

SCUOLA DI SCIENZE
Corso di Laurea Magistrale in Informatica

Unmanned Aerial Vehicle:
tecnologie e prospettive future

Relatore:
Luciano Bononi

Presentata da:
Marcello Allegretti

Correlatore:
Giampiero Giacomello

Sessione II
Anno Accademico 2015 - 2016

Quale è la vera vittoria? – Quella su se stessi

Prima regola dell' *Aikido*

Abstract

Partendo dalla definizione di UAV e UAS, arrivando a quella di drone, nella tesi saranno definiti i termini precedenti, ossia un sistema aereo senza pilota a bordo, la nascita del termine drone e le tendenze attuali. Dopo una precisa classificazione nelle quattro categorie principali (droni per hobbisti, commerciali e militari di media grandezza, militari specifici di grandi dimensioni e stealth da combattimento) saranno descritti gli ambiti di utilizzo: da un lato quello militare e della sicurezza, dall'altro quello civile e scientifico. I capitoli centrali della tesi saranno il cuore dell'opera: l'architettura dell'UAV sarà descritta analizzando la totalità delle sue componenti, sia hardware che software. Verranno, quindi, analizzati i problemi relativi alla sicurezza, focalizzandosi sull'hacking di un UAV, illustrandone le varie tecniche e contromisure (tra cui anche come nascondersi da un drone). Il lavoro della tesi prosegue nei capitoli successivi con un'attenta trattazione della normativa vigente e dell'etica dei droni (nonché del diritto ad uccidere con tali sistemi). Il capitolo relativo alla tecnologia stealth sarà importante per capire le modalità di occultamento, le tendenze attuali e i possibili sviluppi futuri degli UAV militari da combattimento. Il capitolo finale sugli sviluppi futuri esporrà le migliori tecnologie e gli obiettivi degli UAV negli anni a venire, insieme ad eventuali utilizzi sia militari che civili. La ricerca sarà orientata verso sistemi miniaturizzati, multiple UAV e swarming. A supporto di tutta la tesi ci sono due appendici: la prima contiene la lista di tutti gli UAV prodotti finora dai vari stati, mentre la seconda comprende le schede tecniche degli UAV di maggiore interesse.

Ringraziamenti

Anni di teoria e pratica, meditazione e consapevolezza, lettura e scrittura hanno fatto sì che raggiungessi questa ulteriore tappa della mia vita. Sono diventato me stesso a seguito del tempo sinora trascorso e dei legami intercorsi con le altre persone. A seguito del contatto con le altre persone ha preso forma l'attuale me stesso. Sia il contatto con le altre persone che lo scorrere del tempo cambiano la forma del mio animo. Così è stato sino a questo momento e così sarà d'ora in avanti. Ogni mio pensiero e ogni mia azione sarà (come è sempre stato) una mia libera scelta. La mente è libera se il corpo è libero e grazie al *Tao* e all'esperienza ho appreso ciò che è realmente importante nella vita.

Ringrazio il relatore della tesi, il prof. Luciano Bononi, per la sua disponibilità e per aver fatto sì che raggiungessi questa meta, sviluppando un argomento di interesse personale, oltre che scientifico. Ringrazio, inoltre, il correlatore, il prof. Giampiero Giacomello, che mi ha indirizzato su questa tematica: confrontandomi con lui ho potuto apprendere nuove nozioni e imparare cose nuove.

Ringrazio tutti coloro che ho incontrato finora, e indirettamente quelli che conoscerò, dato che contribuiranno a modificare il mio attuale IO, migliorando ed elevando il mio grado di consapevolezza. Ogni fine è un nuovo inizio e ora finalmente potrò apprendere le lezioni dall'insegnante per antonomasia: la *vita*.

Imparo perché la vita mi insegna ...

Acronimi

AGL	Above Ground Level
APR	Aeromobile a pilotaggio remoto
ARP	Aerodrome Reference Point
AT	Aerial Target
ATS	Air Traffic Services
ATZ	Aerodrome Traffic Zone
BTT	Basic Target Training
BVLOS	Beyond Visual Line of Sight
CIA	Central Intelligence Agency
COMINT	Communications and Intelligence
CTR	Controlled Traffic Region
DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency
DFC	Digital Flight Control
DOD	Department of Defense
EASA	European Aviation Safety Agency
EVLOS	Extended Visual Line Of Sight
GAIC	Guizhou Aircraft Industry Corporation
GPS	Global Positioning System
HD	High Definition
HTV	Hypersonic Technology Vehicle

IAI	Israel Aircraft Industries
IR	Infrared
MAV	Micro Air Vehicle
NATO	North Atlantic Treaty Organization
PAA	Phased Array Antenna
PLAAF	People's Liberation Army Air Force
RAE	Royal Aircraft Establishment
RAF	Royal Air Force
RCS	Reaction Control System
SAPR	Sistema Aeromobile a Pilotaggio Remoto
SAR	Synthetic Aperture Radar
SIGINT	SIGnals INTelligence
SNA	Servizi di Navigazione Aerea
SPA	Special Purposes Aircraft
TCU	Timer Control Unit
TD	Torpedo-Drone
TMA	Terminal Control Area
UAS	Unmanned Aerial Systems
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
UCAV	Unmanned Combat Aerial Vehicle
USAAF	United States Army Air Forces
V1	Vergeltungswaffen 1
VFR	Visual Flight Rules
VLOS	Visual Line of Sight
VMC	Visual Meteorological Conditions
VT-UAV	Vertical Unmanned Aerial Vehicle

Indice

Introduzione	ix
1 UAV e droni: una panoramica	1
1.1 UAV o UAS?	1
1.2 C'è drone e drone	3
1.2.1 Tipi di drone	4
1.3 Consapevolezza Uomo-UAV	5
1.4 Unmanned \neq Unpiloted	7
1.5 Vantaggi e Svantaggi	8
1.6 Miti sui droni	9
1.7 Bio-inspiration	10
1.8 Multiple UAV	11
1.9 Swarming	12
2 Nascita ed evoluzione degli UAV	15
2.1 Precursori di volo	15
2.2 Dal 1900s al 1920s	19
2.3 Dal 1930s al 1940s	21
2.4 Dal 1950s al 1960s	26
2.5 Dal 1970s al 1980s	30
2.6 Anni 1990s	33
2.7 Anni 2000s	38
2.8 UAV del futuro	42
3 UAV: ambiti di utilizzo	47
3.1 Ambito militare e sicurezza	48
3.1.1 UAS e Dipartimento della Difesa	51
3.1.2 Politiche di esportazione e MTCR	55
3.2 Ambito civile e scientifico	56

4	Classificazione dei droni	61
4.1	Droni per hobbisti	63
4.2	Droni commerciali e militari di media grandezza	66
4.3	Droni militari di grandi dimensioni	69
4.4	Droni stealth da combattimento	73
4.5	Tassonomia NATO	76
4.6	Altri tipi di classificazione	76
5	Architettura UAV	81
5.1	Controllo di volo	82
5.2	Autonomia	82
5.3	Attuatori	88
5.4	Payload	88
5.5	Stazione di controllo a terra (GCS o C3)	89
5.5.1	C3 system model	90
5.5.2	Comunicazione centrata sulla rete	92
5.5.3	Monitoraggio dei guasti	93
5.5.4	Pianificazione intelligente del volo	93
5.6	Sensori	94
5.7	Corpo	95
5.8	Alimentazione e piattaforma	96
5.9	Elaborazione dati	96
5.10	Radio Cognitiva	96
5.11	Software	97
6	Sicurezza vs Hacking	103
6.1	Latenza del segnale	104
6.2	Problematiche politico - strategiche	105
6.3	Sicurezza nello spazio aereo	106
6.4	Importanza dei fattori umani	109
6.5	Drone Hacking	110
6.5.1	Contromisure UAV	110
6.5.2	Sicurezza delle stazioni di controllo	111
6.5.3	Onde elettromagnetiche	111
6.5.4	Sicurezza delle comunicazioni	112
6.5.5	GPS Spoofing attack	112
6.5.6	Nuovo linguaggio di programmazione	113
6.5.7	Droni robotizzati	113
6.5.8	Sicurezza delle tecnologie C3 e delle operazioni	114
6.5.9	Nascondersi dai droni	114

7 Dronethics	117
7.1 L'occhio di Dio	117
7.1.1 Principio dello sguardo persistente	118
7.1.2 Principio di totalizzazione della prospettiva	118
7.1.3 Principio di archiviazione totale	118
7.1.4 Principio di fusione dei dati	118
7.2 Etica	119
7.2.1 Ethos Militare	119
7.2.2 Psicopatologia del drone: effetto PlayStation	120
7.2.3 Zona vietata ai droni	121
7.3 Normativa	121
7.3.1 ENAC	122
7.3.2 ICAO	125
7.3.3 Regolamento UAV paese per paese	126
8 Stealth	129
8.1 Anatomia della Tecnologia Radar	133
8.2 Tecnologie stealth	134
8.2.1 Limiti	137
8.3 Elenco aerei stealth	137
9 Sviluppi futuri	141
9.1 Gestione dei dati	141
9.2 Infrastruttura operativa e resilienza	142
9.3 Materiali nanoenergetici e armi	143
9.4 Caratteristiche generali migliorate	144
9.5 Operazioni MUM-T	145
9.6 Piloti qualificati	145
9.7 Utilizzi futuri	147
9.8 UAV Jobs: carriere nell'industria dei droni	153
Conclusioni	155
Appendice A Lista UAV	157
Appendice B Schede tecniche UAV	185
Bibliografia	197
Sitografia	200

Elenco delle figure

1.1	Sistema UAV generico	7
1.2	Occhi di insetti artificiali per micro droni	10
1.3	Illustrazione di Multiple UAV	11
2.1	Il primo UAV documentato nella storia	16
2.2	Bozzetto di Leonardo sulla <i>vite aerea</i>	16
2.3	Taketombo moderno	16
2.4	Balloons Over Venice	17
2.5	Bomba aerea di Perley	18
2.6	Prime foto di sorveglianza nella storia	18
2.7	Primi UAV	19
2.8	Kettering Bug	20
2.9	Larynx	20
2.10	Queen Bee	21
2.11	OQ-2A	22
2.12	TDN-1	22
2.13	PQ-8A	23
2.14	Junkers Ju-88	24
2.15	Riproduzione grafica del V-1 in volo	25
2.16	B-17 Flying Fortresses	25
2.17	GAM-67 su un velivolo B-47	27
2.18	X-7 con motore ramjet	27
2.19	Lockheed U-2	29
2.20	Lockheed D-21	29
2.21	Lockheed MQM-105 Aquila	30
2.22	Firebee 1241	30
2.23	Pioneer	32
2.24	Pathfinder in volo sulle Hawaii	33
2.25	Centurion	33
2.26	Helios in volo	34
2.27	General Atomics GNAT	34

2.28	RQ-3A Darkstar	35
2.29	Ababil	35
2.30	Firebird 2001	36
2.31	RQ-1 Predator	36
2.32	Eagle Eye	37
2.33	Predator-C Avenger	38
2.34	Northrop-Grumman RQ-4 Global Hawk	39
2.35	X-45A in volo	39
2.36	MQ-18	40
2.37	SELEX Galileo Falco (Falcon)	40
2.38	DARPA Falcon HTV-2	41
2.39	Lockheed Martin RQ-170 Sentinel	41
2.40	Zond Series UAV	42
2.41	Dassault nEUROn (France & others)	43
2.42	Guizhou Soar Eagle / Soar Dragon	44
2.43	BAe Systems Taranis	44
2.44	Boeing Phantom Eye	45
2.45	Black Widow (USA)	45
3.1	Classificazione degli utilizzatori di UAV	47
3.2	Esempi di applicazione UAV in ambito militare e sicurezza	48
3.3	UAS: PB13 e oltre	51
3.4	Dettagli dopo aver cliccato sul pallino relativo al Nevada	52
3.5	DoD Airspace - <i>Fonte:</i> http://www.defense.gov/UAS	53
3.6	Aerial aircraft carrier drone	53
3.7	Membri MTCR	55
3.8	Esempi di applicazione UAV in ambito civile e scientifico	56
4.1	Le 4 categorie di droni	62
4.2	Consumer Drone	64
4.3	Paesi che possiedono i droni	67
4.4	Relè di comunicazione	69
4.5	Espansione del raggio	70
4.6	General Atomics MQ-9 Reaper	70
4.7	MQ-9 Reaper nel 2010	71
4.8	Paesi che stanno sviluppando droni armati	71
4.9	Paesi che stanno sviluppando droni Stealth	73
4.10	Phantom Ray	74
4.11	America e Cina	74
4.12	Esempi di Nano UAV	76

4.13	Esempi di MAV	77
4.14	Alcuni esempi di MUAV / sUAV	77
4.15	Alenia Sky-X	78
5.1	Componenti dell'architettura di un UAV	81
5.2	Autonomous control basics	83
5.3	UAV System Autonomy Assessment with Sheridan Autonomy Scale	84
5.4	Dettaglio delle informazioni necessarie tra i vari livelli UAV	85
5.5	Gradi di autonomia UAV	85
5.6	Controllo diretto e Autonomia Dinamica	86
5.7	Struttura della stazione di controllo a terra	89
5.8	C3 system model	90
5.9	BLOS all'interno di LOS	91
5.10	Gradi di libertà per un aereo	95
5.11	Struttura Lynx	100
5.12	Timeline of software forks	102
6.1	Condizioni meteo a Bologna secondo Forecast	107
7.1	Nebulosa Elica (NGC 7293, o Nebulosa Helix - chiamata <i>Occhio di Dio</i> dal 2003	117
7.2	No drone zone (FAA)	121
7.3	Gerarchia delle normative sui droni	121
7.4	Logo ENAC	122
7.5	Bandiera ICAO	125
8.1	Lockheed F-117 Nighthawk, cacciabombardiere dell'USAF	129
8.2	Mimetismo ottico	130
8.3	RAM	132
8.4	Rilevamento del segnale	134
9.1	High-Level C4 Infrastructure Operational Concept Graphic (OV-1)	142
9.2	Nanoparticelle e esplosioni	143
9.3	LAHAT	144
9.4	Future Roadmap	146
9.5	Sciame di RoboBee	147
9.6	Micro Drone Tattico Autonomo	148
9.7	Airblock - Drone Lego	149
9.8	Intel Aero	151
B.1	Illustrazione di un Hypersonic Test Vehicle 2 (HTV-2)	186

B.2	HTV-2 in fase di distacco dal Minotaur IV	187
B.3	Fasi del volo dell'HTV-2	188
B.4	Specifiche RQ-170 Sentinel	189
B.5	Specifiche Taranis	190
B.6	Funzionamento Taranis	191
B.7	Parti del Dassault nEUROn	192
B.8	RQ-180 in volo	193
B.9	Northrop Grumman B-21	194
B.10	Rostech Chirok	195
B.11	DRDO AURA	195
B.12	Lockheed TR-X	196
B.13	Lockheed Martin SR-72	196

Elenco delle tabelle

4.1 Tassonomia comune e classi NATO	76
---	----

Introduzione

Il sogno dell'uomo è quello di volare e da sempre ha cercato di progettare e costruire modelli per poterlo fare. Col passare del tempo, però, ha utilizzato questa capacità per scopi bellici. L'evoluzione degli UAV ha visto alternarsi periodi di calma (ma con molte sperimentazioni) a periodi di notevole progresso tecnologico (soprattutto gli anni 60 e 80), ottenendo velivoli sempre più compatti, performanti, super tecnologici, dotati di tecnologie stealth per camuffarsi e agire indisturbati nelle zone vietate o con accesso ristretto. È proprio in ambito militare che sono nati gli UAV, i velivoli senza pilota a bordo. Da strumenti rudimentali si sono evoluti, col passare del tempo, dimostrando sempre di più il loro valore e la necessità in varie occasioni: per i ruoli *DDD* (*Dull, Dirty, Dangerous* - ossia ruoli *opachi, sporchi e pericolosi*), il raggiungimento di luoghi segreti, operazioni ISR, ruoli critici per l'ambiente e per evitare incidenti diplomatici in caso di cattura di piloti. Per tali motivi militari di tutto il mondo, ma anche forze dell'ordine, agenzie governative e privati stanno investendo sempre più denaro nella ricerca e nell'acquisizione di tali sistemi. I droni armati hanno visto uno sviluppo esponenziale: il numero di pattuglie armate è aumentato del 1200% tra il 2005 e il 2011. Negli Stati Uniti si è più orientati alla formazione di operatori di droni rispetto ai classici piloti di aerei da combattimento e bombardieri messi insieme. Mentre da un lato nel 2013 il bilancio della difesa scendeva, con tagli in numerosi settori, dall'altro le risorse stanziare per gli UAS (sistemi aerei senza equipaggio) saliva del 30%. Il lessico ufficiale dell'esercito americano definisce il *drone* come un veicolo terrestre, navale o aeronautico, controllato a distanza (o in modo automatico). Tuttavia, *drone* è un termine usato dai profani: nel gergo militare si parla di veicolo aereo senza equipaggio (UAV), oppure di veicolo aerei di combattimenti senza equipaggio (UCAV), a seconda che il mezzo sia munito o meno di armi. I progressi tecnologici raggiunti in tali sistemi hanno generato un crescente interesse affinché tali sistemi fossero utilizzati anche in ambito non militare: vi troviamo i droni per uso ricreativo (i cosiddetti quadricotteri e similari), i droni usati in ambito civile, per migliorare alcune attività dell'uomo (agricoltura, rilevamento, mappatura, ispezione, ecc . . .) e i droni militari di grosse dimensioni (per operazioni di sorveglianza e ricognizione). Infine troviamo i droni

da combattimento, UCAV e droni stealth, le cui specifiche sono segrete; tali velivoli sono utilizzati per lo più dalle agenzie governative e dalle forze militari statunitensi. Nonostante gli svariati campi di utilizzo e gli innumerevoli vantaggi, esistono ostacoli significativi allo sviluppo nel mercato globale: si rende necessaria una migliore integrazione nello spazio aereo civile, certificati di volo rilasciati da enti ufficiali, mancanza di una legislazione specifica (non esiste, infatti, una normativa unica, e molti paesi non ne hanno neanche una), sicurezza dei dati e delle telecomunicazioni (soprattutto per i droni militari durante le loro missioni), sicurezza della stazione di controllo (GCS), ecc

Esistono, inoltre, delle differenze tra un aereo classico e un velivolo senza pilota a bordo. Esse riguardano i controlli di volo, l'avionica, l'autonomia del velivolo (e i suoi gradi di autonomia), il software, la gestione dei dati, le comunicazioni e i payload. Anche le prestazioni degli UAV sono diverse, rispetto alla controparte, spesso adattate al velivolo in quando non devono ospitare equipaggi a bordo. Le differenze sono presenti anche all'interno delle varie categorie di UAV e droni: diversa dimensione, forma, motore, scopi, dotazione e costi. Troviamo droni ad ala fissa, alianti, terrestri, navali ed ibridi. Tanto più grande e costoso è un drone, maggiore sarà la sua autonomia di volo, la sua resistenza, la tecnologia di bordo e le sue caratteristiche tecniche. Nel futuro prossimo, si tenderà a creare droni di piccola dimensione con tecnologie all'avanguardia o riadattando i piccoli modelli esistenti.

Lo scopo di questa tesi è duplice:

- Da un lato si tenta di fare una panoramica sugli UAV e i droni, sulle loro caratteristiche, la nascita e l'evoluzione e gli ambiti di utilizzo con relativa classificazione per una più facile comprensione (nei capitoli 1, 2, 3 e 4);
- Dall'altro si analizza l'avionica di tali velivoli, comprendendo sia la parte hardware che software. In tal modo è possibile capire le componenti principali, i punti di forza e di debolezza, che saranno poi analizzati a parte, per capirne la resistenza e come hackerare un uav (nei capitoli 5 e 6).

Nel capitolo 7 si esporranno i concetti di etica e normativa dei droni, mentre nel capitolo 8 si analizzerà la tecnologia stealth. Infine nel capitolo 9 saranno descritti i possibili miglioramenti di tali sistemi, gli sviluppi futuri e i progetti attivi (o che saranno disponibili a breve) riguardo utilizzi militari e civili dei droni. Le due appendici a fine tesi descriveranno:

- La lista di tutti gli UAV prodotti finora nei vari paesi;
- Le schede tecniche degli UAV principali e più interessanti dal punto di vista tecnologico.

Capitolo 1

UAV e droni: una panoramica

1.1 UAV o UAS?

Vari sono i nomi utilizzati per descrivere i velivoli senza pilota. Gli UAV divennero UAS, acronimo preferito dalla Federal Aviation Administration (FAA). Altri acronimi includono RPV (Remote Piloted Vehicles), usato nella Guerra del Vietnam. Attualmente l'USAF ha sostituito il termine RPV (o RPA), usati per includere sia il velivolo che il pilota. Il Regno Unito ha usato la dicitura Remotely Piloted Air System (RPAS), per dimostrare la presenza dell'uomo nel ciclo del controllo. Un UAV (noto anche come drone) si riferisce ad un velivolo senza pilota, ad una macchina volante senza a bordo un pilota umano e senza passeggeri. Non è presente un essere umano che dirige attivamente i controlli del velivolo. Le funzioni di controllo possono essere a bordo o telecomandato [29], [34], [60], [61]. Gli UAV differiscono:

- Dagli ordigni e dai missili perché tali velivoli sono stati progettati per tornare indietro ed essere riutilizzati;
- Dagli aerei controllati da remoto, ma soprattutto dai modellini per hobby, perché hanno un raggio d'azione (e una visuale) maggiore e raggiungono altezze che una persona a terra non può normalmente raggiungere.

Come i missili guidati, la struttura degli UAV è formata da materiali leggeri, sistemi avanzati di propulsione, collegamento dati sicuro e sistemi di controllo sofisticati. I Cruise Missiles ¹ non sono considerati UAV perché, come la maggior parte dei missili guidati, il veicolo stesso è un'arma che non può essere riutilizzata, nonostante sia anch'essa senza pilota e guidata da remoto. L'UAV, invece, può essere sacrificabile, o essere recuperato, e può trasportare carichi letali o non letali [32].

¹ È un missile che percorre una traiettoria guidata. Diversamente dai missili balistici, che percorrono una traiettoria prefissata, il missile cruise possiede un motore che resta acceso per tutta la durata del volo e delle ali che gli permettono di volare come un aeroplano e di controllare continuamente la sua rotta.

Una definizione generica di UAV:

Un velivolo riutilizzabile concepito per operare senza un pilota a bordo. Non trasporta passeggeri e può essere pilotato in remoto (o pre programmato) per volare autonomamente.

Joint Capability Group on Unmanned Aerial Vehicles (2007)

Il termine *riutilizzabile* differenzia i velivoli senza pilota da armi guidate e da altri sistemi di consegna munizioni. Alcuni anni fa, il *Dipartimento della Difesa* (DoD), seguito dal FAA e l'*Agenzia Europea per la Sicurezza Aerea* (AESA), ha adottato il termine UAS. per significare che sono aerei, la cui navigabilità doveva essere dimostrata. Essi sono sistemi dotati di una stazione di controllo a terra, collegamenti di comunicazione, sistemi di lancio e recupero, oltre al velivolo stesso. Di seguito alcune definizioni di UAV / UAS a confronto:

Un dispositivo utilizzato o destinato ad essere utilizzato per il volo nell'aria senza nessun pilota a bordo. Questo include tutte le classi di aerei, elicotteri, dirigibili, aerei e ascensori traslazionali che non hanno alcun pilota a bordo. I velivoli senza pilota sono soltanto quegli aerei controllabili sui loro tre assi escludendo i palloni tradizionali.

Federal Aviation Administration (2008)

Un veicolo a motore sprovvisto di operatore umano che può essere utilizzato in modo autonomo o in remoto, sacrificabile o recuperabile. Può trasportare un carico utile letali o non letali. I veicoli balistici o semi-balistici, missili da crociera, proiettili di artiglieria, siluri, mine, satelliti, sensori incustoditi (con una qualche forma di propulsione) non sono considerati veicoli senza equipaggio. I veicoli senza equipaggio sono la componente principale dei sistemi senza pilota.

FAA - Unmanned Systems Roadmap (2008)

Un UAS comprende i singoli elementi del sistema: l'aereo senza pilota, la stazione di controllo e tutti gli altri elementi del sistema necessari per consentire di volo, vale a dire strumenti di "comando e controllo di collegamento" e "elementi di lancio e di backup". Ci possono essere più di questi elementi in un UAS.

EASA - European Aviation Safety Agency (2009)

Il *Ministero della Difesa* del Regno Unito ha fornito le seguenti definizioni [6]:

- Un aereo pilotato a distanza è definito come un aereo che, pur essendo pilotato a distanza da un operatore umano, è normalmente recuperabile e può trasportare carico utile letale o non letale;
- Un velivolo (aircraft) controllato da remoto è la somma dei componenti necessari comprendenti il pilota, gli operatori del sensore (se applicabile), il velivolo, un terreno con la stazione di comando, la manodopera e il supporto associati, i collegamenti via satellite e i collegamenti dati;
- Un aereo senza pilota (a volte abbreviato come UA), è definito come un aeromobile senza operatore umano a bordo;
- Un UAS è definito come un sistema, i cui componenti includono il velivolo senza pilota e tutte le attrezzature, di rete e di personale, necessarie per controllare il velivolo stesso.

Da tutti questi esempi risulta evidente che una definizione definita e univoca di UAV non esiste ancora.

1.2 C'è drone e drone

Il termine **drone**, coniato formalmente nel 1936, è il più usato dal pubblico e fa riferimento al maschio dell'ape, il fuco, del quale richiama la forma. Tale termine ha visto una forte opposizione da professionisti dell'aviazione e regolatori del governo [2], [7]. Il termine drone, oramai divenuto di uso comune, si sovrappone a quello di veicolo che:

- A bordo presenta componenti elettronici che aiutano il pilota nel mantenimento dell'assetto, della rotta e delle operazioni;
- È in grado di mantenersi in movimento nello spazio per un dato periodo;
- È controllato da un pilota (in remoto);
- Molto spesso è dotato di dispositivi supplementari (termocamere, fotocamere, videocamere, sensori di varia natura, ecc...) che li rendono adatti a scopi più specifici.

A differenza di un robot, il drone non è in grado di svolgere mansioni in autonomia, in quanto è, a conti fatti, un'estensione dell'utente umano (che deve essere specializzato nel caso di compiti specifici).

Non va confuso, però, con una specie di esoscheletro ², in grado di potenziare il pilota stesso. Possono essere effettuati vari tipi di classificazioni:

- *Alimentazione* (elettrica, con motore a combustione, interno, nessuno);
- *Ambito di utilizzo* (terrestre, aereo, marino);
- *Campo di utilizzo* (militare, civile).

1.2.1 Tipi di drone

I droni possono essere distinti nelle seguenti categorie [2], [7]:

- **Acquatici:** può navigare sulla superficie dell'acqua oppure immergersi come un sommergibile;
- **Ad ala fissa:** un aeromobile a uno o più motori. Per restare in aria sfrutta l'aerodinamica di una (o più) ala fissa. Tale categoria include anche i normali aeromodelli radiocomandati;
- **Ad ala rotante:** è un elicottero a un (o più) rotore collegati a eliche a due o più pale, che con la loro rotazione creano la cosiddetta ala rotante. Tale categoria include i normali elicotteri radiocomandati;
- **Anfibi:** può essere impiegato sia sulla terra sia in acqua, come gli *hovercraft*;
- **Ibridi:** un esempio è il drone terra-aria prodotto da Parrot, in grado di volare, ma anche di correre a terra e arrampicarsi sui muri o sul soffitto. È un quadricottero dotato di due grosse ruote laterali. Esiste anche un drone ibrido che, al posto delle ruote, ha delle eliche che lo fanno volare, ma anche correre per terra su qualsiasi superficie;
- **Terrestri:** dotato di ruote o cingoli che può muoversi anche su terreni accidentati e in zone pericolose. Spesso sono chiamati *rover*;
- **Struttura a eliche:** presenza di una o più eliche, montate di solito su bracci estraibili, facendo volare il drone come un elicottero. Possono restare a mezz'aria, effettuare virate repentine e / o volare in direzione obliqua;
- **Struttura planare:** sono dotati di grandi ali, risultando più simili agli aeroplani. Sono adatti per le medie distanze, sfruttando correnti e flussi d'aria.

² In ambito tecnologico, l'esoscheletro è un apparecchio cibernetico esterno in grado di potenziare le capacità fisiche (forza, agilità, velocità, potenza, ecc.) dell'utilizzatore che ne viene rivestito e che costituisce una sorta di "muscolatura artificiale".

1.3 Consapevolezza Uomo-UAV

Una corretta descrizione circa la consapevolezza Uomo-UAV deve considerare i seguenti aspetti principali [12]:

- Includere le esigenze asimmetriche di informazione delle persone e dell'UAV;
- Essere indipendente da un particolare tipo di UAV;
- Essere specifico per i tipi di informazioni richieste nel dominio degli UAV.

Nel caso più semplice, una sola persona e un solo UAV lavorano insieme. Ognuno deve conoscere particolari informazioni affinché si possa lavorare insieme e in maniera ottimale. Il caso base è formato da tre parti:

1. La comprensione che l'uomo ha dell'UAV (consapevolezza uomo-UAV);
2. La conoscenza che l'UAV ha dell'essere umano (consapevolezza UAV-uomo);
3. Consapevolezza globale della missione.

Uomo-UAV

- Relazioni spaziali 4D (coordinate geografiche, altitudine e la velocità nel il time, per catturare eventuali rapporti futuri predette) tra l'UAV e
 - Altri velivoli;
 - Cammino di volo del velivolo;
 - Minacce operative;
 - Obiettivi;
 - Ostacoli;
 - Punti della terra.
- Capacità dell'UAV che hanno un impatto sulle operazioni:
 - Link di collegamento;
 - Logica di contingenza;
 - Performance;
 - Sensori.

- La salute dell'UAV:
 - Equipaggiamento e integrità del velivolo;
 - Livelli di consumo.
- Altri stati del velivolo:
 - Disponibilità in uso per le trasmissioni;
 - Modalità autonoma in uso;
 - Parametri di volo in uso o predetti;
 - Sensori in uso.
- Tempo attorno al velivolo:
 - Previsioni del tempo;
 - Tempo corrente.

UAV-Uomo

- Comandi umani necessari per guidare l'UAV;
- Vincoli delineati dall'uomo, che possono richiedere un'azione o modificare comandi non conformi.

Consapevolezza globale

- Altri soggetti interessati;
- Clienti della missione;
- Istruzioni e scopo della missione;
- Missioni collegate;
- Progressi generali;
- Progressi momento per momento;
- Punti di decisione;
- Vincoli di tempo.

1.4 Unmanned \neq Unpiloted

È improprio usare il termine drone per riferirsi alla maggior parte delle piattaforme UAS dato che la maggior parte di esse sono pilotate da personale a terra [1]. I piloti fanno parte di un sistema di tre componenti:

- *Il velivolo senza pilota (UA);*
- *La stazione di controllo a terra (GCS);*
- *Il collegamento di comunicazione fra i due elementi precedenti.*

Se i voli vanno oltre la linea di controllo (line-of-sight, ossia sopra l'orizzonte) allora gli UAV utilizzano stazioni di controllo satellitari e controlli da terra supplementari. Durante il volo, l'intervento del pilota avviene in tempo reale e sono sempre disponibili anche le rotte di volo e le missioni pre-programmate.

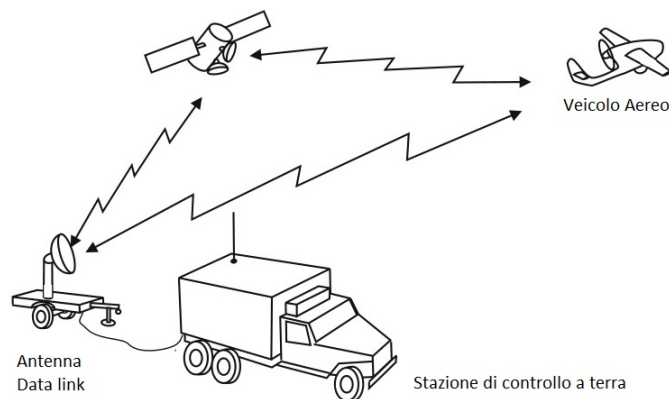


Figura 1.1: Sistema UAV generico

Piloti e operatori

Quando si parla di UAS, si fa molta confusione circa il ruolo del pilota. Troppo spesso, infatti, si pensa alle opere di fantascienza ed a lavori tecnici sui robot eticamente superiori, il tutto diventando base per discussioni su preoccupazioni morali, legati e etiche, soprattutto riguardo l'implementazione di UAS letali. La formazione di personale adatto a pilotare tali velivoli è una delle prossime sfide future, dato l'elevato numero di esemplari prodotti e in produzione. Resta da capire quali sono i requisiti per diventare pilota di UAS / droni, valutando le normali attitudini e requisiti dei piloti tradizionali o introducendo cambiamenti di vario tipo. Per esempio, i candidati per la formazione dell'Air Force UAS sono sottoposti a screening, considerando le stesse abilità e caratteristiche dei piloti tradizionali, tra cui capacità motorie, vista, tratti della personalità e capacità di decisione sotto stress.

1.5 Vantaggi e Svantaggi

Vantaggi [6], [27], [32], [34], [61]

- Alta resistenza e costante disponibilità che ne deriva (solo su *larger unmanned systems*);
- Capacità di attacco aereo supplementare;
- Funzioni di intelligence, sorveglianza e ricognizione alle truppe di terra;
- Motivi economici: tipicamente un UAV ha dimensioni ridotte rispetto al suo corrispettivo pilotato da equipaggio; umano. Sono ridotti anche i costi di manutenzione, i costi del carburante, i costi degli operatori e i costi sull'assicurazione;
- Presenza di multi sensori;
- Presenza persistente su aree specifiche e sistema di videosorveglianza giorno e notte;
- Riutilizzo di alcuni modelli;
- Sicurezza: il pilota non subisce danno non essendo a bordo del velivolo;
- Sistema di volo (più sofisticato e preciso) e comunicazione radio.

Svantaggi [6], [27]

- Alcuni modelli possono operare solo in determinate zone aeree;
- Alti costi di sviluppo per determinati UAV;
- Bassa manovrabilità di alcuni modelli;
- Eccessiva quantità di dati raccolti non facilmente analizzabili in tempi brevi;
- Mancanza di una legislazione per il volo di UAV in spazio aereo non segregato;
- Peso eccessivo per alcuni modelli di grossa taglia;
- Scarse misure difensive;
- Scarsa possibilità di operare a bassa velocità;
- Vulnerabilità ai dati informatici, agli attacchi di collegamento della comunicazione o alla perdita del collegamento;
- Vulnerabili agli attacchi di una sofisticata rete di difesa aerea.

1.6 Miti sui droni

Non tutti hanno chiara l'idea dell'UAV o del drone: questo causa immagini distorte e visioni ridotte in termini di false definizioni e false ipotesi. A causa di tutto ciò si sono creati alcuni miti che è bene sfatare [1]:

Mito Gli UAV sono pericolosi per i velivoli con equipaggio e per la gente a terra.

Realtà La tecnologia degli UAV è sempre in aggiornamento e miglioramento, proprio per dare maggiore consapevolezza della situazione al pilota (nonostante egli lavori in una cabina di guida). A tale proposito viene utilizzata la tecnologia *Sense and Avoid*.

Mito Gli UAV sono più adatti per uso militare.

Realtà Gli UAV sono utilizzati in vari ambiti civili senza problemi, risultando molto utili e versatili, soprattutto in compiti civili difficili (o impossibili per l'uomo). Per esempio, la National Oceanic and Atmospheric Administration ha utilizzato l'UAS Aerosonde per indagare sugli uragani; alcuni geofisici addestrati hanno utilizzato gli UAS per prevedere la posizione dei giacimenti minerari. Altri UAV sono stati utilizzati per salvare vite umane, a seguito di calamità naturali.

Mito Gli UAS non rappresentano un significativo mercato aeronautico.

Realtà Dei 1.581 tipi di UAS costruiti nel 2012, 377 sono stati realizzati negli Stati Uniti. IL numero di UAV acquistati per uso civile è passato da 55 esemplari nel 2005, a 217 nel 2012.

Mito Gli UAS rappresentano una minaccia per la privacy.

Realtà I problemi riguardanti la privacy degli UAS sono gli stessi che si possono riscontrare utilizzando aerei con equipaggio o qualsiasi altro dispositivo palmare (o statico) in grado di catturare immagini. A differenza dei contenuti di uno smartphone, le missioni di sorveglianza degli UAS (e le informazioni che essi generano) sono altamente regolate e restano segrete da parte degli enti governativi e dalle leggi a tutela della privacy personale. Nel capitolo 7 si discuterà circa l'etica, privacy e normative dei droni.

1.7 Bio-inspiration

Alcuni droni utilizzati in ambito civile prendono spesso in prestito caratteristiche dal mondo degli insetti, dal loro scheletro al funzionamento delle eliche, per essere leggeri e sfruttare al meglio i cicli dell'aria. Un esempio lo troviamo in Svizzera, dove i ricercatori dell'azienda **Curvace**, hanno annunciato la realizzazione di un occhio artificiale con caratteristiche simili a quelle di un insetto (mosche, falene o moscerini della frutta). Tale prototipo, chiamato *Curved Artificial Compound Eye (CACE)*, è dotato di una struttura composta da tanti piccoli fotorecettori, in grado di rilevare i movimenti degli oggetti con un angolo visivo, e una profondità di campo, superiore a quella dell'occhio umano (e anche di qualsiasi fotocamera in commercio finora). Negli artropodi, come anche in altre specie, la visione è ottenuta mediante occhi composti che offrono una risoluzione minore (rispetto agli occhi a singola lente dei vertebrati), ma un campo visivo molto più ampio. Il prototipo sviluppato dalla Curvace si ispira agli occhi di una mosca: sono stati assemblati tra loro tre diversi strati, un array di micro lenti, un array di cellule fotoelettriche neuromorfe e un circuito stampato, ottenendo una fotocamera microscopica meccanicamente flessibile (1 millimetro di spessore). L'intera struttura occupa un volume di $2,2 \text{ cm}^3$, ha un peso di 1,75 grammi e consuma solo 0,9 Watt alla massima potenza. L'occhio artificiale può funzionare in qualsiasi condizione di luce, offrendo un campo visivo di 180 gradi, con una velocità di elaborazione tripla rispetto a quelli del moscerino della frutta. La fotocamera in questione non permette di scattare foto, ma solo di rilevare le variazioni di luminosità generata dal movimento, proprio come succede agli insetti quando volano ed evitano gli ostacoli. Le applicazioni future di tale tecnologia sono tante: dai sistemi di navigazione anti collisione per veicoli aerei e terrestri, ai micro droni per ricognizione e controllo, a dispositivi che necessitano di rilevare la distanza dagli oggetti [38], [66].



Figura 1.2: Occhi di insetti artificiali per micro droni

Per maggiori dettagli sul progetto si rimanda al sito del produttore: [Curvace](#).

1.8 Multiple UAV

Sono vari i vantaggi nell'utilizzo di più UAV rispetto ad uno solo [23]:

- Complementarietà dei membri del team;
- Costi;
- Evoluzione della tecnologia;
- Interventi simultanei multipli;
- Grande efficienza;
- Riutilizzo.

Architettura

I sistemi multi-UAV possono essere classificati in diversi modi. Una possibile classificazione si basa sul l'accoppiamento tra gli UAV:

- Accoppiamento fisico;
- Formazioni;
- Sciami;
- Cooperazioni intenzionali.

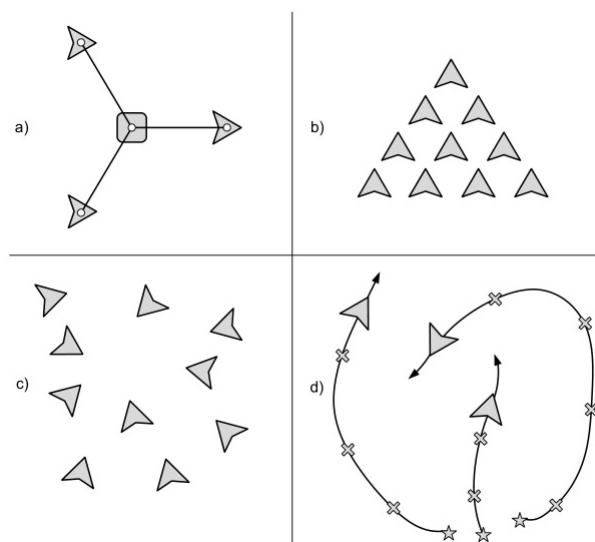


Figura 1.3: Illustrazione di Multiple UAV

1.9 Swarming

Lo swarming ha una sua base biologica: le api, le formiche e molti altri organismi hanno l'abilità di cooperare in maniera coordinata, sotto forma di sciame o stormo, per la ricerca di cibo, nel contempo evitando i predatori o altri rischi. Gli stormi, quando avvistano un falco o uno sparviero, loro predatori, si stringono assieme per impedire che il cacciatore possa isolarne uno o catturarlo. Non si tratta di un comportamento altruistico: c'è una innata auto-organizzazione, non c'è nessuno che impartisce un ordine, ognuno cerca di chiudersi nel gruppo per proteggersi, correndo meno rischi. Il comando è in mano a tutti e a nessuno: i cambi di direzione o di strategia iniziano con il movimento brusco di uno qualsiasi o di pochi componenti (non del capo, che manca). Gli altri vengono nello sciame appunto, che ha il potere di travolgere anche il nemico più forte. La base biologica, in quanto tale, riguarda tutti, nessuno escluso, nemmeno l'essere umano. Gli umani a differenza delle api o dei pesci, possono collegarsi tra loro indipendentemente dalla distanza ed alla velocità della luce. Tornando agli UAS, agire in sciame consente di risolvere i problemi che non sono accessibili al singolo UAS. Vantaggi dello swarming:

- *Affidabilità e robustezza*: la ridondanza intrinseca nell'utilizzare un grande numero di UA, nonché la semplicità di ogni singolo UA consente di perseguire le operazioni in gruppo, non solo condividendo dati provenienti da un maggior numero di sorgenti, ma a dispetto del fallimento di un singolo robot non esiste un singolo punto di rottura per il sistema. Sono robusti nel senso che se qualcuno fallisce, o viene distrutto o ingannato, lo sciame continua ad eseguire il task per raggiungere il proprio obiettivo;
- *Auto organizzazione*: uno sciame non necessita di un leader o di un piano globale precedentemente pianificato, il controllo è distribuito e decentralizzato. Lo sciame raggiunge il suo obiettivo attraverso l'interazione di tutto il gruppo. E così diventano più efficaci, perché in gruppo fanno meglio di quanto potrebbero facendo da soli;
- *Efficienza computazionale*: le disponibilità di più processori in uno sciame riduce il carico computazionale;
- *Longevità*: muoversi in sciame fornisce molte più probabilità di sopravvivere di un singolo organismo, se vengono impiegati più agenti quasi certamente sopravvivranno rispetto a un singolo agente;
- *Low cost*: l'obiettivo di gruppo è raggiunto attraverso UA governati da regole semplici. Design semplici richiedono meno hardware e si prestano meglio per la produzione di massa. 80 Come il programma della Rand Corporation

PRAWNS (PRoliferated Autonomous WeapONS) in cui piuttosto che avere un solo, e magari costoso, sistema in grado di fare tutto, si decide di frazionare il task di una missione tra una varietà di robot più piccoli, più economici, ma più specializzati, similmente ad uno sciame di formiche al lavoro che trasportano informazione al posto del cibo;

- *Scalabilità*: UA possono essere aggiunti o rimossi dallo sciame entro limiti definiti senza necessità di ricorrere a cambiamenti o susseguenti riprogrammazioni

L'ingegneria degli sciami mostra che quello degli sciami è un approccio *bottom-up* rispetto al più tradizionale schema *top-down*. In uno schema bottom-up, ci si basa appunto su agenti più semplici e meno elaborati. L'ignoranza di un agente è utile, l'informazione locale genera un comportamento globale in modo che il caos possa crescere secondo un ordine complesso, quello dello sciame. Secondo il design tradizionale top-down invece, l'ignoranza di un agente è nociva, un ordine globale potrebbe non essere ben eseguito, richiedendo quindi un ordine specifico per ciascuno degli agenti, aumentando la complessità che spesso porta al caos. Gli impatti conseguenti all'impiego di swarms negli scenari di warfare moderna sono molteplici. In conflitti asimmetrici, non tradizionali, decentralizzati, le caratteristiche intrinseche degli sciami sono uniche: maggiore e più aggiornata situational awareness, inafferrabilità, capacità standoff, simultaneità. Uno sciame può presentarsi come un'unica grande massa, disassemblarsi e convergere da molteplici direzioni (cloud swarms), ma anche presentarsi inizialmente in maniera dispersa per poi convergere ed attaccare come corpo unico (vapor swarms). Uno sciame ha capacità offensive determinanti: sia l'Afghanistan o un Paese meglio attrezzato, è probabile che il nemico tenda a sottrarsi alla devastante potenza di fuoco delle forze di coalizione, sparpagliandosi e nascondendosi (cosiddetta "maneuver under fire"). *Esempio di applicazioni*: in una rete di difesa missilistica balistica, sciami di velivoli possono avere il compito di pattugliare una zona intermedia tra il sito di lancio di missili balistici e l'ipotetico bersaglio del missile. I missili balistici si muovono a velocità estremamente elevata, pertanto il rilevamento, la discriminazione e il monitoraggio devono verificarsi il più rapidamente possibile, generalmente durante la fase di spinta (boost) che in genere dura solo 1-5 minuti, a seconda che si tratti di missili intra-teatro o intercontinentali, in modo da aumentare la probabilità di successo per l'intercettazione. Sciami di UA si prestano inoltre molto bene ad applicazioni in contesti urbani, dove l'impiego può essere limitato da problemi di line of sight a causa della presenza di edifici e quindi l'impiego di sciami UA è indispensabile come comms relay o in supporto a una moltitudine di nodi on ground, equipaggiati con sensori termici, magnetici, acustici e sismici, all'interno di una Wireless Polling Sensor Network per la rilevazione di ordigni bellici improvvisati. Ma ci sono tante e tante altre applicazioni.

Capitolo 2

Nascita ed evoluzione degli UAV

Nel corso della storia i sistemi UAV, come molti settori della tecnologia, sono stati guidati dal settore militare, che ne ha permesso la nascita e lo sviluppo. Solo in un secondo momento, dopo numerose sperimentazioni, tali tecnologie sono state messe a disposizione come applicazioni civili, con i più disparati obiettivi: scavalcare la "concorrenza" o migliorare le attività "comuni" dell'uomo, fornendo supporto. Non è facile identificare quale sia stato il primo UAV (in senso letterale): si può pensare alla pietra lanciata da un uomo preistorico nelle caverne, oppure un razzo cinese lanciato nel XIII secolo. Questi "veicoli", tuttavia, avevano poco, o nessun, controllo da parte dell'uomo, seguendo una traiettoria balistica. L'aviazione con equipaggio è apparsa alla fine del 1700 e dopo circa un secolo macchine più pesanti hanno volato. I primi UAV sono apparsi nel 1916, intorno al periodo della Prima Guerra Mondiale. Tuttavia, l'idea di costruire "macchine volanti" è stata concepita circa 2.500 anni fa, nell'antica Grecia e in Cina [29].

2.1 Precursori di volo

Pitagora, *Archimede* e altri hanno studiato l'uso di meccanismi autonome per una varie applicazioni. Il primo esempio di macchina volante autonoma viene accreditata a Archita dalla città di Tarantas (o Tarentum) nel Sud Italia, noto come *Archita il Tarantino*. Egli è stato indicato come il Leonardo da Vinci del Mondo Antico. È stato, forse, il primo ingegnere, progettista e realizzatore di vari meccanismi. Nel 425 a.c. costruì un uccello meccanico, definito "il piccione". Secondo *Cornelius Gellius* nel suo *Noctes Atticae*, l'uccello era di legno, ben equilibrato con i pesi, e volò utilizzando aria (molto probabilmente a vapore) racchiusa nel suo stomaco. Il piccione volò per circa 200 metri prima di cadere a terra, consumando tutta l'energia. Il piccione non poteva volare di nuovo, a meno che il meccanismo è fosse azzerato.



Figura 2.1: Il primo UAV documentato nella storia

Parecchi secoli dopo, *Leonardo Da Vinci*, nel 1483, progetta un aereo capace di volare, chiamato vite aerea (o giroscopio aereo). Egli aveva compreso che un velivolo sarebbe potuto restare in volo utilizzando una *vite aerea*, cioè una semplice spirale che doveva essere mantenuta in modo circolare e continuo in modo da garantire il volo sfruttando la densità dell'aria. Con secoli di anticipo, Leonardo riuscì a prevedere e ipotizzare la futura elica aeronautica. Il principio di base era il seguente: una vite del diametro di 10 metri la quale, tramite un telaio fatto di canne e lino inamidato e mossa dalla forza muscolare di quattro uomini, si sarebbe *avvitata* nell'aria (similmente ad una vita che penetra nel legno) [3], [29].

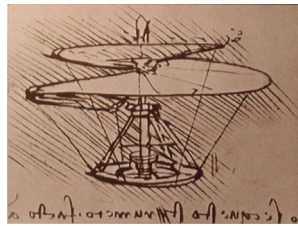


Figura 2.2: Bozzetto di Leonardo sulla *vite aerea*

Circa 20 anni di prima di questo progetto, alcune testimonianze storiche affermano che in Giappone sia stato inventato un oggetto simile, anche se si tratta di un giocattolo [3]. Esso è formato da una piccola elica collegata ad un bastoncino che gli permette di levarsi in volo dopo aver strofinato velocemente l'asta tra i palmi delle mani, o grazie ad una cordicella. Tale oggetto, tuttora utilizzato non solo in Giappone, si chiama *taketombo*:



Figura 2.3: Taketombo moderno

1754 *Mikhail Lomonosov*, un inventore russo, presentò il progetto di un modello di birotore potenziato da una molla utilizzabile in meteorologia per potere in aria gli strumenti di misurazione.

1849 **I palloncini austriaci.** Il primo utilizzo documentato di UAV per la Guerra Aerea (*Warfighting*) è avvenuto il 22 agosto 1849, durante l'attacco di Venezia da parte degli austriaci che usarono palloncini, senza equipaggio, carichi di esplosivo. Alcuni palloncini furono lanciati da *Vulcano*, una nave austriaca. Alcuni palloncini riuscirono a colpire la città, mentre altri, causa cambio del vento, furono catturati e tornarono indietro sopra le linee austriache. Gli austriaci avevano lavorato a questo espediente di attacco per mesi, vista l'impossibilità di raggiungere la laguna di Venezia con le tradizionali truppe terrestri. Tali palloncini, però, non soddisfano l'attuale definizione di UAV [26].

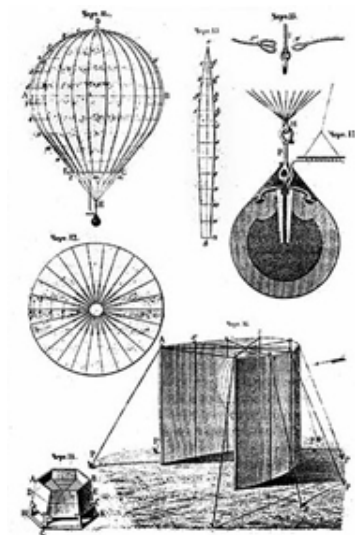


Figura 2.4: Balloons Over Venice

1863 **Bomba aerea di Perley:** due anni dopo l'inizio della Guerra Civile Americana, l'inventore *Charles Perley* registrò il brevetto a New York riguardante un bombardiere aereo senza equipaggio. Il suo progetto riguardava una mongolfiera che trasportava un cesto pieno di esplosivo collegato ad un meccanismo a tempo. Allo scadere del tempo prestabilito viene innescando la caduta dell'esplosivo. Inizialmente si erano inviati in aria palloncini di prova per misurare la velocità del vento e le correnti, allo scopo di impostare con precisione il timer. Tuttavia, il design impreciso e pericoloso, rendeva l'intero progetto molto incerto, causandone l'inutilizzo.

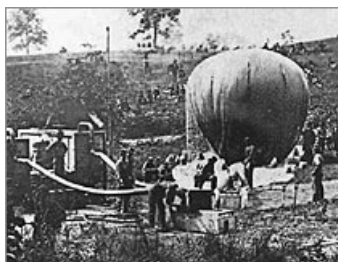


Figura 2.5: Bomba aerea di Perley

- 1863** Il francese *Gustave Ponton D'Amecourt* brevettò il nome ufficiale di *elicottero*, in risposta all'inglese *Henry Bright*, che brevettò l'idea delle *eliche contro rotanti*. D'Amecourt diede a questi modelli il nome di *Hélicoptères*, anche se non furono in grado di sollevarsi in aria durante l'esposizione aeronautica di Londra nel 1868.
- 1877** Quattro secoli dopo il bozzetto di Leonardo, l'ingegnere italiano *Enrico Forlanini*, riesce a far sollevare fino a 13 metri da terra il primo elicottero, utilizzando un motore a vapore. Le numerose evoluzioni tecnologiche portarono l'elicottero a diventare un vero e proprio mezzo di trasporto, molto utile e versatile in vari ambiti e settori, con numerose applicazioni sia militari che civili.
- 1883** L'inglese *Douglas Archibald* utilizza un aquilone (con anemometro annesso) e, sfruttando la velocità del vento, raggiunge altitudini fino a 1200 piedi;
- 1887** L'inglese *Douglas Archibald* attracca delle telecamere agli aquiloni, fornendo uno dei primi *UAV* di ricognizione in tutto il mondo. Le sue fotografie furono notate da un soldato americano che ne capì il potenziale in ambito militare.
- 1898** Durante la guerra ispano - americana, il caporale *William Eddy*, ispirato dai progetti di Archibald, usò un aquilone truccato per scattare centinaia di fotografie di sorveglianza aerea. Queste divennero le prime foto di sorveglianza di guerra nella storia e molte di queste foto divennero cruciali nel fornire informazioni alle truppe americane sulla posizione dei nemici e sulle loro fortificazioni.



Figura 2.6: Prime foto di sorveglianza nella storia

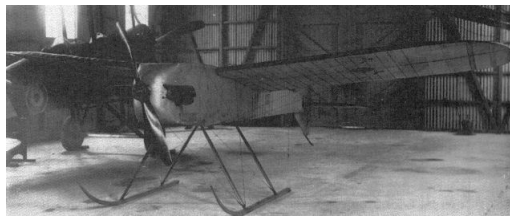
2.2 Dal 1900s al 1920s

1903 Il primo volo dei fratelli *Wright*.

1911 Il primo aliscafo creato da *Glenn Curtis* per decollare e atterrare sull'acqua.

I due precedenti successi fecero muovere i primi passi all'industria aeronautica. Nell'arco di pochi anni, le istituzioni militari stavano indagando circa le possibilità, e le potenzialità, di aerei senza pilota da usare come droni, per i siluri e le bombe. Lo scopo era quello di erare dei veicoli aerei affrontando nuove sfide: volo sicuro, direzione specifica, per un determinato periodo di tempo e senza pilota. Durante la Prima Guerra Mondiale comparvero i primi modelli di UAV riconosciuti [4].

1916 / 7 (UK): l'*Aerial Target (AT)* della **RAF**³ costituisce il primo esempio di aeroplano senza pilota radio comandato, utilizzato sia per la difesa contro i *Zeppelin*⁴, sia come bomba in volo. È stato costruito nella P. Hare Royal Aircraft Factory, in Putnam. L'idea di base è dovuta al Capitano *Archibald Montgomery Low* dell'unità wireless RFC di Feltham.



(a) Aerial Target(AT)



(b) Zeppelin

Figura 2.7: Primi UAV

1917 / 8 Il Dr. *Peter Cooper* e *Elmer A. Sperry* hanno inventato lo stabilizzatore giroscopico automatico, che aiuta a mantenere un aereo in volo diritto e livellato. Cooper e Sperry, con la loro innovazione tecnologica, hanno convertito un *Navy Curtiss N-9* (velivolo da addestramento degli Stati Uniti) nel primo UAV radiocomandato. Tale velivolo è stato chiamato *perry-Curtis Aerial Torpedo*: ha voltato per circa 50 miglia e ha trasportato una bomba di 300 libbre in diversi voli di prova (su Long Island), ma non è mai visto di combattimento [11], [26], [30].

³ La Royal Air Force è l'attuale aeronautica militare del Regno Unito e parte integrante delle forze armate del Regno Unito. Venne istituita il 1° aprile 1918, assumendo un ruolo significativo nella storia militare inglese.

⁴ Grande dirigibile tedesco del 20° secolo, lunga e di forma cilindrica e con una struttura rigida. Gli Zeppelin sono stati utilizzati durante la prima guerra mondiale per la ricognizione e bombardamento, e dopo la guerra come passeggero trasporti fino al 1930.

1918 *Charles Kettering* (Ohio) ha sviluppato un piccolo biplano, una *bomba volante* senza equipaggio poteva colpire un bersaglio a una distanza di 64 km (40 miglia). Trasporta un carico di bombe pari al proprio peso, ossia 300 libbre. È realizzato in legno e tela, per 400\$ ciascuno. Il progetto di Kettering, formalmente chiamato **Kettering Aerial Torpedo** (ma noto in seguito come **Kettering Bug**) è stato costruito dalla Dayton-Wright Airplane Company [30].



Figura 2.8: Kettering Bug

1920 Il Regno Unito rilancia i sistemi senza pilota: la **Royal Aircraft Establishment** (Farnborough) sviluppa un monoplano in grado di trasportare una testata di 114 kg, in un raggio di 480 km, nome in codice **Larynx**, dotato di un radiocomando per il lancio. Il pilota automatico riesce a far volare il veicolo su un percorso prefissato ad un'altezza prefissata, ad un intervallo prestabilito.

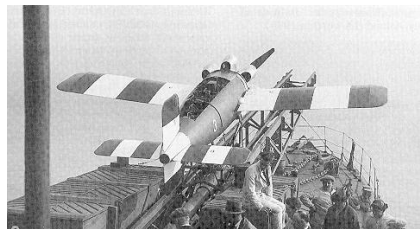


Figura 2.9: Larynx

Dopo la prima guerra mondiale, tre **Standard E-1s** sono stati convertiti in droni. La **Larynx** è un *Cruise Missile* dalla forma di un piccolo aereo monoplano, lanciato da una nave da guerra, in grado di volare con il pilota automatico. Tale missile è stato testato dalla Royal Navy tra il 1927 e il 1929. I primi successi dei velivoli senza pilota hanno portato allo sviluppo di tali tecnologie radio controllate sia in Gran Bretagna che in America nel 1930.

2.3 Dal 1930s al 1940s

Questi due decenni hanno segnato un aumento vertiginoso dei veicoli aerei senza equipaggio, prodotti e messi in servizio, soprattutto con l'inizio della Seconda Guerra Mondiale nel 1939 e con essa la necessità di nuove armi. Molte tecnologie erano in fase di sviluppo, molti droni prodotti, la comparsa dell'aereo alimentato da pistoni, aerei fabbricati con materiali compositi, droni alimentati da pulsejet, e migliore anche a livello di design esterno. Sempre nel periodo della guerra, la Marina degli Stati Uniti ha sperimentato droni d'assalto. Il **Progetto Fox** comprendeva droni dotati di telecamera nella parte anteriore e radiocomandati, con equipaggio dotato di schermo televisivo. Sono stati ottenuti dei successi contro le navi bersaglio, dando una prima esperienza in *hands-on*. Dall'inizio della Guerra Fredda in poi l'URSS ha sviluppato una serie di droni da ricognizioni i cui progetti sono coperti da segretezza.

1931 Viene sviluppato in Inghilterra il **Fairey Queen**, un obiettivo *RC*, a partire da un idrovolante Fairey III. È stato prodotto in un lotto di tre esemplari.

1935 Il **DH.82B Queen Bee**, ispirato dal biplano di *de Havilland Tiger Moth*, è il primo prodotto riutilizzabile che faceva ritorno. Ha una base di abete a multistrato e può avere ruote galleggianti, a seconda se viene lanciato da terra o dall'acqua. Può volare fino ad un'altitudine di 5.182 metri e una velocità di oltre 160 km / h e per un massimo di 482 km.



Figura 2.10: Queen Bee

1936 Il capo del gruppo di ricerca americano ha usato il termine **drone** per descrivere bersagli aerei radiocomandati.

1937 (**USA**): con lo scoppio della Seconda Guerra Mondiale ai veicoli aerei senza equipaggio sono state date denominazioni in base alla loro forma e funzione: **A** indica i droni di attacco, **PQ** indica i droni bersaglio di grandi dimensioni e **OQ** i bersagli *sub-scale*. Durante gli anni 30 la Marina ha convertito alcuni biplani obsoleti, **Curtiss N2C-2**, in veicoli senza pilota radiocomandati. I droni sono stati dotati di un carrello

di atterraggio e telecomandati da terra (o da un altro aeromobile). L'esercito testa almeno uno di questi, denominato **A-3 target**.

1935 / 41 *Reginald Denny* (veterano della Prima Guerra Mondiale e facente parte della *British Royal Flying Corps*) fonda a Los Angeles l'azienda *Radio-plane*. Si rende conto che i droni avevano un ruolo critico come tecniche di allenamento e combattimento e nel 1935 propone vari prototipi di droni per l'esercito americano, tra cui il **RP-1** e successivamente i modelli **RP-2** (1938) e **RP-3** e **RP-4** (1939). I modelli RP-4 sono rinominati **OQ-1**, e così via i successivi.



Figura 2.11: OQ-2A

1937 / 44 Nel 1937 il programma gestito da un alto ammiraglio dell'US Navy e dal tenente comandante *Delmar S. Farnhey*, aveva convertito diversi aerei in droni senza pilota. L'interesse per droni che trasportavano bombe aumentò con l'attacco a *Pearl Harbor* nel 1941. L'America entrò in guerra, progettando nuove armi: il programma (nome in codice **OPTION**) fu iniziato da *Commodore Oscar Smith*, aiutato da *Farnhey* e *Zworykin* per lo sviluppo di droni d'assalto efficaci. La US Naval Factory ha prodotto droni a basso costo, producendo il modello **TDN-1**, costituito in gran parte in legno. La sigla **TD** significa **Torpedo-Drone**, mentre la *N* indicava la fabbrica Navale.



Figura 2.12: TDN-1

Il drone TDN-1 ha un'ala alta, due motori a pistoni e un carrello triciclo fisso e può trasportare un carico (o un siluro) di 900 kg, raggiungendo la velocità di 280 km / h. Il **TDR-1** è un drone d'assalto, costruito dalla *Interstate Aircraft Company*, con sede a Los Angeles (*R* designa l'azienda). Simile al modello TDN-1, il drone TDR-1 ha il telaio in tubi di acciaio (prodotto dalle bici Schwinn) rivestiti in legno. Ha un'ala bassa e sei motori a pistoni con raffreddamento ad aria.

1939 Denny e il suo partner vincono un contratto per il loro esercito **RP-4** radiocomandato, che divenne il **Radioplane OQ-2**. Sono costruiti quasi quindicimila droni per l'esercito durante la Seconda Guerra Mondiale.

1939 / 41 I droni **Culver PQ-8**, sviluppati e utilizzati dalla **US Army Air Forces (USAAF)** erano versioni radiocomandate degli sportplane civili a due posti Culver Cadet. L'USAAF acquista centinaia di questi esemplari durante la guerra. Il modello successivo, il **PQ-14** comprende nuovi miglioramenti e funzionalità, tra cui il carrello retrattile.



Figura 2.13: PQ-8A

1940 La società britannica *Miles Aircraft* ha proposto il loro siluro aereo, chiamato **Hoop-la**, un veicolo ad ala alta che trasporta una bomba di 450 kg, alimentato da un motore a 4 cilindri raffreddato ad aria. Tale veicolo ha un'apertura alare di 4.3 metri ed una velocità massima di 480 km / h. Dotato di poca precisione, i produttori hanno dichiarato che se avesse attaccato una città sarebbe stato difficile da fermare.

1940 L'esercito americano ha ordinato la produzione di 53 tipi di **RP-4s**, chiamati successivamente **OQ-1**. La sigla **OQ** significa *Subscale Target*. Gli RP-4s sono sviluppati dalla società Radioplane. Durante la Seconda Guerra Mondiale ne sono stati prodotti diverse migliaia di esemplari, utilizzati come bersagli. Grazie ad essi è stata sviluppata e utilizzata la prima forma di radiocomando.

- 1940 / 50 Radioplane ha sviluppato un drone sperimentale **XQ-10**, realizzato in materiale plastico, ma non è mai andato in produzione seriale.
- 1941 L'esercito americano fa un ordine molto vasto di **RP-5**, che diventerà il modello **OQ-2** dell'esercito.
- 1941 / 43 L'USAAF crea una bomba volante (ispirandosi al Kettering Bug): il modello **GM A-1** (**General Motors**). Si tratta di un monoplano radiocomandato, in grado di trasportare una bomba di 225 kg per 640 km ad una velocità massima di 320 km / h.
- 1941 / 44 L'USAAF ha continuato il lavoro su altri siluri aerei detti **BQ**. Sono stati convertiti un **Fairchild AT-21 jet** ed un **TDR-1**, designati come **XBQ-4**. Sono stati convertiti il **Boeing B-17 Fortress** (in **BQ-7**) e il **Consolidated B-24 Bombers** (in **BQ-8**), entrambi pieni di esplosivo.
- 1941 / 44 La Germania ha iniziato a lavorare sui siluri aerei senza equipaggio, derivate da studi condotti dall'Unione Sovietica nel 1930 sugli aerei compositi (un aereo più grande che trasporta uno più piccolo). Nel 1941 il Ministero Tedesco Aereo (*Reichluft Ministerium* o *RLM*) ha cominciato a studiare le possibilità di utilizzo di tali aeromobili compositi e hanno scoperto che potevano essere usati da un combattente per guidare un bombardiere senza pilota, come il **Junkers Ju-88**, attrezzato con esplosivi. Il RLM ha sperimentato altre configurazioni e utilizzo di caccia sopra un bombardiere **Ju-88G** o **Ju-88A**.



Figura 2.14: Junkers Ju-88

- 1942 Furono sviluppati i primi droni alimentati da pulsoreattore⁵. Il modello di *McDonnell* si chiama **T2D2 Katydid**, divenuto successivamente il **KDD-1** e **KDH-1**.

⁵ Il pulsoreattore (o pulsogetto) è una forma molto semplice di esoreattore nel quale la combustione avviene in maniera intermittente fornendo una spinta ad impulsi. A differenza dello statoreattore (il motore a getto cui più assomiglia), è in grado di fornire una spinta a punto fisso (cioè a velocità di volo nulla).

- 1943** Il concetto di Cruiser Missile viene rivisitato dalla Germania Nazista con il **V-1** che significa **Vergeltungswaffen 1** (*Arma di rappresaglia 1*). Il suo nome tecnico è **Fieseler Fi-103** [26].

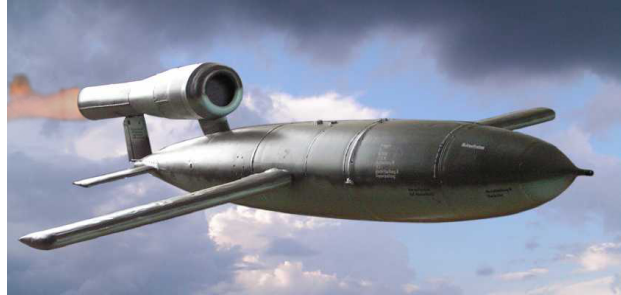


Figura 2.15: Riproduzione grafica del V-1 in volo

- 1944** Vista la minaccia del V-1 tedesco, la Marina Americana ha sviluppato degli UAV in grado di distruggere i siti di lancio V-1. Nel 1944 la **Navy's Special Air Unit One (SAU-1)** ha convertito i **B4Y-1 Liberators** e i **B-17** affinché trasportassero 25.000 chili di esplosivo, volando con comandi a distanza, utilizzando sistemi di guida mediante televisione. Tali aerei, conosciuti rispettivamente come il **PB4Y-1** e **BQ-7 (Progetto Aphrodite)**, sono decollati con un equipaggio di due persone, fino a 2.000 piedi. Nonostante la pericolosità di tali operazioni, sono riusciti a distruggere qualche sito V-1. Questo è il primo esempio di UAV utilizzati contro altri UAV.

- 1946** Otto **B-17 Flying Fortresses** sono stati trasformati in droni per la raccolta di dati radioattivi. Il decollo e l'atterraggio erano controllati da un trasmettitore posizionato su un fuoristrada e durante il volo da un altro B-17. Sono stati utilizzati sull'Atollo di Bikini (*Operation Crossroads*) per raccogliere campioni all'interno della nube radioattiva.



Figura 2.16: B-17 Flying Fortresses

2.4 Dal 1950s al 1960s

Con l'industria aeronautica in rapida crescita, gli aerei da combattimento, alla fine del 1950, hanno raggiunto velocità fino a *Mach 2*, ossia il **modello NA-273**. Allo stesso tempo, dovevano essere realizzati droni bersaglio per restare al passo, chiamati **BTT (Basic Target Training)**. Il 1950 ha segnato la nascita dei primi droni a razzo e droni con velocità supersonica. Si assiste, anche, ad una modifica del design esterno rispetto al passato. Molti droni sono stati sviluppati con la fusoliera a forma di sigaro o dardo, con piccole ali e statoreattore ⁶. Sono stati sviluppati UAV come sistema di rilevamento anti-radar, tra cui il **B47**, per confondere i sistemi radar avversari.

Negli anni 60 sono stati sviluppati aerei militari con motore a reazione (propulsione jet) e aerei bersaglio più veloci e a lungo raggio (il **Ryan Firebee**) [16]. Tali velivoli sono stati modificati per trasportare bombe e colpire bersagli sulla terraferma. In un secondo momento il Firebee e altri UAV sono stati dotati di fotocamere per ricognizioni ad alta quota sul territorio nemico. Sono stati controllati da aeromobili con equipaggio con collegamento radar e GCS. Le fotografie sono state sviluppate al ritorno dell'UAV. Il Firebee può essere lanciato da terra con un razzo che lo assiste, oppure lanciato da un aereo con equipaggio a bordo. Vengono recuperati in una zona sicura dopo l'atterraggio con paracadute. Altre varianti del Firebee sono utilizzati per confondere i radar nemici. Nel corso degli anni, i Firebee hanno subito notevoli evoluzioni e ogni modello ha una sigla diversa, incluso il modello con velocità supersonica. Alcuni modelli sono attivi ancora oggi e dotati di un sistema GPS e sensori avanzati. Il **Northrop Chuckar** è un target con propulsione jet, più piccolo del Firebee, dotato di un sistema di ricerca in grado di attaccare i sistemi radar nemici [11].

Il **Gyrodyne** (*drone elicottero antisommergibile*) è stato, probabilmente, il primo UAV per il campo di battaglia, messo in campo dagli Stati Uniti. Doveva volare da fregate della Marina Militare e trasportare siluri o bombe di profondità per attaccare i sottomarini nemici fuori dal raggio delle comuni navi. Totalmente radiocomandato, è sprovvisto di sensori, di pilota automatico e di GPS: Per la prima volta si utilizza un UAV ad ala rotante. Molti esemplari furono persi in mare, disastro probabilmente evitato se ci fosse stato il pilota automatico.

⁶ Lo statoreattore, in inglese ramjet, è un motore a reazione e concettualmente il più semplice esoreattore. Lo statoreattore riduce la complessità del turbogetto semplice eliminando il compressore e, di conseguenza, la turbina che deve trascinarlo, grazie alla velocità stessa del velivolo la quale comprime l'aria entrante nella presa d'aria. Come conseguenza, lo statoreattore non è in grado di funzionare a punto fisso (cioè fermo rispetto all'aria) ed ha cattive prestazioni a basse velocità a causa del basso rapporto di compressione ricavato dalla presa d'aria.

1940 / 57 Alla fine degli anni 40 la Radioplane Company ha iniziato la produzione in serie di droni bersaglio, i **Q-1**, con propulsione jet. Nonostante non sia mai stato messo in produzione, si è sviluppato nei modelli USAF **RP-54D / XB-67 / XGAM-67 Crossbow** missile anti radar, con il primo volo nel 1956.

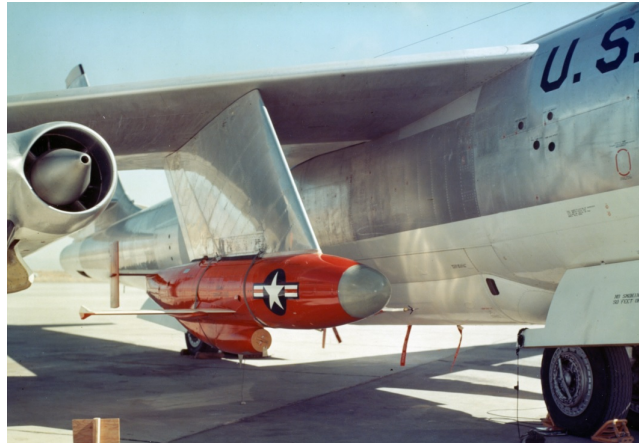


Figura 2.17: GAM-67 su un velivolo B-47

1940 / 60 *Lockheed Corporation* ha iniziato a sviluppare uno statoreattore per la USAF (fine anni 40) chiamato **X-7** con la forma di un lungo dardo e ali trapezoidali.

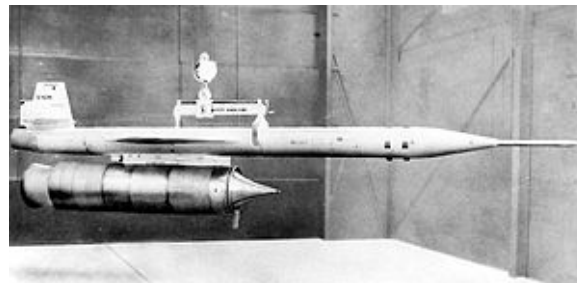


Figura 2.18: X-7 con motore ramjet

1952 La Northrop Ventura Division acquista la Radioplane.

1953 La Northrop inizia a sviluppare un velivolo in grado di raggiungere velocità supersoniche, chiamato **Modello RP-61**.

1954 Lockheed modifica il precedente drone, che viene chiamato **X-7A-3**: l'ala viene ridisegnata, il combustibile solido è più piccolo, e ha dei razzi sul lato della fusoliera, sotto ogni ala. Viene migliorato il sistema di strumentazione e di controllo. Nonostante ulteriori modifiche, e cambi di nome, il programma è stato chiuso dopo 61 missili.

- 1954** Nel giugno 1954, la USAF ha iniziato un contratto con la Northrop per costruire velivoli con velocità supersoniche con il nome **MX-2144**. Tale modello poteva essere lanciato terra - aria (tale caratteristica non è mai stata testata). Il programma di recupero comprendeva quattro borse gonfiabili per ammorbidire l'atterraggio.
- 1955** Primo volo del **MQM-57 Falconer**, una variante **BTT** per la ricognizione da battaglia. Leggermente più lungo e tarchiato della Volpoca ha il pilota automatico e un sistema di controllo remoto di backup, videocamere e razzi di illuminazione per la sorveglianza notturna.
- 1955 / 59** La tecnologia inizia a diventare meno costosa e più accessibile. Si costruiscono facilmente in serie bersagli aerei efficaci. Nel 1955 beechcraft progetta il **Modello 1001**, la cui produzione inizia nel 1959, chiamato dalla U.S. Navy prima **K2B-1** e dopo **MQM-39A**. La sua evoluzione è il **Modello 1025**, costruito per l'esercito, rinominato **MQM-61A** e lanciato con un ripetitore RATO.
- 1957 / 70** la Northrop Ventura Division sviluppa un bersaglio con un motore a razzo progettato per addestrare gli equipaggi di missili antiaereo e i piloti di caccia della Marina. Tale progetto viene avviato nel 1957.
- **RP-76** (dopo **AQM-38A**) - esercito. Velocità subsonica.
 - **RP-78** (dopo **AQM-38B**) - marina. Velocità Mach 1,25.
- 1958** L'esercito americano acquista il Falconer e l'**Aerojet SD-2 Overseer**, con una coda a V e un peso doppio rispetto al Falconer.
- 1959** L'USAF, aiutata dalla Northrop, migliora il **Q-4B** (o **XQ-4B**) che vola nel marzo 1961. Il motore è più potente e viene ridisegnata la struttura del velivolo.
- 1959** Gli Stati Uniti dispongono dell'unico aereo spia, il modello **U-2**.
- 1960** In Italia furono sviluppati i primi UAV dall'esercito italiano, rimasto in servizio fino agli anni 2000. Con l'avvento della Guerra Fredda e la guerra del Vietnam, la necessità di una sorveglianza efficace e di missioni furtive stava crescendo [26]. La USAF ha iniziato un programma di UAV di tipo **stealth**, modificando gli UAV da combattimento per operazioni di ricognizioni furtive. Apponendo un schermo sulla presa d'aria del motore e coprendo la fusoliera con una vernice, il suo rilevamento dai radar è stato ridotto. La *CIA* ha assegnato un contratto a Lockheed per un drone ad alta velocità e ultra stealth.

1960 L'aereo spia **Lockheed U-2** (battezzato "*Dragon Lady*") della CIA fu abbattuto e il pilota catturato. Si capì che era necessario progettare velivoli di spionaggio senza pilota, evitando i mezzi tradizionali.



Figura 2.19: Lockheed U-2

Durante la Guerra Fredda, e la guerra in Vietnam, ha rivestito un ruolo importante il modello **Ryan AQM-34 Firebee**, con compiti di ricognizione strategica o di guerra elettronica.

1963 I rimanenti BTT sono diventati i modelli **MQM-33** e il **KD2R-1** è diventato l'**MQM-36 Volpoca**.

1964/ 75 Oltre 1000 droni Stealth volano in oltre 34000 missioni di sorveglianza del Sudest asiatico, con rilevazioni diurne e notturne. Circa l'83% dei droni facevano ritorno, rendendo il modello **AQM-34** molto affidabile. Le varianti di questi modelli, che coprono le lettere dalla A alla V.

1965 Con la Guerra Fredda al suo apice, la necessità di avere immagini di ricognizione di alta qualità era elevata. Lockheed produce il modello **D-21**, richiesto dalla *CIA*. Esso poteva raggiungere velocità *Mach 4*, aveva un raggio di circa 4.830 km e un limite massimo operativo di 24.385 metri. Aveva un rivestimento anti radar in plastica (precursore dell'attuale rivestimento dei moderni Stealth). Dopo aver volato per tre missioni, tuttavia, il modello D-21 è precipitato durante la quarta missione in una località sconosciuta.



Figura 2.20: Lockheed D-21

2.5 Dal 1970s al 1980s

A partire dagli anni 70 i droni iniziano a diventare più leggeri e più simili a quelli che conosciamo oggi. Mentre negli anni 50 e 60 la priorità riguardava la velocità, tra gli anni 70 e 80 si diede importanza al peso e alla manovrabilità. Ritorna al motore a pistoni, mettendo da parte quello a propulsione. Iniziano a essere prodotti più droni con materiali compositi, come la fibra di carbonio e la fibra di vetro. Con le pressioni della Guerra Fredda, i sistemi UAV continuarono a divenire più sofisticati, sia riguardi requisiti di missione, sia per la sicurezza delle comunicazioni [11], [26].

1970s L'**Aquila** di Lockheed è il primo drone di piccole dimensioni per il campo di battaglia. Alimentato da un motore a pistoni e costruzione modulare, esso riusciva a fornire informazioni di battaglia in tempo reale. Volava con il pilota automatico, individuava gli obiettivi nemici di giorno (o di notte) grazie ai sensori, utilizzava il laser per indicare gli obiettivi per sparare con l'artiglieria pesante e sopravviveva alla difesa aerea sovietica.



Figura 2.21: Lockheed MQM-105 Aquila

1970s Dopo il successo dei Firebee negli USA, Israele acquista segretamente 12 di questi droni, li modifica e li ridisegna, rinominandoli **Firebee 1241**. Tali droni si sono rivelati fondamentali nel 1973, nella guerra di Yom Kippur tra Israele, Egitto e Siria, sia come droni di ricognizione, sia come esche [26].



Figura 2.22: Firebee 1241

- 1970s** Dopo che un aereo **COMINT** (**Communications and Intelligence**)⁷ Americano è stato abbattuto sopra il Mar Giallo nel 1970, uccidendo tutti i membri dell'equipaggio, l'esercito americano ha dato via allo sviluppo di UAV capaci di lavorare con aerei COMINT, in grado di volare ad alta quota e al di sopra della gamma di missili nemici. La **Ryan Special Purposes Aircraft (SPA) 147** poteva volare per circa otto ore di fila, portando una fotocamera di 136 kg (circa 300 libbre) ed è stato il primo UAV a lungo raggio attrezzata per COMINT ad alta quota.
- 1978** L'**Israel Aircraft Industries (IAI)** ha sviluppato un piccolo UAV chiamato **Scout**, un velivolo a motore alternato con un'apertura alare di 13 piedi (circa 4 metri) e costruito in vetroresina. Molto economico, facile da produrre e difficile da abbattere, fornisce dati di sorveglianza a 360 gradi, grazie ad una telecamera sita nella torretta centrale. Il drone Scout è stato utilizzato nel conflitto della Valle Bekaa, controllato dal suolo.
- 1980s** Il sistema di sorveglianza della serie **Canadair CL-89** e **CL-289** erano stati progettati nel 1960, prendono forma nel 1970 ma viene realizzato negli anni 80. È rimasto in servizio fino agli anni 2000. Lo scopo del CL-89 era quello di filmare l'area occupata dalle forze nemiche, tramite una rotta prestabilita, al fine di determinare informazioni sugli obiettivi. Il velivolo veniva trasportato su veicoli appositi (carri) e lanciato dalla piattaforma presente su essi. Aveva un'autonomia di 140 km, poteva registrare tramite videocamere sia in chiaro che Infrarossi per una decina di minuti su un supporto magnetico che veniva recuperato a fine missione dopo essere stato lanciato con un paracadute. Dal velivolo veniva estratta la videocassetta con i filmati acquisiti ed inviata al centro di comando per la sua interpretazione. Sempre in questi anni, si sono sviluppati gli UAV ad ala rotante per compiti di ricognizione e sorveglianza a distanza ravvicinata e sono state migliorate le capacità di volo degli UAV. Sono stati anche prodotte numerose varianti del Canadair, sempre ispirandosi al modello originale.
- 1982** Durante il conflitto nella *Valle della Bekaa*, tra Israele, Libano e Siria, Israele ha usato una flotta di droni Scout per cercare i siti missilistici siriani e invogliare i nemici ad attivare i loro radar. Questi bombardieri israeliani hanno permesso di piombare lì e distruggere tutto. Due siti missilistici siriani (17 in tutto) hanno consentito loro di volare incontrastati nei cieli.

⁷ COMINT è la raccolta di informazioni dalle comunicazioni di persone, tra cui conversazioni telefoniche, messaggi di testo e vari tipi di interazioni online.

1984 IAI, Taridan e Ltd formano una società nota come **Mazlat Ltd**, per costruire un drone nuovo e migliorato, il **Pioneer**.



Figura 2.23: Pioneer

Il Pioneer è formato da materiali come la fibra di carbonio, fibra di vetro, kevlar, alluminio e legno di balsa. A causa del peso di questi materiali, però, tale drone poteva sopportare a malapena il carico. I tempi di volo variano a seconda del peso complessivo del carico utile e possono essere raggiunte diverse ore di autonomia. Il Pioneer potrebbe volare in autonomia con il pilota automatico, su un percorso di volo prestabilito e controllato da una stazione di controllo a terra (GCS). L'**unità di controllo di monitoraggio (TCU)** è stata richiesta per mantenere un collegamento di comunicazione e monitorare la posizione del drone. Il trasmettitore ha un raggio di 185 km ed è presente una modalità di backup in caso di blocchi. La forza del sistema Pioneer risiede nella sua capacità di trasmettere informazioni in tempo reale tramite video analogico per mezzo di un collegamento di dati di linea di vista (LOS). Per montare / smontare il Pioneer sono richieste due persone. Sono stati utilizzati un razzo o una catapulta per far decollare il drone e spingerlo a velocità di volo e ha preso il via su una pista di terra o di acqua. Per il recupero occorre una grande rete o un filo teso attraverso esso legato con dei ganci. Il Pioneer può trasportare fino a 41.4 kg di fotocamera e apparecchiatura di sorveglianza. Il Pioneer RQ-2 è stato usato nella guerra del Golfo del 1991, la Somalia, Bosnia, Kosovo e Iraq, guidato dai rami operativi degli Stati Uniti dell'Esercito, della Marina e dai Marines.

1985 Italiani e americani collaborano insieme per lo sviluppo del modello **Mirach**, sul quale era montata una telecamera con 120 km di raggio d'azione. La Marina degli Stati Uniti acquista le **Aircraft Industries (IAI)** e il **AAI Pioneer System**, tuttora in servizio.

2.6 Anni 1990s

Più nazioni iniziano a produrre UAV data la disponibilità di tale tecnologia e del relativo hardware. Vengono progettati, per la prima volta, UAV in ambito civile [11]. Con la disponibilità del sistema GPS e delle comunicazioni satellitari, gli UAV possono essere monitorati su largo raggio (evitando l'utilizzo di radiocomandi e giroscopi), mediante sistemi digitali di controllo di volo (*DFC*) [26], [30]. Tra gli UAV a lungo raggio ricordiamo il **Denel Dynamics Seeker** (fabbricato in Sudafrica), per effettuare ricognizione tattica in tempo reale, e sorveglianza sia di giorno che di notte, in tutti i tipi di ambiente.

UAV Solari tra gli anni 90 e gli anni 2000

- *Pathfinder*: ultraleggero, è stato testato per la ricerca ambientale e nel 1997 ha stabilito il record di altitudine per un aereo a energia solare, raggiungendo i 20.528 metri. Il Pathfinder raccoglie dati meteo e del vento attraverso sensori di alta precisione e registra immagini digitali in HD. Può essere utilizzato come piattaforma di comunicazione. È alimentato da otto motori elettrici (più avanti da sei) e ha un'apertura alare di 30 metri. Le celle solari coprono l'intera parte superiore dell'ala, che alimenta il motore e le attrezzature. È dotato di batterie di emergenza per consentire un volo limitato dopo il tramonto. La sua velocità si aggira tra i 24 e i 40 km orari.

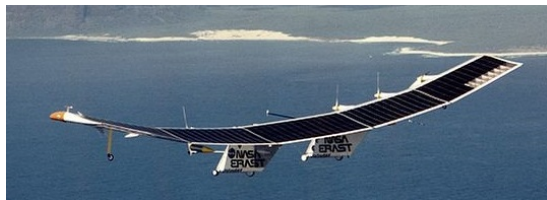


Figura 2.24: Pathfinder in volo sulle Hawaii

- *Centurion*: simile al Pathfinder, ha un'apertura alare di circa 63 metri. La struttura è stata progettata per essere più forte e in grado di trasportare numerosi carichi (fino a 600 libbre, circa 272,2 kg).



Figura 2.25: Centurion

- *Helios*: ha un'apertura alare di circa 75 metri, ed è costruito da materiali come fibra di carbonio, grafite epossidica, kevlar ⁸, polistirolo e una sottile pelle di plastica trasparente. La lunghezza della corda delle ali è minore di 2.4 metri. Il tutto montato in sei sezioni.



Figura 2.26: Helios in volo

1990s Il precursore di una nuova generazione di sistemi a lungo raggio e lunga resistenza è il **General Atomics GNAT**, alimentato da un motore a pistoni, con il ruolo di ricognizione e sensori Infrarossi e, successivamente, con **attrezzature intelligenti (SIGINT)**⁹.



Figura 2.27: General Atomics GNAT

⁸ Il kevlar è una fibra sintetica aramidica inventata nel 1965 da Stephanie Kwolek, una ricercatrice della DuPont. La sua caratteristica principale è la grande resistenza meccanica alla trazione, tanto che a parità di peso è 5 volte più resistente dell'acciaio. Il kevlar possiede anche una grande resistenza al calore e alla fiamma.

⁹ SIGINT, abbreviazione delle parole inglesi SIGnals INTelligence (Spionaggio di segnali elettromagnetici), è l'attività di raccolta di informazioni mediante l'intercettazione e analisi di segnali, sia emessi tra persone (ad esempio comunicazioni radio) sia tra macchine (è il caso dell'ELINT, lo spionaggio di segnali elettronici) oppure una combinazione delle due. Le operazioni di SIGINT spesso si avvalgono di strumenti di crittoanalisi.

1990s Il drone RQ-3 DarkStar (noto come Tier III o "Tier three minus" durante lo sviluppo) è stato sviluppato come parte di un insieme di tre UAV stealth super tecnologici adibiti alla sorveglianza (con il **Global Hawk** e il **Predator**).

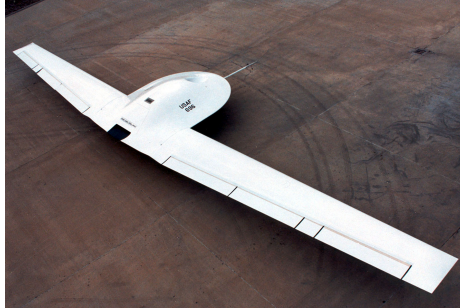


Figura 2.28: RQ-3A Darkstar

1990s Il **Global Hawk** è stato progettato per decollare da una base negli Stati Uniti, volare autonomamente verso un paese di interesse, raccogliere e trasmettere dati di sorveglianza ad altezze fino a 65000 piedi, per poi tornare alla sua base senza rifornimento di carburante.

1991 Molti **Pioneers** sono stati utilizzati dalle forze statunitensi nella Guerra del Golfo, dove circa 40 droni hanno volato in oltre 300 missioni nella *Desert Storm Operation*.

1992 / 95 Gli UAV della **NATO** nella guerra in Bosnia hanno svolto sorveglianza, ricognizione e valutazione dei danni da bomba. Sono state effettuate ricognizioni notturne clandestine. Il *Predator* è stato l'UAV principale utilizzato in Bosnia, decollato da una base aerea in Ungheria.

1995 Lanciato da un autocarro *Benz* modificato, il drone **Ababil** è stato utilizzato in Iran e dagli Hezbollah. Ha la capacità di funzionare come un cruise missile improvvisato. Poche sono le specifiche note.



Figura 2.29: Ababil

1996 Il **Firebird 2001** è uno dei primi UAV esclusivamente civili, progettato per trasmettere in tempo reale i dati (con altra precisione) riguardo gli incendi, la loro dimensione, diffusione, perimetro e movimento. È dotato di un sistema GPS, sistema di informazione di mappatura geografica e telecamere a infrarossi ad ampio raggio. I test del Firebird sono stati effettuati in Montana (USA), sotto la supervisione del Dipartimento dell'agricoltura degli Stati Uniti. Il Firebird ha un'autonomia di circa 6 ore e gestito fino a 4570 metri di altitudine.



Figura 2.30: Firebird 2001

1996 Il **Predator** è forse il drone più conosciuto. Sviluppato a metà degli anni 90, è costato circa 40 milioni di dollari. È un monomotore in configurazione spingente, monoplano ad ala bassa sviluppato dalla divisione aeronautica dell'azienda statunitense General Atomics negli anni novanta. Progettato inizialmente per la ricognizione, è stato denominato **RQ-1** (**R** sta per *ricognizione*, **Q** per *senza pilota*).



Figura 2.31: RQ-1 Predator

Il Predator, considerato l'erede dello GNAT, è un APR della categoria MALE (medium altitude, long endurance - media quota, lunga autonomia), ed entrato per la prima volta in linea nel 1995 nella United States Air Force, l'aeronautica militare statunitense, impiegato nelle missioni di ricognizione aerea, ed in seguito adottato da altre forze aeree mondiali. Il velivolo viene pilotato da un pilota e due sensori, ed è stato pilotato da un joystick con una videocamera montata in avanti. Il team

completo per gestire il drone è formato da 55 persone. Ha un campo di 730 km e un'autonomia di circa 14 / 16 ore; Il collegamento è effettuato tramite collegamento radio o satellitare. È dotato di una serie di telecamere e sensori, tra cui un **radar ad apertura sintetica (SAR)**¹⁰, telecamere a colori HD, telecamera a raggi infrarossi e altro ancora. In un secondo momento è stato dotato di missili Hellfire anticarro. Per questo motivo ha cambiato il suo nome in **MQ-1**. Sono state realizzate molte varianti del Predator:. È in grado di effettuare ricognizione, identificare l'obiettivo e combattere; viene soprannominato **hunter / killer drone** [16].

1998 **Eagle Eye** è un UAV con un rotore basculante in grado di un decollo verticale e atterrare (VT-UAV), sviluppato dalla Marina degli Stati Uniti. Potendo effettuare valutazioni in battaglia in tempo reale nonostante le condizioni climatiche avverse, il drone Eagle Eye ha presentato numerosi vantaggi grazie al suo rotore basculante, che non necessita di una pista di lancio o recupero, dato che atterra (e decolla) verticalmente. La US Coast Guard ha lavorato con Bell per sviluppare una versione migliorata, il modello **HV-911**, ma il progetto è stato messo in attesa a tempo indeterminato. Il drone Eagle Eye non è stato ancora messo in servizio, anche se alcuni programmi in Europa si sono rivelati di notevole interesse. È dotato di una fusoliera centralizzata, ali rette con un sistema di rotore ciascuno, e una presa d'aria sulla parte superiore della fusoliera. Ha delle alette stabilizzatrici orizzontali, una pinna di coda verticale e 4 gambe (due anteriori e due posteriori) con le ruote per il carrello. Ha un'autonomia di circa 6 ore.



Figura 2.32: Eagle Eye

¹⁰ Synthetic Aperture Radar: sistema di telerilevamento radar coerente, attivo e a microonde. L'obiettivo è ottenere una elevata risoluzione angolare dall'analisi dello spettro del segnale in ricezione da un sistema radar di tipo coerente. L'immagine della regione rilevata è ottenuta distribuendo i valori mediati dell'onda elettromagnetica riflessa dalla superficie (modulo e fase) sulle aree di campionamento. Si ottiene un'immagine pixelizzata, tipicamente in bianco e nero.

2.7 Anni 2000s

Grazie ai progetti tecnologici, gli UAV iniziano ad essere utilizzati in ambito civile, specialmente per la sorveglianza, per la rilevazione aerea delle coltivazioni, nelle riprese cinematografiche, nelle operazioni di ricerca e salvataggio, per monitorare le linee elettriche e la fauna selvatica. Inizia ad essere usata la parola **drone**, piuttosto che UAS / UAV. Il nome italianizzato drone deriva dal corrispettivo inglese, che tradotto letteralmente vuol dire *fuco*, ossia il maschio delle api. Questo derivante dalla forma simile a quella dell'insetto.

2000s Il drone **Avenger** (ex **Predator C**) è un veicolo aereo senza pilota da combattimento, in sviluppo dalla General Atomics Aeronautical Systems per i militari degli USA. Ha effettuato il primo volo nel 2009 ed è prevista la distribuzione intorno al 2025. Il suo design include caratteristiche invisibili (stealth), come lo stoccaggio di armi interne e un sistema di scarico a forma di S per ridurre il rilevamento radar. Il drone Avenger avrà le stesse armi del modello MQ-9, sarà dotato di un radar ad apertura sintetica Lynx e un sistema di puntamento elettro-ottico.



Figura 2.33: Predator-C Avenger

2000 **X-2000** è un drone a corto raggio, utile per la ricognizione e la sorveglianza, adatto in tutte le stagioni. È dotato di paracadute per il recupero ed è usato dai militari tedeschi. Può modificare la traiettoria a mezz'aria da solo: questo influisce sull'autonomia di volo.

2001 Il **Global Hawk** (sviluppato da *Teledyne Ryan*), è un UAV resistente, progettato per la raccolta di informazioni, identificazione dei punti di destinazione e ricognizione. Nonostante sia un modello sperimentale, è stato schierato in Afghanistan. Viene usato dai militari statunitensi e tedeschi, e circa 20 esemplari sono al servizio dell'USAF. Ha un sensore interno e un sistema di sensori che trasmettono i dati tramite collegamento satellitare. È stato il primo velivolo senza pilota ad attraversare l'Oceano Pacifico, dagli Stati Uniti all'Australia.



Figura 2.34: Northrop-Grumman RQ-4 Global Hawk

2001 / 03 Il drone **Dragon Eye** è un mini UAV completamente autonomo lanciato a mano (o da una catapulta). È stato progettato per la ricognizione tattica e sorvegliare il campo. Il suo motore elettrico molto tranquillo e una bassa apertura alare, lo rendono difficile da rilevare. Registra e trasmette i dati in tempo reale, sotto forma di immagini a colori ad alta definizione mediante infrarossi.

2002 / 05 Il drone **J-UCAS** è il primo UAV da combattimento (o UCAV). Ha un'ala a freccia, un design furtivo, un carrello di atterraggio completamente retrattile e costruito da fibre composite e un rivestimento eposidico rinforzato. All'interno della fusoliera ha due armi. Dapprima era gestito dalla DARPA, nel 2003 l'USAF e la Marina consolidano i progetti **X-45** e **X-47** con l'aiuto dell'*Unmanned Combat Air Systems Office*. L'**X-45** è diventato il primo UAV che rilascia le armi [11].



Figura 2.35: X-45A in volo

2002 / 12 l'**MQ-18** è un UAV piccolo, con un motore molto efficiente e dotato di un'ala rotante. È stato progettato per la raccolta dati per l'**Intelligence**, per la ricognizione e la consegna di carico utile con precisione. È completamente autonomo e il primo volo è avvenuto nel

gennaio 2002. Viene alimentato da un gas alimentato a 4 cilindri e un motore a 6 cilindri alla guida di un gruppo rotore di 3 lame. Nel 2003 DARPA ha assegnato il contratto con Frontier Systems per la produzione di 4 esemplari di questo tipo.



Figura 2.36: MQ-18

2003 Viene sviluppa un altro piccolo UAV, simile al Dragon Eye, chiamato **Raven**. Il suo scopo è raccogliere informazioni e ricognizione. Sono stati già prodotti più di 13000 esemplari, soprattutto per uso militare, per gli Stati Uniti, per le forze speciali, per l'USAF e l'esercito. Lo Yemen ha recentemente rivelato l'acquisto di molti droni Raven.

2003 / 09 Il **Falcon**, drone italiano, ha effettuato il primo volo nel 2004, ma viene presentato al pubblico nel 2009. Sono stati prodotti circa 50 esemplari. L'unico acquirente noto è il Pakistan, dove è diventato operativo sul campo. Classificato come UAV medio, è stato progettato per la ricognizione e la sorveglianza, essendo dotato di una buona resistenza e ottime prestazioni a bassa quota. Esteticamente è simile a aeromobili per gli sport civili. Grazie al suo funzionamento silenzioso risulta molto difficile da rilevare.



Figura 2.37: SELEX Galileo Falco (Falcon)

2003 / 10 HTV sta per **Hypersonic Vehicle Technology** e l'**HTV-2** è un progetto ipersonico a lunga durata progettato per l'**USAF**. L'obiettivo è far sì che il velivolo HTV-2 potesse raggiungere ogni parte della Terra entro 60 minuti. DARPA ha affermato che tale velivolo può andare da New York a Los Angeles in soli 12 minuti. È stato avviato nell'ambito del programma Prompt Global Strike nel 2003, in cui test nelle gallerie di vento e simulazioni al computer confermarono che tale idea era potenzialmente realizzabile. Il piano di volo dell'HTV-2 è costituito da diverse fasi. È stato lanciato due volte con successo nel 2010, poi si è schiantato a causa di una perdita di comunicazione. Lo ha fatto raggiungendo una velocità massima tra *Mach 17* e *Mach 22*.



Figura 2.38: DARPA Falcon HTV-2

2007 Il **Lockheed Martin RQ-170 Sentinel** è un UAS stealth da ricognizione sviluppato dall'azienda statunitense Lockheed Martin negli anni duemila ed impiegato dalla *USAF* e dalla *CIA*.



Figura 2.39: Lockheed Martin RQ-170 Sentinel

2.8 UAV del futuro

Gli UAV del futuro utilizzano nuove tecnologie: forti di energia alternative ad alta efficienza, riduzione del peso e delle dimensioni, maggiore autonomia, ma soprattutto utilizzo della tecnologia *stealth*, con un design ad *ala volante* (ispirata al design **delta wing**¹¹, già visto nel drone Sentinel). Molte nazioni iniziano a sviluppare UAV in modo congiunto, o autonomamente.

2000s (Russia): la serie **Zond** è una serie di droni progettati solo ad uso civile, e dovrebbero essere in uso dal 2015 in poi. Il modello Zond 1 è stato progettato per fornire segnali televisivi, con un raggio operativo di 18000. Ha un radar, un **PAA (phased array antenna)** e un collegamento TV. Il modello Zond 2, progettato per il monitoraggio ambientale, ha un raggio operativo più elevato, cioè 14000, ed è dotato di un sistema radar ad apertura sintetica laterale, infrarossi e camera TV. Il modello Zond 3 è più piccolo, può volare fino a 15000 metri ed è utilizzato per la sorveglianza atmosferica.

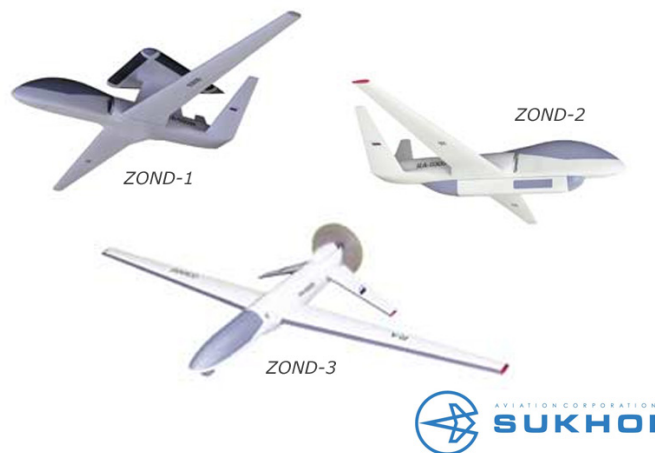


Figura 2.40: Zond Series UAV

2000s (Svezia): lo **Skeddar** è un UAV che raggiunge un'altezza di 2.400 metri ed è capace di raccogliere informazioni, consegnare un carico, fare pattugliamenti marittimi, trasporto leggero, guerra elettronica e sorveglianza. È utile sia ambito militare che civile. Non essendo completamente autonomo, necessita di un controllo da terra per modifiche di volo a mezz'aria e correzioni di rotta. La distribuzione dello Skeddar è prevista entro il 2013.

¹¹ È un'ala sagomata che richiama la forma di un triangolo. Così chiamata per la somiglianza nella forma alla lettera greca delta maiuscola Δ .

2003 / 12 Nonostante il contraente principale di questo progetto è la francese **Dassault**, contribuiscono al progetto anche **SAAB AB** (**Svezia**), **Alenia Aeronautica** (*Italia*), **EADS CASA** (*Spagna*), **EAB** (*Grecia*), **RUAG** (*Svizzera*), **Thales** (*Francia*) e **EADS** (*Francia*). Il design di base, l'avionica ¹² e il sistema di carburante è stato progettato da SAAB. Il test di assemblaggio e di volo finale è stato fatto da Dassault. Alenia ha sviluppato i sistemi d'arma, EADS CASA e Thales hanno progettato i sistemi di comunicazione (di fabbricazione militare). Il **nEUROn** è dotato di un motore e un design **delta wing**, con sporgenze ridotte e abbastanza piatte. Il motore è posto nella parte superiore, al centro della fusoliera ed ha una presa trapezoidale per la sua aspirazione, dotato di uno scarico per la riduzione alla rilevazione dei radar. Il carrello triciclo è completamente retrattile e può contenere armi. Nel 2012 è stato assemblato e ha effettuato il primo volo.



Figura 2.41: Dassault nEUROn (France & others)

2004 (**Repubblica del Sud Africa**): il **Bateleur** (chiamato bateleur eagle) costruito da Denel Dynamics (in precedenza Kentron) è un drone a lunga durata, per medie altitudini di tipo *MALE*, simile al Predator. Il suo ruolo primario è quello di sorveglianza e ricognizione, ma ha la possibilità di effettuare rilevazioni di segnali per l'intelligence. Non essendo un drone prettamente militare, le sue specifiche sono abbastanza ampie e può essere utilizzato per molti scopi, tra cui ricerca e salvataggio, designare bersagli a terra mediante laser, pattugliare. È dotato di un motore a propulsione, telecamere (sia a Infrarossi sia elettro-ottiche) montate sulla fusoliera con una capacità di carico variabile.

¹² Con il termine avionica si indicano tutti gli equipaggiamenti elettronici installati a bordo degli aeromobili e preposti al pilotaggio. L'avionica include i sistemi di navigazione e comunicazione, autopiloti e sistemi di condotta di volo.

2006

(Cina): il **Soar Eagle / Soar Dragon** è un drone *HALE*, con un motore a propulsione a turbogetto. È stato sviluppato e distribuito nel 2014 per la *People's Liberation Army Air Force (PLAAF)*. Progettato per la ricognizione, può sostenere eventuali armi, e somiglia al Global Hawk, con leggere differenze (riguardanti la pinna oppure la configurazione dell'ala). La *Guizhou Aircraft Industry Corporation (GAIC)* è la contendente principale per lo sviluppo di questo drone, il cui progetto è guidato dalla *Chengdu Aircraft Corporation*.



Figura 2.42: Guizhou Soar Eagle / Soar Dragon

2007

(UK): Il **Taranis** è un **Unmanned Combat Air Vehicle (UCAV)**, la cui tecnologia è stata sviluppata da **BAe**. È stato progettato per una guida di precisione a lungo raggio, ma finora è solo un prototipo senza nessun modello in attività. È stato progettato con la capacità di prendere decisioni in volo (con un eventuale esclusione del controllo da terra). Questo lo rende un sistema tattico flessibile in grado di rispondere alle varie minacce e cambiare i parametri della missione in modo autonomo, con un eventuale *Ground Control override* [6].



(a) Visione frontale



(b) Visione dall'alto

Figura 2.43: BAe Systems Taranis

Si basa su una piattaforma triangola e di tipo Stealth, con un motore turbofan incorporato nella fusoliera, e una presa triangolare per l'aspirazione sul naso, rendendo tutto il disegno del tipo **all-wing**. Le armi sono poste all'interno e il carrello è completamente retrattile. Per aumentare le sue capacità Stealth ha un rivestimento esterno speciale, sporgenze strutturali minime e lo scarico del motore è stato progettato con profili molto sottili. Anche se BAe è il primo contraente, ci sono vari collaboratori come Rolls-Royce, GE Aviation e QinetiQ. La produzione è iniziata nel 2007 e le prove a terra sono iniziate nel 2010.

2010 (USA): il **Phantom Eye** è un UAV, di tipo HALE, di nuova generazione con un innovativo sistema di propulsione a idrogeno, per dare al drone un'eccellente efficienza e autonomia, non spreca molto carburante. Per questi motivi viene definito un "Green UAV". È stato progettato per la ricognizione e la sorveglianza, con ali sottili collocate in alto sulla sommità. Può aggiungere i 275 km orari e i 20.000 metri di altezza. Ha un'autonomia di quattro giorni.



Figura 2.44: Boeing Phantom Eye

Dal **1986** in poi, la *AeroVironment Corporation* (con la DARPA) ha sviluppato un **micro UAV** da utilizzare in ambito militare per la sorveglianza, per le forze dell'ordine o per il soccorso civile. Si chiama **Black Widow** e ha un'apertura alare di sei pollici e pesa solo due oncie.



Figura 2.45: Black Widow (USA)

Capitolo 3

UAV: ambiti di utilizzo

Molte tecnologie sviluppate e utilizzate negli UAV militari sono simili (o identici) a quelle richieste per gli UAV civili. Per questi motivi, il coordinamento tra la NASA e il DoD contribuirà a utilizzare, e comprendere (per quanto possibile), le tecnologie militari che supportano le missioni civili. Nonostante le tecnologie di base degli UAV di due sezioni del DoD (DARPA e servizi in uniforme) e della NASA siano simili, esistono profonde differenze economiche e filosofiche [11].

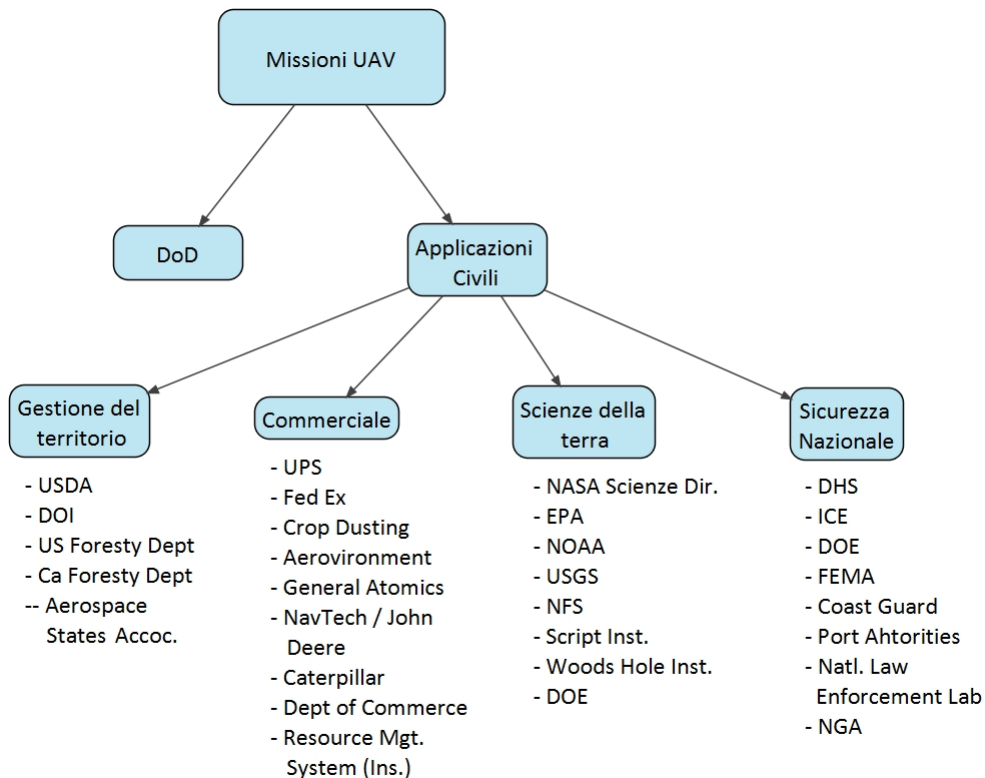


Figura 3.1: Classificazione degli utilizzatori di UAV

3.1 Ambito militare e sicurezza

Fin dai primi anni del loro sviluppo, la tecnologia degli UAV è stata utilizzata per scopi militari, dai modelli di grandi dimensioni fino a quelli di ultima generazione, che dispongono di sensori sofisticati e miniaturizzati, permettendo il controllo del velivolo da remoto, così da portare a termine la missione, senza perdere vite umane. Attualmente gli UAV sono utilizzati dalle forze militari, dalle agenzie governative e dalle imprese. Negli Stati Uniti le agenzie governative utilizzano alcuni UAV, come l'RQ-9 Reaper, per pattugliare i confini della nazione, con caratteristiche di esplorazione e individuare i fuggitivi. Gli UAV utilizzati per scopi bellici possono essere attrezzati con armamenti e / o sensori di ripresa che permettono l'invio dei dati in tempo reale (sia di notte che di giorno) alla stazione di controllo, posta a decine di chilometri di distanza [10], [11], [16], [18], [27], [34], [63]. I principali produttori statunitensi di UAV sono:

- [AeroVironment](#)
- [Aurora Flight Sciences](#)
- [General Atomics](#)
- [Lockheed Martin](#)
- [Northrop Grumman](#)

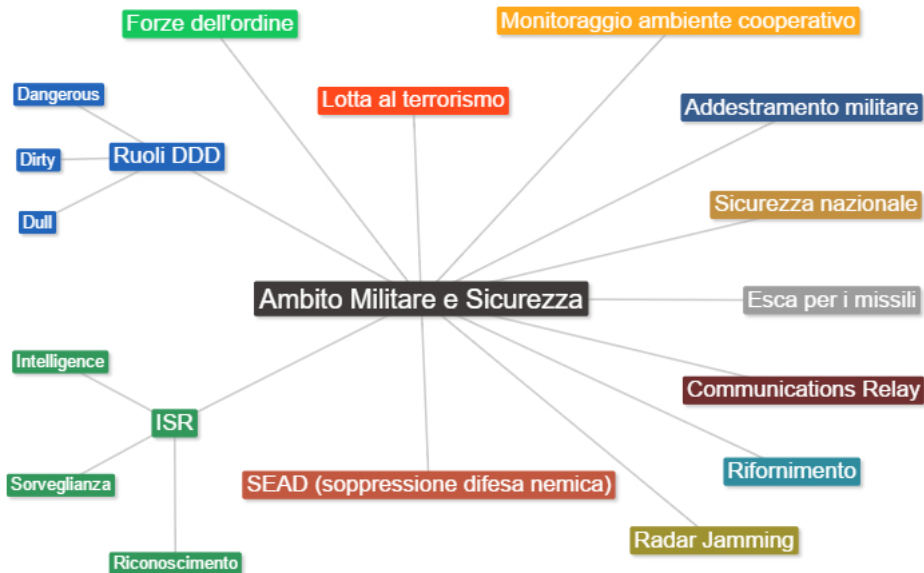


Figura 3.2: Esempi di applicazione UAV in ambito militare e sicurezza

- **Dangerous Rules:** nel sorvegliare aree fortemente protette, la perdita di un UAV è minore rispetto alla perdita di un velivolo con persone a bordo. In queste missioni si utilizzano, infatti, UAV Stealth, difficilmente rilevabili dai radar, e diventando difficili bersagli di missili e fuoco antiaereo. In tali operazioni la concentrazione dell'equipaggio può essere minata da vari fattori, tra cui stress, tensione, troppe ore di volo, ecc... . La cattura di piloti umani può provocare incidenti diplomatici e propagande politiche televisive denigratorie.
- **Dirty Rules:** si tratta di applicazioni sia militari che civili, come il monitoraggio dell'ambiente a seguito di contaminazione nucleare o chimiche, evitando di mettere a rischio vite umane. Anche la disintossicazione del velivolo è più semplice. Gli UAV possono anche innaffiare in modo circolare campi con sostanze chimiche, normalmente tossiche / letali per l'uomo.
- **Dull Rules:** l'osservazione e la sorveglianza per lunghe ore (magari senza interruzione) da parte di soggetti addestrati può portare stanchezza e perdita di concentrazione, con conseguenze sull'esito della missione e ridurre gli obiettivi da raggiungere. Un UAV dotato di video HD a colori, trasmissione dati, termocamere e scansioni radar svolge efficacemente tali lavori, ad un costo minore e senza i suddetti limiti umani.
- **Forze dell'ordine:** molti dipartimento di polizia in India hanno utilizzato droni per garantire l'ordine pubblico e la sorveglianza aerea. In Canada, negli USA e la polizia di Seattle usa droni per la sicurezza. Vari UAV sono stati utilizzati da US Customs and Border Protection dal 2005 con l'intenzione di usare droni armati. L'FBI ha dichiarato nel 2013 di possedere e utilizzare UAV per fini di sorveglianza. Nel 2014 cinque forze di polizia inglesi riferiscono di aver ottenuto / gestito UAV per l'osservazione. Ad agosto 2013, la società di difesa italiana Selex ES ha fornito un drone di sorveglianza non armata per essere distribuito nella Repubblica Democratica del Congo, per monitorare i movimenti dei gruppi armati nella regione e per proteggere la popolazione civile in modo più efficace.
- **Lotta al terrorismo:** da quando gli Stati Uniti sono entrati in guerra per la lotta al terrorismo, si resero conto della difficoltà contro una guerra irregolare e asimmetrica. Furono considerati "il modo più efficace di combattere minacce asimmetriche in guerra irregolare è quello di condurre operazioni rapide e distruttive al fine di paralizzare il nemico".
- **Monitoraggio ambientale cooperativo.**

- **Obiettivi per l'addestramento militare:** dal 1997 l'esercito americano ha utilizzato più di 80 F-4 Phantom convertiti in aerei robotici da utilizzare come obiettivi aerei.
- **Protezione contro altri UAV:** gli Stati Uniti hanno sviluppato sistemi di difesa contro attacchi drone di basso livello. Due aziende tedesche stanno sviluppando laser da 40 kW contro UAV. Tra aziende britanniche hanno sviluppato congiuntamente un sistema per monitorare e interrompere il meccanismo di controllo per i piccoli UAVs.
- **Sicurezza territoriale: frontiere e lotta ai narcotrafficienti:** nel 2011 gli Stati Uniti hanno iniziato una collaborazione col Messico per arginare il fenomeno dell'immigrazione clandestina e del traffico di sostanze stupefacenti attraverso il confine. L'esercito statunitense ha iniziato a impiegare i propri UAV a seguito dell'uccisione dell'agente dell'immigrazione Jaime Zapata, freddato da alcuni uomini armati nel Nord del Messico il 15 febbraio 2011. Gli APR / UAV vengono impiegati per segnalare i movimenti e la forza numeri dei narcotrafficienti, informazioni subito comunicate agli agenti sul territorio. Volano circa a 18.000 metri d'altezza, praticamente invisibili da terra, e in un solo giorno possono controllare minuziosamente un'area di circa 100.000 km^2 .
- **Protezioni di convogli.**
- **Ricognizione e sorveglianza**
 - il *Tu-141 Swift* sovietico è un drone da ricognizione operativo e tattico riutilizzabile, destinato per la ricognizione a diverse centinaia di chilometri dalla linea del fronte, a velocità supersonica;
 - il *Tu-123 Hawk* è un UAV supersonico a lungo raggio, destinato per rilevazioni fotografiche e SigInt ad una distanza di 3200 km. È stato prodotto nel 1964;
 - *La-17P* è un UAV da ricognizione prodotto nel 1963;
 - dal 1945, l'Unione Sovietica ha prodotto *doodlebug*.
- **Ruoli di copertura:** esistono operazioni soprattutto militari, ma anche civili, in cui è imperativo non avvisare che il nemico (o le forze armate, o i criminali) non è stato rilevato. In queste circostanze è stato utilizzato l'UAV U2.
- **Ruoli di ricerca:** alcuni UAV vengono utilizzati nella ricerca e nello sviluppo dell'ambito aeronautico, a scopo di test. In questi casi vengono progettati UAV in scala, sia in ambito militare che civile, per effettuare delle prove più realistiche, più economiche e meno pericolose. In base all'esito dei test, saranno effettuate modifiche sui modelli reali.

3.1.1 UAS e Dipartimento della Difesa

Il Dipartimento della Difesa (DoD) svilupperà sistemi senza pilota con funzionalità tecnologiche avanzate, integrate, interoperabile e flessibili allo scopo di:

- Dare rilievo alle missioni ISR (intelligence, sorveglianza e ricognizione), di antiterrorismo, contro armi di distruzione di massa;
- Disporre di una forza decisiva nelle operazioni congiunte e nella coalizione;
- Prendere decisioni autonome e importanti in ogni situazione;
- Prevalere in tutta la gamma di contingenze e in tutti gli ambiti operativi, tra cui il cyberspazio (Strategic Defense Guidance 2012);
- Proteggere la patria.

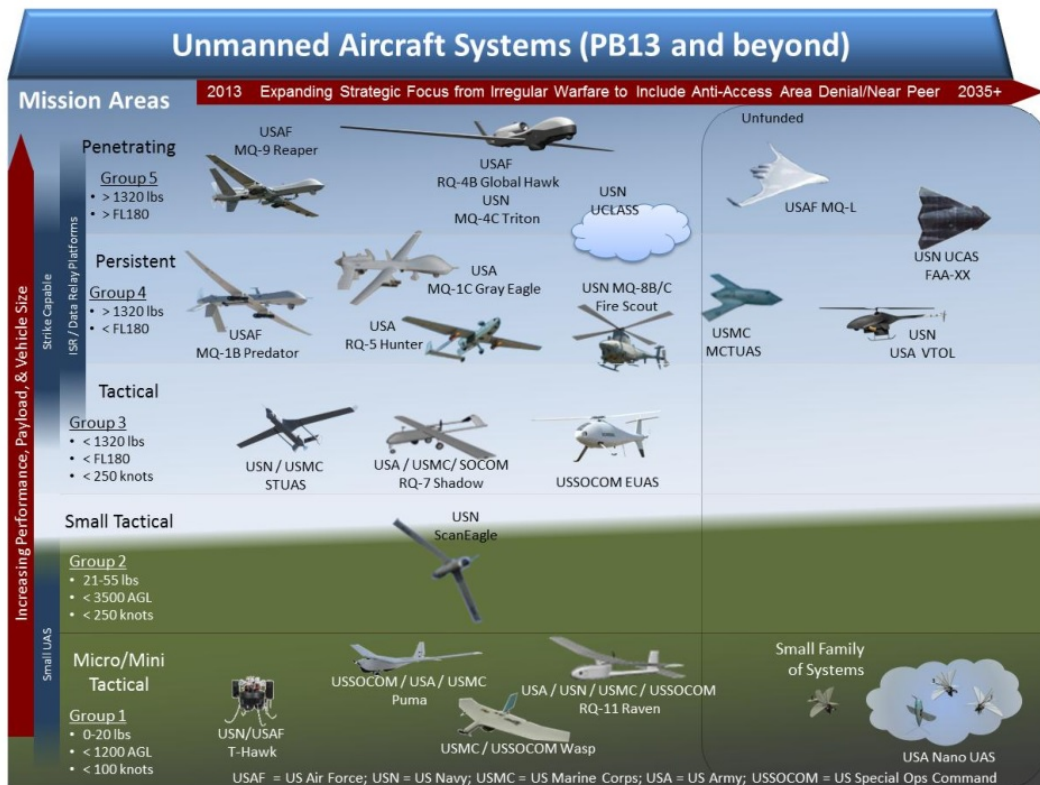
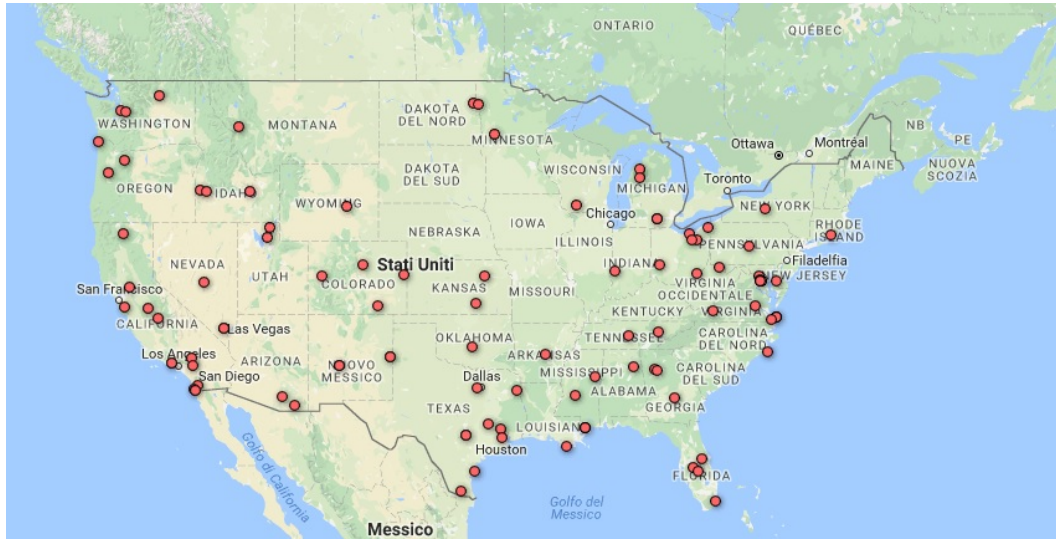


Figura 3.3: UAS: PB13 e oltre

Di seguito l'elenco completo dei velivoli militari degli Stati Uniti, con varie classificazioni: [elenco aerei \[48\]](#).

Live USA Map of OAV by EFF



Le informazioni più recenti sono fornite, per la prima volta, da tre agenzie: l'*Air Force*, i *Marines*, e *DARPA*. Attraverso questa mappa si possono vedere i vari tipi di droni: cliccando su ogni puntino si visualizzeranno le informazioni necessarie, per ogni posto. Link della mappa on line: [Live USA Map of OAV](#) ¹³.

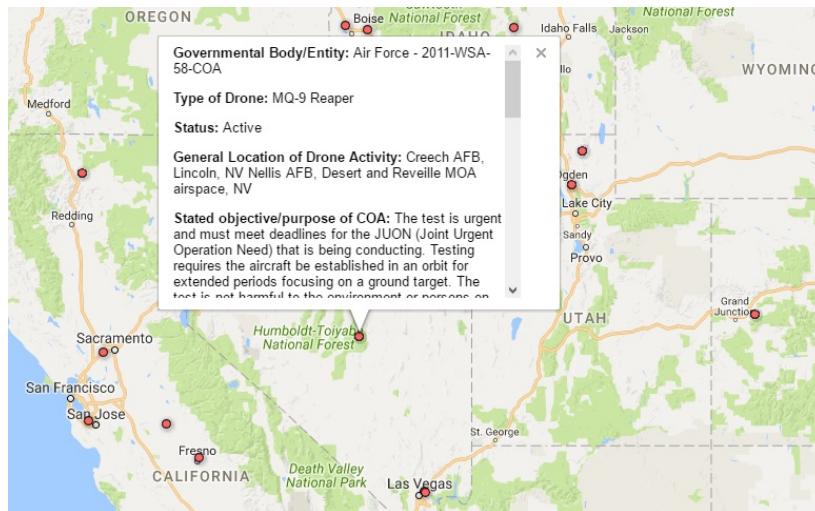


Figura 3.4: Dettagli dopo aver cliccato sul pallino relativo al Nevada

¹³ https://fusiontables.googleusercontent.com/embedviz?viz=MAP&q=select+col2+from+1WuTyH62PmUF97oxo6IreT1BL_aw9HJN5pocwmwg&h=false&lat=44.08758502824518&lng=-85.5615234375&z=4&t=1&l=col2&y=1&tplt=2

DoD scheduled special use airspace (SUA)

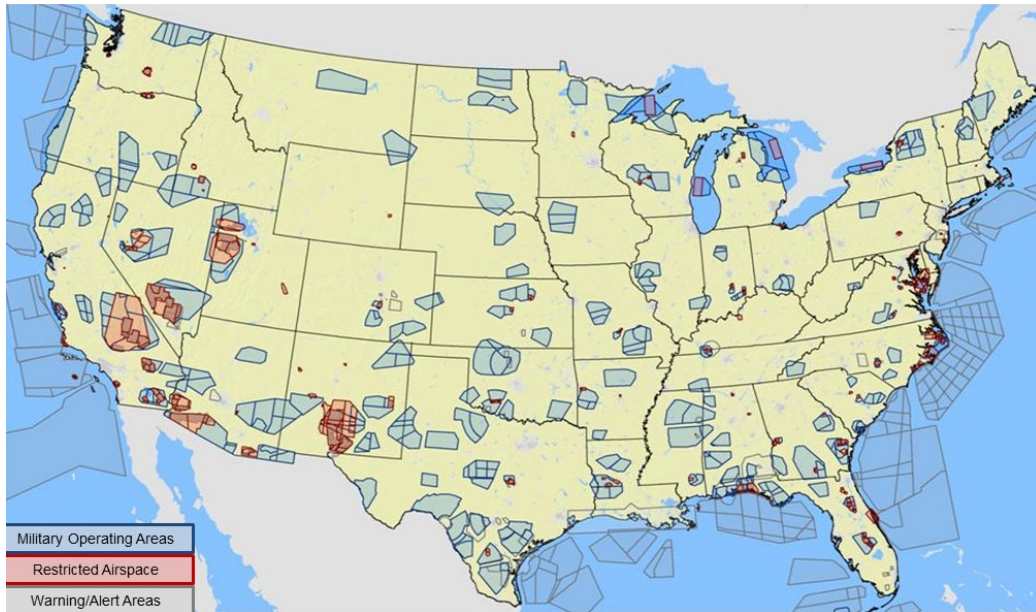


Figura 3.5: DoD Airspace - Fonte: <http://www.defense.gov/UAS>

Drone carrier ships

Nel marzo 2013 DARPA ha iniziato a sviluppare una flotta di piccole navi da guerra in grado di lanciare e recuperare droni da combattimento, senza l'utilizzo di grossi aerei da combattimento. Nel novembre 2014 il Pentagono ha dichiarato apertamente come costruire una portaerei volante che può lanciare e recuperare i droni, utilizzando aerei militari esistenti, come il B-1, B-52 o C-130 [64].

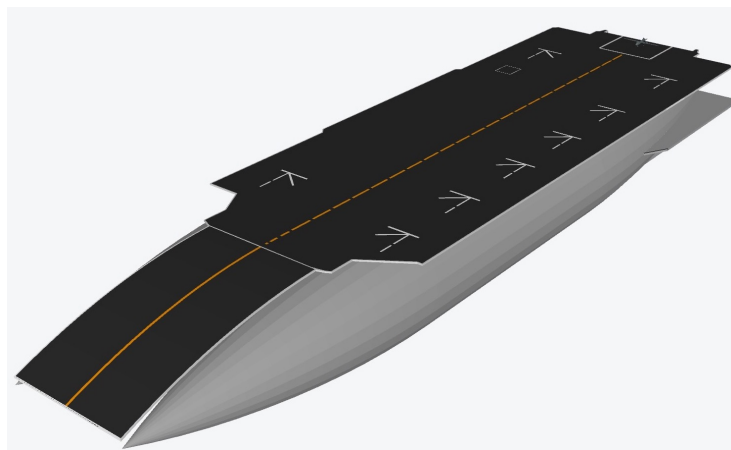


Figura 3.6: Aerial aircraft carrier drone

Altri obiettivi del DoD riguardano [31]:

- *Aeronavigabilità*: aggiornamento della guida di aeronavigabilità del DoD (MIL HDBK 516) per includere i criteri e le modalità di conformità UAS;
- *Formazione*: creazione di programmi di allenamento UAS standardizzati;
- *Policy e Standard*: collaborazione con altre agenzie;
- *Tecnologia*: sviluppo di sistemi SAA (Sense and Avoid).

Sviluppo di tecnologie SAA

Un sistema SAA, sia terrestre, che aereo, o integrato, sarà un risultato efficace di molte tecnologie. Tale sistema SAA comprenderà sensori per rilevare e monitorare, sottosistemi C2 per trasmettere informazioni ad un display che fornisce al pilota consapevolezza della situazione, e algoritmi per la gestione (o l'implementazione) di manovre a seconda dei diversi gradi di autonomia. I sistemi complessi SAA possono consentire voli in formazione o più operazioni di bordo in UAS, mantenendo sempre la sicurezza del volo. Caratteristiche di un sistema SAA [31]:

- *Incrementale e sovrapposizioni con il design*;
- *Ground Based SAA (GBSAA)*: è progettato per fornire separazione sicura per le operazioni dell'UAS. I sensori eseguono funzioni di rilevazione e monitoraggio, mentre gli algoritmi e / o il display aiutano il pilota che ha l'obbligo di valutare, dare la priorità, dichiarare e determinare il modo migliore di agire per evitare pericoli;
- *Airborne SAA (ABSAA)*: darà al pilota la possibilità di evitare conflitti e di prevenire le collisioni con altri aerei, in modo sicuro ed efficiente, in tutte le classi di spazio aereo.

Produttori UAV non statunitensi:

- [Elbit](#)
- [European Aeronautic Defense and Space Company](#)
- [Dassault Aviation](#)
- [Israel Aerospace Industries Ltd.](#)
- [Safran Electronics & Defense](#)

3.1.2 Politiche di esportazione e MTCR

La vendita di UAS prodotti dagli Stati Uniti offre vari vantaggi:

- Garantire l'interoperabilità per l'equipaggiamento delle forze alleate con i sistemi tra loro compatibili;
- Riduce, potenzialmente, i costi unitari delle SUP ai servizi;
- Sostenere la produzione industriale degli UAS degli Stati Uniti.

Di contro possiamo individuare due aree critiche di interesse:

- Dato che un UAS può trasportare sensori e collegamenti dati, esso potrebbe essere modificato per trasportare armi, soprattutto missili, che potrebbero essere un pericolo per la sicurezza nazionale;
- Possibilità di trasferire tecnologia critica verso stati con diversi orientamenti politici.

A seguito di tali preoccupazioni, è stata istituita la **Missile Technology Control Regime (MTCR)** ¹⁴, una partnership informale e volontaria tra i 35 paesi per prevenire la proliferazione di missili e la tecnologia di veicoli aerei senza equipaggio di trasportare superiore a 500 kg di carico utile per più di 300 km [1].

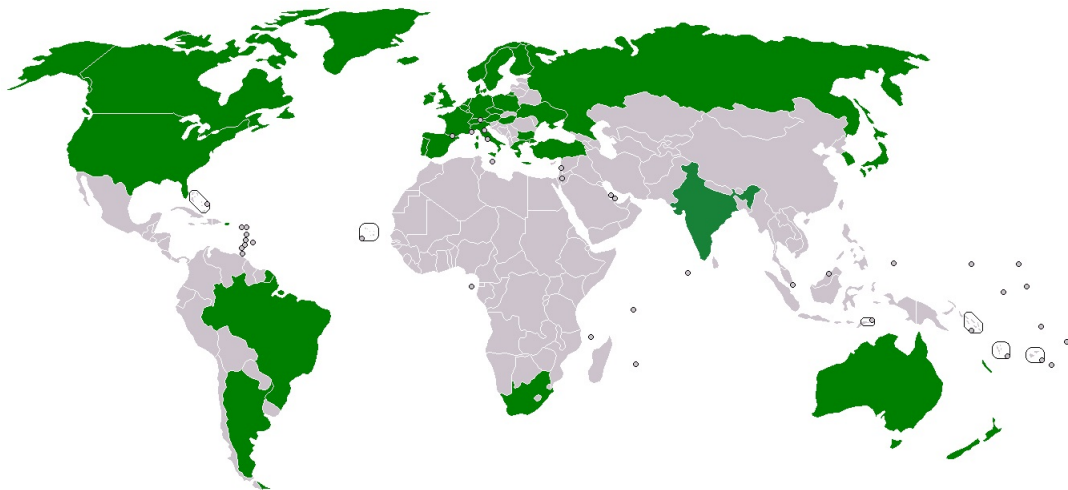


Figura 3.7: Membri MTCR

¹⁴ Istituito nell'aprile 1987 da parte dei paesi del G7: Canada, Francia, Germania, Italia, Giappone, Gran Bretagna e Stati Uniti d'America. L'MTCR è stato creato al fine di contenere la diffusione di sistemi di lancio senza equipaggio per le armi nucleari, in particolare i sistemi di consegna che potrebbe trasportare un carico utile di 500 kg per una distanza di 300 km.

3.2 Ambito civile e scientifico

Il settore della sensori ha permesso di equipaggiare gli UAV civili con molteplici carichi, come camere digitali compatte, infrarossi (camere termiche), camere multi spettrali o sensori più evoluti come il **LIDAR**¹⁵, o sensori per monitorare la qualità dell'aria [11], [18], [16], [1], [10], [34]. Lo **Shadowhawk** è stato il primo UAV ad essere utilizzato in ambito domestico: usato per la prima volta in Montgomery County (Texas), ed è utilizzato dalla Swat per questioni di emergenze.

- 2012: un gruppo di persone a favore dei diritti degli animali ha utilizzato un hexacopter MikroKopter per filmare i cacciatori che sparano ai piccioni nel South Carolina. I cacciatori, poi, riescono a ribaltare il drone;
- 2014: un drone è stato utilizzato nell'operazione di ricerca e salvataggio di un anziano signore affetto da demenza, scomparso per tre giorni;
- 2015: nel festival musicale SXSW di Austin (Texas) fu vietato l'accesso ai droni, avendo la lunghezza di banda congestionata e volendo evitare problemi di sicurezza Wi-Fi.

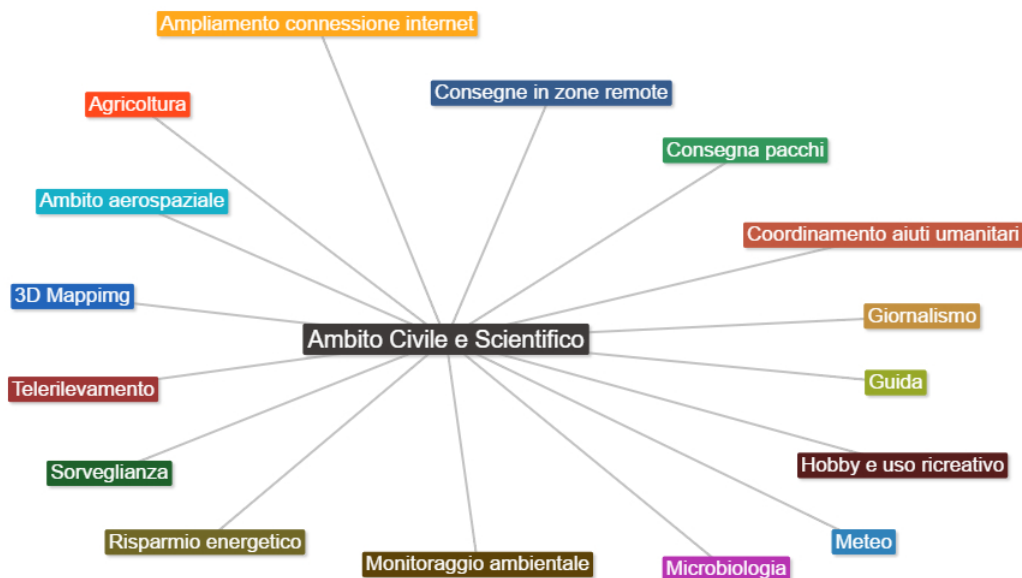


Figura 3.8: Esempi di applicazione UAV in ambito civile e scientifico

¹⁵ Light Detection and Ranging o Laser Imaging Detection and Ranging) è una tecnica di telerilevamento che permette di determinare la distanza di un oggetto o di una superficie utilizzando un impulso laser, oltre a determinare la concentrazione di specie chimiche nell'atmosfera e nelle distese d'acqua.

- **3D Mapping:** esistono droni in commercio in grado di acquisire mappe in 3D. Questa tecnica è stata utilizzata da Droneadventures che ha fornito una mappa tridimensionale del territorio filippino in seguito alla catastrofe del tifone Haiyan. Anche in Italia esistono droni di questo tipo.
- **Ambito aerospaziale:** i droni sono utilizzati per filmare il lancio di missili, al fine di studiarne i movimenti e migliorarli nel futuro. Tutto questo grazie a foto in HD scattate in punti di difficile raggiungimento per l'uomo.
- **Agricoltura:** i droni vengono utilizzati per l'irrigazione dei campi, la semina e il monitoraggio dei terreni. In Giappone nel 2010 il 30% della totalità dei campi di riso è stato irrigato mediante l'uso di RMAX (un modello marca Yamaha). Tramite la fotografia ad infrarossi si valuta lo stato della vegetazione e si combatte l'attività di deforestazione (es: Indonesia, Tanzania e Nepal).
- **Ampliamento della connessione internet:** da diversi anni aziende come Google o Facebook stanno utilizzando droni per diminuire la divisione digitale del pianeta. Lavorano, quindi, ad aumentare la copertura internet nel mondo. Tali droni, equipaggiati per la maggior parte da pannelli solari, hanno un'autonomia di volo pressoché illimitata e nel corso degli anni offriranno connettività a paesi disagiati, raggiungendo quasi 3 miliardi di persone.
- **Consegna di forniture mediche / aiuti umanitari in regione remote o inaccessibili.**
- **Consegna pacchi:** il 2016 sarà l'anno in cui verrà lanciato il servizio di consegna tramite droni. Ne parlano già *Amazon Prime Air* e *Google Project Wing*. Il lancio effettivo avverrà tra il 2017 e il 2020. Il colosso dell'e-commerce cinese *JD* è stato il primo a lanciarsi nel settore, per conquistare le aree rurali più remote (circa 618 milioni di persone). A differenza di Amazon e Google, i pacchi non vengono consegnati direttamente all'acquirente, ma fatti arrivare in un singolo villaggio, avvisando i singoli interessati. I droni in questione, più grandi, robusti e in grado di viaggiare per lunghe distanze, fanno la spola tra oltre 150 mila stazioni di distribuzione, realizzate dall'azienda ai margini delle zone rurali. I tempi di consegna variano tra le 24 e le 48 ore nel 90% dei casi.
- **Giornalismo:** alcuni giornalisti degli Stati Uniti sono interessati a utilizzare droni per raccogliere notizie. Il Collegio di giornalismo e comunicazioni di massa presso l'University of Nebraska-Lincoln ha stabilito il Drone Journalism Lab. L'Università del Missouri ha creato il programma di giornalismo del Missouri Drone. La Società professionale di giornalisti droni è stata istituita nel 2011 e si descrive come la prima organizzazione internazionale dedicata a

stabilire il quadro etico, educativo e tecnologico per il settore emergente del giornalismo drone.

- **Guida:** all'Università del MIT stanno mettendo a punto un sistema in cui il drone funge da guida e indica la strada corretta a chi non conosce una certa zona. Tale utilizzo potrebbe risultare utile, in futuro, per i non vedenti.
- **Hobby e uso ricreativo:** gli aeromodelli, inclusi nella definizione di piccoli UAS dalla FAA, vengono pilotati liberamente dagli hobbisti. Negli Stati Uniti l'utilizzo di sUAS ¹⁶ è consentita come indicato nella sessione 336 della legge pubblica 112-95. L'Accademia di Aeronautica funge da modello per le varie organizzazioni e mantiene una serie di linee guida riguardo la sicurezza operativo, avendo alle spalle una lunga e comprovata efficacia e sicurezza.
- **Industria delle costruzioni.**
- **Ispezione di linee elettriche e gasdotti.**
- **Meteorologia:** i droni sono utilizzati soprattutto per rilevare la dinamica, il movimento e la pericolosità di fenomeni estremi (uragani e tifoni).
- **Microbiologia:** i droni vengono utilizzati spesso nelle attività scientifiche. Nell'ambito della microbiologia, in Texas, l'università ha equipaggiato un drone con capsule di Petri in modo da raccogliere e analizzare i microrganismi presenti nell'atmosfera.
- **Monitoraggio ambientale:** culture, discariche illegali, incendi, caccia illegale, frane, ispezione linee elettriche e ferroviarie.
- **Monitoraggio della folla.**
- **Protezione civile:** i droni sono utilizzati per effettuare sopralluoghi in zone pericolose, come immobili pericolanti, zone a rischio di esplosivi, aree contaminate, ricerche di sopravvissuti e calamità naturali (inondazioni, terremoti e incendi). Negli Stati Uniti i vigili sono stati muniti di droni per avere un'analisi dettagliata dei danni, effettuare ricerche di superstiti o monitorare i luoghi sospetti di incendio a scopo preventivo.
- **Raccolta di notizie:** il giornalista Tim Pool, dell'Occupy Wall Street, utilizza il termine occuicopter per riferirsi ad un drone per le coperture live di eventi in movimento.

¹⁶ Small Unmanned Aircraft System, orientati ad usi non militari, come definito dalla Federal Aviation Administration degli Stati Uniti.

- **Riprese destinate al cinema, film, eventi sportivi o documentari:** nel 2014 la FAA ha detto di aver ricevuto una petizione dalla Motion Picture Association of America che cercava l'approvazione per l'utilizzo di droni nel video e nel cinema. La società ha affermato che l'uso dei droni a basso costo potrebbero sostituire elicotteri o aerei con equipaggio, riducendo i costi.
- **Risparmio energetico:** l'obiettivo è quello di sostituire i satelliti orbitali con droni ad energia solare.
- **Ruoli critici per l'ambiente:** un UAV inquina di meno l'ambiente rispetto ad un velivolo con equipaggio, grazie alle sue dimensioni ridotte, minor peso e consumo energetico (meno emissioni nell'aria e meno rumore).
- **Sorveglianza del bestiame, biodiversità e monitoraggio fauna:** gli UAV possono essere utilizzati per monitorare gli animali selvatici e il loro numero, soprattutto relativamente alle specie con un alto tasso di riproduzione che potrebbero creare danni (economici o agli esseri umani).
- **Sorveglianza:** pozzi di petrolio, sicurezza dei gasdotti, centrali termoelettriche e impianti industriali visto che i tali droni utilizzano appositi sensori (termocamere, camere multispettrali, ecc...), esplorazione e produzione di minerali, siti archeologici (importante l'antichissima necropoli di Fife in Giordania), trasporto merci, aziende agricole, trasporto passeggeri, sicurezza domestica, abusivismo edilizio.
- **Telerilevamento:** in inglese Remote Sensing, è la disciplina tecnico-scientifica (o scienza applicata) con finalità diagnostico investigative che permette di ricavare informazioni, qualitative e quantitative, sull'ambiente e su oggetti posti a distanza da un sensore mediante misure di radiazione elettromagnetica (emessa, riflessa o trasmessa) che interagisce con le superfici fisiche di interesse. Grazie alla capacità di volare a bassa quota e di disporre di sensori di piccole dimensioni (ma di buona qualità), gli UAV di piccole dimensioni possono essere utilizzati per varie attività di telerilevamento: creazione di mappe per le culture agricole, monitoraggio dello stato di salute della vegetazione, creazione di mappe per la copertura e uso del suolo, creazione di mappe nelle fasi immediatamente successive alle calamità naturali (APR statunitensi Global Hawk che hanno sorvolato la Centrale nucleare di Fukushima Dai-ichi, in Giappone, addentrandosi nella zona vietata per monitorare i reattori dopo le esplosioni causate dal terremoto del Tōhoku del 2011, scattando anche foto con i sensori a infrarossi. L'alta radioattività rendeva infatti impossibile l'avvicinamento degli esseri umani), mappatura alluvioni e umidità dell'aria, mappatura delle dispersioni termiche di edifici.

Capitolo 4

Classificazione dei droni

Negli ultimi anni il mercato si è riempito sempre di più di droni e di UAV, i veicoli aerei senza equipaggio, sia in ambito militare che civile. Attualmente, più di 90 nazioni (o gruppi non statali) utilizzano i droni per i loro scopi; tra questi paesi, almeno 30 stanno sviluppando (o già utilizzano) droni armati. Tali droni sono in grado, infatti, di trasportare armi, esplosivi, agenti chimici e / o biologici. Se usati in massa, tali velivoli permetterebbero ai singoli Stati, alle organizzazioni, a gruppi non statali, ma anche a singoli individui, di sferrare attacchi verso obiettivi specifici o nemici, in modo molto preciso e diretto. Tra i gruppi non statali che utilizzano attualmente droni per condurre sorveglianza tattica possiamo ricordare Hamas, Hezbollah, lo Stato Islamico dell'Iraq e della Siria (ISIS) e gruppi di ribelli libici. Anche individui non commerciali hanno accesso a droni commerciali (o singoli componenti) che vengono utilizzati sia per la sorveglianza, sia come armi: con o senza missili, possono essere usati per guida di precisione per spedire armi o carichi chimici / biologici da disperdere in un dato luogo. Per tali motivi, è doveroso fare una classificazione degli UAV esistenti in base alle loro portate complete. Seguendo il rapporto facilità di accessibilità con la tecnologia e la struttura del velivolo, è possibile classificare gli UAV in quattro macro categorie [20], partendo dal più accessibile:

- *Droni per hobbisti*: disponibili subito in negozio (costano al massimo qualche migliaio di euro / dollari), vengono venduti completamente assemblati (o da assemblare manualmente). Non richiedono infrastrutture o conoscenze specifiche. Possono volare per distanze massime di circa 10 km, e pilotati mediante telecomando o app smartphone / tablet. Possono montare sistemi GPS e fotocamere o videocamere;
- *Droni commerciali e militari di media grandezza*: costi elevati e necessità di una infrastruttura non li rendono appetibili per privati. Sono spesso usati per la sorveglianza, per eseguire obiettivi kamikaze o sganciare munizioni. Sono guidati con molta precisione;

- *Droni militari specifici di grandi dimensioni*: spesso vi troviamo droni armati, con infrastrutture militari avanzate accessibili solo a militari e all'esercito. È presente una tecnologia superiore di costruzione, maggiore gamma, resistenza e capacità di carico. Possono comunicare a grandi distanze e, se armati, possono fornire carichi di oltre 1.000 chilogrammi a distanza di migliaia di chilometri. Di solito operano con un altro velivolo per la comunicazione e la gestione. I droni di questa categoria possono raggiungere diverse centinaia di chilometri in territorio limitrofo, senza utilizzare comunicazioni satellitari. Nonostante possano colpire in profondità l'avversario, sono sprovvisti di attacchi furtivi o difese elettroniche, diventando vulnerabili al rilevamento avanzato nemico e facili bersagli di caccia nemici;
- *Droni stealth da combattimento*: includono i velivoli con tecnologie avanzatissime, dotati di bassa rilevazione. Sono utilizzati anche per operazioni ISR in zone con accesso ristretto / negato. Attualmente gli USA sono gli unici a possedere tali velivoli, le cui specifiche restano segrete.

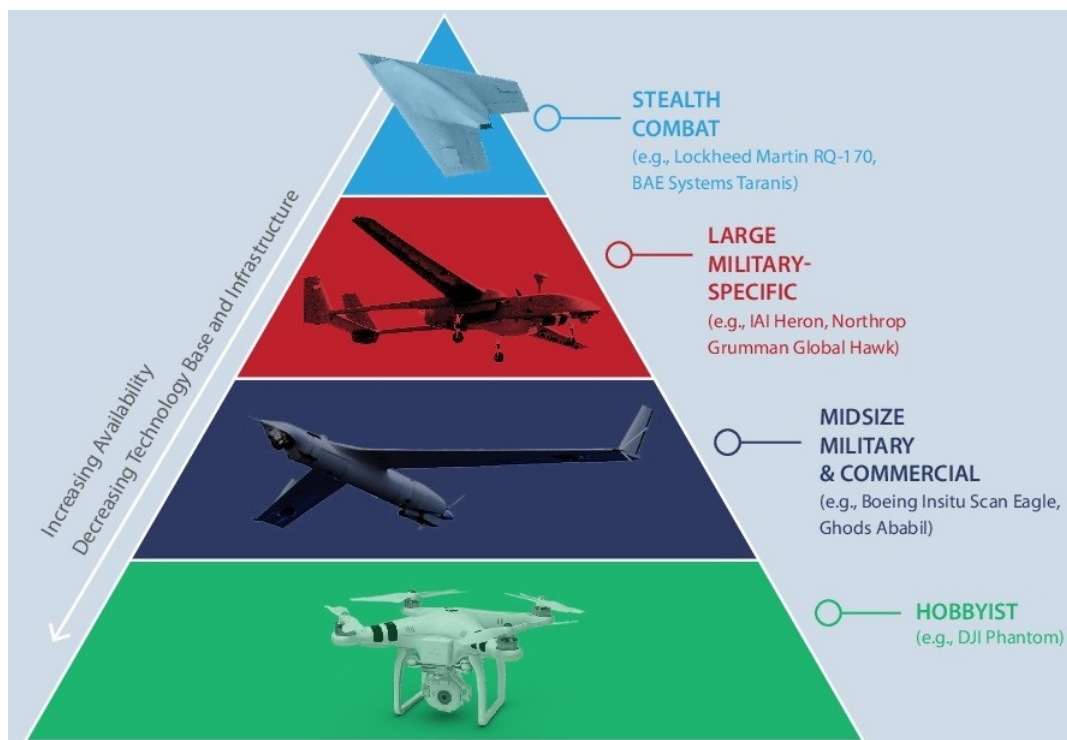


Figura 4.1: Le 4 categorie di droni - tratto da *A World of Proliferated Drones Series* (Giugno 2015)

4.1 Droni per hobbisti

Mentre i droni militari di supporto sono stati utilizzati fin dagli anni 1960, i droni per gli hobbisti hanno iniziato a diffondersi tra il 2011 e il 2013, con un boom di vendite. Il più grande produttore di questo tipo di droni è la SZ DJI Technology Co., con un aumento del 300% del fatturato annuo, arrivano a 130 milioni di \$. Nel 2014 il fatturato ha raggiunto i 500 milioni e si stima abbia raggiunto il miliardo a fine 2015. Con l'aumento della vendita, e quindi della domanda, si sono abbassati i costi e sono aumentate le capacità di tali droni. Possono essere guidati con joystick manuali (come i vecchi giocattoli telecomandati) oppure mediante smartphone, utilizzano l'apposita app ¹⁷. Mediante smartphone (o tablet) il pilota guida il suo velivolo semplicemente toccando sullo schermo il punto della mappa e ne determina il movimento inclinando il dispositivo. I droni più venduti sono i modelli COTS e il Phantoms DJI, dotati di sistemi GPS e un punto di sicurezza. Questi sistemi permettono al velivolo di determinare con precisione la sua posizione e di mantenerla, permettendo un volo autonomo. Nel caso in cui il pilota dovesse perdere il contatto con il sistema, grazie al punto di sicurezza, il drone si reca in una posizione predeterminata. I droni di tipo COTS hanno un firmware che ne limita il volo solo in alcune zone, evitando l'accesso nelle *No-fly-zone*, ossia in prossimità degli aeroporti o punti di sicurezza nazionale. I programmatori esperti possono rimuovere tali restrizioni, che non sono presenti nel caso di droni assemblati manualmente. Sui droni COTS è possibile installare fotocamere e / o videocamere HD, con possibilità di download dei dati, per fornire intelligence, sorveglianza e ricognizione (ISR). Tuttavia, tali capacità sono fortemente influenzate dalla scarsa durata della batteria. L'unico modo per estendere la durata della batteria è evitare il download dei dati in tempo reale. Possono essere installati anche altri strumenti più sofisticati, tra cui camere laser, tenendo sempre presente i limiti del velivolo stesso. Proprio la capacità di equipaggiare un drone per hobbisti con strumenti esterni e più precisi tenderà a ridurre, in futuro, il confine tra i sistemi civili e militari di piccole dimensioni. Anche l'ISIS ha usato droni commerciali, per la precisione il *Phantoms DJI FC40*, a fini di sorveglianza. Si prevede che l'utilizzo dei droni da parte di tali gruppi aumenterà nel tempo, vista la diminuzione dei prezzi e l'aumento della facilità di utilizzo. La preoccupazione maggiore è quella di poter installare su tali velivoli armi. Nonostante la maggior parte dei droni COTS abbiano corto raggio e capacità di carico limitata, sono stati utilizzati con successo contro il contrabbando di farmaci. Sul sito [DroniOnline](#) è possibile trovare i 10 droni più venduti in Italia e i migliori droni per uso professionale. Fra i *droni consumer* più ricercati, si possono elencare:

¹⁷ Attualmente le app sono disponibili per dispositivi Android e iOS. Su Windows 10 mobile e altri OS proprietari non disponibili o sono acerbi.

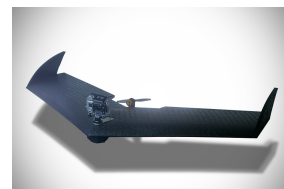
- **DJI Phantom GPS Drone:** tutti i droni della gamma Phantom hanno elevate prestazioni, raggiungendo un raggio di 300 metri dal pilota, che li monitora via GPS. Sono attrezzati con videocamere della linea GoPro e possono trasportare piccoli oggetti;
- **Hubsan X4 H107:** di piccole dimensioni, dotato di quattro eliche, privo di funzioni di ripresa o wireless. Adatto soprattutto al divertimento indoor;
- **Lehmann LA100 GoProne Drone:** drone professionale planare, capace di raggiungere i 100 metri di altezza in pochi secondi. Ha un corpo superleggero, una videocamera GoPro ed è ottimo per riprese dall'alto e attività sportive;
- **Parrot AR Drone 2.0:** leggero e dotato di una fotocamera integrata in grado di girare video a risoluzione 720p. I controlli sono semplici e può gestire una propria rete WiFi per condividere istantaneamente quanto girato. Può essere gestito da dispositivi Android e iOS. La linea Parrot comprende anche i modelli ibridi *Jumping Sumo* e *MiniDrone*;
- **Storm Drone FF Flying Platform:** leggero dotato di guaine per atterraggi morbidi, attacco per videocamere GoPro e una serie di LED infrarossi per individuare il velivolo anche di notte, nella nebbia o in direzione del sole;
- **Walkera QR Infra X Smart Drone:** il primo drone consumer dotato di tecnologia CAS (Crash Avoidance System), una rete di sensori GPS e infrarossi che impedisce lo scontro con ostacoli o la perdita improvvisa di quota.



(a) Phantom 4



(b) Hubsan X4 H107



(c) Lehmann LA100



(d) Parrot AR Drone 2.0



(e) Storm Drone



(f) Walkera Infra X

Figura 4.2: Consumer Drone

Capacità

- Autonomia media di 15 minuti;
- Forniscono carichi utili, tra cui esplosivi (peso massimo: due chili) a distanze fino a un paio di chilometri;
- Foto e video HD con trasmissione in tempo reale a distanze fino a un paio di chilometri;
- Operano in ambienti in cui è vietato l'uso di un GPS autonomo e hanno way-point di navigazione;
- Navigazione limitata in ambienti che utilizzano sistemi di navigazione inerziale a basso costo.

Limitazioni

- Bassa resistenza e basso raggio di azione;
- Nessuna capacità di lanciare missili o bombe;
- Poca possibilità di carico;
- Trasferimento dati non criptato e facilmente intercettabili;
- Vulnerabilità alle contromisure elettroniche, compreso il GPS-jamming e spoofing;
- Vulnerabilità alle piccole armi da fuoco.

Tecnologia: tendenze e sviluppi futuri

- Aumento del raggio di azione, del carico utile e della resistenza;
- Collegamenti di comunicazione criptati;
- Controllo cooperativo di più droni in contemporanea da parte di un singolo pilota;
- Precisione di navigazione GPS-indipendente, eliminando la vulnerabilità al disturbo e agli attacchi di spoofing;
- Sistemi di rilevamento e evitare di navigare autonomamente intorno agli ostacoli.

4.2 Droni commerciali e militari di media grandezza

Esistono droni che vanno oltre il mero uso hobbistico e ricreativo: si tratta di droni utilizzati per una vasta gamma di attività militari e commerciali, dove sostituiscono i classici elicotteri, riducendo i costi. Sono utilizzati per foto e video, nel settore agricolo per esaminare e innaffiare le colture, per monitorare le zone disastrose. Vengono utilizzati persino dagli ambientalisti per monitorare le dimensioni della fauna e lo sfruttamento del suolo; sono utilizzati dalle compagnie petrolifere e di gas per mappare i loro condotti e creare dei modelli di riferimento. Uno dei colossi dell'e-commerce, Amazon, vorrebbe impiegarli per la consegna dei pacchi, ma ancora non sono in funzione e questa capacità resta confinata negli Stati Uniti, dove vige la normativa della Federal Aviation Administration. Il costo di droni di tale categoria può variare da alcune centinaia di migliaia di dollari a milioni per singolo esemplare, rendendone proibitivo l'acquisto da parte di singoli privati. L'Iran è uno dei produttori di tali velivoli. Rispetto ai droni degli hobbisti, la maggior parte dei droni commerciali e militari di media grandezza sono più grandi, più pesanti, con una portata e resistenza maggiore. Il loro carico è più sofisticato e la tecnologia di comunicazione più avanzata. Analogamente ai droni per hobbisti sono utilizzati per lo più come piattaforme ISR, anche se potrebbero trasportare carichi pericolosi come esplosivi, armi chimiche o biologiche. Possono essere pilotati manualmente o in modo autonomo, e possono essere dotati di telecamera HD (utilizzando sistemi elettro-ottici) e ad infrarossi, per la visione notturna. Sono dotati di radar ad apertura sintetica, sensori per la trasmissione in tempo reale su larghezza di banda elevata e collegamento dati crittografato. Un drone di questa categoria può essere gestito / monitorato da più forze congiunte per migliorare il coordinamento della situazione. ScanEagle di Boeing Insitu è gestito da vari paesi, tra cui lo Yemen che ha ricevuto con successo i dati nella stazione di controllo posta a terra, ad una distanza di oltre 28 chilometri. La gamma e la resistenza dei velivoli di questa categoria è nettamente superiore a quella dei droni per hobbisti: mentre questi ultimi hanno un'autonomia di circa 20 minuti e una distanza operativa di massimo 2 km, i droni commerciali e militari di media grandezza hanno un'autonomia di oltre un'ora e una distanza di almeno 10 km. Il modello *AeroVironment RQ-11 Raven* è uno degli UAV militari più comuni in funzione; esso ha un'autonomia che varia dai 60 ai 90 minuti, a seconda delle condizioni di funzionamento e del carico, ed ha un intervallo di distanza tra 8 e 10 km. Un altro modello, il *Ghods Ababil-3* (con altre varianti) è prodotto dall'Iran ha una resistenza dichiarata fino a 4 ore e una gamma di 100 km, con una migliore capacità di raggiungere l'obiettivo e di raccolta ISR. Il colpire l'obiettivo può essere ulteriormente migliorato mediante telecamere laser che illuminano, già presenti su molti sistemi militari di medie dimensioni (moduli su RQ-11B

Raven). Queste capacità consentono al sistema di misurare la distanza di un oggetto e di regolarsi sulle coordinate di un bersaglio fisso o mobile. Tali informazioni possono poi essere trasmesse a piattaforme armate. In fase di sviluppo è un software di rilevamento automatico progettato per rilevazioni persistenti. Importante è anche il modello Elbit Hermes 450 che limitano l'intelligence avversaria, mediante disturbo elettronico, permettendo appunto al drone di intercettare o disturbare le comunicazioni nemiche, o neutralizzare il monitoraggio avversario radar. I velivoli di questa categoria sono gestiti da un certo numero di enti, statali e non. Oggi, 87 paesi, che vanno dagli Stati Uniti alla Cina, comprendendo anche paesi più piccoli come Cipro, Trinidad e Tobago, utilizzando tali sistemi e il numero è destinato a crescere nel futuro prossimo.



Figura 4.3: Paesi che possiedono i droni

I ribelli libici hanno impiegato il drone tattico Scout, attrezzato di visione notturna, nella lotta contro Muammar Gheddafi. Lo Scout ha un peso di circa un chilo e può essere trasportato facilmente in uno zaino, fornendo ai ribelli un'opzione ISR portatile. Il drone è stato controllato mediante una console touch basata su mappe che richiedeva meno di mezza giornata per operare. Nel 2013 le forze di sicurezza palestinesi hanno rilevato un complotto di Hamas per lanciare UAV armati in Israele. Nel 2006, nella guerra del Libano, gli Hezbollah hanno ottenuto successi lanciando droni carichi di circa 27 kg di esplosivo, infliggendo seri danni ai civili. Tali droni sono difficili da abbattere dai razzi visto che non seguono traiettorie balistiche alte, diminuendone la capacità di rilevazione dai radar. Come soluzione si potrebbero utilizzare missili miniaturizzati come Raytheon Pyros o i missili *Fury*[®] della Textron Systems.

Capacità

- Capacità di eseguire una missione kamikaze con un carico utile esplosivo;
- Carico utili fino a 200 kg in un raggio massimo di 200 km;
- Catturare immagini e video HD in un raggio massimo di 200 km; trasmissione in tempo reale a distanze fino a circa 30 km;
- Funzione di rete di sicurezza;
- Identificare e designare bersagli via telemetri laser e illuminatori;
- Limitare il disturbo allo spionaggio elettronico;
- Mappatura del terreno per tutte le stazioni e monitoraggio via radar avanzato;
- Operare in ambienti di comunicazione che negano l'uso di GPS completamente autonomo e way-point di navigazione;
- Periodo di persistenza compreso tra 60 e 120 minuti;
- Trasmissione dati crittografata, collegamenti dati a banda larga.

Limitazioni

- Comunicazioni line-of-sight;
- I dati possono essere intercettati;
- Mancata sopravvivenza nello spazio aereo negato;
- Non possono rilasciare missili o bombe;
- Vulnerabilità alle contromisure, compresi i sistemi di difesa aerea uomo-portatile GPS-jamming e spoofing, fuoco di armi leggere (a quote inferiori), e (MAN-PADS) (ad altitudini più elevate).

Tendenze tecnologiche

In aggiunta alle tecnologie disponibili per i droni degli hobbisti:

- Aumento della gamma, del carico utile e della resistenza;
- Missili o bombe sganciabili.

4.3 Droni militari di grandi dimensioni

I droni appartenenti a questa categoria rappresentano l'evoluzione dei sistemi precedenti, con una tecnologia ancora più sofisticata. Per operare necessitano di una struttura sostanziale per operare e non sono accessibili a soggetti non statali e hanno un costo di molti milioni di dollari. Sul velivolo sono presenti funzioni sofisticate: una maggiore gamma, resistenza e capacità di carico. Il modello General Atomics Predator (di cui esistono diverse varianti gestiti dai vari paesi della NATO e autorizzato ad andare verso gli Emirati Arabi Uniti) ha un'autonomia compresa tra le 18 e le 40 ore. Il modello IAI Heron (Machatz-1) ha un'autonomia che raggiunge le 45 ore. Questo livello di resistenza aumenta notevolmente la persistenza della piattaforma, consentendo di concentrarsi per un tempo maggiore sul bersaglio e una migliore raccolta ISR. Il modello Northrop Grumman RQ-4 Block 40 Global Hawk è in grado di fornire un radar ad apertura sintetica (SAR) ad alta risoluzione (che può penetrare attraverso le nuvole e le tempeste di sabbia) ed una immagine elettro-ottica / a infrarossi (EO/IR) a lungo raggio con capacità di stare più a lungo sull'area del bersaglio. Può sorvegliare quasi 100.000 chilometri quadrati (40.000 miglia quadrate) di terreno durante il giorno. I droni militari di grandi dimensioni offrono altri miglioramenti, come le comunicazioni satellitari a banda larga (SATCOM) che espande la quantità e la gamma dei dati trasmessi a stazioni lontane dati ISR. Il modello che meglio rappresenta tale categoria è il modello EQ-4, ossia un RQ-4 Global Hawk dotato di Battlefield Airborne Communications Node (BACN).

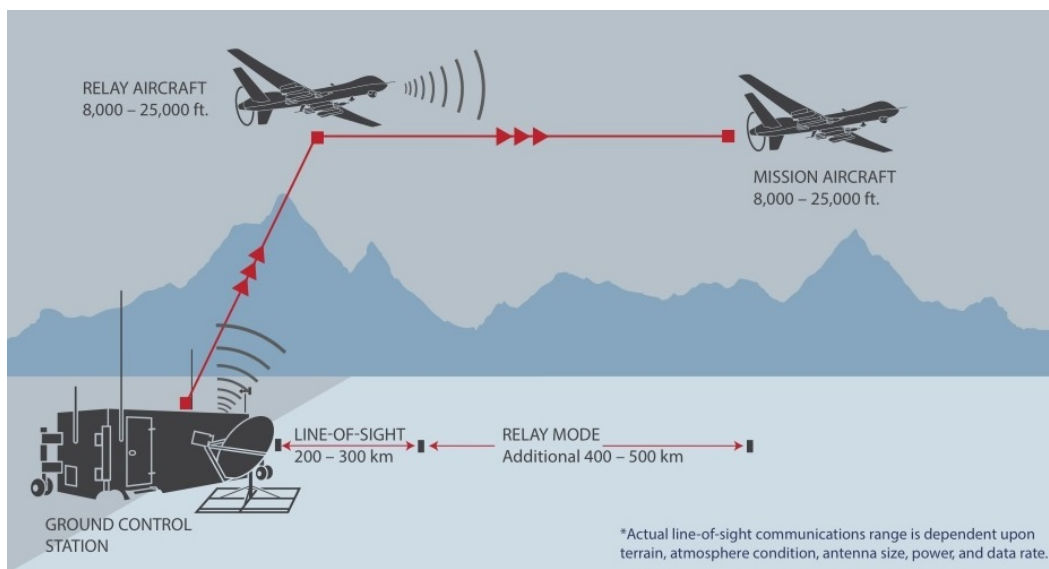


Figura 4.4: Relè di comunicazione

Range using line-of-sight (300 km)
and communications relay (800 km)

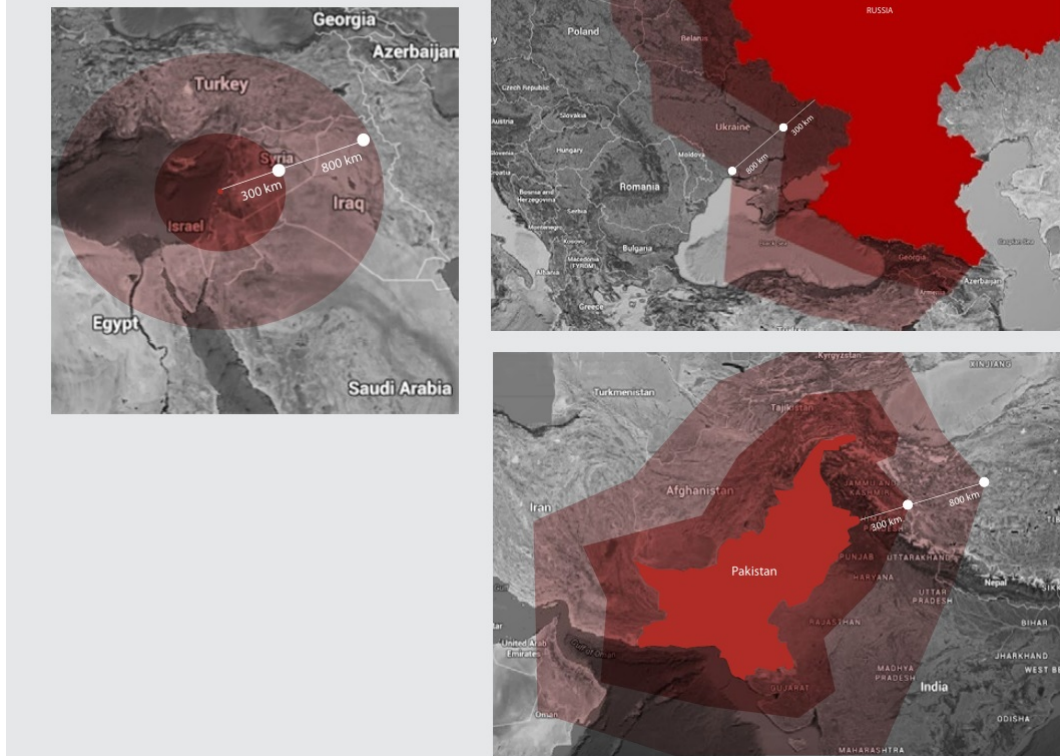


Figura 4.5: Espansione del raggio

Molti droni militari di grandi dimensioni possono trasportare armi. Infatti, tra i 10 paesi che possiedono droni armati, almeno il 20% ha dichiarato apertamente di avere programmi di sviluppo attivi riguardo le armi. Bisogna specificare che non tutti i droni armati sono uguali, in quanto la tecnologia varia da paese a paese, partendo dai più sofisticati degli Stati Uniti e Israele, per arrivare ai meno sofisticati della Cina e della Nigeria. Il modello *General Atomics MQ-9 Reaper* può portare fino a 14 missili Hellfire o varie tipologie di bombe a guida laser.



Figura 4.6: General Atomics MQ-9 Reaper

L'MQ-9 è un velivolo più grande con più capacità di carico rispetto al modello RQ-1 Predator. Può usare gli stessi sistemi di terra del MQ-1. L'MQ-9 ha una potenza di 950 cavalli vapore, molto più potente del motore a pistoni del Predator. L'incremento di potenza permette al Reaper di portare 15 volte il peso e volare a tre volte la velocità del MQ-1.



Figura 4.7: MQ-9 Reaper nel 2010

Anche l'Australia si sta allenando con i Reaper armati e vuole acquistarne in futuro. Mentre tra il 2005 e il 2009 il numero dei droni armati era circa dell'1,5%, tra il 2010 e il 2014 il loro numero è salito al 2,6%. Negli anni che verranno sempre più paesi svilupperanno e / o acquisteranno droni armati.

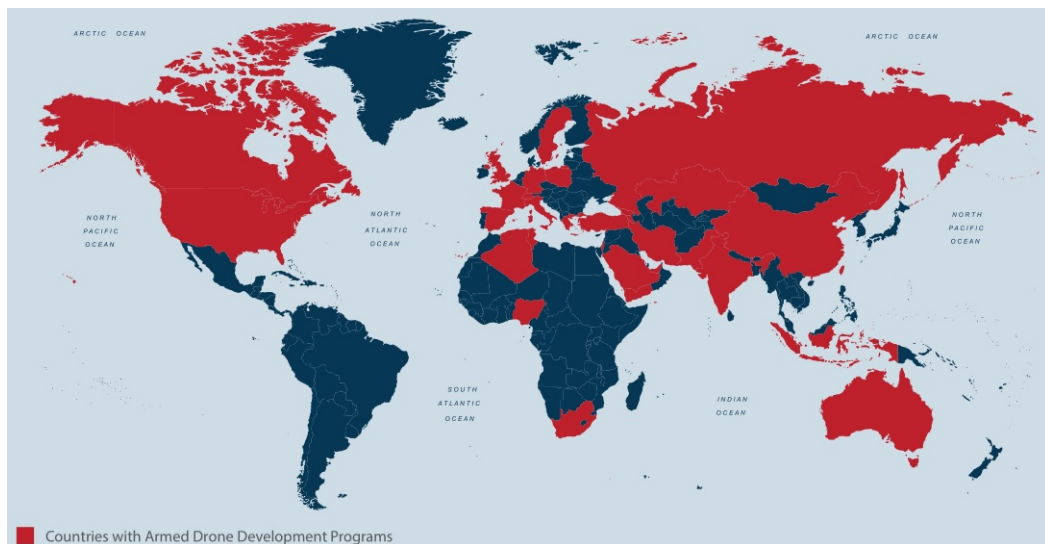


Figura 4.8: Paesi che stanno sviluppando droni armati

Capacità

- Carichi di oltre 1.000 kg a distanze da diverse centinaia a qualche migliaio di chilometri;
- Identificano e designano i bersagli via telemetri laser e illuminatori;
- Mappatura del terreno in tutte le stazioni con bassa rilevazione dai radar nemici;
- Migliore resistenza allo spionaggio e al disturbo elettronico;
- Operare in ambienti di comunicazione dove è negato l'uso di GPS autonomi e way-point di navigazione;
- Persistenza per periodi più lunghi (fino a 24 ore o più);
- Possibilità di sganciare missili o bombe;
- Relè delle Comunicazioni per consentire un'autonomia estesa (300 a 800 chilometri) senza fare affidamento su SATCOM;
- Trasmissione dati criptati attraverso banda larga;
- Trasmissione in tempo reale di immagini e video HD.

Limitazioni

- Poca sopravvivenza nello spazio aereo contestato / negato (se presenti tecniche di difesa aerea avanzate);
- Vulnerabile agli aerei dei caccia nemici;
- Vulnerabile alle contromisure come GPS-jamming e spoofing.

Tendenze tecnologiche

In aggiunta alle tecnologie disponibili per hobbisti e ai droni commerciali e militari di media grandezza:

- Aumento della gamma, del carico utile e della resistenza;
- Guerra elettronica ad alti e vari livelli;
- Semplici capacità aria - aria contro aerei a volo lento (come altri droni).

4.4 Droni stealth da combattimento

I droni stealth da combattimento, che comprendono gli UAV armati e ISR, appartengono ad uno dei livelli più alti della tecnologia, simile agli aerei da combattimento più avanzati di quinta generazione. Soltanto gli Stati Uniti sono noti per il possesso fisico e il loro utilizzo; visto il loro livello tecnologico e la loro importanza, i loro progetti sono tenuti segreti al pubblico e tali velivoli non sono esportati. Altri paesi come la Russia, Israele, Cina, India, Francia, Italia, Svezia, Spagna, Grecia, Svizzera e il Regno Unito stanno sviluppando velivoli di tipo stealth. Tali droni sono disponibili solo ai produttori e al reparto di difesa della sicurezza nazionale.

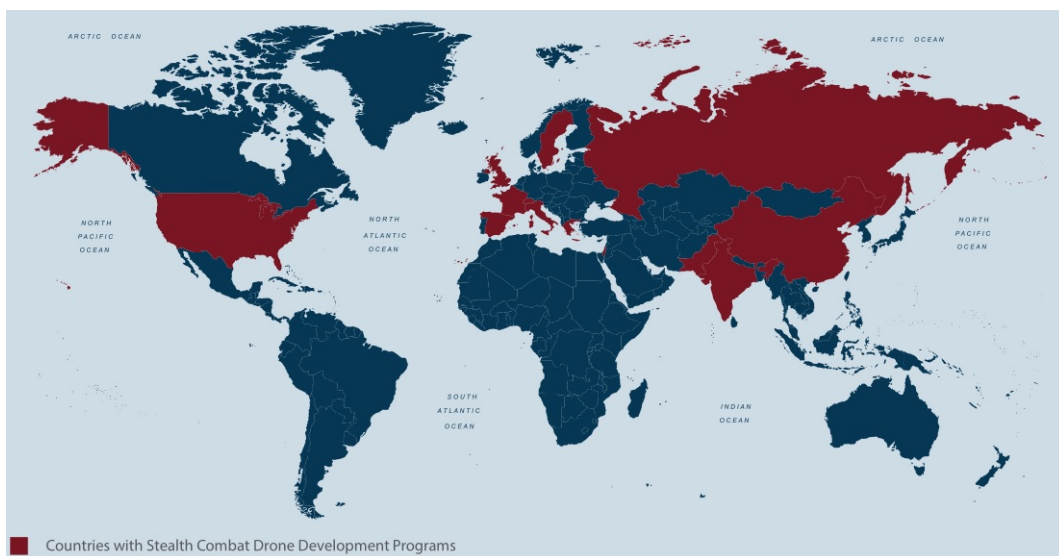


Figura 4.9: Paesi che stanno sviluppando droni Stealth

I modelli appartenenti a questa categoria che più spiccano sono:

- *Lockheed Martin RQ-170 Sentinel* (sviluppato dall'azienda statunitense Lockheed Martin negli anni duemila ed impiegato dall'United States Air Force (USAF), l'aeronautica militare statunitense, e dalla Central Intelligence Agency (CIA) - a breve raggio furtivo ISR;
- *Northrop Grumman RQ-180* - medio raggio furtivo ISR.

Entrambi i sistemi sono progettati per ridurre al minimo la loro presenza al radar nemico, riducendo la loro sezione trasversale, con misure plasmate per ridurre al minimo la riflessione radar. Nessuno dei due modelli, infatti, presenta gli stabilizzatori verticali presenti sulla maggior parte degli UAV.

Il design generale è quello a forma di ala volante, senza coda, con insenature di scarico appositamente progettate per migliorare la comunicazione a banda larga e il loro aspetto Stealth. Oltre alla bassa intercettazione sui radar, che le loro comunicazioni sono difficilmente rilevabili, avendo una vasta gamma di sensori passivi. Anche se non attualmente (o ufficialmente) in funzione esistono altri droni di tipi Stealth, tra cui il *BAE Systems Taranis* e il *nEUROn* (programma europeo, cominciato dalla francese Dassault), sviluppato congiuntamente da Francia, Italia, Svezia, Spagna, Grecia e Svizzera. Anche Russia, Israele, Cina e India stanno sviluppando velivoli con tali caratteristiche. Il *Boeing Phantom Ray* è un UAC dimostrativo americano, sviluppato da Boeing utilizzando fondi della società. Il Phantom Ray è autonomo, col design di ala volante, grande quanto un jet da combattimento convenzionale. Il primo volo è avvenuto il 27 aprile 2011.

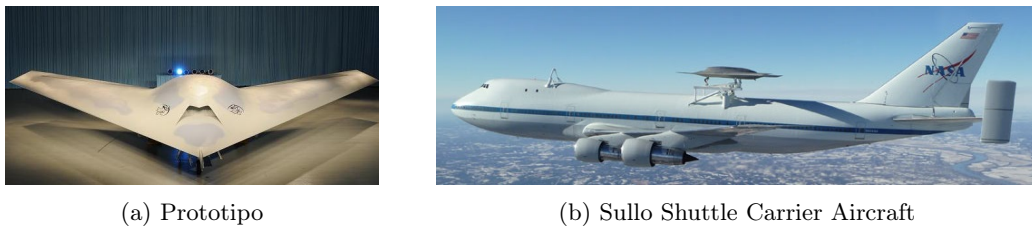


Figura 4.10: Phantom Ray

Russia e Cina stanno sviluppando sistemi aerei per rintracciare velivoli stealth: secondo Zarchy Keck (scrittore di interesse nazionale) sia Pechino e Mosca hanno iniziato lo sviluppo di veicoli aerei senza equipaggio con l'obiettivo di trovare, rilevare, e forse anche eliminare aerei stealth nemici. *Divine Eagle* è un velivolo cinese appositamente creato per rilevare velivoli stealth mentre sono ancora lontani dal continente cinese. Tale velivolo dispone al suo interno di radar di diverso tipo, tra cui X/UHF low band radar systems. Tali sistemi possono essere utilizzati per rilevare gli *F-35* americani a lunga distanza. Anche la Russia utilizza X/UHF low band radar systems per rilevare gli aerei nemici di tipo stealth.

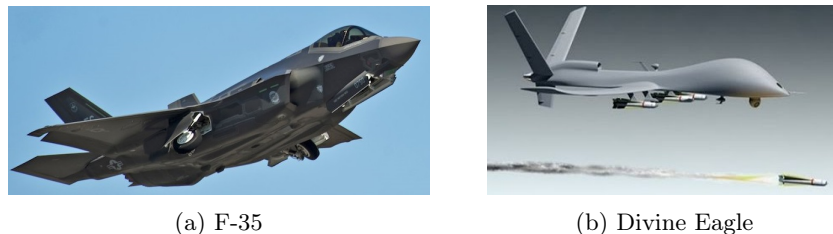


Figura 4.11: America e Cina

Capacità

- Comunicazioni satellitari su larga banda, oltre le linee comuni;
- Mappatura del terreno per tutte le stazioni;
- Migliore resistenza allo spionaggio e al disturbo elettronico;
- Operare in ambienti di comunicazione dove è negato l'uso di GPS autonomi e way-point di navigazione;
- Operare in spazio aereo vietato grazie alla bassa intercettazione;
- Persistenza per periodi più lunghi (tra 5 e 24 ore, a seconda delle dimensioni);
- Possibilità di sganciare missili e / o bombe;
- Trasmissioni dati criptati con bassa possibilità di intercettazione e / o rilevazione;
- Trasmissione in tempo reale di immagini e video in HD a intervalli globali.

Limitazioni

- Alcune vulnerabilità alle contromisure come GPS-jamming e spoofing.

Tendenze tecnologiche

In aggiunta alle tecnologie disponibili per le categorie precedenti di droni:

- Aumento della gamma, del carico utile e della resistenza;
- Combattimento aria - aria;
- Operazioni coordinate in ambienti di comunicazione contestate;
- Rifornimento in volo autonomo;
- Sistemi GPS indipendente di precisione ad alta risoluzione per consentire le operazioni in ambienti dove il GPS è vietato.

4.5 Tassonomia NATO

Nuove disposizioni per gli RPAS sono state pubblicate nel gennaio 2015 dalla [MAA - Military Aviation Authority](#) [6]:

MTOW	Classi NATO	Tassonomia comune	Categoria MAA iniziale
< 200g		NANO	Classe I (a)
200g - 2kg		MICRO < 2kg	Classe I (b)
2kg - 20kg	Classe I <150 kg	MINI 2 - 20 kg	Classe I (c)
20 kg - 250 kg		SMALL > 20 kg	Classe I (d)
> 150 kg	Classe II 150 - 600 kg	TACTICAL > 150 kg	Classe II
> 600 kg	Classe III > 600 kg	MALE / HALE / Strike	Classe III

Tabella 4.1: Tassonomia comune e classi NATO

4.6 Altri tipi di classificazione

In base alla dimensione [16], [18], [21], [32], [34]:

- **Nano UAV:** grandi quanto i grossi insetti, vengono tipicamente usati come velivoli spia. Il *Black Hornet Nano* misura circa 10 cm × 2,5 cm;



(a) Black Hornet PD-100 PRS



(b) DARPA Nano UAV

Figura 4.12: Esempi di Nano UAV

- **Micro Air Vehicle (MAV)**: peso inferiore a 1 kg. La loro lunghezza varia tra i 30 e i 50 cm e vengono utilizzati nelle aree urbane, dato che il loro volo è lento. Possono restare in condizione di volo stazionario attraverso un sistema propulsivo ad ala battente o ala rotante. Il raggio di volo è limitato a pochi km. Una singola persona basta a trasportarlo e controllarlo [50];

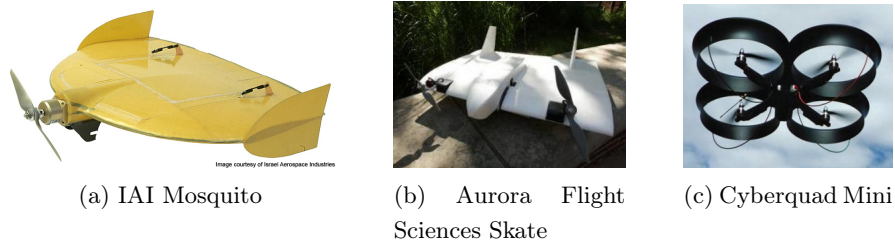


Figura 4.13: Esempi di MAV

- **Mini UAV (MUAV) / Small UAV (sUAV)**: la lunghezza varia dai 50 cm al metro. Lanciati a mano; possono avere ala fissa o rotante. Il peso non supera i 20 kg, con un raggio di azione tra i 10 e i 15 km. Raggiungono un'altezza massima di 300 metri. L'autonomia è di circa un'ora. [Elenco completo](#) [51];

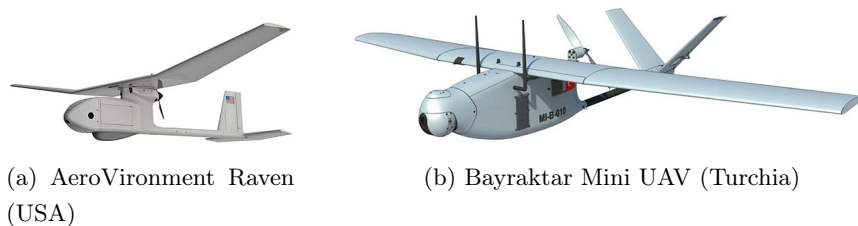


Figura 4.14: Alcuni esempi di MUAV / sUAV

- **OAV (Organic Air Vehicle)**: veicolo aereo organico. Aumenta i sensi umani sul campo di battaglia [54];
- **RPV (Remote Pilot Vehicle)**: veicolo pilotato da remoto. Si tratta di droni telecomandati;
- **UCAV (Unmanned Combat Air Vehicle)**: veicoli aerei da combattimento senza pilota;
- **TUAV (Tactical Unmanned Aerial Vehicle)**: veicoli aerei tattici senza pilota. Dimensioni medie, peso meglio 300 kg. Possono raggiungere tra i 1.000 e i 5.000 metri, ed hanno un'autonomia tra 1 e 4 ore. Il loro raggio varia tra i 200 e i 300 metri. Possono essere lanciati da catapulte o da razzi;

- **URAV**: veicoli aerei da ricognizione senza pilota. Possono restare in aria 1 o 2 giorni;
- **VTUAV / VTOL UAV**: veicoli aerei senza equipaggio con decollo e atterraggio verticale;
- **Close-Range UAV / WAV o MIDI-UAV**: telefoni utilizzati da gruppi dell'esercito durante la battaglia, per operazioni militari / navali e per vari scopi civili. Operano fino a 100 km e svolgono vari ruoli: ricognizione, monitoraggio NBC, designazione del bersaglio, sicurezza del campo d'aviazione, sorveglianza, ispezione delle linee, ecc ...;
- **Medium UAV**: le loro dimensioni aumentano notevolmente rispetto ai modelli precedente, così come la loro distanza operativa e l'altezza di volo. Gli Close Range (UAV-CR) possono operare fino a distanze comprese tra i 100 e i 200 km (short e medium range) e a quote comprese tra i 3.000 e i 5.000 metri. In ambito militare sono utilizzati per scopi di ricognizione o designazione dei bersagli, mentre in ambito civile vengono utilizzati per monitoraggio vario e ispezioni. Questa categoria comprende i droni:
 - *MALE*: raggiungono quote comprese tra i 5.000 e 15.000 metri e 24 ore di autonomia. I ruoli sono simili ai droni HALE, ma a intervalli piuttosto brevi;
 - *HALE*: possono raggiungere i 20.000 metri e 24+ ore di autonomia. Ricognizione e sorveglianza di lungo raggio (trans-globale). Gestiti da forze aeree da basi fisse.

Un esempio è il modello *Alenia Sky-X* alimentato da un singolo motore a reazione, in grado di velocità fino a 440 nodi. Può salire al di sopra di 30.000 piedi ed eseguire manovre alta-g (high g maneuver). Grandezza media.



(a) Visione dall'alto



(b) Visione frontale

Figura 4.15: Alenia Sky-X

- **Large UAV**: grande resistenza e grande carico.

In base alla gamma / altitudine [16], [18], [21], [32], [60]:

- **Portable:** 2.000 piedi (600 m) di altitudine, campo di circa 2 km;
- **Close:** 5.000 piedi (1.500 m) di altitudine, fino a 10 km di autonomia;
- **NATO Type:** 10.000 piedi (3.000 m) di altitudine, fino a 50 km di autonomia;
- **Tactical.** 18.000 ft (5.500 m) di altitudine, a circa 160 km di autonomia;
- **MALE:** (altitudine media, lunga durata) fino a 30.000 piedi (9.000 m) e la gamma di oltre 200 km;
- **HALE:** (alta quota, lunga durata) oltre 30.000 ft (9.100 m) e la gamma indefinita;
- **Hypersonic:** supersonica (Mach 1 -5) o ipersonico (Mach 5 +) 50.000 piedi (15.200 metri) o quota suborbitale, gamma oltre 200 km;
- **Orbital Low Earth:** (Mach 25 +);
- **CIS Transfer Lunar Terra - Luna;**
- **Computer Assisted Carrier Guide System (CACGS)** per UAV.

Capitolo 5

Architettura UAV

Sia gli UAV che i velivoli con equipaggio hanno componenti fisici abbastanza simili tra loro; le uniche differenze riguardano i sistemi di supporto della cabina di guida e il sistema di controllo ambientale e di vita. Alcuni UAV trasportano fotocamere che pesano molto meno di un normale essere umano adulto. Nonostante i loro carichi pesanti, i droni militari armati sono più leggeri rispetto alla controparte provvista di equipaggio e stesso armamento. I piccoli UAV civili non hanno sistemi critici per la sopravvivenza e vengono, quindi, costruiti con materiali più leggeri ma meno robusti, e possono utilizzare sistemi elettronici meno robusti e sofisticati. Le dimensioni ridotte, inoltre, implicano una tecnologia meno sofisticata e motori molto meno potenti, che non sono ammissibili nei normali velivoli provvisti di equipaggio. Sia gli UAV, che la controparte con equipaggio, possono disporre di un software avanzato per il pilota automatico, anche se le caratteristiche di tale funzionamento possono variare. Sviluppare un buon modello di architettura serve a valutare l'intera funzionalità, riducendo ambiguità e aumentando la tangibilità del sistema [24], [60].

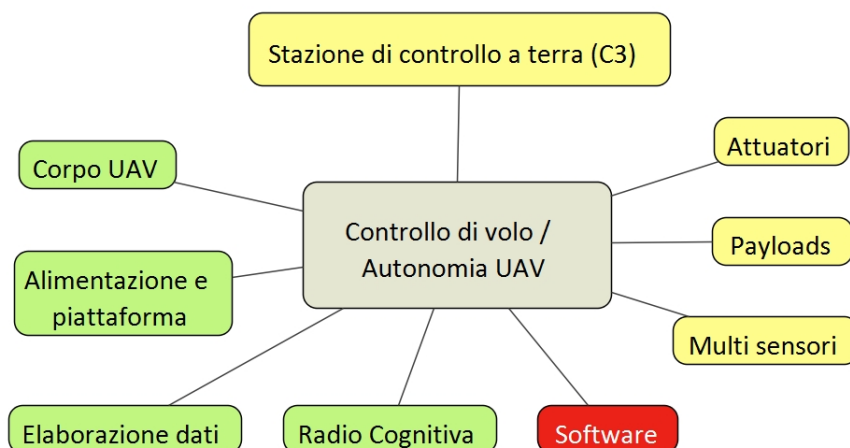


Figura 5.1: Componenti dell'architettura di un UAV

5.1 Controllo di volo

È un sistema a basso livello, e non differisce molto da quello utilizzato dagli aerei con equipaggio. Nelle telecomunicazioni per data link si intende la connessione tra una stazione e un'altra al fine di trasmettere e ricevere segnali digitali. Può anche riferirsi ad un set di componenti elettronici atti a garantire una trasmissione tra le stazioni. La comunicazione è governata da un protocollo che stabilisce le regole di trasmissione. Sui veicoli senza equipaggio (come ad esempio veicoli spaziali o UAV) sono implementati sistemi full o half duplex per spedire i segnali di controllo e ricevere i segnali telemetrici. Può essere utilizzato un computer di bordo (generalmente con navigazione GPS) collegato al sistema di controllo dell'aeromobile. Il controllo del volo e del sistema operativo comprendono la stazione (una o più) di controllo, i collegamenti di comunicazione, terminali di dati, sistemi di lancio e recupero, attrezzature di supporto a terra e di interfaccia di controllo del traffico aereo. Gli UAV possono essere programmati per eseguire manovre aggressive, atterrare, o restare appollaiati su superfici inclinate ad osservare. Un esempio sono i modelli VTOL.

5.2 Autonomia

In un sistema aereo senza il pilota, l'operatore non è presente nella cabina di pilotaggio. Il controllo del velivolo avviene con altri mezzi [29]. Le forme di controllo che l'operatore può esercitare sul velivolo sono di tre tipi:

- **Pilotaggio remoto o controllo da terra:** richiede input costante da parte dell'operatore. Gli RPV sono velivoli radiocomandati sofisticati che utilizzano le stesse tecniche usate dagli hobbisti. Sono pochissimi gli UA moderni che vengono guidati da remoto;
- **Semi autonomo:** un sistema di tale tipo chiede l'intervento umano durante le parti critiche del volo, come il decollo, l'atterraggio, l'utilizzo delle armi e alcune manovre evasive. L'operatore assume il pieno controllo del velivolo in fase di pre-volo, decollo, atterraggio e quando si opera vicino alla base. L'operatore è responsabile dell'UA per tutta la durata della missione e può assumerne il controllo completo in qualsiasi momento;
- **Autonomo:** in teoria, un volo autonomo non richiede nessun input umano per raggiungere un obiettivo, dopo la fase di decollo. Un UA autonomo è in grado di monitorare e valutare la sua salute, lo stato e la configurazione, le attività di comando e controllo del veicolo, entro i suoi limiti programmati. Il pilota automatico sofisticato vola su traiettorie programmate senza interferenze per tutta la durata della missione.

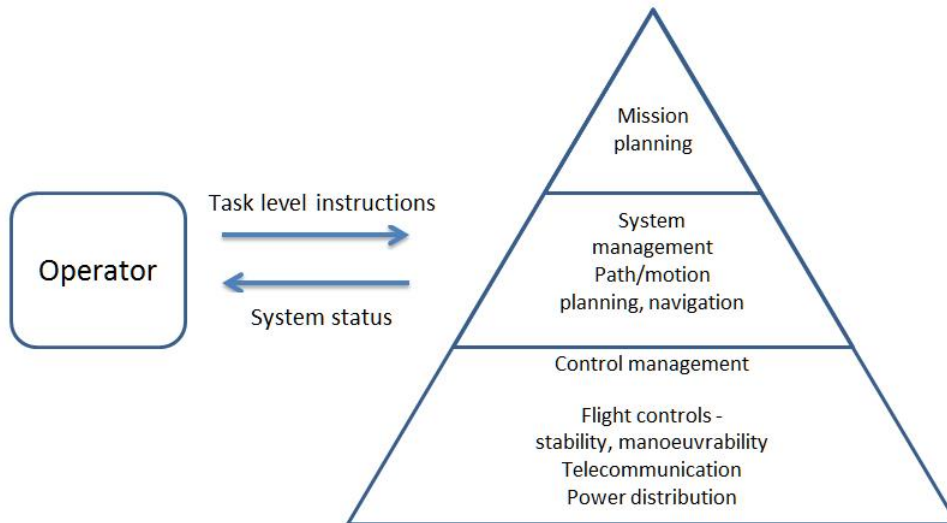


Figura 5.2: Autonomous control basics

Per ottenere il controllo autonomo del velivolo è necessaria una strutturazione di più livelli multipli di controllo a loop, come i sistemi di controllo gerarchico. Un sistema di pilota automatico base include i sensori di assetto e un processore di bordo. A causa dell'elevata non linearità della dinamica dell'aereo, sono necessarie molte tecniche avanzate, tra cui il controllo PID, reti neurali, fuzzy logic, controllo in modo scorrevole e il controllo H_∞ per garantire una traiettoria di navigazione desiderata. I loop di basso livello (che controllano il volo) possono verificarsi 100 volte al secondo e i cicli di livello superiore possono essere richiesti con lunghezze intorno ad un secondo. Il principio di base consiste nello scomporre il comportamento del velivolo in blocchi (o strati) facilmente gestibili, con collegamenti tra loro. La gerarchia di tali sistemi è formata da semplici script (per macchine a stati finiti) ad alberi di comportamento e piani di lavoro gerarchici. Alcuni esempi di algoritmi dello strato intermedio:

- **Pianificazione del percorso:** determina un percorso ottimale che il veicolo deve seguire, rispettando determinati obiettivi e vincoli della missione (come ostacoli o fabbisogno di carburante);
- **Generazione di traiettorie (pianificazione del moto):** determina le manovre di controllo da prendere per seguire un determinato percorso (o andare da un luogo ad un altro utilizzando tecniche e processi ottimizzati);
- **Regolazione della traiettoria:** specifiche strategie di controllo necessarie per vincolare un veicolo entro una certa tolleranza per una traiettoria.

Gli UAV di nuova generazione utilizzano attività gerarchizzate come ricerche Tree State o [algoritmi genetici](#).

Livelli di autonomia

In un'architettura UAV bisogna valutare il **LOA (Levels Of Automation)** appropriato. I livelli di autonomia descrivono fino a che punto il robot può agire di propria iniziativa. Anche se molte descrizioni di LOA sono state osservate in letteratura, la descrizione migliore è quella di *Tom Sheridan* [44]. Infatti, nei sistemi UAV attuali si utilizza la *Sheridan Autonomy Scale*:

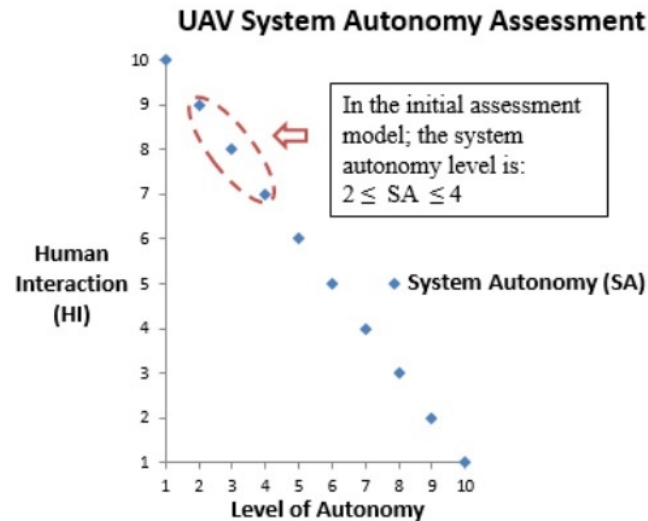


Figura 5.3: UAV System Autonomy Assessment with Sheridan Autonomy Scale

Nota: nei sistemi UAV sono richiesti alti livelli LOA.

1. Il computer non offre alcuna assistenza; l'essere umano fa tutto;
2. Il computer offre un set completo di alternative d'azione;
3. Il computer restringe la selezione verso il basso per alcune scelte;
4. Il computer suggerisce una singola azione;
5. Il computer esegue un'azione umana, se egli approva;
6. Il computer consente un tempo limitato all'essere umano di porre il veto prima dell'esecuzione automatica;
7. Il computer esegue automaticamente; quindi necessariamente informa l'essere umano;
8. Il computer informa l'uomo dopo l'esecuzione automatica, solo se l'essere umano chiede;

9. Il computer informa l'uomo dopo l'esecuzione automatica, solo se decide di farlo;
10. Il computer decide tutto e agisce in modo autonomo, ignorando l'essere umano.

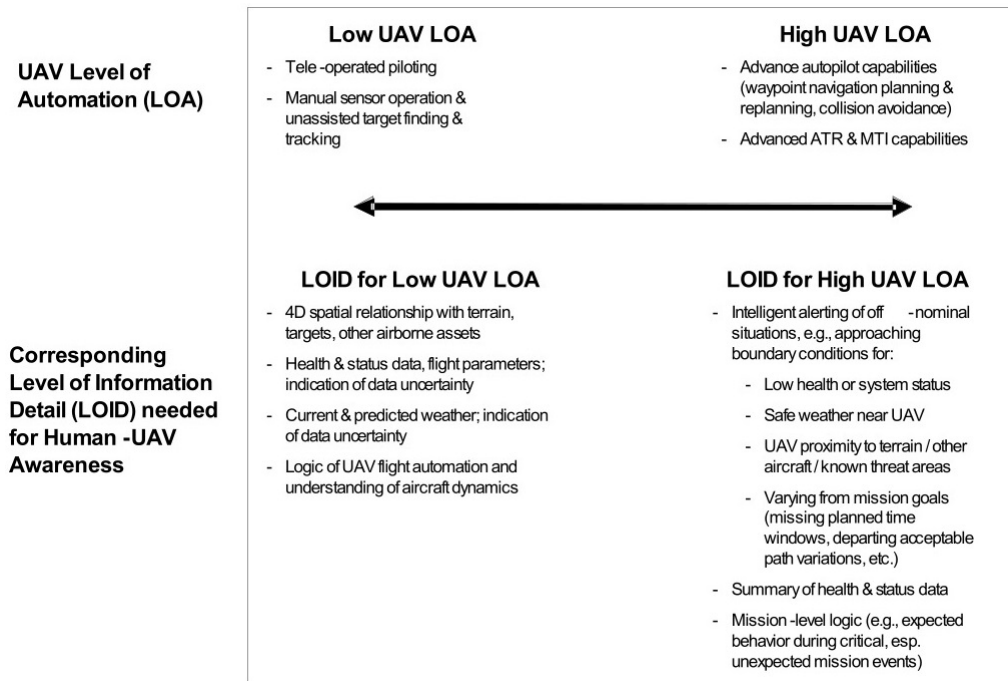


Figura 5.4: Dettaglio delle informazioni necessarie tra i vari livelli UAV

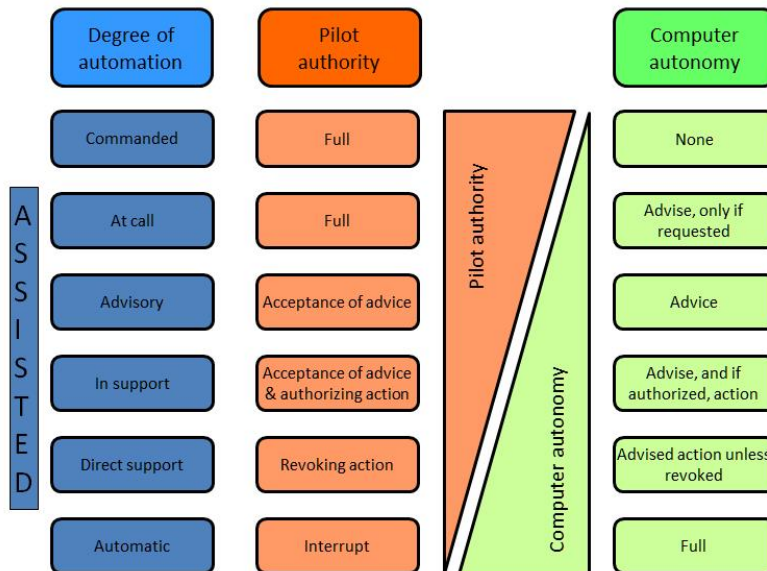


Figura 5.5: Gradi di autonomia UAV

Variazioni di questa scala sono state sviluppate e utilizzate da vari autori. *Miller* e *Parasuraman* hanno notato che tali scale non possono essere applicabili a un intero dominio problema, ma sono piuttosto più utile se applicato a ogni sotto compito all'interno di un dominio del problema. Gli autori suggeriscono che le scale precedenti, in realtà, rappresentano una media su tutte le attività. La scala seguente fornisce un mix tra interazione e iniziativa, definita come "strategia flessibile di interazione in cui ciascun agente (umana e robot) contribuisce a ciò che è più adatto al momento più opportuno". Vari e diversi problemi di **HRI (Human-Robot Interaction)** sorgono lungo questa scala:

- Sul lato controllo diretto, i problemi tendono ad utilizzare un'interfaccia utente per ridurre il carico cognitivo dell'operatore;
- Dal lato dell'autonomia dinamica, sorge il problema del creare robot con le adeguate abilità cognitive in grado di interagire naturalmente o in modo efficiente con un essere umano.

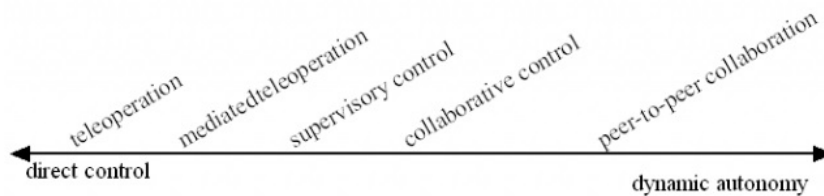


Figura 5.6: Controllo diretto e Autonomia Dinamica

subsubsection*Modalità autonome Negli UAV sono spesso inclusi di modalità autonome di vario tipo:

- *Auto-level*: il velivolo stabilizza la sua altitudine utilizzando sensori di bordo;
- *Hover*: la stabilizzazione dell'altitudine è rafforzata dal modo di stabilizzazione le rotazioni attorno agli assi del corpo di un velivolo: rollio, beccheggio e imbardata. Quest'ultima può essere realizzata rilevando le coordinate GNSS;
- *Carefree*: il radiocomando aereo libererà l'operatore dal gestire l'impatto del velivolo sui controlli di rollio e imbardata;
- *Autonomia di decollo e atterraggio*;
- *Failsafe*: l'UAV atterrerà automaticamente non appena riceve il segnale di controllo;
- *L'UAV può tornare a casa*;
- *L'UAV può seguire*;

- *Navigazione GPS puntata* (waypoint);
- *Comandi pre-programmate* (loop, ecc...).

Autonomia reattiva

L'autonomia reattiva (un esempio è il volo collettivo) in tempo reale permette di prevenire le collisioni. Tale tecnica sfrutta le telecomunicazioni e la consapevolezza della situazione fornita dai sensori di flusso ottico, dal LIDAR (radar di luce), dal radar classico e dal sonar. La maggior parte dei sensori utilizzati analizzano le radiazioni elettromagnetiche riflesse sull'ambiente che ritornano al sensore. Le telecamere per il flusso visivo fungono come riceventi di tali radiazioni; il LIDAR, il radar e il sonar, invece, possono sia emettere che ricevere onde. Le telecamere montate sugli UAV non richiedono emettitori con alimentazione, consumando meno energia. I radar e i sonar sono montati su UAV di grandi dimensioni, per lo più su velivoli militari, per poter rilevare la potenza audio dei motori di altri UAV. Altre forme di rilevamento di velivoli nemici sono il calore o il campo magnetico.

Autonomia cognitiva

Viene indicata anche con altri nomi:

- *Robotica cognitiva*: si occupa di dotare un robot di un comportamento intelligente, fornendo anche un'architettura di elaborazione che gli permetterà di apprendere e ragionare su come comportarsi in risposta a obiettivi complessi in un mondo complesso;
- *Ubiquitous Computing (computazione ubiqua o ubicomp)*: è un modello post-desktop di interazione uomo-macchina o IUM (corrispondente all'inglese human-computer interaction o HCI), in cui l'elaborazione delle informazioni è stata interamente integrata all'interno di oggetti e attività di tutti i giorni.

Loop Principali

Le differenze sostanziali tra un UAV e un aeromodello RC sono le capacità di rilevamento, la potenza di calcolo e l'automazione. L'UAV può essere pilotato autonomamente, rispettando la teoria del controllo, con le sue relative nozioni. Un UAV può utilizzare diversi modelli di controllo automatici, progettati con passanti:

- **Loop aperti**: il design più semplice consiste nell'usare cicli aperti, generalmente per motori di piccoli UAV, che sono azionati con ingresso puro;
- **Loop chiusi**: anelli di retroazione negativi che utilizzano sensori per misurare lo stato del sistema dinamico. Sono i più utilizzati per il controllo del volo

dell'UAV. SI può utilizzare il controllo PID. A volte si utilizza il feedforward quando è necessario chiudere ulteriormente il ciclo. I Loop chiusi sono utilizzati sugli UAV di grandi dimensioni.

Processo decisionale e Apprendimento

Mediante la logica fuzzy sono studiati gli come gli UAV possono prendere decisioni di alto livello in modo autonomo. Un esempio è il *BELBIC* (Brain Emotional Learning Based Intelligent Controller). Si cerca di utilizzare, e applicare, le reti neurali (*neural network*)¹⁸ negli UAV in ambito distribuito per sviluppare capacità di apprendimento automatico.

5.3 Attuatori

Un attuatore è un componente delle macchine responsabile dello spostamento o del controllo di un meccanismo o sistema. Gli attuatori degli UAV dipendono dal tipo di velivolo che si considera:

- regolatori di velocità di tipo elettronico digitali (controllano il numero di giri dei motori) collegati ai motori classici o ai motori ed eliche;
- servomotori (si trovano su aerei ed elicotteri);
- armi, attuatori di carico utile, LED, altoparlanti, ecc ...

5.4 Payload

I Payload possono essere apparecchiature di alta e bassa risoluzione, come telecamere e / o videocamere, ricognizione diurna e notturna, radar ad alta potenza, girostabilizzatori, strumenti elettro-ottico, segnali, meteorologico, chem-bio, comunicazioni relè e segnali di navigazione, armi per macchine di guerra (ESM, ECM, ECCM), carichi (pieghevoli, supporto). In generale si tratta di qualsiasi materiale necessario per la missione per cui l'UAV è stato progettato. Il desiderio di resistenza in molti UA richiede una quantità minore di carburante, con il relativo carico ridotto, tipicamente dal 10 al 20% del peso lordo del velivolo. Alcuni carichi utili possono anche richiedere l'accesso ai dati del sistema UAV, come la posizione, velocità o altitudine.

¹⁸ Nelle neuroscienze, il termine rete neurale (o rete neuronale) viene utilizzato come riferimento a una rete o a un circuito di neuroni. Sono spesso identificati come gruppi di neuroni che svolgono una determinata funzione fisiologica nelle analisi di laboratorio.

5.5 Stazione di controllo a terra (GCS o C3)

È un centro di controllo terrestre (o marino) che fornisce i servizi per il controllo umano di UAV in aria o nello spazio. Una GCS può essere utilizzato per controllare veicoli aerei senza pilota o razzi all'interno o al di sopra dell'atmosfera. Le moderne tecnologie di comunicazione permettono di caricare i comandi di volo e le missioni (uplink) al velivolo molto velocemente e su lunghe distanze [61].

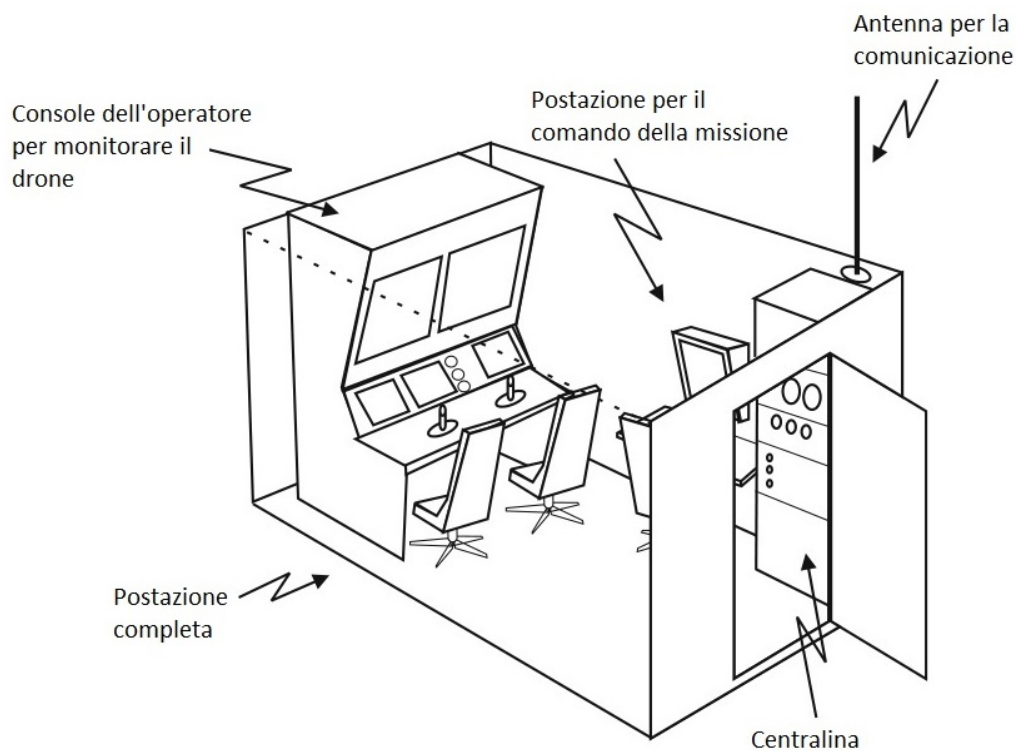


Figura 5.7: Struttura della stazione di controllo a terra

Nelle infrastrutture C3 (Comando, controllo e comunicazioni) un problema importante riguarda l'interfaccia uomo - macchina, la gestione di più velivoli mediante C3, l'identificazione del target, il ridimensionamento delle apparecchiature a terra, il controllo vocale, ecc

Attualmente si sta cercando di capire come un singolo operatore possa gestire più aeromobili contemporaneamente, al fine di garantire lo svolgimento sicuro ed efficiente di tutte le operazioni di volo.

5.5.1 C3 system model

Un UAS può operare nelle frequenze della linea visibile o al di là della linea di orizzonte. Le tecnologie e le procedure operative relative al comando, controllo, comunicazione di UAS sono divise in una di queste due categorie.

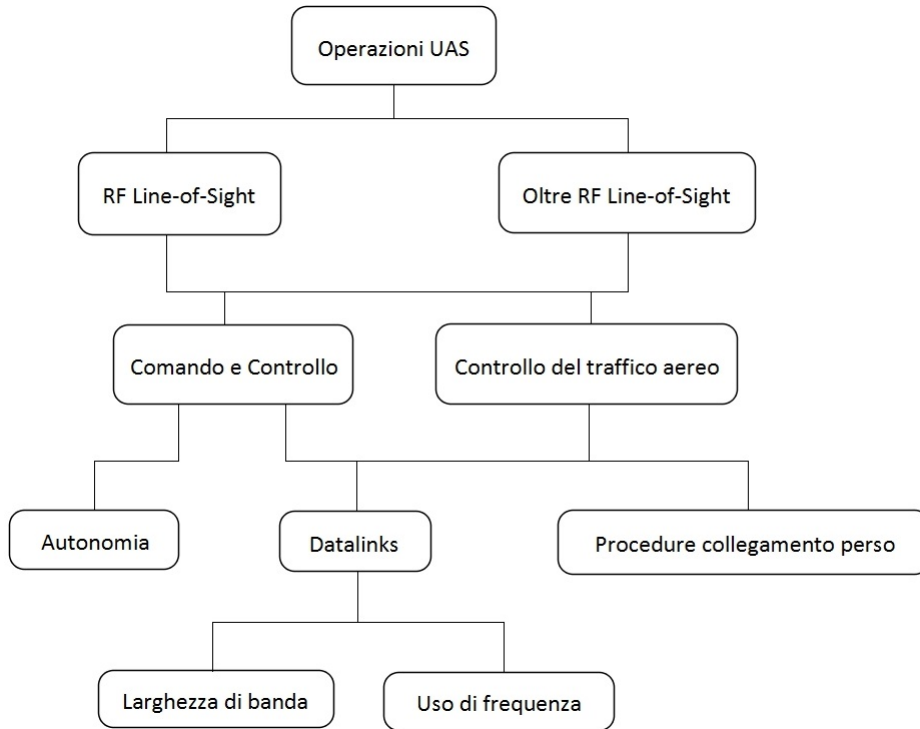


Figura 5.8: C3 system model

Sotto ogni categoria di RF LOS e BLOS, i problemi tecnici dell'UAS possono essere divisi in due categorie:

- Comando e controllo (C2);
- Controllo del traffico aereo (ATC).

Sotto il C2 e ATC i vari collegamenti dati vengono esaminati, includendo le rispettive frequenze e data rates. Le procedure di perdita del collegamento correnti sono enumerati.

Operazioni BLOS (sottoinsieme di operazioni LOS)

I BLOS dell'UAS contengono alcune tecnologie LOS. La figura 5.9 mostra la sovrapposizione tra queste condizioni operative e la classe degli UAS in grado di operare all'interno di queste aree:

- Tecnologie e Operazioni RF Line-of-Sight C3: le operazioni della linea di orizzonte possono essere divise tra tre classi di UAV, che comprendono bassa resistenza, media resistenza e alta resistenza. La prima classe opera quasi interamente in tale linea;
- Tecnologie e Operazioni oltre RF Line-of-Sight C3: riguardano soprattutto gli uAV con alta resistenza; le comunicazioni sono satellitari (SATCOM).

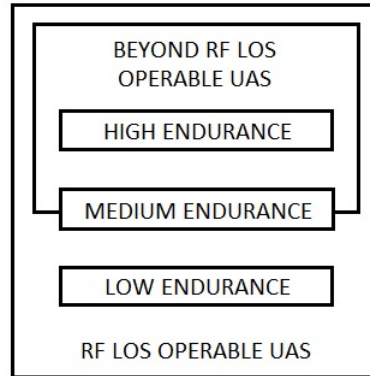


Figura 5.9: BLOS all'interno di LOS

Radio Frequenze

Le comunicazioni sono effettuate mediante utilizzo di applicazioni RF, solitamente i collegamenti satellitari negli UAS sono usate sia in LOS (nelle applicazioni militari) che in BLOS. Le bande di frequenza più usate sono:

- **Banda Ku:** storicamente usati per collegamenti ad alta velocità. Grazie alle lunghezze d'onda corte e all'alta frequenza, questa banda soffre di più perdite di propagazione;
- **Banda K:** possiede una grande gamma di frequenza che trasmette grandi quantità di dati. Lo svantaggio riguarda la richiesta di trasmettitori potenti ed è una banda sensibile ai disturbi ambientali;
- **Fasce S, L:** non permettono collegamenti di dati con velocità di trasmissione superiori a 500 kbps. La grande lunghezza d'onda dei segnali può penetrare nelle infrastrutture terrestri e i trasmettitori richiedono meno potenza della banda K;
- **Banca C:** richiedere una trasmissione relativamente larga e una grande antenna;
- **Banda X:** riservata per usi militari.

Designazione IEEE

La suddivisione dello spettro radio effettuata dall'IEEE è principalmente incentrata sulle bande radar (quindi sulle microonde). Questa designazione non contempla però le frequenze al di sotto dei 3 MHz.

Banda	Frequenza
HF	3-30 MHz
VHF	30-300 MHz
UHF	00-1000 MHz
L	1-2 GHz (General) 950-1450 MHz
S	2-4 GHz
C	4-8 GHz
X	8-12 GHz
Ku	12-18 GHz
K	18-26.5 GHz
Ka	26.5-40 GHz

5.5.2 Comunicazione centrata sulla rete

Sono varie le aree di sviluppo delle tecnologie di rete per permettere agli UAV di avere i servizi necessari allo scambio di dati. È necessario fornire stabilità, affidabilità, connettività e interoperabilità. Le seguenti tecnologie sono importanti per tale sviluppo:

- Alta capacità direzionale Data Links;
- Router ad alta capacità con grande capacità di elaborazione (Ruggedized IP abilitano i Router a banda larga);
- Architettura Router modulare e programmabile;
- Interfacce e protocolli standardizzati;
- Maglia di rete mobile Ad-hoc quasi stabile;
- Relazioni interdipendenti tra consecutivi;
- Switching/Routing;
- Gestione della topologia;
- QoS – packet level;

- Gestione della gerarchica;
- Collegamenti a interfacce multiple e tipi per piattaforme;
- Funzionalità Gateway su piattaforme;
- INFOSEC / sicurezza di rete Embedded;
- Aumento delle prestazioni dei Proxies.

Le stesse funzioni di rete che consentono alle piattaforme UAS di fornire servizi centrati sulla rete ed usufruire dei vantaggi della rete per aumentare le loro capacità.

MANET

Rete wireless flessibile applicabile ad un insieme eterogeneo di UAS, senza richiedere alcuna infrastruttura per operare. Le reti MANET sono auto-organizzate dove i diversi collegamenti wireless (nodi) collaborano per fornire la connettività di rete. Nelle MANET, ciascun nodo agisce come un ripetitore di comunicazione (o relè), trasmettendo le informazioni al nodo destinatario. Tutti i nodi del sistema collaborano con lo scopo di instradare i pacchetti nel modo corretto secondo la modalità di forwarding di tipo multihop. L'attenzione si concentra su UAV di grandi dimensioni (Global Hawk e Predator) ma recentemente ci si concentra sui mini-UAV (MUAVs) che offrono vantaggi in termini di flessibilità e costi [17].

5.5.3 Monitoraggio dei guasti

Per assicurare l'integrità dei sistemi dell'UAV, il monitoraggio degli errori deve essere continuamente condotto sui sistemi critici di volo e di missione. Tale monitoraggio dei guasti assicura che gli errori non rilevati del sistema non portino a errori irreversibili dei sistemi del velivolo, causando perdite umane sul campo.

5.5.4 Pianificazione intelligente del volo

Il sistema UAV deve avere la capacità di progettare e riprogettare la propria traiettoria di volo. Ciò si traduce nella necessità di un ambiente di calcolo ad alto livello in cui possono essere eseguiti gli algoritmi di pianificazione del volo. L'operazione di pianificazione del volo richiede la conoscenza dell'ambiente dell'UAV, compreso lo spazio aereo, il territorio, il traffico, il tempo, le zone ristrette ed eventuali ostacoli. L'UAV deve pianificare il percorso ottimale per la sua missione, considerando l'ambiente locale, il tempo di volo e il consumo di carburante. In caso di errori di sistema, l'UAV deve avere la capacità di riconfigurarsi e ri-programmare il suo percorso di volo in modo fail-safe. I requisiti di pianificazione di volo sono requisiti importanti per la memoria e le prestazioni di funzionamento.

5.6 Sensori

I sensori sono utilizzati per fornire le funzionalità di base come mantenere il volo, senza intervento umano, utilizzo del radar, fotocamere e videocamere, scanner IR o sistemi ELINT. I sensori possono includere un laser, per designare l'obiettivo, da usare come per i missili guidati. La presenza di multi sensori permette all'UAV di svolgere raccolta di informazioni, sorveglianza e ricognizione (ISR), acquisire supporto delle operazioni, ma anche per consegnare armi e migliorare l'accuratezza della mira. Il sensore **ARGUS**, in fase di sviluppo da parte del Dipartimento della Difesa, può prendere in 30 miglia quadrate di video in diretta ad incredibilmente alta risoluzione. Il sensore utilizza una fotocamera da 1,8 gigapixel, più due sottosistemi di elaborazione, uno in aria e l'altro situato sul terreno [35].

Sensori di navigazione e microprocessori

Sono processori che permettono all'UAV di volare per intere missioni autonomamente con poco (o nessun) intervento umano. Permettono che la missione sia portata a termine.

Sistemi di comunicazione

Le problematiche principali delle tecnologie di comunicazione sono: flessibilità, adattabilità, sicurezza controllo cognitivo della larghezza di banda, frequenza di informazioni e flusso di dati. Un collegamento dati UAS consiste, tipicamente, di un trasmettitori RF e un ricevitore, un'antenna e un modem per connettere queste parti con i sensori. Per gli UAS i collegamenti svolgono tre funzioni importanti:

- *Downlink*: UAV - sistema telemetrico della stazione di terra (per inviare i dati dai sensori di bordo);
- *Uplink*: stazione di terra e / o da un satellite - UAV (per inviare dati di controllo);
- Un sistema per permettere la misura dell'azimut e dello spazio dalla stazione di terra e del satellite all'UAV, mantenendo una buona comunicazione tra loro.

Gli sforzi mirati alla standardizzazione dei collegamenti dati hanno portato l'utilizzo dei *common data link (CDL)*, tipicamente un collegamento dati a banda larga full duplex, utilizzati solitamente sui UAV sicuri e *jam resistant*. Tali collegamenti collegano la stazione di terra con l'UAV attraverso collegamenti point-to-point diretti o utilizzano le comunicazioni satellitari (SATCOM).

Aircraft onboard intelligence (guida, navigazione e controllo)

Tale *intelligenza* può essere inclusa direttamente dell'UA ed è direttamente correlata alla difficoltà della gestione di un compito, e inversamente proporzionale alla quantità di controllo richiesto dall'operatore umano. Molti sforzi si concentrano sul miglioramento di tale intelligenza per migliorarne l'utilità e l'affidabilità globale.

Tipologie di sensori a bordo

- **Propriocettivi** ¹⁹: IMU (giroscopio, accelerometro), bussola, altimetro, modulo GPS, la misurazione del carico utile;
- **Interocettivi** ²⁰: macchina fotografica (CMOS, infrarossi), sensori di gamma (radar, sonar, lidar);
- **Esterocettivi** ²¹: termometro interno / esterno, fotocamera gimballata.

I **gradi di libertà (DOF)** si riferiscono sia alla quantità e la qualità dei sensori di bordo: 6 DOF acronimo di giroscopi a 3 assi e accelerometri (una tipica unità di misurazione inerziale - IMU), 9 DOF si riferisce ad una IMU più una bussola, 10 DOF aggiunge un barometro e 11 DOF solito combinare un ricevitore GPS.

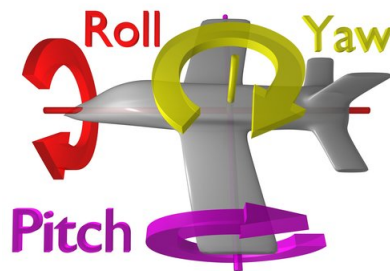


Figura 5.10: Gradi di libertà per un aereo

5.7 Corpo

Negli aerei troviamo fusoliera e ali, negli elicotteri un rotore di coda e multirotores abbiamo un telaio, le braccia e un baldacchino. Con l'avvento della stampa 3D è possibile creare modelli riducendo notevolmente il peso del velivolo.

¹⁹ La propriocezione (nota anche come cinestesia) è la capacità di percepire e riconoscere la posizione del proprio corpo nello spazio e lo stato di contrazione dei propri muscoli, anche senza il supporto della vista. La propriocezione assume un'importanza fondamentale nel complesso meccanismo di controllo del movimento.

²⁰ La percezione delle informazioni interne del corpo e soprattutto nelle viscere.

²¹ Misurano variabili esterne come la distanza dagli ostacoli o la posizione degli oggetti sui quali svolgere un compito.

5.8 Alimentazione e piattaforma

I piccoli UAV utilizzano batterie ai Polimeri di Litio (Li-Po), perché più leggere, mentre i veicoli più grandi utilizzano o il carburante o l'energia solare. Un circuito a eliminazione di batteria (BEC) ²² è utilizzato per centralizzare la distribuzione elettrica e spesso comprende una unità micro controllore (MCU) ²³. Più costoso è il sistema BEC, meno la piattaforma di riscalda.

5.9 Elaborazione dati

All'inizio i grandi UAV potevano avere elevate capacità di calcolo grazie alla loro stazza. Col passare del tempo gli ingegneri si sono impegnati a miniaturizzare le componenti fisiche, ottenendo chip di dimensioni ridotte, abbinati a elevate capacità di calcolo. Anche gli UAV civili si stanno orientando verso un design ridotto e funzionale. Le famiglie di processori più comuni sono AVR, PIC, ARM, con una maggiore quantità di ARM a 32 bit. Gli UAV di piccole dimensioni incorporano sempre più svariati micro controllori, system on a chip e single-board computer (allo stato attuale). L'hardware degli UAV tenderà a svolgere sempre più operazioni al secondo, ad avere un hardware accelerato preferendo la velocità di calcolo alla bassa potenza di elaborazione (applicazioni critiche). Oppure si avrà un'altra capacità computazionale, in grado di supportare sistemi operativi completi, con un peso maggiore. L'hardware ridotto del sistema di controllo degli UAV viene spesso chiamato, dagli hobbisti, il regolatore di volo (FC), Flight Controller Board (FCB) o pilota automatico.

5.10 Radio Cognitiva

Una radio cognitiva (CR) è una radio intelligente che può essere programmata e configurata in modo dinamico. Il suo ricetrasmittitore è progettato per utilizzare i migliori canali wireless nelle sue vicinanze. Tale radio rileva automaticamente i canali disponibili a spettro wireless, cambiando i parametri di trasmissione (o ricezione) per consentire più comunicazioni wireless simultanee in una determinata banda dello spettro in una sola posizione. Questo processo è una forma di gestione dello spettro dinamico. Tale radio può essere utilizzata su UAV.

²² Un circuito eliminatore batteria (BEC) è un circuito elettronico progettato per fornire energia elettrica per altri circuiti senza bisogno di più batterie.

²³ In elettronica digitale il microcontrollore o microcontroller o MCU (MicroController Unit) è un dispositivo elettronico integrato su singolo chip, nato come evoluzione alternativa al Microprocessore ed utilizzato generalmente in sistemi embedded ovvero per applicazioni specifiche (special purpose) di controllo digitale.

5.11 Software

Quando si parla di UAS software, occorre distinguere i livelli di interazione del sistema, del tipo di impiego e del tipo di utenza. Spesso l'utente non fa distinzione tra i diversi livelli di soluzione software e la stessa diffusione degli UAV trascura questo aspetto. È possibile suddividere gli ambiti applicativi in cinque classi [57]:

- Gestione delle attività dell'UAV: software professionali per la gestione di sciame di droni e / o progetti / missioni in ambito corporate business;
- Gestione del volo vero e proprio: compatibile o realizzato ad HOC in relazione all'autopilota e al sistema UAV;
- Pianificazione del volo e delle riprese con i sensori a bordo o payload;
- Post-processing per fotogrammetria professionale (o elaborazione di altri dati);
- 3D modeling & vision digitalizing.

Gestione delle attività dell'UAV

Riguarda le attività di pianificazione, gestione dei piani di manutenzione, delle attività e di autorizzazione dei piloti, gestione delle note e relazioni post-volo, fino al billing (in caso di noleggio e post-processing attraverso portali web specializzati). Sulla rete non ci sono molte informazioni in merito, se non soluzioni di fascia alta come i sistemi Air Traffic Management di Lockheed Martin, oppure il sistema [FlightLog](#), orientato soprattutto ai piloti [?]. Si prevede in futuro la nascita e lo sviluppo di altri software di tale categoria, tra cui i sistemi AIS [33] per la navigazione marina.

Gestione del volo

I sistemi della gestione del volo devono tenere aggiornati i dati di navigazione e interagire con il sistema di volo vero e proprio (attuatori, motori, ecc ...) e con i sistemi ospiti / payload. Obiettivo principale è svolgere il ruolo di Ground Control Station, ovvero gestione della telemetria ²⁴, ma anche di sistemi FPV (o altre funzioni specifiche). I software della gestione del volo sono legati alla centralina (o autopilota). Alcuni software più diffusi:

- [eMotion](#): software di senseFly; permette di effettuare pianificazioni delle missioni (e relativo controllo), simulazione del volo e controllo di gestione, con funzioni proprie delle GCS.

²⁴ Il complesso dei sistemi di rilevazione ottica o acustica volti a misurare la distanza di un oggetto dal punto di osservazione.

- **DJI**: produce una gamma di prodotti, tra cui UAV, piattaforme volanti, i controllori di volo per il multi-rotori, accessori elicotteri, giunti cardanici aeree e portatili e stazioni di terra. Questi prodotti sono per uso industriale, professionale e amatoriale. Permette di gestire le funzioni avanzate delle No Fly Zone, fornendone la [lista mondiale](#) e implementando la [funzione di sicurezza](#) con un raggio di 8 km dai waypoints interdetti, oltre alla maggior parte di utility tipiche dei software di gestione degli UAV.
- **DroneKit**: software di gestione dei sistemi con autopilota della 3D Robotics. Al momento dell'installazione il software verifica le connessioni con il modello, permettendone i diversi settaggi.
- **Paparazzi UAV**: software tra i più aperti al mondo. Comprende il firmware, la GCS e vari tools per la progettazione di volo, configurazione del sistema e creare un sistema di gestione dei rover UAV, attraverso un TCP-IP Aircraft Server.
- *MikroKopter*: **KopterTool** è il software della piattaforma tedesca MikroKopter.
- *OpenPilot*: una delle poche soluzioni open. OpenPilot fu concepito sia come uno strumento didattico che per quelle aree indicate dagli sviluppatori per cui mancavano in altre piccole piattaforme UAV. OpenPilot può essere combinato con hardware quale scheda di sistema di navigazione inerziale, una schema madre di controllo, ricevitore GPS, e comunicazioni seriali a 2,4 GHz con stazione a terra. Il software è diviso in due parte: il firmware sulle componenti fisiche scritto in C e la stazione di controllo a terra (GVS) scritto in C++ utilizzando Qt [53].
- Altri: i sistemi SDK di Parrot, PrecisionHawk, Draganfly, Aeryon, ecc . . .

Pianificazione del volo e delle riprese

La maggior parte dei software in dotazione negli UAV gestiscono il volo utilizzando i waypoint ²⁵ e i comandi di attuazione di sistemi di volo (mediante i sensori a bordo). Viene utilizzato un tool fotogrammetrico per definire il piano di volo e i parametri delle riprese fotografiche, integrato successivamente nel piano di volo e passato al sistema di volo. [Maps Made Easy](#) è un'applicazione web che permette agli utenti di

²⁵ Un waypoint è un punto di riferimento nello spazio fisico utilizzato per qualsiasi tipologia di navigazione. La tipologia di coordinate utilizzate può variare a seconda dell'applicazione: per la navigazione terrestre queste coordinate geografiche sono espresse in longitudine e latitudine, mentre, in quella aerea, comprendono anche l'altitudine. Il concetto di waypoint si è allargato con l'uso dei GPS e di alcuni altri tipi di navigazione radio.

caricare foto aeree, unire le immagini e ospitare le mappe create. Esporta i dati in KLM e in AWM per i sistemi DJI.

Fotogrammetria professionale

- [Agisoft PhotoScan](#)
- [Agribotix](#)
- [Airware](#)
- [APS](#) di Menci Software
- [DroneDeploy](#)
- [EnsoMOSAIC](#)
- [Pix4D](#) di Pix4D Switzerland

3D modeling & vision digitalizing

Per lista comparativa dei software di fotogrammetria consultare il [wiki inglese](#) [36].

POSIX e QNX

È molto importante considerare il Sistema Operativo (OS) e l'Application Programming Interface (API), sia dal punto di vista della realizzazione, sia per la facilità di sviluppo dell'intero sistema. Dato che il controllo di volo è un aspetto critico del sistema, l'alta affidabilità e l'esecuzione in tempo reale sono requisiti obbligatori. Il POSIX (Portable Operating System Interface for Unix) indica la famiglia degli standard definiti dall'IEEE denominati formalmente IEEE 1003. Il nome standard internazionale è ISO/IEC 9945. Il POSIX è lo standard di interfaccia del sistema operativo, ampiamente supportato e permette un facile porting²⁶ di applicazioni tra le varie versioni di Unix, Linux e QNX²⁷. QNX è attualmente utilizzato ampiamente nel gruppo QUAV per desktop, integrando i requisiti di elaborazione fornendo un ottimo set di funzionalità e prestazioni. I vantaggi dell'utilizzo di QNX sono evidenti con il processo di porting delle applicazioni da Linux a QNX (a volte bastano, infatti, ricompilare il codice nel nuovo sistema operativo).

²⁶ La portabilità, (in lingua inglese porting), in informatica, indica un processo di trasposizione, a volte anche con modifiche, di un componente software, volto a consentirne l'uso in un ambiente di esecuzione diverso da quello originale.

²⁷ QNX (si pronuncia Q-N-X o Q-nix) è un sistema operativo real-time Unix-like POSIX-compliant commerciale, basato su microkernel e mirato principalmente al mercato dei sistemi embedded. Foundry27 è la nuova comunità promossa dalla QNX system per servire allo sviluppo del sistema Neutrino. Altri importanti sistemi embedded paragonabili sono LynxOS, VxWorks, Linux, THEOS, Threadx, Windows CE, RTEMS, OS-9, sistemi ITRON.

UAV militari e scientifici

Il software utilizzato negli UAV sono molto sofisticati e tale livello è aumentato col tempo. A volte sono presenti più livelli, chiamati stack di volo, o autopilota. I software per gli UAV sono realizzati ad hoc per tali velivoli perché quelli classici hanno tempi di risposta troppo lenta, risultando fatali per l'UAV. Sono inseriti middleware supportati esternamente: Raspberry Pi, Beagleboards, ecc schermato con Navio, PXMini, ecc o progettati da zero per i requisiti di hard real-time, come Nuttx, preemp-RT Linux, Xenomai, OROCOS-Robot Operating sistema, DDS-ROS 2.0 per esempio.

Lynx Software Technologies

Lynx Software Technologies è un fornitore leader di sistemi operativi real-time e ipervisor sicuri per le applicazioni di difesa, aerospaziali e per l'avionica. Le aziende e le istituzioni che utilizzano le tecnologie Lynx sono: la NASA, Boeing, Raytheon, General Dynamics e la US Armed Forces [55].

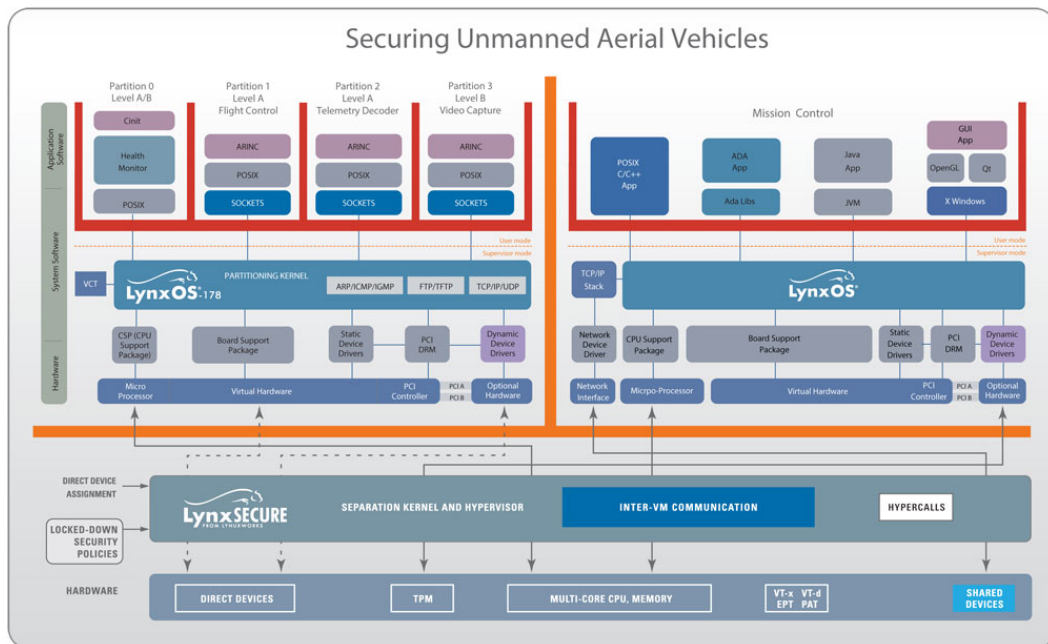


Figura 5.11: Struttura Lynx

- *LynxOS 7.0 Real-Time Operating System (RTOS)*: gli US (Unmanned Systems) richiedono software affidabili, sicuri e altamente compatti. I sistemi LynxOS che operano in forte tempo reale sono progettati specificatamente per queste risorse limitate e ambienti critici sicuri. LynxOS dispone di un potente

kernel di dimensioni ridotte, supporto per processori per multi-core e multi-thread, che comprendono le recenti architetture Intel e PowerPC. LynxOS 7.0 include funzionalità di sicurezza di grado militare integrato nel RTOS. Tali caratteristiche comprendono: liste di controllo degli accessi, funzionalità di audit, quote, percorso locale fidato, gestione degli account e OpenPAM, progettati per proteggere le piattaforme senza pilota da accessi non autorizzati e contraddittori. LynxOS fornisce un API nativa con piena conformità POSIX, consentendo una facile portabilità delle applicazioni Linux, UNIX e Solaris.

- *LynxOS-178 Real-Time Operating System (RTOS)*: è il primo e unico vero sistema operativo in tempo reale che fornisce piena conformità POSIX e supporto ARINC 653-1 Application esecutivo (APEX). È anche l'unico RTOS certificato per lo Standard DO-178B ²⁸ riguardo il riutilizzo dei componenti software. Progettato specificamente per applicazioni relative a missioni critiche, che richiedono multi-process e multi-threaded, LynxOS-178 è una delle poche soluzioni COTS a supportare sia Intel che PowerPC. ARINC 653-1 Virtual Machine fa sì che i processi utilizzino segmenti di memoria pre-assegnati separati e risorse hardware fisse, assicurando che gli eventi del sistema in una partizione non possano interferire con gli eventi in un'altra.
- *LynxSecure Separation Kernel Hypervisor*: fornisce un ambiente sicuro all'interno del quale più sistemi operativi differenti possono essere eseguiti su una piattaforma hardware fisica. Viene eliminata la necessità di gateway fisici per connettere tra loro i due domini, consentendo un notevole risparmio economico e di spazio su un'applicazione embedded. LynxSecure è altamente scalabile.

UAV civili

Di seguito alcuni UAV civili che utilizzano stack open source:

- [ArduCopter](#)
- [Crazyflie 2.0](#)
- [Dronocode](#)
- [KKMultiCopter](#)
- [MultiWii](#)
- [TauLabs](#)

²⁸ DO-178B, Software Considerations in Airborne Systems and Equipment Certification è una linea guida relativa alla sicurezza e alla sicurezza critica del software utilizzata in alcuni sistemi aerei. Nonostante sia considerata soltanto una linea guida, in pratica in pratica è uno standard di fatto per lo sviluppo dei sistemi software dell'avionica.

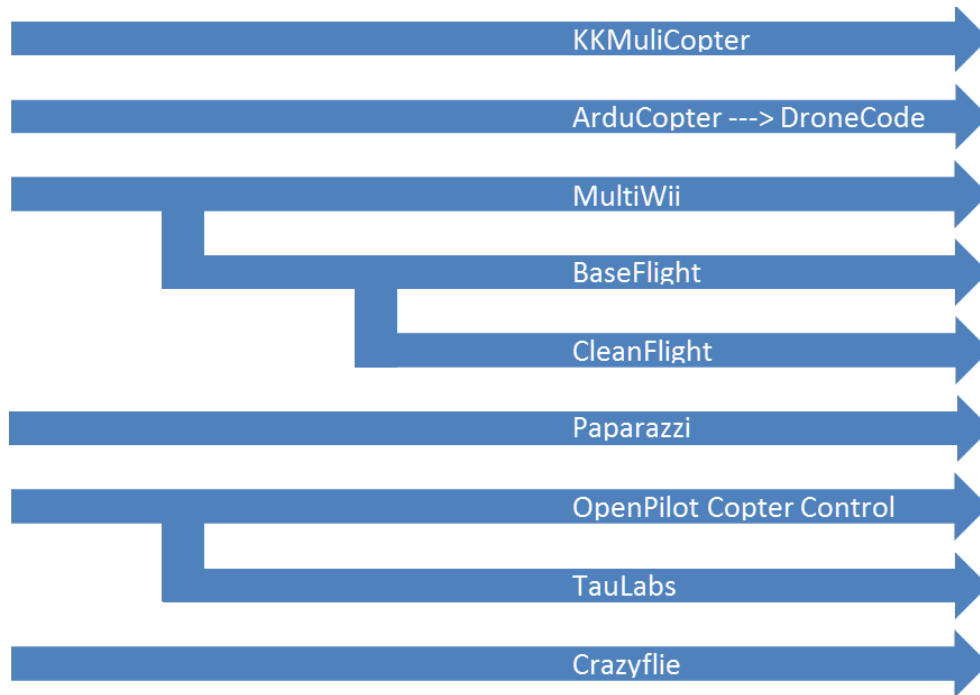


Figura 5.12: Timeline of software forks

Di seguito un progetto del gennaio 2016 riguardo Dronecode: [Dronecode Project Advances Unmanned Aerial Vehicles](https://www.linuxfoundation.org/news-media/announcements/2016/01/dronecode-project-advances-unmanned-aerial-vehicles-commercial) ²⁹.

²⁹ <https://www.linuxfoundation.org/news-media/announcements/2016/01/dronecode-project-advances-unmanned-aerial-vehicles-commercial>

Capitolo 6

Sicurezza vs Hacking

I miti che parlano di invulnerabilità, quasi sempre, narrano di una sconfitta [9]. L'eroe è invincibile, invulnerabile, tranne che in un punto: Achille, Siegfried, Aiace, Zoroastro (nella mitologia persiana) cheversa un'acqua incantata sulla testa di Isfendiar, Frigga (in una favola nordica) madre di Balder, Superman, l'uomo di acciaio. L'elenco, ovviamente, può continuare all'infinito, ma il punto è sempre lo stesso: ossia che l'invulnerabilità è un mito. Il punto debole esiste sempre: l'eroe sconfigge il drago, ma muore per un evento più semplice. Se ne deduce che l'invulnerabilità non è mai totale, anzi, ogni tentativo di generarla (o ottenerla) genera, per controparte, la corrispondente vulnerabilità. Tutto ciò mette in luce un principio di metodo: davanti ad un nemico, o un sistema, apparentemente invulnerabile (o che vuole apparire tale) bisogna trovare la falla, il suo tallone di Achille. Bisogna scoprire dove, e da cosa, questa persona è vulnerabile. L'analisi e la scoperta non sono né immediate né facili (e neanche scontate) e presuppone uno studio accurato del nemico, sotto molteplici aspetti. La resistenza di un UAV non dipende dai limiti fisiologici del pilota umano e la durata massima di volo del velivolo varia molto a seconda dei compiti svolti. Negli UAV di grandi dimensioni sono utilizzati i motori Wankel ³⁰ grazie alle sue dimensioni ridotte, un minore peso, basse vibrazioni e alto rapporto peso / potenza. Tale motore non è suscettibile a shock di raffreddamento durante la discesa e non richiede una miscela arricchita di raffreddamento (ad alta potenza). Ha un consumo minore di carburante, permettendo all'UAV una maggiore autonomia e un carico più elevato; utilizza come carburante un ibrido tra elettricità e combustibile, utilizzando l'idrogeno. L'AstroFlight, fin dalla sua nascita nel 1974,

³⁰ Il motore Wankel è un motore a combustione interna rotativo (perché il pistone non si muove di moto rettilineo alternato ma ruota intorno a un asse); viene alimentato da un impianto di alimentazione con travasi che sono posizionate o nella cassa statorica trocoidale (posizione periferica) o alternativamente, nelle piastre laterali della camera statorica (posizione laterale) e scarica i prodotti esausti (gas di scarico) tramite un impianto di scarico che analogamente presenta luci di scarico in posizione periferica o laterale.

ha sostenuti il concetto di UAV alimentato da energia ibrida solare - elettrica, raggiungendo esiti positivi di diverse settimane. Esistono dei satelliti ad energia solare (detti *atmosats*) che possono funzionare ad altitudini superiori a 20 km fino a 5 anni, consentendo un risparmio maggiore rispetto ai satelliti classici usati attualmente.

6.1 Latenza del segnale

Consideriamo il sistema generale UAS 1.1 e la sua architettura 5.1: tra l'immagine che gli operativi vedono sul loro schermo della stazione di controllo e ciò che succede sul terreno c'è una sfasatura (o asincronia), la cosiddetta latenza del segnale. Questo vuol dire che gli operatori prendono di mira un'immagine che si riferiva ad una situazione anteriore. Il New York Times racconta di bersagli che, capendo questo difetto, si sono messi a giocare. Mentre venivano inseguiti da un drone, si spostavano a zigzag e risultava difficile centrare il bersaglio. La latenza (o tempo di latenza) di un sistema può essere definita come l'intervallo di tempo che intercorre fra il momento in cui arriva l'input al sistema ed il momento in cui è disponibile il suo output. La latenza è una misura della velocità di risposta di un sistema [47].

Elaborazione dati

In un modulo di elaborazione è il tempo impiegato per la completa elaborazione di una operazione esterna. Nei moduli di elaborazione sequenziali (cioè con grado di parallelismo uguale a uno) la latenza è uguale al tempo di servizio, mentre in quelli paralleli è maggiore. La latenza di trasmissione di un collegamento Internet è il tempo impiegato da uno o più pacchetti ICMP a raggiungere un altro computer o server in rete (sia essa Internet o LAN). Nell'ambito delle reti i fattori che influenzano maggiormente la propagazione del segnale sono il mezzo che trasporta l'informazione e le apparecchiature (per esempio switch o router) che il segnale attraversa nel suo percorso. Con le connessioni xDSL tradizionali si ha una latenza che varia tra i 70 ed i 100 ms, mentre con le connessioni xDSL FAST la latenza può raggiungere anche i 15 ms, per collegamenti HiperLan varia da 15 ms anche fino a 200 ms. Un utile strumento per misurare il tempo di latenza è il programma *ping* [47].

Elaborazione audio digitale

È il tempo che passa tra la conversione analogico-digitale del segnale in ingresso ad un sistema (ad esempio nell'ingresso microfonico della scheda audio di un computer), l'elaborazione del segnale stesso e la sua successiva conversione digitale-analogico in fase di riproduzione [47].

6.2 Problematiche politico - strategiche

Bassi costi

Quando si parla di drone militare ci si riferisce alla riduzione dei costi:

- È un'arma low cost, almeno se paragonata agli aerei da combattimento classici;
- Riduce il costo di vite umane in caso di abbattimento del velivolo o di cattura. Infatti, in zone aeree non autorizzate, si evitano incidenti diplomatici.

Coinvolgimento dei civili

Usando molti droni come strumenti di guerra, si radicalizza il problema della falla strategica. I militari non sono più presenti direttamente sul campo di battaglia e la violenza avversaria tende a indirizzarsi sui bersagli più facili da raggiungere, ossia la popolazione civile. Mentre da un lato si cerca di tenere al sicuro alcune vite, dall'altra parte se ne mettono in pericolo di altre, trasferendo il fardello del rischio su persone che non hanno le risorse materiali per difendersi. Si genera, così, un paradosso: l'iperprotezione del personale militare tende a compromettere la divisione sociale tradizionale dei rischi tra soldati esposti e civili preservati.

Guerra asimmetrica

La guerra asimmetrica originariamente era un'espressione riferita alla guerra tra due o più soggetti (di diritto internazionale pubblico) o gruppi le cui rispettive forze militari differivano in modo significativo. I cultori di scienze militari contemporanei hanno tuttavia la tendenza ad ampliare tale definizione, fino a ricomprendervi l'asimmetria di strategia o tattica; oggi la guerra asimmetrica può indicare un conflitto in cui le risorse dei belligeranti sono diverse nell'essenza e nel combattimento, interagiscono e tentano di sfruttare le debolezze caratteristiche del rispettivo avversario. Tali lotte spesso implicano strategie e tattiche di guerra non convenzionale, in cui i combattenti "più deboli" cercano di usare una strategia in grado di compensare le proprie carenze quantitative e qualitative [42].

Un drone, come caratteristica di base del suo funzionamento, deve conoscere lo spazio aereo nel quale deve operare. Nel caso di una guerra asimmetrica il drone è molto vantaggioso, in quanto le difese nemiche antiaeree risultano inefficaci. **Dep-tula** confessa che, nel caso in cui le difese aumentassero, e i droni fossero rintracciati facilmente, la loro utilità calerebbe drasticamente. Anche per tali motivi, ci si sta orientando allo studio e miglioramento di tecnologie stealth.

6.3 Sicurezza nello spazio aereo

Per volare in sicurezza, occorre che lo spazio aereo degli UAV sia integrato con lo spazio aereo civile. L'ambiente dovrà essere condiviso e sicuro: gli UAV devono essere veicoli sicuri, non un rischio per gli aerei (soprattutto quelli di linea), né per le persone a terra. Il loro livello di sicurezza deve essere lo stesso degli altri aerei con equipaggio. Bisognerà valutare l'impatto degli UAV in tale sistema, il loro numero, il grado di operatività, la frequenza dei voli, e altri fattori. Si dovrà considerare che alcuni UAV voleranno lentamente (e mancheranno di manovrabilità), mentre altri voleranno a grandi velocità facilmente. Alcuni UAV, quindi, saranno più in grado di adattarsi all'ambiente esistente rispetto ad altri modelli che potrebbero richiedere percorsi specifici o modifiche di spazi già dedicati. Gli unici strumenti che sono stati utilizzati finora sono state le analisi, le modellazioni e le simulazioni. Passare, però, dalla simulazione al mondo reale è un passo che richiede una consapevolezza e riscontro pratico non indifferente. In futuro si prevede che negli UAV saranno presenti di controller radio e transponder, al fine di garantire una maggiore integrazione. La tabella di marcia stabilita dal DoD pone delle questioni importanti:

- Gli UAV non possono essere persi a causa delle vertigini del pilota;
- Il decollo e l'atterraggio sono automatizzati, riducendo rischi di incidenti;
- Il fumo nella cabina può distrarre i piloti e oscurare la loro visione, ma non l'UAV;
- La fatica del pilota, o la sua indecisione, non si verificano su un UAV;
- Nessun UAV può essere perso il pilota deve tornare alla base o dalla famiglia;
- Non esistono incidenti dovuti al mancato supporto vitale.

Condizioni meteo

Non si sono ancora abbastanza dati ufficiali riguardo incidenti degli UAV causati da condizioni meteo avverse. Sicuramente l'impatto delle condizioni climatiche su un UAV, come su qualsiasi aeromobile, dipende dalla dimensione, configurazione, equipaggiamento, materiali, tempo di esposizione, gravità e un minimo di fattori non prevedibili. Alcuni UAV hanno configurazioni e caratteristiche che li rendono, in partenza, più vulnerabili a determinate condizioni meteo: gli UAV di piccole dimensioni sono particolarmente sensibili alla luce, mentre quelli più grandi potrebbero perdere la comunicazione in caso di turbolenze.

UAV Forecast è un sito web / app android che permette di pianificare e prevedere le condizioni meteo per far volare l'UAV (o un qualsiasi drone) in una data zona. L'applicazione è intuitiva: si inserisce la località e si settano alcune caselle di controllo e si ottiene il resoconto.

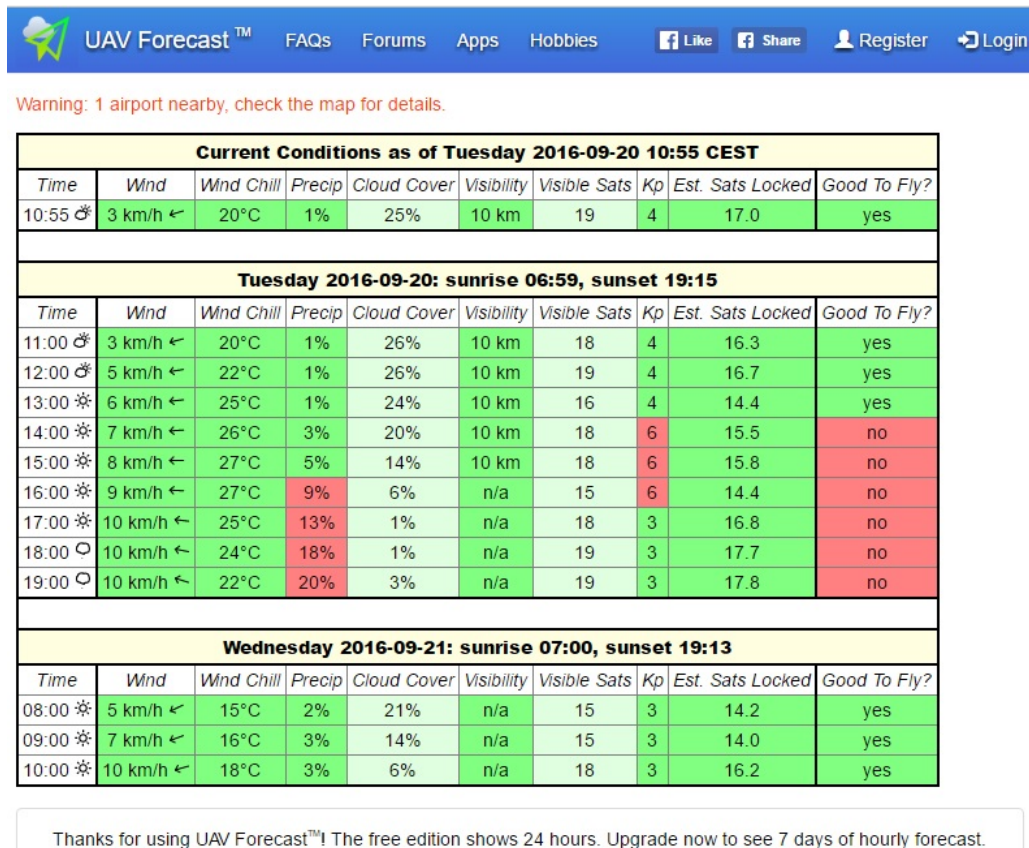


Figura 6.1: Condizioni meteo a Bologna secondo Forecast

Classi dello spazio aereo

- *Classe A*: lo spazio aereo inizia a 18.000 piedi dal livello del mare (MSL) e raggiunge i 60.000 piedi. La maggior parte dei velivoli vola in tale classe, chiamata anche Positive Control Airspace;
- *Classe B*: riguarda aree terminali molto occupate, come grandi città (New York, Los Angeles e Chicago). Le operazioni con i veicoli senza pilota sono vietate in questa classe;
- *Classe C*: riguarda le zone terminali degli aeroporti. Tutti i velivoli in questa classe devono essere equipaggiati con radar o transponder;

- *Classe D*: si trova negli aeroporti con torri di controllo. Inizia alla superficie dell'aeroporto e si estende per circa 2.500 piedi da terra;
- *Classe E*: si riferisce allo spazio aereo controllato. I velivoli possono volare in condizioni meteo visibili;
- *Classe G*: spazio aereo non controllato.

Interoperabilità del sistema

Se gli UAV devono essere completamente integrati nello spazio aereo civile, dovranno interagire con i vari componenti terrestri che compongono il sistema complesso dello spazio aereo. Il loro software di lavoro deve lavorare in modo efficace e sicuro, in conformità al controllo del traffico aereo a terra. Una maggiore integrazione con i vari tipi di UAV, militari e civili, è uno tra gli obiettivi dei prossimi anni. L'Europa, attraverso il programma *UCare* sta lavorando, assieme alla NATO, per un sistema che garantisce interoperabilità tra gli alleati della NATO. DARPA sta sviluppando un sistema di reti tra gli aeromobili con e senza equipaggio per facilitare l'elaborazione e lo scambio di dati tra i vari sensori presenti a bordo e a terra.

Collisions

Il problema della prevenzione delle collisioni tra UAV e altri aerei è uno dei problemi principali, che ha attirato l'attenzione del governo, dell'industria, dell'università e degli istituti di ricerca di tutto il mondo. Suddetta questione è sempre presente e in continuo studio. Lo scopo è di aumentare l'affidabilità, mantenendo bassi i costi.

Il rapporto di affidabilità OSD punta a risolvere anche le problematiche hardware:

- Le *leghe a memoria di forma* ³¹ ridurrebbero (o eliminerebbero) la necessità degli attuatori;
- I *biopolimeri* ³² sfruttano il design naturale, risultando forti e creando strutture leggere e resistenti alla fatica;
- I *materiali autoriparanti* ³³ (Self-healing material) potrebbero mitigare i problemi strutturali durante una missione.

³¹ Lega metallica che "mantiene la memoria" della sua forma, riacquisendola quando viene surriscaldata.

³² I biopolimeri o bioplastiche (BP) sono polimeri preparati attraverso processi biologici, che conferiscono al prodotto finale un'elevata biodegradabilità. Possono essere: di origine sintetica oppure derivati da materiali di origine vegetale e quindi rinnovabili.

³³ I materiali autoriparanti sono una classe di materiali intelligenti in grado di recuperare, parzialmente o totalmente, un danno meccanico in maniera autonoma o in risposta ad uno stimolo esterno. Tali materiali nascono dall'esigenza di estendere la vita utile dei prodotti preservandone l'integrità meccanica e/o la funzione.

6.4 Importanza dei fattori umani

Gli UAV sono stati per lungo tempo considerati una sfida dell'ingegneria tecnica, lasciando in secondo piano il fattore umano. Tuttavia, tanto più gli UAV diventano importanti e sofisticati, tanto più il ruolo dell'uomo cresce di pari passo. Numerosi studi dimostrano che la risposta umana e l'efficacia dipendono dalla quantità di automazione, dal livello di fedeltà del sistema e dalla quantità di informazioni in costante aggiornamento del sistema. Non si può considerare in modo sbrigativo l'interazione umana con l'UAV.

Abilità del pilota

Non è ancora ben chiaro l'evidenza di livelli di abilità per pilotare un UAV (o più UAV contemporaneamente). L'Air Force utilizza agenti altamente qualificati come piloti di volo; la Marina e il Corpo dei Marine utilizzano personale arruolato con licenze private di pilota. L'esercito, invece, non ha requisiti adatti e utilizza soltanto personale arruolato dopo un periodo di formazione ad hoc. Forse questa distinzione potrebbe essere un modo per classificare i vari livelli di abilità dei piloti degli UAV. Bisogna considerare un altro fattore importante: i progressi tecnologici, e quindi le tecnologie di volo autonome, stanno diminuendo il ruolo delle abilità di pilotaggio tradizionali e spostano l'attenzione sul monitoraggio e sulle abilità del processo decisionale. Sistemi autonomi AIDIS sono in fase di sviluppo, per semplificare il controllo degli UAV: con queste tecnologie, anche operatori non qualificati, o con poca (o nessuna) esperienza di pilotaggio, potranno interagire con un UAV. Tale tecnologia permetterà ad un singolo pilota di gestire due o più veicoli contemporaneamente. Anche la presenza di monitor multipli sarà un impatto sulla sicurezza da non trascurare.

Consapevolezza della situazione

Mentre su un veicolo con personale a bordo, il pilota è consapevole del posto in cui si trova, del mezzo e delle situazioni che potrebbero verificarsi, i piloti di un UAV si trovano fisicamente separati dal velivolo. La risposta, in caso di problematiche e / o incidenti, potrebbe essere diversa. A tale proposito, l'Air Force Research Labs sta sviluppando una logica negli UAV, affinché possano decidere autonomamente, anche in modo opposto all'ordine del pilota, qualora necessario. In questo modo il veicolo avrà una maggiore consapevolezza di sé e dell'ambiente che lo circonda.

6.5 Drone Hacking

Metodi per controllare un UAV

- 3G / 4G;
- Bluetooth;
- Collegamento terrestre;
- GPS;
- Radio (RF);
- Satellite;
- Wi-Fi.

Metodi di rilevamento

- Audio;
- Termale;
- Radar;
- Radio Frequenze (RF);
- Visivo;
- Wi-Fi.

6.5.1 Contromisure UAV [43], [52]

- *Attacchi client-based*: il software dei produttori di UAV non sono completamente sicuri. Si è scoperto che con reverse engineering dal lato client è possibile risalire alle comunicazioni;
- *Attacchi cloud-based*;
- *Ballistica*: la disattivazione di un UAV con un proiettile di una pistola, fucile o catapulta;
- *Cannone a microonde*: produce un fascio concentrato di energia progettato per distruggere le componenti interni;
- *Hijacking*: il dirottamento Wi-Fi è stato dimostrato attraverso attacchi di de-autenticazione che rompono le comunicazioni tra l'UAV e il controller. Si stabilisce una nuova connessione con l'attaccante. Sembra che un programma tipo SkyJack viene utilizzato per la connessione con l'UAV: il programma del controllo di volo viene sostituito con un malware. Le comunicazioni tra un controllore UAV e un satellite sono stati dirottati usando SkyGrabber;
- *Intercettazione*: utilizzano il software SkyGrabber con una parabola satellitare e un sincronizzatore TV per intercettare le frequenze del drone. Possono essere così intercettate le comunicazioni da e verso il drone. Tale tecnica è complicata;
- *Interferenza*: si trasmettono su diverse frequenze (o pacchetti di frequenze) segnali per interferire. Il legame tra il drone e il suo pilota può essere scollegato;

- *Jamming*: metodi multipli per inceppare le istruzioni direzionali o i dati di posizione ricevuti dall'UAV;
- *Laser*: laser ad alta potenza per fondere le componenti dell'UAV;
- *Predator UAVs*: progettati per interferire con le comunicazioni Wi-Fi o utilizzare tattiche kamikaze per disabilitare altri UAV schiantandosi su essi;
- *Spoofing GPS*: piccoli trasmettitori GPS portatili capaci di inviare segnali GPS falsi e disturbare i sistemi di navigazione. Possono essere usati per guidare i droni in atterraggio automatico o dirottarli su un punto di atterraggio diverso;
- *Suono*: utilizzo di alcune frequenze sonore per disturbare il funzionamento interno di un UAV.

6.5.2 Sicurezza delle stazioni di controllo

I piloti degli UAV si trovano in cabine sulla terraferma, la cui dimensione può variare da piccole unità mobili di elaborazione, interconnesse, a sistemi globali. La sicurezza di tali postazione è uno tra i fattori chiavi per la sicurezza del velivolo, della missione e dell'operatore stesso. Saranno necessarie delle analisi approfondite, ed ad hoc, per stabile quali siano i luoghi più adatti negli Stati Uniti, e in tutto il mondo, per collocare tali stazioni, evitando di divenire facili bersagli di attacchi fisici da parte del nemico. La quantità di protezione da applicare alle strutture dipenderà dalle dimensioni dell'UAV, dallo spazio aereo e dalle missioni. Si potrebbe pensare di lasciare la struttura di base per il controllo dell'UAV e avere percorsi alternativi per il suo controllo: in questo modo, nel caso di attacchi e / o intrusioni, non si perderebbe il controllo del velivolo (almeno non subito).

6.5.3 Onde elettromagnetiche

Un UAV comunica mediante comandi che invia e riceve sotto forma di onde. Nel 2009 la stampa ha raccontato che degli insorti iracheni avevano intercettato i flussi video ritrasmessi dai droni Predator. Per hackerare il sistema avevano usato una semplice antenna satellitare e un programma in vendita su internet, al costo di 30 euro. Questo dimostra che gli americani, forti della loro superiorità tecnologica, non si erano interessati alla sicurezza delle loro trasmissioni. Anche gli israeliani hanno commesso la stessa negligenza; si è reso conto che Hezbollah aveva sviluppato da più di dieci anni la capacità di intercettare i video trasmessi dai droni. Questo permetteva loro di tendere imboscate ai droni e catturarli. Uno dei principi base della guerriglia è appropriarsi delle armi del nemico e vale sia per la componente fisica sia per quella elettromagnetica / informatica.

6.5.4 Sicurezza delle comunicazioni

Gli UAV sono collegati alla terraferma dai segnali, che permettono loro di comunicare con l'operatore. A volte tali segnali sono distribuiti su tutto il globo, con lo scopo di controllare il veicolo, monitoraggio e comunicazione del traffico aereo. Essendoci vari canali di comunicazione interconnessi e diffusi ampiamente, essi sono, in differente misura, vulnerabili ad oscuramenti, spoofing, interferenze o usurpazione del controllo. Per ovviare a queste problematiche sono stati sviluppati nuovi sistemi di crittografia dei dati e sistemi di autenticazione. Nel caso, però, di inceppamenti a questi livelli, anche tali sistemi di protezione potrebbero mostrare i loro limiti. La sicurezza delle comunicazioni dipende dalla frequenza utilizzata, dai mezzi di comunicazione, dal tipo di tecnologia della crittografia e dalle proprietà del collegamento di comunicazione: la crittografia con frequenza più bassa, e bassa larghezza di banda ha più problemi rispetto alla controparte con frequenze più alte. Quindi, maggiore è la sicurezza, minori sono le prestazioni e maggiore è il costo. A tal proposito, l'esercito ha stabilito delle tecnologie per un'adeguata sicurezza, mediante utilizzo di collegamenti satellitari, per la comunicazione dei dati (SATCOM) nel caso di UAV di grandi dimensioni. Essendo costosi, tali sistemi non sono disponibili per gli UAV per uso civile. L'Istituto di ricerca avanzato delle telecomunicazioni del Giappone sta lavorando su una chiave crittografica che usa un segnale laser caotico fluttuante.

Cyber-attacks malware contro gli UAV

Nell'ottobre del 2011, il magazine *Wired*, ha rivelato che un virus informatico aveva infettato i computer alla *Creech Air Force Base*, in Nevada. Si trattava di un software di keylogger, in grado di registrare i dati battuti su tastiera. Tali dati venivano inviati ad una terza persona, che riusciva a derivare le password utili ai loro scopi. La minaccia, per fortuna, non ha causato gravi danni [43].

6.5.5 GPS Spoofing attack

Nell'articolo *On the Requirements for Successful GPS Spoofing Attacks*, si analizzano i requisiti per il successo degli attacchi di spoofing GPS con obiettivi i ricevitori GPS civili o militari. Vengono identificate le sedi e la precisione necessarie per condurre l'attacco e generare falsi segnali, al fine di falsificare con successo i ricevitori. Viene mostrato come lo spoofing di un gruppo di ricevitori può essere raggiunto solo da un ristretto insieme di luoghi, nel caso in cui chi conduce l'attacco vuole preservare le distanze reciproche e un offset di tempo. Più aumenta il numero di obiettivi dello spoofing, minori saranno i luoghi disponibili per tale pratica. Vengono proposte anche tecniche di rilevamento di spoofing base di un gruppo di ricevitori GPS standard in una formazione statica [28].

Esperti di sicurezza israeliani hanno allertato le forze armate USA che la ricerca sull'hackerare UAV militari è disponibile sul web. Il 4 dicembre 2011 il drone stealth della CIA (Lockheed Martin RQ-170 Sentinel) è stato catturato dagli iraniani vicino alla città del Kashmir nel nord-est dell'Iran. Essi hanno dirottato le sue coordinate GPS e facendo atterrare il drone. In questo modo potevano imparare a decodificare la tecnologia per se stessi. Il 10 dicembre 2011, l'Iran ha annunciato l'intenzione di effettuare *reverse engineering*. Forse si sono ispirati proprio all'articolo sopra citato. Il direttore dei programmi dell'Israel Aerospace Industries, *Esti Peshin*, ammette che i ricercatori non volevano creare nessun danno con il loro articolo; il problema è stato che l'articolo è stato pubblicato senza prima trovare delle contromisure per attacchi del genere [68], [45], [43].

6.5.6 Nuovo linguaggio di programmazione

A seguito di tali problemi, il Dipartimento della Difesa degli Stati Uniti sta sviluppando un nuovo linguaggio di programmazione "unhackable", che sarà inserito nel drone Boeing Little Bird H-6U alla fine del 2017. Il precedente direttore del progetto DARPA, Kathleen Fisher, ha affermato: "gli attacchi cibernetici sul PC possono rubare informazioni e soldi, ma non causare danni fisici. Gli attacchi informatici di un UAV o su una macchina possono causare danni fisici e abbiamo davvero non vogliamo aprire quel vaso di Pandora". Di solito gli UAV militari sono programmati in *C* o *C++*, entrambi linguaggi di programmazione noti per avere vulnerabilità. I droni consumer e commerciali possono essere violati a metà del volo; molte persone che possiedono i modelli Phantom e Inspires che utilizzano *Android Studio SDK*, che usa *Java*. 3D Robotics, un popolare ditta statunitense di droni, ha una piattaforma di sviluppo open source che include *C++* (come una delle lingue) [68].

6.5.7 Droni robotizzati

Scegliere droni integralmente robotizzati risolverebbe il problema del dirottamento del flusso di controllo. Anche questi velivoli, però, sono dipendenti dalle coordinate GPS e dai dati satellitari. Nel 2010 durante un test organizzato dalle autorità americane, un gruppo di ricercatori del Texas ha mostrato la facilità con cui un drone possa essere abbattuto. Hanno creato un'apparecchiatura (costata circa 1.000 dollari) in grado di inviare un falso segnale GPS al velivolo, facendogli credere che stava salendo bruscamente. Il pilota automatico, che ha lo scopo di rettificare l'altezza di volo, ha spostato il drone verso il suolo. Essendo una prova, il drone non è stato fatto schiantare. Oltre l'intromissione nel canale di comunicazione, bisogna considerare l'invio (e la ricezione) di segnali non autorizzati.

6.5.8 Sicurezza delle tecnologie C3 e delle operazioni

Sono vari i problemi circa la sicurezza delle tecnologie C3 e degli UAS: data link spoofing, dirottamento e disturbo sono importanti problemi di sicurezza che riguardano UAS C2 e ATC. Gli UAS sono diversi dai velivoli convenzionali dal punto di immediato controllo dell'aeromobile. L'operatore, in caso di evento negativo, può evitare collisioni con altri aerei nelle immediate vicinanze. L'operatore, posto nella stazione a terra, comunica con il velivolo mediante un collegamento dati suscettibile alle minacce precedentemente menzionate: un hacker può creare segnali falsi e inviarli all'UAS, disorientare il velivolo o prenderne il controllo, riuscendo ad entrare nel collegamento dati. Per rendere affidabili le comunicazioni C2 e ATC, tali caratteristiche di sicurezza devono essere integrate nel sistema, evitando intrusioni durante l'operazione. Un possibile approccio potrebbe considerare di riconoscere tutti i segnali che riceve, o restituire un echo. Questo garantirebbe all'operatore che tutti i comandi vengano ricevuti e confermati. Un sistema del genere è capace di informare l'operatore nel caso in cui l'UAS riceva ordini da soggetti non autorizzati. I militari usano collegamenti dati protetti, come CDL e collegamenti con funzioni di convalida built-in. Questi tipi di soluzioni non sono disponibili per l'ambito civile.

6.5.9 Nascondersi dai droni

I droni sono dotati di telecamere molto potenti, che possono rilevare persone e / o veicoli ad un'altitudine di diversi chilometri. La maggior parte dei droni, inoltre, è dotata di visori notturni, telecamere con visione a infrarossi (sensori FLIR). Tali strumenti permettono di vedere il calore umano da lontano, di giorno o di notte. Esistono, però, alcuni metodi per sfuggire ai droni:

- *Camuffamento diurno*: nascondendosi nelle ombre di edifici o alberi. Nel caso ci si trovi nelle foreste, camuffarsi naturalmente o utilizzando abiti mimetici;
- *Camuffamento notturno*: nascondersi all'interno di edifici, o sotto alberi / fogliame. Evitare di utilizzare torce o luci;
- *Camuffare il calore*: le coperte in Mylar sono in grado di bloccare i raggi infrarossi. In estate quando la temperatura è tra 36 e 40 gradi, le telecamere a raggi infrarossi non riescono a distinguere il corpo dall'ambiente circostante;
- *Attendere il maltempo*: i droni non funzionano bene in presenza di venti forti, fumo, pioggia o condizioni atmosferiche pesanti;
- *I materiali riflettenti* (vetro o a specchio) confondono la fotocamera del drone;
- Utilizzando *bambole* e / o *manichini* di dimensioni umane si confonderanno i droni da ricognizione.

Drone Survival Guide

Sul sito [Drone Survival Guide](#) sono presenti sia i metodi per nascondersi ai droni, sia una scheda riassuntiva per riconoscere immediatamente i vari tipi di UAV e droni. Tale sito non è, però, di divulgazione scientifica, ma *FOR UNOFFICIAL USE ONLY (FUUO)*.

I droni della Polizia possono essere dirottati

Un ricercatore di sicurezza ha scoperto diverse vulnerabilità in un drone utilizzato dalle forze di polizia, dai militari e dai vigili del fuoco. Si tratta di un modello piuttosto costoso (30-35.000 dollari) che viene impiegato anche per ispezionare le linee aeree delle reti elettriche e i mulini al vento. Il drone potrebbe essere dirottato, rubato o lanciato contro un palazzo, in quanto il produttore non ha implementato le necessarie misure di sicurezza. Nils Rodday ha scoperto che le vulnerabilità presenti nella connessione radio del quadricottero possono essere sfruttate per eseguire un attacco man-in-the-middle. Per ottenere il controllo del drone è sufficiente un notebook e un chip radio economico connesso alla porta USB. Il collegamento Wi-Fi tra il modulo della telemetria e il tablet dell'utente usa la crittografia WEP, un vecchio protocollo che può essere craccato in pochi secondi. Il collegamento tra il modulo e il drone usa invece un chip Xbee. Questi chip supportano la crittografia, ma il produttore non l'ha attivata per ridurre la latenza della comunicazione. Per un hacker, nemmeno troppo esperto, è un gioco da ragazzi intercettare i comandi, prendere il posto dell'operatore e fare qualsiasi cosa anche da una distanza superiore al chilometro. Il ricercatore ha segnalato le vulnerabilità al produttore, che correggerà il problema nei futuri modelli. Per quelli già acquistati dagli utenti, però, non è possibile distribuire un nuovo firmware, dato che i droni non sono connessi ad Internet. In ogni caso, un'eventuale attivazione della crittografia potrebbe provocare un aumento della latenza e quindi un eccessivo ritardo nella risposta ai comandi. L'unica soluzione valida è aggiungere un chip dedicato, ma ciò richiede un richiamo dei prodotti. Rodday ha illustrato la sua ricerca nel corso della conferenza RSA a San Francisco.

Fonte: <http://www.webnews.it/2016/03/03/droni-polizia-dirottati/>

Capitolo 7

Dronethics

7.1 L'occhio di Dio

L'occhio di Dio abbraccia col suo sguardo siderale la totalità del mondo. Il suo non è un semplice vedere: egli attraversa la pelle dei fenomeni e affonda fin nelle loro viscere. Nulla è opaco per Lui. Poiché il suo sguardo coincide con l'eternità, esso abbraccia tutto il tempo, passato e futuro. Per questo il sapere di Dio non è un sapere qualsiasi, all'onniscienza corrisponde l'onnipotenza. Per volti versi il drone aspira a realizzare, attraverso la tecnologia, un analogo dell'*Occhio di Dio*.



Figura 7.1: Nebulosa Elica (NGC 7293, o Nebulosa Helix - chiamata *Occhio di Dio* dal 2003

Come scrisse un militare: utilizzando l'occhio che tutto vedere si può scoprire chi sono i soggetti nodali di una rete, dove vivono, chi li sostiene e chi sono i loro amici. I fautori dei droni battono su questo punto: questi apparecchi hanno rivoluzionato la nostra capacità di osservazione costante del nemico. Ecco l'apporto fondamentale del drone: la rivoluzione dello sguardo. È possibile riunire queste innovazioni in quattro grandi principi [9].

7.1.1 Principio dello sguardo persistente

(o della veglia permanente). Il drone può restare in volo per molto tempo. Il suo sguardo è costante, 24 ore su 24. L'occhio meccanico è senza palpebre. Mentre l'apparecchio sorvola in pattuglia, gli operatori, a terra, fanno tre turni di otto ore di fronte allo schermo. La delocalizzazione degli equipaggi fuori dall'abitacolo ha consentito una profonda riorganizzazione del lavoro.

7.1.2 Principio di totalizzazione della prospettiva

(o principio dello sguardo sinottico). Viene aggiunto allo sguardo persistente il carattere totalizzante. Si chiama concetto di sorveglianza di vasta estensione (wide area surveillance): vedere tutto, sempre. Se equipaggiato con tali sistemi di iconografia sinottica, un drone disporrà non una di una, ma di decine di micro camere ad alta risoluzione, orientate in ogni direzione, come le mille sfaccettature di un occhio di mosca. Un software riunirà in tempo reale le differenti immagini in una sola vista d'insieme, con possibilità di aggiungere dettagli a volontà. Si otterrà così l'equivalente di un'immagine satellitare ad alta risoluzione di una città o di un'intera regione. Nella pratica la strada è ancora lunga.

7.1.3 Principio di archiviazione totale

(ovvero filmare tutte le vite). L'idea che sta dietro il concetto di sorveglianza permanente è quella di girare un film di una città intera, per seguire gli spostamenti di tutti i veicoli e di tutti gli abitanti. Una volta realizzato può essere rivisto infinite volte, ci si può focalizzare su alcuni dettagli, estrapolare informazioni, zoomare. Navigare a piacimento non solo nello spazio, ma anche nel tempo, risalendo anche alla genealogia di un evento. Tutto ciò presuppone capacità di stoccaggio, di indicizzazione e di analisi dei dati che i sistemi attuali non possiedono.

7.1.4 Principio di fusione dei dati

I droni non hanno solo gli occhi, ma anche orecchie e altri organi. I droni Predator e Reaper possono intercettare le comunicazioni elettroniche emesse dalle radio, dai telefoni cellulari o da altri apparecchi di comunicazione. Ai fini dell'archiviazione, il problema consiste nel fondere questi differenti tipi di informazioni per combinare in uno stesso item tutte le varie informazioni provenienti da uno stesso evento. Associare, ad esempio, una chiamata telefonica ad una sequenza video, a coordinate GPS. Questo concetto si chiama fusione dei dati, o datafusion.

7.2 Etica

La questione etica coinvolge anche i droni, vista la diffusione. Fino a qualche anno fa, se una persona faceva volare un quadrirotore in un prato libero, attirava a sé un gran numero di curiosi, che guardavano e facevano domande, circa il nuovo mezzo di divertimento. Oggigiorno la parola drone si è talmente diffusa che quasi tutti sanno cosa è un quadrirotore e un drone militare, anche solo a grandi linee. Quello che è cambiato, invece, è la percezione (e quindi il significato) che il pubblico ha della parola drone: da semplice velivolo viene visto come spione, un disturbatore della quiete, un pericolo, fino a critiche pesanti riguardo il loro utilizzo in ambito militare, soprattutto per attacchi di guerra. La questione più importante riguarda l'impatto sugli esseri umani: un UAV può minacciare lo spazio aereo in diversi modi, può prendere la decisione di uccidere, trasportare esplosivi e produrre inquinamento acustico. L'aspetto senza pilota ha sollevato, per alcuni, l'asimmetria di combattere essere umani mediante macchine controllate a distanza: questa distanza produce una sorta di mancanza di integrità e onore in fase di guerra. Analisti militari, politici e accademici discutono circa i benefici, e i rischi, dell'utilizzo di robot autonomi letali (LARs) ³⁴. Alcuni sostengono che i droni LARs siano più precisi, uccidano meno civili e con meno possibilità di essere violati. Altre persone sostengono, invece, che l'aver a disposizione tali strumenti e tale tecnologie dovrebbe essere un incentivo per aiutare quante più persone possibili [14], [15].

7.2.1 Ethos Militare

Kaag e Keeps scrivono: le macchine telecomandate non possono assumere le conseguenze dei loro atti e che gli esseri umani che le azionano lo fanno da grandi distanze. Questa condizione sembra concretizzare il mito di Gige ³⁵, che appare oggi molto più come un'allegoria dell'antiterrorismo moderno che del terrorismo. l'ethos tradizionale militare ha le sue virtù tradizionali: coraggio, sacrificio, eroismo, ecc... . Questi valori hanno una precisa funzione ideologica: rendere il massacro accettabile, anzi glorioso, e i generali dell'epoca non lo nascondevano. Il contrasto tra le nuove armi e le antiche usanze produce una vera e propria crisi dell'ethos militare. Ne è un sintomo rivelatore il fatto che le critiche più virulente contro i droni non sono state

³⁴ "lethal autonomous robotics" (LARS): secondo un nuovo progetto di rapporto delle Nazioni Unite, robot killer che possono attaccare bersagli senza alcun intervento umano "non dovrebbero avere il potere di vita e di morte su esseri umani".

³⁵ Gige, un pastore della Lidia, rinviene per caso sul cadavere nudo di un gigante un anello d'oro che rende invisibili. Questo nuovo potere gli dà sicurezza e può sfuggire agli sguardi degli uomini, commettendo così numerosi crimini: uccide il re, diventando il nuovo sovrano. I suoi avversari non possono evitare i suoi attacchi e non possono difendersi. L'invisibilità gli conferisce invulnerabilità. Inoltre, non essendo colto in flagrante da nessuno, non può essere processato.

mosse da pacifisti, ma dagli stessi piloti dell'Air Force, in nome della salvaguardia dei tradizionali valori guerrieri [9], [14].

7.2.2 Psicopatologia del drone: effetto PlayStation

Si sente anche parlare di trauma dei piloti dei droni. L'origine della sua diffusione è un famoso lancio dell'Associated Press, nel 2008, che titolava: i guerrieri del telecomando soffrono di stress da combattimento a distanza. Gli operatori dei droni Predator sono soggetti ai traumi psicologici come i loro commilitoni sul campo di battaglia. Nonostante tale attacco, non ci furono elementi in grado di supportare questa tesi. Insistere sui tormenti psichici degli operatori permette anche di mettere fuori gioco il cosiddetto *effetto Play Station*, secondo cui il dispositivo per uccidere sullo schermo comporta una virtualizzazione della coscienza dell'omicidio. Questo approccio alla guerra, potrebbe essere considerato ingiusto secondo le convenzioni tradizionali della guerra perché chi causa l'uccisione è come se non fosse disposto a morire: il principio di mettere a rischio la propria vita è fondamentale, perché influenza fortemente il comune senso di lealtà in battaglia, e riguarda la natura della guerra come convenzione per la soluzione delle controversie. Nella misura in cui la guerra può servire a questo scopo, entrambe le parti devono sostanzialmente essere d'accordo per risolvere la controversia attraverso la violenza e, come menzionato precedentemente, la violenza deve essere mirata solo a coloro che hanno accettato di combattere, cioè i combattenti. Così è immorale uccidere chi non ha accettato di combattere. Siccome si suppone non vi sia nessun obbligo morale più profondo per un combattente che rischiare la propria vita in difesa del proprio Stato, in quest'ottica, combattere una guerra attraverso la pressione di un pulsante, non sarebbe del tutto equivalente a diventare un combattente, perché non ci si è conformati alla norme di guerra in cui entrambe le parti accettano di rischiare la morte nel risolvere la controversia. In linea puramente teorica chi opera un drone potrebbe rischiare di credere di essere in un gioco. L'espansione della tecnologia e delle interfacce commerciali stanno portando ad integrare la tecnologia dei videogames in guerra, i sistemi di controllo militare sono sul modello dei controller di Xbox e Playstation. I soldati continuano a considerare questi sistemi non come un semplice videogame, ma molto sul serio. Sia che si combatta da vicino che da lontano, lo stress da combattimento e fatica è lo stesso di quello dei soldati tradizionali. La guerra, anche da lontano, resta ancora difficile e traumatica. Lo psicologo militare *Hernandez Ortega* ha recentemente condotto un test psicologico per determinare i loro livelli di stress post-traumatico (Post Traumatic Stress Disorder - Disturb Post-Traumatico da stress - DPTS). Le conclusioni sono chiare: si riscontrano numerosi casi di sindrome di problemi legati al sonno legato al lavoro in squadra, ma nessun pilota è risultato positivo ai test DPTS [9].

7.2.3 Zona vietata ai droni

A seguito di tali preoccupazioni, e dagli incidenti legati agli UAV, gli Stati Uniti hanno deciso di regolamentare l'uso di UAV: secondo la Federal Aviation Administration (FAA), gli utenti devono ottenere un certificato di autorizzazione. L'uso di UAV è regolata anche a livello statale, rispettando una gerarchia di normativa crescente. Sempre la FAA ha stabilito che negli Stati Uniti i droni possono essere utilizzati per uso commerciale solo dopo una richiesta ufficiale che dovrà poi essere valutata e approvata [5], [30].



Figura 7.2: No drone zone (FAA)

Se da un lato a volte le paure sono insensate ed esagerate, dall'altro non è possibile negare che non tutte le paure sul loro utilizzo siano infondate. Non è bello vedere aggirarsi nell'area personale un drone, con l'obiettivo di spiare, fare fotografie o registrazioni video, senza rispettare la privacy altri e senza aver chiesto un preventivo consenso. A tutto questo va accoppiata la recente schizofrenia dissociata della privacy: tutti utilizzano il web, i social network e altri luoghi virtuali, in cui dilaga la paura che le proprie foto (o i propri contenuti) siano di dominio pubblico e facilmente utilizzabili da male intenzionati.

7.3 Normativa

Non esiste una normativa unica riguardante gli UAV o i droni, ma esiste una sua gerarchia di applicazione [2], [18], [34]:



Figura 7.3: Gerarchia delle normative sui droni

7.3.1 ENAC



Figura 7.4: Logo ENAC

Dal 30 giugno 2014 in Italia, chi vuole far volare, non solo un drone, ma qualunque velivolo telecomandato, deve confrontarsi con una normativa ampia, dettagliata ed estremamente articolata. Chi vuole usare un aeromodello per fini ricreativi e / o personali (sia esso un aereo a elica, un jet, un modello elettrico, un elicottero, un velivolo tutt'ala o un multirottore) ha alcune limitazioni. L'ente italiano che si occupa di legiferare e regolamentare circa i droni e gli APR è l'ENAC (Ente Nazionale per l'Aviazione Civile) Esso ha sede a Roma ed è sottoposto al controllo del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti. Nasce nel 1997 e unifica vari enti già esistenti, tra cui il Registro Automatico dell'Aviazione Civile. È un ente pubblico completamente indipendente, e si occupa di tutte le attività inerenti il controllo, l'indirizzo e la vigilanza in materia aeronautica. Alcuni la confondono con l'ENAV (controllata sempre dall'ENAC) che si occupa dei servizi del controllo del traffico aereo, ossia di tutti i sistemi di monitoraggio, comunicazione e informazione, attivi 24 ore su 24. Il 17 luglio 2015 viene pubblicata dall'ENAC la nuova normativa sui mezzi Aerei a Pilotaggio Remoto (APR), con alcune novità rispetto alla versione precedente [2]. Il documento completo è disponibile sul sito ufficiale dell'ENAC, al seguente indirizzo: [Regolamento ENAC: mezzi aerei a pilotaggio remoto](#)

Permesso di volo

Come tutte le attività di lavoro aereo svolti con aeromobili, le attività di monitoraggio con APR possono essere svolte soltanto dopo aver acquisito le necessarie autorizzazioni e possedendo i requisiti necessari. Il permesso di volo può essere concesso solo dall'ENAC; senza di esso si opera in modo illegale mettendo a rischio la sicurezza altri. Prima di ricevere il permesso, si dovranno acquisire le nozioni necessarie, nonché una fase di addestramento.

Abilitazione per i piloti commerciali di APR

Chi pilota un APR ha, dal punto di vista normativo, le stesse caratteristiche e responsabilità di chi pilota un aeromobile da bordo. Solo ENAC può rilasciare le apposite licenze dopo adeguata e comprovata formazione.

Struttura documento ENAC

Di seguito un breve elenco degli articoli della normativa [13]:

- *Sezione I – Generalità*
 - Art. 1 Premessa
 - Art. 2 Applicabilità
 - Art. 3 Scopo
 - Art. 4 Fonti normative
 - Art. 5 Definizioni e Acronimi
 - Art. 6 Classificazione dei SAPR
 - Art. 7 Impiego dei SAPR

- *Sezione II – Sistemi Aeromobili a Pilotaggio Remoto con mezzi aerei di massa operativa al decollo minore di 25 kg*
 - Art. 8 Requisiti generali per l'impiego dei SAPR
 - Art. 9 Operazioni non critiche
 - Art.10 Operazioni critiche
 - Art.11 Autorizzazione e dichiarazione
 - Art.12 Operazioni con APR di massa operativa al decollo minore o uguale a 2 kg
 - Art.13 Certificazione di progetto

- *Sezione III – Sistemi Aeromobili a Pilotaggio Remoto con mezzi aerei di massa operativa al decollo maggiore o uguale a 25 kg*
 - Art. 14 Registrazione e identificazione
 - Art. 15 Aeronavigabilità
 - Art. 16 Certificato Acustico
 - Art. 17 Autorizzazione dell'operatore
 - Art. 18 Organizzazione dell'operatore
 - Art. 19 Manutenzione del SAPR

- *Sezione IV – Disposizioni per il pilotaggio degli Aeromobili a Pilotaggio Remoto*
 - Art. 20 Pilota di APR
 - Art. 21 Attestato di Pilota di APR
 - Art. 22 Licenza di Pilota di APR
 - Art. 23 Centri di Addestramento APR

- *Sezione V – Regole di circolazione e utilizzo dello spazio aereo*
 - Art. 24 Operazioni in VLOS
 - Art. 25 Operazioni in EVLOS
 - Art. 26 Operazioni in BVLOS
 - Art. 27 Procedure specifiche e fornitura dei servizi di navigazione aerea

- *Sezione VI – Disposizioni Generali per i Sistemi Aeromobili a Pilotaggio Remoto*
 - Art. 28 Conservazione della documentazione
 - Art. 29 Comunicazione di eventi
 - Art. 30 Sanzioni
 - Art. 31 Data Link
 - Art. 32 Assicurazione
 - Art. 33 Security
 - Art. 34 Protezione dei dati e privacy

- *Sezione VII - Aeromodelli*
 - Art. 35 Generalità

- *Sezione VIII - Disposizioni finali*
 - Art. 36 Tariffe
 - Art. 37 Decorrenza e norme transitorie

7.3.2 ICAO



Figura 7.5: Bandiera ICAO

L'*Organizzazione Internazionale dell'Aviazione Civile* (in inglese *International Civil Aviation Organization*, ICAO) è un'agenzia autonoma delle Nazioni Unite incaricata di sviluppare i principi e le tecniche della navigazione aerea internazionale, delle rotte e degli aeroporti e promuovere la progettazione e lo sviluppo del trasporto aereo internazionale rendendolo più sicuro e ordinato. Il Consiglio della ICAO adotta degli standard e delle raccomandazioni riguardanti la navigazione aerea e l'aviazione civile. Inoltre, l'ICAO definisce i protocolli per le indagini sugli incidenti aerei seguiti dalle autorità per la sicurezza del trasporto dei paesi firmatari della convenzione sull'aviazione civile internazionale, più nota come convenzione di Chicago. La sede della ICAO si trova a Montréal, in Canada. L'ICAO non va confusa con la IATA (*International Air Transport Association*), una organizzazione di compagnie aeree con sede anch'essa a Montreal. Sia l'ICAO che la IATA hanno sviluppato un sistema di codici per gli aeroporti e le compagnie aeree. Nel 2010 ICAO ha emanato la circolare n.238 'Unmanned Aircraft System (UAS)', con lo scopo di regolamentare la disciplina degli aeromobili senza piloti a bordo. Tale circolare si applica ai velivoli con massa al decollo superiore ai 150 kg e si basa sui principi espressi nell'art.8 della Convenzione di Chicago, secondo la quale nessun aeromobile senza pilota a bordo può sorvolare il territorio di un altro Stato contraente senza un speciale autorizzazione da parte di questo Stato e comunque il volo deve essere controllato, ossia manovrabile a distanza, in modo da evitare pericoli per gli altri aeromobili civili. L'ICAO riconosce sia i velivoli con pilota a bordo (*manned*) che senza (*unmanned*), chiamandoli tutti aeromobili. Anche un APR è un aeromobile e i concetti normativi non subiscono alterazioni di principio circa il velivolo, il pilota e l'operatore: valgono le stesse responsabilità e certificazioni (come certificati di immatricolazione, aeronavigabilità, licenza di pilota, licenza di operatore) [19].

Il documento completo è reperibile al seguente indirizzo: [Circolare ICAO](#).

7.3.3 Regolamento UAV paese per paese

Tale elenco contiene soltanto i paesi che hanno stabilito delle leggi sui droni. I paesi non presenti non hanno una normativa vigente. L'elenco è aggiornato a ottobre 2016, pertanto, si invita a visitare il [sito delle leggi](#) per aggiornamenti [62].

A

- [Australia](#)
- [Austria](#)

B

- [Bangladesh](#)
- [Brasile](#)
- [Belgio](#)
- [Bulgaria](#)

C

- [Canada](#)
- [Cipro](#)
- [Croazia](#)

D

- [Danimarca](#)

E

- [Egitto](#)
- [Emirati Arabi Uniti](#)
- [Estonia](#)

F

- [Finlandia](#)
- [Francia](#)

G

- [Germania](#)
- [Giappone](#)
- [Grecia](#)

H

- [Hong Kong](#)

I

- [India](#)
- [Indonesia](#)
- [Irlanda](#)
- [Islanda](#)
- [Israele](#)
- [Italia](#)

K

- [Kenia](#)

L

- [Lettonia](#)
- [Lituania](#)
- [Lussemburgo](#)

M

- [Macao](#)
- [Malesia](#)
- [Malta](#)

N

- [Norvegia](#)
- [Nuova Zelanda](#)

O

- [Olanda](#)
- [Oman](#)

P

- [Panama](#)
- [Polonia](#)
- [Portogallo](#)

Q

- [Qatar](#)

R

- [Regno Unito](#)
- [Repubblica Ceca](#)
- [Romania](#)

S

- [Singapore](#)
- [Slovacchia](#)
- [Slovenia](#)
- [Spagna](#)
- [Stati Uniti](#)
- [Sud Africa](#)
- [Svezia](#)
- [Svizzera](#)

T

- [Thailandia](#)
- [Turchia](#)

U

- [Ungheria](#)

V

- [Venezuela](#)
- [Vietnam](#)

Y

- [Yemen](#)

Z

- [Zambia](#)
- [Zimbawe](#)

Capitolo 8

Stealth

Il termine stealth (o bassa osservabilità) è uno dei concetti più importanti (spesso fraintesi) dell'aviazione militare. Tali aerei sono considerati aerei invisibili che dominano i cieli e, a volte, anche invincibili. Nonostante questa tecnologia, tali aerei sono, però, rilevabili dai radar più sofisticati. Lo scopo di base della tecnologia stealth è far sì che l'aereo non possa essere abbattuto dai missili nemici, così da poter svolgere operazioni segrete, e raggiungere posti normalmente di difficile (o impossibile) accesso. L'uso di tecnologie stealth, applicato innanzitutto e con più successo agli aerei, è anche diffuso come concetto costruttivo di hovercraft, unità navali, elicotteri [59],[65]. La tecnologia stealth fu escogitata per conferire l'invisibilità radar parziale a navi e aeroplani, grazie alla forma del mezzo militare e di superfici radar assorbenti (R.A.S.). Il velivolo (o l'unità navale) deve essere dotato di bassa tracciatura termica con sistemi di abbattimento del calore (Infrared signature) affinché non sia localizzato attraverso sistemi ad infrarossi. Già nella metà del 1970 fu fabbricato il prototipo del futuro F-117, il cosiddetto aereo invisibile.



Figura 8.1: Lockheed F-117 Nighthawk, cacciabombardiere dell'USAF

Il passo successivo fu l'invisibilità ottica. Secondo *Rashid Zeineh* (ricercatore della società californiana Advanced American Enterprise ed inventore dello Stealth Technology System - STS) esiste già un sistema per l'occultamento visivo applicato agli UCAV, ai veicoli terrestri e persino ai soldati. Questo garantisce un'invisibilità tota-

le fino a 7 - 8 metri di distanza dall'osservatore. L'occultamento viene ottenuto con una serie di videocamere e proiettori che generano immagini dell'ambiente limitrofo sulla superficie del mezzo o del soldato che, in questo modo, si mimetizza con gli oggetti intorno. Un manto tridimensionale dell'invisibilità, è stato progettato e realizzato in Germania da un'equipe che si occupa di nano strutture, presso il Karlsruhe Institute of Technology. Il materiale è una specie di cristallo che riesce a deviare efficacemente i raggi della luce visibile retrostanti un oggetto, in modo da dare l'illusione della sua invisibilità. Questa nanostruttura è stata prodotta grazie a un raggio laser: se si proietta una luce non polarizzata di una determinata lunghezza d'onda (1,4 - 2,7 micrometri), la deviazione arriva sino ai 60 gradi. I fisici teorici *Thomas Tyc* della Masaryk University e Ulf Leonhardt dell'University of St. Andrews e della Singapore National University, in un articolo pubblicato sul *New Journal of Physics*, affrontano il tema delle *singolarità* dell'indice di rifrazione e delineano un piano per la costruzione di una struttura che ha dispositivi che riflettono la luce incidente da tutte le direzioni, nascondendo l'oggetto alla vista. *Tyc* e *Leonhardt* sfruttarono le conoscenze nell'ottica trasformativa per realizzare tessuti in grado di deviare e controllare la luce a tal punto da rendere quasi trasparente la persona che li indossa. L'obiettivo è produrre un materiale in grado di riflettere la luce in modo perfetto. A Tokio l'ingegnere *Susumu Tachi* ha effettuato la prima dimostrazione mondiale di "mimetismo ottico": un sistema di telecamere, visori e superfici retro/riflettenti che trasforma un comune impermeabile in una finestra da passeggio, attraverso cui è possibile vedere la strada, le macchine e le persone che stanno dietro chi lo sta indossando.



Figura 8.2: Mimetismo ottico

Le ricerche e le applicazioni inerenti all'invisibilità sono all'avanguardia soprattutto negli Usa, dove le sue possibili applicazioni in campo militare hanno suscitato grande interesse nel Dipartimento della Difesa. L'ingegnere californiano *Richard Schowengerdt* nei primi anni '90 ha fondato il "Project Chamaleon" con l'obiettivo di sfruttare i progressi dell'elettronica, dell'informatica e dei microcomponenti

per realizzare nuovi tipi di camuffamento. Nel 1994 ha brevettato il "mantello mimetico elettro-ottico" che rende invisibile un oggetto o un edificio nascondendolo dietro un sottilissimo schermo digitale su cui è riprodotta l'immagine dell'ambiente retrostante. Questo concetto è stato migliorato da altri due ricercatori, *Philip Moynihan* e *Maurice Langevin*, che hanno migliorato il "Project Chamaleon" per conto della NASA. Si sono ispirati al mondo animale, definendo la loro tecnica come "mimetismo adattativo". I due esperti hanno trasformato lo schermo rigido ideato da Schowengerdt in una rete di microschermi al plasma in cui sono inseriti sensori attivi che funzionano come telecamere. Collegati da una fibra ottica e controllati da un computer centrale, i piccoli schermi possono riprendere e proiettare l'ambiente circostante. Poiché sono elementi flessibili, diventano un rivestimento che ricopre totalmente l'oggetto da mimetizzare, sia esso un carro armato o un soldato, una tuta mimetica high tech che permette di portarsi "addosso" lo sfondo contro cui si sta muovendo, riproducendolo in ogni sua minima variazione. Il fisico britannico *John Pendry*, con i colleghi americani *David Smith* e *David Schuring* alla Duke University, ha sviluppato un "mantello" che potrebbe nascondere un oggetto da un raggio a microonde. Smith e Schuring hanno costruito il mantello in laboratorio con un tipo di materiale di fili di rame intrecciati su lastre di fibra di vetro. Il metamateriale risultante devia le microonde in tal modo da guidarle intorno all'oggetto. I metamateriali, però, funzionano unicamente con una lunghezza d'onda, ma lo spettro visibile va da 400 a 700 nanometri; per nascondere realmente qualcosa dalla vista, un materiale dovrebbe funzionare per tutte queste lunghezze d'onda. Nei loro articoli, *Leonhardt* e *Tyc* delineano un piano per costruire questo materiale, lavorando con la geometria dello spazio curvo, o spazio non-euclideo, progettando un mantello teorico che potrebbe funzionare su una larga gamma di lunghezze d'onda. A differenza del mantello che rendeva un oggetto perfettamente invisibile alle microonde, il nuovo design creerebbe una "distorsione di fase", come una sottile lente di vetro: un materiale capace di piegare la luce a proprio piacimento, una superficie con proprietà elettromagnetiche tali da deviare i fasci luminosi, farsene lambire e poi costringerli a tornare nella direzione originaria, come se l'oggetto attraversato non esistesse. Tutto questo utilizzando dei metamateriali, strutture che assumono proprietà fisiche sconosciute in natura, grazie a una particolare disposizione delle componenti microscopiche. La tecnologia stealth utilizza, quindi, una serie di tecniche avanzate:

- Le superfici sono disegnate in maniera da riflettere le onde radar in direzioni diverse rispetto a quella di provenienza, specialmente nell'arco frontale;
- Le superfici sono rivestite con materiali **RAM** (Radar Absorbing Material) che assorbono le onde radar senza rifletterle;

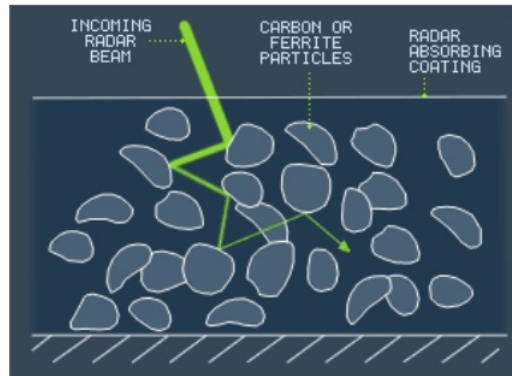


Figura 8.3: RAM

- La struttura interna impiega tecnologie **RAS** (Radar Absorbing Structure);
- Le prese d'aria sono sagomate in maniera da nascondere le palette del compressore ai radar;
- L'armamento è trasportato internamente (e ciò produce anche il vantaggio che le prestazioni teoriche e quelle operative si equivalgono);
- Il sistema avionico è basato su tecnologie **LPI** (bassa probabilità di intercettazione);
- Gli scarichi dei motori sono schermati e miscelati con aria fredda;
- Il profilo di volo operativo è ottimizzato per esaltare le caratteristiche stealth (il bersaglio viene ingaggiato nell'assetto ottimale).

RAM

Le prime ideazioni sui materiali radar-assorbenti pare che risalgano ai sommergibili tedeschi della Seconda guerra mondiale, che sperimentarono questi materiali, vedendoli come logica conseguenza della minaccia dei radar alleati. Ma l'acqua salata è un conduttore, e i battelli bagnati erano privi di aiuto da parte di questi materiali (perché le onde radar tendevano a rimbalzare sulla pellicola d'acqua esterna), che comunque erano troppo pesanti per gli aerei. I RAM erano e sono oltretutto dei sistemi particolari, che funzionano meglio o peggio a seconda delle lunghezze d'onda da affrontare, pertanto devono essere ottimizzati a seconda della minaccia. RAM efficaci contro radar a corta lunghezza d'onda possono non funzionare affatto contro sistemi a maggiore portata. I colori sono in genere scuri, specie quando vi è ferrite come materiale, ma nel caso di macchine come l'F-117 questo colore aiuta anche in termini visivi, perché esso opera di notte (recentemente ha cambiato anch'esso colorazione, comunque). 'Cerotti' speciali, dall'utilità dubbia, sono spesso applicati

sulle prese d'aria e il bordo d'attacco della coda e ali degli aerei, ottenendo sensibili (circa il 40%) riduzioni della RCS, ma questi materiali non pare siano molto affidabili come durata e resistenza in volo. Le esatte caratteristiche dei materiali RAM e RAS sono segrete. Si impiegano miscele di fibre di vetro, alluminio e particelle di grafite e di magneti ferrosi. Le percentuali presunte sono frutto di stime, ma sono approssimate e, appunto, presunte.

8.1 Anatomia della Tecnologia Radar

Il radar è un sistema che utilizza onde elettromagnetiche appartenenti allo spettro delle onde radio o microonde per il rilevamento e la determinazione (in un certo sistema di riferimento) della posizione (coordinate in distanza, altezza e azimuth) ed eventualmente della velocità di oggetti (bersagli, target) sia fissi che mobili, come aerei, navi, veicoli, formazioni atmosferiche o il suolo. La NASA utilizza un radar per mappare la Terra e gli altri pianeti, per tenere traccia satelliti e detriti spaziali e per aiutare con le cose come attracco e le manovre. I militari lo utilizzano per rilevare il nemico e per guidare le armi. I meteorologi usano radar per monitorare tempeste, uragani e tornado. Quando si utilizza il radar, di solito, si cerca di:

- Mappare qualcosa: navette spaziali e satelliti utilizzano i radar ad apertura sintetica per creare mappe topografiche della superficie dei pianeti in modo dettagliato;
- Rilevare la presenza di un oggetto a distanza. L'oggetto, di solito, è in movimento (un aereo) o fermo in un posto;
- Rilevare la velocità di un oggetto.

Tutte queste attività sono realizzate utilizzando due concetti importanti:

- **Echo:**
 - L'energia elettromagnetica ricevuta dopo la riflessione da un oggetto;
 - La deflessione (o il cambiamento) di intensità sul display di tubo a raggi catodici prodotto da un eco radar.
- **Effetto Doppler:** è usato nei radar per misurare la velocità degli oggetti rilevati. Un fascio radar è lanciato contro un oggetto in movimento, per esempio un'automobile, nel caso dei radar in dotazione alle forze di polizia di molti Paesi del mondo. Se l'oggetto si sta allontanando dall'apparecchio radar, ogni onda di ritorno ha dovuto percorrere uno spazio maggiore della precedente per

raggiungere l'oggetto e tornare indietro, quindi lo spazio tra due onde successive si allunga, e la frequenza delle onde radio cambia in modo misurabile. Usando le formule dell'effetto Doppler si può risalire alla velocità dell'oggetto.

Da questo si deduce che un velivolo stealth utilizza il principio di riflessione e assorbimento: deviando le onde radar in arrivo verso un'altra direzione riduce le onde che tornano al radar. Allo stesso modo, assorbendo totalmente le onde radar in arrivo, si reindirizza l'energia elettromagnetica assorbita in un'altra direzione. Qualunque sia il metodo utilizzato, il livello stealth che un velivolo può raggiungere dipende totalmente dalla progettazione e dalla sostanza con cui è realizzato. Per creare l'invisibilità si possono utilizzare due modi:

- Il velivolo può essere sagomato, in modo che eventuali segnali radar siano riflessi;
- Il velivolo può essere coperto da materiali che assorbono i segnali radar.

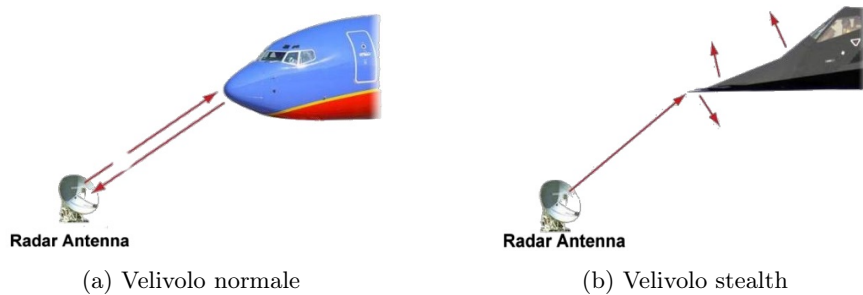


Figura 8.4: Rilevamento del segnale

8.2 Tecnologie stealth

- *Acoustic stealth*: si è cercato di migliorare le caratteristiche di silenziosità: i sottomarini, principali beneficiari, sono del resto i mezzi militari stealth per eccellenza, fin da quando sono apparsi nella forma del American Turtle del XVIII secolo. A volte si tratta di soluzioni semplici (cuscini di gomma sotto i macchinari o scarichi raffreddati con acqua marina), in altri casi si deve ricorrere a tecniche sofisticate di progettazione e al ricorso di materiali speciali, arrivando a tecnologie come la riduzione 'attiva' delle vibrazioni o della segnatura magnetica. I progressi sono stati, in pochi anni, notevolissimi;

- *Cancellazione attiva*: replicare attivamente il segnale in ingresso e invertire la sua fase al fine di ottenere lo stesso effetto. Poiché si tratta di emissioni attivi, questa tecnica è più appropriatamente classificata come parte dello sforzo inceppamento attiva, ma è comunque notevole per quanto riguarda furtiva perché il suo effetto netto è la riduzione (o addirittura eliminazione completa) dell'ampiezza del segnale riflesso, e quindi la riduzione della RCS apparenti dell'oggetto bersaglio. Questo tipo di velivolo utilizza inoltre particolari materiali come ad esempio il Kevlar per poterlo schermare dai radar;
- *Emissioni elettroniche*: le emissioni elettroniche di un aeroplano (in particolare quelle del radar) sono facilmente rilevabili da sensori quali i radar passivi. Per evitare questo problema gli aerei fanno ricorso ad un abbondante uso di sensori passivi (quali i sensori infrarosso), potendo così volare in "silenzio elettronico", cioè a radar spento;
- *IR signature e IR Stealth*: negli aerei, come negli elicotteri, l'unico modo per diminuire fortemente la traccia IR consiste nello schermare gli ugelli di scarico dei motori, in modo da raffreddare i fumi espulsi. Altre soluzioni complementari consistono nel rinunciare completamente alla postcombustione, o di limitarne l'uso, dando all'aereo la capacità di volare sopra Mach 1 senza ricorrere al postbruciatore (supercruise), come il caso dell'F/A-22 Raptor;
- *Mimetizzazione magnetica*: la firma magnetica è pure importante con cinture di degaussing, che riducono i campi magnetici parassiti delle navi che altrimenti attiverebbero le mine magnetiche. La loro interpretazione talvolta è invece quella di esaltare questa segnatura, per fare esplodere anticipatamente le mine, a distanze di sicurezza. Si tratta, ovviamente di un gioco pericoloso, che è fatto con navi specializzate nelle contromisure mine;
- *Mimetizzazione visiva*: la mimetizzazione è la forma di protezione contro il rilevamento con mezzi basici (ottici) che restano di grande importanza e diffusione soprattutto nella guerra terrestre. La facilità di realizzazione e la rapidità di cambiamento in caso di necessità sono di grande importanza per la diffusione di questo genere di accorgimento. Al giorno d'oggi la cosa può sembrare normale, ma fino al XX secolo non era affatto comune vedere uomini vestiti con un'uniforme mimetica. Al contrario, erano presenti divise sgargianti con funzioni antimimetiche, per il facile riconoscimento delle truppe e la loro manovra da parte dei comandanti. Le mimetiche individuali odierne hanno varie soluzioni di colori. Da anni vi sono le mimetiche come quelle usate in Desert Storm, e vari modelli da allora si sono avvicinati, alcune delle quali sono in fase di valutazione con schemi di particolare efficacia. I veicoli, gli aerei

e le navi hanno mimetizzazioni che da anni sono passati ad una generazione diversa da quella classica, in genere a 2 o 3 colori. Le mimetiche desertiche, con i loro colori chiari e scuri sono tra le più eleganti, mentre molto efficaci si sono dimostrate anche le soluzioni svedesi, con colori finemente spezzettati in nero, giallo e verde. Le attuali mimetiche sono un tentativo di accordare quelle tipiche dei cacciabombardieri (tipicamente in marrone e verde) con i colori chiari, tipicamente bianco o azzurro, dei caccia da superiorità aerea. In genere il risultato è che viene usato un colore grigio-azzurro chiaro uniforme o leggermente sfumato, oppure 2 toni diversi. Alle volte le mimetizzazioni ottiche vengono fatte manualmente, per la loro facilità di realizzazione. Da qualche anno anche le forze aeree più tradizionaliste, come l'AMI, sono passate non solo ai colori, ma prima ancora, ai distintivi a bassa visibilità, lasciando perdere le precedenti araldiche, specialmente quelle comprendenti cerchi bianchi, sinistramente ricordanti i bersagli da tiro a segno. Prima di passare alle vernici interamente a bassa visibilità, sono state modificate prima le insegne di nazionalità, anche in maniera artigianale: per esempio, durante la Guerra delle Falkland gli inglesi tolsero il cerchio bianco delle loro insegne con una mano di vernice blu, come il contorno esterno;

- *Plasma stealth*: processo che utilizza gas ionizzato (plasma) per ridurre la sezione trasversale radar (RCS) di un aeromobile. Tali metodi sono in grado di formare uno strato (o una nube) di plasma intorno al veicolo per deviare (o assorbire) i segnali radar, dalla semplice frequenza elettrostatico o radio (RF) scarica a più complessi scarichi laser. Si utilizza il Plasma stealth per generare bassa osservabilità delle superfici delle antenne: mentre i poli di metallo dell'antenna sono riflettenti, un tubo di vetro cavo viene riempito con il plasma a bassa pressione, fornendo una superficie trasparente per il radar quando non è in uso;
- *Visibilità e silenziosità*: sono caratteristiche secondarie quando opera ad alta quota, ma assumono notevole importanza per tutti quegli aerei che devono volare a quote medie o basse e che effettuano lunghi sorvoli di una stessa area (come per esempio il RQ-1A Predator in una missione di ricognizione).

8.2.1 Limiti

In realtà nessun velivolo è totalmente invisibile al radar, gli aeromobili stealth sono rilevabili dai radar convenzionali a distanze minori rispetto a quelli normali, rendendo il rilevamento meno tempestivo ed impedendo un'adeguata risposta, che inoltre diventa inefficace perché è difficile fare il "tracking" (inseguimento del bersaglio), ed i radar dei missili anti-aerei hanno grossi problemi nell'agganciare il bersaglio, rimanendo facilmente confusi da chaff, flare e dalle decoy (civette elettroniche). Si calcola che rispetto ad un aereo normale, uno stealth abbia soltanto un 15% di possibilità di essere attaccato, e che la possibilità di abbattimento sia minore. Ovviamente tale stima non considera i recenti, e i futuri, sviluppi in campo stealth.

8.3 Elenco aerei stealth

Design completamente stealth

L'elenco non include tutti gli aerei che fanno ricorso parziale a tecnologie stealth ma solo quelli la cui progettazione è stata tutta votata all'invisibilità.

- Ritirati
 - Lockheed F-117A Nighthawk (primo volo 1981) - aereo da attacco al suolo/bombardamento tattico.
- in servizio
 - Northrop Grumman B-2 Spirit (primo volo 1989) - bombardiere strategico.
 - Lockheed-Boeing F-22 Raptor (primo volo 1997) - aereo da caccia multiruolo di V generazione da supremazia aerea, attacco al suolo, guerra elettronica e SIGINT.
- in sviluppo
 - Lockheed Martin F-35 Lightning II (primo volo 2006) - aereo da caccia multiruolo di V generazione da Close Air Support, bombardamento tattico e difesa aerea.
 - Sukhoi PAK FA (primo volo 2010) - aereo da caccia multiruolo di V generazione.
 - Sukhoi/HAL FGFA (primo volo 2010) - aereo da caccia multiruolo di V generazione da superiorità aerea.

- HAL Medium Combat Aircraft (primo volo 20XX) - aereo da caccia multiruolo di V generazione
 - Shenyang J-XX (primo volo 2017) - aereo da caccia multiruolo di V generazione
 - Mitsubishi ATD-X (primo volo 2011) - aereo da caccia sperimentale di V generazione
 - Tupolev PAK DA (primo volo 2017) - bombardiere strategico.
 - Qaher-313 - aereo da caccia ancora in fase di sviluppo.
- cancellati
 - Atlas Carver - velivolo cancellato nel 1991
 - A-12 Avenger II - bombardiere imbarcato cancellato nel 1991
 - Boeing X-32 - aereo da caccia multiruolo di V generazione cancellato nel 2001
 - Northrop YF-23 - aereo da caccia multiruolo di V generazione cancellato nel 1991
 - MBB Lampyridae - aereo da caccia cancellato nel 1987
- dimostratori tecnologici
 - BAE Replica (primo volo 199X)
 - Boeing Bird of Prey (primo volo 1996)
 - Have Blue (primo volo 1977)
 - Northrop Tacit Blue (primo volo 1982)
 - Northrop YB-49 (primo volo 1947)
- Senza equipaggio
 - Boeing X-45 - dimostratore tecnologico UCAV
 - BAE Taranis - dimostratore tecnologico UCAV
 - Dassault nEUROn - dimostratore tecnologico UCAV
 - EADS Barracuda - dimostratore tecnologico UAV
 - KZO - dimostratore tecnologico UAV
 - Dark Star - dimostratore tecnologico UAV
 - Armstechno NITI - dimostratore tecnologico UAV
 - RQ-170 Sentinel - dimostratore tecnologico UAV

Design RCS ridotti

L'elenco gli aerei che fanno o hanno fatto ricorso parziale a tecnologie stealth e a basso RCS.

- SR-71 Blackbird
- Avro Vulcan
- B-1B Lancer
- Dassault Rafale
- De Havilland Mosquito
- Eurofighter Typhoon
- McDonnell Douglas F-15SE Silent Eagle
- F-16 Fighting Falcon C/D ed E/F
- F/A-18C/D Hornet
- F/A-18E/F Super Hornet
- MiG 1.44
- MiG-29K
- Sukhoi Su-47
- Shenyang J-11B 'Flanker'
- Messerschmitt Me 163V
- PZL-230 Skorpion
- Horten Ho 229

Capitolo 9

Sviluppi futuri

9.1 Gestione dei dati

Protezione

- **Breve termine** (0-4 anni): la crittografia degli UAS C2 e dei collegamenti dati è fondamentale per la protezione delle informazioni e delle operazioni svolte. Il Dipartimento della Difesa specifica che ci devono essere vari tipi di crittografia e metodi di gestione delle chiavi (quelle dalla National Security Agency (NSA) per consentire l'interoperabilità);
- **Medio termine** (4-8 anni): maggiore interoperabilità e migliore gestione delle chiavi. Si utilizzeranno software di tipo Suite B, per la protezione delle informazioni (usato come standard);
- **Lungo termine** (più di 8 anni): maggiore velocità di trasmissione dati crittografici e standard aperti per migliorare la crittografia negli UAS. I miglioramenti hardware porteranno ad una maggiore velocità di trasmissione dati. Si punterà a standardizzare le interfacce radio e di crittografia comuni per una migliore gestione remota dell'UAS, riducendo i costi del ciclo di vita.

Grandi quantità di dati

L'aumento dei sensori, e delle loro capacità, ha aumentato i dati raccolti, sia in termini di quantità che dettaglio delle informazioni. L'attenzione si è orientata sulla capacità di elaborare e sfruttare tali dati, in modo tempestivo. I dati, infatti, dopo essere stati raccolti devono essere utilizzati dagli analisti che devono verificarne la validità e trarre le giuste conclusioni. Viene richiesto un sistema (o un modo) per catalogare i dati, dar loro una priorità, al fine di migliorare il processo di analisi e Intelligence. Anche gli archivi dei dati andrebbero rivisti e aggiornati per stare al passo con i tempi. I dati devono essere facilmente e immediatamente accessibili.

9.2 Infrastruttura operativa e resilienza

Le sfide che devono affrontare tutti i sistemi senza pilota includono la disponibilità di collegamenti di comunicazione, la quantità di dati che il supporto collegamenti di comunicazione, la certificazione dello spettro di comunicazione, e la capacità di recupero di tutti i radio frequenza (RF) sottosistemi contro le interferenze (ad esempio, elettromagnetica). La figura illustra l'architettura di rete di comunicazione operativa (OV-1) necessaria per supportare i sistemi senza pilota.

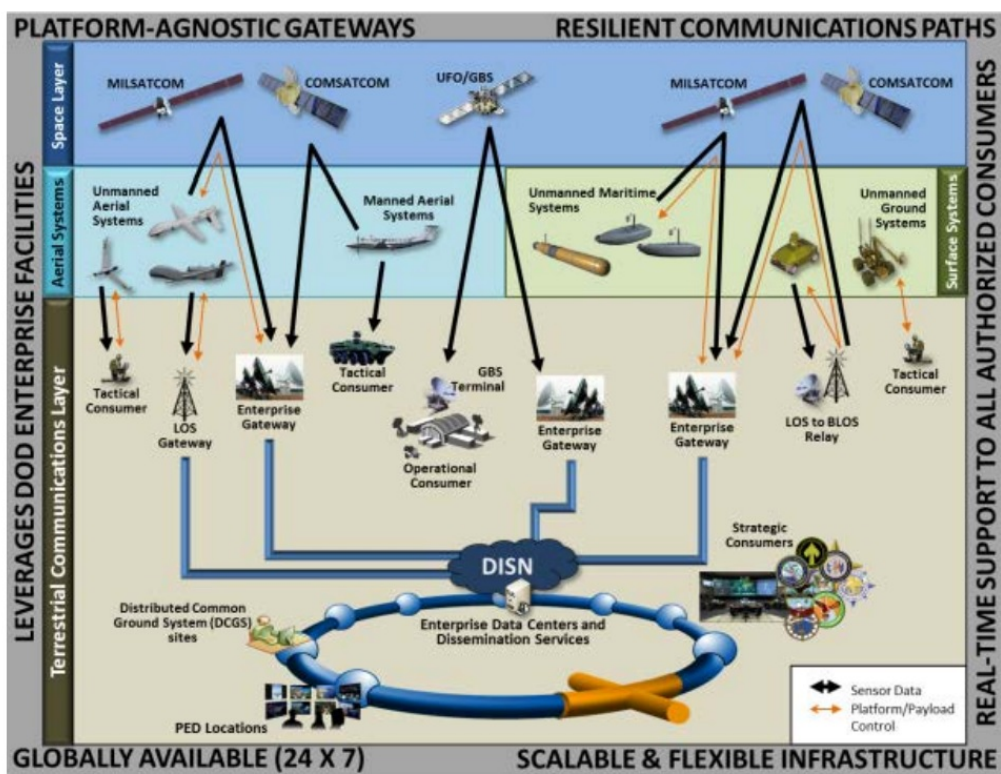


Figura 9.1: High-Level C4 Infrastructure Operational Concept Graphic (OV-1)

Gli UAS richiedono RITP (Research and Intelligence / Protection Technology) includendo misure di sicurezza adeguate non solo per impedire accessi (o controlli) non autorizzati, ma anche divulgazione di dati, mantenendo la superiorità tecnologica, migliorando sempre i sensori, le armi e i software di elaborazione. Lo schema di progettazione di un UAS può essere sempre ottimizzato per fornire più efficienza: una migliore avionica, potenza, propulsione e rapporto carburante / peso, anche nei sistemi più piccoli. L'aumento della persistenza significa migliorarne l'affidabilità, la manutenibilità e la capacità di sopravvivenza.

9.3 Materiali nanoenergetici e armi

Nei laboratori di ricerca si cercano di utilizzare nuovi materiali: polimeri, metalli, ceramica, materiali compositi e materiali bio-ispirati. I materiali nanoenergetici contengono energia chimica che, quando rilasciata, può bruciare rapidamente, come i fuochi artificiali o il carburante per i missili, o esplodere (come una granata o una bomba). I materiali nanometrici energetici sono utilizzati nelle applicazioni militari. Le nanoparticelle ³⁶ hanno più superficie e aumentano il contatto con le altre sostanze chimiche che compongono un propellente o l'esplosivo. Dopo aver avviato una reazione la loro maggiore area superficiale provoca una velocità di reazione più veloce, che rende più potente l'esplosione. Questa capacità potrebbe essere utile nelle armi che utilizzano una maggiore quantità di energia, rendendole più letali. Lavorando su nanoscale, i progettisti di tali armi possono controllarne la velocità alla quale l'energia viene rilasciata, cambiando la dimensione delle nanoparticelle. I progettisti, quindi, possono personalizzare l'esplosivo per ogni applicazione specifica. Ad esempio, un'arma per penetrare nel terreno e distruggere un bunker necessita di un esplosivo con una velocità di esplosione diversa rispetto ad un'arma progettata per esplodere sulla terraferma.

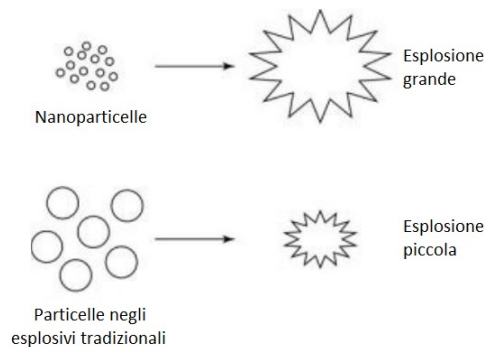


Figura 9.2: Nanoparticelle e esplosioni

Si stanno utilizzando le nanoparticelle di alluminio negli esplosivi sviluppati dall'Air Force. Quando la polvere di nano alluminio viene aggiunta negli esplosivi, le armi risultanti sono più piccole e potenti. Tali armi sono utili nei velivoli con spazio limitato o di piccole dimensioni. “*Le nanoparticelle di alluminio alterano la funzione immunitaria*” è il titolo di uno studio pubblicato dalla US Airforce. L'interesse dei militari sugli effetti dei nanoparticolati di alluminio in caso di inalazione nasce proprio dal rilascio nell'atmosfera di tali particelle che potrebbero penetrare direttamente nel cervello mediante inalazione.

³⁶ Con il termine nanoparticella si identificano normalmente delle particelle formate da aggregati atomici o molecolari con un diametro compreso indicativamente fra 2 e 200 nm.

Armi

Alcune armi possono essere adattate e utilizzate in futuro negli UAS, tra cui il LAHAT, acronimo di Laser Homing Attack o Laser Homing Anti-Tank (missile d'attacco a guida laser o missile anticarro a guida laser). È un missile anticarro, ma che è efficace anche contro elicotteri, navi, ecc., ed è nato per equipaggiare i cannoni da 105 e 120 mm dei Merkava. Oltre che i pezzi da 105 mm e 120 mm può essere caricato su elicotteri, mezzi leggeri e può essere sparato anche dalla fanteria a causa del suo peso ridotto rispetto ad altri missili anticarro. Questa modularità è possibile perché, al contrario di molti altri proiettili d'artiglieria, il LAHAT non richiede obbligatoriamente il cannone per essere sparato. Ogni missile pesa circa 13 kg, e un lanciatore completo con i quattro missili pesa solo 75 kg, molto meno di qualsiasi arma alternativa [46].



Figura 9.3: Un lanciatore con quattro LAHAT, il peso totale è inferiore agli 80 kg

9.4 Caratteristiche generali migliorate

Tecnologia Sense & Avoid

Il passo successivo della tecnologia dei droni è quello di sviluppare macchine volano autonomamente, permettendo di usarli in svariati campi di applicazione. Affinché ciò avvenga devono essere in grado di rilevare e rispondere all'ambiente che li circonda, modificare la loro altezza e la traiettoria per evitare collisioni con altri oggetti durante il loro volo. In natura gli uccelli, insetti e pesci possono unirsi in sciame dove ogni animale risponde al suo vicino quasi istantaneamente consentendo allo sciame di muoversi come una singola unità. I droni sono in grado di emulare tale comportamento. Attraverso un'autonomia affidabile e la prevenzione di collisioni, i droni stanno assumendo compiti che per gli esseri umani risulterebbero troppo pericolosi. La consegna dei pacchi mediante tali velivoli è uno tra i grandi obiettivi del futuro prossimo, individuando il miglior percorso di destinazione (sempre tenendo in considerazione gli ostacoli durante il percorso di volo).

VTOL UAV

VTOL è l'acronimo inglese di Vertical Take-Off and Landing, letteralmente decollo e atterraggio verticale, ed è l'aggettivo utilizzato per tutti gli aeroplani che hanno la capacità di decollare e atterrare verticalmente. Tra gli obiettivi futuri c'è la realizzazione di UAV con tale sistema di volo, rispetto al classico rotore principale.

Autonomia e Intelligenza Artificiale

Tra gli UAV che puntano a migliorare la loro autonomia ricordiamo il *Taranis*. È in costante evoluzione lo studio sull'Intelligenza Artificiale (AI) con un livello di comprensione e creatività pari a quello umana. Ci sono due tipi di approcci:

- bottom-up: tenta di sviluppare reti neurali simile al funzionamento di un cervello umano;
- top-down: tenta di simulare le prestazioni un cervello umano usando algoritmi informatici ad alta velocità.

9.5 Operazioni MUM-T

Tali operazioni combinano i punti di forza di ciascuna piattaforma per aumentare la consapevolezza della situazione, permettendo alle forze armate di condurre le operazioni, come il supporto al combattimento e di intelligence, sorveglianza e ricognizione (ISR). Henry Finneral, vice presidente del Tactical Unmanned Aircraft Systems Textron Systems in Cockeysville, Maryland afferma: "I sistemi senza pilota estendono la portata della comprensione di un sistema umano del loro ambiente circostante. Questa migliore comprensione permette di qualità decisione più informata, che a sua volta conduce a più sincronizzati, azioni reattive. Questa teoria collaborando fornisce anche un livello di sicurezza per la piattaforma equipaggio. Mentre l'ombra fornisce la missione esploratore in avanti, il soldato rimane in una zona non ostile protetta fino a quando gli obiettivi sono identificati e posizioni nemiche sono noti".

9.6 Piloti qualificati

Con l'espansione di UAS militari, soprattutto da parte delle forze armate degli USA, è diventato necessario avere piloti qualificati per tali compiti. Si sta discutendo sulle modalità di preparazione, sui tipi di addestramento e sulle eventuali certificazioni. Si rimanda al sito della [FAA](#) per ulteriori dettagli [39] e al seguente sito per le ultime novità circa la [FAA DRONE CERTIFICATION](#) [40]. Qui la [Scuola di pilotaggio droni riconosciuta ENAC](#) [37].

Future Roadmap

		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2025+
Interoperability	Technology	STANAG 4586 Compliant UAS	Common Data Links and Encryption	Service Oriented architecture	Service Repositories	Common Data standards across all services and platforms				Autonomy interoperability		
	Capability					Software Re-use	Common Ground Stations	Integrated Manned / Unmanned Teaming		Integrated Common operating PIC		Common Autonomy Capabilities across platforms
<p style="text-align: center;">Synergistic operations through the exchange, interpretation and action on data from coalition systems →</p>												
Autonomy	Technology	Machine Reasoning	Multi-Sensor Data Fusion	Cooperative Control	Neuro and Cognition Science	V&V Process Improvement			Machine Learning			Design for Certification
	Capability	Robust decision making	Integration of disparate info	Autonomous PED Evaluation	Environmental Understanding and Adaptation	Autonomous Collaboration						Intelligent Control
<p style="text-align: center;">Force structure reduction and full, reliable autonomous control during complex mission sets →</p>												
Airspace Integration	Technology	-Small UAS SFAR Procedures	-Safety Case Modeling	-Initial Sense and Avoid Technologies	Ground Based Sense and Avoid	Technology Performance Stds			Airborne Sense and Avoid	Standards for Certification		
	Capability	-Small UAS SFAR Procedures	Limited Operations During Day or Night with Single or Multiple UAS	-Small UAS flights in NAS	Safe Operations for DoD UAS Missions in Low Density Airspace	Dynamic Operations For Large UAS			Dynamic Operations for Large and Medium sized UAS			
<p style="text-align: center;">UAS Unfettered Access to National and International Airspace →</p>												
Communications	Technology	Secure Micro DDL	Chip Count Reduction & Single Chip T/R	GaN Technology	Eff. FEC & "Dial-a-Rate" CDL	Adv MIMO		Multi-focused Super-cooled Antennas		Adv. Error Control, Adv. MIMO Config., Network Path Diversity		
	Capability	Spectrum Flexible Systems	Lower SWaP Sys	Improved (100X) Receiver Design	Dynamic network reconfiguration	Improved Compression (H.265)		Conformal phased array antennas		Environmental Based Adaptive Dynamic System Changes		
<p style="text-align: center;">Assured LOS/BLOS comms, info assurance, and increased bandwidth capacity in an anti-access environment →</p>												
Training	Technology	DoD Standards for UAS Pilots and Operators	High Fidelity Simulators / Trainers	Motion Imagery Training	Universal Auto Take off And Landing Systems	Universal Ground Control Station			Common Payloads			
	Capability	Manned / Unmanned Teaming	Pre-Deployment Training, TTPs / Lessons Learned before arriving in AOR	Surrogate UAS Support / Training Improvement Plan	Universal Pilots and Operators							
Propulsion & Power	Technology	WTS 126	Nutating Disk	HEETE (core)	ESSP (core)	Fuel Cell	Advanced Lithium Ion		HEETE (engine)			
	Capability	Ducted Fan	Hi Power Hybrid Sys	Extended Endurance	Reduced Specific Fuel	HP/LP Power Extraction		Extreme Endurance				
<p style="text-align: center;">Highly efficient, powerful, portable, and supportable propulsion for increased persistence and mission effectiveness →</p>												
Manned-Unmanned Teaming	Technology	UAV FMV to manned acft	LOI2 OSRVT-5	LOI3 ROVER 6	LOI4 ROVER 7	LOI5 Rover 8 (hand Held On the Move)		LOI6		Cognitive Machine Learning		
	Capability	VUIT2 Air to Air	MUMT- 2 Air to Air To Grnd	MUMT- 3 Payload Control	MUMT- 4 Control of UAV from other acft	Unmanned Wingman	Manned / Unmanned Scout / ATK Teaming		Unmanned Scout / ATK			

Figure 9.4: Future Roadmap

9.7 Utilizzi futuri

RoboBee

RoboBee è un robot piccolo capace di volo condiviso, sviluppato da un team di robotica presso l'Università di Harvard. Questo è un esempio di micro-robotica, costruendo dei modelli con precisione ed efficienza sub-millimetrica. Per raggiungere volo, hanno creato muscoli artificiali in grado di battere le ali 120 volte al secondo. L'obiettivo del progetto è rendere RoboBee uno sciame di robot volanti completamente autonomo per applicazioni di ricerca, soccorso e l'impollinazione artificiale. Se i problemi sui microchip e sulla potenza saranno risolti, gruppi di RoboBees saranno utilizzati nella swarm intelligence, per la ricerca, soccorso e impollinatori artificiali. Per raggiungere l'obiettivo di swarm intelligence, il team di ricerca ha sviluppato due linguaggi astratti di programmazione:

- Karma, che utilizza diagrammi di flusso;
- OptRAD, che utilizza algoritmi probabilistici.

Le potenziali applicazioni di RoboBees, singolo e / o in gruppo, includono sorveglianza segreta e rilevamento di sostanze chimiche nocive [56].

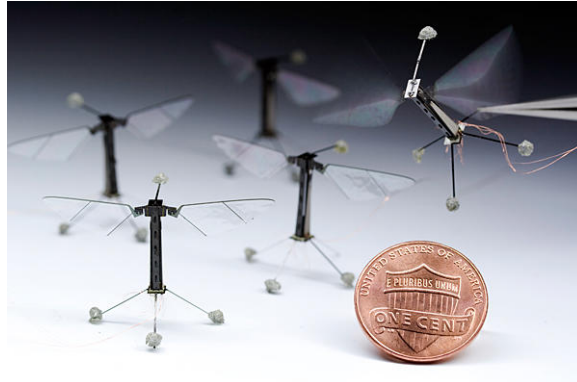


Figura 9.5: Sciame di RoboBee

Micro Droni Tattici Autonomi

Gli scenari operativi del 2030 saranno dominati dai Micro Droni Tattici Autonomi. Uno degli obiettivi è la capacità di monitorare ambienti ostili ed inaccessibili per le piattaforme tradizionali per un approccio tattico asimmetrico. L'implementazione dei Micro Droni Tattici Autonomi(MDTA) sui campi di battaglia aumenterà la rilevazione dati a scopi d'Intelligence, in luoghi aperti e chiusi. Un drone micro di tale

tipo avrà al massimo una lunghezza di 15 cm ed un peso complessivo non superiore ai 70 gr. La sua superficie è impossibile da colpire mediante fuoco nemico; inoltre è possibile installare sugli esoscheletri caratteristiche schermanti. I MDTA saranno dotati di navigatore GPS, sistema anticollisione, possibilità di comunicazione, telecamera di bordo e ricetrasmittitori ad infrarossi per identificare i segnali che rimbalzano dalle pareti di uno spazio chiuso. I MDTA saranno dotati della modalità "follow-me" avanzata. L'alimentazione dei MDTA è una vera e propria rivoluzione: utilizzano il concetto di "sanguisughe". Il micro drone viene lanciato verso una fonte di energia; arrivato a destinazione, l'energia viene trasmessa all'esoscheletro dell'uomo che a sua volta alimenterà il drone controllato in remoto. Questa tecnologia sarà messa a punto entro il 2040. Si pensa anche a ricaricare un drone facendolo atterrare su un cavo di energia elettrica, ma solo per missioni di ricognizione in remoto, non per operare sul campo. I MDTA del 2030 dovranno potersi ricaricare via wireless e attraverso energia organica rinnovabile.



Figura 9.6: Micro Drone Tattico Autonomo

Aquile contro i droni illegali

In Olanda la polizia locale utilizzerà le aquile per abbattere i droni illegali. Con l'obiettivo di proteggere lo spazio aereo nelle vicinanze di luoghi sensibili come gli aeroporti, la polizia olandese utilizzerà i rapaci per contrastare i droni che volano illegalmente vicino a questi luoghi. All'estero le autorità hanno utilizzato i più disparati mezzi ma tutti basati sull'elettronica mentre l'Olanda ha scelto una via sicuramente molto curiosa ma, sembra, altrettanto funzionale. Test sul campo hanno, infatti, dimostrato la loro efficacia ed una recente dimostrazione pubblica ha riscosso pieno successo. Da evidenziare che le autorità locali hanno dichiarato che nessun rapace è rimasto ferito durante l'addestramento. Circa 100 poliziotti si starebbero allenando con le aquile per poter intervenire con rapidità in caso di necessità. Questo team composto da poliziotti ed aquile per la cattura dei droni fuorigioco dovrebbe

diventare operativo entro la prossima estate. La notizia ha fatto storcere il naso alle associazioni animaliste che temono della sorte degli animali. Effettivamente, le eliche dei droni possono causare profonde ferite.

Fonte: [Web News - Aquile vs droni](#)

Airblock, il drone Lego programmabile

Airblock è il primo velivolo che sfrutta un'interfaccia grafica facile e immediata per programmarne le evoluzioni e un sistema modulare per cambiare forma. Simile al Lego, ha un cuore centrale che fa da motore e computer e dei moduli esagonali con le eliche. Messi in orizzontale fanno diventare Airblock un drone volante ma basta girarli e aggiungergli la base galleggiante per trasformarlo in un hovercraft che sfreccia sull'acqua. Come dicevamo però, l'interfaccia grafica aiuterà l'utente anche a seguire il comportamento del drone e programmarne i comportamenti, uno strumento divertente per gli adulti ma utile anche ai bambini che potranno così imparare le basi della programmazione in modo semplice e immediato. Per ora però Airblock ancora non è realtà: verrà lanciato a ottobre su Kickstarter a partire da 89 dollari. Può volare o andare sull'acqua e insegna a programmare.

Fonte: [Wired - Airblock Lego Drone](#)



Figura 9.7: Airblock - Drone Lego

Google e Chipote consegneranno burrito coi droni

Un giorno non troppo lontano i droni verranno impiegati per operazioni che oggi difficilmente risultano immaginabili: non solo per il monitoraggio aereo delle zone colpite da un'emergenza, per la fotografia o per la registrazione video dall'alto. Google e Chipote, catena di ristoranti messicani parecchio diffusa negli Stati Uniti, ne stanno per sperimentare l'utilizzo finalizzato alla consegna a domicilio dei burrito. La fase di test prenderà il via entro la fine del mese di settembre / ottobre e interesserà l'area di Blacksburg che ospita i dormitori della Virginia Tech. Gli studenti che vi risiedono saranno in grado di ordinare la pietanza attraverso il sito Web della catena oppure tramite l'applicazione per dispositivi mobile, vedendosi poi recapitare il cibo direttamente nel campus, tramite i droni di Project Wing. Il volo verrà controllato interamente da un sistema autonomo, ma un operatore in carne ed ossa sarà in qualsiasi momento pronto a prendere il comando dell'UAV, per evitare situazioni potenzialmente pericolose.

Fonte: [Web News - Consegna burrito coi droni](#)

DJI ed Epson: la realtà aumentata arriva sui droni

La realtà aumentata arriva anche sui droni per aiutare i piloti a controllarli con maggiore facilità. Epson e DJI, infatti, hanno stretto un accordo per realizzare una sorta di video occhiali che ricordano molto gli Hololens di Microsoft che permetteranno al pilota di visualizzare non solo i dati di bordo del drone ma anche le immagini trasmesse dalla videocamera, senza mai perderlo di vista. Trattasi, in buona sostanza, di occhiali FPV avanzati che sfruttando la realtà aumentata sovrappongono le immagini del drone con quanto il pilota vede davanti a se. Il frutto di questo accordo è l'Epson Moverio BT-300 che collegandosi all'app DJI GO permette di controllare con agilità i Phantom 3 e 4, i DJI Inspire e il Matrice 100. Gli innovativi Epson Moverio BT-300 sono occhiali con lenti trasparenti su cui sono proiettate le immagini di due display OLED a 720p attraverso i quali il pilota vede le immagini trasmesse in tempo reale dal drone. Questi occhiali integrano anche un sensore di movimento che permetterà di ottimizzare l'esperienza visiva. Grazie a questa collaborazione, i sistemi FPV di controllo dei droni sono pronti a fare un salto generazionale molto importante consentendo di utilizzare i sistemi FPV anche quando le norme di volo impongono di controllare a vista il drone. Epson Moverio BT-300 non è, però, fantascienza in quanto arriverà molto presto sul mercato. Gli occhiali per la realtà aumentata per i droni saranno commercializzati entro la fine dell'anno e possono già essere preordinati a 800 dollari.

Fonte: [Web News - Realtà aumentata sui droni](#)

Intel Aero, droni autonomi con occhi RealSense



Figura 9.8: Intel Aero

Intel ha presentato una nuova piattaforma per droni durante la conferenza IDF 2016 di San Francisco. Aero Platform per UAV è in pratica un kit di sviluppo, disponibile a 399 dollari, che può essere utilizzato per progettare quadricotteri con capacità visive, grazie alla presenza di una videocamera RealSense. Aero Ready To Fly è invece un drone già assemblato che permette agli sviluppatori di testare le applicazioni. Il componente principale della Aero Platform for UAV (Unmanned Aerial Vehicle) è la Aero Compute Board, una scheda con processore quad core Intel Atom x7-Z8700 a 2,4 GHz, 4 GB di memoria LPDDR3, 16 GB di memoria eMMC, connettività WiFi 802.11ac, uscita micro HDMI 1.4b, slot microSD e un connettore M.2 per SSD con interfaccia PCIe. È presente anche un connettore USB 3.0 dedicato per la videocamera RealSense R200. Quest'ultima può essere acquistata a parte (Vision Accessory Kit) ad un prezzo di 149 dollari. Il sistema operativo è Yocto Project 2.1 (Krogoth) basato su Linux 4.4.3. Aero Platform for UAV supporta altri accessori plug & play, come il controller di volo con software Dronecode PX4, moduli GPS e LTE. I maker possono utilizzare AirMap SDK per impostare le cosiddette No-Fly Zone, ovvero aree in cui è vietato permanentemente l'accesso ai droni, ad esempio aeroporti e edifici governativi, o luoghi con divieto temporaneo, ad esempi in caso di incendi o manifestazioni. Gli stessi accessori possono essere utilizzati con Aero Ready To Fly, un quadricottero completo con Aero Compute Board e videocamera RealSense R200. Questo drone, in vendita da fine anno ad un prezzo non specificato, rappresenta la soluzione ideale per coloro che vogliono sviluppare e testare le applicazioni. Il drone Yuneec Typhoon H a sei eliche, visibile nel video, sfrutta la tecnologia RealSense per vedere gli oggetti ed evitare gli ostacoli. Il prezzo è 1.899 dollari.

Fonte: [Web News - Intel Aero Droni](#)

Facebook Live arriva sui droni DJI

I droni di DJI possono adesso diventare delle vere e proprie telecamere per trasmettere in diretta streaming su Facebook tutto quanto inquadrano davanti a loro. L'azienda, infatti, sta per iniziare il rollout del nuovo aggiornamento dell'applicazione di controllo dei suoi droni includendo questa nuova ed attesa funzionalità. L'aggiornamento sarà, in realtà, disponibile inizialmente solo per gli utenti iOS. Chi possiede uno smartphone o un tablet Android dovrà attendere ancora un pochino in più. Grazie a questo update, gli utenti in possesso di un drone DJI compatibile (Phantom 3, 4 e Inspire) potranno riprodurre in tempo reale in streaming tutto quanto il drone sta inquadrando come panorami, spiagge, montagne e tanto altro. Trattasi di una possibilità davvero interessante che potenzialmente trasforma i droni della DJI in qualcosa di più che semplici oggetti passatempo. Rispettando le precise norme locali sull'utilizzo di questi mezzi volanti, i droni DJI possono diventare ottimi strumenti per riprendere situazioni particolari come eventi o luoghi di avvenimenti speciali. L'integrazione dei servizi di Facebook Live è possibile grazie alle nuove API dedicate a questa piattaforma che erano state annunciate durante l'ultima F8 Developer Conference. Grazie a queste API, non solo i droni ma potenzialmente qualsiasi altro tipo di dispositivo dotato di fotocamera e di connessione ad internet potrebbe diventare un perfetto strumento per trasmettere le dirette su Facebook. Nel caso dei droni della DJI, lo streaming avviene attraverso l'app installata nello smartphone o nel tablet e dunque si invita a prestare attenzione con i tempi per non esaurire precocemente il traffico dati messo a disposizione dal proprio gestore di telefonia mobile.

Fonte: [Web News - Facebook Live su Droni DJI](#)

Google Project SkyBender: droni e connessione 5G

Il Project Loon, messo in campo circa due anni e mezzo fa, ha l'obiettivo di portare la connessione Internet ovunque tramite l'impiego di palloni aerostatici, così come l'acquisizione di Titan Aerospace per garantire copertura a qualsiasi territorio mediante l'utilizzo di droni. Focalizzando l'attenzione in particolare su quest'ultima iniziativa, risulta interessante quanto riportato nel fine settimana sulle pagine del Guardian. Il gruppo di Mountain View ha affittato un hangar da circa 1.400 metri quadrati appartenente a Virgin Galactic, situato nel New Mexico presso il terminal Spaceport America e vicino ad una cittadina chiamata Truth or Consequences, per una spesa giornaliera quantificata in 1.000 dollari. Al suo interno bigG starebbe portando avanti dei test sul cosiddetto Project SkyBender, un sistema sviluppato appositamente per trasmettere al suolo un flusso dati pari a diversi Gigabit al secondo, con una velocità circa 40 volte superiore rispetto a quella delle attuali reti

4G. In altre parole, una connessione 5G dal cielo, resa possibile dall'impiego di droni alimentati con l'energia generata da pannelli solari installati sulla superficie. L'invio e la ricezione avverrebbe su frequenze EHF, ovvero sfruttando le cosiddette onde millimetriche. Al momento i test di Google sarebbero condotti su alcuni prototipi di cui non sono purtroppo disponibili immagini. Dai documenti trapelati emerge inoltre che la FCC (Federal Communications Commission) ha assicurato all'azienda californiana la possibilità di effettuare le prove fino al mese di luglio, dopodiché l'autorizzazione dovrà essere rinnovata. Servirà però con tutta probabilità più tempo per il perfezionamento della tecnologia, che un giorno potrebbe essere impiegata non solo nei cieli degli Stati Uniti, ma soprattutto laddove ancora oggi l'accesso a Internet rappresenta un'utopia, bloccando di conseguenza sviluppo, comunicazione e informazione. Da Mountain View non sono giunti commenti su quanto riportato.

Fonte: [Web News - Google Project SkyBender](#)

192 Utilizzi futuri dei droni

Al seguente indirizzo sono elencati 192 utilizzi futuri dei droni, in vari campi, e con svariate forme (alcune anche diverse da quelle attuali). [Usi futuri](#) ³⁷.

9.8 UAV Jobs: carriere nell'industria dei droni

È previsto che 100.000 posti di lavoro supplementari riguardanti gli UAV invaderanno il mercato nei prossimi anni. I campi di applicazione, come già visto, sono tanti: dalla fotografia aerea e cinematografia negli sport estremi (o cinema all'aperto) all'indagine della terra, fino ai produttori stessi di droni. Il mercato del lavoro nel settore degli UAV è, perciò, in costante crescita. Sul sito [DroneJobs](#) è possibile trovare un elenco di lavori con i droni, filtrando per area geografica e categoria.

³⁷ <http://www.futuristspeaker.com/business-trends/192-future-uses-for-flying-drones/>

Conclusioni

Il mondo in cui viviamo, oramai, pullula di droni: chiunque può comprare un drone consumer, partendo da poche centinaia di dollari, per i suoi scopi amatoriali o hobbistici, con diversi gradi di sofisticazione. Con un prezzo maggiore è possibile comprare un drone migliore, in grado di eseguire sorveglianza aerea, fare foto e video in HD e trasportare carichi di pochi chilogrammi a distanze di pochi chilometri. È possibile comprare anche droni terrestri di piccole dimensioni per gareggiare con gli amici (anche se spazi appositamente studiati non sono ancora disponibili). Anche il governo civile e commerciale possono usare i droni per i più svariati utilizzi, migliorando così il lavoro dell'uomo o rendendolo più preciso e facile da svolgere. Sul web, infatti, sono già disponibili patentini ufficiali rilasciati dall'ENAC e sul sito [Drone-Jobs](#) è possibile trovare lavoro con i droni in vari settori (cosa che poteva risultare fantascientifica fino a qualche anno fa). È chiaro che gli Stati Uniti non possono fermare la proliferazione dei droni, ma possono aiutare a influenzare il modo in cui i droni saranno utilizzati e percepiti dagli altri. Allo stato attuale, sono quasi novanta gli stati e attori non statali che hanno accesso a droni di medie dimensioni, dotati di maggiore gamma, resistenza e capacità di carico rispetto alla controparte degli hobbisti. Gli investimenti in tale settore sono sempre in costante aumento e sempre più paesi concorrono ad utilizzare UAV per le più disparate attività. Gli UAV specifici per i militari continueranno a proliferare, anche se il loro utilizzo sarà limitato a militari addestrati (con un dato livello) e richiederanno infrastrutture specifiche. Un fattore di crescita molto importante è il rapporto qualità - prezzo, visti i recenti sviluppi dell'intero sistema UAS. Per un completo utilizzo degli UAV nei vari ambiti si devono ancora risolvere le problematiche circa l'integrazione nello spazio aereo, gli impedimenti normativi, i gradi di autonomia, l'assicurazione di alcuni velivoli e un'interoperabilità tra i vari ambienti di lavoro e agenzie / enti. Sarà necessario considerare l'avvento di nuove architetture di comunicazione, di sistemi anticollisione, delle informazioni condivise su reti e reti ad hoc, nonché combustibili alternativi. Negli anni a venire un UAV sarà dotato di tecnologie ancora più sofisticate: ad esempio DARPA sta progettando un controllo multiveicolo (come già accennato nel capitolo 1), permettendo ad un solo operatore di gestire più velivoli contempora-

neamente, con tutta una serie di vantaggi già descritti. Da tale tecnologia deriva lo swarming (sciame di UAV), per sopraffare i sistemi di difese nemici. DARPA sta anche studiando un sistema di gestione distribuito della battaglia per garantire operazioni coordinate, guidati da strumenti decisionali automatizzati. In tal modo si cercherà di proteggere i sistemi dall'hacking cibernetico e da possibili dirottamenti. Sempre DARPA sta progettando dei sistemi che permettano la gestione dell'UAV nel caso di inceppamenti del GPS. Un'analista di ricerca di *Frost & Sullivan* prevede che dal 2013 in poi i droni saranno usati come satelliti, per i servizi di comunicazione e di trasmissione, come mezzi di trasporto e sarà applicata la legge urbanistica. Nonostante i suddetti progressi degli ultimi anni, gli UAV sono ancora ben lungi dall'essere una tecnologia matura ed esente da difetti. Infatti, la problematica più importante dei droni (a prescindere dalla categoria di appartenenza) riguarda la sicurezza. Questi sistemi potrebbero essere dirottati e utilizzati per distruggere basi e navi, oppure obiettivi civili. Occorrerà migliorare sia la parte hardware che software di tali sistemi man mano che essi saranno sempre più presenti nell'uso quotidiano. I problemi di sicurezza e le tecniche di hacking analizzate in questa tesi sono molto importanti e devono servire a creare le giuste contromisure, ma soprattutto per capire che sistemi del genere, con la loro stazza e il loro contenuto non devono mai cadere in mani sbagliate. I droni da combattimento stealth, attualmente gestiti solo dagli Stati Uniti, combineranno le caratteristiche dei droni di media e grandi dimensioni, con specifiche tecniche militari, tra cui la bassa osservabilità, che permetterà al velivolo di svolgere missioni ISR in ambienti aerei negati o vietati. In futuro, però, altri paesi si stanno attivando per la produzione di velivoli con tecnologia stealth, tra cui Russia, Israele, Cina, Francia, Italia, Svezia, Spagna, Grecia, Svizzera, e Regno Unito. Tutto questo comporterà nuove sfide e nuovi assetti di guerra asimmetrica e tecnologica. Tuttavia, senza capacità di attacco furtivo o elettronico, tali sistemi rimarranno vulnerabili alle difese aeree avanzate, nonché agli aerei da caccia nemici. I futuri droni stealth, di sicuro, avranno la capacità di fare rifornimento autonomo in volo (un esempio è il modello X-47B), aumentando la relativa portata operativa. Prendere consapevolezza dei concetti di *retroingegneria* sarà una sfida importante, in caso di cattura di droni stealth.

A | Lista UAV

Di seguito una lista degli UAV sviluppati nei diversi paesi del mondo. I paesi sono elencati in ordine alfabetico, compresa la loro missione primaria e / o l'anno del primo volo. La lista si intende aggiornata agli ultimi anni 2015 - 2016 [49].

Algeria

- Amel (UAV)
- AL fajer L-10
- CSS-01

Arabia Saudita

- IBL-2000 Reconnaissance
- Mini UAV Gavran (Raven) Reconnaissance
- Medium UAV Reconnaissance
- Nikola Tesla-150 - First Serbian unmanned aerial vehicle built by a team of students called *EMA*
- Vrabac UAV
- Pegaz 011 (development)
- Rapier Unmanned Helicopter Unmanned combat aerial vehicle with weapons (development)
- High Speed Target Drone UCAV for long range, high speed strike capability (development)
- Tip-Jet Helicopter (development)
- Kobac Reconnaissance
- BPL SILA 750C Long range Reconnaissance with weapons (development)
- Gavran 2K Reconnaissance
- Nikola Tesla-300 Reconnaissance
- Nikola Tesla-500an advanced version of NT-300, much lighter in weight, Reconnaissance (development)
- Mini UAV Sova medium Reconnaissance
- IBL-40 smaller version Reconnaissance
- Pupin BPL 2 medium helicopter Reconnaissance (development)
- Galeb Reconnaissance under testing from Novi Sad university

Argentina

- AeroDreams Chi-7 (AeroDreams)
- AeroDreams Strix Reconnaissance (2006)
- AeroVision Arcangel (AeroVision) Agricultural and civilian surveillance (2010)
- FMA IA X 59 Dronner (FAdeA) - reconnaissance (1972)
- Lipán M3 *Apache* - reconnaissance (2007)
- Lipán XM4 - reconnaissance (development)
- Mantis (UAV) - combat (2009)
- ARA Guardian (UAV) - reconnaissance (2007)
- Nostromo Caburé (Nostromo Defensa)
- Nostromo Centinela
- Nostromo Yarará
- Nostromo Yagua
- Quimar MQ-1 *Chimango*
- Quimar MQ-2 *Bigua*

Armenia

- Krunk UAV
- X-55 (UAV)

Australia

- AAI Corporation Aerosonde - weather data
- AAI Corporation Aerosonde Mk.1
- AAI Corporation Aerosonde Mk.2
- AAI Corporation Aerosonde Mk.3
- AAI Corporation Aerosonde Mk.4
- Aerosonde Aeroguard
- ADRO Pelican Observer
- AVT Hammerhead Advanced VTOL Aerospace
- BAE Brumby
- BAE Kingfisher
- Coptercam
- Cyber Technology CyberQuad
- Cyber Technology CyberEye
- Cyber Technology CyBird
- Cyber Technology CyberWraith
- Codarra Avatar
- CSIRO Mantis
- GAF Jindivik
- GAF Turana
- Entecho Demipod
- Entecho Mupod
- ADI Jandu
- Silvertone Flamingo
- Sonacom Mirli
- Sydney University Brumby
- UAV Vision G18 Aeolus
- UAV Vision T21

- UAV Vision T26
- AVT Hammerhead
- V-TOL i-copter Phantom
- V-TOL i-copter Seeker
- V-TOL Mini Warrigal
- V-TOL Warrigal Explorer
- V-TOL Explore
- V-TOL Arrow
- V-TOL Quadrotor
- V-TOL Octocopter

Austria

- Schiebel Camcopter S-100, reconnaissance
- Diamond Hero

Azerbaijan

- Aerostar
- AZAD (AZAD Systems Co)
- Orbiter-2M

Belgio

- MBLE Épervier (1969)
- B-Hunter UAV (2002)
- Gatewing X-100 UAV (2010) Surveying and mapping applications
- Flying-Cam 3.0 SARAH (2011)
- AltiGator ALG-1000
- OnyxStar FOX-C8
- OnyxStar FOX-C8 HD
- OnyxStar FOX-C8 HD LIDAR
- OnyxStar FOX-C8 GEO
- OnyxStar FOX-C8 THERMO
- OnyxStar FOX-C8 XT Observer
- OnyxStar HYDRA-12
- OnyxStar XENA-8F

Bielorussia

- Grif-1[
- INDELA-I.N.SKY
- Berkut

Brasile

- 14-X, a mach 10 UVA scramjet under development by FAB
- A-20 LTA VANT Commercial UAV of Space Airships
- Acauã VANT Experimental UAV of the Brazilian Air Force to develop electronic systems for future Brazilian UAVS
- XMobots Apoema 1000B LALE (low-altitude long-endurance) (2009)
- AGPlane UAV of AGX/Aeroalcool Agricultural and civilian surveillance UAV
- Arara M1 Small surveillance UAV
- Arara T1 Small UAV/target of AGX/Aeroalcool for the Brazilian Navy
- Azimute Santos Lab Comercio e Industria Aeroespacial Ltda
- BQM-1BR First Brazilian UAV/target of the CBT (Companhia Brasileira de Tratores)
- Caçador, developed from Israeli IAI Heron
- Carcara Infantry portable UAV, in service with the Brazilian Marine Corps Santos Lab Comercio e Industria Aeroespacial Ltda.
- Carcara II New version of Carcara for the Navy,Santos Lab Comercio e Industria Aeroespacial Ltda
- DELTA SR target of the Brazilian Air Force
- DELTA CR target of the Brazilian Air Force
- Dumont - New Technologies
- Echar 20A UAV of XMobots.
- Eletron UAV of the BRVANT
- Avibras Falcão Tactical UAV, Avibras
- Flight Technologies FS-01 Watchdog Brazilian Tactical reconnaissance UAV
- Flight Technologies FS-02 AvantVision Brazilian mini UAV
- Flight Technologies FS-03 VTOL-UAV with 150 km range
- Flight Technologies FT-100 Horus Soldier portable UAV, in small service in the Brazilian army Flight Technologies based on FS-02
- Flight Technologies FT-200 Watchdog Brazilian Tactical reconnaissance UAV by Flight Technologies based in FS-01
- Flight Technologies VT-15 UAV In test of the Brazilian Army, based on Flight Technologies FT-200 Watchdog
- Gyro 200 ED mini-UAV Quadcopter of the Gyrofly Innovations
- Gyro 500 Mini-UAV Quadcopter of the Gyrofly Innovations
- Harpia This is a medium size tactical UAV of the Harpia Systems (Joint-Venture of the Embraer Defense and Security, AEL Systems and Avibras), halted in January 2016
- Hornet H2 UAV of the BRVANT
- Jabirú Santos Lab Comercio e Industria Aeroespacial Ltda.
- Aeromot K1AM UAV/Target drone for the Brazilian Navy, based in Northrop KD2R-5 Drone
- Nauru 500A UAV of XMobots

- Proton UAV of the BRVANT
- SARVant Surveillance UAV developed by a consortium of OrbiSat (SAR Radar) Aeroalcool (airframe) and AGX (flight controls)
- Sea Runner target of the Brazilian Air Force.
- Tiriba Brazilian mini UAV by AGX Tecnologia.4 kg, light civilian UAV

Bulgaria

- RUM-2MB target (1971)
- M-200 target (1971)
- UtRUM target (1974)
- P-200 target (1975)
- NITI

Canada

- Aeryon Scout, reconnaissance (2009)
- Aeryon SkyRanger, reconnaissance (2013)
- Canadair CL-89, reconnaissance (1964) - joint funded by UK, later by West Germany as well
- CL-289, reconnaissance (1990)
- CL-227 Sentinel, reconnaissance (1977)
- CL-327 Guardian, reconnaissance (1996)
- CH-160, reconnaissance (2009)
- CH-280, reconnaissance (2010)
- CH-320, reconnaissance (2012)
- CU-162 Vindicator (2011)[53]
- Draganflyer E4, surveillance (2009)
- Draganflyer X4, surveillance (2009)
- Draganflyer X6, surveillance (2009)
- Draganflyer X8, surveillance (2010)
- Draganfly Tango, reconnaissance
- PrecisionHawk Lancaster, agriculture (2010)
- Prioria Robotics Maveric
- Silver Fox ALIX (Atlantic Littoral Intelligence Surveillance and Reconnaissance Experiment) (2004)
- ADVANCED SUBSONICS/XIPHOS Grasshopper (2000)
- MMIST CQ-10 Snowgoose (2000)

Cile

- Sirol, reconnaissance and research (2007)
- Sirol 221, reconnaissance and meteorology research (2008)
- Stardust II, reconnaissance and aerial imaging(2010)
- Polytechnic. Acad. Chilean Air Force Vantapa
- Lascar UAV, reconnaissance (2012)

Cina

Tantissimi sono gli UAV e **Micro Air Vehicle (MAV)** prodotti in Cina. Essi sono divisi in numerose categorie e sono utilizzati sia in ambito militare (ricognizione e sorveglianza) sia in ambito civile. Alla fine del 2013 ci sono più di quindicimila UAV che operano in Cina nel solo settore civile. Per maggiori dettagli si rimanda al link: [UAV della Cina](#)

Colombia

- Navigator X2
- Iris UAV
- Araknos. Advector Unmanned Systems

Corea del Nord

- domestically produced Chinese Sky-09P developed through North Korea's UAV program 2005-2014
- unnamed several reconnaissance/attack UAV's were mounted on Zil-130 light trucks and displayed April 15, 2012 during Pyongyang's military parade celebrating the 100th Anniversary of the birth of the Great Leader Kim Il Sung, similar to the US developed Beechcraft MQM-107D Streaker introduced in 1987

Corea del Sud

- Korea Aerospace Night Intruder NI-100N or DUV-4, medium-range tactical reconnaissance
- Korea Aerospace RQ-101 short-range tactical reconnaissance
- Korean Air Aerospace KUS-7
- Korean Air Aerospace KUS-9 medium-range tactical reconnaissance
- uconsystem Remo Eye 006
- KARI TR-100 Tilt rotor VTOL UAV
- KARI TR-60 Miniature version of TR-100
- KAL KUS-TR or TR-6x an advanced version of TR-100, much lighter in weight

Costa Rica

- SA-SkyHunter, aerial mapping (2014)

Croazia

- BL M-99 Bojnik

Egitto

- CAIG Wing Loong, MALE UCAV
- R4E-50 Sky Eye, Reconnaissance UAV
- ASN-209, Reconnaissance UAV
- Lipán M3, Reconnaissance UAV
- Yarárá, Reconnaissance UAV
- Nostromo Caburé, Reconnaissance UAV
- Camcopter, Helicopter Reconnaissance UAV
- Model-324 Scarab, Jet Reconnaissance UAV

Emirati Arabi Uniti

- Adcom Military Industries Yabhon
 - Yabhon RX-6
 - Yabhon RX-18
 - Yabhon Unite

Filippine

- Raptor
- Knight Falcon
- TUA

Finlandia

- MASS Mini-UAV, reconnaissance
- AVARTEK AT-04

Francia

- Aeroart Aelius
- Aérospatiale C.22, target drone
- Altec MART
- CAC Systèmes Hélicoptère
- CAC K100
- CAC Fox
- Dassault LOGIDUC

- Dassault AVE-D Petit Duc, research (2000)
- Dassault AVE-C Moyen Duc, research (2001)
- Dassault nEUROn, combat (expected in 2011)
- Dassault-Sagem SlowFast, reconnaissance (2004)
- EADS Harfang, reconnaissance (2006)
- EADS Talarion
- Flying-Robots FR102, soft wings based (2008)
- Lehmann Aviation L-A series civilian drones, for high precision mapping, mining/construction, precision agriculture
- Lehmann Aviation L-M series civilian drones, for long-range real-time surveillance
- Nord CT.10 (Arsenal / SFECMAS Ars.5.501)
- Nord CT.20 (Arsenal / SFECMAS T.5.510)
- Nord CT.22
- Nord CT.41
- Parrot AR.Drone
- SAGEM Crecerelle
- SAGEM Patroller
- SAGEM Sperwer, reconnaissance
- Techno-Sud Vigilant
- Verhagen X2 Autonomous Helicopters, flycam reconnaissance (2008)

Georgia

- Unmanned Aerial System

Germania

- Aibotix Aibot X6, multicopter for mapping and industry
- AiDrones AiD-H14, industrial helicopter UAV
- AiDrones AiD-H25, industrial helicopter UAV
- AiDrones AiD-H40, industrial helicopter UAV
- EMT Aladin, reconnaissance
- Argus As 292, anti-aircraft target drone (1937)
- Argus Fernfeuer
- AscTec Falcon 8, industrial octocopter for aerial imaging (UAV)
- AscTec Firefly, hexacopter for research and development (UAV)
- AscTec Hummingbird, quadcopter for research and development (UAV)
- AscTec Pelican, quadrotor for research and development UAV
- birdpilot X-4 Multicopter, lightweight long endures industrial quadcopter for aerial imaging (UAV)

- birdpilot X-8 Multicopter, compact industrial octocopter for aerial imaging (UAV)
- EADS Barracuda, German-led program together with Spain
- EMT Fancopter, reconnaissance[citation needed]
- EMT X-13
- Fieseler Fi 157, anti-aircraft target drone (1937)
- EMT Luna, reconnaissance
- Hyfish
- MIKADO
- MikroKopter and variants QuadroKopter, HexaKopter and OktoKopter
- OFFIS Guard reconnaissance and research
- Rheinmetall KZO, reconnaissance
- Rheinmetall Carola P70
- Rheinmetall Carola T140
- Rheinmetall Taifun
- EuroHawk, reconnaissance (developed together with the U.S.)
- SIRIUS UAS (MAVinci)
- V-1 flying bomb

Giappone

- Fuji TACOM, reconnaissance
- Fuji FFOS, observation
- Fuji HK-2B
- Fuji J/AQM-1, target
- Fuji RPH-2, industrial
- JSDF B-4
- Kawasaki KAQ-1, target
- Kawasaki KAQ-5
- Yamaha R-50, industrial
- Yamaha R-MAX, industrial
- JAXA S3TD

Giordania

- Jordan Falcon
- I-wing
- Jordan Arrow
- Silent Eye

Grecia

- HAI Pegasus, reconnaissance (1982)
- HAI Pegasus II, reconnaissance (2005)
- EADS 3 Sigma Nearchos, reconnaissance (1996)
- EADS 3 Sigma Iris
- EADS 3 Sigma Alkyon
- EADS 3 Sigma Perseas
- BSK Defense Erevos MALE reconnaissance UAV (under development)

- BSK Defense Phaethon J tactical reconnaissance UAV
- BSK Defense Phaethon G tactical reconnaissance UAV (under development)
- BSK Defense Kyon mini reconnaissance UAV
- BSK Defense Ideon mini reconnaissance UAV
- HCUAV Surveillance UAV (2015)

India

- DRDO Abhyas
- DRDO AURA
- DRDO Fluffy
- DRDO Imperial Eagle
- DRDO Kapothaka
- DRDO Lakshya
- DRDO Netra
- DRDO Nishant
- DRDO Rustom
- DRDO Ulka
- Gagan UAV
- IAI-HAL NRUAV
- NAL Slybird
- NAL / ADE Black Kite
- NAL / ADE Golden Hawk
- NAL / ADE Pushpak
- Dhaksha
- Indian
- Samhams Technologies
- Pawan UAV
- ADE Nishant

Indonesia

- PUNA Sriti (Pesawat Udara Nir-Awak, Made by BPP Teknologi)
- PUNA Wulung (Pesawat Udara Nir-Awak, Made by BPP Teknologi)[88]
- LSU-02 (Lapan Surveillance UAV-02, Made by Lapan)
- LSU-05 (Lapan Surveillance UAV-05, Made by Lapan)
- STD (Small Target Drone, Made by PT Mandiri Mitra Muhibbah - 2004)
- MTD (Medium Target Drone, Made by PT Mandiri Mitra Muhibbah - 2010)
- LTD (Large Target Drone, Made by PT Mandiri Mitra Muhibbah - 2006)

Internazionali

- Dassault nEUROn (France/Sweden)
- EADS Barracuda (Germany/Spain)
- EADS IRIS
- EADS Talarion
- EADS Sharc
- IAI-HAL NRUAV
- Singular Aircraft SA03 (U.K./Spain)

Iran

- Ababil 3 (Unmanned aerial vehicle)
- Ghods Ababil
- Ghods Mohajer
- Ghods Saeghe
- IAIO Fotros
- Hemaseh
- Hod Hod
- Karrar (Long Range Attack Drone)
- Nazir
- Pars robot
- Raad
- Sabokbal
- Sarad
- Sarir
- Shahbal
- Shahed 129
- Sofreh Mahi (Stealth UCAV)
- Talash
- Yasir (UAV)
- Zohal

Israele

- AeroStar
- IMI Mastiff
- Top I Vision Casper 250
- Top I Vision Aerostat
- Silver Arrow Micro-V
- Silver Arrow Sniper
- IAI Skylark - Canister Launched mini-UAV system
- IAI Scout
- IAI Searcher
- IAI General
- IAI Harpy
- IAI Harop
- IAI I-View
- IAI Panther
- IAI Ranger (with Switzerland)
- IAI Heron
- IAI Eitan
- AAI RQ-2 Pioneer (with the USA)
- IAI Hunter (with the USA)
- AAI RQ-7 Shadow
- IAI Bird-Eye

- Elbit Skylark
- Elbit Hermes 90
- Elbit Hermes 180
- Elbit Hermes 450
- Elbit Hermes 900
- Elbit Hermes 1500
- MicroFalcon
- Gagan UAV
- Innocon MiniFalcon I
- Innocon Mini Falcon II
- Innocon Falcon Eye
- Aeronautics Defense Dominator
- Aeronautics Defense Orbiter
- Aeronautics Aerostar
- Aeronautics Aerolight
- EMIT Blue Horizon 2
- EMIT Sparrow
- EMIT Butterfly
- Elbit (Silver Arrow) Skylark I
- Tadiran Mastiff
- Urban Aeronautics AirMule
- Urban Aeronautics X-Hawk

Italia

- Meteor, now SELEX Galileo Avionica Mirach series (Mirach 26, Mirach 150), target drone and reconnaissance variants
- SELEX Galileo Avionica NIBBIO, tactical reconnaissance
- SELEX Galileo Avionica FALCO, reconnaissance
- Alenia Aeronautica Sky-x, research UCAV (2005)
- Alenia Aeronautica Sky-y, research-reconnaissance MALE (2007)
- Alenia Aeronautica Molynx/Black Lynx, reconnaissance HALE (in development)
- Alenia Aeronautica ITV
- Meteor P.1
- Meteor P.2
- Meteor P.70
- Mirach 26
- Mirach 100/4
- Mirach 100/5
- Mirach 150
- Nimbus EosXi, Unmanned Aerial Vehicle in Hybrid airship configuration
- Piaggio P.1HH HammerHead
- Aeronautica Lombarda A.R.
- Assalto Radioguidato
- Selex ES Falco
- Sistemi Dinamici HERO

Lettonia

- UAVFACTORY Penguin B dual-purpose (civil/military), fixed-wing UAV (2010)
- UAVFACTORY Penguin C long endurance fixed wing UAV system (2015)
- UAVFACTORY Varna UAV reconnaissance electric flying wing unmanned system (discontinued)

Malesia

- Eagle ARV System
- ALUDRA CTRM Aero Composites

Messico

- QAE 108-100 by Quetzal Aeroespacial an UAV able to perform aerial observation in inaccessible and inhospitable areas.
- QAE 108-200 by Quetzal Aeroespacial (In development) an UAS capable to perform vertical photography and orthophotography.
- QAE 108-300 by Quetzal Aeroespacial (In development) an UAS capable to perform remote perception with a multispectral camera.
- S4 Ehécatl by Hydra Technologies
- E1 Gavilán by Hydra Technologies
- El Beta-1A by AEROVANTECH

Nigeria

- domestically produced Gulma UAV
- domestically produced Amedo UAV
- CASC Rainbow CH3

Norvegia

- Cryowing 1, developed by Northern Research Institute, 2007
- Cryowing Mk 2, developed by Northern Research Institute, 2011
- MATS C, developed by Stephansen, Target drone.
- Cruiser, developed by ET-Air
- Cruiser 2, developed by ET-Air
- Aerobot Canard, developed by Robot Aviation
- Hornet PD-100 PRS, developed by Prox Dynamics
- Black Hornet Nano., developed by Prox Dynamics

Nuova Zelanda

- KAHU-HAWK
- RQ-84 AreoHawk Hawkeye UAV LTD
- Valkyrie X-craft Enterprises
- Angelray X-craft Enterprises

Olanda

- Higheye HE60, Cam helicopter
- Higheye automatic camera helicopters
- Verhagen X2
- Geocopter B.V.

Pakistan

- Ababeel (Small Scale Target Drone), developed by PAC
- Ababeel III (Target Drone), developed by Albadeey Technologies
- Aerobot (Various research purposes), developed by Pakistan Aerospace
- Bazz UAV (Target Drone), developed by Technocrafts
- Baaz UAV (large) (Large Scale Target Drone), developed by PAC
- Border Eagle (Surveillance Drone), developed by Integrated Dynamics
- NESCOM Burraq (Combat drone developed by NESCOM)
- Explorer UAV (Civilian UAV), developed by Integrated Dynamics
- Falco UAV (Version of Italian drone built by PAC under licence)
- Firefly UAV (Rocket Propelled UAV), under development by Integrated Dynamics
- Flamingo UAV (Medium Range UAV), Reconnaissance Drone built by SATUMA
- FST UAV (Full Scale Trainer UAV), developed by SATUMA
- GIDS Shahpar, developed by GIDS
- Hawk MK-V UAV, developed by Integrated Dynamics
- Hornet UAV (Surveillance Drone), developed by Integrated Dynamics
- HST UAV (Half Scale Trainer UAV), developed by SATUMA
- HUMA I (Remote Sensing), developed by Integrated Defence Systems
- Jasoos (Reconnaissance Drone), developed by SATUMA
- Jasoos II (Bravo +), (Tactical Range Reconnaissance), developed by SATUMA
- Jumbo Bazz (Larger Version of Bazz), developed by Technocrafts
- Mini Electric UAV (Silent UAV), developed by Technocrafts
- Mukhbaar (Short Range Reconnaissance Drone), developed by SATUMA

- Nishan MK-II (High-Speed Target Drone), developed by Integrated Dynamics
- Nishan TJ-1000 (Jet-Powered Target Drone), developed by Integrated Dynamics
- Rover UAV (Civilian Scientific Data Gatherer), developed by Integrated Dynamics
- Satuma NB-X2
- Satuma Jassos
- Shadow MK-II (Surveillance Drone), developed by Integrated Dynamics
- Shooting Star UAV (High Speed Target Drone), developed by SATUMA
- Stingray UAV (Mini UAV), developed by SATUMA
- Tornado UAV (Decoy UAV), developed by Integrated Dynamics
- Tunder SR (Short Range Target Drone), developed by SATUMA
- Tunder LR (Long Range Target Drone), developed by SATUMA
- Uqab UAV (Real Time Reconnaissance), developed by ACES
- Uqab-II (Naval Variant of the Uqab), Pakistan Navy has inducted first squadron
- Vector UAV (Surveillance Drone), developed by Integrated Dynamics
- Vision MK-I (Surveillance Drone), developed by Integrated Dynamics
- Vision MK-II (Larger version of MK-I), developed by Integrated Dynamics

Perù

- CEDEP-1
- PEGAS

Polonia

- Pteryx UAV
- HOB-bit
- SKNL PRz PR-1 Szpion
- SKNL PRz PR-2 Gacek
- SKNL PRz PR-4 (SAE lifter)
- SKNL PRz PR5 Wiewiór
- SKNL PRz PR5 Wiewiór plus - (Studenckie Koło Naukowe Lotników, Politechnika Rzeszowska - SKNL PRz)
- Flytronic UAV FlyEye
- Flytronic UAV Tarkus

Portogallo

- ANTEX-M
- QuadCopter UX-4001 Mini
- QuadCopter UX-401
- OctoCopter UX-801
- Tekever AR4
- PAIC Império SP1
- I-SKY M6

Regno Unito

- Aesir Hoder
- Airspeed Queen Wasp (1936)
- ArduCopter
- BAE Systems Ampersand, reconnaissance (2008)
- BAE Systems Corax, research (2004)
- BAE Systems Fury, reconnaissance/attack (2008)
- BAE Systems GA22
- BAE Systems HERTI, reconnaissance (2004)
- BAE Systems Mantis, research, (planned)
- BAE Systems Skylynx II, reconnaissance (2006)
- BAE Systems Taranis, research (planned)
- BAE Systems Demon, based on a BAE Eclipse drone
- BAE Systems Phoenix, reconnaissance (1986)
- Barnard Microsystems InView UAV for use in scientific, commercial and state applications (2010)
- Barnes Wallis research uav
- Barnes Wallis Swallow
- Barnes Wallis Wild Goose
- de Havilland Queen Bee (1930s) - gunnery target
- English Electric Canberra U Mk.10
- Fairey Queen (1930s) - gunnery target
- Ferranti Phoenix reconnaissance (1980s, but never entered service). An example is on display at the National Museum of Flight, East Fortune, Scotland
- Flight Refuelling FALCONET
- Gloster Meteor, U Mk.15, U Mk.16 and U Mk.21 - conversion to target drone
- Meggitt Banshee, formerly Target Technology Ltd Banshee - target drone, and reconnaissance (1984)
- Meggitt Voodoo
- Miles Queen Martinet (1940s)
- ML Aviation Pilotless Target (1950s) - to MoS specification U120D, using the motorcycle-derived Vincent Picador engine
- ML Aviation Sprite (1981) - Surveillance Patrol Reconnaissance Intelligence Target Designation Electronic Warfare
- Novel Air Concept, research, (under construction)
- Flyper research (2010)
- Prioria Robotics Maveric
- QinetiQ Mercator, research (in development)
- QinetiQ Zephyr, high-altitude long-endurance (in development)
- RAE LARYNX (1927–1929) - guided anti-ship weapon
- Ruston Proctor AT
- Short Skyspy - ducted fan for urban reconnaissance

- Singular Aircraft SA03 (UK/Spain)
- Thales Watchkeeper WK450, reconnaissance (2005)
- UB.109T (1950s) - project for long range unpowered bomb
- UnKnown Aerospace Cygnet, logistics (in development)
- UTSL MSAT-500 NG drone for range practise, missile and gunnery. In service.(1995)
- Westland Mote - experimental unmanned observation helicopter 1975
- Westland Wisp - experimental unmanned coaxial helicopter for urban reconnaissance 1976
- Westland Wideye - experimental unmanned observation helicopter 1977

Repubblica Ceca

- Sojka III
- HAES Scanner short-range civilian surveillance (2005)
- HAES 90 Electric Ray short-range reconnaissance (2012)
- HAES 400, small aerial target (2009)
- HAES 700 under development (2012)
- Primoco UAV
- Xyris 6

Romania

- Air Strato
- IAR-T - research, target and surveillance (1997)
- Argus S - surveillance (2005)
- Argus XL - reconnaissance (2007)
- ATT-01 - target drone
- Soim 1 - target drone
- Soim 2 - target and target towing drone
- Hirrus - surveillance (2013)
- SACT Boreal 5

Russia

- AeroRobotiks Shark
- KB-3 Rise Remez
- ENICS DB Falcon Tribute
- ENICS E-85
- ENICS E-95 / E08M
- Radar-MMS GSV-500
- NGOs Aviks Lark
- NGOs Aviks Hummingbirds
- NELK Hummingbirds
- IEMZ Istria
- Russian Helicopters Hawk
- Aerokon Inspector

- ZALA Aero ZALA-421-04
- ZALA Aero ZALA-421-02
- NELK Favourite
- CB Ray Tipchak
- CB-4 Albatross Rise
- Yak Voron *raven*UCAV for long range, high speed strike capability
- Yak Klest Reconnaissance UAV to replace the Russian armed forces Pchela-1s
- Yak Proryv-R Heavy weight MTOW (UAV)
- Lavochkin La-17, target and reconnaissance (1953)
- Tupolev Tu-123, reconnaissance (1964)
- Tupolev Tu-141, reconnaissance (mid-1970s)
- Tupolev Tu-143, reconnaissance (1970s onward)
- Yakovlev Pchela, reconnaissance
- Kamov Ka-137, reconnaissance helicopter 1998
- ZALA 421-06
- ZALA 421-08, reconnaissance mini uav 2007
- ZALA 421-12
- Dozor 600, reconnaissance-attack aircraft late 2010
- Dozor-100, intelligence, surveillance, reconnaissance unmanned aircraft system 2009
- Dozor-50, Intelligence, surveillance 2007
- Dozor-85, Aerial mapping, border patrol, surveillance
- Dozor-3, Heavy UAV for military reconnaissance and strike capability 2009
- Kamov MBVK-137, Multipurpose Unmanned Helicopter complex
- PUSTELGA, Mobile complexes (MC) based on autonomously piloted flying microvehicles (FMV)
- REIS-D, Unmanned tactical aerial reconnaissance, operational as of 2000
- RPV PCHELA-1T, Reconnaissance, operational as of 2000
- Aist (*Stork*), Multirole(UAV) project canceled
- Yak ALBATROS-EXPERT vertical start and landing remote-piloted vehicle (RPV) intended for television (infra-red vision) air reconnaissance of the underlying surface in the day-time and at night, EXPERT is the integrated system comprising three RPV, ground control station, launcher and servicing equipment
- Mikoyan Skat reconnaissance-attack project
- Sukhoi Zond-1 (UAV) AWACS station for intelligence, surveillance and interception project
- Sukhoi Zond-2 (UAV) Electro-optical and infrared sensors and a synthetic aperture radar for Intelligence, surveillance[citation needed]
- Sukhoi Zond-3 Small (UAV) for Reconnaissance project
- Proryv', multirole
- Lastochka, reconnaissance project (2011)
- High-tech Tatarstan reconnaissance project (2012)

- Al'tjus -m altajr and inokhodets strike UAV project
- Frigat vtol stovl
- Orlan-10
- Chirok
- Forpost

Singapore

- ST Aero FanTail
- ST Aero Skyblade
- ST Aero MAV-1
- ST Aero LALEE
- ST Aero Phantom Eye

Spagna

- CONYCA GEODRONE
- EADS ATLANTE
- Alpha Unmanned Systems SNIPER
- Aerovision Fulmar
- SIVA (Artillery Observer Plane)
- INTA HADA
- INDRA ATMOS-2
- EADS Barracuda (with Germany)
- INDRA MANTIS (INDRA)
- INTA ALO
- INDRA PELICANO (INDRA)
- Paroca Robotics PRUAV-401 (Paroca Robotics)
- SCRAB II (Twin Turbine Target Drone)[192]
- SCRAB I (High Portable Turbine Target Drone)
- SCR ALBA (Light and Portable Target Drone)
- Aerial Target Light (Low Cost Target Drone)
- Singular Aircraft SA03 (U.K./Spain)

Stati Uniti

- AAI RQ-2 Pioneer, reconnaissance (1986)
- AAI RQ-7 Shadow, reconnaissance (1999)
- Advanced Intelligent Reconnaissance Systems, Seeker Wing
- Advanced Tactics Black Night Transformer
- Aereon WASP
- Aerojet General MQM-58 Overseer
- Aerojet AN/USD-2
- Aerojet SD-2
- Aerojet XAE-3
- Aero Telemetry H-1 Racer, Commercial, medium endurance, for Hollywood Film Use (2003)

- Aero Telemetry XF-11, Commercial, medium endurance, for Hollywood Film Use (2003)
- Aero Telemetry H-4 Hercules, Commercial for Hollywood Film Use (2003)
- AeroVironment FQM-151 Pointer
- AeroVironment RQ-11 Raven, reconnaissance (2005)
- AeroVironment RQ-14 Dragon Eye, reconnaissance (2002)
- AeroVironment RQ-20 Puma, reconnaissance (2007)
- AeroVironment Nano Hummingbird
- AeroVironment SkyTote
- AeroVironment Switchblade
- AeroVironment Wasp III, reconnaissance (2001)
- Alliant RQ-6 Outrider, reconnaissance (1996)
- American Dynamics AD-150, reconnaissance, attack
- AQM-127 SLAT
- AQM-128
- Arcturus T-20, reconnaissance, attack (2009)
- ASSET (spacecraft)
- ATAIR Insect
- ATAIR LEAPP[
- ATAIR Micro LEAPP
- AutoCopter
- AUM-N-2 Petrel
- Aurora Goldeneye
- Aurora Flight Sciences Orion
- BAE Systems Silver Fox
- BAE Systems SkyEye (with the United Kingdom), reconnaissance (1973)
- BAE Systems Skylynx II
- BAI BQM-147 Dragon reconnaissance (1986)
- Beechcraft Model 1019 Designated AQM-37A by the United States Military
- Beechcraft Model 1025 Cardinal
- Beechcraft Model Model 1072 United Kingdom variant, modified by Short Brothers as the Short Stiletto to meet British requirements
- Beechcraft Model Model 1088 Italian variant
- Beechcraft Model Model 1094
- Beechcraft Model PD 75-4-1
- Beechcraft KD2B-1
- Beechcraft Q-12
- Beechcraft AQM-37 Jayhawk, target (1961)
- Beechcraft MQM-61 Cardinal
- Beechcraft MQM-61A Cardinal, target (1959)
- Beechcraft MQM-107 Streaker (1974)
- Bell Eagle Eye, tiltrotor reconnaissance (1998) (cancelled)
- Boeing A160 Hummingbird, research (2005)
- Boeing CQM-121 Pave Tiger, anti-radar drone (1983)
- Boeing Condor, reconnaissance (1988)
- Boeing Dominator, experimental (2007) -Persistent Munition Technology Demonstrator-
- Boeing HALE Under development
- Boeing Insitu RQ-21 Blackjack

- Boeing Phantom Eye, reconnaissance (2011)
- Boeing Phantom Ray
- Boeing Insitu ScanEagle, reconnaissance (2004)
- Boeing SolarEagle
- Boeing X-37
- Boeing X-45, research (2002)
- Boeing X-46, research (2003)
- Boeing X-48
- Boeing X-50, research (2003)
- Boeing X-51
- Boeing YQM-94A Compass Cope B, reconnaissance (1973)
- BQM-90, target (1970)
- Chance-Vought KD2U-1 Regulus II
- Composite Engineering BQM-167 Streaker, in development (2006)
- Composite Engineering MQM-107 Streaker
- Cornelius XBG-3
- Culver PQ-8
- Culver PQ-10
- Culver PQ-14 Cadet
- Culver XPQ-15
- Culver Q-8
- Culver TDC
- Culver TD2C
- Culver TD3C
- Culver Model V, TD4C
- Curtiss KD2C Skeet
- Cyber Defence CyberScout
- DARPA-USN Tactically Exploited Reconnaissance Node ISR UAV
- DARPA Vulture, under development
- Dragonfly Pictures, Inc. DP-4 (1995)
- Dragonfly Pictures, Inc. DP-4X (2003)
- Dragonfly Pictures, Inc. DP-5X (2006)
- Dragonfly Pictures, Inc. DP-6 (2007)
- Dragonfly Pictures, Inc. DP-12 (2009)
- Dragonfly Pictures, Inc. DP-14 (2013)
- DRS RQ-15 Neptune, naval reconnaissance (2002)
- DRS Sentry HP
- DSI/NASA Oblique Wing RPV
- Excalibur unmanned aerial vehicle
- Fairchild SM-73 Bull Goose (WS-123A Goose)
- Fairchild AN/USD-5
- Fairchild BQ-3
- Fleetwings BQ-1
- Fleetwings BQ-2
- Fleetwings PQ-12
- Fletcher FBT-2
- Freefly Systems ALTA, aerial cinematography
- Freewing Scorpion
- GQM-163 Coyote
- General Atomics ALTUS, research (1996)
- General Atomics Avenger, reconnaissance, attack (2009)
- General Atomics GNAT-750, reconnaissance (1989)
- General Atomics MQ-1 Predator
- General Atomics MQ-1C Grey Eagle, air attack (2009)

- General Atomics MQ-9 Reaper, reconnaissance, air attack (2006)
- General Atomics RQ-1 Predator, reconnaissance, combat (1995)
- Global Observer Under development
- Globe KD2G Firefly, target (1946)
- Globe KD4G Quail, target (1949)
- Globe KD5G, target (1949)
- Globe KD6G Firefly, target (1951)
- Globe KDG Snipe, target (1946)
- Gorgon (missile family)
- Griffon Aerospace MQM-170 Outlaw
- Griffon Aerospace Outlaw
- Griffon Aerospace Outlaw G2
- Griffon Aerospace Outlaw Seahunter
- Gyrodyne QH-50 DASH or Drone Anti-Submarine Helicopter
- Hewitt-Sperry Automatic Airplane, weapon (1916)
- Honeywell RQ-16 T-Hawk, reconnaissance (2006)
- IAI RQ-5 Hunter, reconnaissance (1999)
- Imaging 1 micro UAV[234]
- Insectohopter
- Interstate TDR
- Interstate XBDR
- Insitu Aerosonde
- KQ-X
- Kettering Bug, weapon (1918)
- Lethal Miniature Aerial Missile System
- Lockheed AQM-60 Kingfisher
- Lockheed D-21, reconnaissance (1964)
- Lockheed-Boeing QB-47
- Lockheed QF-104
- Lockheed X-7
- Lockheed Martin Desert Hawk, reconnaissance (2001)
- Lockheed Martin Desert Hawk III
- Lockheed Martin MPUAV Cormorant (cancelled)
- Lockheed Martin P-175 Polecat, research (2006)
- Lockheed Martin RQ-170 Sentinel, reconnaissance (2009)
- Lockheed Martin RQ-3 DarkStar, research (1996)
- Lockheed Martin Sea Ghost
- Lockheed Martin Stalker
- Lockheed Martin X-56
- Lockheed MQM-105 Aquila experimental Lockheed UAV, early 1980s
- LTV XQM-93
- MA-31
- Marcus UAV Devil Ray
- Martin X-23 PRIME
- Martin Marietta Model 845
- McDonnell KDD, TD2D Katydid
- McDonnell KSD Gargoyle
- McDonnell ADM-20 Quail, decoy (1958)
- MMIST CQ-10 Snowgoose, cargo (2005)
- MTC MQ-17 SpyHawk
- Nano Hummingbird, surveillance and reconnaissance (2011)
- NASA Advanced Soaring Concepts Apex research (cancelled before first flight, 1999)
- NASA Centurion

- NASA GL-10 Greased Lightning
- NASA Helios
- NASA Hyper III
- NASA Mini-Sniffer, research (1975 to 1982)
- NASA Pathfinder, research (2001)
- Naval Aircraft Factory TDN
- North American X-10, research (1953)
- North American MQM-42 Redhead-Roadrunner
- Northrop RP-71
- Northrop RP-76
- Northrop RP-92
- Northrop OQ-19
- Northrop KD2R
- Northrop SD-1
- Northrop AQM-35, target (1956)
- Northrop AQM-38, target (1959)
- Northrop BQM-74A Chukar, target, decoy (1964)
- Northrop GAM-67 Crossbow, multi-role (1956)
- Northrop MQM-74A Chukar, target, decoy (1964)
- Northrop Grumman MQ-8 Fire Scout, reconnaissance (2000)
- Northrop Grumman MQ-8C Fire Scout
- Northrop Grumman RQ-4 Global Hawk, reconnaissance (2001)
- Northrop Grumman RQ-180, intelligence, surveillance and reconnaissance (2013)
- Northrop Grumman Tactically Exploited Reconnaissance Node ISR UAV
- Northrop Grumman X-47A Pegasus, research (2003)
- Northrop Grumman X-47B flight proven prototype (2013)
- Northrop Grumman X-47C
- Northrop MQM-74A Chukar, target, decoy (1964)
- Northrop MQM-74A Chukar, target, decoy (1964)
- Northrop XBQM-108
- Northrop NV-144
- Northrop Grumman Bat
- Northrop Grumman Firebird
- Northrop Grumman Switchblade, proposed
- NSRDC BQM-108
- Octatron SkySeer
- Oregon Iron Works Sea Scout
- Piper LBP
- Pratt-Read LBE
- Prioria Robotics Maveric
- Propulsive Wing, high lift, large cargo-carrying, cross-flow fan propulsion (2008)
- Radioplane TDD-1, target (1939)
- Radioplane OQ-1
- Radioplane OQ-2
- Radioplane OQ-3
- Radioplane OQ-7
- Radioplane OQ-13
- Radioplane OQ-14
- Radioplane OQ-19
- Radioplane Q-1
- Radioplane Q-3
- Radioplane RP-1

- Radioplane RP-2
- Radioplane RP-3
- Radioplane RP-4
- Radioplane RP-5
- Radioplane RP-70
- Radioplane RP-71 Falconer
- Radioplane RP-76
- Radioplane RP-77
- Radioplane RP-78
- Radioplane RP-86
- Radioplane Dennykite
- Radioplane XKD4R
- Radioplane MQM-33
- Radioplane MQM-36 Shelduck
- Radioplane AQM-38
- Radioplane MQM-57 Falconer
- Radioplane KD2R Quail
- Radioplane BTT
- RoboSeed Nano
- Rockwell HiMAT. research, (1979)
- Ryan AQM-34 Firebee, target (1951)
- Ryan AQM-81A Firebolt, target (1983)
- Ryan AQM-91 Firefly, reconnaissance (1968)
- Ryan BQM-34 Firebee, target (1951)
- Ryan YQM-98
- Ryan Model 147 Lightning Bug, reconnaissance (1962)
- Ryan Q-2
- Ryan KDA
- Ryan YQM-98A Compass Cope R, reconnaissance (1974)
- S-TEC Sentry, reconnaissance (1986)
- Sikorsky Cypher, research, (1992)
- Sea Robin XFC
- Sky Sentinel
- Sonex Aircraft Teros
- Systems Integration Evaluation Remote Research Aircraft (SIERRA), research (2009)
- Taylorcraft LBT
- TechJect Dragonfly UAV
- Teledyne Ryan 410
- Teledyne Ryan BQM-145 Peregrine, reconnaissance (1992)
- Teledyne Ryan Scarab
- Temco XKDT Teal, target (1957)
- UASUSA Tempest, reconnaissance (2009)
- UASUSA Recon, reconnaissance (2013)
- Trek Aerospace Dragonfly
- Vanguard Defense Industries, ShadowHawk, reconnaissance, attack (2010)
- Vector P
- Vera Tech Phantom Sentinel
- XGAM-71 Buck Duck
- XSM-74
- Xtreme Drones Velocicopter DELTA, QUAD, HEX,(SUAV) Mult-rotor (2012)

Sud Africa

- Denel Dynamics Seeker - Tactical reconnaissance (a light air-to-ground missile is under development for it)
- Denel Dynamics Skua - Target drone[citation needed]
- ATE Vulture - Artillery spotting/targeting UAV
- Denel Dynamics Bateleur - MALE reconnaissance/elint UAV

Svizzera

- Aeroscout Scout B1-100
- FR SWAN X1 Soft Wing UAS by Flying Robots SA
- KZD-85
- RUAG Ranger
- Swiss UAV NEO S-300
- UMS Aero Group F-720
- UVH-29E Helicopter by Uavos

Svezia

- SHARC
- Saab Skeldar
- Saab FILUR Flying Innovative Low-observable Unmanned Research air vehicle
- CybAero APID 55
- SAAB TUAV[citation needed]
- SAAB Filur[citation needed]
- UAS Europe Spy Owl 200
- UAS Europe Spy Owl 300

Tailandia

- Athena-1 Indigenous model
- Mercury-1 Indigenous model
- Zephyr-1 Indigenous model
- Boreas-1 Indigenous model
- eSUAV500 Indigenous model
- eSUAV600 Indigenous model
- eSUAV700 Indigenous model
- eSUAV800 Indigenous model
- eSUAV900 Indigenous model
- Upcoming Mercury-2 Indigenous model
- Upcoming Apollo-1 UCAV Indigenous model
- UAV RD01
- Tigershark II
- UAV DTI RTN KSM150
- Black Kite UAV
- UAV G-Star

- T-eagle Eye III
- IAI Searcher (with Israel)
- Aerostar (with Israel)
- AeroVironment RQ-11 Raven (with US)

Taiwan

- Chung Shyang II UAV
- CSIST Kestrel II[citation needed]
- UAVER

Tunisia

- TATI Nasnas MK1
- TATI Nasnas 320
- TATI Jebel Assa
- TATI Super Jebel Assa
- TATI Fixed Wing HALE Buraq
- TATI Rotary Wing Jinn
- TATI Rotary Wing SAR

Turchia

- Atlantis AeroSeeker 405
- Bayraktar Mini UAV (Reconnaissance)
- Bayraktar Tactical UAV (Reconnaissance and surveillance)
- Bayraktar TB2 UCAV
- Globiha Mini UAV[citation needed]
- Otonom Teknoloji Doruk-101A Aero-stat System
- SE Defense and Aviation Albatross VTOL UAV
- TAI Anka-A (MALE) UAV
- TAI Anka-B (MALE) UCAV
- TAI Baykuş
- TAI Gözcü (Short-range tactical reconnaissance, surveillance, target acquisition)
- TAI Keklik
- TAI Malazgirt Mini VTOL (Reconnaissance and surveillance)
- TAI Martı
- TAI Pelikan (Reconnaissance, surveillance, target acquisition)
- TAI R-300 R-İHA UAV
- TAI Şimşek (High-speed aerial target drone, threat simulator)
- TAI Sivrisinek R-İHA UAV
- TAI Turna-G
- TAI UAV-X1
- VESTEL Arı
- VESTEL Efe
- VESTEL Ege
- VESTEL Karayel Tactical UAV

Ungheria

- Interspect UAS B 3.1 (Commercial - Photogrammetry platform)

Vietnam

- ITAD M-400
- AV.UAV.s1
- AV.UAV.s2
- AV.UAV.s3
- AV.UAV.s4
- AV.UAV.Ms1
- VT-Patrol

B | Schede tecniche UAV

Attualmente esistono circa 1608 aerei (aggiornato al 1 ottobre 2016) da inserire in una Timeline di volo, a partire dai fratelli Wright, fino ad arrivare ai giorni nostri. È possibile raggruppare tali velivoli in varie categorie, per una ricerca più facile:

- anno di produzione
- paese di produzione
- decade
- tipologia
- conflitto
- categoria
- varie caratteristiche

La totalità delle schede dei velivoli è presente al seguente indirizzo: [militaryfactory](#). Dettagli sugli UAV sono reperibili anche sul web mediante ricerca per modello di UAV. Ciascuna delle seguenti schede conterrà:

- Breve descrizione (ove necessaria);
- Foto dell'UAV o del suo sistema di funzionamento;
- Specifiche tecniche, caratteristiche e armamenti (se disponibili).

Non sono immesse informazioni protette da copyright, né informazioni segrete su nessun UAV, nonostante alcune foto e/ o da ti sono possono entrare nello specifico. Riguardo gli UAV del futuro, ho inserito solo il relativo modello e la foto, in quando ancora non realizzati. L'elenco, ovviamente, non p esauriente, ma riguarda gli UAB di tipo UCAV e stealth. Si rimanda sempre al sito [militaryfactory](#) per maggiori dettagli e aggiornamenti continui.

DARPA Falcon Project

Il DARPA Falcon Project, (Force Application and Launch from Continental United States), è un progetto congiunto tra la Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) e la United States Air Force (USAF). Una parte del programma mira a sviluppare la costruzione di un veicolo in grado di raggiungere velocità ipersoniche, lo sviluppo del suo sistema di lancio e il lancio di piccoli satelliti in orbita terrestre. Il programma è stato annunciato nel 2003 e iniziato nel 2006.

Velivoli del progetto FALCON

- *X-41 Common Aero Vehicle (CAV)*: uno spaziplano ³⁸ sperimentale per la manovra di rientro nell'atmosfera. Le uniche informazioni note sono che è in grado di supportare un carico utile di 1.000 libbre (circa 450 kg) in voli ipersonici a traiettoria suborbitale. Il resto è segreto;
- *HTV-1*: originariamente pianificato per un test nel 2007 poi cancellato;
- *HTV-2*;
- *HTV-3X "Blacksift"*;

HTV-2

Falcon Hypersonic Technology Vehicle (HTV-2) è il nome dell'aeromobile in grado di raggiungere velocità superiori a *MACH 22*, cioè circa 26.000 km/h, in volo sub-orbitale.

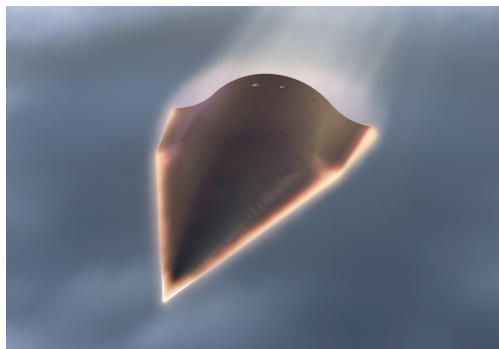


Figura B.1: Illustrazione di un Hypersonic Test Vehicle 2 (HTV-2)

³⁸ Uno spaziplano è un velivolo progettato per volare oltre la linea di Kármán che, convenzionalmente, individua il confine tra l'atmosfera terrestre e lo spazio alla quota di 100 km sul livello medio del mare. Uno spaziplano combina alcune delle caratteristiche degli aeroplani con altre delle navi spaziali. Di solito ha la forma di una nave spaziale, con delle ali utilizzate solo durante l'attraversamento dell'atmosfera.

Il razzo vettore ³⁹ che porta in orbita l'HTV-2 è stato denominato Minotaur IV. Caratteristiche:

- 4 Stadi
 1. Stadio SR-118 da 2200 kN
 2. Stadio SR-119 da 1365 kN
 3. Stadio SR-120 da 329 kN
 4. Stadio Orion-38 da 32,2 kN
- Tutti gli stadi usano propellente solido;
- Orbita bassa, ovvero tra i 160 ed 2000 km di altitudine;
- Relativamente economico;
- Componenti derivati altri Missili Intercontinentali (ICBM) quali LGM-118 Peacekeeper e LGM-30 Minuteman.



Figura B.2: HTV-2 in fase di distacco dal Minotaur IV

Il decollo è avvenuto alle 7:45 di mattina dell'11 agosto dalla Vandenberg Air Force Base, in California meridionale, una base usata per il lancio di missili e satelliti spaziali. Secondo il piano di volo, il Falcon, si sarebbe dovuto staccare dal razzo vettore prima di raggiungere l'apice d'ascesa per poi planare come uno shuttle in discesa nell'atmosfera e infine lanciarsi in picchiata verso terra alla velocità di circa 26.000 km/h (circa 7200 m/s). In un comunicato la DARPA ha riferito della perdita di contatto con il Falcon 26 minuti dopo il lancio. Il velivolo è precipitato nelle fredde acque dell'Oceano Pacifico dopo il distacco dal razzo vettore Minotaur IV della Orbital Sciences Corp. L'esercito degli Stati Uniti si è subito affrettato a movimentare numerosi mezzi per la ricerca e il recupero dell'HTV-2.

³⁹ In astronautica, il vettore o lanciatore è un missile, cioè un veicolo propulso da un particolare tipo di motori detti razzi o endoreattori. Questo tipo di missile è il mezzo usato per inviare nello spazio un certo carico utile che può consistere in astronauti, satelliti, sonde interplanetarie, moduli di rifornimento per le basi spaziali orbitanti.

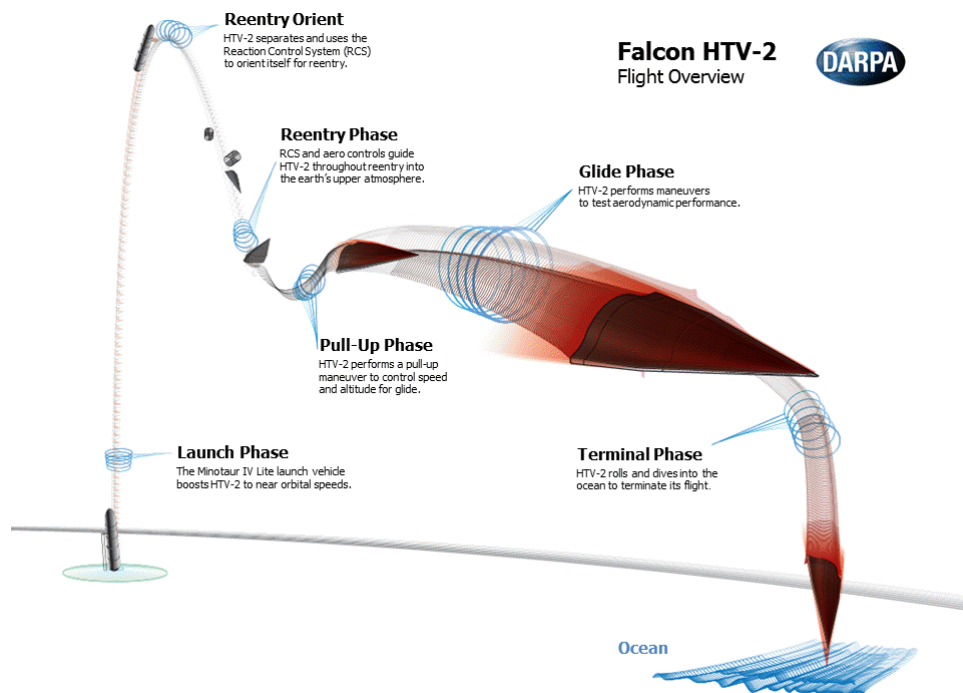


Figura B.3: Fasi del volo dell'HTV-2

HTV-3x "Blackswift"

È un prototipo di aereo ipersonico senza pilota. Il Blackswift è uno spaziplano costruito grazie ad una cooperazione tra la sezione Skunk Works della Lockheed, Boeing e ATK. Nel settembre 2007 la USAF ha firmato un accordo per continuare il progetto. Il velivolo doveva essere sviluppato per decollare da una pista (non come un razzo) e raggiungere ogni posto della terra in circa due ore, volando anche appena al di fuori dell'atmosfera e a velocità ipersoniche; alla fine, l'HTV-3x, doveva atterrare sempre su pista. Il Blackswift doveva accelerare fino a Mach 3 con un motore a turbina e raggiungere Mach 6 con un motore Scramjet (supersonic combustion ramjet). I motori saranno della Pratt & Whitney Rocketdyne. Nell'ottobre del 2008, tredici mesi dopo aver firmato l'accordo, tutto progetto Blackswift è stato annullato, causa, mancanza di fondi.

Per ulteriori dettagli e confronto tra i modelli HTV si rimanda al sito della DARPA e al seguente sito di difesa: <http://www.defenseindustrydaily.com/hypersonic-rocketplane-program-inches-along-0194/>

Lockheed Martin RQ-170 Sentinel

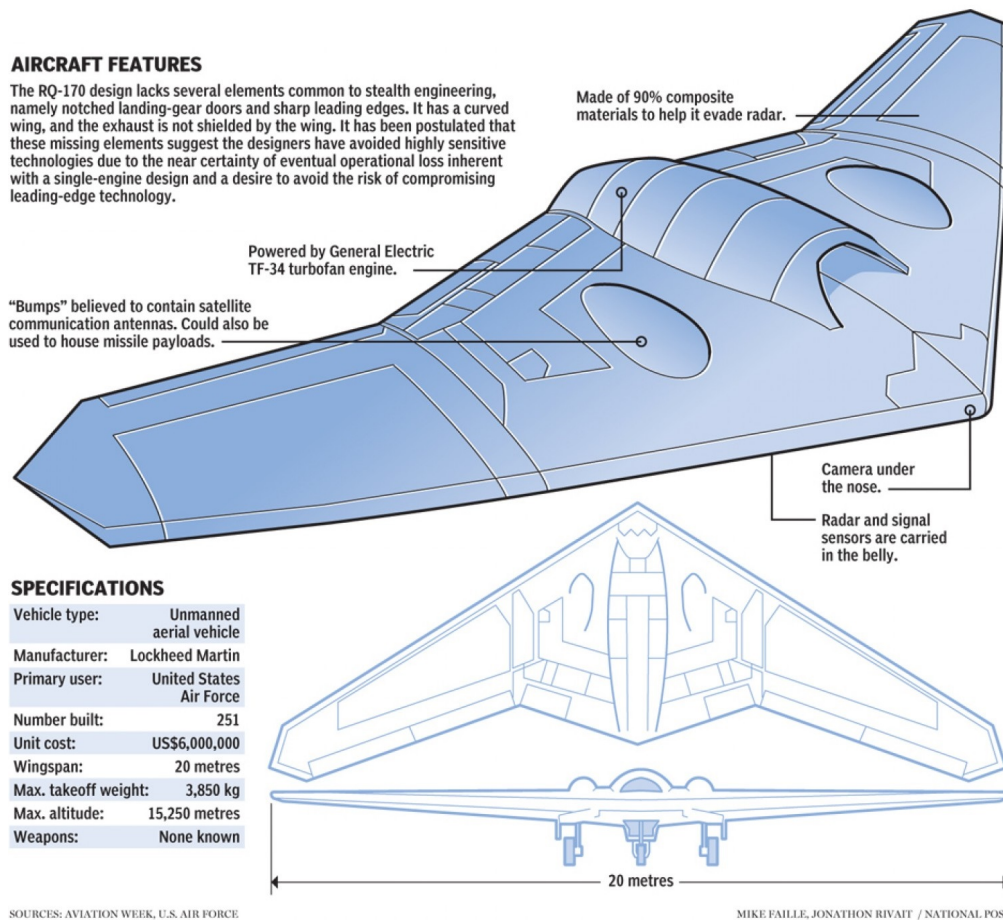


Figura B.4: Specifiche RQ-170 Sentinel

Caratteristiche tecniche

- *Lunghezza*: 4,5 metri (15 piedi)
- *Apertura alare*: tra i 20 e i 26 metri
- *Altezza*: 1,84 metri (6 piedi)
- *Motopropulsore*: 1 × Garrett TFE731 o General Electric TF34 turbofan

BAE Systems Taranis

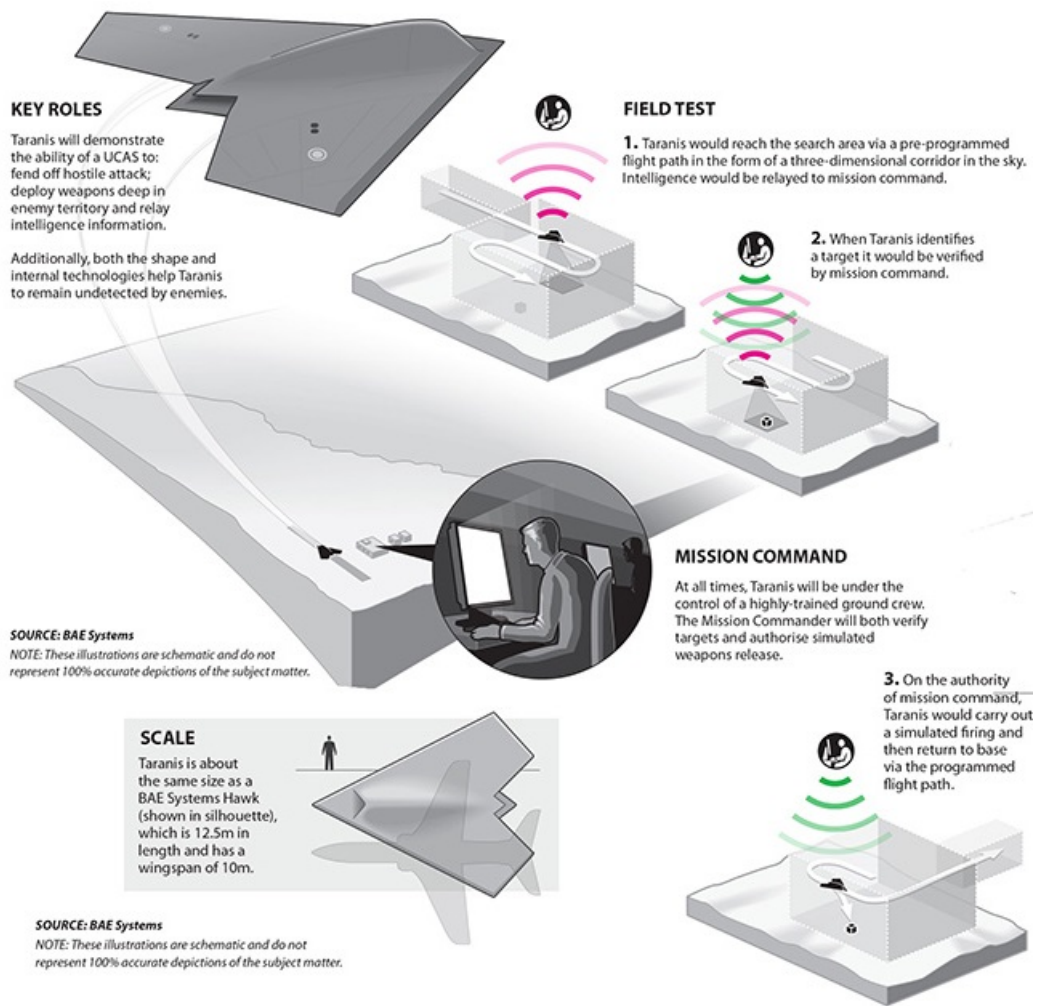


Figura B.5: Specifiche Taranis

Caratteristiche tecniche

- *Lunghezza*: 12,43 metri (40 piedi)
- *Apertura alare*: 10 metri (32 piedi) (approssimativa)
- *Altezza*: 4 m (13 piedi)
- *Motopropulsore*: 1 × Rolls-Royce Adour Moderate by-pass ratio turbofan engine, 44 kN (10,000 lbf) thrust (approssimativa)

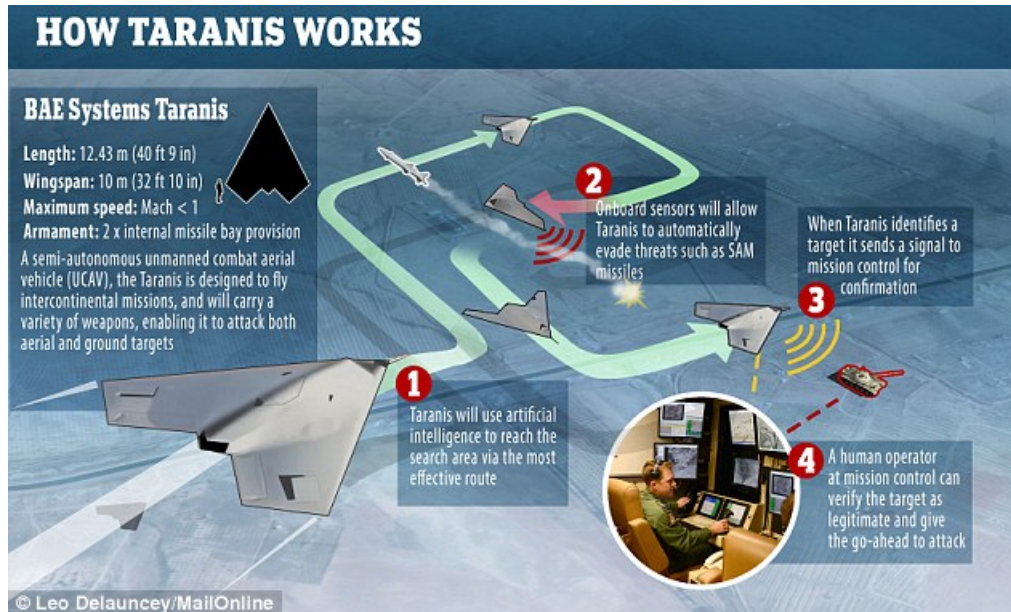


Figura B.6: Funzionamento Taranis

Dassault nEUROn

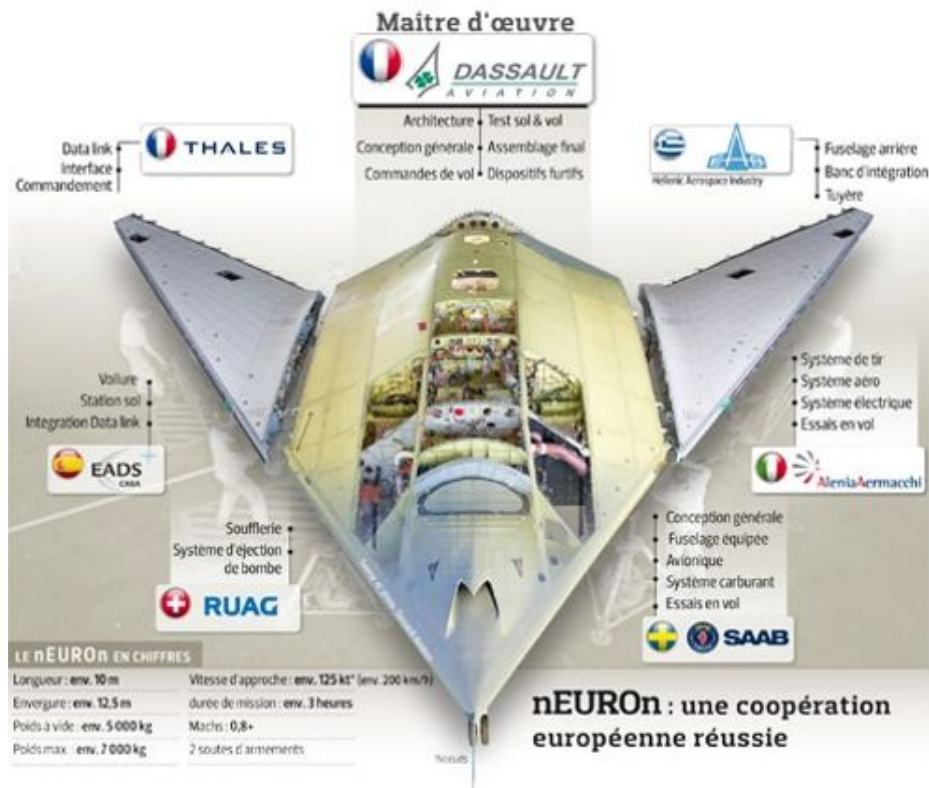


Figura B.7: Parti del Dassault nEUROn

Caratteristiche tecniche

- *Lunghezza*: 9,5 metri (31 piedi)
- *Apertura alare*: 12,5 metri (41 piedi)
- *Peso a vuoto*: 4.900 kg (10.803 libbre)
- *Peso lordo*: 7.000 kg (15.432 libbre)
- *Motopropulsore*: 1 × Rolls-Royce/Turboméca Adour / Snecma M88, 40 kN (8.992 lbf) thrust each
- *Velocità massima*: 980 km / h
- *Altezza da terra*: 14.000 metri (45.900 piedi)
- *Armamento*: 2 × 230 kg (500 lb) bombe guidate mediante laser e / o GPS

Northrop Grumman RQ-180



Figura B.8: RQ-180 in volo

Caratteristiche tecniche

- *Lunghezza*: 40 metri (131,23 piedi)
- *Apertura alare*: 50 metri(164,04 piedi)
- *Altezza*: 10,50 metri (34,45 piedi)
- *Peso a vuoto*: 6,4 kg (14,110 libbre)
- *Peso lordo*: 20 kg (44,533 libbre)
- *Portata massima*: 3,900 km (2,423 miglia)
- *Altezza da terra*: 12.200 metri (40,026 piedi)
- *Motopropulsore*: 1 × turbofan engine
- *Armamento*: obiettivi specifici di missione ISR e raccolta dati per l'intelligence

Northrop Grumman B-21 Raider - Stealth Bomber (2032)

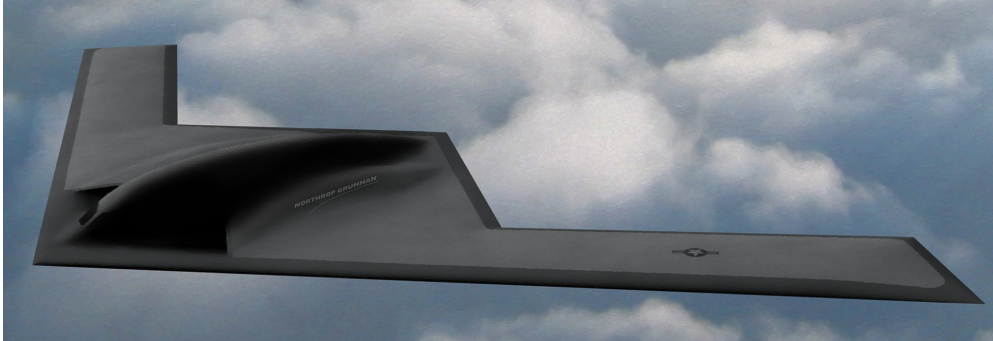


Figura B.9: Northrop Grumman B-21

Caratteristiche tecniche

- *Lunghezza*: 20 metri (65,62 piedi)
- *Apertura alare*: 50 metri (164,04 piedi)
- *Altezza*: 5 metri (16,40 piedi)
- *Peso a vuoto*: 70 kg (154,324 libbre)
- *Peso lordo*: 170 kg (374,786 libbre)
- *Velocità massima*: 1.000 km (2,423 miglia)
- *Portata massima*: 11.000 km (6.835 miglia)
- *Altezza da terra*: 15.000 metri (49,213 piedi)
- *Motopropulsore*: 2 × Pratt & Whitney turbofan engines developing over 15.000 libbre of thrust each (circa)
- *Armamento*: armi interne fino a 50.000 libbre, con testata nucleare

Rostech Chirok (Teal) UAV Hovercraft (2017)



Figura B.10: Rostech Chirok

DRDO AURA UCAV (2020)

Mean Machine

IUSAV is DRDO's most complex and daunting aerospace challenge at hand

Cross-section View

MISSIONS
Deep penetration strike, suppression of enemy air defences, strategic reconnaissance, electronic warfare.

PROJECT COST
\$1.5 billion (Rs 8,250 crore)

WEAPONS
Precision-guided bombs, stand-off strike weapons.

PROTECTION
Stealthy shape, radar absorbent paint and materials, low observability features.

FUTURE CAPABILITIES
Air-to-air capability as an unmanned fighter.

Figura B.11: DRDO AURA

Lockheed TR-X Unmanned Stealth Aircraft (2025)



Figura B.12: Lockheed TR-X

Lockheed Martin SR-72 ISR (2030)

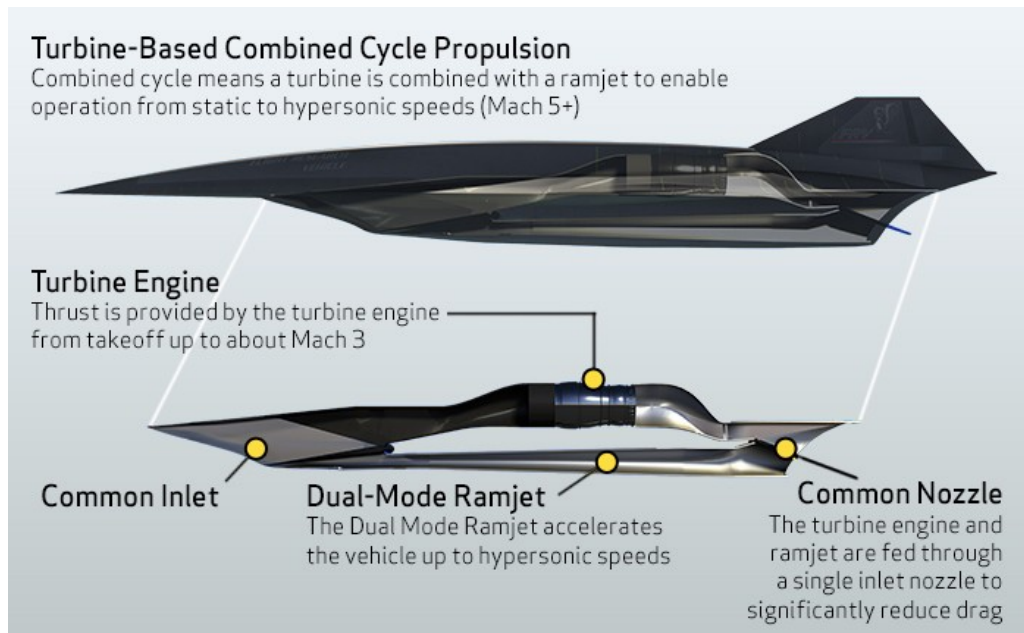


Figura B.13: Lockheed Martin SR-72

Bibliografia

- [01] Aerospace Industries Association: *Unmanned Aircraft Systems: Perceptions & Potential*, 2013
- [02] Alfieri Roberto: *L' invasione dei droni. Il futuro è sopra di noi*, Hoepli, 2015
- [03] Biagini Flavio: *Architetture, Tecnologie ed Applicazioni dei Droni*, CORSO DI LAUREA IN SCIENZE E TECNOLOGIE INFORMATICHE - CAMPUS DI CESENA, 2013 / 2014
- [04] Blom John David: *Unmanned Aerial Systems: A Historical Perspective*, Occasional Paper 37, Combat Studies Institute Press, US Army Combined Amrs Center, Fort Leavenworth, Kansas
- [05] Buckley Lindsey E.: *Recreational UAVs: Going Rogue with Pennsylvania's Strict Products Liability Law Post-Tincher*, Journal of Technology Law & Policy, Volume XV – Spring 2015
- [06] Brooke-Holland Louisa: Overview of military drones used by the UK armed forces, BRIEFING PAPER Number 06493, 8 Ottobre 2015
- [07] Calderan Pier: *Droni DIY. Il manuale per hobbisti e maker*, Apogeo, 2015
- [08] Canis Bill: *Unmanned Aircraft Systems (UAS): Commercial Outlook for a New Industry*, 9 settembre 2015
- [09] Chamayou Grégoire: *Teoria del drone. Principi filosofici del diritto di uccidere*, DeriveApprodi, 2014
- [10] Prof. Chen Ben M., Dr. Lin Feng, Dr. Phang Swee King: *Autonomous Systems: Unmanned Aerial Vehicles*, Unmanned Systems Research Group, Dept of Electrical & Computer Engineering Control Science Group, Temasek Laboratories National University of Singapore
- [11] Cox Timothy H., Nagy Christopher J. et al: *Civil UAV Capability Assessment (Draft Version)*, December 2004

- [12] Drury Jill L. & Scott Stacey D.: *Awareness in Unmanned Aerial Vehicle Operations*;
- [13] *ENAC - REGOLAMENTO MEZZI AEREI A PILOTAGGIO REMOTO*, Edizione 2 del 16 luglio 2015, Emendamento 1 del 21 dicembre 2015
- [14] Enemark Christian: *Armed unmanned aircraft and military ethics*, Aberystwyth University, UK
- [15] European Aviation Safety Agency: *Introduction of a regulatory framework for the operation of unmanned aircraft*, 2015
- [16] Gupta Suraj G., Mangesh M. Ghonge e Dr. P. M. Jawandhiya: *Review of Unmanned Aircraft System (UAS)*, International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology (IJARCET), Volume 2, Issue 4, Aprile 2013
- [17] Han Zhu, A. Lee Swindlehurst and K. J. Ray Liu: *Smart Deployment/Movement of Unmanned Air Vehicle to Improve Connectivity in MANET*;
- [18] Heiges Mike, *Introduction to UAVs*, PhD Georgia Tech Research Institute
- [19] *ICAO Unmanned Aircraft Systems (UAS)*, 2011
- [20] Kelley Sayler (Foreword by Paul Scharre & Ben FitzGerald): *A WORLD OF PROLIFERATED DRONES: A Technology Primer*, June 2015 (Center for a New American Security)
- [21] King Aeronautics & Astronautics Consulting: *STUDY FOR THE ADVANCEMENT OF UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS IN SOUTHERN NEW JERSEY*
- [22] King Lance: *DoD Unmanned Aircraft Systems Training Programs (Brief to ICAO)*, 24 Mar 2015
- [23] Maza Ivan, Anibal Ollero, Enrique Casado and David Scarlatti: *Classification of multi-UAV Architectures*;
- [24] Pastor Enric, Juan Lopez & Pablo Royo: *A HARDWARE/SOFTWARE ARCHITECTURE FOR UAV PAYLOAD AND MISSION CONTROL*, Department of Computer Architecture, Technical University of Catalonia, Castelldefels (Barcelona), Spain;
- [25] Renault Andrew: *A Model for Assessing UAV System Architectures*, Conference Organized by Missouri University of Science and Technology 2015-San Jose, CA

- [26] Ronconi Giordano Bruno Antoniazzi, Thaís Jessinski Batista eVictor Mero-la: *THE UTILIZATION OF UNMANNED AERIAL VEHICLES (UAV) FOR MILITARY ACTION IN FOREIGN AIRSPACE*, 2014
- [27] Therese Skrzypietz: *Unmanned Aircraft Systems for Civilian Missions*, BIGS - Brandenburg Institute for Society and Security, Febbraio 2012
- [28] Tippenhauer Nils Ole, Pöpper Christina et al: *On the Requirements for Successful GPS Spoofing Attacks*
- [29] Valavanis Kimon P. & George J. Vachtsevanos: *Handbook of Unmanned Aerial Vehicles*, 2015, Springer; Editors
- [30] Villasenor John: *OBSERVATIONS FROM ABOVE: UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS AND PRIVACY*
- [31] Weatherington Dyke: *DoD Unmanned Aircraft Systems (UAS) Airspace Integration*, 28 maggio 2014
- [32] Zimmermann Torben, Nikolas Slottke, Moritz Lahn: *UAVs & Military Robots*

Sitografia

- [33] AIS
https://it.wikipedia.org/wiki/Sistema_di_identificazione_automatica
- [34] APR - Aeromobile a pilotaggio remoto
https://it.wikipedia.org/wiki/Aeromobile_a_pilotaggio_remoto
- [35] ARGUS-IS
<https://en.wikipedia.org/wiki/ARGUS-IS>
- [36] Comparison of photogrammetry software
https://en.wikipedia.org/wiki/Comparison_of_photogrammetry_software
- [37] Corso pilota droni ENAC
<http://www.dronionline.net/corso-pilota-droni/>
- [38] CURVACE
<http://www.curvace.org>
- [39] FAA - Federal Aviation Administration
https://www.faa.gov/uas/getting_started/
- [40] FAA DRONE CERTIFICATION
<http://uavcoach.com/drone-certification/>
- [41] FlightLog
<http://www.flightlog.com.au>
- [42] Guerra Asimmetrica
https://it.wikipedia.org/wiki/Guerra_asimmetrica
- [43] Hacking Drones ... Overview of the Main Threats
<http://resources.infosecinstitute.com/hacking-drones-overview-of-the-main-threats/>

- [44] Human-Robot Interaction
<http://humanrobotinteraction.org/autonomy/>
- [45] Iran–U.S. RQ-170 incident
https://en.wikipedia.org/wiki/Iran\T1\textendashU.S._RQ-170_incident
- [46] LAHAT
<https://it.wikipedia.org/wiki/LAHAT>
- [47] Latenza
<https://it.wikipedia.org/wiki/Latenza>
- [48] Lista velivoli militari USA
https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_military_aircraft_of_the_United_States
- [49] Lista UAV
https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_unmanned_aerial_vehicles
- [50] Micro air vehicle
https://en.wikipedia.org/wiki/Micro_air_vehicle
- [51] Miniature UAV
https://en.wikipedia.org/wiki/Miniature_UAV
- [52] NCCGROUP - Drones: Detect, identify, intercept and hijack
<https://www.nccgroup.trust/uk/about-us/newsroom-and-events/blogs/2015/december/drones-detect-identify-intercept-and-hijack/>
- [53] OpenPilot
<https://it.wikipedia.org/wiki/OpenPilot>
- [54] Organic Air Vehicle
<http://defense-update.com/features/du-2-04/mav-oav.htm>
- [55] UST: Unmanned Systems Technologies
<http://www.unmannedsystemstechnology.com/company/lynx-software-technologies/>
- [56] RoboBee
<https://en.wikipedia.org/wiki/RoboBee>
- [57] Software UAV
<http://www.geo-fly.org/uav-software-360-gradi-pianificare-gestire-processare/>

- [58] Storia UAV
https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_unmanned_aerial_vehicles
https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_unmanned_combat_aerial_vehicles
<https://sites.google.com/site/uavuni/>
<http://www.pbs.org/wgbh/nova/spiesfly/uavs.html>
- [59] Tecnologia Stealth
https://it.wikipedia.org/wiki/Tecnologia_stealth
- [60] UAV - Unmanned aerial vehicle
https://en.wikipedia.org/wiki/Unmanned_aerial_vehicle
- [61] UAVs
<https://www.uavs.org/index.php>
- [62] UAV Regulations by Country - Drone Laws
<http://uavcoach.com/drone-laws/>
- [63] UAVs in the U.S. military
https://en.wikipedia.org/wiki/UAVs_in_the_U.S._military
- [64]UCAV - Unmanned combat aerial vehicle
https://en.wikipedia.org/wiki/Unmanned_combat_aerial_vehicle
- [65] Velivolo Stealth
https://it.wikipedia.org/wiki/Velivolo_stealth
- [66] Web News: speciale droni
<http://www.webnews.it/speciale/droni/>
- [67] Wikipedia
<http://it.wikipedia.org/wiki/Wikipedia>
- [68] Wondering how to hack a military drone? It's all on Google by Mary-Ann Russon, 2015
<http://www.ibtimes.co.uk/wondering-how-hack-military-drone-its-all-google-1500326>