

Urban Air Mobility: opportunità, sfide e attori organizzativi di un sub-settore aerospace emergente

Francesca Castaldo^{1 *}

¹ *Sapienza Università di Roma*

L'Urban Air Mobility (UAM) si staglia in ambito Aerospace come un sub-settore emergente e, come tale, pieno di opportunità, ostacoli e sfide, che ne delineano il futuro e le incognite. L'articolo utilizza la metodologia qualitativa dell'analisi documentale di fonti pubbliche (come le agenzie regolamentative in ambito *Aviation*, la NASA, i dipartimenti statuali della Difesa) e private (di aziende leader), nonché una selezionata letteratura sull'argomento, per esplorare il mondo della mobilità urbana nello spazio aereo *unmanned*, il cosiddetto "U-Space", luogo dall'imprevedibile crescita in cui si muoveranno diversi attori organizzativi.

Parole Chiave: mobilità aerea urbana, attori organizzativi, cooperazione, velivoli *unmanned*, U-Space

1 Introduzione

L'aumento delle popolazioni viventi in grandi città e la congestione del traffico, con il connesso inquinamento atmosferico, vanno ad incidere in modi diversi sulla crescita economica delle aree urbane e sulla sostenibilità ambientale su scala globale. Nelle metropoli risiede attualmente più della metà della popolazione mondiale, contro un 30% nel 1930. E secondo una proiezione dei "World Urbanization Prospects" delle Nazioni Unite nel 2030 sarà il 60% delle persone al mondo a vivere in aree urbane, percentuale destinata a crescere ulteriormente e raggiungere il 68% di tutti gli abitanti del pianeta entro il 2050 (United Nations, 2018). Questo incremento porterà le megalopoli ad emettere il 70% dei gas serra e a consumare i due terzi delle energie globali (*ibidem*). Se a ciò si aggiunge che molta parte della superficie pubblica nelle città sia occupata da strade, si intuisce come una possibile via d'uscita venga individuata nella cosiddetta "terza dimensione": l'aria.

È diventato, in altri termini, imperativo per i governi cercare soluzioni di trasporto alternative rispetto alla mobilità terrestre esistente. È proprio qui che si situano le mosse

* Corresponding author: francesca.castaldo@uniroma1.it

strategiche per promuovere lo sviluppo dei sistemi di *Urban Air Mobility* (UAM), come alternativa alle modalità di trasporto tradizionali, sempre più congestionate e, sovente, insostenibili, non solo nelle megalopoli mondiali. È la NASA (National Aeronautics and Space Administration) a guidare la transizione ad una “nuova era dell’Air Travel”, chiamata “Advanced Air Mobility” (AAM) e concepita come “un sistema di trasporto aereo sicuro, accessibile, automatizzato e conveniente per passeggeri e merci, in grado di servire località urbane e rurali precedentemente difficili da raggiungere” (nasa.gov; trad. a cura dell’autrice).



Figura 1. Concept NASA di un ambiente urbano per la mobilità aerea avanzata

La mobilità aerea avanzata è concepita, pertanto, dalla NASA come un sistema sicuro di trasporto aereo automatizzato, per passeggeri e cargo, in aree sia urbane che rurali.

L’*Urban Air Mobility* (UAM) è, invece, un sottoinsieme dell’*Advanced Air Mobility*, specificamente concepito per la mobilità in ambito, esclusivamente o prioritariamente, urbano, condotto con velivoli e sistemi nello spazio “unmanned”, il cosiddetto “U-Space”, ovvero lo spazio aereo destinato al volo di velivoli remotamente pilotati, come i droni.

L’UAM si riferisce, quindi, alla futura integrazione di veicoli aerei elettrici (come droni, aerotaxi, aeroambulanze) nello spazio aereo urbano per fornire sostanzialmente servizi di trasporto aereo più efficienti, rapidi, sostenibili e accessibili (Al Haddad et al, 2020).

La crescente attenzione da parte di governi, imprese e istituti di ricerca verso la mobilità aerea urbana sta inducendo gli esperti aerospaziali a ritenere che l’UAM, in quanto industria dirompente, rivoluzionerà le modalità di trasporto esistenti, comprese le autostrade, le ferrovie, le vie aeree e le vie d’acqua (nasa.gov). Negli ultimi anni diverse aziende hanno, difatti, cominciato a progettare e testare elementi abilitanti di questo *concept*, tra cui prototipi di velivoli a decollo e atterraggio verticale, i cosiddetti “Vertical Take Off and Landing” (VTOL) e studi di mercato per comprenderne aspetti, impatti e, non da ultimo, il potenziale commerciale (Castaldo, 2022).

Questi mezzi possono essere elettrici o ibridi, progettati per volare su brevi distanze all’interno delle città o, anche, tra le città limitrofe, per operare tra grandi eliporti o vertiporti ben attrezzati o basi più semplici, come i centri di distribuzione dei pacchi o gli ospedali. I velivoli e sistemi unmanned potrebbero essere infatti utilizzati per fornire servizi di emergenza come aeroambulanze, per trasportare persone e anche merci, per lavori di rilevamento di vario tipo, copertura di eventi, attività ricreative e sportive o altri scopi, che probabilmente emergeranno e non è ancora possibile immaginare. L’obiettivo prioritario dell’UAM è difatti trasformare la mobilità nelle città, offrendo opzioni di trasporto aereo su piccola scala e

introducendo soluzioni innovative per affrontare le sfide legate al traffico intenso e alle lunghe code che spesso affliggono le aree urbane.

A dispetto dei potenziali vantaggi insiti nell'uso dei velivoli e sistemi *unmanned* nello spazio urbano, connessi tra l'altro, al minor impatto ambientale e al decongestionamento del traffico terrestre, non solo nelle e intorno alle metropoli, è opportuno rilevare che l'implementazione dell'UAM presenti sfide significative, come la gestione sicura del traffico aereo (Castaldo, 2018), la pianificazione delle rotte (Castaldo, 2021a), la regolamentazione delle operazioni in spazi urbani densamente popolati e la progettazione di infrastrutture resilienti (Castaldo, 2019). Il funzionamento e l'operatività dei sistemi *unmanned* generano, inoltre, dubbi e preoccupazioni anche nell'opinione pubblica per diversi aspetti, connessi a rumore (Rizzi et al., 2020); disturbo e interferenza con le attività quotidiane; sostenibilità, nella duplice accezione, economica e ambientale (Castaldo, 2021a); sicurezza (Maggiore, Gajetti e Bonifacino, 2017) e cybersecurity (Castaldo 2019; 2021b); e, non da ultimo, la privacy (Bocchese, 2018; Damiani, 2021; Merla, 2016). Ancor più, la realizzazione corretta di una mobilità aerea urbana richiede anche, come vedremo in seguito, la collaborazione tra vari attori, inclusi governi, autorità dell'aviazione, produttori di veicoli aerei, società di tecnologia e comunità locali, per sviluppare un ecosistema sicuro, sostenibile ed efficiente.

L'articolo, dopo un'analisi documentale di fonti pubbliche e private selezionate, si soffermerà sulle opportunità, le sfide, gli impatti e gli attori organizzativi a vario titolo chiamati sulla scena di un sub-settore aerospaziale emergente, in cui il coordinamento e la cooperazione pubblico-privato giocheranno un ruolo decisivo.

2 L'Urban Air Mobility: tipi di velivoli

Per dare un'idea della mobilità aerea in aree urbane, e senza alcuna pretesa di esaustività, descriviamo nel seguito brevemente tre dei più noti tipi di veicoli attualmente già in uso o in fase avanzata di progettazione presso aziende, pubbliche e private, e studi ingegneristici diffusi in tutto il mondo: gli aerotaxi, le aeroambulanze e i droni cargo.

I recenti progressi tecnologici connessi allo sviluppo di aeromobili elettrici e ibridi, anche completamente autonomi, stanno contribuendo al crescente interesse per i servizi dei velivoli menzionati, concepiti come modalità di trasporto aereo futuro efficiente e sostenibile.

Il concetto di aerotaxi si è imposto all'attenzione per la possibilità di ridurre i tempi di viaggio, di evitare gli aeroporti congestionati e di offrire un'esperienza di viaggio più personalizzata. Gli aerotaxi sono piccoli aerei commerciali, che forniscono trasporto su richiesta per i passeggeri, in genere tra località non servite dalle principali compagnie aeree. Questi servizi si rivolgono spesso ai voli a breve distanza, offrendo un'alternativa più comoda e veloce ai voli commerciali tradizionali, soprattutto per le tratte con opzioni limitate o dove il trasporto via terra potrebbe essere poco pratico. Gli aerotaxi possono variare per dimensioni e tipologia, spaziando da piccoli aerei a elica a moderni jet. Sono spesso utilizzati per i viaggi d'affari, consentendo ai passeggeri di accedere a località remote o di viaggiare tra città vicine in modo efficiente.



Figura 2. Modello di aeroambulanza autonoma.

Le aeroambulanze sono aeromobili specializzati nella fornitura di assistenza medica e nel trasporto di pazienti in situazioni di emergenza. Sono dotate di attrezzature mediche avanzate e spesso ospitano personale specializzato come medici, paramedici e infermieri. Possono essere aeroambulanze sia elicotteri che aerei appositamente attrezzati per il trasporto tattico in condizioni critiche, come il trasporto di pazienti da luoghi remoti o difficilmente accessibili verso strutture mediche più appropriate, ospedali o centri di terapia intensiva. Questi mezzi consentono di fornire cure immediate e spesso sono impiegati in situazioni in cui la rapidità nel trasporto è fondamentale per la sopravvivenza del paziente (Castaldo, Coniglio e Gatti, 2020).

I droni per il trasporto cargo sono, infine, aeromobili *unmanned* progettati per trasportare merci da un luogo all'altro. Possono essere utilizzati per consegne rapide di pacchi leggeri, sangue, organi, medicinali, beni di consumo e altro ancora (Castaldo, 2022). Dotati di sistemi di navigazione avanzati, possono essere pilotati da remoto o autonomamente, utilizzando software e sensori integrati. Alcuni possono volare a quote elevate e coprire lunghe distanze, mentre altri sono progettati per missioni più brevi su distanze più limitate. I droni cargo possono variare notevolmente in dimensioni, capacità di carico e portata.

Le aziende di logistica e le società di consegna stanno esplorando l'uso dei droni per il trasporto cargo come un modo per migliorare l'efficienza delle consegne, andando a ridurre i tempi di distribuzione e a superare ostacoli geografici o infrastrutturali (Castaldo, 2022). Tuttavia, ci sono ancora sfide tecniche, regolamentari e di sicurezza da affrontare per l'integrazione su larga scala di questi droni nei servizi di trasporto (Castaldo, 2019; Castaldo 2021b). In generale, se da un lato l'UAM può essere tecnologicamente abilitata dalla convergenza di diversi fattori, dall'altro una serie di ostacoli, come le condizioni meteorologiche, potrebbero rappresentare una sfida per la scalabilità delle operazioni. Vedremo meglio in seguito i principali ostacoli ma anche i vantaggi legati a questa nuova frontiera della mobilità urbana, soffermandoci prima sulle prospettive degli enti, europeo e americano, di sicurezza area all'U-Space.

3 L'U-Space: la prospettiva di EASA e FAA

A livello teorico, alcuni contributi hanno recentemente cominciato a esaminare vari aspetti legati allo sviluppo degli Electric Air Vehicles o EAVs (Cohen, Shaheen, and Farrar, 2021; Dauer, 2021; Dempsey, 2021, Kinjo, 2018) e dei velivoli e sistemi *unmanned*. A livello tecnico, come vedremo, la modellazione e la simulazione sono particolarmente impiegate per supportare tali sviluppi (Lupashin et al., 2014; Neto et al., 2021; Sarkar et al., 2023;

Straubinger et al., 2020; Tan, 2020). Nuovo impeto a questi studi è stato fornito dalla recente pubblicazione di importanti documenti da parte della “European Union Aviation Safety Agency” (EASA) - l'agenzia europea per la sicurezza aerea, organo di controllo del settore aeronautico dell'Unione europea - e della “Federal Aviation Administration” (FAA), la più grande agenzia del Dipartimento dei Trasporti statunitense, responsabile di regolare e sovrintendere ad ogni aspetto riguardante l'aviazione civile nel continente nord americano e nelle acque internazionali circostanti.

Le pubblicazioni menzionate sono, rispettivamente, l'EASA “Opinion 01/2020 High level framework for the U-Space” e i FAA “Concept of operations (Conops) v1.0 for UAM” e “Concept of operations v2.0 for Unmanned air systems traffic management (UTM)”. La documentazione citata getta le basi per le prime iniziative di messa in servizio dei velivoli elettrici, delineandone gli ambienti operativi, i vincoli, gli standard e le conformità (o compliance) necessari per avviare il loro impiego. È ampiamente condiviso, difatti, il potenziale, a un certo punto del futuro, di una gamma completa di piattaforme, dai taxi aerei per il trasporto di passeggeri alle aeroambulanze, dai grandi veicoli aerei non pilotati per il trasporto di merci, fino ai micro-droni dai vari impieghi (U.S. Department of Defense, 2011; NASA, 2022).

Il documento *EASA Opinion Centres* sul concetto di “U-Space” “ha l'obiettivo di creare e armonizzare le condizioni necessarie affinché gli aeromobili con e senza pilota possano operare in sicurezza nello spazio aereo ‘U-Space’; di prevenire le collisioni tra aeromobili e di mitigare i rischi aerei e terrestri” (EASA Opinion 01/2020; trad. a cura dell'autrice). EASA propone quindi un quadro disciplinatorio utile sia a consentire l'operatività in ambito europeo dei velivoli e sistemi pilotati remotamente, o con capacità di operare autonomamente, che a fornire un accesso equo a tutti gli utenti dello spazio aereo *U-Space*, garantendo al contempo la coerenza e l'interoperabilità con le altre normative UE associate, con una certa flessibilità per gli Stati membri.

Similmente all'EASA, si è mossa l'americana FAA, adottando un approccio all'*Unmanned Space* prescrittivo, cauto e graduale, ma aperto a una serie di questioni molto impegnative.

Nell'espone le loro idee per questo nuovo sub-settore del trasporto aeronautico in rapida ma imprevedibile crescita, entrambe le agenzie osservano che la complessità delle traiettorie di volo, dei profili di missione e la crescente densità di traffico solleveranno questioni, non ancora completamente identificabili, e porranno problemi (come quello della privacy) che le attuali tecnologie non sono ancora in grado di risolvere. Per questi motivi e non solo, gli aspetti documentali e, in particolare, certificativi, sono di importanza fondamentale: con l'avanzare dello sviluppo, l'evoluzione delle tecnologie e la raccolta di esperienze e informazioni pratiche, saranno necessarie importanti revisioni normative.

I documenti analizzati dell'agenzia europea e di quella americana sollevano, pertanto, molti interrogativi, che sono andati a frenare l'entusiasmo delle aziende e degli operatori desiderosi di far muovere un mercato potenzialmente molto fruttuoso. Nondimeno i due enti concordano nel ritenere che lo sviluppo (nelle piattaforme, basi operative, tecnologie, sistemi e servizi) sarà guidato proprio dal mercato, e che l'operatività dipenderà dall'effettiva comunicazione e cooperazione tra gli stakeholder a vario titolo coinvolti.

4 L'U-Space: la prospettiva aziendale di EHang

In antitesi rispetto all'approccio delle due agenzie menzionate - EASA e FAA - troviamo la *vision* di alcune aziende. Per motivi di brevità, consideriamo a livello esemplificativo la

concettualizzazione di spazio aereo *unmanned* di Guangzhou EHang Intelligent Technology Co. Ltd (di seguito, semplicemente EHang).

EHang è una società con sede a Guangzhou, in Cina, attiva nello sviluppo e produzione di veicoli aerei autonomi, entrati in servizio in ambito cinese per missioni e servizi variegati: dalla risposta alle emergenze, alle missioni di indagine, dalla fotografia alla cinematografia aerea. Quotata al Nasdaq dal 2019, la società cinese fornisce ai clienti di vari settori sistemi e soluzioni di veicoli aerei senza pilota (UAV): mobilità aerea (compreso il trasporto di passeggeri e la logistica), gestione delle città intelligenti e soluzioni per i media aerei.

EHang ha presentato il primo UAV al mondo per il trasporto di passeggeri nel 2016, facendo da pioniere nel settore emergente della mobilità aerea urbana a livello mondiale. Nell'ottobre 2023, l'azienda ha ottenuto il Certificato di Tipo ("TC") per il sistema UAV EH216-S per il trasporto di passeggeri, rilasciato dalla Civil Aviation Administration of China (CAAC), che segna il primo TC al mondo per un velivolo elettrico senza pilota a decollo e atterraggio verticale (eVTOL). La società è, perciò, leader a livello mondiale nelle piattaforme tecnologiche per la mobilità aerea urbana (UAM): "rendere accessibile a tutti una mobilità urbana aerea sicura, autonoma ed ecologica" è la *mission* di questa company. L'avvento delle reti 5G rafforzerà ulteriormente, secondo l'azienda, le funzioni e le capacità delle piattaforme UAM esistenti, che potranno comandare a distanza una moltitudine di AAV versatili in modo più efficace.

Nel suo "White Paper on Urban Air Systems" EHang propone un approccio al cosiddetto U-Space di tipo "full on", ovvero una piattaforma di comando e controllo, centralizzata e automatizzata, di velivoli e sistemi *unmanned* con traiettorie di volo predeterminate.

La piattaforma centralizzata è ritenuta dalla società cinese il modello più promettente per le operazioni e lo sviluppo futuri nell'ambito della mobilità aerea urbana: è difficile, sostengono i manager di EHang, immaginare che la sicurezza di un sistema UAM autonomo possa essere garantita se ogni veicolo possa volare liberamente nelle città. A differenza delle modalità di trasporto convenzionali, come le automobili o gli aerei, un sistema UAM richiede una piattaforma di comando e controllo remota e centralizzata per eseguire molteplici compiti in autonomia. Con l'aiuto di programmi informatici e tecniche di gestione dei *cluster*, la piattaforma è in grado di controllare i voli di migliaia di veicoli UAM contemporaneamente. I compiti di volo specifici sono codificati, registrati, eseguiti e monitorati per garantire sicurezza, efficienza e qualità. In questo modo, le situazioni di traffico complesse diventano gestibili.

Ci sono anche notevoli vantaggi per la gestione delle città: un'unica piattaforma in un'area metropolitana sarebbe in grado di prevenire gli incidenti e la congestione del traffico e di migliorare le operazioni cittadine integrando varie funzioni municipali come la polizia, la risposta alle emergenze, la sanità, l'antincendio, la pesca, il turismo e così via, costituendo una parte strumentale di un sistema di pianificazione urbana di tipo "smart city".

La raccolta continua di dati operativi commerciali dei progetti pilota attuali e futuri sarà necessaria, per EHang, per supportare le decisioni di investimento sia nel settore privato che in quello pubblico. In considerazione delle tecnologie in ambito di trasporto aereo urbano in maturazione, sarà richiesta la collaborazione tra governi e imprese per creare nuovi quadri normativi che ne facilitino lo sviluppo futuro. Quello della cooperazione pubblico-privato è un fattore critico per la mobilità aerea urbana, secondo quanto riportato nel White Paper.

Mentre l'approccio all'U-Space delle due agenzie, EASA e FAA è cauto, quello di EHang è un approccio più deciso: la proposta dell'azienda cinese, come anzi detto, è per un controllo centralizzato e totalmente automatizzato. Possiamo immaginare una piattaforma di comando e controllo accentrata, in grado di assicurare che tutti i veicoli aerei siano registrati e controllati per volare su rotte specifiche stabilite dai computer (Castaldo, 2018). Quanto

concettualizzato sul Libro Bianco di EHang sembra, però, includere alcune affermazioni che potrebbero non essere accettabili nelle giurisdizioni occidentali. È evidente, d'altronde, una differenza significativa tra il modo in cui le principali autorità di regolamentazione occidentali dell'*Aviation* vedono l'evoluzione del settore degli UAS e quello, radicale e ottimistico, postulato da EHang, qui preso come esempio di azienda leader della mobilità aerea unmanned, che si autoproclama 'precursore di tecnologie UAV all'avanguardia e soluzioni commerciali nel settore UAM globale'. Per realizzare l'uno o l'altro concept, o un altro ancora, occorrerà una grande quantità di studi e ricerche sull'enorme varietà di questioni e sfide che le piattaforme, i sistemi, le attività a cui entrambi i tipi di documento alludono, comportano (Becerra, 2019; Bulusu et al., 2021; Cohen, Shaheen, and Farrar, 2021; Dauer, 2021; Dempsey, 2021). Quel che appare certo è che la verifica e la risoluzione di questi problemi operativi e normativi dipenderanno in larga misura dalla ricerca, in gran parte basata sulla modellazione e sulla simulazione (Modelling and Simulation-based research, più semplicemente nota come M&S), per esempio di condizioni meteo, aspetti infrastrutturali, legati all'inquinamento, al controllo di volo o alla sicurezza in senso lato.

5 Vantaggi, opportunità e sfide allo sviluppo dell'Urban Air Mobility

Apprendo la strada a nuovi servizi, come gli aerotaxi, le consegne rapide e il trasporto medico e biomedico d'emergenza, l'UAM potrebbe creare nuove opportunità di mercato e attrarre nelle aree urbane un maggior numero di viaggiatori, turisti, utenti, affari, aumentando le connessioni e i traffici e contribuendo, per esempio, a rivitalizzare centri urbani, recentemente spettatori di tendenze di de-urbanizzazione e/o crisi di diversa natura.

Al contempo, questa nuova modalità di viaggio nelle aree urbane e/o periurbane ridurrebbe i tempi di percorrenza e il traffico nelle città, offrendo una soluzione di mobilità alternativa e più veloce, rispetto a quelle esistenti. I velivoli *unmanned*, utilizzando alimentazione elettrica o ibrida, potenzialmente più efficiente dal punto di vista del consumo di carburante rispetto agli aerei tradizionali (Danielis, 2019), contribuirebbero a ridurre l'impatto ambientale legato alle emissioni di gas serra e al consumo di combustibili fossili (Castaldo, 2021a).

Rispetto ai velivoli commerciali più grandi, l'impiego di aerotaxi e aeroambulanze potrebbe costituire, pertanto, una modalità di trasporto più sostenibile, fermo restando che la sostenibilità complessiva delle operazioni aeree dipenderà da un insieme di fattori, che vanno dalla progettazione degli aeromobili alla gestione delle rotte e dell'infrastruttura di supporto.

Velivoli elettrici o ibridi come quelli succitati impatterebbero, ad ogni modo, sulla sostenibilità in senso lato anche in altri modi, come la creazione di nuove figure di lavoratori e formatori, generando ricchezza e benessere sociale, oppure aumentando la sicurezza e la salute, mediante l'accesso rapido a luoghi non facilmente accessibili tramite altri mezzi di trasporto. Aeroambulanze che raggiungono malati o infortunati in luoghi difficilmente accessibili e li trasportano verso ospedali e centri di cura, dove possono ricevere assistenza medica tempestiva; taxi aerei che trasportano verso luoghi sicuri persone impattate da eventi estremi come le calamità naturali; velivoli cargo che trasportano beni vitali come acqua, viveri o farmaci salva-vita a persone in difficoltà, isolate o non facilmente raggiungibili, sono solo alcuni dei tanti esempi di impiego dei velivoli nell'U-Space. Questi sistemi remotamente pilotati possono essere fondamentali, perciò, in momenti drammatici o critici, nel fornire assistenza medica o d'altro tipo tempestiva, migliorando il benessere, la salute e la sicurezza delle persone in aree più isolate, come le periferie urbane.

Al di là dell'effettivo imminente sviluppo di questo interessante sub-settore aeronautico, è indubbio che l'interesse crescente per i sistemi *unmanned*, come quelli descritti, abbia spinto

la ricerca e lo sviluppo di tecnologie più efficienti e sostenibili nell'intero settore dell'aviazione, inclusi i progetti di aerei elettrici e ibridi. Queste applicazioni innovative potrebbero portare a soluzioni più ecologiche nel futuro dell'aviazione e, per estensione, delle altre modalità di trasporto. La mobilità aerea urbana promuove, inoltre, l'innovazione e lo sviluppo di tecnologia avanzata, come la gestione automatizzata e sicura del traffico aereo (Castaldo, 2018). Tuttavia, è importante notare che, nonostante i potenziali benefici, l'impatto ambientale, economico e sociale complessivo dipenderà anche da elementi come l'efficienza energetica degli aeromobili, la fonte di alimentazione elettrica utilizzata, nonché la gestione delle infrastrutture e dei servizi di manutenzione.

A fronte dei vantaggi menzionati, lo sviluppo dell'UAM deve far fronte a una serie di ostacoli. Basti pensare alle infrastrutture urbane necessarie, con riferimento precipuo alla costruzione dei vertiporti per l'operatività dei velivoli remotamente pilotati. I piccoli sistemi *unmanned* sono, poi, vulnerabili ad alcuni effetti meteorologici, come turbolenza locale, formazione di ghiaccio, forti precipitazioni, e le loro prestazioni sono influenzate da temperature estreme, ma anche dalla presenza di edifici o altri *player* presenti nello spazio aereo UAM, con le proprie caratteristiche di massa d'aria.

La modellazione e simulazione vengono attualmente utilizzate per un'ampia serie di studi e ricerche, ad esempio sui limiti di potenza e di manovra degli eVTOL in ambito urbano, o sulla modellazione del vento e delle turbolenze atmosferiche (Lauderdale et al., 2021; Murphy et al., 2021). Molte delle minacce esistenti possono essere modellate e valutate con una combinazione di simulazione e test pratici. L'uso odierno dell'addestramento basato su simulatori, per gli equipaggi di volo e il personale addetto alla manutenzione, è ben noto e sarà ragionevolmente esteso all'addestramento di operatori e controllori di velivoli *unmanned* o autonomi. Meno note sono, invece, numerose altre aree di ricerca, come i modelli di flusso del traffico aereo per ottimizzare i percorsi di avvicinamento, la ricerca sui fattori umani, l'addestramento, la comunicazione e la cooperazione tra gli equipaggi.

Gli elementi finora menzionati danno solo una vaga idea dell'ampiezza della ricerca scientifica e tecnologica in ambito M&S: basti pensare alla modellazione dell'architettura infrastrutturale urbana, dei volumi di traffico, alla simulazione del controllo di volo, dell'inquinamento acustico e ambientale, della *safety* in senso lato (Becerra, 2019; Bulusu et al., 2021; Lupashin et al., 2014; Neto et al., 2021; Sarkar et al., 2023; Straubinger et al., 2020; Tan, 2020). Un discorso a parte va fatto per i necessari approfondimenti normativi, certificativi e regolamentari, dove alla *privacy* va dedicata una menzione particolare (Palmerini, 2018). In realtà la *privacy* è una preoccupazione particolare connessa all'uso di tutti i *tool* intelligenti (Castaldo, 2020b) ed è molto pregnante nel caso della mobilità aerea urbana, perché molti veicoli e sistemi autonomi saranno dotati di telecamere ad altissima definizione, tecnologia di riconoscimento facciale e capacità di interfacciarsi con i dispositivi smart personali. Conseguentemente, da anni si sta dedicando una particolare attenzione agli aspetti legali ed etici connessi alla *privacy* di individui, gruppi, imprese e organizzazioni di vario tipo (Bocchese, 2018; Damiani, 2021)

Lo sviluppo di aeromobili, elettrici o ibridi, sicuri, efficienti e accessibili, ma anche la creazione di infrastrutture adeguate - come vertiporti e infrastrutture di ricarica per veicoli elettrici - con tutte le implicazioni collegate, di natura logistica e finanziaria, costituiscono importanti sfide d'ordine tecnologico all'adozione di velivoli nello spazio aereo *unmanned*. Del pari, ottenere l'accettazione sociale del più ampio pubblico, affrontando le legittime preoccupazioni legate al rumore, alla sicurezza e alla *privacy*, è un'altra spinosa questione da superare per l'adozione della mobilità aerea in ambito urbano (Al Haddad et al, 2020).

6 L'Urban Air Mobility: gli attori organizzativi e le barriere normative

L'Urban Air Mobility (UAM) presenta diverse opportunità e coinvolge una serie di player in un ambito emergente e potenzialmente molto redditizio. Progettisti e produttori di velivoli e sistemi remotamente pilotati, fornitori di tecnologia, operatori di veicoli *unmanned*, ma anche autorità regolamentative, enti di ricerca ed istituti accademici, diventeranno, ciascuno nel proprio ruolo, i principali attori sulla scena organizzativa dell'*Urban Air Mobility* del futuro.

Aziende costruttrici del comparto aeronautico, imprese che forniscono sistemi di navigazione, software per la gestione del traffico aereo, tecnologie di sicurezza e sistemi di ricarica per veicoli elettrici, sarebbero direttamente coinvolte in questo enorme business, che andrebbe ad includere anche gli operatori, quindi aziende che offrono servizi UAM, come le compagnie aeree, servizi di mobilità e piattaforme di prenotazione. Organizzazioni coinvolte nello sviluppo di tecnologia avanzata, nella ricerca, sia di base che applicata, e nella formazione, sarebbero attori altrettanto importanti nel settore dell'UAM.

A *latere* rispetto ai progettisti, produttori, operatori, ricercatori, sviluppatori, addestratori, agirebbero, poi, le autorità regolamentative, con responsabilità di disciplina del nuovo comparto della mobilità. Le organizzazioni coinvolte in questo ambito possono includere enti governativi, istituti normativi e autorità di regolamentazione dell'aviazione civile (ad esempio FAA, EASA, CAAC), entità a livello locale, tra cui la polizia, la sicurezza e i servizi di gestione del trasporto pubblico, ma anche governi ed enti sovra-nazionali, responsabili della definizione di normative, procedure e regolamenti per garantire la sicurezza e l'integrazione dell'UAM nello spazio aereo urbano. Per promuovere la costruzione e l'applicazione dei sistemi UAM a livello globale, appare, inoltre, necessario istituire un'organizzazione di settore, che garantisca una comunicazione adeguata tra i vari attori. Analogamente a organizzazioni globali come la 'International Air Transport Association' (IATA) e la 'Joint Authorities for Rulemaking on Unmanned Systems' (JARUS), l'*authority* specificamente demandata alla gestione dell'UAM funzionerà come un'organizzazione internazionale incaricata di stabilire gli standard del settore, monitorarne lo sviluppo e promuovere la costruzione di una rete per la mobilità aerea urbana globale.

Imprese o enti governativi potranno, invece, investire per costruire una piattaforma UAM regionale e fungere da fornitori di servizi UAM per i propri clienti o per il pubblico. Lavorando nell'ambito di una rete nazionale o addirittura globale, questi partner di rete possono godere dei vantaggi della condivisione delle risorse dei clienti. Possono anche contribuire alla costruzione di sistemi UAM regionali, ordinando veicoli e costruendo apposite infrastrutture. Il coinvolgimento e la collaborazione tra tutti gli attori menzionati sono cruciali per affrontare le difficoltà e massimizzare le opportunità nell'evoluzione dell'Urban Air Mobility.

Definire regolamenti chiari e adeguati alla sicurezza e integrazione dell'UAM nello spazio aereo urbano è, anch'essa, una sfida cruciale in tal senso. Le certificazioni e le barriere normative possono avere, tra l'altro, un impatto significativo sul coinvolgimento degli attori organizzativi nell'ambito della mobilità aerea urbana. Le normative e le certificazioni possono consentire, tra l'altro, l'accesso delle compagnie aeree e dei vettori aerei esistenti al mercato dell'UAM. A seconda delle regolamentazioni, potrebbero, conseguentemente, essere necessari investimenti significativi per conformarsi ai requisiti normativi. Ciò potrebbe limitare o facilitare la partecipazione delle compagnie aeree tradizionali nell'ambito della mobilità aerea urbana.

Aziende ingegneristiche e hi-tech, fornitrici di servizi e startup potrebbero essere più propense a investire e sviluppare soluzioni innovative se le barriere normative e certificative fossero chiare e non troppo onerose. Normative e certificazioni sono, difatti, generalmente

suscettibili di variazioni a livello regionale e nazionale. Tali differenze possono contribuire a determinare quali attori possono operare in specifiche aree geografiche, creando opportunità o sfide per diversi attori organizzativi, in base alle diverse normative locali. In sostanza, le certificazioni e le barriere normative contribuiscono a modellare il panorama dell'UAM stabilendo chi può entrare nel mercato, quali innovazioni possono essere implementate e come potrebbero interagire i diversi attori all'interno di questo settore emergente. Le normative potrebbero però anche agire nella direzione di favorire lo sviluppo di modelli comuni e prassi condivise nel settore dell'UAM. Ciò aiuterebbe la standardizzazione e il coordinamento tra player diversi (come i produttori di aeromobili, i gestori di infrastrutture, i fornitori di servizi, le autorità regolamentative), potendone anche incoraggiare le pratiche collaborative e andando, allo stesso tempo, a facilitare l'integrazione di nuove tecnologie e soluzioni. In generale, normative equilibrate che promuovono la sicurezza e l'innovazione, senza creare ostacoli eccessivi, potrebbero facilitare una partecipazione più ampia e diversificata di attori nel settore della Mobilità Aerea Urbana.

7 L'Urban Air Mobility: impatti e considerazioni conclusive

L'Urban Air Mobility può avere impatti significativi su diversi livelli: ambientale, economico, sociale, politico.

A livello ambientale, l'adozione di veicoli elettrici o ibridi nell'UAM può ridurre le emissioni di gas serra e migliorare la qualità dell'aria in aree urbane congestionate. Se implementata con criteri *green*, la mobilità aerea urbana può contribuire alla transizione verso modalità di trasporto più sostenibili, riducendo la dipendenza dai combustibili fossili.

A livello economico, aprendo la strada a nuovi servizi - come aerotaxi, consegne rapide e trasporto medico d'emergenza - creerà nuove opportunità di mercato. Nel fare ciò, la nuova frontiera della mobilità aerea avanzata andrebbe a favorire la redditività, e la creazione di nuovi ruoli professionali, tanto per aziende che progettano e costruiscono veicoli per l'UAM, quindi *player* dell'attuale comparto del trasporto aereo, reduce dalla forte contrazione dei traffici del periodo pandemico (Castaldo, 2020a), quanto anche per i nuovi entranti nei segmenti specifici dei droni cargo, aerotaxi, aeroambulanze, e ogni altro tipo di velivolo *unmanned*. L'UAM potrebbe, in altri termini, portare alla creazione di nuove aziende e industrie, come nell'ambito dei servizi di trasporto aereo, della manutenzione delle infrastrutture aeree e terrestri, e dello sviluppo di tecnologie aeree. La presenza di vertiporti e servizi di mobilità aerea in città potrebbe, in particolare, stimolare l'economia locale attraverso il turismo, l'incremento delle attività commerciali urbane e l'attrazione di investimenti.

A livello sociale, la mobilità aerea urbana potrebbe migliorare l'accessibilità, consentendo a persone con limitazioni di mobilità di spostarsi più facilmente e riducendo i tempi di viaggio.

A livello lavorativo e formativo, la crescita dell'UAM potrebbe creare nuove opportunità lavorative, richiedendo formazione specifica per piloti, operatori di servizi e tecnici.

Come affermato nei precedenti paragrafi, la mobilità aerea urbana richiede una regolamentazione chiara e adattabile per integrare in modo sicuro ed efficace il traffico aereo urbano. Le decisioni politiche svolgono un ruolo cruciale nel definire queste regole. L'adozione dell'UAM può influenzare, per esempio, le politiche urbane, stimolando la pianificazione delle città in modo da integrare i vertiporti e migliorare la connettività.

Al di là dei potenziali impatti menzionati, è importante considerare che l'effetto netto sull'ambiente, l'economia e la società può variare in base all'implementazione e all'adozione di pratiche sostenibili, alla gestione del traffico aereo e, soprattutto, alla collaborazione tra

attori chiave come governi, aziende e comunità locali. Le autorità regolamentative, dal canto loro, sono attualmente alle prese con una serie di analisi di nuove piattaforme, requisiti di spazio aereo e minacce per la sicurezza, sullo sfondo di un settore, quale quello dell'UAM, in potenziale rapida espansione, con la prospettiva di livelli di attività superiori alle operazioni di aviazione convenzionali, e con un'esposizione pubblica e un'immediatezza molto maggiori rispetto alle attività tradizionali. Le aziende che sviluppano piattaforme per la mobilità aerea avanzata, da parte loro, stanno già investendo notevoli risorse e sforzi per migliorare le prestazioni, l'affidabilità, i siti operativi e la redditività del nuovo mercato, scorgendo il grande potenziale di questo nuovo settore del comparto aeronautico. Molti altri stakeholder potrebbero essere considerati, e le loro esigenze identificate e soddisfatte. Non da ultimo le comunità pubbliche, che devono essere informate non solo degli aspetti futuristici e performanti delle "auto volanti", ma anche di quelli più pragmatici, in particolare delle limitazioni e rischi quotidiani connessi ai velivoli non pilotati, e devono essere adeguatamente rassicurate sul fatto che questi aspetti siano stati presi nella giusta considerazione, e che si stia facendo tutto il possibile per affrontare le principali preoccupazioni, relative alla sicurezza, alla protezione e alla privacy.

Concludendo, ci sono molti aspetti da essere ancora affrontati da una pletera di attori organizzativi, pubblici e privati, per poter implementare la mobilità aerea urbana. Vitale, in tale sforzo collettivo, è il contributo agli sviluppi futuri proveniente dai ricercatori, i tecnici, gli esperti di modellazione e simulazione, ma anche dai professionisti e i soggetti già operanti nel settore dell'aerospazio, non foss'altro che per attrarre ed entusiasmare le generazioni giovani, che saranno, con ogni probabilità, i principali *end users* dei velivoli di un settore emergente, e dalla imprevedibile crescita, come quello descritto in questo articolo.

Riferimenti bibliografici

- Al Haddad, C., Chaniotakis, E., Straubinger, A., Plötner, K., & Antoniou, C. (2020). Factors affecting the adoption and use of urban air mobility. *Transportation research part A: policy and practice*, 132, 696-712.
- Artigiani, R. (2022). *Urban Air Mobility: che cos'è e perché rivoluzionerà il modo in cui ci spostiamo in città*. Network Digital 360, pubblicato il 7/10/2022.
- Becerra, V.M. (2019). Autonomous control of unmanned aerial vehicles. *Electronics*, 8(4), 452.
- Bocchese, D. (2018). Il diritto alla privacy nell'era dei droni. In: Petit Lavall M.V. and Puetz A. (eds), *El transporte como motor del desarrollo socioeconómico*, Marcial Pons, 395-420.
- Bulusu, V., Onat, E.B., Sengupta, R., Yedavalli, P., & Macfarlane, J. (2021). A traffic demand analysis method for urban air mobility. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 22(9), 6039-6047.
- Castaldo, F. (2018). I sistemi di gestione del traffico aereo e l'incombente minaccia del crimine: la necessità di un modello organizzativo cyber-security centric. *Rivista Italiana di Conflittologia - Culture, Actors and Interactions*, 36, 29-48.
- Castaldo, F. (2019). Dalla Cyber Defense alla Cyber Resilience dell'Infrastruttura Critica. Alcune implicazioni strategiche e organizzative. *Rivista di Economia e Politica dei Trasporti*, 3, 1-10.
- Castaldo, F. (2020a). Coronavirus e crisi del trasporto aereo: verso un nuovo panorama strategico. *Rivista di Economia e Politica dei Trasporti*, 1, 1-11.
- Castaldo, F. (2020b). Efficacia e limiti dell'Intelligenza Artificiale nell'era delle incertezze. *Sviluppo & Organizzazione*, 296, novembre/dicembre, 64-68.
- Castaldo, F., Coniglio, S., & Gatti, M. (2020). Trasporto tattico ai tempi del coronavirus: il C-27 J tra flessibilità operativa e proactive management. *Rivista di Economia e Politica dei Trasporti*, 1, 1-13.
- Castaldo, F. (2021a). La crisi pandemica e l'opportunità della decarbonizzazione. Verso l'ottimizzazione dello spazio aereo. *Rivista di Economia e Politica dei Trasporti*, 2, 1-13.
- Castaldo, F. (2021b). *Resilience by Design and Resilience Embedded. Achieving Proactive Cyber Defense*. CUAM University Press, Benevento.
- Castaldo, F. (2022). Unmanned e Cargo: la possibile combinazione organizzativa per la mobilità aerea e la logistica avanzata. *Rivista di Economia e Politica dei Trasporti*, 1, 1-12.

- Cohen, A.P., Shaheen, S.A., & Farrar, E.M. (2021). Urban air mobility: History, ecosystem, market potential, and challenges. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 22(9), 6074-6087.
- Damiani, E. (2021). Privacy e utilizzo dei droni in ambito civile. *European Journal of Privacy Law & Technologies*, 1, 157-179.
- Danielis, R. (a cura di) (2019). *La decarbonizzazione dei trasporti: è un obiettivo possibile?* EUT Edizioni Università di Trieste, Trieste.
- Dauer, J.C. (Ed.) (2021). *Automated Low-Altitude Air Delivery: Towards Autonomous Cargo Transportation with Drones*. Springer Nature.
- Dempsey, P. (2021). Aviation Evtol: UP, UP and away!. *Engineering & Technology*, 16(7), 26-29.
- Di Giacinto, V., Micucci, G., & Montanaro, P. (2011). L'impatto macroeconomico delle infrastrutture: una rassegna della letteratura e un'analisi empirica per l'Italia. In: *Le infrastrutture in Italia: dotazione, programmazione, realizzazione*, Banca d'Italia, Roma.
- Franchi, B. (2018). L'evoluzione della normativa internazionale e UE relativa agli "unmanned aircraft", detti anche "droni": profili ricognitori. *Responsabilità civile e previdenza*, 6, 1788-1810.
- Galderisi, A. (2011). *Mobilità Urbana Sostenibile: strategie attuali e nuove sfide per le città europee*. TeMA-Trimestrale del Laboratorio Territorio Mobilità Ambiente, 4, 81-88.
- Garmestani, A., Twidwell, D., Angeler, D.G., Sundstrom, S., Barichiev, C., Chaffin, B. C., ... & Allen, C.R. (2020). Panarchy: opportunities and challenges for ecosystem management. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 18(10), 576-583.
- Giansoldati, M., Danielis, R., & Scorrano, M. (2021). Cambiamento climatico e decarbonizzazione dei trasporti: una sfida per l'Europa per i prossimi decenni. *Poliarchie/Polyarchies*, 4(1), 25-68.
- Kinjo, H. (2018). Development trends and prospects for evtol: a new mode of air mobility. *Mitsui & Co. Global Strategic Studies Institute*, 2-3.
- Lauderdale, T.A., Pradeep, P., Edholm, K.M., & Bosson, C.S. (2021). Separation at crossing waypoints under wind uncertainty in urban air mobility. *AIAA Aviation 2021 Forum*, 2351.
- Long, Q., Ma, J., Jiang, F., & Webster, C.J. (2023). Demand analysis in urban air mobility: A literature review. *Journal of Air Transport Management*, 112 (102436).
- Lupashin, S. et al. (2014). A platform for aerial robotics research and demonstration: The Flying Machine Arena. *Mechatronics*, 24(1), 41-54.
- Maggiore, P., Gajetti, M., & Bonifacino, A. (2017). *Dal fattore umano alla safety in aviazione*. Società Editrice Esculapio, Bologna.
- Marino, A. (2020). Trasporto aereo post COVID e nuove prospettive per l'utilizzo dei droni. *Atti della Accademia Peloritana dei Pericolanti-Classe di Scienze Giuridiche, Economiche e Politiche*, 89, 87-96.
- Merla, L. (2016). Droni, privacy e tutela dei dati personali. *Informatica e diritto*, 25(1), 29-45.
- Muñoz, G., Barrado, C., Çetin, E., & Salami, E. (2019). Deep reinforcement learning for drone delivery. *Drones*, 3(3), 72.
- Murphy, P.C., Simmons, B.M., Hatke, D.B., & Busan, R.C. (2021). Rapid Aero Modeling for Urban Air Mobility Aircraft in Wind-Tunnel Tests. *AIAA SciTech 2021 Forum*, 1644.
- Neto, E.C.P., Baum, D.M., de Almeida, J.R., Camargo, J.B., & Cugnasca, P. (2021). A trajectory evaluation platform for urban air mobility (UAM). *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 23(7), 9136-9145.
- Oster, C.V., & Strong, J.S. (2017). *Managing the skies: Public policy, organization and financing of air traffic management*. Routledge, London.
- Palmerini, E. (2018). I droni per uso civile nella prospettiva giuridica: appunti per una sistemazione concettuale e normativa". In: Palmerini E., Biasiotti M.A., & Aiello G.F. (eds). *Diritto dei droni. Regole, questioni e prassi*, Giuffrè, Milano.
- Peinecke, N., & Mühlhausen, T. (2022). Cargo drone airspace integration in very low-level altitude". In: Dauer, J.C. (Ed.) (2021) *Automated Low-Altitude Air Delivery: Towards Autonomous Cargo Transportation with Drones*. Springer Nature.
- Pellegrino, F. (Ed.) (2015). *Legislation and regulation of risk management in aviation activity*, vol I. Giuffrè, Milano.
- Quaranta, P. (2013). Evoluzione tecnologica in campo UAV. *Rivista Italiana di Difesa*, 2, 72-79.
- Rizzi, S.A., Huff, D.L., Boyd, D.D., Bent, P., Henderson, B.S., Pascioni, K.A., ..., & Snider, R. (2020). Urban air mobility noise: Current practice, gaps, and recommendations (No. NASA/TP-20205007433).
- Sarkar, M., Yan, X., Gebru, B., Nuhu, A.R., Gupta, K.D., Vamvoudakis, K.G., & Homaifar, A. (2023). A data-driven approach for performance evaluation of autonomous evtols. *Authorea Preprints*.
- Seristö, H., & Vepsäläinen, A.P.J. (1997). Airline Cost Drivers: Cost Implications of Fleet, Routes, and Personnel Policies. *Journal of Air Transport Management*, 3(1), 11-22.

- Straubinger, A., Rothfeld, R., Shamiyeh, M., Büchter, K.D., Kaiser, J., & Plötner, K.O. (2020). An overview of current research and developments in urban air mobility-Setting the scene for UAM introduction. *Journal of Air Transport Management*, 87, 101852.
- Tan, C.M.H. (2020). Multidisciplinary modeling & simulation framework for electric vertical take-off & landing (eVTOL) vehicles. Master's Thesis.
- U.S. Department of Defense (2011). Unmanned Systems Integrated Roadmap FY2011-2036.