	STAB	12.6V	DGPS	47.4863667° 18.9151461°	215/	0m	60°	
08	READY	STAB	12.6V	DGPS	47.4863983° 18.9152060°	215/	0m	60°	
09	READY	STAB	12.6V	DGPS	47.4864114° 18.9152611°	215/	0m	57°	
10	READY	STAB	12.6V	DGPS	47.4864385° 18.9153192°	215/	0m	59°	
11	READY	STAB	12.6V	DGPS	47.4864584° 18.9153757°	215/	0m	57°	
12	READY	STAB	12.6V	DGPS	47.4863824° 18.9150563°	215/	0m	56°	
13	READY	STAB	12.6V	DGPS	47.4864049° 18.9151150°	215/	0m	60°	
14	READY	STAB	12.6V	DGPS	47.4864308° 18.9151712°	215/	0m	56°	
15	READY	STAB	12.6V	DGPS	47.4864514° 18.9152262°	215/	0m	59°	
16	READY	STAB	12.6V	DGPS	47.4864734° 18.9152826°	215/	0m	57°	
17	READY	STAB	12.6V	DGPS	47.4864968° 18.9153408°	215/	0m	58°	
18	READY	STAB	12.6V	DGPS	47.4864199° 18.9150245°	215/	0m	56°	
19	READY	STAB	12.6V	DGPS	47.4864433° 18.9150760°	215/	0m	58°	
20	READY	STAB	12.6V	DGPS	47.4864661° 18.9151375°	215/	0m	57°	
21	READY	STAB	12.6V	DGPS	47.4864914° 18.9151913°	215/	0m	57°	
22	READY	STAB	12.6V	DGPS	47.4865130° 18.9152489°	215/	0m	61°	
23	READY	STAB	12.6V	DGPS	47.4865371° 18.9153004°	215/	0m	57°	
24	READY	STAB	12.6V	DGPS	47.4864595° 18.9149870°	215/	0m	60°	

Il pannello UAVs nella visualizzazione lista

7.4.3.7 Test finale delle componenti del sistema in Skybrush

Prima delle prove di volo nella modalità SHOW è necessario procedere alla verifica di tutti i droni e delle altre componenti del sistema. In questo paragrafo è illustrata la sequenza per assicurarsi che il sistema sia pronto ad effettuare missioni reali.

Verifica delle modalità di volo

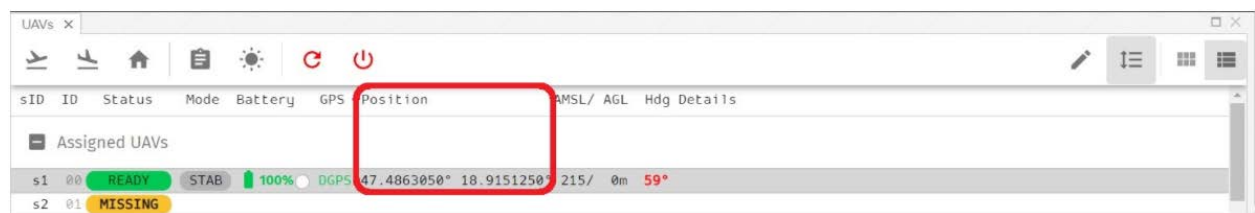
In questo primo test si prova il passaggio alle modalità di volo ai droni, si può operare con il controllo RC oppure con il messaggio mode param1, in cui param1 viene sostituito con il nome della modalità di volo che si desidera verificare. La modalità di volo in cui si trova il drone è visualizzata nella vista a lista del pannello UAVs in un riquadro grigio che si trova tra l'indicatore dello stato generale e l'indicatore della carica della batteria.



L'indicatore della modalità di volo deve corrispondere alla modalità di volo che è stata comandata con una delle due opzioni menzionate sopra. Si controlla che la modalità di volo SHOW sia disponibile, si procede a verificare di aver configurato correttamente il richiamo per tutte le altre modalità di volo che si vogliono utilizzare. La configurazione che si è sviluppata a termine dei test di ricerca sul campo prevede le modalità LOITER, RTL, e LAND che vengono configurate sul radiocomando.

Verifica GPS

Con i droni in campo aperto nel raggio della rete WiFi, si aspetta per ottenere il GPS fix. Avvenuto ciò le coordinate GPS dei droni sono visualizzate nella linea di stato.



Verifica RTK

Quando la base RTK è attiva, usando lo strumento RTK status tool a destra nella parte superiore della schermata principale () si seleziona la sorgente RTK e si verifica lo stato dei messaggi di correzione, compresa la stima della frequenza di aggiornamento dei flussi dei vari messaggi. Nel pannello UAVs nella vista a lista viene visualizzato RTK o RTK+ se il ricevitore sul drone ha raggiunto rispettivamente la modalità RTK float o RTK fixed.

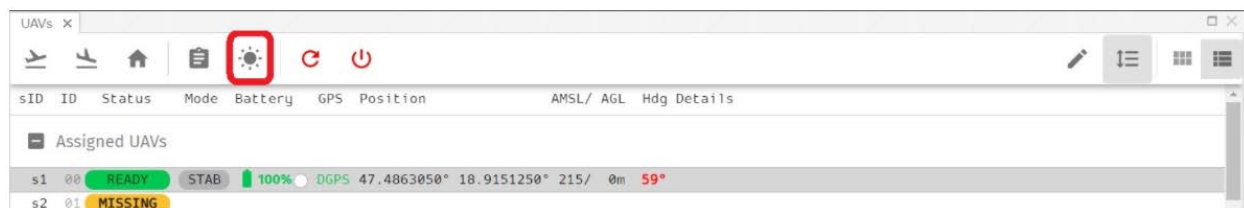


Verifica dello stato e del modulo luminoso

Durante le fasi preparatorie il sistema usa il modulo luminoso e osservando la luce emessa dai LED del drone si verifica il suo funzionamento. Mentre sono in esecuzione i test di prevolo, la luce dei LED lampeggia gialla, una volta al secondo. Quando il drone è pronto al decollo la luce diventa verde. Per la descrizione in dettaglio dello schema di luci completo si rimanda al paragrafo “Piano predefinito colori”.

Verifica della comunicazione bidirezionale e del modulo luminoso

Si seleziona un drone nella lista e si preme il tasto Flash Lights nella barra degli strumenti del pannello UAVs, come mostrato nella figura sotto.



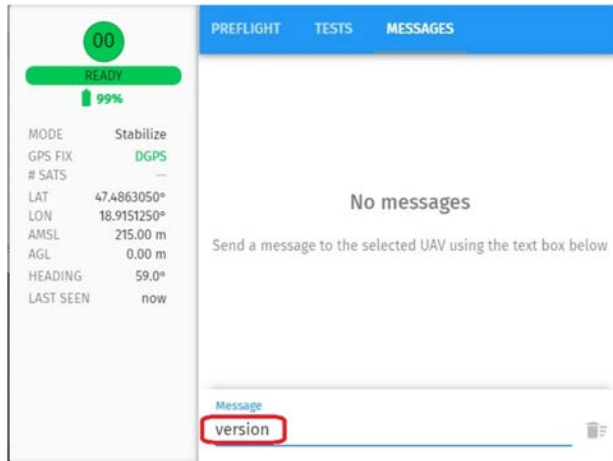
I LEDs del drone eseguiranno un lampeggio bianco, per cinque volte. Questo è funzionale sia per effettuare un test del modulo luminoso ed anche per individuare uno specifico drone quando si hanno numerosi droni disposti sul campo.

Verifica della comunicazione bidirezionale

Selezionando un drone nella lista, si seleziona il pulsante Properties nella barra degli strumenti, come illustrato nella figura sottostante.

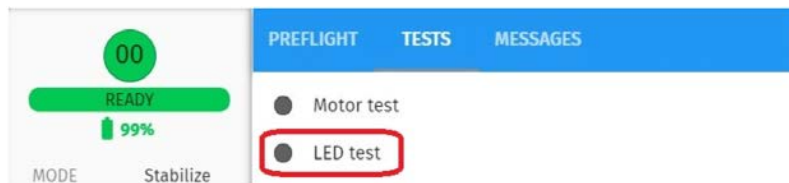


Selezionando la finestra Messages e inviando il messaggio `version` viene restituita la versione del firmware installato sull'autopilota.



Verifica avanzata dei LEDs

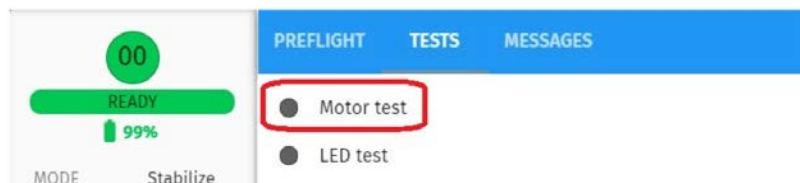
Utilizzando la funzione LED test nella finestra Tests del pannello Properties viene eseguito una sequenza di colori sul modulo LEDs.



I colori devono cambiare in questo ordine, da rosso - verde - blu - giallo - azzurro - viola - bianco.

Eseguire il test individuale sui motori

Usando la funzione Motor test presente nella finestra Tests del pannello Properties si esegue in successione il test sui motori.



Armamento dei motori

Per azionare tutti i motori dei droni, si seleziona il drone nella lista UAV, l'icona di stato deve essere verde e mostrare "READY" invece di "PREARM", e si preme il tasto Arm nella barra degli strumenti. Questo attiva i motori al livello impostato col parametro MOTOR SPIN ARM se tutti i controlli prevolo sono stati superati. Si possono fermare i motori premendo il tasto Disarm nella barra degli strumenti. Se i motori non si attivano, questo è probabilmente causato da qualche controllo di sicurezza del normale schema di ArduPilot che non è stato superato. E'

possibile verificare se il comando ha comunque raggiunto il drone, controllando se un messaggio di errore in colore rosso nella parte superiore della finestra di Skybrush Live che informa della fallita esecuzione del comando, questa è la conferma che il comando è stato ricevuto dal drone perchè il messaggio appare se la GCS riceve una risposta di errore dal drone causata dal messaggio inviato.

Primo test di volo singolo

Si rimane pronti per intervenire col controllo radio RC. Si passa a una modalità di volo con cui si è preparati e confortevoli, per esempio STABILIZE o ALT HOLD; questo abilita al decollo controllato dalla GCS e premendo il tasto Takeoff si procede al decollo. E' opportuno testare i tasti "Return to home" e "Land". Si può provare il tasto "Halt" solo se si usa una rete di protezione sopra il pavimento o volando ad una quota estremamente bassa sopra il terreno, poiché il drone precipita immediatamente dalla sua posizione.

Verifica dell'intero sciame

Si accendono tutti i droni dello sciame e si monitora il pannello UAVs per ogni errore.

Utilizzando il pannello di Status sopra la finestra principale () si ottiene una sintesi di ogni possibile errore sui singoli droni. L'obiettivo è il raggiungimento di tutti i droni nello stato indicato col colore verde, che significa che lo sciame è pronto al decollo. Una prova di volo singolo è stata compiuta con ogni mezzo prima di operare un volo a sciame.

Eseguire il primo test di volo di sciame

Bisogna posizionare i droni in campo aperto con una distanza tra ogni drone in base all'errore del sistema di posizionamento (1 m con RTK+, 3 m con RTK, 5-7 m senza RTK). Ruotarli per avere un orientamento simile tra tutti quanti, per consentire il pilotaggio manuale, se necessario, di tutti i droni simultaneamente. Impostare sulla radio RC la modalità LOITER. Selezionare tutti i droni nella lista UAVs e premere il pulsante Takeoff. Tutti i droni devono poter decollare e raggiungere un'altezza di 1 m circa e ognuno iniziare il mantenimento di posizione. Premendo il tasto Land o cambiando la modalità di volo in modalità LAND con la radio RC per far atterrare tutti i droni.

Con questo passaggio, se superato con successo, il sistema è perfettamente operativo e si può procedere a testare una coreografia.

7.4.4 Procedura di inizializzazione dello Show

Nei sottoparagrafi da 7.4.4.1 a 7.4.4.11 vengono illustrati in dettaglio tutti i passaggi dalla preparazione iniziale sul campo fino alla partenza di una coreografia con Skybrush Live.

7.4.4.1 Connessione al server Skybrush

Nella schermata principale selezionare col tasto destro l'icona (connessione al Server) in alto a destra (evidenziata con un cerchio rosso nell'immagine sottostante) per impostare la connessione con il server Skybrush in uso.

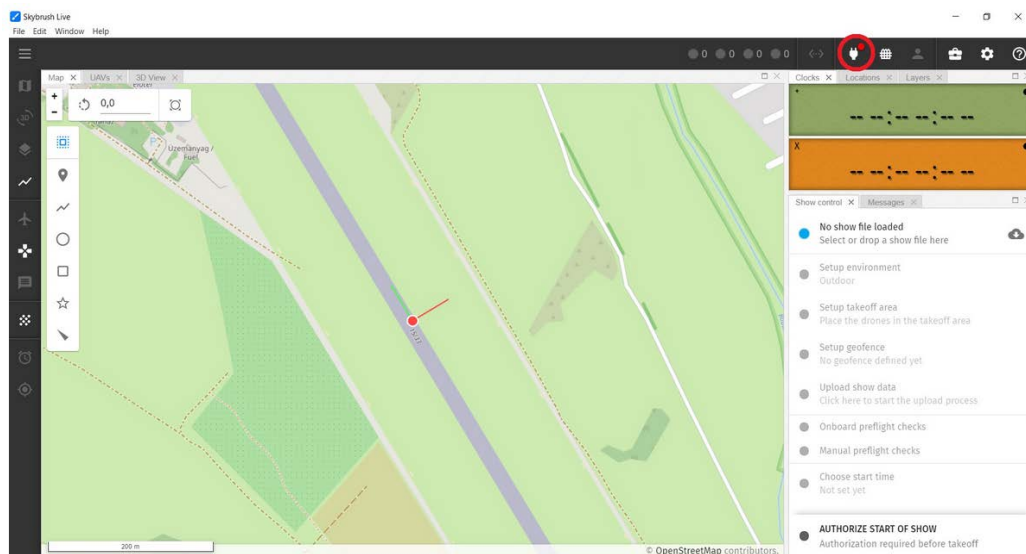


Fig. 7.4.4 - Skybrush Client senza connessione al server

Il server è identificato automaticamente, ma è possibile inserire i valori manualmente per il nome dell'host e la porta.

Se la connessione al server è funzionante, una luce verde appare a fianco dell'icona (Connessione al Server) e i droni attivi e connessi appaiono contestualmente sulla mappa.

7.4.4.2 Caricamento del file spettacolo

Il pannello di controllo dello show sulla parte destra è congegnato come una sequenza di pre-requisiti completa che guida l'operatore attraverso l'intera procedura necessaria per l'esecuzione dello show. Il colore dei pallini dell'elenco puntato indicano lo stato del passaggio specifico.

- Blu: passaggio successivo da completare
- Verde: passaggio completato con successo
- Rosso/Giallo: errori e allarmi
- Grigio: passaggio non ancora disponibile

Il primo passaggio nella lista dei prerequisiti permette di caricare il file di spettacolo creato.

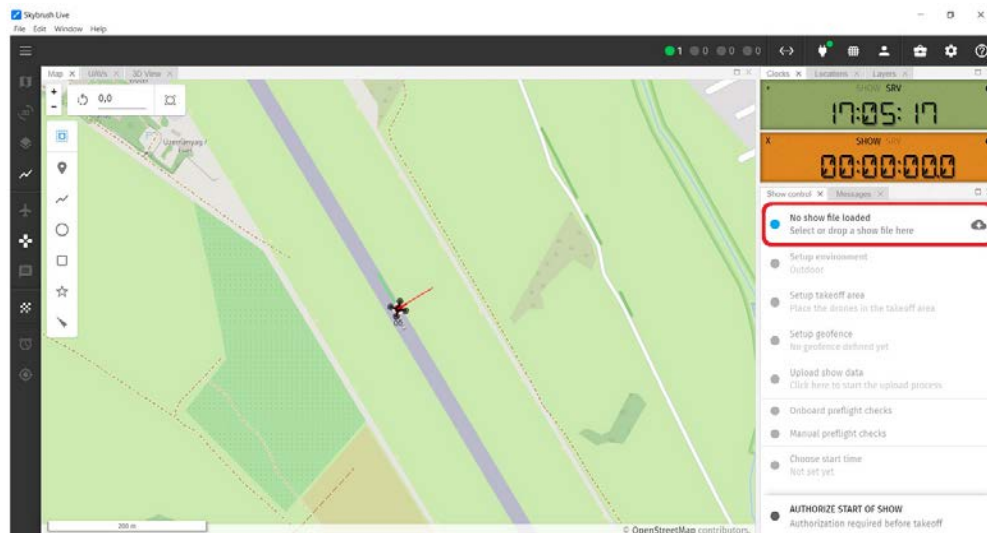


Fig. 7.4.4.1 - Skybrush Client in attesa del caricamento della missione

Se l'operazione è completata con successo appare il nome dello spettacolo, il numero di droni e la durata dello spettacolo appaiono nel primo elemento della lista, insieme ad un led verde affianco.

7.4.4.3 Calibrazione show per il sito

Le traiettorie della coreografia sono sempre espresse in coordinate relative. Per collocare lo show nel mondo reale, bisogna definire l'origine geodetica e l'orientamento dello show; sono disponibili nella GCS tre differenti modalità per assolvere a questa funzione:

1. Premendo il tasto destro in un qualsiasi punto della mappa e usando il menù contestuale si posiziona e orienta le coordinate dello show sul punto desiderato.
2. Muovendo la sagoma convessa delle traiettorie sulla mappa selezionandola e mantenendo premuto il tasto sinistro del mouse mentre si naviga sulla mappa e si riposiziona lo spettacolo.
3. Cliccando nell'elemento *Setup Environment* nella lista di verifiche dello show control, è possibile inserire manualmente i valori precisi per l'orientamento dello show, la sua origine e la quota sopra il livello del mare.

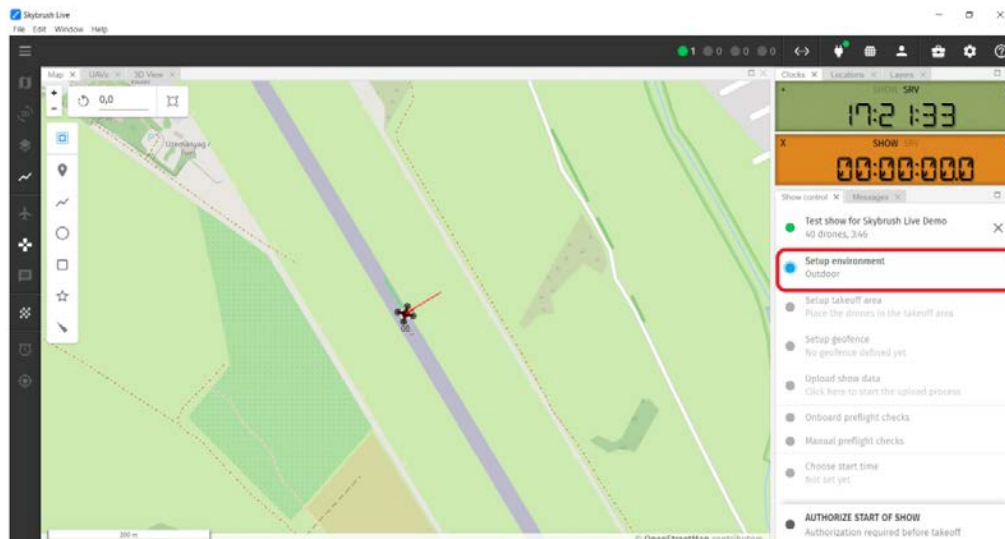


Fig. 7.4.4.2 - Skybrush Client in attesa del caricamento della missione

Nella finestra Environment settings si può configurare direttamente il sistema di coordinate dello show, l'origine e l'orientamento dello show. Inoltre è possibile selezionare tra altitudine espressa sopra il livello del mare (AMSL) o sopra il terreno (AGL).

Environment settings

This show is an outdoor show. You need to specify at least the origin and orientation of the coordinate system so Skybrush can map the show into GPS coordinates.

Type NWU	Show origin 47.8326509°, 19.0312081°	Show orientation 59.0°

COPY MAP ORIGIN TO SHOW ORIGIN
COPY SHOW ORIGIN TO MAP ORIGIN

Show is controlled based on...
 Altitude above mean sea level (AMSL)

AMSL reference m

RTK corrections
 RTK disabled

Fig. 7.4.4.3 - finestra Environment settings

Il sistema LuminousBee - Skybrush usa il sistema RTK multi frequenza, attualmente lo stato dell'arte del posizionamento outdoor, che permette di ottenere una stima della quota migliore del barometro a bordo del drone, pertanto e' conveniente configurare il parametro `EK2_ALT_SOURCE = 3` o `EK3_SRC1_POSZ = 3` per settare il GPS RTK come sorgente per il dato dell'altitudine invece che il barometro. Se si usa l'EKF2 (EK2) è utile anche impostare `EK2_ALT_M_NSE = 10` in modo da dare più peso al dato del GPS e meno al barometro; diversamente si è sperimentato che il rumore del dato stimato dal barometro interferisce troppo con la stima del GPS.

Nella finestra Environment settings si può selezionare la sorgente dei dati di correzione RTK per abilitare il livello di precisione centimetrica della posizione; alternatively si può impostare nella barra degli strumenti nell'oggetto RTK Status. Completati tutti i settaggi del pannello environment settings un triangolo giallo appare sulla mappa, rappresenta la nuova posizione di home dello show impostata e un poligono giallo attorno alla posizione della home indica l'ingombro di tutte le traiettorie della coreografia.

7.4.4.4 Assegnare i droni alle traiettorie della coreografia

Questo passaggio riguarda l'accoppiamento di tutte le traiettorie della coreografia ai droni correnti attivi. Questo è svolto dall'elemento Setup takeoff area nell'elemento della lista Show control.

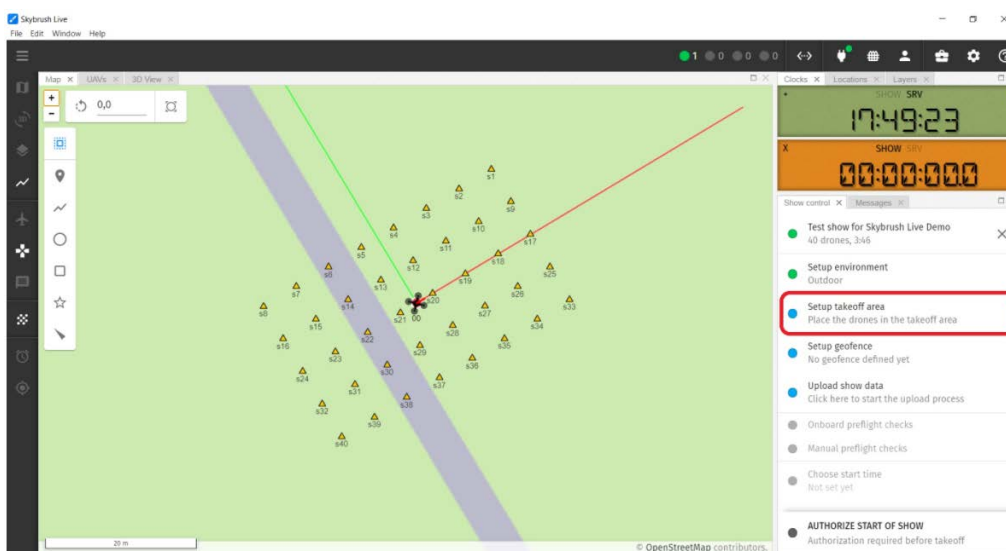


Fig. 7.4.4.4 - selezione per accedere a Setup takeoff area

Questo elemento attiva la finestra *Takeoff area setup*.

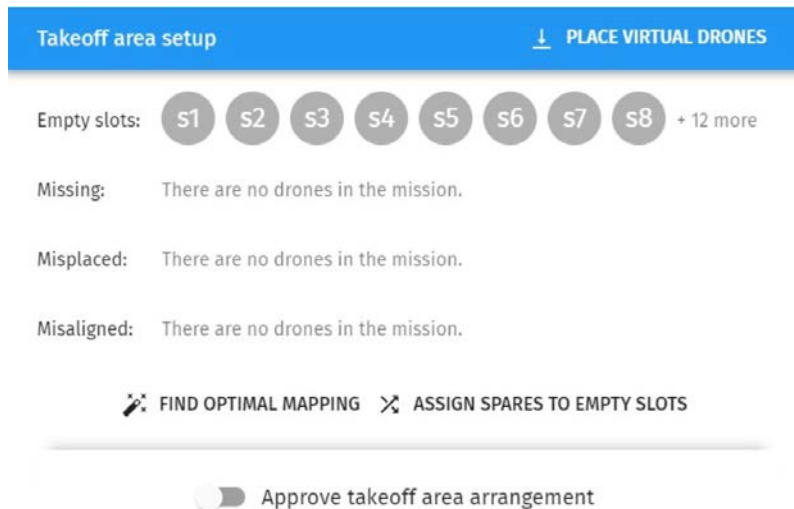


Fig. 7.4.4.5 - *finestra Takeoff area setup*

Per settare correttamente la procedura di decollo sono essenziali:

Disporre del corretto numero di droni (droni coreografia = droni fisici);

aver accoppiato ogni drone fisico con le traiettorie dello show;

che tutti i droni siano disposti nella corretta posizione di partenza;

che tutti i droni siano allineati correttamente;

alcuni suggerimenti sono presentati di seguito basati sull'esperienza maturata nella preparazione e gestione sul campo del sistema completo.

Delineare sul suolo le posizioni di partenza in base all'origine e orientamento dello show definito e posizionare i droni sulle posizioni marcate. Accendere i droni per consentire alla GCS di acquisire la loro posizione attuale. Se tutti i droni sono trovati dal sistema e hanno un errore di posizione sufficientemente contenuto, premendo il pulsante "Finding optimal mapping" permette di far assegnare in modo automatico ad ogni drone l'ottimale posizione di partenza e la traiettoria di show. Alternativamente, è possibile creare un mappaggio manuale, usando il mapping tool presente nel pannello UAVs.

Se tutti i droni sono riconosciuti e hanno superato i requisiti descritti, comparirà "OK" a fianco a ogni elemento della lista della finestra "Takeoff area setup".

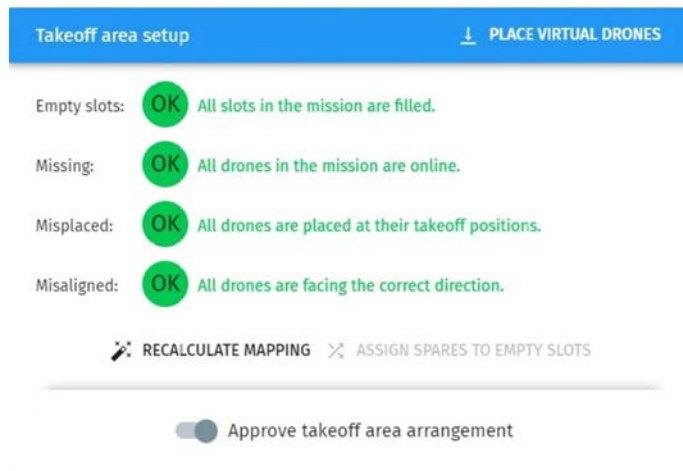
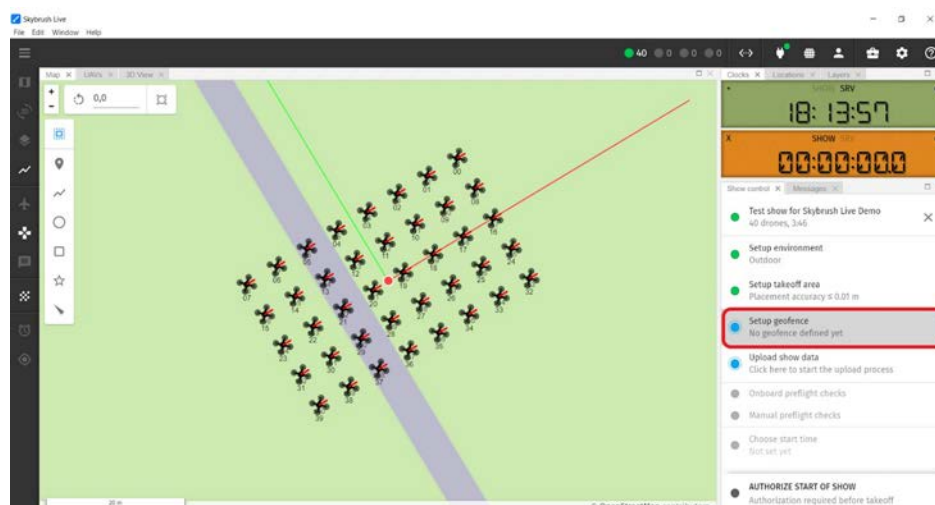


Fig. 7.4.4.6 - finestra Takeoff area setup

Essendo questo un passaggio critico dato che uno scorretto allineamento può causare incidenti, per procedere, è utile provvedere ad una verifica manuale del corretto posizionamento dei droni.

7.4.4.5 Impostare il geofence

Per assicurare la sicurezza all'operazione aerea, un geofence poligonale e un limite di altezza può essere definito per ogni missione e che può essere scritto successivamente su tutti i droni. Se le traiettorie dello show sono state caricate, il geofence può essere calcolato in automatico usando l'elemento "Setup geofence" nella lista dei prerequisiti di volo, che apre il pannello Geofence.

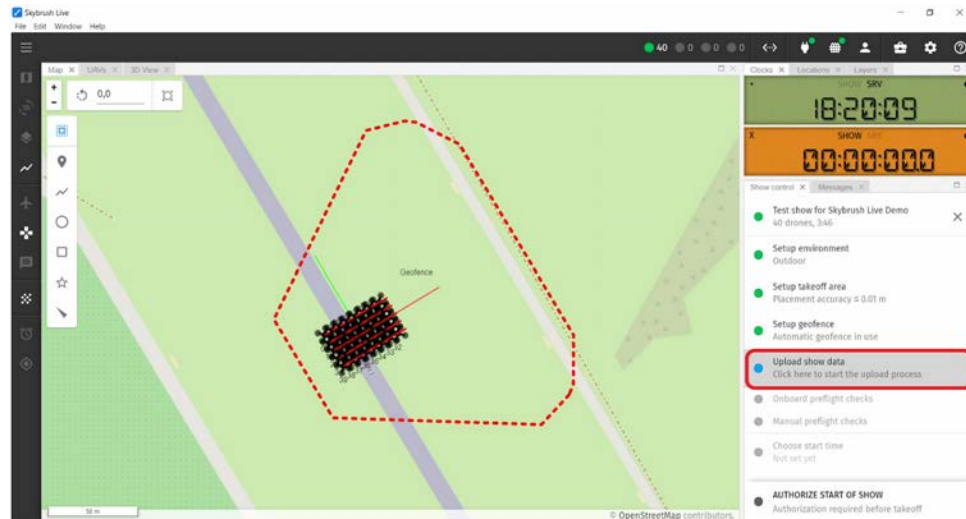


Se il geofence è creato correttamente, appare sulla mappa come un poligono con una linea tratteggiata rossa.

7.4.4.6 Caricamento della missione sui droni

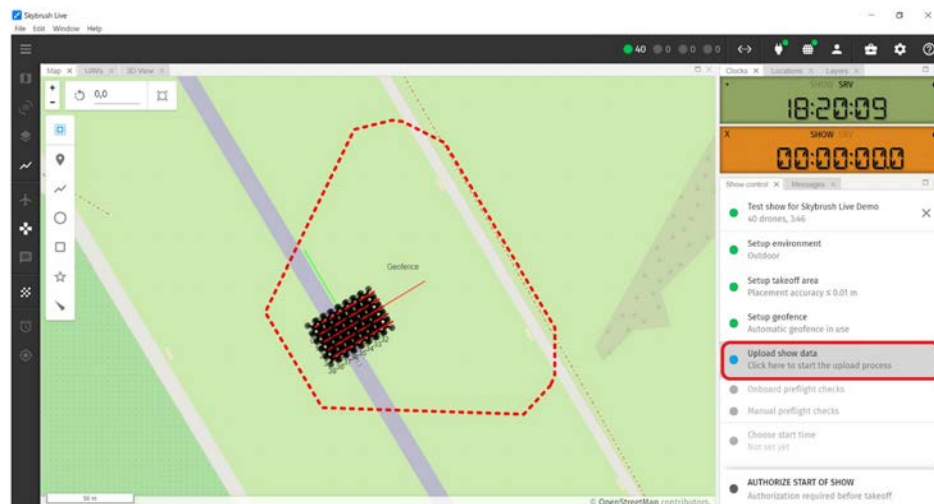
L'elemento successivo "Upload show data" nella lista dei requisiti al volo, permette di scrivere il contenuto dello show sui droni. Questo passaggio può richiedere un certo tempo di esecuzione dipendente dal numero dei droni e dalla qualità della connessione WiFi.

Si può verificare l'avanzamento sulla finestra contestuale e si attende il messaggio "Upload finished successfully" prima di chiudere la finestra.



7.4.4.7 Approvazione dei controlli prevolo

Skybrush Server verifica in continuazione lo stato dei droni e rileva i problemi che devono essere risolti. Lo stato complessivo dei controlli automatici prevolo sono sintetizzati premendo l'elemento "Onboard preflight checks" nella lista degli elementi prevolo.



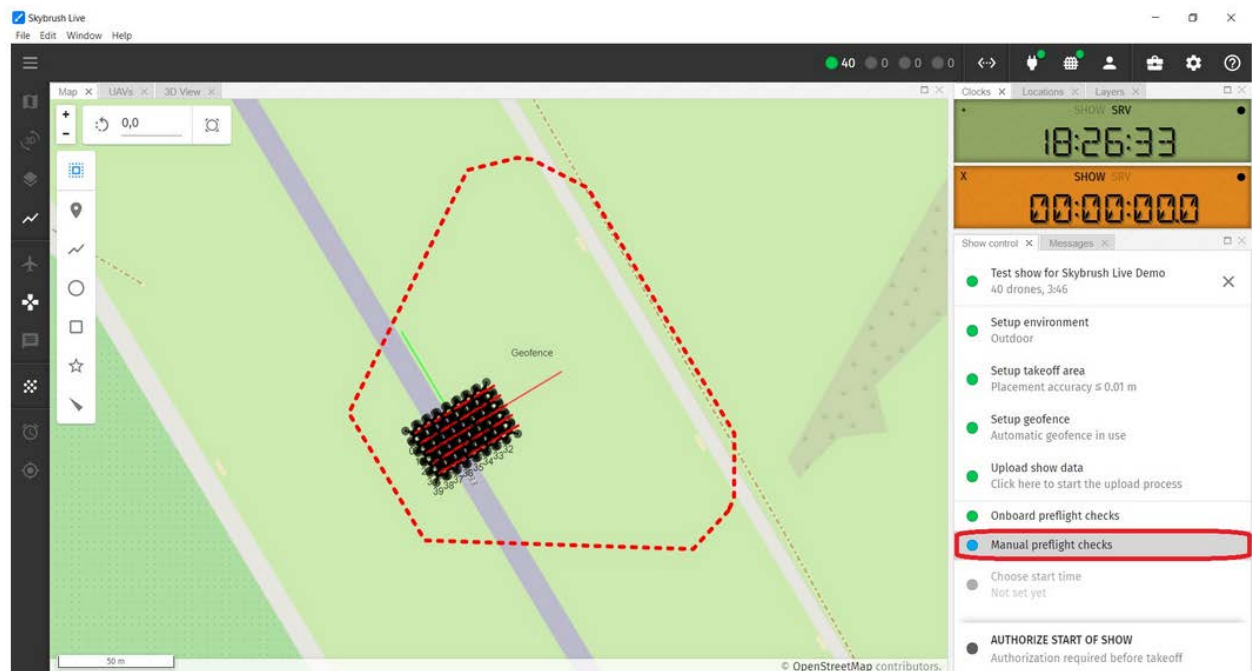
Aperto il pannello "UAVs" è possibile verificare lo stato individuale dei droni in dettaglio.

Lo stato delle verifiche pre volo deve essere manualmente approvato dall'operatore per procedere.

7.4.4.8 Verifiche manuali di prevolo

Le operazioni con sciami di droni implicano potenzialmente alti rischi dovendosi confrontare con le caratteristiche del sito e le condizioni tecniche, che devono essere verificate prima del volo per assicurare gli standard di sicurezza necessari. La verifica manuale rappresenta l'ultimo elemento dei controlli prevolo, si attiva premendo sul tasto "Manual preflight checks" e apre una lista, configurabile, di condizioni che devono essere verificate dall'operatore umano.

Se tutti i controlli manuali della lista sono verificati si approva manualmente lo stato generale.



7.4.4.9 Impostare l'orario di inizio

Per permettere la sincronizzazione precisa con altri eventi esterni allo show (per esempio come luci, musica) bisogna impostare un tempo di inizio dello show. A questo compito risponde l'elemento "Choose start time" della lista provolo.

Questo elemento apre una finestra in cui è possibile settare l'orario di inizio ed inoltre è possibile selezionare la modalità per far iniziare lo spettacolo: manualmente tramite la radio rc con un selettore configurato appositamente o automaticamente con l'orologio di Skybrush Live.

L'utilizzo della radio remota è l'opzione più sicura, ma richiede la sincronizzazione manuale dell'azione all'orario di inizio dello show.

 **No start time is set at the moment.**

SET THE START TIME OF THE SHOW BELOW

Start date
2021-02-26

Start time
14:18:00

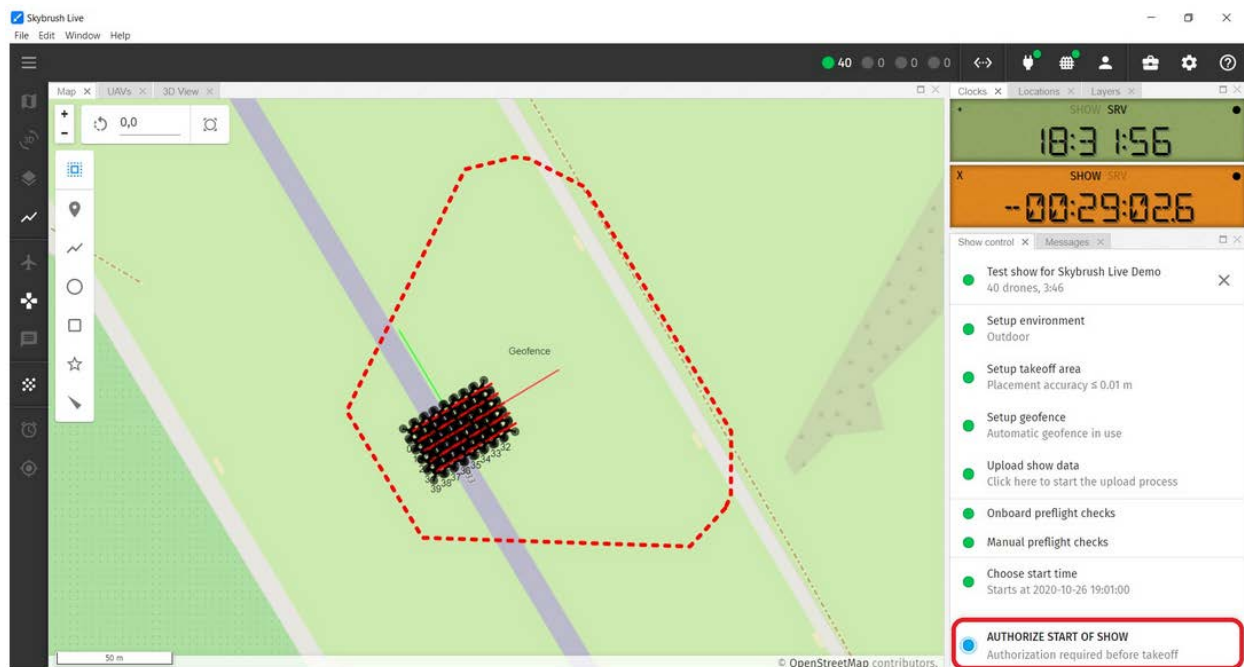
Suggestions: +30s +60s 13:51 13:55 14:00 14:30

Start signal
Start show with remote controller only (safer)

RESET UPDATE

7.4.4.10 Autorizzazione all'inizio dello spettacolo

E' prevista prima del decollo dei droni un'ultima autorizzazione finale. Premuto il tasto "Authorize start of show" i droni avvieranno il loro decollo in automatico all'orario di inizio stabilito. Per revocare il decollo premere il medesimo pulsante nuovamente.



7.4.4.11 Partenza dello spettacolo

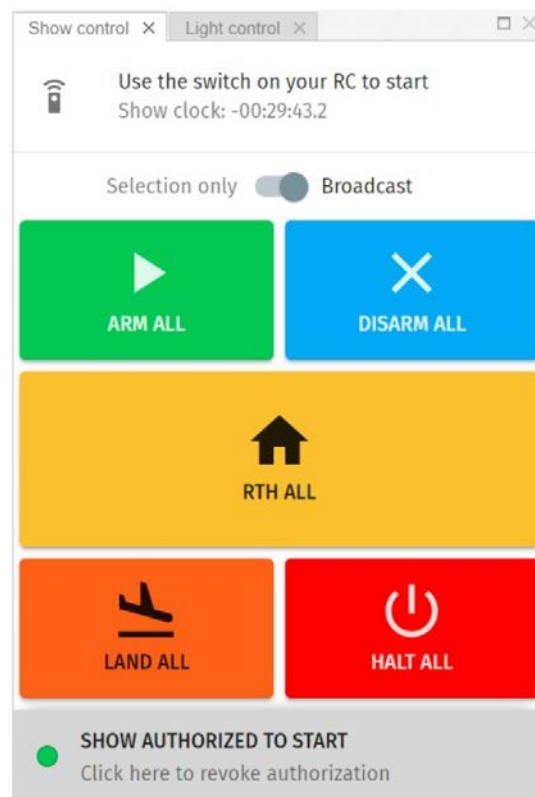
Sia nell'opzione che lo spettacolo inizi automaticamente con Skybush o sia comandato manualmente con la radio rc bisogna impostare i droni in modalità show, diversamente i droni non decolleranno per eseguire la coreografia. La modalità di volo show è impostabile con la radio rc o automaticamente, all'accensione del drone o dall'autorizzazione dello show.

I droni aggiornano in automatico le loro posizione di home con la loro posizione mentre sono a terra nelle seguenti situazioni:

- Quando la modalità di show finisce la fase preparatoria;
- ogni volta che il pulsante (Authorize show mode) è premuto in modalità SHOW;
- prima del decollo.

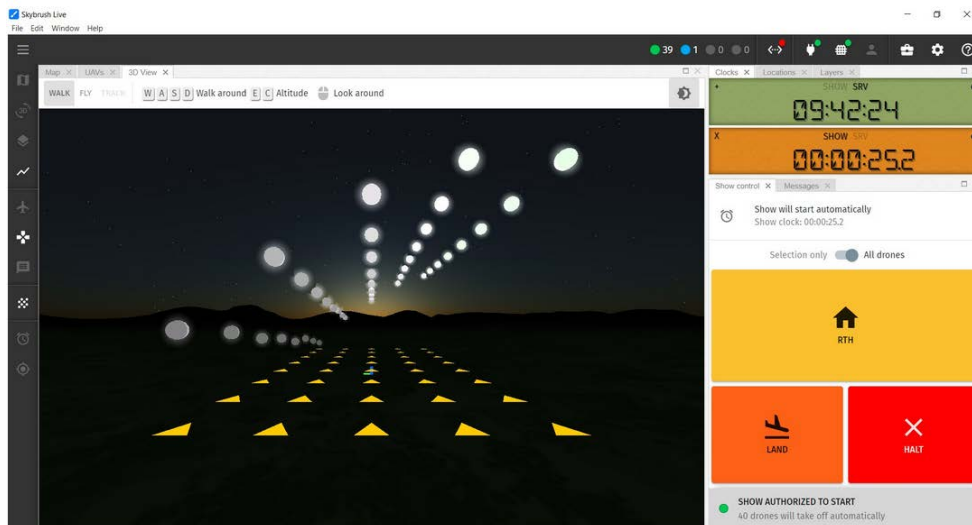
Questa procedura assicura che i droni ritornino alla postazione corretta in caso di emergenza e inoltre assicura che l'altitudine sopra il suolo (AGL) non diverga dalla 0 durante l'attesa a terra.

Premuto il pulsante di autorizzazione dello spettacolo, si attiva la modalità di controllo con le informazioni relative alla partenza dello spettacolo e presenta un'interfaccia con grossi pulsanti di controllo. Con l'impostazione di inizio con l'attuatore dalla radio rc, bisogna azionare il selettore manualmente quando l'orario dello show mostra 0. Per l'utilizzo dell'interfaccia di Skybrush bisogna avere una adeguata connessione WiFi per raggiungere tutti i droni.



I pulsanti permettono di armare, disarmare tutti i droni o solo quelli selezionati, comandarli al ritorno a casa, farli atterrare dalla posizione corrente o azionare il terminatore di volo globale (HALT ALL).

Durante il volo è possibile usare il pannello 3D View per osservare la posizione attuale e i colori dei droni in una visuale tridimensionale.



7.4.4.12 Glossario Skybrush Live

ID drone

L'ID del drone è un ID fisico univoco fisso che consente l'identificazione permanente del drone nello sciame. È diverso dall'ID dello spettacolo, che è un valore temporaneo che definisce a quale traiettoria di spettacolo è assegnato un determinato drone.

Orientamento della mappa locale

L'orientamento della mappa locale definisce la direzione dell'asse x positivo del sistema di coordinate relativo (Terra piatta locale) (di solito in gradi in senso orario da Nord (0=Nord, 90=Est, 180=Sud, 270=Ovest)). L'orientamento della mappa locale insieme all'origine della mappa locale può essere utilizzato per misurare distanze e orientamenti sulla visualizzazione della mappa o per esprimere le coordinate del drone in metri leggibili dall'uomo dall'origine lungo direzioni specifiche anziché coordinate assolute.

Origine della mappa locale

L'origine della mappa locale è un insieme di coordinate geodetiche (latitudine, longitudine), che definiscono un comodo sistema di coordinate relative (Terra piatta locale) per tutti i tipi di esigenze di misurazione. L'origine della mappa locale insieme all'orientamento della mappa locale può essere utilizzata per misurare distanze e orientamenti sulla visualizzazione della

mappa o per esprimere le coordinate del drone in metri leggibili dall'uomo dall'origine lungo direzioni specifiche anziché coordinate assolute.

Modalità di volo

Il firmware di basso livello dei droni offre diverse modalità di volo, che determinano il comportamento generale dei droni. Tali modalità di volo sono il mantenimento della posizione, il ritorno a casa, l'atterraggio o lo spettacolo (che è la nostra modalità personalizzata per l'esecuzione di spettacoli di droni).

GCS

Stazione di controllo a terra

ID fisico

Vedi ID drone.

RTH

Tornare a casa

RTK

Cinematica in tempo reale (posizionamento)

Orario del server

L'ora del server è l'ora assoluta effettiva di Skybrush Server. L'ora del server deve essere sempre sincronizzata con l'UTC nel fuso orario preferito. L'ora del server viene visualizzata nel pannello Orologi (abbreviato come SRV nell'elenco degli orologi).

Modalità volo SHOW

La modalità di volo personalizzata in cui vengono eseguiti gli spettacoli dei droni.

ID Spettacolo

Ogni drone ha un ID fisico permanente (a volte chiamato ID drone) e un ID spettacolo specifico per la missione. Quest'ultimo definisce quale traiettoria di spettacolo è assegnata al dato drone nel volo sciamante effettivo. Le rappresentazioni Show ID sono sempre precedute da una "s" per evitare confusione (ad es. s05).

Mostra orientamento

Mostra orientamento definisce la direzione dell'asse x positivo del sistema di coordinate dello spettacolo (di solito in gradi in senso orario da Nord (0=Nord, 90=Est, 180=Sud, 270=Ovest)).

Se l'orientamento dello spettacolo viene modificato, le traiettorie dello spettacolo verranno ruotate con il relativo valore attorno all'origine dello spettacolo.

Mostra origine

L'origine dello spettacolo è un insieme di coordinate geodetiche (latitudine e longitudine), che definiscono l'origine assoluta dello spettacolo. Se l'origine dello spettacolo viene spostata, l'intero spettacolo si sposterà di conseguenza. L'origine dello spettacolo dovrebbe essere impostata insieme all'orientamento dello spettacolo per ottenere il corretto posizionamento del tuo spettacolo sul campo reale.

Orario dello spettacolo

L'ora dello spettacolo è un'istanza di tempo relativa all'inizio dello spettacolo. Può essere negativo (prima dello spettacolo) o positivo (dopo l'inizio dello spettacolo). L'inizio dello spettacolo può essere impostato nel controllo Mostra su un valore di tempo assoluto predefinito. Show time viene visualizzato nel pannello Orologi (abbreviato come SHOW nell'elenco degli orologi).

Server Skybrush

Skybrush Server è la parte di backend di Skybrush che si collega ai tuoi droni, alla tua stazione base RTK e ad altri accessori hardware che potrebbero essere necessari per le tue missioni. Assicura la comunicazione fluida tra tutti gli elementi hardware e i client Skybrush Live o Skybrush Sidekick collegati. Skybrush Server è in esecuzione sullo stesso computer di uno dei client o su un dispositivo HW locale dedicato o nel cloud.

SKYC

.skyc sta per formato Skybrush Compiled. È il nostro tipo di file di definizione dello spettacolo più comune che contiene tutte le informazioni relative a uno spettacolo di droni (tutte le traiettorie dei droni e animazioni luminose, eventi pirotecnici, definizioni di geofence suggerite, musica, note del progettista per gli operatori ecc.). Il formato .skyc è completamente supportato da Skybrush Studio, la nostra suite di designer di spettacoli standalone, ma forniamo plug-in di esportazione .skyc per la maggior parte dei noti software di animazione (Blender, 3DSMax, Maya, Houdini).

Sidekick app

L'applicazione Sidekick viene utilizzata per fornire un secondo canale radio completamente indipendente che non dipende dal server, ma non è necessario per i test. Una delle configurazioni possibili ha due canali di comunicazione, il wifi e la radio. La domanda è dove si inserisce il dongle radio della GCS. Se viene connesso nello stesso computer di quello che esegue il server, allora non è un canale veramente indipendente perché il guasto di quel computer farebbe cadere entrambi i canali di comunicazione. Pertanto, se si desidera un canale ridondante veramente indipendente, si ha bisogno di un secondo computer, si installa Sidekick

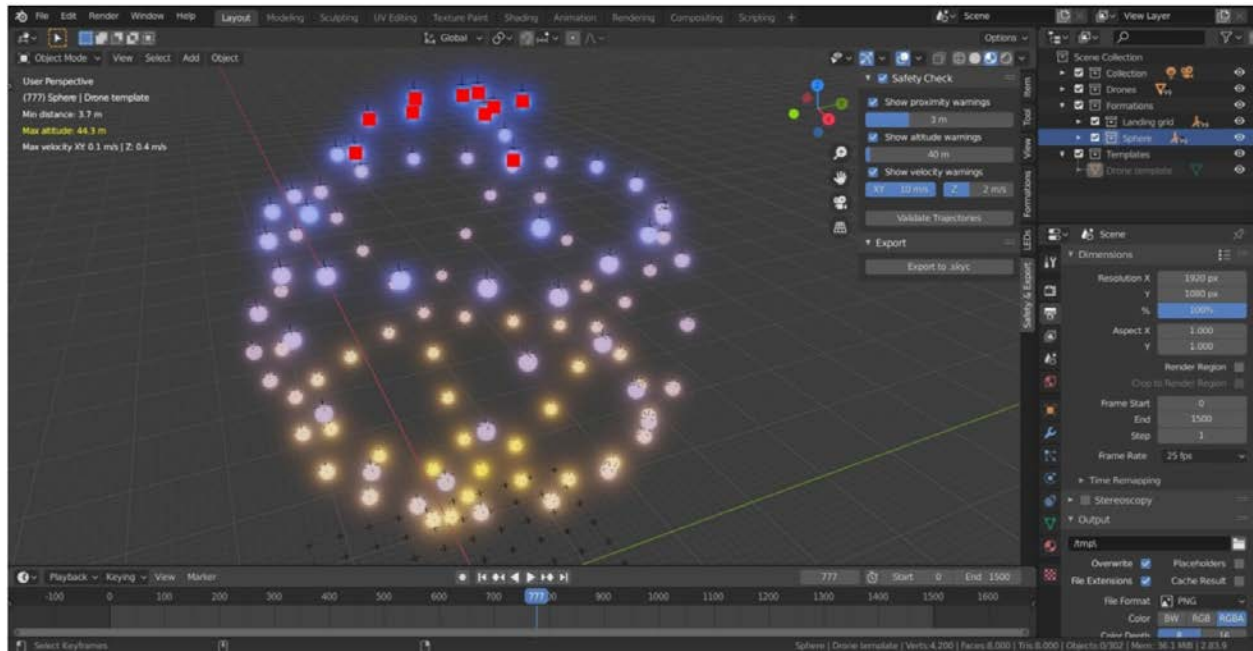
su di esso e si inserisce la chiavetta radio nel secondo computer. Sidekick può connettersi al server per ricevere informazioni di stato di base e correzioni RTK, che inoltrerà ai droni e puoi utilizzare Sidekick per inviare comandi di base ai droni in qualsiasi momento, senza fare affidamento sul primo computer e sul server sul quale è in esecuzione.

7.5 Aerial Design con Skybrush studio

7.5.1 Panoramica

La nuova fase della ricerca inaugurata con lo sviluppo della modalità offline con la collaborazione col gruppo di ricerca ungherese ha portato anche a una ridefinizione dello strumento di Design per le comunicazioni luminose con progetti aperti. Grazie all'esperienza maturata da questa ricerca con la creazione di un plugin per il software Cinema4D si è iniziato lo sviluppo congiunto di uno strumento professionale per il Design dell Aerial Media integrato nel software di animazione 3D Open Source Blender. Il nome di questo nuovo strumento è Skybrush Studio e va a completare fa parte della suite Skybrush, una soluzione software integrata per la progettazione, la visualizzazione, il test e la consegna di spettacoli di luci con droni sia per l'uso in ambienti interni che esterni. Skybrush è stato costruito da zero basato sul progetto aperto Ardupilot e integrato con la tecnologia hardware Luminousbees. Ha una solida architettura e un'interfaccia utente pulita e intuitiva, incorpora le esperienze raccolte durante dieci anni di ricerca sugli sciame di droni, nonché tutte le esperienze acquisite sul campo durante il funzionamento di spettacoli di droni dal 2015.

Skybrush Studio per Blender, che è un'implementazione dei moduli e di funzioni in una suite di creazione 3D open source.



Skybrush Studio per Blender è uno strumento indipendente dalla piattaforma, come Blender, la procedura di installazione è la stessa per Linux, macOS e Windows.

7.5.2 Caratteristiche principali

Formazioni

- Strumenti intelligenti per la creazione di formazioni statiche/dinamiche
- Facile integrazione di animazioni 3D interne o esterne
- Transizioni automatiche tra le formazioni
- Decollo intelligente, ritorno a casa e atterraggio

Luci

- Strumenti di progettazione di animazione dedicati a colori per le luci
- Ampia varietà di effetti di luce a livello di sciame

Sincronizzazione eventi

- Lo storyboard definisce la timeline dello spettacolo dei droni
- Lo storyboard e gli effetti di luce sono parametrizzati per regolazioni temporali fluide
- Facile integrazione e sincronizzazione con la musica
- Supporto MIDI Time Code durante l'esecuzione dello spettacolo drone in Skybrush Live

Sicurezza

- Pianificazione del percorso con velocità e accelerazione uniformi
- Controlli in tempo reale di velocità, altitudine e prossimità
- Feedback visivo integrato sugli avvisi di sicurezza in tempo reale
- Grafici interattivi e zoomabili di velocità, altitudine e prossimità

Esportazione e compatibilità

- Compatibile con Skybrush Viewer (anteprima 3D interattiva standalone con musica, verifica, VR e supporto cloud/browser per anteprime client facili e pulite)
- Compatibile con Skybrush Live per la gestione professionale degli spettacoli di droni (mappa 2D, visualizzazione 3D, visualizzazione elenco, visualizzazione compressa, dettagli e controlli individuali e di flotta, supporto RTK, geofence, mappatura automatica e molto altro)
- Gli spettacoli possono essere esportati nel formato dello spettacolo compilato da Skybrush (preferito) o come posizioni campionate e colori RGB con un FPS fisso in formato CSV per un'ulteriore post-elaborazione con strumenti esterni

7.5.3 Concetti chiave

In questo capitolo sono presentate le convenzioni di base e i concetti chiave di Skybrush Studio per Blender in modo da poter iniziare a progettare uno spettacolo di droni da zero nel modo più fluido possibile.

Unità

Le unità spaziali di Blender sono definite come metri. Fare riferimento al manuale di Blender per impostare il sistema di unità metriche. Le unità di tempo in Blender sono da impostare in secondi. E' possibile utilizzare qualsiasi framerate conveniente che si desidera, è importante assicurarsi che sia divisibile con il frame rate di output desiderato per le traiettorie (ad esempio, 24 FPS → 4 FPS o 25 FPS → 5 FPS). Il loop di controllo interno dei droni funziona a 1 kHz, 400 Hz o 100 Hz, quindi è consigliabile utilizzare 25 FPS anziché 24 per assicurarsi che la traiettoria e i campioni di luce si allineino bene con il loop di controllo del drone.

Mappatura del tempo

Blender usa il tempo relativo e questo viene preservato anche nei file show compilati esportati da Skybrush. L'orario di inizio effettivo di uno spettacolo di droni (nell'ora dell'orologio) verrà impostato durante la fase di esecuzione in seguito in Skybrush Live.

E' necessario che l'inizio della scena sia configurato come 0, non 1. Il fotogramma 0 in Blender sarà il tempo relativo 0 s nell'output .skyc in tutti i casi, indipendentemente dall'intervallo di fotogrammi che si esporta.

Sistema di coordinate

Blender utilizza un sistema di coordinate relativo con gli assi X, Y e Z. Il mondo reale ha le direzioni Nord-Sud, Est-Ovest e Su-Giù in coordinate geodetiche (latitudine, longitudine, altitudine).

La mappatura da coordinate relative a reali è gestita da Skybrush Live durante l'effettiva configurazione dello spettacolo di droni secondo le seguenti regole:

L'origine (0, 0, 0) in Blender sarà mappata su una cosiddetta origine dello spettacolo in Skybrush Live. Questo può essere spostato liberamente nel tuo sistema di coordinate geodetiche sulla mappa o può essere impostato su un valore specifico desiderato.

Gli assi X, Y e Z verranno mappati alle direzioni relative di fronte, sinistra e alto, rispettivamente, dove il fronte sarà chiamato orientamento dello spettacolo, che può essere ruotato liberamente in Skybrush Live.

Il livello del suolo è sempre a $Z = 0$.

La tabella seguente riassume tutte le mappature tra il sistema di coordinate relativo e assoluto.

Tabella 1. Mappatura tra sistemi di coordinate relative e geodetiche

Skybrush Studio per Blender	Skybrush Live
(coordinate relative)	(coordinate assolute/geodetiche)
(0, 0, 0)	Origine spettacolo
X	Avanti (orientamento spettacolo)
Y	sinistra
Z	alto
Z = 0	Livello terreno

La griglia di decollo

Un tipico spettacolo di droni inizia con i droni disposti in uno schema a griglia sul terreno. La spaziatura della griglia è solitamente compresa tra 2 e 4 metri, anche se può essere anche ridotta in aree urbane affollate dove è difficile trovare grandi spazi aperti. Skybrush Studio for Blender posizionerà i droni in una griglia normale dell' impostazione predefinita, ma è possibile regolare liberamente le posizioni iniziali dei droni secondo necessità per adattare la griglia di decollo ai requisiti dell'area in cui verrà eseguito lo spettacolo.

Formazioni e transizioni

La maggior parte degli spettacoli di droni si alternano tra la visualizzazione di formazioni statiche o dinamiche (dove i droni sono disposti in modelli che ricordano forme familiari, oggetti, animali o loghi aziendali) e l'esecuzione di transizioni tra le formazioni. Le formazioni sono progettate e coreografate artisticamente, mentre le transizioni sono tipicamente calcolate da un algoritmo di pianificazione del percorso che sa come far muovere i droni dalla fine di una formazione all'inizio della formazione successiva mantenendo le distanze di sicurezza tra i droni per evitare collisioni. In Skybrush Studio per Blender, le formazioni sono memorizzate come sotto-raccolte in una collezione di primo livello denominata Formazioni. Questa è una convenzione alla quale attenersi; Skybrush Studio cercherà sempre questa raccolta per nome e ne creerà una se non esiste ancora. Bisogna fare attenzione a non rinominare questa raccolta. Ogni sotto-collezione della collezione Formations è una formazione individuale, anch'essa identificata principalmente dal suo nome, bisogna assicurarsi di utilizzare nomi univoci. Gli oggetti in una formazione possono essere:

- Vuoti, ogni mesh vuota rappresenta una posizione desiderata di un singolo drone nella formazione
- Mesh, ogni mesh rappresenta una posizione desiderata di un singolo drone nella formazione
- Mesh con un gruppo di vertici dedicato chiamato Drones, nel qual caso la posizione della mesh viene ignorata ma ogni vertice nel gruppo di vertici indica una posizione desiderata di un drone nella formazione

Le posizioni desiderate dei droni all'interno di una formazione si chiamano marker. I marker possono essere le origini di mesh vuote o non vuote, oppure i vertici in un gruppo di vertici dedicato di una mesh. È possibile mescolare i tre tipi di marker all'interno di una singola formazione, anche se il caso più comune è che si abbia un numero di vuoti in una formazione o una singola mesh in cui un sottoinsieme di vertici della mesh è posizionato in un gruppo di vertice chiamato Droni.

Lo storyboard

Skybrush Studio per Blender organizza le formazioni in un elenco chiamato storyboard dello spettacolo. Ogni voce nello storyboard consiste in un fotogramma iniziale in cui la formazione dovrebbe apparire in cielo, una durata e un riferimento a una delle formazioni nella raccolta Formazioni. Le voci non possono sovrapporsi tra loro e si dovrebbe garantire che ci sia abbastanza tempo tra le formazioni per eseguire una transizione. In uno spettacolo tipico, le transizioni durano tra i 15 e i 30 secondi, a seconda della velocità massima dei droni e delle dimensioni delle formazioni.

Quando la sequenza temporale dello spettacolo si trova all'interno del fotogramma iniziale e finale di una voce dello storyboard, Skybrush Studio per Blender garantisce che i droni seguano i marcatori di formazione utilizzando i vincoli standard di Blender. Quando la timeline dello spettacolo è tra due formazioni, Skybrush Studio per Blender animerà automaticamente i parametri di influenza di questi vincoli per far volare i droni da una formazione all'altra. L'assegnazione tra droni e marker viene calcolata su Skybrush Studio Server quando si fa clic sul pulsante *Ricalcola transizioni* nel pannello dello storyboard.

Ritorno a casa e atterraggio

Uno spettacolo di droni non finisce con l'ultima formazione visibile in cielo, bisogna anche riportare i droni nell'area di decollo in modo sicuro. Questo viene in genere fatto in due parti: la manovra di ritorno a casa (RTH) fa tornare i droni sopra l'area di decollo a un'altitudine designata (tipicamente tra 10-20 metri), mentre la manovra di atterraggio li fa atterrare in linea verticale. In Skybrush Studio per Blender, la manovra RTH è semplicemente trattata come una transizione verso una formazione extra in cui le posizioni desiderate dei droni sono disposte in una griglia identica alla griglia di decollo, sollevata di 10-20 metri dal suolo. La manovra di atterraggio è facoltativa; il firmware in esecuzione sui droni compatibili con Skybrush farà atterrare automaticamente i droni quando raggiungono la fine delle traiettorie dello spettacolo, quindi è sufficiente progettare la manovra RTH.

Non è garantito che ogni drone atterrerà nella stessa posizione da cui è decollato. Nella stragrande maggioranza dei casi, atterreranno in una posizione diversa della griglia. Questo è intenzionale; le traiettorie sicure e prive di collisioni sono più facili e veloci da progettare quando il software è libero di scegliere come i droni dovrebbero occupare le posizioni di atterraggio.

Impostazioni utili per Blender

E' necessario controllare le seguenti impostazioni di Blender prima di iniziare a progettare uno spettacolo di droni:

- impostare il primo fotogramma della scena a 0 (invece del valore predefinito 1)
- impostare la frequenza dei fotogrammi di rendering su un valore conveniente
- se si utilizza un intervallo di frame di anteprima separatamente dall'intervallo di frame di rendering, bisogna assicurarsi che sia abilitato, altrimenti restituirà valori (0, 0) nell'API di Blender che potrebbero causare output errati in alcuni casi
- nella scheda Visualizza nella barra laterale dell'editor 3D Viewport bisogna impostare un comodo valore di inizio e fine clip per rendere visibili i droni durante l'intero spettacolo nel caso in cui si vuole renderizzare lo spettacolo

Di seguito è presentata una guida che illustra la fase di Design attraverso tutti i principali processi coinvolti nella progettazione di spettacoli di droni.

7.6 Guida rapida alla progettazione di spettacoli di droni con Skybrush Studio

Skybrush Studio per Blender è un framework professionale per la progettazione di spettacoli di droni integrato in Blender. Di seguito viene mostrato passo dopo passo come creare uno spettacolo di droni da zero con esso.

7.6.1 Inizializzare il framework dello spettacolo in Blender

Premendo N nell'editor della vista 3D si apre la specifica barra laterale evidenziata in figura 7.4.9.1.

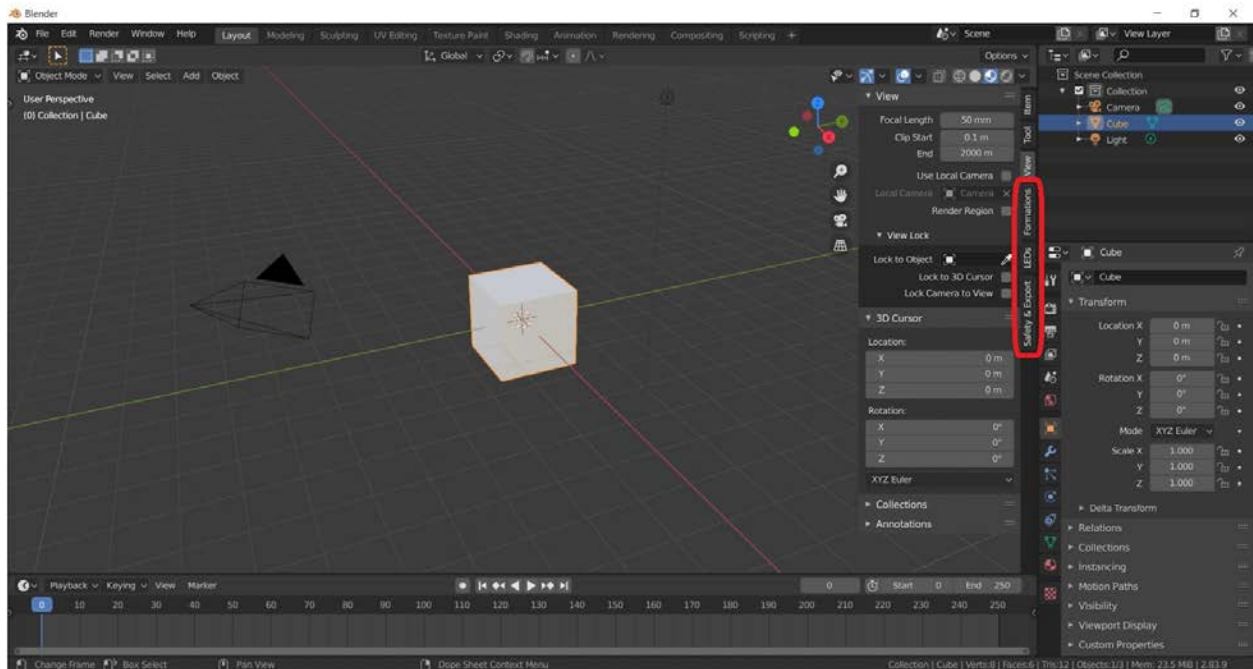


Fig. 7.4.9.1 - cerchiata in rosso la barra laterale di Skybrush Studio

Saranno presenti tre nuove schede relative a Skybrush Studio:

- Scheda Formazioni
- Scheda LED
- Scheda Sicurezza ed esportazione

Queste schede contengono tutti i pannelli, i pulsanti, gli operatori e le funzioni che sono specificamente necessari per la progettazione di spettacoli con droni.

Il primo pannello di interesse è il pannello Sciame nella scheda Formazioni.

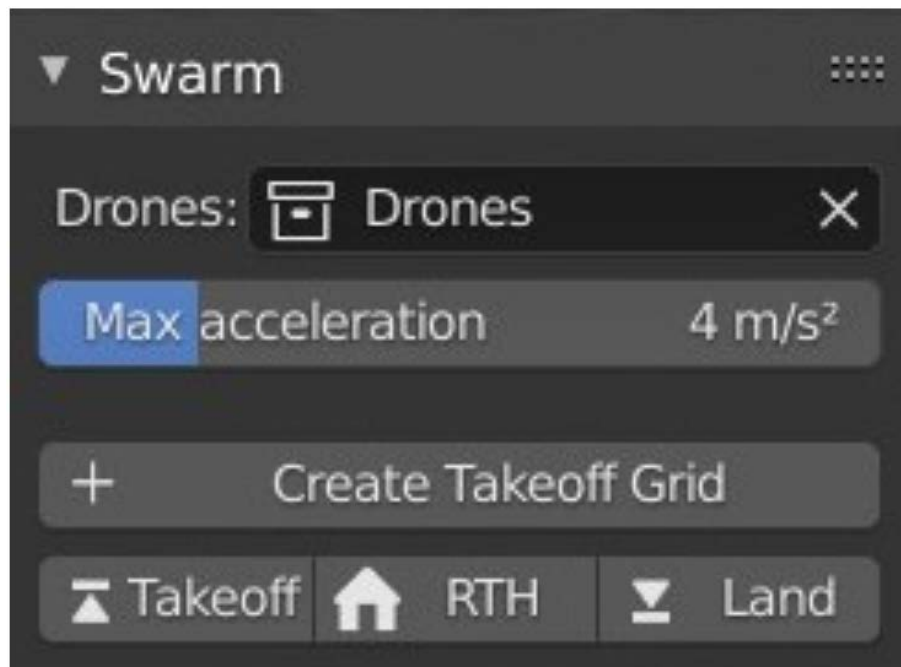


Fig. 7.4.9.11 - pannello Sciame

Per inizializzare lo spettacolo di droni si parte premendo il pulsante Crea griglia di decollo e controllando i parametri nella finestra popup mostrata in figura 7.4.9.12.



Fig. 7.4.9.12 - finestra impostazioni per la griglia di decollo

Impostata la griglia di decollo con i parametri opportuni si preme il tasto OK.

Questo creerà tutte le raccolte specifiche di Skybrush (droni, formazioni e modelli) di cui si avrà bisogno per lo spettacolo di droni, aggiungerà la prima voce "Griglia di decollo" allo storyboard e inizierà anche i droni nell'editor 3D Viewport.

7.6.2 Creazione automatica della procedura di decollo

Gli spettacoli di droni consistono tipicamente in formazioni artistiche e altre parti tecniche che di solito non sono responsabilità dei designer (come il decollo, le transizioni tra le formazioni, il ritorno a casa o la procedura di atterraggio). Skybrush Studio fornisce strumenti automatizzati per la gestione di queste parti, se necessario.

Per far decollare i droni, si preme il pulsante Takeoff sul pannello Swarm e impostando i parametri della procedura di decollo automatico come visibile in figura 7.4.9.13 .

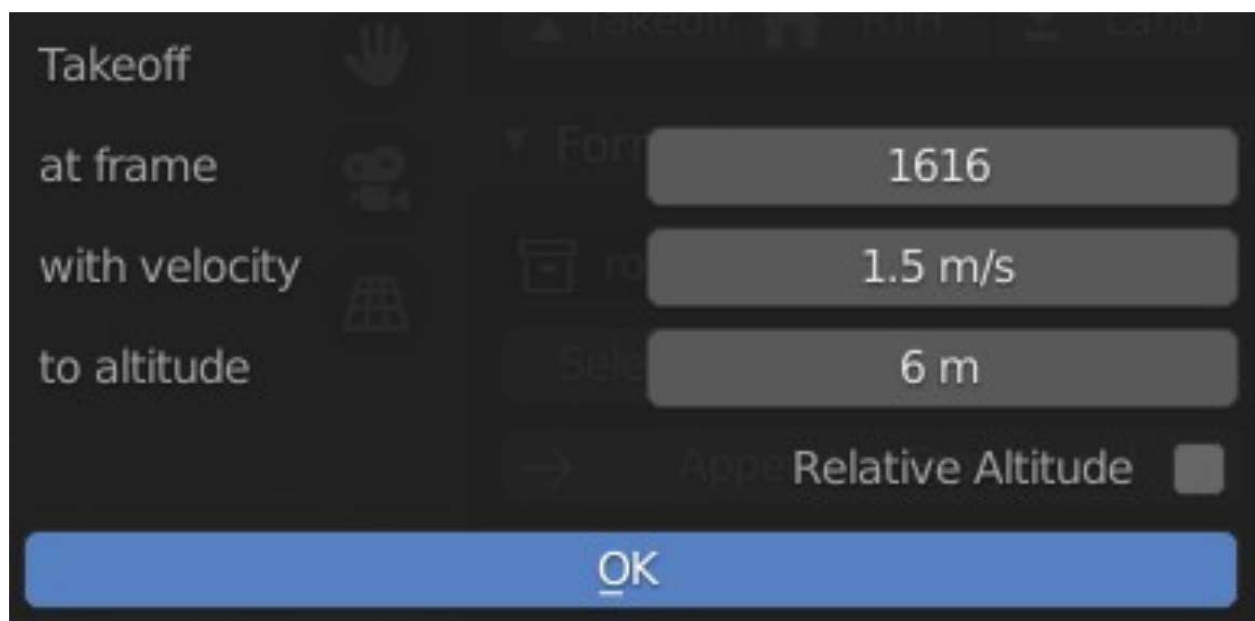


Fig. 7.4.9.13 - *parametri della procedura di decollo*

Dopo aver premuto OK nella finestra popup Decollo, la voce "Decollo" apparirà nel pannello Storyboard come seconda voce.

7.6.3 Creazione delle formazioni

Le formazioni sono parti autonome dello spettacolo finale di droni, costituite da scene statiche o dinamiche (animate).

Il pannello Formazioni (visibile in figura 7.4.9.14) sarà la guida per la progettazione delle formazioni.

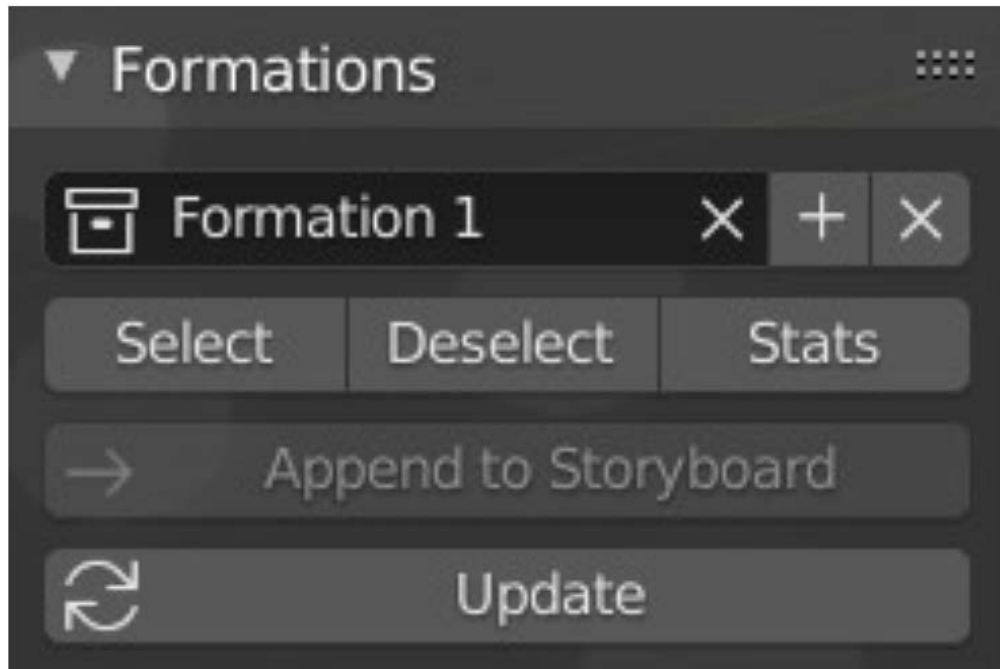


Fig. 7.4.9.14 - pannello Formations

Si usa il pulsante + nel pannello Formazioni per creare una formazione che diventa parte dello spettacolo di droni.

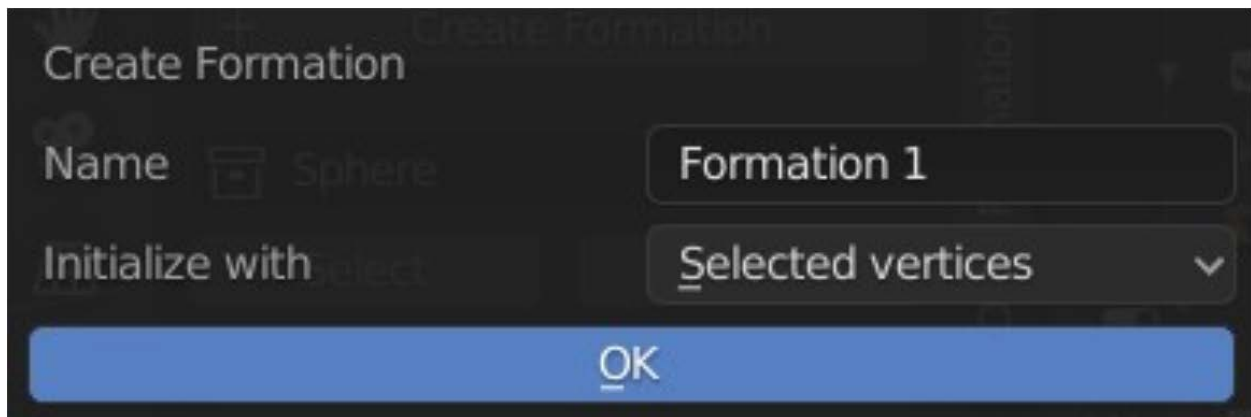


Fig. 7.4.9.15 - pannello di creazione di una nuova formazione

Se si desidera creare formazioni statiche, queste possono essere inizializzate da molti oggetti singoli (un drone per oggetto) o da vertici selezionati di una singola mesh (un drone per vertice).

Se si desidera creare formazioni animate, sono disponibili due opzioni:

1. È possibile creare una formazione statica, che crea mesh vuote in base alle posizioni correnti degli oggetti o dei vertici selezionati o posizionare le mesh stesse nella formazione. C'è una sottile differenza tra le due opzioni: quando la mesh stessa è posizionata nella formazione, è necessario mantenere la mesh nella scena, mentre se si

creano vuoti in base alle mesh o ai vertici selezionati, si può rimuovere le mesh in seguito poiché Sky Brush utilizzerà i vuoti. In genere, se si ha già una mesh animata, questa viene inserita nella formazione e in seguito si passa alla modalità wireframe oppure si nasconde nella vista 3D e nel rendering in modo da vedere solo i droni nel risultato finale. In questo modo l'animazione attaccata alla mesh sarà seguita anche dalla formazione.

2. E' possibile creare un gruppo di vertici da qualsiasi vertice di un oggetto nella modalità Modifica di Blender. Skybrush aggiunge ad ogni mesh una proprietà dedicata che permette di impostare il nome del gruppo di vertici che contiene i vertici che dovrebbero partecipare alla formazione quando la mesh stessa viene posizionata nella formazione. Per convenzione, questo gruppo di vertici è solitamente chiamato Droni, ma è possibile usare qualsiasi altro nome; è importante impostare questo nome nel pannello "Drone Show" della scheda "Object Data Properties" della mesh nell'editor delle proprietà.

Ad ogni modo, bisogna assicurarsi che il numero di marcatori (vertici o oggetti) che si vuole utilizzare in una formazione corrisponda alla dimensione della flotta. Se la formazione utilizza meno marker della dimensione della flotta reale, è necessario integrarla con oggetti marcatori in modo che Skybrush sappia dove inviare i droni extra che non partecipano alla formazione. Se la formazione contiene più marker del numero di droni della flotta, Skybrush avviserà del problema quando si proverà a ricalcolare le transizioni tra le formazioni.

Se si lavora con i vertici in modalità Modifica, gli operatori di Blender "elimina" e "dissolve", "taglia" e "scorri", "decima geometria" e "unisci per distanza" sono gli strumenti utili per creare il numero previsto di vertici in un singolo oggetto.

Si ripete questa fase con tutte le formazioni (scene) che compongono lo spettacolo di droni, creando così una raccolta di formazioni separata per tutte. Queste raccolte saranno tutte elencate nella raccolta Formazioni in Outliner.

7.6.4 Creazione di uno storyboard dalle formazioni

Lo storyboard definisce la struttura temporale dello spettacolo di droni, costituita da formazioni che si susseguono, con transizioni automatiche o manuali tra di loro.

Si apre il pannello Storyboard nella scheda Formazioni visibile in figura 7.4.9.16

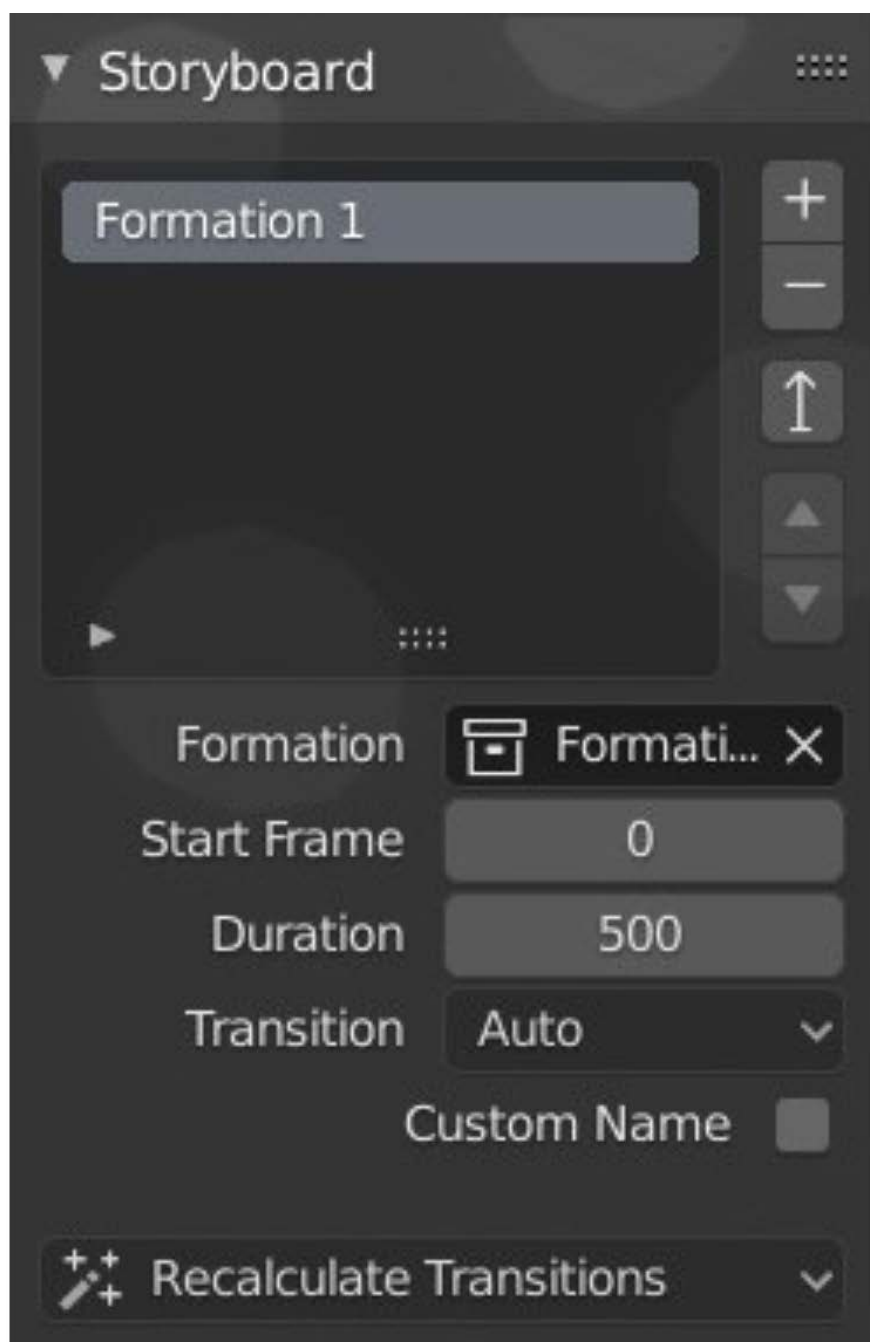


Fig. 7.4.9.16 - pannello *Formations*

Si aggiungono le formazioni allo Storyboard, per ognuna è necessario definire l'ora di inizio e la durata. Impostando il tipo di transizione su Auto si consente a Skybrush di tentare di calcolare le transizioni tra di loro.

Bisogna assicurarsi che gli intervalli di tempo delle formazioni non si sovrappongano inoltre è necessario utilizzare un tempo di transizione sufficiente per i droni tra le diverse formazioni nello storyboard. Una transizione tipica è solitamente compresa tra 15 e 30 secondi, a seconda delle dimensioni e della complessità delle formazioni e dei vincoli di velocità e accelerazione.

7.6.5 Crea transizioni automatiche

Si usa il pulsante Ricalcola transizioni nella parte inferiore del pannello Storyboard della scheda Formazioni per creare automaticamente le transizioni ottimali tra le due formazioni. Ciò assicurerà che tutti i droni di una formazione iniziale siano mappati al loro punto di corrispondenza ottimale nella formazione di destinazione.

Durante la creazione delle transizioni, anche i droni nella collezione *Droni* saranno collegati a tutte le formazioni. Determinate le transizioni tra le formazioni la progettazione spaziale, geometria e cinetica è quasi terminata con le parti di servizio e si potrà poi procedere con Design della parte luminosa-cromatica.

7.6.6 Aggiungi il ritorno a casa e l'atterraggio alla fine del tuo spettacolo

Dopo che tutte le formazioni artistiche sono pronte, premi i pulsanti RTH e Land nel pannello Swarm nella scheda Formations per aggiungere procedure automatiche di ritorno a casa e di atterraggio ai droni, nello stesso modo in cui è stata aggiunta la procedura di decollo all'inizio. Le finestre popup per ciascun pulsante sono in grado di impostare opportunamente i parametri di queste funzioni. In caso di successo, le voci corrette appariranno anche alla fine dello storyboard.



Fig. 7.4.9.17 - pannello RTH

7.6.7 Controllo e verifica dell'animazione

Utilizzando il pannello Safety Check nella scheda "Safety & Export" nella barra laterale dell'editor Viewport si abilitano i controlli di verifica in tempo reale sull'animazione.

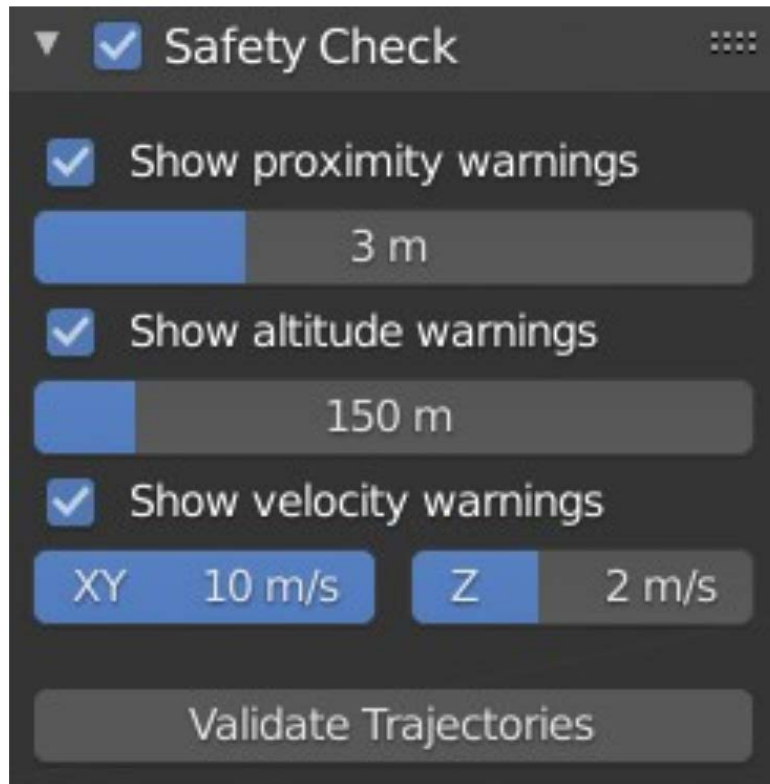


Fig. 7.4.9.18 - pannello *Safety Check*

Bisogna impostare i parametri di sicurezza con valori convenienti e verificare l'animazione osservandone lo svolgimento nell'editor 3D Viewport. I droni e le coppie di droni che non superano i controlli di sicurezza (velocità, altitudine, prossimità) verranno evidenziati in rosso, mentre le informazioni di stato sui risultati della verifica saranno visibili sul lato sinistro della finestra.

Premendo il pulsante *Validate Trajectories* si ottiene una convalida completa per un intervallo di fotogrammi, non solo per un singolo fotogramma (questo potrebbe richiedere del tempo a seconda del numero dei droni usati e del numero di fotogrammi selezionati). I risultati verranno visualizzati in *Skybrush Viewer*, che deve essere presente in esecuzione come applicazione separata sul computer prima di premere il pulsante.

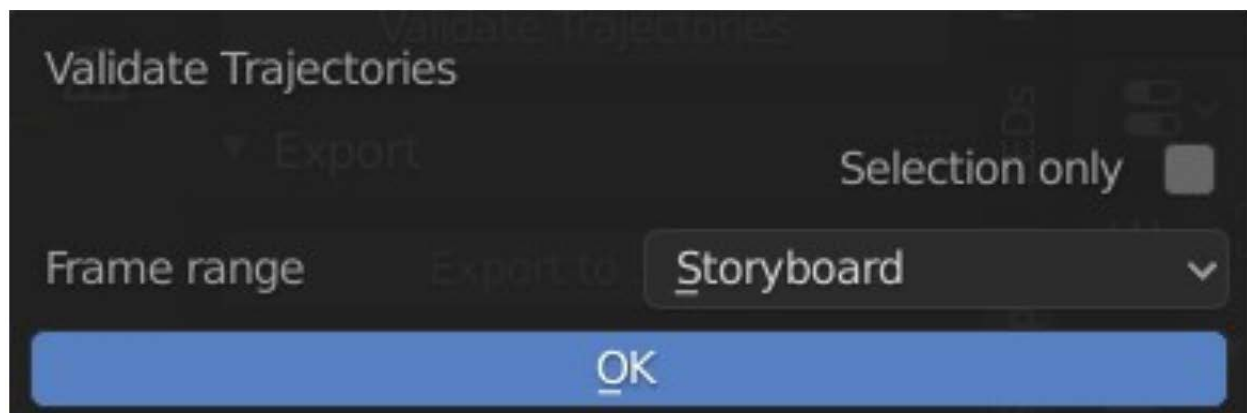


Fig. 7.4.9.18 - pannello *Validate Trajectories*

Se vengono rilevati delle problematiche bisogna correggerle nella progettazione dello spettacolo in modo da eliminare tutti gli avvisi di controllo di sicurezza per garantire la massima sicurezza della missione.

7.6.8 Design luminoso-cromatico

Dopo che tutte le tue animazioni sono state finalizzate e verificate, si usa la scheda LED nella barra laterale dell'editor 3D Viewport per aggiungere animazioni luminose allo spettacolo.

Il primo pannello di interesse per il light design è il LED Control Panel.

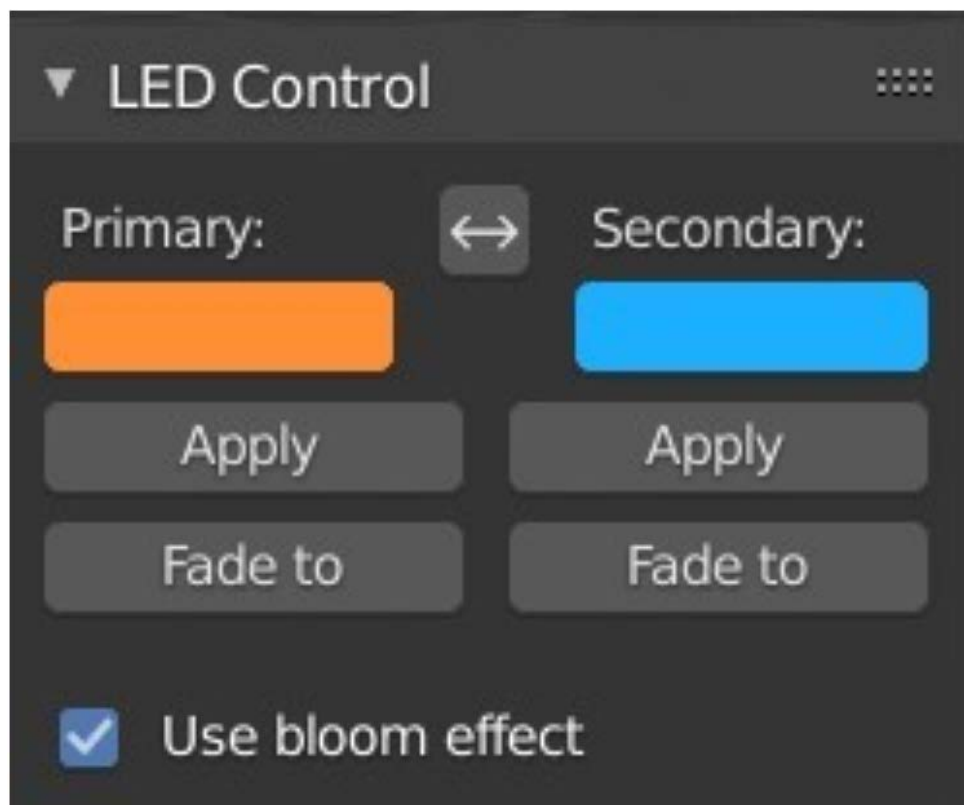
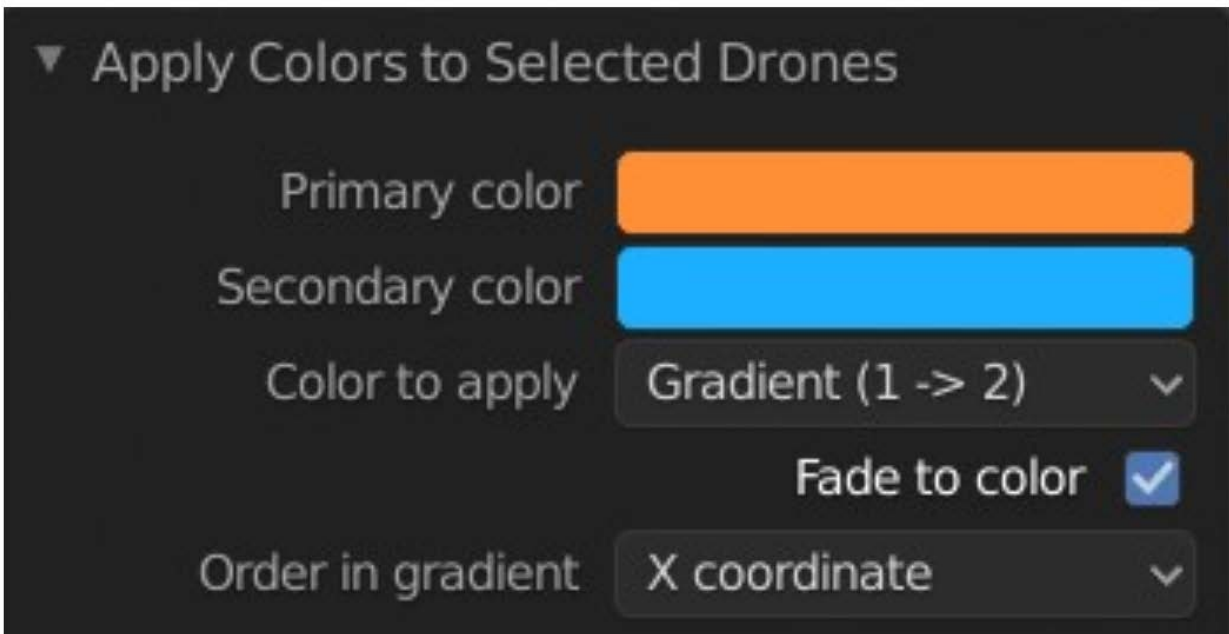


Fig. 7.4.9.18 - pannello *LED control*

Si posiziona la scena nel fotogramma desiderato, si procede selezionando i droni che si desidera dipingere, si seleziona uno o due colori e premendo i pulsanti *Apply* (cambia bruscamente) o *Fade to* (dissolvenza lineare dall'ultimo fotogramma chiave) per aggiungere fotogrammi chiave di animazione del colore ai droni selezionati al frame impostato.



Seleziona due colori distinti nella scheda LED e modifica la proprietà "Color to apply" in una delle opzioni Gradient nel pannello a comparsa per creare schemi di colorazione più spettacolari in base alla selezione della proprietà "Order in gradient".

Come opzione più avanzata, usa il pannello Effetti di luce nella scheda LED per creare effetti di luce parametrizzati più sofisticati per il tuo spettacolo.

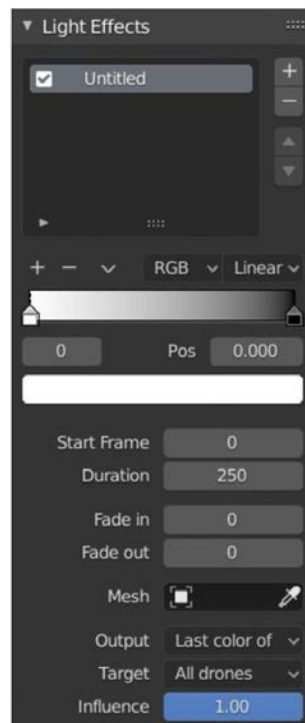


Fig. 7.4.9.19 - pannello *Light Effects*

Gli effetti definiti nel pannello "Light Effects" sono calcolati al volo, fotogramma per fotogramma in Blender, in base a diversi criteri, tra cui le posizioni dei droni e una mesh associata opzionale, quindi è possibile creare effetti di luce dove il colore dipende dalla distanza dei droni da una specifica mesh nella scena o dal fatto che siano all'interno o all'esterno di una mesh invisibile "helper".

7.6.9 Esporta il tuo spettacolo in .skyc

Una volta pronti sia con le animazioni che con il design luminoso, tramite il pulsante "Export to .skyc" del pannello Export nella scheda "Safety & Export" per esportare l'intero spettacolo nel formato dello spettacolo compilato per Skybrush.

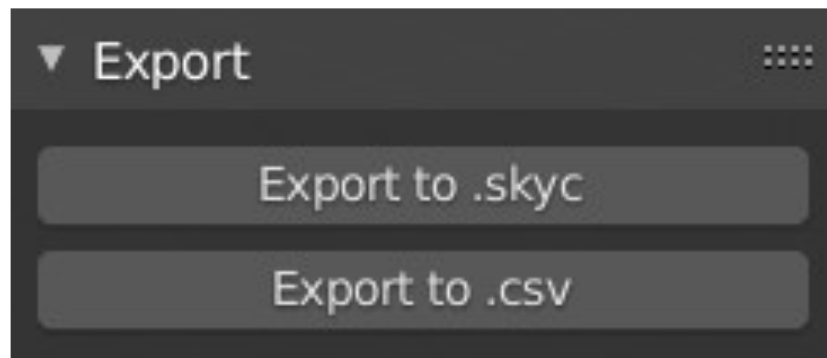


Fig. 7.4.9.20 - *pannello Export*

Il formato dello spettacolo compilato Skybrush è compatibile con altri componenti della suite Skybrush:

- Si usa Skybrush Viewer per visualizzare o verificare il tuo spettacolo o vuoi semplicemente inviare un link con una visualizzazione 3D interattiva dello spettacolo.
- Si usa Skybrush Live per eseguire lo spettacolo di droni sui droni reali.

Il pulsante Esporta in .csv del pannello Esporta consente di campionare le traiettorie del drone e i corrispondenti colori RGB a intervalli regolari e salvarli in un file CSV che è possibile caricare in strumenti esterni per ulteriori elaborazioni.

7.7 Interfaccia utente

Skybrush Studio per Blender crea diversi nuovi pannelli in tre nuove schede nella barra laterale dell'editor 3D Viewport. Queste schede e pannelli contengono tutte le operazioni principali per consentire il design della coreografia.

Per creare il progetto coreografico bisogna utilizzare le capacità e gli strumenti standard di Blender per creare le scene di animazione e utilizzare queste funzionalità per configurare le specifiche richieste di uno spettacolo di droni basato su di esse.

Per facilitare la progettazione della applicazioni di Aerial Media, sono attualmente disponibili le seguenti schede, ciascuna contenente uno o più pannelli correlati:

1. Scheda Formazioni
2. Scheda LED
3. Scheda Sicurezza ed esportazione

7.7.1 Scheda Formations

La scheda Formations nella barra laterale dell'editor 3D Viewport aiuta l'organizzazione delle animazioni e formazioni in uno spettacolo di droni.

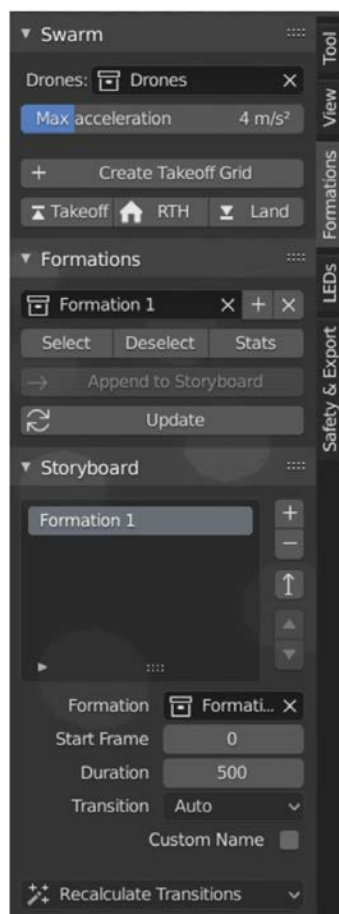


Fig. 7.4.9.10.1 - scheda Formations

La scheda Formazioni contiene tre pannelli:

1. Pannello sciame
2. Pannello formazioni
3. Pannello storyboard

7.7.2 Pannello Swarm

Il pannello dello sciame consente la configurazione dello spettacolo di droni con tutte le parti tecniche che non sono di esclusiva responsabilità del progettista dello spettacolo di droni, come le posizioni iniziali, il decollo, il ritorno a casa o le procedure di atterraggio.

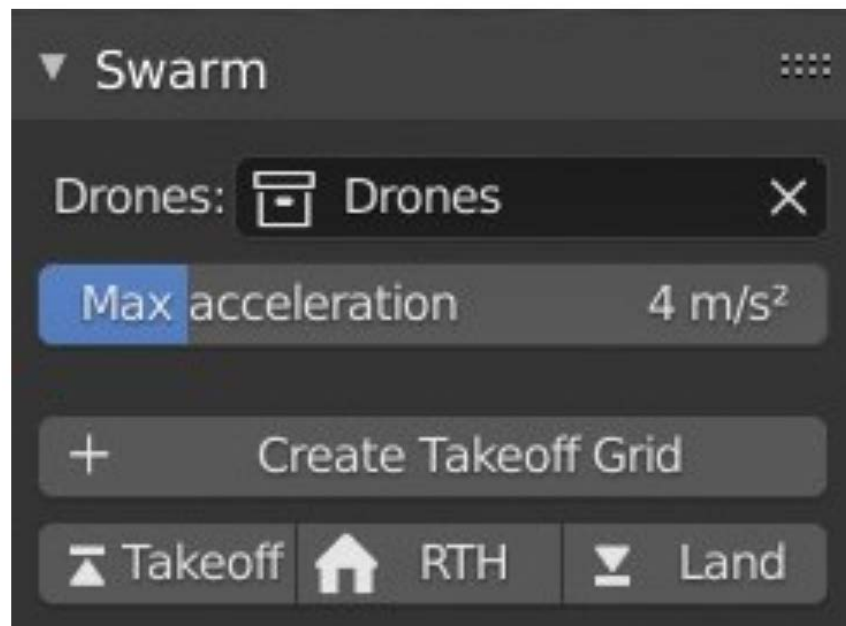


Fig. 7.4.9.10.2 - pannello Swarm

Collezione di droni

Premendo sul pulsante Droni per selezionare la raccolta che è la fonte primaria di oggetti drone. Normalmente non si ha necessità di modificare questa impostazione, il pulsante "Create Takeoff Grid" in basso creerà una raccolta "Drones" e la imposterà automaticamente come fonte primaria.

Qualsiasi mesh posizionata nella raccolta selezionata qui verrà trattata come un drone da Skybrush Studio e che può regolare i vincoli e altre proprietà della mesh secondo necessità durante l'esecuzione di determinate operazioni. E' importante assicurarsi che non ci siano altri oggetti nella collezione che si seleziona, solo quelli che si vuole considerare come droni.

Accelerazione massima

Il pulsante Accelerazione massima imposta un'accelerazione massima (in tutte le direzioni) che viene utilizzata dalle funzioni di pianificazione del movimento automatizzata di Skybrush Studio, ad esempio quando vengono calcolate le transizioni automatiche o i tempi di transizione.

Creazione Takeoff grid

Il pulsante Crea griglia di decollo consente di impostare la griglia di decollo e atterraggio. Si presume che la griglia di decollo e di atterraggio sia configurata come da impostazione predefinita, ma è possibile modificarle in seguito, se necessario.



Parameter	Value
Rows	10
Columns	10
Drone count	100
Spacing	3 m

Fig. 7.4.9.10.3 - pannello *Create Takeoff Grid*

Per configurare la griglia di decollo è possibile definire il numero di righe e colonne, il numero esatto di droni e la spaziatura tra di loro, come visibile in figura 7.4.9.10.3. Dopo aver premuto OK, viene creata una griglia rettangolare con i parametri specificati.

Questo operatore crea anche tutte le raccolte specifiche di Skybrush (droni, formazioni, modelli) necessari per la creazione dello spettacolo di droni, aggiungerà la prima voce "Takeoff grid" allo storyboard e inizierà anche i droni nell'editor 3D Viewport.

Una volta creata la griglia di decollo, è possibile modificare la formazione "Takeoff grid" creata per riorganizzare il posizionamento dei droni utilizzando le operazioni standard di Blender, per adattare la griglia alle esigenze della specifica area di decollo. Ad esempio, se ci sono lampioni, scale, linee elettriche o altri ostacoli nell'area, è possibile spostare i droni interessati in altre posizioni semplicemente cambiando le posizioni di decollo nella formazione "Takeoff grid".

Decollo

Il pulsante Decollo aggiunge una manovra di decollo a un'altitudine specificata e con una velocità verticale media specificata dalla griglia di decollo iniziale. Il frame di inizio della manovra può essere personalizzato, anche se di solito è lo stesso del primo frame della scena.



Fig. 7.4.9.10.4 - pannello per configurare la fase di decollo

Questo pulsante dovrebbe idealmente essere premuto subito dopo la creazione della griglia di decollo prima che vengano aggiunte altre formazioni. È possibile utilizzare l'operatore anche in un secondo momento dopo aver definito le prime formazioni, ma è necessario assicurarsi che ci sia tempo sufficiente prima della prima formazione per effettuare il decollo e arrivare in tempo alla prima formazione.

La casella di controllo Altitudine relativa specifica se l'altitudine viene interpretata rispetto all'altitudine corrente di ciascun drone (se selezionata) o come altitudine assoluta sopra il livello del suolo (se non selezionata). In genere è possibile lasciarlo deselezionato; fa differenza solo se i droni vengono posizionati ad altezze diverse prima del decollo.

Skybrush richiede di specificare la velocità verticale media dei droni durante il decollo. Questo consente di valutare facilmente quanto tempo richiederà il decollo (ad esempio, decollare a 6 metri con una velocità media di 1,5 m/s richiede 4 secondi), ma poiché i droni hanno bisogno di tempo per accelerare e decelerare, la loro velocità verticale massima sarà superiore alla

velocità media per compensare il tempo perso durante l'accelerazione e la decelerazione. Quindi è necessario tenerne conto per non superare i limiti di velocità verticale dei droni.

Ritorno a casa (RTH)

Il pulsante RTH esegue una manovra di ritorno a casa con una velocità media specificata dall'ultima formazione dello spettacolo. Questa manovra porta i droni direttamente sopra le posizioni in cui dovrebbero atterrare a un'altitudine che può essere specificata dall'operatore.



Fig. 7.4.9.10.5 - pannello per configurare la fase RTH

E' da sottolineare che la manovra non viene eseguita all'altitudine specificata, essa viene iniziata dalle posizioni alla fine dell'ultima formazione. Tuttavia, tutti i droni arrivano al valore di altitudine impostato, al di sopra della griglia di decollo.

Questo pulsante deve essere premuto dopo che tutte le formazioni dello spettacolo sono state inserite nello storyboard, ma prima della voce di atterraggio.

Non è garantito che ogni drone atterrerà nella stessa posizione da cui è decollato. Nella stragrande maggioranza dei casi, atterreranno in una posizione diversa della griglia. Questo è intenzionale; le traiettorie sicure e prive di collisioni sono più facili e veloci da progettare quando il software è libero di scegliere quale drone dovrebbe occupare una specifica posizione di atterraggio.

Atterraggio

Il pulsante Land fa atterrare i droni, partendo da un dato frame in modo tale che si spostino verso il basso in linea retta dalla loro posizione attuale fino a raggiungere il livello del suolo (assunto a $Z = 0$). Come di consueto, è possibile regolare la velocità media di discesa.

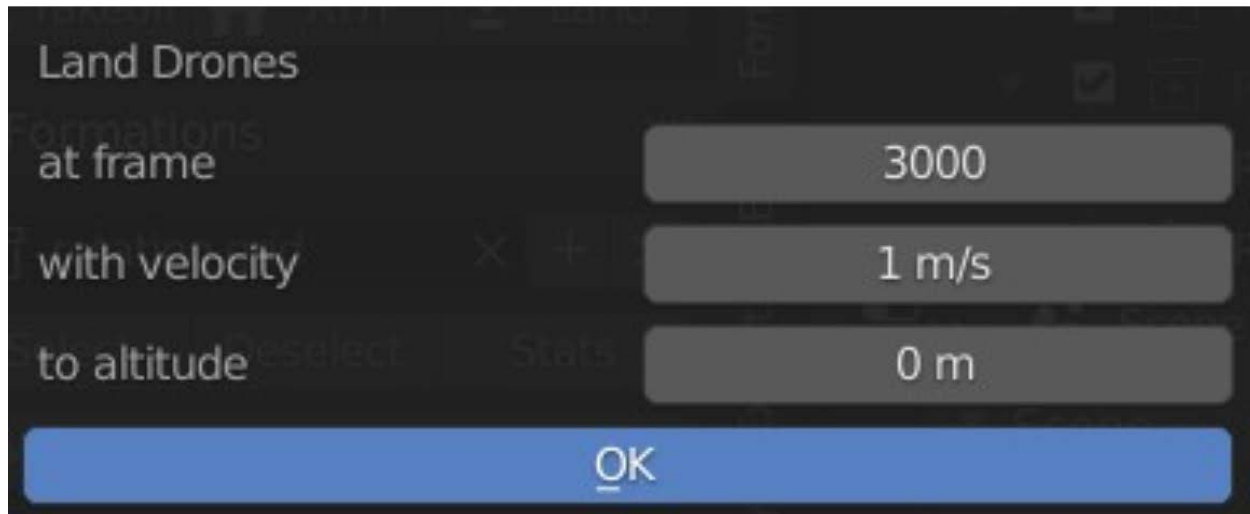


Fig. 7.4.9.10.6 - pannello per configurare la fase di Land

Questo pulsante deve essere premuto dopo che la voce di ritorno a casa è stata inserita nello storyboard.

7.7.3 Pannello formazioni

Con il pannello Formations della scheda Formations è possibile creare, selezionare, deselegionare, aggiornare o rimuovere formazioni oppure aggiungerle allo storyboard.

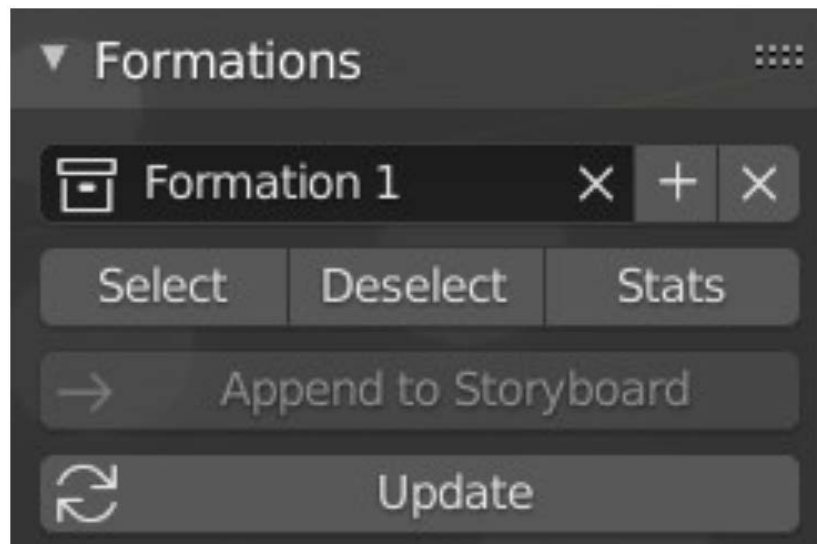


Fig. 7.4.9.10.7 - pannello Formations

Selezione della formazione attiva

Si preme il pulsante "Formation" per selezionare la formazione da modificare nel pannello Formazioni.

Creare una nuova formazione

Il pulsante + crea una nuova formazione. Bisogna ricordare che le formazioni sono essenzialmente sottocollezioni della raccolta Formations, costituite da marker (fissi o animati) che definiscono le posizioni desiderate dei droni in una particolare scena della coreografia.

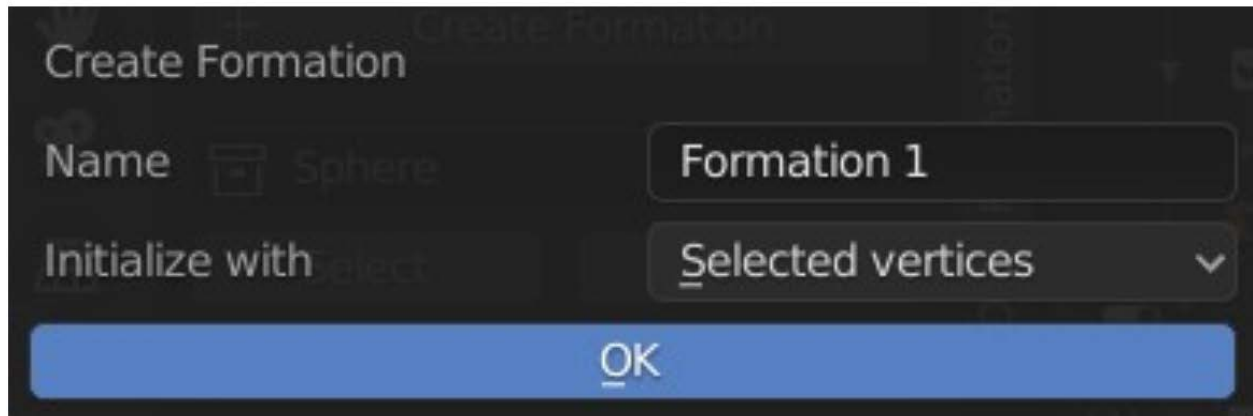


Fig. 7.4.9.10.8 - pannello *Create Formations*

Puoi definire un nome per la nuova formazione e scegliere come deve essere inizializzata:

Vuoto

Crea una formazione vuota

Posizioni attuali dei droni

Crea una formazione che contiene una mesh vuota per ogni drone, posizionata esattamente nella posizione attuale del drone. Si usa questa opzione per creare una "istantanea" dello sciame di droni in un dato fotogramma e usarla di nuovo come formazione più avanti nello spettacolo.

Oggetti selezionati

(Solo in modalità Oggetto) Crea una formazione che contiene gli oggetti attualmente selezionati. Se le posizioni degli oggetti sono state animate, anche la formazione sarà animata. La rimozione di uno di questi oggetti dalla scena li rimuoverà anche dalla formazione.

Posizioni correnti degli oggetti selezionati

(Solo in modalità Oggetto) Crea una formazione che contiene una maglia vuota per la posizione di ogni oggetto selezionato. I vuoti vengono aggiunti alla formazione, ma gli oggetti stessi non lo sono — quindi, anche se gli oggetti sono stati animati, la formazione scatterà solo un'istantanea degli oggetti nel fotogramma corrente. E' dunque possibile rimuovere gli oggetti dalla scena senza alterare la formazione.

Posizioni correnti dei vertici selezionati

(Solo in modalità Modifica) Crea una formazione che contiene una mesh vuota per la posizione di ciascun vertice selezionato dell'oggetto attualmente modificato.

Rimozione di una formazione

Il pulsante **×** permette di rimuovere completamente la formazione selezionata dall'elenco Formazioni e dalla raccolta Formazioni. Anche le mesh che facevano parte della formazione ma a cui non si faceva riferimento da nessun'altra parte nella scena di Blender verranno rimosse dalla scena. Se si desidera conservarli, è necessario inserirli in un'altra raccolta.

Selezione di una formazione

Il pulsante **Seleziona** nel pannello Formazioni aggiunge la formazione selezionata alla selezione corrente in Blender. Allo stesso modo, il pulsante **Deseleziona** rimuove i marker della formazione selezionata dalla selezione corrente.

Poiché le formazioni possono contenere mesh e vertici di mesh come marcatori, si potrebbe non vedere immediatamente il risultato della selezione. Se si è in modalità Modifica e si vuole selezionare una formazione che contiene delle mesh, è necessario tornare alla modalità Oggetto. Allo stesso modo, se è attiva la modalità Oggetto e si cerca di selezionare una formazione che contiene vertici e marker, bisogna passare alla modalità Modifica per poter interagire con i vertici selezionati.

Se è attiva la modalità Oggetto e la formazione selezionata contiene solo vertici (cioè senza mesh o vuoti), Skybrush Studio passerà automaticamente alla modalità Modifica.

Aggiornare una formazione

Il pulsante **“Update”** consente di aggiornare la formazione selezionata dalla selezione corrente o dalle posizioni correnti dei droni. Questa operazione equivale essenzialmente a rimuovere prima tutti i markers dalla formazione, quindi l'aggiunta della selezione come se si stesse creando una formazione da zero.

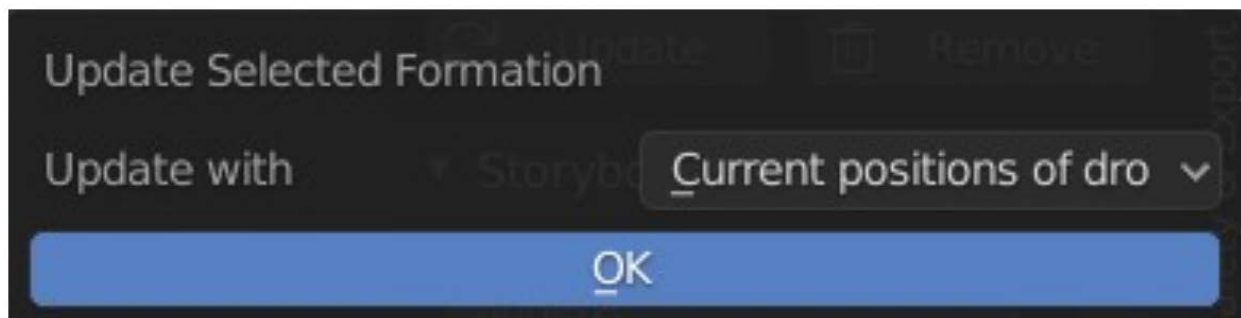


Fig. 7.4.9.10.9 - pannello *Update Selected Formation*

E' possibile aggiornare le formazioni semplicemente spostando i marker nello spazio 3D usando gli strumenti standard offerti da Blender. Nuovi marker possono essere aggiunti semplicemente creando mesh vuote o non vuote e aggiungendole alla sotto-raccolta appropriata della collezione Formations, o estendendo il gruppo di vertici Droni in mesh basate sui vertici. I

marker non necessari possono essere semplicemente rimossi dalle formazioni nello stesso modo in cui si rimuove qualsiasi oggetto Blender dalla sua raccolta corrispondente.

Statistiche di formazione

Premendo il pulsante Statistiche consente di mostrare varie statistiche utili sulla formazione selezionata, come il numero di markers (vuoti, maglie o vertici), la dimensione del riquadro di delimitazione allineato all'asse della formazione o la distanza minima tra i suoi markers sull'attuale struttura.



The image shows a 'Formation Statistics' dialog box with a dark background. It contains several rows of labels and values in light gray text. The labels are on the left, and the values are in rounded rectangular boxes on the right. At the bottom is a blue 'OK' button.

Label	Value
Total Size	100
# Vertices	0
# Empties	100
# Non-empties	0
Size	27 m
	27 m
	0 m
Minimum distance	3 m

OK

Fig. 7.4.9.10.10 - pannello Statistics

Aggiunta di una formazione allo storyboard

Premendo il pulsante “Aggiungi allo storyboard” si aggiunge la formazione selezionata alla fine dello storyboard. Skybrush Studio calcolerà il tempo necessario per spostarsi dalla fine dell'ultima formazione alla formazione appena aggiunta, in base agli attuali limiti di accelerazione e velocità, e imposterà di conseguenza l'ora di inizio della nuova formazione.

7.7.4 Pannello storyboard

Lo storyboard specifica la struttura generale del tuo spettacolo di droni. Consiste di voci, in cui ciascuna voce contiene un riferimento a una formazione, nonché un frame di partenza e una durata. I vincoli di posizione aggiunti da Blender assicureranno che ogni drone raggiunga uno dei marker nella formazione prima che lo spettacolo raggiunga il frame di inizio e che il drone continui a seguire il suo marker per l'intera durata della formazione.

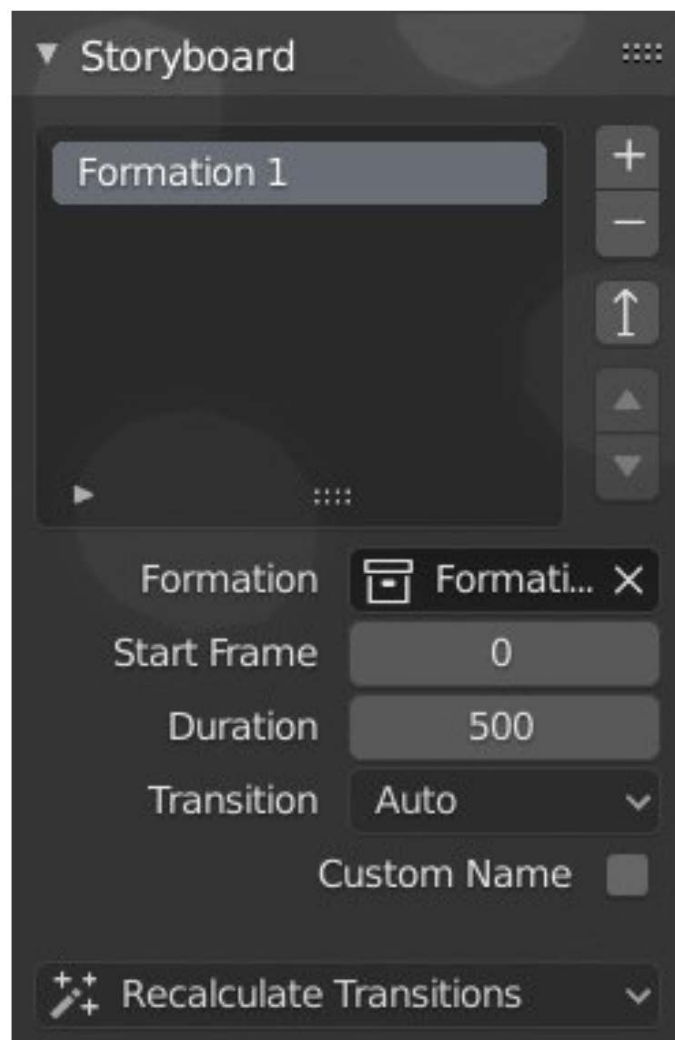


Fig. 7.4.9.10.11 - pannello Storyboard

Creazione di una nuova voce dello storyboard

Premendo il pulsante “+” accanto all'elenco delle formazioni nel pannello Storyboard per aggiungere una nuova voce alla fine dello storyboard. La nuova voce non farà riferimento a

nessuna formazione particolare, è necessario assicurarsi di selezionare la formazione anche nell'editor sotto l'elenco delle voci dello storyboard dopo aver aggiunto la voce.

Modifica di una voce dello storyboard

Ogni voce dello storyboard ha un'etichetta e un insieme di proprietà associate che definiscono i tempi e la transizione corrispondenti alla voce dello storyboard. L'etichetta della formazione può essere modificata facendo doppio clic sulla voce dello storyboard nell'elenco delle voci. I widget sotto l'elenco delle voci dello storyboard consentono di modificare le proprietà della voce dello storyboard attualmente selezionata.

Formazione

Mostra o imposta la formazione corrispondente alla voce dello storyboard selezionata.

Inizio fotogramma

Mostra o imposta la cornice quando la formazione della voce dello storyboard selezionata dovrebbe apparire nel cielo nello spettacolo del drone.

Durata

Imposta la durata della voce dello storyboard selezionata nello spettacolo dei droni. Il fotogramma finale della formazione sarà la somma del fotogramma iniziale e della durata, esclusiva (cioè il fotogramma finale non fa parte della formazione).

Transizione

Mostra o imposta il tipo di transizione tra la formazione precedente e questa. L'impostazione predefinita è Auto, che consente a Skybrush Studio di trovare una mappatura ottimale tra i marker della formazione iniziale e quella del bersaglio. Se vuoi mantenere tu stesso la mappatura, impostala invece su Manuale e poi ordina i marker della formazione nell'Outliner in modo che siano nell'ordine desiderato; Blender mapperà l'ennesimo marker nella formazione iniziale sull'ennesimo marker nella formazione target.

Nome personalizzato

Selezionando questa casella di controllo è possibile mantenere l'etichetta della voce dello storyboard anche se si modifica la formazione associata. Deselezionando questo cambierà l'etichetta della voce dello storyboard con il nome della formazione quando cambi la formazione.

Rimozione di una voce dello storyboard

Premendo il pulsante 2-” accanto all'elenco delle formazioni nel pannello Storyboard per rimuovere la voce dello storyboard selezionata dall'elenco.

Trovare la voce dello storyboard per il frame corrente

Premendo il pulsante con la freccia sottile rivolta verso l'alto accanto all'elenco delle formazioni nel pannello Storyboard per selezionare la voce dello storyboard che contiene il fotogramma corrente. Se il fotogramma corrente rientra tra le voci dello storyboard, verrà selezionata la voce successiva. Premendo questo pulsante si cancella la selezione se il fotogramma corrente è dopo la fine dello storyboard.

Cambiare l'ordine delle formazioni

Premendo il pulsante ▲ accanto all'elenco delle formazioni nello storyboard per spostare la voce selezionata in alto di uno slot nello storyboard. Allo stesso modo, il pulsante ▼ accanto all'elenco delle formazioni sposta la voce selezionata in basso di uno slot nello storyboard. Skybrush Studio regolerà automaticamente gli orari di inizio delle voci per garantire che siano in ordine crescente.

È possibile confondere l'ordine delle voci nello storyboard modificando esplicitamente gli orari di inizio in modo che non siano più in ordine crescente. Skybrush Studio fisserà l'ordine delle voci la prossima volta che le transizioni verranno ricalcolate o prima di qualsiasi operazione per la quale l'inserimento necessita dell'esatto ordinamento delle voci.

Ricalcolo delle transizioni

Una volta completato lo storyboard, è necessario premere il pulsante “Recalculate Transitions” per creare transizioni automatiche e ottimali tra le formazioni senza collisioni.

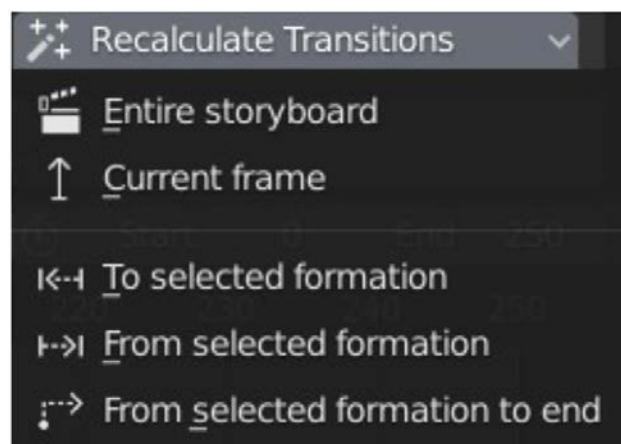


Fig. 7.4.9.10.12 - *menù RecalculateTransitions*

Il menu a comparsa che appare quando si fa clic sul pulsante offre varie opzioni per ricalcolare tutte le transizioni o solo un sottoinsieme di esse. Il processo di ricalcolo crea o aggiorna anche i vincoli sui droni nella collezione Droni per seguire le formazioni date durante l'intervallo di tempo selezionato.

7.7.5 Pannello LED

La scheda LED nella barra laterale dell'editor Viewport consente di creare animazioni luminose per lo spettacolo luminoso.



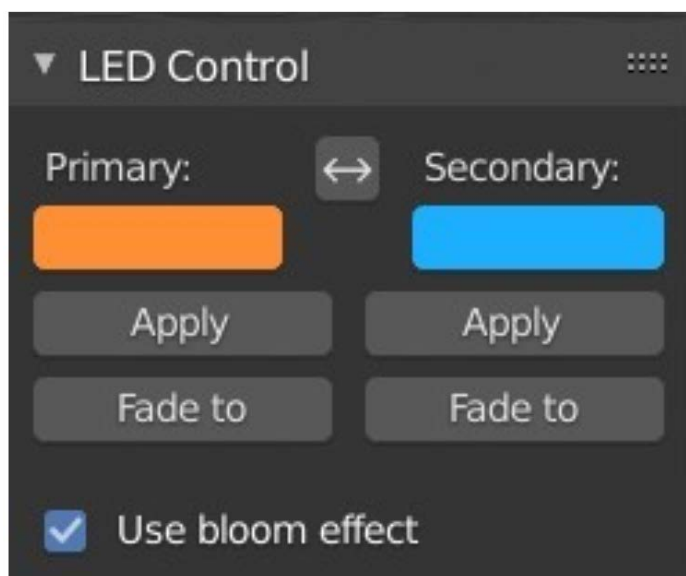
Fig. 7.4.9.10.13 - pannello LED control

La scheda LED contiene due pannelli:

1. Pannello di controllo LED
2. Pannello Effetti di luce

7.7.5.1 Pannello di controllo LED

Il pannello di controllo LED fornisce un modo semplice per regolare il colore della luce LED dei singoli droni inserendo i fotogrammi chiave nei fotogrammi appropriati.



Si presume che il colore della luce LED sia controllato da un materiale emissivo associato al materiale nell'elenco dei materiali della mesh del drone. Il nome del materiale inizia con il colore *LED color of ...* per convenzione, ma è possibile rinominare il materiale, è utile precisare che Skybrush Studio per Blender regolerà sempre il primo materiale. Se il materiale non è un materiale emissivo, Skybrush tornerà invece a regolare il colore diffuso del materiale.

Tutte le operazioni in questo pannello inseriscono o modificano i fotogrammi chiave su un'azione di Blender che è collegata al colore del materiale come descritto sopra. Si può ottenere lo stesso effetto inserendo o modificando i fotogrammi chiave; la potenza funzione di questo pannello è quella di manipolare i fotogrammi chiave di più droni contemporaneamente, tenendo eventualmente conto anche delle posizioni correnti dei droni quando si stabilisce quale dovrebbe essere il colore finale.

Colori primari e secondari

Il pannello fornisce selettori di colore per due colori chiamati rispettivamente *primary* e *secondary*. La modifica del colore nei selettori di colori non aggiunge, rimuove o modifica ancora i fotogrammi chiave, ma indica semplicemente i colori desiderati nei passaggi successivi. I colori primari e secondari possono essere scambiati facendo clic sul pulsante freccia tra i selettori di colori.

Applicare i colori

I pulsanti “*Apply*” e “*Fade to*” a sotto i colori primari e secondari selezionati aprono una finestra popup simile a quella dello screenshot in figura 7.4.9.10.14. Entrambi i pulsanti inseriscono fotogrammi chiave di animazione a colori nel fotogramma specificato per i droni selezionati, in

base alle impostazioni nella finestra popup. Non hanno effetto se nessuno dei droni è selezionato.

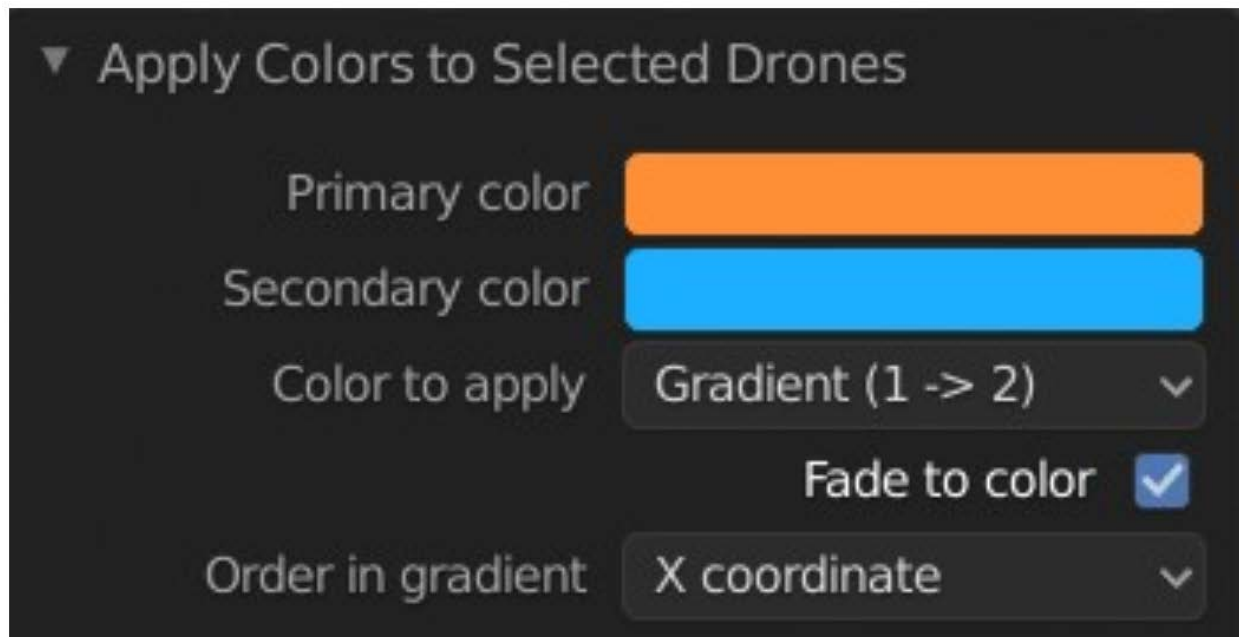


Fig. 7.4.9.10.14 - finestra popup dei pulsanti Apply e Fade to

Se la casella di controllo “Fade to color” è disabilitata nel pannello, un fotogramma chiave con il colore originale del drone viene inserito subito prima del fotogramma corrente e uno con il colore selezionato (primario o secondario) viene aggiunto al fotogramma corrente, risultando in un brusco cambiamento di colore al fotogramma impostato. Se la casella di controllo è abilitata, verrà aggiunto un solo fotogramma chiave di colore al fotogramma corrente, con interpolazione lineare a sinistra (dal passato) dal fotogramma chiave di colore precedente, indipendentemente da dove si trova nella timeline. Questo crea un effetto di dissolvenza a partire dal fotogramma chiave precedente.

L'opzione "Color to apply" consente di selezionare quale colore applicare al drone nel fotogramma chiave corrente. Le opzioni base sono i colori primari e secondari, ma esiste una terza opzione che crea un gradiente tra i colori primari e secondari se vengono selezionati più droni.

Nella modalità gradiente, tutti i droni nella selezione vengono prima ordinati secondo un criterio. Il primo drone ottiene il colore primario, l'ultimo drone ottiene il colore secondario e tutti i droni tra di loro vengono assegnati a un mix dei due colori in base a dove si trovano nella sequenza ordinata. L'opzione "Ordine in gradiente" definisce quali dovrebbero essere i criteri di ordinamento. Sono disponibili le seguenti opzioni:

Predefinito

I droni vengono ordinati esattamente nello stesso modo in cui appaiono nella collezione Droni.

Casuale

I droni vengono ordinati in modo casuale prima che venga applicato l'operatore. Si ottiene un nuovo ordine casuale ogni volta che invochi l'operatore.

coordinata X

I droni sono ordinati in base alla loro coordinata X.

coordinata Y

I droni sono ordinati in base alla loro coordinata Y.

Coordinata Z

I droni sono ordinati in base alla loro coordinata Z.

Distanza dal cursore 3D

I droni sono ordinati in base alla loro distanza dalla posizione corrente del cursore 3D in Blender.

I legami vengono rotti secondo l'ordine dei droni nella collezione Droni.

Abilitare o disabilitare l'effetto bloom

La casella di controllo *"Use bloom effect"* consente di abilitare o disabilitare l'effetto bloom applicato alla vista 3D. L'effetto bloom aggiunge un bagliore attorno ai droni (e a tutte le altre maglie luminose), ma viene fornito con un avvertimento: il colore RGB visualizzato nella vista 3D non è esattamente lo stesso del colore RGB che verrà applicato ai droni ma una variante più brillante di esso. Da un lato, l'effetto bloom può essere fuorviante durante una dissolvenza in chiusura verso il nero perché la dissolvenza in chiusura sembra iniziare più tardi (e le dissolvenze in apertura sembrano iniziare prima). D'altra parte, questo comportamento è in effetti una buona approssimazione di come si comportano le luci a LED su un tipico drone da spettacolo.

7.7.5.2 Pannello Effetti di luce

Il pannello Effetti di luce consente di creare effetti di luce avanzati che vengono applicati dinamicamente sopra l'animazione del colore di base.

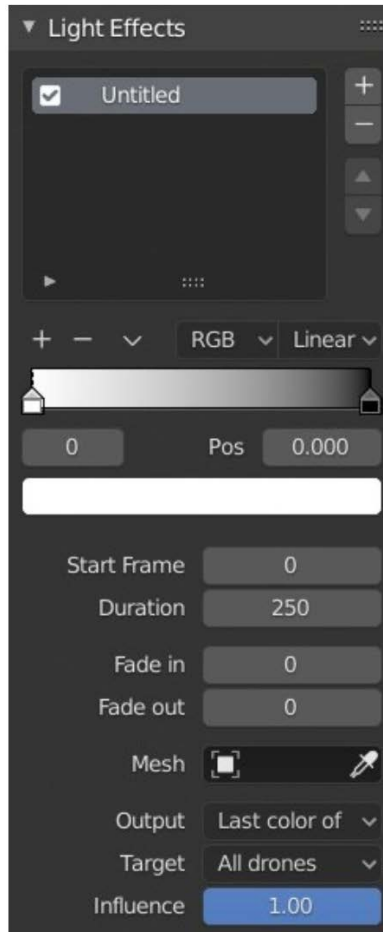


Fig. 7.4.9.10.14 - *finestra Light Effects*

Gli effetti di luce sono parametrizzati e non vengono inseriti come fotogrammi chiave di colore, quindi è molto facile regolarli se i tempi dell'animazione cambiano è sufficiente regolare il fotogramma iniziale e la durata dell'effetto di luce. Tuttavia, questo significa che Blender calcola gli effetti di luce in tempo reale quando si cambiano i fotogrammi, quindi ha un leggero costo in termini di prestazioni.

Anatomia di un effetto luce

Ogni effetto di luce si basa su una scala di colori definita dall'utente, costituita da un numero arbitrario di campioni di colore in posizioni arbitrarie sulla scala di colori e un determinato metodo di interpolazione tra le interruzioni di colore definite sulla rampa. In sostanza, la scala cromatica è una funzione che prende un numero compreso tra 0 e 1 e restituisce un colore. L'effetto di luce definito nel pannello produce un numero compreso tra 0 e 1 per ciascun drone e la scala cromatica trasforma questo numero nel colore che viene applicato al drone. I colori sulla scala cromatica possono avere un canale alpha. Quando il canale alpha è 1, il colore è opaco — sostituirà il colore originale del drone. Quando il componente alfa è 0, il colore è completamente trasparente e il colore originale del drone non verrà modificato. I valori compresi

tra 0 e 1 producono effetti di trasparenza — ad esempio, un componente alfa di 0,5 mescola il colore originale del drone con il colore della scala cromatica in proporzioni uguali.

Gli effetti di luce possono essere (e di solito sono) limitati nello spazio e nel tempo. Dal punto di vista temporale, l'effetto di luce influisce sui droni solo dal fotogramma iniziale designato fino al fotogramma finale. Per quanto riguarda lo spazio, l'effetto di luce può influenzare tutti i droni o solo un sottoinsieme di droni che si trovano all'interno dei confini di una mesh associata. La mesh può essere animata per produrre effetti di luce dinamici; ad esempio, è possibile "un passaggio" di un cono di luce sui droni creando un effetto di luce che imposta il colore dei droni sul bianco, e quindi limitandolo all'interno di un cono invisibile che viene poi spostato attraverso la scena.

Design di effetti di luce

La parte superiore del pannello degli effetti di luce è occupata da un elenco. Questo elenco contiene gli effetti stessi. In ogni fotogramma tutti gli effetti vengono elaborati con un ordine che procede dall'alto verso il basso, e per ogni effetto Blender decide se l'effetto influenzerà o meno il fotogramma corrente, a seconda delle sue proprietà temporali e spaziali. In un dato fotogramma possono essere attivi più effetti, e in questo caso il colore originale di ogni drone (definito dai fotogrammi chiave del suo materiale) viene modificato da ciascun effetto attivo nell'ordine definito dall'elenco degli effetti. Questo diventa importante quando i colori degli effetti hanno canali alpha poiché l'output può essere una miscela del colore originale del drone e di uno o più effetti attivi.

Utilizzare il pulsante “+” accanto all'elenco degli effetti di luce per aggiungere un nuovo effetto di luce alla fine dell'elenco. Puoi rimuovere gli effetti dall'elenco premendo il pulsante “-” e puoi anche riorganizzarli liberamente con i pulsanti ▲ e ▼. I singoli effetti di luce possono essere abilitati o disabilitati facendo clic sulla casella di controllo davanti all'effetto di luce. E' possibile dare un nome descrittivo a ciascun effetto di luce facendo doppio clic sul suo slot per modificarne il nome.

La rampa di colori

Sotto l'elenco degli effetti di luce ci sono i widget standard di Blender per impostare la scala di colori associata all'effetto attualmente selezionato nello stack degli effetti di luce. Questi widget funzionano come qualsiasi altro editor di rampe di colori in Blender:

- Il pulsante “+” sotto l'elenco degli effetti di luce aggiunge un nuovo campione di colore alla scala cromatica.
- Il pulsante “-” sotto l'elenco degli effetti di luce rimuove il campione di colore selezionato dalla scala di colori.
- Il pulsante “v” rivela operatori aggiuntivi, meno comuni (ma comunque molto utili) che possono essere applicati all'intera scala cromatica:
 - Inverte la rampa di colori
 - Distribuisce interruzioni di colore da sinistra
 - Distribuisce le interruzioni di colore in modo uniforme

- Strumento contagocce per la selezione del colore
- Ripristina la rampa colore
- L'elenco a discesa "Modalità colore" seleziona lo spazio colore in cui avviene l'interpolazione della scala cromatica. È possibile scegliere tra gli spazi colore RGB (rosso, verde, blu), HSV (tonalità, saturazione, valore) e HSL (tonalità, saturazione, luminosità).
- L'elenco a discesa "Interpolazione" seleziona la modalità di interpolazione utilizzata per la scala cromatica.

Vincoli temporali

Il successivo gruppo di widget sotto la scala cromatica specifica i vincoli temporali dell'effetto di luce, ovvero quando deve essere applicato l'effetto di luce. I primi due parametri sono il frame iniziale e la durata: l'effetto luce sarà completamente inattivo al di fuori di questo intervallo di tempo. I widget di dissolvenza in entrata e in uscita specificano la durata dei periodi di dissolvenza in entrata e in uscita all'inizio e alla fine dell'intervallo di tempo dell'effetto luce. Durante il periodo di dissolvenza, l'intensità dell'effetto luminoso aumenta gradualmente da zero (inattivo) a 1 (completamente attivo). Allo stesso modo, il periodo di dissolvenza anima l'intensità dell'effetto di luce da 1 (completamente attivo) a 0 (inattivo). E' possibile disattivarli entrambi impostando la loro durata su zero.

Vincoli spaziali

Gli effetti di luce possono anche essere limitati nello spazio in modo tale da interessare solo un sottoinsieme dei droni. Ciò si ottiene selezionando una mesh nel widget di selezione mesh e quindi impostando il menu a discesa Target su "*All'interno della mesh*". Questa è un'operazione che ha bisogno di essere processata in tempo reale poiché Blender deve decidere in ogni frame quali droni sono all'interno della mesh.

Modalità di uscita e influenza

Il menu a discesa Output determina il modo in cui il colore di un drone viene selezionato dalla scala cromatica. Ricordiamo che ogni effetto di luce essenzialmente produce un numero compreso tra 0 e 1 per ogni drone, quindi fa passare questo numero attraverso la scala cromatica per calcolare il colore finale che l'effetto applicherà al drone. Il menu a discesa Output fornisce opzioni per selezionare questo numero:



Fig. 7.4.9.10.15 - *menù parametro output*

First color of color ramp

Il primo colore della scala cromatica verrà utilizzato da tutti i droni durante l'intero effetto di luce.

Last color of color ramp

L'ultimo colore della scala cromatica verrà utilizzato da tutti i droni durante l'intero effetto di luce.

Gradient

Tutti i droni vengono ordinati in base all'ordine in cui appaiono nella collezione Droni e quindi distribuiti uniformemente lungo la scala cromatica. Ad esempio, se si hanno cinque droni, il primo drone ottiene 0 (il bordo sinistro della rampa), il secondo drone ottiene 0,25 (25% tra il bordo sinistro e destro della rampa), il terzo drone ottiene 0,5 (50 % tra il bordo sinistro e destro) e così via.

Gradient (XYZ)

I droni vengono ordinati in base alle loro coordinate lungo gli assi X, Y e Z (in questo ordine) e vengono quindi distribuiti uniformemente lungo la scala cromatica. Questa opzione ha sei varianti con diverso ordine degli assi.

Distanza dalla mesh

Il singolo colore statico scelto per ogni drone verrà calcolato mappando le distanze normalizzate tra i droni e la mesh selezionata (si veda il widget Mesh) alla rampa di colori (cioè il drone più vicino alla mesh sceglierà il colore più a sinistra nella rampa, il più lontano sceglierà il colore più a destra, tutto il resto avrà un valore intermedio, distribuito uniformemente lungo la scala cromatica).

Temporale

Tutti i droni passeranno attraverso tutti i colori della scala cromatica contemporaneamente per tutta la durata totale dell'effetto luminoso.

Infine, il parametro Influence imposta la trasparenza complessiva dell'effetto luce. 1 significa che l'effetto di luce sovrascrive completamente l'animazione del colore di base, 0 significa nessun effetto.

Il parametro di influenza può essere animato con fotogrammi chiave, che è un modo semplice per creare pulsazioni veloci, ad esempio.

7.7.6 Scheda Safety ed Export

La scheda Sicurezza ed esportazione nella barra laterale dell'editor Viewport consente di eseguire la verifica in tempo reale dell'animazione del drone e consente di esportare il tuo spettacolo nel formato compilato Skybrush (.skyc). Se l'addon di esportazione CSV Skybrush è abilitato in Blender, consente anche di esportare le traiettorie e le luci campionate in un set di file CSV compressi per consentire un'ulteriore post-elaborazione in strumenti esterni.



Fig.Fig. 7.4.9.10.16 - *menù Safety Check e Export*

La scheda Sicurezza ed esportazione contiene due pannelli:

Pannello di controllo di sicurezza

Pannello di esportazione

7.7.6.1 Pannello di controllo di sicurezza

Il pannello Controllo sicurezza consente di eseguire una verifica post-elaborazione in tempo reale a livello di fotogramma o della completa animazione rispetto alla generazione di traiettorie di volo completamente sicure.



Gli avvisi di sicurezza sul fotogramma corrente vengono visualizzati in tempo reale come testo sul lato sinistro dell'editor 3D Viewport, mentre anche i droni errati vengono evidenziati in tempo reale con il rosso come mostrato nell'immagine in figura 7.4.9.10.17.

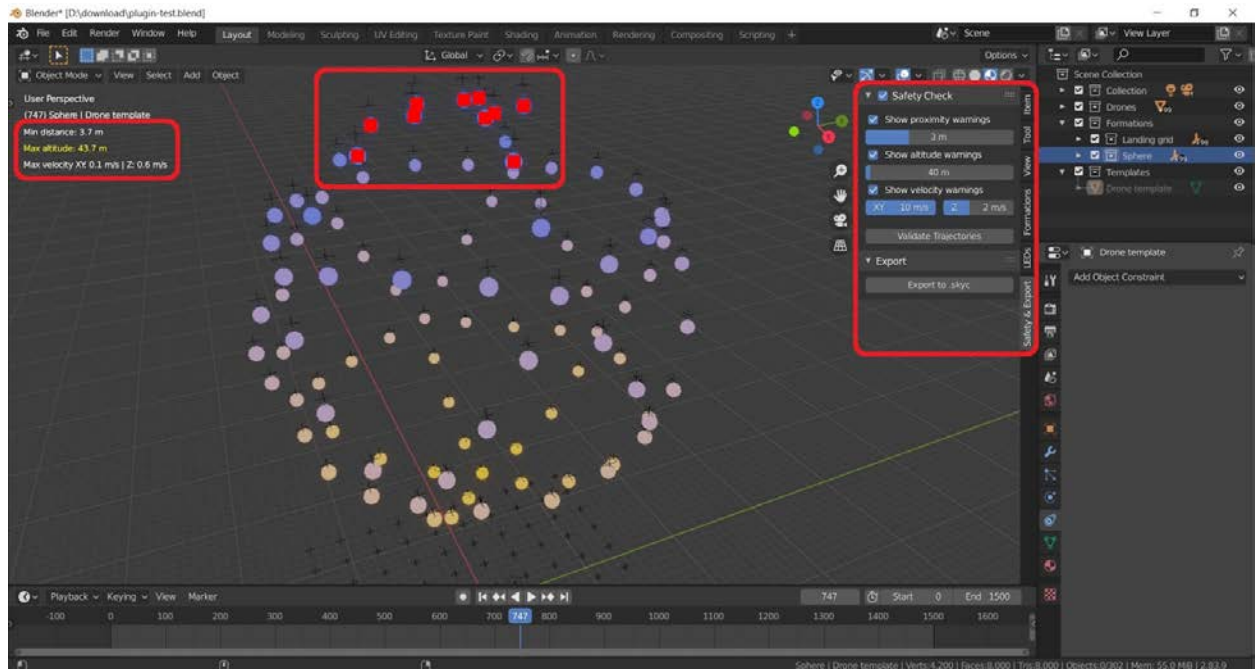


Fig. 7.4.9.10.17 - avvisi di sicurezza in tempo reale

Casella di controllo di sicurezza

La casella di controllo nell'angolo in alto a sinistra del pannello consente di disabilitare completamente i controlli di sicurezza, anche se non è consigliato. Un motivo valido per disabilitarli temporaneamente è se l'interfaccia utente di Blender risulta lenta e i controlli di sicurezza potrebbero essere responsabili. I controlli di sicurezza dovrebbero avere un impatto trascurabile sulle prestazioni complessive di Blender.

Avvisi di prossimità

Questa opzione consente di definire una distanza di sicurezza minima tra i droni. Se ci sono droni in un dato frame che sono più vicini l'uno all'altro di questa distanza di sicurezza, si riceve un avviso di prossimità in tempo reale.

L'avviso di prossimità visualizzato sul lato sinistro dell'editor 3D Viewport mostra sempre la distanza minima tra tutte le coppie di droni sul frame corrente. Anche questa coppia di droni è evidenziata in rosso, insieme a una linea rossa che li collega.

Per abilitare o disabilitare gli avvisi di prossimità, si utilizza la casella di controllo "Show proximity warnings".

Le distanze sono misurate tra i centri dei droni, non tra i loro bordi. Una distanza di sicurezza di 3 metri con un drone la cui lunghezza del braccio è 450 mm significa una distanza effettiva di meno di due metri tra i droni quando la distanza di sicurezza viene violata, quindi bisogna assicurarsi di prendere in considerazione la lunghezza del braccio e gli oggetti di scena. In questa prima versione Skybrush Studio non è a conoscenza delle dimensioni fisiche dei droni.

Avvisi di altitudine

Questa opzione consente di definire un'altitudine massima per la coreografia. Se ci sono droni al di sopra di questa altitudine (misurata lungo l'asse Z), si ricevono avvisi di altitudine in tempo reale.

L'avviso di altitudine visualizzato sul lato sinistro dell'editor 3D Viewport mostra sempre l'intervallo di altitudine complessivo dei droni sul fotogramma corrente. I droni al di sopra della soglia di altitudine in un determinato frame sono evidenziati in rosso.

Per abilitare o disabilitare gli avvisi di altitudine, utilizzare la casella di controllo Mostra avvisi di altitudine.

Avvisi di velocità

Questa opzione consente di definire una velocità orizzontale e verticale massima per la coreografia aerea. Se ci sono droni al di sopra di questi limiti di velocità, si ricevono avvisi di velocità in tempo reale.

L'avviso di velocità basato visualizzato sul lato sinistro dell'editor 3D Viewport mostra sempre la velocità massima orizzontale e verticale dei droni sul fotogramma corrente. I droni al di sopra delle soglie di velocità in un dato fotogramma sono evidenziati in rosso.

Per abilitare o disabilitare gli avvisi di velocità, utilizzare la casella di controllo Mostra avvisi di velocità.

Dettagli tecnici

Gli avvisi di velocità sono speciali nel senso che per stimare con precisione la velocità di un drone in un dato fotogramma, è necessario conoscere la posizione del drone anche nel fotogramma precedente e successivo. Tuttavia, Blender non consente ai suoi componenti aggiuntivi di interrogare la posizione di un oggetto in un frame specifico senza passare esplicitamente a quel frame, e il cambio automatico di frame tutto il tempo per motivi di convalida della velocità renderebbe l'interfaccia utente inutile. Pertanto, Skybrush Studio gestirà invece una cache di posizioni, per tutti i droni in un insieme limitato di frame precedentemente visitati, e tenterà invece di stimare la velocità dal frame corrente e dalle informazioni nella cache. Le regole sono le seguenti. Se la cache contiene informazioni sulle posizioni dei droni nei frame vicini (perché hai già visitato questi frame in precedenza), Skybrush Studio mostrerà le velocità massime nel Viewport 3D ed eseguirà la convalida di conseguenza. Se non ci sono abbastanza informazioni sui frame vicini, la convalida non avrà luogo. Il modo più sicuro per

eseguire la convalida della velocità in tempo reale è avviare la riproduzione dello spettacolo nella vista 3D, questo consentirà a Blender di visitare tutti i fotogrammi uno per uno. Un'altra opzione è quella di scorrere il video trascinando lentamente l'indicatore del fotogramma corrente nel pannello Timeline di Blender. La definizione di "lento" dipende dal livello di zoom della timeline: se la timeline viene ridotta per coprire uno spettacolo di dieci minuti, anche pochi pixel sulla timeline possono rappresentare un salto abbastanza grande da impedire a Skybrush Studio di tentare una stima.

Convalida di traiettorie complete o parziali

Premere il pulsante "Validate Trajectories" per eseguire una convalida completa per un intervallo di fotogrammi anziché solo per un singolo fotogramma. Questo potrebbe richiedere un certo tempo a seconda del numero di droni e del numero di fotogrammi selezionati.

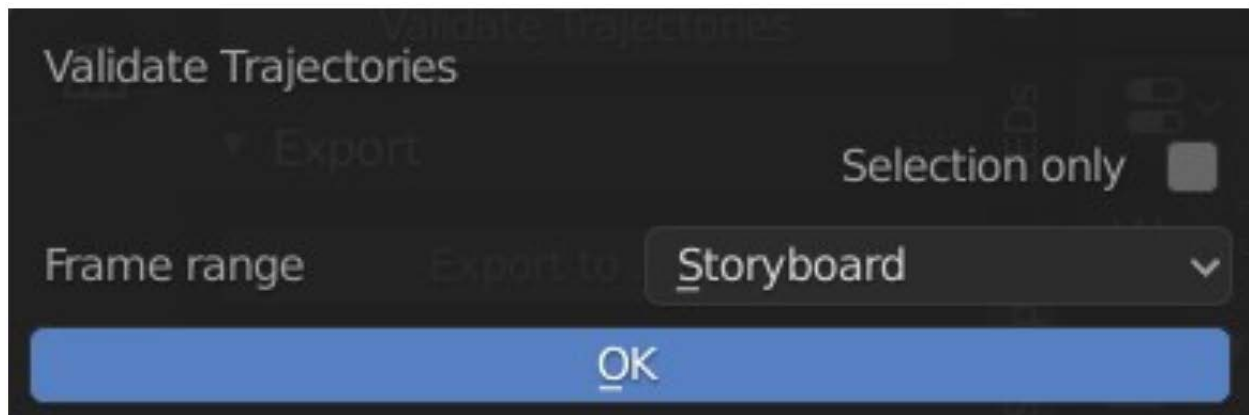


Fig. 7.4.9.10.18 - menù *Validate Trajectories*

I risultati della convalida sono mostrati in Skybrush Viewer, è necessario avviare prima Skybrush Viewer. Il componente aggiuntivo Blender e l'app visualizzatore si troveranno automaticamente dietro le quinte.

In particolare, Skybrush Viewer offre il seguente set di grafici ingrandibili:

- Intervallo di altitudine di tutti i droni in funzione del tempo, o l'esatta altitudine dei droni selezionati nella barra laterale di Skybrush Viewer.
- Intervallo di velocità orizzontale e verticale di tutti i droni in funzione del tempo, o l'esatta velocità orizzontale e verticale dei droni che selezioni nella barra laterale di Skybrush Viewer.
- Distanza della coppia di droni più vicina in funzione del tempo.

Tutti i grafici indicheranno anche le soglie selezionate nel pannello Controllo di sicurezza in modo da poter decidere rapidamente se una delle linee del grafico viola i limiti di sicurezza.

7.6.6.2 Pannello di esportazione

Una volta terminato il Design della coreografia aerea, si usa il pannello Esporta per esportare da Blender in diversi formati per un'ulteriore elaborazione o il caricamento diretto sui droni.

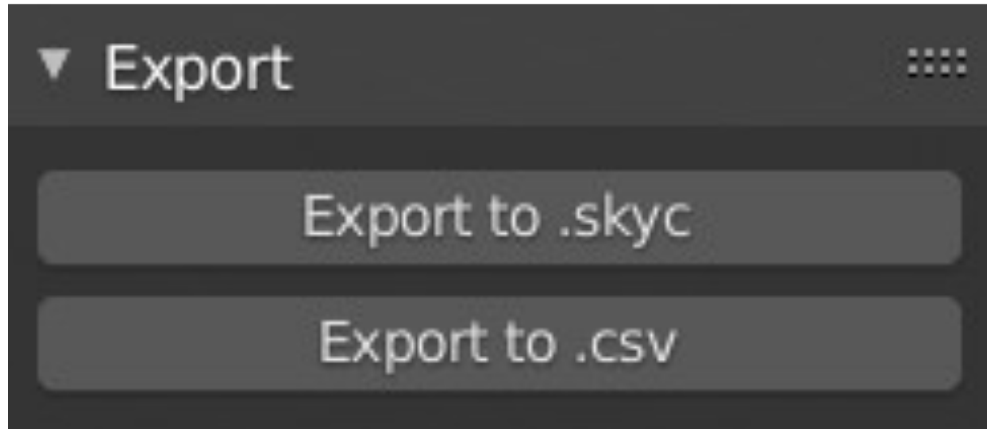


Fig. 7.4.9.10.19 - pannello Export

Esportazione in formato .skyc

Il formato dello spettacolo compilato per Skybrush è un singolo file che descrive l'intera coreografia aerea. Viene utilizzato come formato principale per lo spettacolo dei droni in tutta la suite Skybrush:

- Per visualizzare o verificare lo spettacolo o per generare una visualizzazione 3D interattiva dello spettacolo per Skybrush Viewer.
- Per eseguire la coreografia sui droni reali, utilizzando Skybrush Live.

Premendo il pulsante "Export" in .skyc, si imposta il percorso e il nome del file di output. Ci sono anche alcuni parametri che è possibile configurare:

- L'esportazione di tutti o solo dei droni selezionati
- Definire l'intervallo di fotogrammi dell'output (Render / Anteprima / Storyboard)
- Imposta il frame rate di output (deve essere un sottomultiplo del render FPS)

Esporta in .csv

Le traiettorie e i colori delle luci LED dei droni possono anche essere campionati a intervalli regolari ed esportati in file CSV per un'ulteriore post-elaborazione in strumenti esterni.

L'esportazione CSV produrrà un singolo file ZIP che contiene più file CSV, uno per ogni drone, con le seguenti colonne: tempo (millisecondi), coordinate X, Y e Z (metri) e le componenti rosso, verde e blu del colore della luce LED, nella consueta gamma 0-255.

Si utilizzare Skybrush Live per il controllo dello spettacolo con i droni, insieme al formato ufficiale Skybrush Compiled (.skyc), poiché potrebbe contenere molte più informazioni dello spettacolo in un modo molto più ottimizzato, rispetto a questo semplice .csv.

Premendo il pulsante Esporta in .skyc, si sceglie il percorso e il nome del file di output. Ci sono anche alcuni parametri che è possibile impostare comodamente:

- Esporta tutti o solo i droni selezionati
- Definire l'intervallo di fotogrammi dell'output (Render / Anteprima / Storyboard)
- Imposta il frame rate di output (assicurati che sia un sottomultiplo del tuo render FPS)

I caratteri speciali nei nomi dei droni vengono convertiti in caratteri standard nei nomi dei file esportati.

7.7 Glossario Skybrush Studio

Collezione

Gli oggetti Blender in una scena possono essere raggruppati in raccolte. Le raccolte sono elencate nell'editor Outliner. Skybrush Studio per Blender utilizza le raccolte per raggruppare droni, formazioni e modelli di oggetti drone.

Collezione di droni

Questa raccolta contiene tutti i tuoi oggetti drone. Viene creato automaticamente con l'operatore "Crea griglia di decollo" e, se necessario, è possibile riassegnarlo a una raccolta diversa nella scheda Sciame.

Formazioni

Una formazione è una raccolta di marcatori, posizionati come sottoraccolta nella raccolta Formazioni dedicata. Ogni marker specifica la posizione desiderata di un drone all'interno della formazione. Le formazioni possono essere statiche o dinamiche; nel caso di una formazione dinamica, è necessario animare le posizioni dei marker all'interno della formazione utilizzando gli strumenti di animazione standard di Blender.

Collezione formazioni

Questa raccolta contiene tutte le tue formazioni, che sono anche raccolte. Una formazione contiene marker (vedi sotto) che specificano la posizione desiderata di ciascun drone all'interno della formazione.

Scheda Formazioni

La scheda Formazioni è una nuova scheda specifica per Skybrush nella barra laterale dell'editor 3D Viewport che contiene un pannello che consente di creare formazioni e un altro per modificare lo Storyboard.

marcatore

Un marker è un oggetto all'interno di una formazione che specifica la posizione desiderata di un singolo drone nella formazione. Un marker può essere una mesh vuota o non vuota, nel qual caso la posizione della mesh (in coordinate mondiali) verrà utilizzata come posizione desiderata. Le mesh non vuote possono anche contenere un gruppo di vertici dedicato denominato Drones. Quando un tale gruppo di vertici esiste in una mesh non vuota, le posizioni di tutti i vertici all'interno del gruppo di vertici verranno trattate come marker invece della posizione della mesh stessa.

Scheda LED

La scheda LED è una nuova scheda specifica per Skybrush nella barra laterale dell'editor 3D Viewport che contiene pannelli che ti consentono di aggiungere facilmente animazioni luminose al tuo spettacolo di droni.

Scheda Sicurezza ed esportazione

La scheda Sicurezza ed esportazione è una nuova scheda specifica di Skybrush nella barra laterale dell'editor 3D Viewport, contenente due pannelli: il primo consente di eseguire la verifica di sicurezza in tempo reale dell'animazione, il secondo di esportare la coreografia in formato compilato Skybrush (.skyc).

SKYC

.skyc sta per formato Skybrush Compiled. È il file di definizione dello spettacolo più comune che contiene tutte le informazioni relative a uno spettacolo di droni (tutte le traiettorie dei droni e animazioni luminose, eventi pirotecnici, definizioni di geofence suggerite, musica, note del progettista per gli operatori ecc.). L'output finale di Skybrush Studio per Blender è sempre un singolo file .skyc che può essere aperto da altri componenti della suite Skybrush, come Skybrush Viewer e Skybrush Live.

Storyboard

Lo Storyboard è un semplice elenco di formazioni (statiche o dinamiche) che sono organizzate nel tempo con i tempi giusti per darti la struttura generale dell'animazione del tuo spettacolo di droni. Lo Storyboard può essere modificato nella scheda "Formazioni" della barra laterale nell'editor 3D Viewport.

Griglia di decollo

La griglia di decollo contiene le posizioni di decollo dei tuoi droni. Dovrebbe essere la formazione iniziale dello Storyboard. La griglia di decollo può essere creata con l'operatore "Crea griglia di decollo", che inizializza anche tutte le raccolte necessarie per il design della coreografia.

Collezione di modelli

La raccolta di modelli contiene tutti gli oggetti modello necessari per lo spettacolo di droni. Attualmente è un singolo modello di drone che definisce come dovrebbero apparire tutti i droni in Blender. Nella stragrande maggioranza dei casi non dovrebbe essere necessario modificare nulla in questa raccolta.

Conclusioni e Futuri sviluppi

Nel 2012 Ars Electronica Futurelab creò il primo show luminoso con droni, nel quale 49 droni furono programmati con comportamenti che simulavano sciame di uccelli e api. Da quel primo esperimento il risultato è stato l'emergere di applicazioni di visualizzazione nello spazio aereo.

Da quel momento, centinaia di spettacoli con droni luminosi con migliaia di droni sono stati realizzati. La maggior parte di questi ha utilizzato dei droni precisamente coordinati per rappresentare, per esempio, un uomo mentre cammina nel cielo di Shanghai durante le celebrazioni per il nuovo anno. Nonostante il grande impatto percettivo che produce, uno show luminoso è semplicemente il rendering di immagini 3D in cui ogni drone occupa la posizione di un pixel. Le sfide legate alla tecnologia coinvolta non devono essere sottovalutate e attualmente l'architettura del sistema rimane nel reame del coordinamento di individui piuttosto che nella gestione di un sistema distribuito. Gli spettacoli di droni sono oggi l'applicazione capofila della spinta alla sistematizzazione degli UAV. Dovendo sostenere gli alti requisiti intrinseci all'uso di sciame di UAV stanno creando le condizioni della loro miniaturizzazione, riduzione dei costi, interoperabilità. Aziende come Intel, Ehang e HighGreat hanno sviluppato un ecosistema di tecnologie e capacità che permettono di operare con queste tecnologie e in particolare la loro essenziale agile scalabilità. E' solo una questione di tempo prima che le capacità sperimentate da questi spettacoli luminosi saranno impiegati in altri settori. La disponibilità di piattaforme software open source e di standard per quanto riguarda le interfacce offre le condizioni favorevoli per implementare applicazioni di Intelligenza Artificiale. Mentre gli show di droni si occupano di mappare i droni ai pixels, queste applicazioni più generalizzate si concentreranno sul mappare i droni a determinate sotto funzioni. Per esempio alcuni seguiranno i movimenti nella zona di guerra, altri conterranno i soldati. Mentre molte di queste applicazioni indirizzeranno i vari compiti manualmente, come mappare la zona di battaglia, molti interventi della AI si occuperanno di suddividere e distribuire i compiti tra migliaia di droni e unire le parti per realizzare il controllo dell'insieme.

Dopo 3 anni di ricerca e sviluppo progettando e producendo una piattaforma tecnologica altamente integrata ed essere arrivati ad una soluzione non solo collaudata, ma pronta ad essere impiegata in scenari reali è utile soffermarsi e valutare il percorso compiuto e presentare, grazie all'esperienza maturata, le indicazioni per futuri sviluppi. L'importanza di aver realizzato la tecnologia, come si è visto nel primo capitolo, ha in primo luogo consentito l'accesso e la sperimentazione con un sistema per Aerial Media, ma non secondario, ha portato alla creazione di un sistema tecnologico con caratteristiche uniche e superiori alle soluzioni proprietarie esistenti. D'altra parte l'impegno che questo ha richiesto e le difficoltà incontrate durante lo sviluppo della piattaforma uav per la robotica di sciame per visualizzazione luminosa sono state importanti e sottostimate all'inizio del percorso. Oltre allo studio dettagliato per determinare le scelte progettuali e l'organizzazione e coordinamento richiesto da una produzione in serie della componente hardware e lo sviluppo della componente software dedicata, un altro livello di lavoro è stato necessario per collaudare, verificare e comparare durante la fase prototipale ogni versione. Tornando alle qualità ottenute, oltre alle caratteristiche di leggerezza, dimensioni contenute e autonomia, la scelta importante è stata quella di sviluppare un sistema basato su

standard aperti, oltre che importanti per la ricerca e l'accessibilità sono necessari anche a favorire l'interoperabilità richiesta dalle sfide promosse dalla città intelligente. La scelta di utilizzare degli standard aperti ha reso possibile il raggiungimento nei tempi compatibili con questa ricerca di una tecnologia di UAV autonomi operativa pronta a confrontarsi in molteplici scenari pratici. La possibilità di utilizzare un firmware pronto per la scheda autopilota, basato su un progetto software affidabile e completo come Ardupilot, che grazie alla comunità dei suoi sviluppatori ne garantisce il mantenimento, l'aggiornamento e lo sviluppo costante provvedendo all'integrazione nel progetto delle più recenti innovazioni tecnologiche, è stato un fondamentale fattore abilitante. Purtroppo il tempo e le risorse necessarie sono state molto elevate: realizzare una tecnologia composta da una rete molto vasta di unità robotiche eterogenee necessita di ricerca, progettazione e di una realizzazione fortemente indirizzata verso una produzione in serie tipica di una attività industriale. Per di più la tecnologia in oggetto ha come scopo il suo funzionamento in volo in contesti pubblici; questo implica ulteriori validazioni di ogni nuovo prototipo e del loro uso collaborativo in scenari reali, testando gli strumenti e le procedure per la mitigazione del rischio necessarie per le autorizzazioni previste dagli enti preposti alla sicurezza del volo civile, introducendo vincoli e richieste che hanno coinvolto la parte hardware, quella software e la loro interazione. La gestione di un parco macchine consistente e la sua operatività ha inoltre richiesto lo sviluppo di caratteristiche assolutamente inedite, molto spesso che coinvolgevano sia la parte hardware che software, come l'accensione remota dei droni o la possibilità di aggiornare il firmware sulla rete WiFi, tutte operazioni trascurabili quando si lavora con singoli UAV ma che possono risultare troppo impegnative se moltiplicate per una flotta di migliaia di mezzi.

Applicazioni urbane continuative

Sul fronte energetico con l'ultimo prototipo per esterno si è raggiunta l'autonomia di 45 minuti con elica da 5", questo traguardo permette in futuro di iniziare lo sviluppo di una delle più significative evoluzioni di queste applicazioni, che consiste nell'ipotesi di estenderne la durata di funzionamento continuativo oltre a quanto consentito da una singola batteria. Per consentire ciò è necessario da una parte ottimizzare il numero di agenti necessari per le sostituzioni dei droni e dall'altra integrare nuovi sviluppi software nel firmware dell'autopilota e nella GCS per consentire queste nuove capacità di autonomia. Come verrà visto nel prossimo punto, che si riferisce soltanto al caso di un primo e unico gruppo di droni, il sistema deve diventare capace di gestire delle sostituzioni che non possono essere previste nei dati della coreografia. Oltre alla definizione di nuovi pacchetti di dati per trasportare le informazioni necessarie per una nuova navigazione dinamica e adattiva che potrà consentire le sostituzioni. Bisogna provvedere all'infrastruttura di comunicazione che possa garantire il trasporto di questa nuova categoria di messaggi. Queste tecnologie e le loro applicazioni stanno iniziando a mostrare i primi risultati e a farsi conoscere come una componente separata in grado di produrre un contenuto visuale che sovrasta gli spazi abitativi e potrà integrarsi stabilmente. Per trasformarsi in una piattaforma ICT integrata e interoperabile nella città intelligente molto lavoro è ancora da svolgere. Il

prossimo punto descrive, partendo dall'attuale sistema, come implementare un ulteriore sviluppo per permettere la definizione del punto di decollo dinamicamente.

Ridefinire la formazione di decollo dinamicamente

Il file esportato col piano di volo è stato calcolato in simulazione e deve corrispondere a quello caricato a bordo del drone; per questo motivo ogni meccanismo che può alterare le traiettorie in qualsiasi modo è da valutare attentamente perchè qualsiasi errore introdotto da una modifica effettuata dalla GCS genererebbe delle traiettorie sconosciute. Eventuali modifiche alle traiettorie dovrebbero essere fatte in fase di pianificazione. Una difficoltà operativa riguarda la fase di decollo. Potrebbero esserci errori di misurazione o posizionamento nella griglia di decollo, preparata in simulazione, quindi le posizioni "di partenza" reali dei droni potrebbero non corrispondere esattamente a ciò che il progettista dello spettacolo ha previsto nel file dello spettacolo. Pertanto, una soluzione possibile prevede quanto segue:

1) Le traiettorie progettate dovrebbero terminare in una formazione a "griglia galleggiante" a pochi metri sopra l'area di decollo.

2) La "griglia" verrebbe suddivisa in righe, ogni riga verrebbe rappresentata nella GCS come un gruppo controllabile indipendentemente; un'opportuna interfaccia grafica per alternare la selezione di una qualsiasi delle righe deve essere implementata. Quindi, prendendo come esempio una griglia di decollo di 20 x 10 droni, si avranno 10 gruppi, uno per ogni riga. Dovrebbe essere anche possibile avere un numero minore di gruppi, a seconda della situazione.

3) Il firmware sui droni dovrebbe far passare automaticamente i droni alla modalità di volo "terra" quando raggiungono la fine delle loro traiettoria coreografica; a questo punto ci sarà un parametro, da sviluppare, che controlla il comportamento alla fine dello spettacolo, e in questo particolare caso i droni passeranno a "mantenere la posizione" invece di "atterrare". Quindi quando lo spettacolo finirà, torneranno sopra l'area di decollo e galleggeranno lì. La griglia di droni galleggiante dovrebbe essere separata per altitudine se la distanza tra drone e drone non fa ritenere sicuro mantenere 200 droni alla stessa altitudine.

4) Quindi, l'operatore attiverà l'atterraggio di ogni fila, uno per uno, dalla GCS. Durante la fase di atterraggio, i droni possono reagire all'input RC in modo che l'operatore possa regolare il posizionamento dei droni durante l'atterraggio se ritiene necessario. Ciò presuppone la possibilità di poter associare tutti i droni allo stesso ricevitore RC in modo che ogni drone riceva lo stesso input RC. Nell'attuale funzionamento della luminousbee "offline" la flotta è configurata in questo modo ed è possibile quindi spostare lo sciame in qualsiasi direzione con la radio RC, questa modalità viene utilizzata nelle situazioni in cui si vola senza il supporto GPS RTK per correzioni durante l'atterraggio.

Bibliografia:

- [1] "Sky Magic | ACM SIGGRAPH 2017 Emerging Technologies." [Online]. Available: <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/3084822.3108158>. [Accessed: 27-Jan-2020].
- [2] "Gli spazi pubblici come luoghi educativi: autonomia, mobilità indipendente e stili di vita attivi nei bambini | Aisberg." [Online]. Available: <https://aisberg.unibg.it/handle/10446/142186#.XjCm2iPSJEY>. [Accessed: 31-Jan-2020].
- [3] "Button Filtering for Converting Image to Coordinates of Swarming Drones | IEEE Conference Publication | IEEE Xplore." [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8571635>. [Accessed: 21-Jul-2021].
- [4] "FOUR. Intel Beethoven: The New Spirit of Classical Music." [Online]. Available: <https://www.degruyter.com/document/doi/10.7208/9780226640372-005/html>. [Accessed: 21-Jul-2021].
- [5] S. Atoev, K.-R. Kwon, S.-H. Lee, and K.-S. Moon, "Data analysis of the MAVLink communication protocol," in *2017 International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT)*, 2017, pp. 1–3, doi: 10.1109/ICISCT.2017.8188563.
- [6] F. Augugliaro, A. P. Schoellig, and R. D'Andrea, "Dance of the flying machines: Methods for designing and executing an aerial dance choreography," *IEEE Robot. Autom. Mag.*, vol. 20, no. 4, pp. 96–104, Dec. 2013, doi: 10.1109/MRA.2013.2275693.
- [7] B. Balazs and G. Vasarhelyi, "Coordinated dense aerial traffic with self-driving drones," in *Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 2018, pp. 6365–6372, doi: 10.1109/ICRA.2018.8461073.
- [8] B. Balázs, G. Vásárhelyi, and T. Vicsek, "Adaptive leadership overcomes persistence–responsivity trade-off in flocking," *J. R. Soc. Interface*, vol. 17, no. 167, p. 20190853, Jun. 2020, doi: 10.1098/rsif.2019.0853.

- [9] J. R. Cauchard, J. L. E. Kevin, Y. Zhai, and J. A. Landay, "Drone & Me: An Exploration Into Natural Human-Drone Interaction," *dl.acm.org*, pp. 361–365, Sep. 2015, doi: 10.1145/2750858.2805823.
- [10] J. Cauchard, K. Zhai, ... M. S.-2016 11th A., and undefined 2016, "Emotion encoding in human-drone interaction," *ieeexplore.ieee.org*.
- [11] Y. CHEN, Y. WANG, X. CHEN, and J. HAN, "Research on the Flight Path of the Drones Based on the 0-1 Linear Programming Model for the Light Show," *DEStech Trans. Eng. Technol. Res.*, vol. 0, no. icmeit, Jun. 2018, doi: 10.12783/dtetr/icmeit2018/23404.
- [12] T. Dietrich, O. Andryeyev, A. Zimmermann, and A. Mitschele-Thiel, "Towards a Unified Decentralized Swarm Management and Maintenance Coordination Based on MAVLink," in *2016 International Conference on Autonomous Robot Systems and Competitions (ICARSC)*, 2016, pp. 124–129, doi: 10.1109/ICARSC.2016.64.
- [13] W. Giernacki, M. Skwierczynski, W. Witwicki, P. Wronski, and P. Kozierski, "Crazyflie 2.0 quadrotor as a platform for research and education in robotics and control engineering," in *2017 22nd International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics (MMAR)*, 2017, pp. 37–42, doi: 10.1109/MMAR.2017.8046794.
- [14] N. F. Istighfarin, "Kontrol Posisi Quadcopter Menggunakan Kontroler PD Untuk Drone Light Show," Aug. 2020.
- [15] M. Janosov, C. Virágh, G. Vásárhelyi, and T. Vicsek, "Group chasing tactics: How to catch a faster prey," *New J. Phys.*, vol. 19, no. 5, May 2017, doi: 10.1088/1367-2630/aa69e7.
- [16] H. J. Kim and H. S. Ahn, "Realization of swarm formation flying and optimal trajectory generation for multi-drone performance show," in *SII 2016 - 2016 IEEE/SICE International Symposium on System Integration*, 2017, pp. 850–855, doi: 10.1109/SII.2016.7844106.
- [17] H. Kim, H. A.-2016 I. I. S. on, and undefined 2016, "Realization of swarm formation flying and optimal trajectory generation for multi-drone performance show," *ieeexplore.ieee.org*.
- [18] S. J. Kim, Y. Jeong, S. Park, K. Ryu, and G. Oh, "A Survey of Drone use for Entertainment and AVR (Augmented and Virtual Reality)," Springer, Cham, 2018, pp. 339–352.

- [19] N. Kshetri, D. Rojas-Torres Kshetri, and D. Rojas, "The 2018 Winter Olympics: A Showcase of Technological Advancement," *IEEE IT Prof.*, vol. 20, no. 2, pp. 19–25, 2018, doi: 10.1109/MITP.2018.021921647.
- [20] C. M. Kung, W. S. Yang, T. Y. Wei, and S. T. Chao, "The fast flight trajectory verification algorithm for Drone Dance System," in *Proceedings - 2020 IEEE International Conference on Industry 4.0, Artificial Intelligence, and Communications Technology, IAICT 2020*, 2020, pp. 97–101, doi: 10.1109/IAICT50021.2020.9172016.
- [21] A. Kushleyev, D. Mellinger, C. Powers, and V. Kumar, "Towards a swarm of agile micro quadrotors," in *Autonomous Robots*, 2013, vol. 35, no. 4, pp. 287–300, doi: 10.1007/s10514-013-9349-9.
- [22] A. Ledergerber, M. Hamer, and R. D'Andrea, "A robot self-localization system using one-way ultra-wideband communication," in *2015 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, 2015, vol. 2015-December, pp. 3131–3137, doi: 10.1109/IROS.2015.7353810.
- [23] D. Lee, S. Cho, and D. H. Shim, "Development of mini quadrotor platform and experiments on outdoor autonomous swarming flight," *J. Inst. Control. Robot. Syst.*, vol. 23, no. 11, pp. 905–911, 2017, doi: 10.5302/J.ICROS.2017.17.0167.
- [24] N. Limbu *et al.*, "Outdoor co-operative control of multiple quadcopters using decentralized GPS localisation," in *2015 10th International Workshop on Robot Motion and Control (RoMoCo)*, 2015, pp. 1–6, doi: 10.1109/RoMoCo.2015.7219705.
- [25] R. Mur-Artal and J. D. Tardos, "ORB-SLAM2: An Open-Source SLAM System for Monocular, Stereo, and RGB-D Cameras," *IEEE Trans. Robot.*, vol. 33, no. 5, pp. 1255–1262, Oct. 2017, doi: 10.1109/TRO.2017.2705103.
- [26] R. Murphy *et al.*, "A Midsummer Night's Dream (with flying robots)," *Auton. Robots*, vol. 30, no. 2, pp. 143–156, Feb. 2011, doi: 10.1007/s10514-010-9210-3.
- [27] A. Ohta Tokyo and A. Ohta, *No Title*. Association for Computing Machinery, Inc, 2017.
- [28] B. Pedro, C. De Lima, D. Tércio, J. M. Carrilho, and A. Viana, "Embodying Sound A work-in-progress on technologically expanded performance," in *ACM International Conference Proceeding Series*, 2019, doi: 10.1145/3359852.3359971.
- [29] J. A. Preiss, W. Honig, G. S. Sukhatme, and N. Ayanian, "Crazyswarm: A large nano-quadcopter swarm," in *2017 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, 2017, pp. 3299–3304, doi: 10.1109/ICRA.2017.7989376.

- [30] S. Sai, I. Kovach, A. Gupta, and J. Wei, "2017: 'Lighting Up the Night,'" 2017.
- [31] L. Shrinivasan and P. N. R., "Monocular Imaging-based Autonomous Tracking for Low-cost Quad-rotor Design - TraQuad."
- [32] R. Skulstad, C. L. Syversen, M. Merz, N. Sokolova, T. I. Fossen, and T. A. Johansen, "Net recovery of UAV with single-frequency RTK GPS," in *2015 IEEE Aerospace Conference*, 2015, pp. 1–10, doi: 10.1109/AERO.2015.7119205.
- [33] N. Takahashi, M. Gygli, and L. Van Gool, "AENet: Learning Deep Audio Features for Video Analysis," *IEEE Trans. Multimed.*, vol. 20, no. 3, pp. 513–524, Mar. 2018, doi: 10.1109/TMM.2017.2751969.
- [34] M. Tavares, "Interrelations between Art, Science and Research," in *ACM International Conference Proceeding Series*, 2019, doi: 10.1145/3359852.3359894.
- [35] G. Vásárhelyi *et al.*, "Outdoor flocking and formation flight with autonomous aerial robots," in *IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 2014, pp. 3866–3873, doi: 10.1109/IROS.2014.6943105.
- [36] G. Vásárhelyi, C. Virágh, G. Somorjai, T. Nepusz, A. E. Eiben, and T. Vicsek, "Optimized flocking of autonomous drones in confined environments," *Sci. Robot.*, vol. 3, no. 20, Jul. 2018, doi: 10.1126/scirobotics.aat3536.
- [37] P. Veneroso, "Tempo: Cor: Time: Color," in *ACM International Conference Proceeding Series*, 2019, doi: 10.1145/3359852.3359969.
- [38] T. Vicsek and A. Zafeiris, "Collective motion," *Physics Reports*, vol. 517, no. 3–4, pp. 71–140, Aug-2012, doi: 10.1016/j.physrep.2012.03.004.
- [39] C. Virágh, M. Nagy, C. Gershenson, and G. Vásárhelyi, "Self-organized UAV traffic in realistic environments," in *IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 2016, vol. 2016-November, pp. 1645–1652, doi: 10.1109/IROS.2016.7759265.
- [40] C. Virágh *et al.*, "Flocking algorithm for autonomous flying robots," *Bioinspiration and Biomimetics*, vol. 9, no. 2, 2014, doi: 10.1088/1748-3182/9/2/025012.
- [41] M. ; Waibel, B. ; Keays, Augugliaro, and Federico, "Drone shows: Creative potential and best practices," 2017, doi: 10.3929/ethz-a-010831954.
- [42] G. Z. Yang *et al.*, "The grand challenges of science robotics," *Science Robotics*, vol. 3, no. 14. American Association for the Advancement of Science, 31-Jan-2018, doi: 10.1126/scirobotics.aar7650.

- [43] M. Zanoni, M. Buccoli, G. Cassinelli, and G. Rinolfi, “Deep music on air,” in *ACM International Conference Proceeding Series*, 2019, pp. 1–4, doi: 10.1145/3359852.3359970.