

ALMA MATER STUDIORUM · UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

---

---

SCUOLA DI SCIENZE

Corso di Laurea in Informatica per il Management

**SWARM OF DRONES:**  
**il futuro delle tecnologie autonome**

**Relatore:**

Chiar.mo Prof.

EDOARDO MOLLONA

**Presentata da:**

ANTONIANGELO VIGNOGNA

**Sessione III**

**Anno Accademico 2018/2019**

*Ai miei genitori, a mia sorella e ai miei amatissimi nonni,  
che mi hanno sostenuto in questo lungo e faticoso percorso con tutto l'amore,  
l'entusiasmo e la forza possibile.*

*A Ludovica, che mi ha sempre spronato, aiutato e sopportato nei momenti più  
difficili.*

*A Christian, che ha saputo consigliarmi e guidarmi  
ogniqualevolta ne ho avuto il bisogno.*

*Ad Angelo, compagno di studi, collega di lavoro ma soprattutto amico.*

*Agli amici che hanno sempre creduto in me.*

*Questa laurea è anche un po' vostra.*

*Un grazie di cuore.*

*Un sincero grazie al Prof. Edoardo Mollona,  
mio relatore, per i validi consigli e per il grande supporto  
che mi ha dimostrato durante la stesura di questa tesi.*

# Indice

<b>Introduzione.....</b>	<b>1</b>
<b>Capitolo 1 .....</b>	<b>2</b>
<b>1. APR “Aeromobile a pilotaggio remoto” .....</b>	<b>2</b>
1.1 Il drone: nascita ed evoluzione.....	2
1.2 Tipologie di Droni .....	15
<b>Capitolo 2 .....</b>	<b>19</b>
<b>2. Swarm of Drones .....</b>	<b>19</b>
2.1 Bio-Inspiration .....	20
2.2 Swarm Intelligence.....	22
2.3 Algoritmi di Swarming.....	24
<b>Capitolo 3 .....</b>	<b>30</b>
<b>3. Ambiti di utilizzo .....</b>	<b>30</b>
3.1 Sviluppo di applicazioni autonome in ambito militare e della sicurezza..	31
3.2 Applicazioni in ambito civile e scientifico.....	34
3.3 Assegnare il pieno controllo decisionale a macchine autonome: criticità	35
3.3.1 Aspetti Etici delle applicazioni in campo militare di Swarm of Drones.....	37
3.3.2 Disciplinare l’utilizzo della tecnologia: possibili soluzioni.....	38
<b>Capitolo 4 .....</b>	<b>41</b>
<b>4. Conclusioni.....</b>	<b>41</b>
<b>Bibliografia .....</b>	<b>44</b>
<b>Sitografia.....</b>	<b>46</b>



## **Introduzione**

In un contesto quale quello odierno, il progresso tecnologico è sempre più spinto e rapido. Le opportunità che ci si propongono nei campi più disparati sono molteplici e l'utilità abbraccia settori anche molto diversi. In questo lavoro verranno presentati vari aspetti legati alle macchine aeromobili a guida autonoma e alla loro gestione in gruppi o sciami, che genera delle interazioni simili agli sciami di insetti che possiamo ammirare in natura.

Partendo dalla definizione di APR “aeromobile a pilotaggio remoto”, meglio conosciuto come DRONE, il mio lavoro di tesi si propone di esaminare gli aspetti principali di tale tecnologia, oggi sempre più utilizzata, e di osservare come si è evoluta nel tempo, cominciando dalle origini fino ad arrivare alla nascita dei droni con intelligenza artificiale. Successivamente, sarà posta l'attenzione su un'ulteriore innovazione nel campo, nota come “Swarm of Drones”, droni autonomi capaci di volare in gruppo interagendo con l'ambiente circostante ma senza interferire tra di loro. Tale sistema deve anche agire e prendere decisioni rapidamente a partire dalle informazioni disponibili per ciascun drone. Verrà poi analizzato il principio secondo il quale viene creato una “swarm intelligence”, quanto è precisa, affidabile e soprattutto quali sono le sue vulnerabilità, evidenziando le modalità con cui i ricercatori stanno raggiungendo questi obiettivi. A questo punto verranno esaminati i vari ambiti di utilizzo, partendo da quello civile e scientifico fino ad arrivare a quello militare e della sicurezza. A seguire, verrà posta particolare attenzione sui futuri casi d'impiego che hanno già suscitato non poche polemiche, soffermandosi sugli aspetti etici che già dividono l'opinione pubblica e le possibili soluzioni per disciplinare e controllare tali tecnologie.

# Capitolo 1

## 1. APR “Aeromobile a pilotaggio remoto”

Il termine maggiormente utilizzato per descrivere un velivolo senza pilota e senza passeggeri a bordo è APR, acronimo di aeromobile a pilotaggio remoto, il cui volo, come si evince dal nome, non è gestito attivamente da un essere umano presente a bordo bensì telecomandato a distanza attraverso un computer o radiocomando.

L'inclusione del termine “aeromobile” evidenzia che, indipendentemente dalla posizione del pilota e/o dell'equipaggio di volo, le operazioni devono rispettare le regole e le procedure degli aerei con pilota ed equipaggio a bordo.

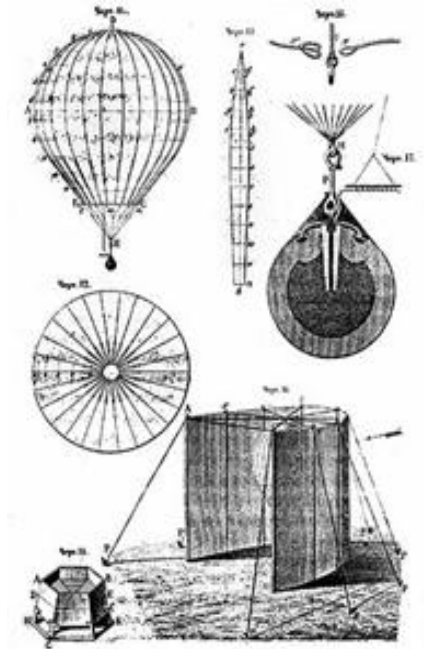
Il termine di uso comune per indicare questo tipo di velivolo è **drone**, che tradotto letteralmente dall'inglese vuol dire “fuco”, il maschio dell'ape. L'origine inglese è del tutto militare, infatti a differenza di come si possa pensare, il nome di questo velivolo non deriva dal ronzio, ma dal fatto che negli anni '30 la marina americana nominò Drone (riferendosi al fuco) il suo bersaglio telecomandato utilizzato per le esercitazioni di tiro che a sua volta si ispirava ad un modello britannico denominato Queen Bee (ape regina). Il drone, a differenza di un robot, non è capace di svolgere mansioni in autonomia, in quanto è un'estensione dell'essere umano specializzato nell'ambito di utilizzo richiesto.

### 1.1 Il drone: nascita ed evoluzione

I primi cenni storici riguardanti i primi utilizzi di veicoli aerei senza equipaggio a bordo risalgono al 1849, quando l'esercito austriaco inviò dei palloni imbottiti di esplosivo senza pilota a bordo per bombardare Venezia<sup>1</sup> (Figura 1.1).

---

<sup>1</sup> Fonte: GTECHNOLOGY Fondazione Organismo di Ricerca (2017).



*Figura 1.1: Balloons Over Venice, Fonte: Unmanned Aerial Vehicle: tecnologie e prospettive future*

Successivamente nel 1895 il giornalista e fotografo statunitense **William Abner Eddy**<sup>2</sup>, realizzò una diversa tipologia di drone rudimentale, montando delle macchine fotografiche su degli aquiloni. L'intento era quello di effettuare delle ricognizioni fotografiche, infatti queste macchine erano gestite con un sistema di cavi per scattare foto ad elevate distanze. Anche se molto approssimativo e artigianale, questo strano 'aquilone-fotografo' riuscì a far meritare al suo inventore la prima pagina sul New York Times dell'epoca.

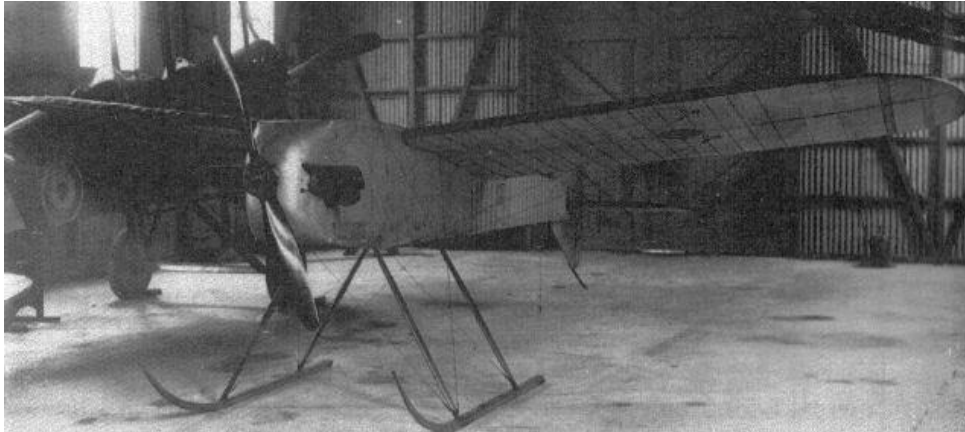
Alla fine del 1916, in Inghilterra, il professor Archibald Low, un ingegnere che aveva lavorato al sistema radar dell'esercito britannico nei primi anni del Novecento, decise di compiere un esperimento e costruire un piccolo aereo da telecomandare a distanza, dotato di esplosivi e capace di attaccare un bersaglio mobile. I primi prototipi di questo velivolo, che presero poi il nome di Aerial Target (Figura 1.2), furono realizzati durante la prima guerra mondiale. Un monoplano dotato di due sistemi di radiocontrollo, uno per l'altitudine ed uno per dare una direzionalità all'oggetto volante. Quest'ultimo era collegato al timone di coda con motore bicilindrico Granville Bradshaw da 35 CV, il quale era alimentato a batteria e aveva un'autonomia

---

<sup>2</sup> William Abner Eddy era un contabile e giornalista americano famoso per i suoi esperimenti fotografici e meteorologici con gli aquiloni.



di circa due ore. La mancanza di uno stabilizzatore di volo, però, faceva perdere subito il controllo dell'oggetto ed i primi esperimenti si rivelarono decisamente fallimentari. Nonostante il pessimo risultato, dovuto anche alla mancanza di conoscenza in ambito aeronautico e aerodinamico da parte di Law, la sua idea gettò le basi per lo sviluppo della tecnologia dei droni e per altre invenzioni future.



**Figura 1.2:** *Aerial Target(AT)*, **Fonte:** *UAV Universe*

L'anno successivo (1917), due ingegneri americani, **Peter Cooper** e **Elmer Sperry**, decisero di unire al prototipo di Low uno stabilizzatore giroscopico<sup>3</sup> e, grazie ad un cospicuo finanziamento da parte della US Navy<sup>4</sup>, riuscirono a realizzare lo Hewitt-Sperry Automatic Airplane (Figura 1.3), soprannominato 'flying bomb' (bomba volante). Questo modello può essere considerato il vero e proprio precursore dell'APR nel senso del termine oggi concepito, in grado di trasportare una bomba di 130 kg fino ad una distanza di 80 km con discreta precisione.

---

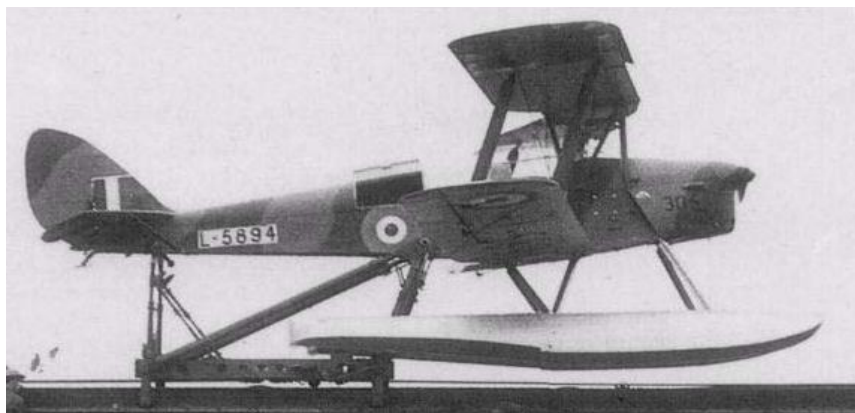
<sup>3</sup> Stabilizzatore Giroscopico: è un dispositivo fisico rotante, che per effetto della legge di conservazione del momento angolare, tende a mantenere il suo asse di rotazione orientato in una posizione fissa (Nautica.it, Luglio 2016).

<sup>4</sup> US Navy sta per United States Navy ed è la marina militare degli Stati Uniti d'America, una delle forze armate della repubblica federale (Wikipedia).



*Figura 1.3: Hewitt-Sperry Automatic Airplane Fonte: Wikipedia*

Negli anni successivi, gli studi su questi primi prototipi di drone continuarono incessantemente, soprattutto negli Stati Uniti e in Inghilterra. Una nuova interessante svolta si ebbe nel 1935 quando l'esercito britannico sviluppò il primo drone capace di portare a termine una missione programmata e tornare alla base. Si trattava del "Queen Bee" (Figura 1.4), APR in grado di volare a circa 160 km/h, coprendo una distanza di 500 km. Disponeva anche di un carrello a ruote e galleggianti che gli permettevano di atterrare sia su terra-ferma che sull'acqua.



*Figura 1.4: Queen Bee*

Nello stesso anno, "**Reginald Denny**", nome d'arte di Reginald Leigh Dugmore, ex aviatore del Royal Flying Corps durante la prima guerra mondiale, assunse un gruppo

di ingegneri aeronautici e progettisti radio della “Lockheed”<sup>5</sup> per avviare la prima produzione di droni su larga scala. Successivamente però Dugmore decise di emigrare negli Stati Uniti per cercare fortuna ad Hollywood come attore, ma la passione per gli aeromodelli radiocomandati non lo abbandonò. Fondò così, insieme ad altri soci, la “Reginald Denny Industries” e aprì anche un negozio di modellini sulla Hollywood Boulevard noto come “Reginald Denny Hobby Shops”, successivamente divenuto “Radioplane Company”. Denny credeva che gli aerei a basso costo sarebbero stati molto utili per addestrare i cannonieri antiaerei, così realizzò il primo prototipo di drone bersaglio, l’RP-1, aggiornato successivamente alle versioni RP-2 (1938), RP-3 e RP-4 (1939). Denny e i suoi soci riuscirono a chiudere un contratto con l’esercito Americano per l’utilizzo dell’ RP-4 radiocomandato. Durante la seconda guerra mondiale vennero prodotti all’incirca quindicimila esemplari di RP-4, il cui nome venne poi trasformato in Radioplane OQ-2 (Figura 1.5).



*Figura 1.5: Radioplane OQ-2 realizzato dalla Radioplane Company utilizzato dall’esercito degli Stati Uniti durante il secondo conflitto mondiale, Fonte: Wikipedia*

Da qui gli APR videro un deciso sviluppo tecnologico, prettamente improntato ad usi militare/bellico. Intorno agli anni ‘40, la Germania nazista iniziò a lavorare sui siluri aerei senza equipaggio sulla base di studi conseguiti dal 1930 nell’Unione Sovietica, relativi ad aerei compositi, ossia grandi aerei che a loro volta sono in grado di trasportarne uno più piccolo. Nel 1941, il Ministero Tedesco Aereo (“Reichluft

---

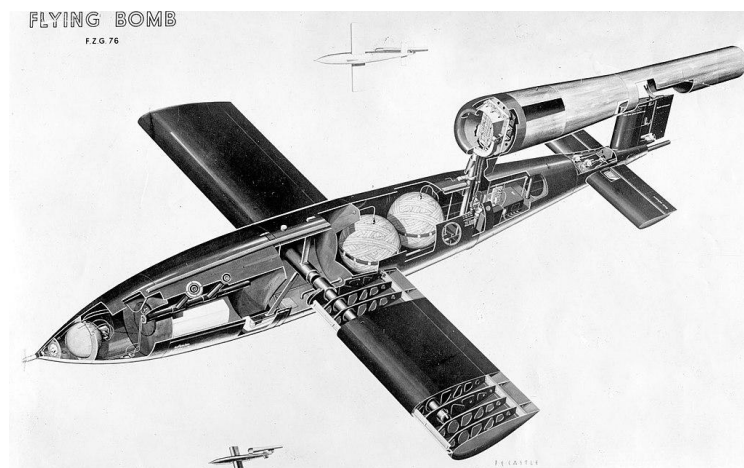
<sup>5</sup> **Lockheed Corporation:** fondata originariamente nel 1912 è stata una delle industrie aerospaziali statunitensi e mondiali più importanti. Nel 1995 a seguito della fusione con la Martin Marietta nacque la nuova società Lockheed Martin (Wikipedia).

Ministerium” noto anche come RLM) iniziò a studiare quali fossero le possibilità di utilizzo di tali tecnologie, puntando a realizzare sistemi per guidare un bombardiere senza pilota come il Junkers Ju-88 (Figura 1.6), munito di esplosivi.



*Figura 1.6: Junkers Ju-88, Fonte: Wikipedia*

Da qui nacque il concetto di Missile da Crociera “Cruise Missile”, missile diretto verso una meta prefissata dotato di un motore che resta acceso per tutta la sua percorrenza e delle ali che gli permettono di restare in volo come un aeroplano e di gestire in qualsiasi momento la rotta. Tale progetto venne revisionato nel 1943 dalla Germania Nazista con il **V-1**, acronimo di **Vergeltungswaffen 1** (arma di rappresaglia) mentre il nome tecnico fu **Fieseler Fi-103**(Figura 1.7).



*Figura 1.7: Fieseler Fi-103, Fonte: Wikipedia*

Visti gli sviluppi in tale campo dell'industria militare tedesca, la Marina Americana decise di sviluppare degli APR capaci di annientare i siti di lancio dei V-1, così nel 1944 la **Navy's Special Air Unit One (SAU-1)** apportò delle modifiche ai **Consolidated B4Y-1 Liberators** e i **Boeing B-17 Flying Fortresses**, aerei militari sviluppati per assaltare obiettivi di terra, al fine di trasportare 25.000 kg di esplosivo guidando questi velivoli attraverso un monitor. Raggiungendo i 2000 piedi di altezza questi velivoli riuscirono, nonostante il rischio dell'operazione, ad annientare alcuni siti. Fu la prima dimostrazione di uno scontro tra APR.

Inoltre, alcuni dei suddetti **Boeing B-17 Flying Fortresses** (Figura 1.8) furono modificati in droni per la raccolta di sostanze radioattive e impiegati sull'isola Atollo di Bikini in un'operazione militare conosciuta come Operation Crossroads <sup>6</sup>.



**Figura 1.8:** Boeing B-17 Flying Fortresses, **Fonte:** Wikipedia

Nel 1950, ci fu un enorme sviluppo dell'industria aeronautica che segnò l'evoluzione degli aerei da combattimento, i quali raggiunsero la velocità supersonica<sup>7</sup>. Oltre ai miglioramenti tecnici, ci fu un enorme cambiamento anche nel design, infatti molti

---

<sup>6</sup> **Crossroads** è stata la prima serie di test sulle armi nucleari in tempo di pace. Fu condotto presso l'atollo di Bikini nel 1946. L'enfasi del rapporto è sulla sicurezza radiologica del personale. I record disponibili sull'esposizione del personale sono riassunti.

<sup>7</sup> **Velocità Supersonica:** "Velocità di propagazione in un certo mezzo (per es. l'aria) con velocità superiore a quella delle onde sonore, nelle stesse condizioni di temperatura e di pressione" (Treccani.it).

droni furono realizzati con la fusoliera a sigaro, delle piccole ali e uno statoreattore<sup>8</sup>. Tra il 1950 e il 1960 nacquero i primi APR con sistema di rilevamento anti-radar (B47) e i primi aerei con motore a reazione, il cosiddetto “propulsione jet<sup>9</sup>”, alcuni dei quali vennero anche modificati per trasportare bombe e agire sulla terra-ferma. Successivamente, alcuni APR, come ad esempio il **Firebee**, furono dotati di fotocamere per scattare foto ad alta quota durante le ricognizioni in territorio nemico. Anche l’Esercito Italiano diede il suo contributo nella costruzione degli APR, alcuni dei quali sono rimasti in uso fino agli anni 2000.

Con lo scoppio della guerra fredda, il bisogno di avere una sorveglianza sempre più efficiente nonché la necessità di effettuare missioni furtive, spinse la United State Air Force ad apportare cambiamenti agli aerei da combattimento, rendendoli più simili ai droni e quindi idonei ai loro scopi. La CIA assegnò alla Lockheed Corporation, una delle più importanti industrie aerospaziali statunitensi e mondiali dell’epoca, un contratto per la progettazione e realizzazione di un aereo ad alta velocità e ultra stealth. L’aereo in questione venne chiamato **Lockheed U-2**, ma purtroppo non ebbe un grande successo, infatti fu abbattuto in guerra e il pilota venne sequestrato.

Alla luce di questo episodio, la necessità di creare velivoli senza pilota a bordo divenne sempre più incombente. Inoltre, un’altra caratteristica fortemente richiesta era la capacità di scattare immagini ad alta risoluzione. La Lockheed Corporation, unendo le due esigenze, realizzò il **D-21** (Figura 1.9), un drone con velocità Mach<sup>10</sup> 4, un grande raggio di azione e un rivestimento in plastica che gli consentiva di non essere scovato dai radar.

---

<sup>8</sup> Lo **Statoreattore**, tradotto dall’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.

<sup>9</sup> “Il **jet** (che in inglese **significa** «getto» o «spruzzo») è un sistema di **propulsione** utilizzato per far volare aerei o razzi o anche per alcune imbarcazioni. Si basa sull’espulsione di un gas o un liquido ad alta velocità, che produce una spinta in direzione opposta” (Treccani.it).

<sup>10</sup> “Il **numero di Mach** (*Ma*) è un numero adimensionale definito come il rapporto tra la velocità di un oggetto in moto in un fluido e la velocità del suono nel fluido considerato. Il nome deriva dagli studi del fisico e filosofo austriaco Ernst Mach” (Wikipedia).



*Figura 1.9: Lockheed D-21, Fonte: The National Interest*

Negli anni successivi le caratteristiche dei droni iniziarono a cambiare per adattarsi a più moderne esigenze. Il focus passò dalla velocità alla manovrabilità e al peso, droni sempre più simili a quelli attuali vennero prodotti anche con materiali più leggeri e innovativi, come la fibra di carbonio e fibra di vetro.

Negli anni '70 fu prodotto il **Lockheed MQM-105 Aquila**, il primo drone dalle dimensioni ridotte capace di volare con il pilota automatico. Il suo punto di forza risiedeva in innovativi sensori capaci di scovare obiettivi nemici sia di giorno che di notte. In quegli stessi anni, l'Israel Aircraft Industries<sup>11</sup> (IAI) sviluppò lo **Scout**, un drone economico e semplice da produrre, ma allo stesso tempo molto resistente e difficile da distruggere. Grazie ad una telecamera montata nella torretta, questo drone 'low-cost' riusciva a fornire ai suoi utilizzatori immagini a 360 gradi.

Negli anni '80 vennero progettati i **Canadair** serie **CL-89** e **CI-289**, utilizzati fino ai primi anni 2000. Con un'autonomia di circa 140 Km e una capacità di registrazione di 10 minuti, il CL-89 aveva il compito di sorvegliare e raccogliere informazioni sulle postazioni nemiche.

Nel 1984, la IAI e la Tadiran costituirono la **Mazlat Ltd**, e da lì a poco svilupparono il famoso **Pioneer**. Questo drone, seppur non in grado di trasportare grossi carichi, poteva volare in autonomia su un percorso prestabilito ed essere controllato da una

---

<sup>11</sup> "Israel Aerospace Industries o IAI è la principale industria aeronautica di Israele che produce sistemi aeronautici ad uso civile e militare e vari sistemi missilistici e di avionica. Nel 2005 contava 14.000 dipendenti" (Wikipedia).

stazione a terra in grado di conoscere la sua posizione in tempo reale. Il suo punto di forza era quello di riuscire a trasmettere, attraverso un sistema di telecomunicazione line of sight (LOS)<sup>12</sup>, informazioni visive in diretta e, in caso di problemi, assicurare comunque l'integrità delle informazioni, grazie ad una modalità di backup.

Nel decennio 1990-2000 sempre più nazioni hanno cominciato ad interessarsi agli APR, segnando così un periodo di grande sviluppo nella produzione di droni. L'introduzione del sistema di telecomunicazione GPS ha permesso agli APR di essere gestiti su un più ampio raggio d'azione, e i vecchi radiocomandi e giroscopi sono stati sostituiti dalle apparecchiature di controllo digitali (DFC). In quegli anni sono nati anche i primi droni solari, droni dotati sia di motori elettrici alimentati da pannelli solari, i quali alimentavano i motori e tutte le attrezzature di bordo. Tra questi ricordiamo il **Pathfinder** (Figura 1.10), drone ultraleggero con un'apertura alare di 30 metri, sensori di altissima precisione e una velocità compresa tra i 20 e i 40 km/h. Esso aveva, inoltre, la capacità di immagazzinare immagini digitali in HD e veniva principalmente utilizzato per raccogliere informazioni sulle condizioni meteorologiche o come piattaforma di comunicazione.



**Figura 1.10: Pathfinder** Fonte: Nasa

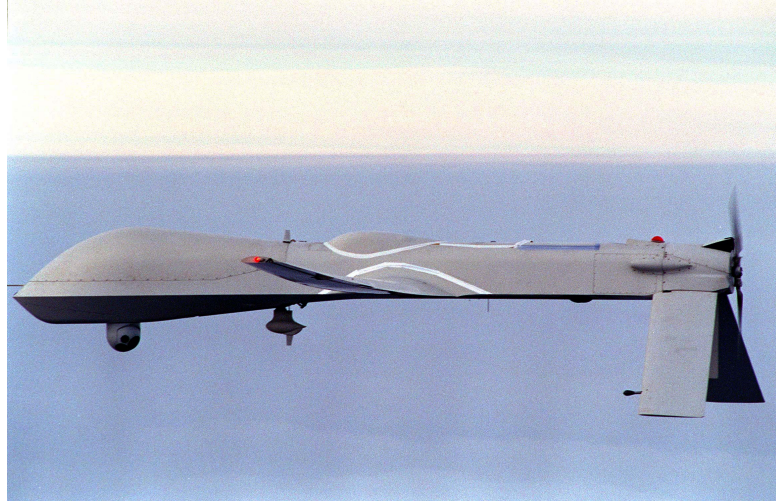
---

<sup>12</sup> Tradotto in italiano “la linea di vista”, “nella terminologia relativa alle telecomunicazioni è il percorso ottico in linea retta fra un dispositivo trasmettitore ed uno ricevitore. La sua rilevanza è dovuta al fatto che, così come la luce, ogni onda elettromagnetica si propaga in linea retta in un mezzo isotropico” (Wikipedia).



I droni solari non sono stati l'unica novità del decennio precedente gli anni 2000, infatti, anche un'altra classe di droni, basata sulla ricognizione e sull'azione a lungo raggio, ha preso vita in quello stesso periodo, dando così il via ad una nuova generazione di APR dotata di sistemi ad infrarossi e attrezzature intelligenti. Questi strumenti venivano utilizzati per lo spionaggio di segnali elettromagnetici, attività meglio conosciuta con il nome di **SIGINT (SIGnals INTelligence)**. Si tratta della raccolta di informazioni mediante l'intercettazione e analisi di segnali, sia emessi tra persone (**communications intelligence - COMINT**), sia tra macchine (**electronic intelligence - ELINT**), oppure una combinazione delle due.

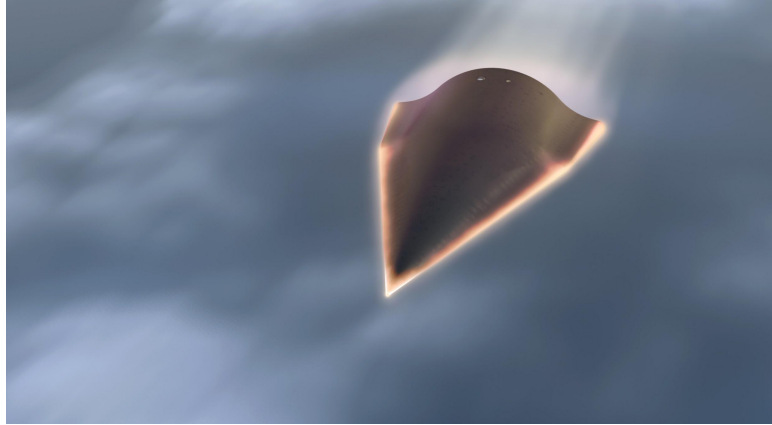
Tra i più conosciuti ricordiamo l'**RQ-1 PREDATOR** (Figura 1.11), un monoplano ad ala bassa della categoria MALE (medium altitude, long endurance - media quota, lunga autonomia) costruito nella metà degli anni 90 dalla General Atomics. Dal valore complessivo di circa 40 milioni di dollari, l'**RQ-1** (R-ricognizione, Q-senza pilota) è stato progettato per svolgere missioni di ricognizione, è entrato in volo per la prima volta nel 1995 ed è stato utilizzato da diversi Paesi ma principalmente dalla United States Air Force. Questo APR era dotato di diversi sensori e una fotocamera frontale che forniva immagini a colori ad alta definizione, inoltre permette di essere guidato in maniera remota da una stazione composta da 50/55 persone, attraverso un joystick e un collegamento satellitare o radio. Aveva un grande raggio d'azione (730 km circa) e un'autonomia che si aggirava intorno alle 17 ore. Successivamente fu dotato anche di missili, cambiando il suo nome in **MQ-1** e denominato Killer Drone / Hunter, perché non solo era capace di svolgere missioni di ricognizione, ma anche di identificare un obiettivo nemico e combattere.



*Figura 1.11: Predator, Fonte: Wikipedia*

Gli sviluppi continuarono negli anni a seguire e vennero realizzati prototipi sempre più evoluti e più all'avanguardia. Grazie all'avanzare dei progetti tecnologici ed alla riduzione dei costi di progettazione e produzione, dai primi anni 2000 a seguire, i droni iniziano ad essere utilizzati anche in ambito civile, nelle riprese cinematografiche, nel controllo del territorio, nella rilevazione delle coltivazioni e in tante altre svariate situazioni.

Nel 2003 è stato ideato l'HTV (Hypersonic Vehicle Technology) e successivamente una nuova versione, l'HTV2 (Figura 1.12), drone con velocità supersonica capace di raggiungere qualsiasi punto della terra in poco tempo. Secondo la DARPA, "*Defense Advanced Research Projects Agency (Agenzia per i progetti di ricerca avanzata di difesa)*", questo velivolo è capace di volare da New York a Los Angeles in soli 12 minuti, raggiungendo una velocità massima che va dai Mach 17 ai Mach 22.



*Figura 1.12: Illustrazione di un Hypersonic Test Vehicle 2, Fonte: Wikipedia*

Nel 2003 la Lockheed Martin ha presentato un nuovo UAS stealth da ricognizione, il **Lockheed Martin RQ-170 Sentinel**, successivamente utilizzato dalla CIA e spesso nominato dal New York Times per essere stato utilizzato come drone spia in Iran.

Sempre più aziende, dunque, stanno sperimentando e realizzando la produzione di droni, autonomamente o in collaborazione con altre. Grazie all'utilizzo di fonti di energia ad alta efficienza, gli APR hanno un'autonomia sempre migliore e possono arrivare a superare le 20 ore di volo, con lo scopo di raccogliere informazioni di ogni tipo su un'area molto vasta. Possono inoltre essere dotati all'occorrenza anche di attrezzature in grado di prelevare campioni di nubi vulcaniche, chimiche o nucleari.

Ad oggi esistono diverse tipologie di droni, il cui peso va da meno di un chilogrammo fino ad arrivare a diverse tonnellate capaci di volare fino a quarantamila metri di altezza, in qualsiasi condizione meteorologica.

Non trasportando passeggeri, non hanno l'esigenza di essere pressurizzati e quindi possono volare ad altezze precluse agli aerei di linea. Quelli che pesano alcune decine di chili sono guidati a vista da una piccola attrezzatura portatile. I droni di peso maggiore sono guidati via satellite da complesse stazioni di terra, che si presentano come la cabina di pilotaggio di un aeromobile di linea.

Un piccolo drone dal peso di un chilogrammo, alimentato a batterie, può restare per un giorno intero davanti a una finestra registrando immagini fisse, riprese video e conversazioni telefoniche. E' così possibile raccogliere un'enorme massa di informazioni che viene poi archiviata e usata per svariati scopi. Negli ultimi anni,

infatti, proprio l'attività di spionaggio militare ha prevalso sugli usi di queste tecnologie, sfruttando a pieno le potenzialità di questi mezzi.

## 1.2 Tipologie di Droni

Esistono diversi modelli di droni, ognuno di essi sviluppato per un utilizzo ben preciso. A seconda della necessità di utilizzo, possono avere forma e dimensioni variabili. Tuttavia è possibile ricondurre a due macro-categorie, a seconda del tipo di struttura che li caratterizza: a elica o planare.

- **Struttura a elica:** la presenza di una o più eliche generalmente montate su bracci estraibili danno a questa tipologia di drone la possibilità di comportarsi come un elicottero. Possono mantenere ferma la posizione a mezz'aria, effettuare virate improvvise e volare in direzione obliqua. A loro volta possono essere suddivisi in:
  - **Singolo rotore:** caratterizzati dalla presenza di un solo rotore interno e uno di coda per fornire maggiore stabilità. Dotati di forza e resistenza, sono ideali per trasportare carichi pesanti.



*Figura 1.13 Drone con singolo rotore, Fonte: Wikipedia*

- **Tricopter:** come si evince dal nome, questo tipo di drone è composto da tre diversi tipi di motori potenti, tre controller e quattro giroscopi. Ogni motore è dotato di un sensore di posizione ed è posizionato all'estremità di

ogni singolo braccio. Grazie ai sensori in dotazione, è capace di stabilizzarsi sul percorso senza il bisogno di essere corretto manualmente.



*Figura 1.14 Drone multi rotori, Fonte: ITALIANEOGRAPHY*

- **Quadcopter:** questi dispositivi chiamati anche elicotteri quadrirotore, sono classificati come aeromobili a propulsione. Questo perché, a differenza dei velivoli ad ala fissa, il loro sollevamento è generato da ben quattro motori, due con rotazione oraria e due antioraria composti da eliche orientate in modo verticale. Il che permette loro di avere una maggiore stabilità e precisione sia quando sono in volo che quando devono effettuare una manovra di atterraggio.



*Figura 1.15 Drone composto da quattro motori, Fonte: Tech-Cycling*

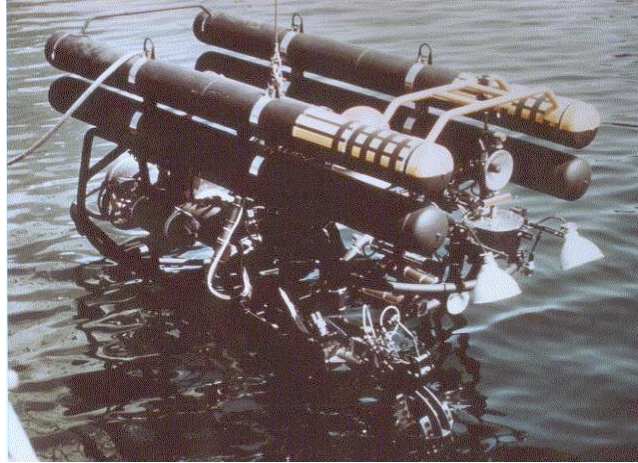
- **Struttura planare:** a differenza dei precedenti, la cui struttura richiama quella degli elicotteri, i droni a struttura planare rispecchiano le sembianze degli aeroplani. Questi velivoli non sono dotati di eliche, bensì di grandi ali e sono

maggiormente utilizzati per percorrere le medie distanze, in quanto sono capaci di sfruttare correnti e flussi d'aria.



*Figura 1.16 Drone con struttura planare, Fonte: NationalGeographic*

- **Ibridi:** device non solo capaci di volare, ma anche di correre a terra e effettuare piccoli salti così da superare agilmente degli ostacoli.
- **Acquatici:** capaci di navigare sulla superficie dell'acqua, ma allo stesso tempo di immergersi come dei veri sommergibili. Sono dei sistemi a pilotaggio remoto, collegati alla nave madre tramite un cavo, attraverso il quale ricevere potenza e trasmette comunicazione agli operatori. Impiegato per svariati utilizzi, a partire dall'esplorazione dei fondali, raccolta dei dati per ricerche scientifiche, disinnescare mine, fino ad arrivare alle guerre sottomarine. Un esempio è il **CURV** "*Cable-controlled Undersea Recovery Vehicle*" sviluppato a partire dai primi anni del 1965, diventato poi famoso nel 1968 per aver disinnescato una bomba a 850 metri di profondità.



*Figura 1.17 Drone acquatico CURV 1, Fonte: Marine Technology*

- **Terrestri:** Questi Robot, principalmente non muniti di armi, vengono impiegati per svolgere missioni di routine, dotati di ruote o cingoli, sono capaci di attraversare terreni impervi e zone pericolose, seguendo rotte stabilite dall'utente. Sono particolarmente utili in caso di ispezioni o sorveglianza e presentano una grande stabilità.



*Figura 1.18 Drone terrestre, Fonte: Projectems*

## Capitolo 2

### 2. Swarm of Drones

Ad oggi lo sviluppo tecnologico raggiunto consente un passo avanti nella gestione dei droni, puntando alla gestione simultanea di un gruppo più o meno numeroso che consenta di realizzare attività più complesse.

Con il termine **Swarm of Drones** (“sciame di droni”) vuole intendersi l’approccio innovativo basato sulla robotica dello sciame e sulla capacità di riuscire a coordinare piccoli e semplici sistemi multi-robot. Più nel dettaglio un **Drone Swarm** è costituito dalla presenza di un gran numero di sistemi robotici capaci di svolgere delle azioni in modo collettivo, riuscendo così a risolvere problemi impossibili se svolti singolarmente, producendo delle interazioni tra i velivoli senza piloti e l’ambiente che li circonda.

Dal punto di vista tecnico uno “sciame” è un gruppo di sistemi robotici guidati da **IA**<sup>13</sup> “**Intelligenza artificiale**”, dotati di alcune proprietà davvero interessanti come ad esempio la ridondanza, la robustezza e un alto grado di parallelismo. Inoltre questi sistemi puntano ad una grande capacità di riuscire ad adattarsi facilmente ai cambiamenti nell’ambiente che li circonda, con un grado di scalabilità non indifferente, ovvero, grandi potenzialità di crescita. La chiave del loro successo è la possibilità di comunicare e quindi di scambiarsi continuamente feedback. Il comportamento di ogni singolo individuo comporta il cambiamento di tutto lo sciame e quindi la riorganizzazione ed il riadattamento in maniera autonoma del gruppo. Il fattore che contraddistingue lo sciame dagli altri sistemi robotici è la possibilità di comunicare tra loro attraverso la condivisione di una rete locale comune. Questa comunicazione ad oggi può essere ottenuta attraverso un sistema di accesso radio, come radiofrequenze o infrarossi, ma l’avanzare delle nuove tecnologie la nascita dei

---

<sup>13</sup> Dalla definizione di Somalvico M. “*L’intelligenza artificiale (o IA, dalle iniziali delle due parole, in italiano) è una disciplina appartenente all’informatica che studia i fondamenti teorici, le metodologie e le tecniche che consentono la progettazione di sistemi hardware e sistemi di programmi software capaci di fornire all’elaboratore elettronico prestazioni che, a un osservatore comune, sembrerebbero essere di pertinenza esclusiva dell’intelligenza umana.*” (Wikipedia) [https://it.wikipedia.org/wiki/Intelligenza\\_artificiale](https://it.wikipedia.org/wiki/Intelligenza_artificiale).



nuovi sistemi di comunicazione renderà sempre più precisa ed efficiente la comunicazione tra essi. L'analisi delle rilevazioni dei singoli componenti del gruppo permette loro di essere in grado di prendere autonomamente delle decisioni e di adattarsi a qualsiasi condizione come se fossero un singolo organismo.

Una concreta applicazione delle potenzialità di questa tecnologia si ha ancora una volta in campo militare. Qualunque apparecchio può essere distrutto da un missile, ma uno swarm può subire grosse perdite senza dover abbandonare completamente la missione. Le batterie anti-aeree non sarebbero in grado di abbattere un intero sciame di droni.

## 2.1 Bio-Inspiration

A partire dall'aspetto estetico, dal ronzio e da altri fattori identificativi, alla base di un **Drone Swarm** c'è una forte ispirazione biologica. Negli ultimi anni, infatti, sempre più studiosi hanno posto l'attenzione sullo studio degli insetti sociali, quali le termiti, formiche, api o altri ancora e sul loro modo di operare in modo sociale e collaborativo con altri membri del gruppo per portare a termine determinate operazioni. Seppur così piccoli, sono in grado di costruire strutture abitative molto complesse e raggiungere obiettivi molto difficili, anche in assenza di un capogruppo che guidi tutta la colonia. Questa forte attinenza alla collaborazione ha preso il nome di **Stigmergy** che in greco deriva dalle parole *στίγμα* *stigma* "mark, sign" e *ἔργον* *ergon* "work, action", termine coniato nel 1959 dal biologo Francese Pierre-Paul Grassé riferendosi ai termitai, per descrivere il metodo di comunicazione utilizzato, che non è basato sulle interazioni dirette tra di loro, ma più da segnali chimici rilasciati nell'ambiente<sup>14</sup>. Osservando il comportamento delle termiti, egli scoprì che questi insetti sono capaci di reagire ai 'significant stimuli', ovvero i segnali che attivano una reazione codificata geneticamente. Gli effetti di queste reazioni possono agire come nuovi stimoli significativi sia per l'insetto che li ha prodotti sia per gli altri insetti nella colonia.

---

<sup>14</sup> Fonte: Stigmergy (Wikipedia), <https://en.wikipedia.org/wiki/Stigmergy>.

Grassè utilizzò il termine ‘stigmergy’ per descrivere questo particolare tipo di comunicazione indiretta in cui "i lavoratori sono stimolati dalle prestazioni che hanno raggiunto". Le due principali caratteristiche della stigmergia che la differenziano dalle altre forme di comunicazione sono:

- la natura fisica e non simbolica delle informazioni rilasciate dagli insetti comunicanti, che corrisponde a una modifica degli stati fisici dell'ambiente visitati dagli insetti;
- la natura locale delle informazioni rilasciate, a cui possono accedere solo quegli insetti che visitano il luogo in cui sono state rilasciate (o il suo vicinato immediato).

Dunque anche se questi minuscoli esseri presi singolarmente hanno un'intelligenza limitata, in un gruppo di migliaia di organismi, costituiscono una vera e propria intelligenza collettiva, che può essere anche definita “**superorganismo**”.

Ma per comprendere più nel dettaglio questo concetto possiamo far riferimento ad un esempio proposto dallo stesso studioso, riferito alla costruzione del nido delle termiti. Questi insetti e le altre specie di formiche non hanno una buona vista, addirittura alcune sono del tutto cieche quindi per comunicare utilizzano il tatto e l'olfatto rilasciando **feromoni** (dal greco *Phero* “portare” e *Orme* “eccitamento”). È il nome che è stato attribuito ad una sostanza biochimica rilasciata da organismi viventi a basse concentrazioni attraverso ghiandole esocrine<sup>15</sup> durante gli spostamenti con lo scopo di generare un segnale facile da captare da altri individui della stessa specie, creando così un continuo feedback tra di loro. Nella prima fase di costruzione del nido, vengono trasportate delle palline di terriccio impregnate di feromoni e rilasciate in modo casuale sul suolo. Il feromone depositato sul terreno forma una scia di feromoni che consente agli altri insetti della stessa specie di trovare più facilmente e in meno tempo il percorso da seguire. Successivamente, una volta che il cumulo di terriccio ha raggiunto una certa dimensione, e il numero di costruttori è abbastanza grande, inizia la fase di coordinazione. L'esistenza di una base iniziale incentiva sempre più individui a depositare terriccio, sempre impregnato di feromoni, innescando così l'inizio di un feedback positivo, in quanto l'accumulo di terriccio pieno della sostanza emessa fa

---

<sup>15</sup> “Le **ghiandole esocrine** sono ghiandole che versano il loro secreto all'esterno del corpo o in cavità comunicanti con l'esterno (per esempio, le ghiandole sudoripare, lacrimali, sebacee, salivari)”, (Wikipedia), [https://it.wikipedia.org/wiki/Ghiandola\\_esocrina](https://it.wikipedia.org/wiki/Ghiandola_esocrina).

umentare l'attrazione di ulteriori depositi. In caso contrario, se invece il numero di costruttori risultasse basso, si andrebbe a creare un feedback negativo nel gruppo a causa della scarsa quantità di feromoni presenti nell'aria, comportando così una situazione di sistema non coordinato.

Per gli insetti alati l'olfatto non basta. Pensiamo ad esempio alle api, sicuramente sono attratte dal profumo emesso dai fiori, ma se sono molto distanti dall'alveare come fanno a trovare la loro fonte di alimentazione? Uno studio condotto dagli scienziati del "Queensland Brain Institute"<sup>16</sup> afferma che le api utilizzano per la ricerca del nettare necessario per la produzione del miele una luce polarizzata impercettibile agli occhi umani, oltre ad una particolare danza per comunicare la direzione della fonte di alimentazione al resto dello sciame.

Si riporta la descrizione dell'esperimento: *"Gli scienziati hanno fatto volare questi insetti in un tunnel diretto a una fonte di zucchero, su cui era proiettata solo una luce polarizzata ed era impossibile vedere il sole: a volte la luce era allineata al tunnel, altre era perpendicolare. A seconda della sua posizione, la danza con cui le api dimenavano l'addome tornando all'alveare cambiava direzione: se la luce era perpendicolare al tunnel le api si muovevano principalmente in direzione verticale, mentre se la luce risultava allineata al tunnel gli insetti si muovevano in orizzontale da destra a sinistra."*<sup>17</sup> Questo dimostra quanto una struttura celebrale così semplice come quella di questi piccoli insetti possa intuire e svolgere azioni così complesse. Ed ecco perché la "Swarm Intelligence" ha preso spunto da loro.

## 2.2 Swarm Intelligence

Il termine "vita artificiale" o "intelligenza artificiale" viene attribuito alla tesi della simulazione dell'atteggiamento umano attraverso il calcolo. Comporta lo sviluppo di sistemi informatici capaci di svolgere delle attività in cui è richiesta l'intelligenza umana, ovvero la capacità di prendere decisioni non assegnate da uno schema di comandi ma al contrario scaturenti dalla valutazione di variabili che influenzano il

---

<sup>16</sup> Condotta in Australia e pubblicato nello studio "Honeybee navigation: critically examining the role of polarization compass" (La navigazione delle api: un esame critico del ruolo della bussola della polarizzazione).

<sup>17</sup> Fonte: la Repubblica.it, 10 Gennaio 2014,

[https://www.repubblica.it/scienze/2014/01/10/news/api\\_usano\\_luce\\_polarizzata\\_e\\_danza\\_per\\_navigare-75560069/](https://www.repubblica.it/scienze/2014/01/10/news/api_usano_luce_polarizzata_e_danza_per_navigare-75560069/).

sistema. Ad esempio, non tantissimi anni fa, solo gli esseri umani erano in grado di riconoscere il discorso di una persona. Oggi invece, grazie all'intelligenza artificiale esiste il riconoscimento vocale, una caratteristica disponibile su qualsiasi dispositivo digitale. Altri esempi di intelligenza umana possono comprendere la traduzione linguistica, il processo decisionale la percezione visiva ecc. Tutto questo è reso possibile grazie a svariate tecniche. Queste tecniche per realizzare l'IA nei computer sono conosciute al pubblico come approcci dell'intelligenza artificiale.

Come già accennato precedentemente, l'intelligenza dello sciame nasce dallo studio derivante dall'appartenenza di contesti e sistemi biologici sulle svariate capacità degli insetti sociali di risolvere problemi quotidiani.

Il termine "**Swarm Intelligence**" è stato coniato ed utilizzato per la prima volta da *Jing Wang, Gerardo Beni e Susan Hackwood* nel 1988 in relazione ad un progetto ispirato ai sistemi robotici. Dopo anni di studio e ricerca hanno visto integrare discipline e ambiti di ricerca fino allora mai legati, come l'informatica, la robotica e la biologia. L'obiettivo era quello di progettare dispositivi e algoritmi efficaci, capaci di risolvere problemi complessi, ispirandosi al comportamento collettivo degli insetti sociali organizzati in sciami o colonie.

Secondo la definizione di Beni e Watt lo sciame intelligente si può definire come la "Proprietà di un sistema in cui il comportamento collettivo di agenti (non sofisticati) che interagiscono localmente con l'ambiente produce l'emergere di pattern funzionali globali nel sistema"<sup>18</sup>. Ci si riferisca all'organizzazione di un gruppo di livello complesso che nasce dall'unione di azioni di complessità minore, il tutto senza un controllo centralizzato. Tali gruppi si distinguono per tre principali caratteristiche:

- Ogni membro dell'organismo ha delle capacità limitate.
- Ogni membro del gruppo non è al corrente dello stato globale del sistema.
- Assenza di un leader che dia delle specifiche gerarchiche o di coordinazione.

Negli anni passati molti etologi hanno cercato di trovare una risposta per descrivere la natura di queste sorprendenti azioni complesse, ipotizzando che il risultato fosse

---

<sup>18</sup> Fonte: Swarm intelligence (Wikipedia), [https://it.wikipedia.org/wiki/Swarm\\_intelligence](https://it.wikipedia.org/wiki/Swarm_intelligence).

dovuto alle operazioni svolte da ogni singolo individuo. Più semplicemente, i singoli componenti sono dotati di particolari caratteristiche, che vengono poi utilizzate insieme alle informazioni inerenti al problema che si trovano ad affrontare, riuscendo così a modulare successivamente il proprio comportamento.

### **2.3 Algoritmi di Swarming**

I continui studi fatti sugli insetti sociali hanno dato vita a due principali algoritmi di swarming:

- **ACO - Ant Colony Optimization** (Ottimizzazione tramite colonia di formiche)
- **PSO - Particle Swarm Optimization** (Ottimizzazione dello sciame di particelle)

Eccoli analizzati più nel dettaglio.

#### **ACO - Ant Colony Optimization** (Ottimizzazione tramite colonia di formiche)

L'ottimizzazione delle colonie di formiche (ACO) è un algoritmo euristico (algoritmo progettato per trovare una soluzione a un problema di ottimizzazione con informazioni incomplete o imperfette o con capacità di calcolo limitata) ispirato al comportamento delle formiche reali. È stato presentato, infatti, dal ricercatore italiano Marco Dorigo e dai suoi colleghi come metodo per risolvere problemi di ottimizzazione combinatoria complessi (COPs). Gli algoritmi di ottimizzazione delle colonie di formiche sono parte integrante dello swarm intelligence e sono costituiti da semplici individui che cooperano attraverso l'auto-organizzazione, cioè senza alcuna forma di controllo centrale sui membri dello sciame. Una serie di esperimenti è stata effettuata su formiche reali, le osservazioni ricavate da questi esperimenti hanno poi ispirato il design dell'algoritmo ACO. Come visto in precedenza al punto (2.1), il primo esperimento fu effettuato dall'entomologo francese Pierre-Paul Grassé. Altri ricercatori hanno poi approfondito lo studio sui feromoni attraverso ulteriori esperimenti. L'insieme di tutti i loro risultati sono stati utilizzati per sviluppare il

suddetto algoritmo di ottimizzazione. Sulla base delle formiche reali, infatti, sono state ideate delle formiche artificiali che risolvono problemi di ottimizzazione. Così come la comunicazione stigmergica avviene tramite il feromone che le formiche depositano sul terreno, analogamente, le formiche artificiali possono simulare la posa dei feromoni modificando appropriate variabili feromoni associate agli stati del problema che visitano mentre costruiscono soluzioni al problema di ottimizzazione. Entrambe le due colonie di formiche sono costituite da una popolazione di individui che lavorano insieme per raggiungere un unico obiettivo, nel caso di quelle reali trovare cibo, nel caso di quelle artificiali trovare la soluzione ottima al problema. Una singola formica, reale o artificiale che sia, è capace di trovare una soluzione al problema, ma un insieme di formiche che cooperano tramite la stigmergia sono in grado di trovare la soluzione ottima. Mentre le formiche reali camminano e depositano feromoni, le formiche artificiali, vivendo in un mondo virtuale, possono modificare solo valori numerici (chiamati per analogia feromoni artificiali) associati a diversi stati problematici. Una sequenza di valori di feromoni associati a stati problematici è chiamata traccia di feromoni artificiali. In ACO, le tracce di feromoni artificiali sono l'unico mezzo di comunicazione tra le formiche. Un meccanismo analogo all'evaporazione del feromone fisico nelle colonie di formiche reali consente alle formiche artificiali di dimenticare la storia e concentrarsi su nuove promettenti direzioni di ricerca. Proprio come le formiche reali, le formiche artificiali creano le loro soluzioni in sequenza passando da uno stato problematico all'altro. Le vere formiche camminano semplicemente, scegliendo una direzione basata sulle concentrazioni locali di feromoni e una politica decisionale stocastica. Le formiche artificiali creano anche soluzioni passo dopo passo, muovendosi attraverso gli stati problematici disponibili e prendendo decisioni stocastiche ad ogni passo. Capito in grandi linee come funziona e su cosa si basa l'ottimizzazione delle colonie di formiche, vediamo ora come questa è stata formalizzata per affrontare i problemi di ottimizzazione combinatoria complessi (COPs). Dato un COP, il primo passo per l'applicazione dell'ACO alla sua soluzione consiste nel definire un modello adeguato. Tale modello è poi usato per definire il componente centrale dell'ACO: il modello feromone.

Una variabile di decisione istanziata  $X_i = v_i^j$  (una variabile  $X_i$  con un valore  $v_i^j$  assegnato dal suo dominio  $D_i$ ) è chiamata 'componente della soluzione' ed è indicata

con  $c_{ij}$ . L'insieme di tutti i possibili componenti della soluzione è indicato con  $C$ .  $T_{ij}$  è un parametro che indica la scia di feromoni, tale parametro è associato a ciascun componente  $c_{ij}$ . L'insieme di tutti i parametri  $T_{ij}$  (scia di feromoni) è indicato da  $T$ . Il valore di un parametro  $T_{ij}$  è indicato da  $t_{ij}$  ed è chiamato 'valore feromone'. Questo valore feromone è utilizzato e aggiornato dall'algoritmo ACO durante la ricerca. Questo consente di modellare la distribuzione di probabilità dei diversi componenti della soluzione.

In ACO, le formiche artificiali costruiscono una soluzione per un COP attraversando il cosiddetto grafico di costruzione,  $G_C(V, E)$ . Il grafico di costruzione completamente connesso consiste in un set di vertici  $V$  ed un set di spigoli (o bordi)  $E$ . Il set di componenti  $C$  può essere associato o ai vertici  $V$  del grafico  $G_C$ , o agli spigoli  $E$ . Le formiche si muovono di vertice in vertice passando lungo i bordi del grafico, costruendo una soluzione parziale in maniera incrementale. Inoltre, le formiche depositano una certa quantità di feromone sui componenti, cioè sui vertici o sui bordi che attraversano. La quantità  $\Delta t$  di feromone depositata può dipendere dalla qualità della soluzione trovata. Le formiche successive utilizzano le informazioni rilasciate dai feromoni come guida verso regioni dello spazio di ricerca più promettenti.

Da un punto di vista più informatico, l'algoritmo ACO è costituito da una fase di inizializzazione e da un ciclo (loop) su tre componenti algoritmici. Il primo componente riguarda la costruzione di soluzioni da parte di tutte le formiche artificiali, il secondo riguarda il loro miglioramento (facoltativo) con l'uso di un algoritmo di ricerca locale, mentre il terzo componente è riferito all'aggiornamento dei feromoni.

### **PSO - Particle Swarm Optimization** (Ottimizzazione dello sciame di particelle)

L'ottimizzazione dello sciame di particelle (PSO) è un modello euristico di ottimizzazione globale, nonché un algoritmo di ottimizzazione basato sulla swarm intelligence. Ideato originariamente dai Dott.ri Kennedy e Eberhart nel 1995, l'algoritmo è ispirato ai movimenti degli uccelli e dei pesci ed è ampiamente utilizzato in diversi campi per la sua facilità di implementazione, in quanto non richiede grandi

quantità di particelle per essere messo a punto. Durante la ricerca di cibo, gli uccelli effettuano una perlustrazione della zona o singolarmente o in gruppo durante la quale si scambiano delle informazioni. Solitamente, c'è sempre un esemplare che riesce a sentire l'odore di cibo meglio degli altri. Una volta individuata la fonte di cibo, esso manda un'informazione diversa agli altri uccelli, chiamata 'buona informazione', così che, guidati dal segnale ricevuto, gli altri uccelli possano trovare più facilmente la fonte di cibo. Per quanto riguarda l'algoritmo, la sua soluzione si basa proprio su quanto appena descritto sullo stormo di uccelli. Lo spostamento degli uccelli da un luogo all'altro può essere associato allo sviluppo di uno sciame di soluzioni, la 'buona informazione' è equivalente ad una soluzione fattibile più ottimistica e la fonte di cibo può essere associata alla soluzione ottima dell'intero svolgimento. Nell'algoritmo di PSO, la soluzione ottimale può essere trovata grazie ad una cooperazione tra tutti gli individui. La particella senza qualità e volume funge da singolo individuo e il semplice modello comportamentale viene regolato per ogni particella in modo da mostrare la complessità dell'intero sciame di particelle. Questo algoritmo può essere utilizzato per risolvere i più complessi problemi di ottimizzazione.

Nel modello base, lo sciame di particelle consiste di  $n$  particelle la cui singola posizione rappresenta una potenziale soluzione nello spazio  $D$ -dimensionale. Le particelle cambiano il proprio stato in base alle seguenti ragioni:

- mantenere la propria inerzia;
- per spostarsi in base alla propria posizione più ottimale;
- per spostarsi in base alla posizione più ottimale dell'intero sciame.

La posizione di ogni singola particella dello sciame è influenzata sia dalla propria posizione più ottimale (esperienza individuale) sia dalla posizione della particella circostante che si trova nella posizione più ottimale (esperienza vicina). Quando tutto lo sciame di particelle circonda una data particella, la posizione di quella particella è uguale a quella ottimale dell'intero sciame. Questo algoritmo è più precisamente chiamato PSO intero. Se la posizione delle particelle circostanti è utilizzata nell'algoritmo, questo è detto PSO parziale.

Ogni particella è identificata dalla propria posizione e velocità attuale, dalla propria posizione più ottimale e dalla posizione più ottimale delle particelle circostanti. Nel PSO parziale, la velocità e la posizione di ogni particella cambiano a seconda delle seguenti equazioni:



$$(1) v_{id}^{k+1} = v_{id}^k + c_1 r_1^k (pbest_{id}^k - x_{id}^k) + c_2 r_2^k (gbest_d^k - x_{id}^k)$$

$$(2) x_{id}^{k+1} = x_{id}^k + v_{id}^{k+1}$$

con:

$v_{id}^k$ =velocità della particella i al tempo k;

$x_{id}^k$ =posizione della particella i al tempo k nello spazio D-dimensionale;

$pbest_{id}^k$ =posizione più ottimale della particella i al tempo k nello spazio D-dimensionale;

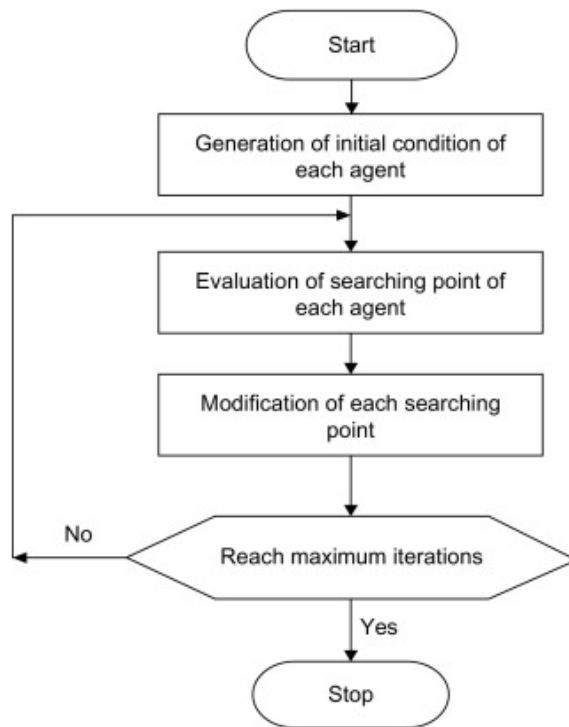
$gbest_{id}^k$ =posizione più ottimale dello sciame al tempo k nello spazio D-dimensionale;

Per evitare che le particelle vadano al di fuori dello spazio di ricerca, la loro velocità in ogni singola direzione è limitata tra  $-v_{dmax}$  e  $+v_{dmax}$ . Se il valore  $+v_{dmax}$  è troppo grande, la soluzione sarà enormemente lontana da quella ottimale, se il valore di  $+v_{dmax}$  è troppo piccolo, la soluzione rappresenterà l'ottimo locale.  $c_1, c_2$  rappresentano i valori di eccesso di velocità e regolano la lunghezza dello spostamento verso la maggioranza delle particelle dello sciame e verso la singola particella che si trova nella posizione più ottimale. Se questi valori sono troppo piccoli, la particella andrà probabilmente troppo lontano dall'area target, al contrario, se questi valori sono troppo grandi, la particella andrà improvvisamente nell'area target o addirittura al di là di essa. I valori appropriati per  $c_1$  e  $c_2$  possono controllare la velocità del volo delle particelle, facendo sì che la soluzione ottima venga trovata. Solitamente,  $c_1 = c_2 = 2$ , mentre  $r_1$  ed  $r_2$  rappresentano funzioni casuali e possono assumere qualunque valore tra 0 e 1.

Nel PSO locale, invece di ricercare la particella ottimale dello sciame, ogni particella perseguirà la particella ottimale che la circonda per regolare la sua velocità e posizione.

Formalmente, la formula per la velocità e per la posizione della particella è completamente identica a quella del PSO intero.

La figura (2.1) mostra il diagramma di flusso generale dell' algoritmo PSO e i principali elementi del suo processo.



**Figura 2.1** Fonte: *Power Electronics Handbook, Fourth Edition.*

## Capitolo 3

### 3. Ambiti di utilizzo

Nell'ultimo decennio l'interesse per lo studio dell'intelligenza artificiale applicata ai sistemi autonomi ha visto un interesse crescente a livello mondiale, grazie soprattutto all'interazione sempre più spinta degli ecosistemi ad alta tecnologia nella vita quotidiana, prima sperimentati in campo militare e poi diffusi anche in ambito civile. Ne è un esempio il sistema ARPANET<sup>19</sup>, sviluppata nel dipartimento della difesa degli Stati Uniti e progenitrice della moderna rete Internet che tutti conosciamo. Altra tecnologia di derivazione militare è il sistema GPS (Global Positioning System) inizialmente utilizzato per il posizionamento di basi militari e attrezzature belliche ed oggi impiegato da navigatori e smartphone di tutto il mondo. Ricordiamo inoltre algoritmi di cifratura dei dati, telecamere termiche, e tante altre tecnologie prima sviluppate ed implementate per gli usi militari sono successivamente divenute di uso comune.

Anche gli Apr, come abbiamo visto, sono stati inizialmente sviluppati per usi militari e continuano ad essere perfezionati per tali ambiti, ma lo sviluppo delle tecnologie e l'approccio della civiltà moderna verso l'utilizzo comune di tecnologie sempre più spinte, stanno spingendo il settore dei droni verso nuovi orizzonti. Grazie alle numerose ricerche condotte sul comportamento di gruppo degli insetti sociali e lo studio degli algoritmi alla base di queste dinamiche, si stanno compiendo grossi passi avanti nello sviluppo di nuovi ampi scenari di utilizzo dei droni o di gruppi di essi.

Questi strumenti sono in grado di raccogliere una grossa mole di dati e possono garantire un'incredibile operatività. Tale tecnologia può trovare applicazione in settori anche molto diversi che vanno dall'agricoltura di precisione alla sicurezza, da quello

---

<sup>19</sup> ARPANET ("*Advanced Research Projects Agency NETwork*", in italiano "*Rete dell'Agenzia per i progetti di ricerca avanzati*"), fu una rete di computer studiata e realizzata nel 1969 dal DARPA (Agenzia del Dipartimento della Difesa degli Stati Uniti), responsabile per lo sviluppo di nuove tecnologie ad uso militare. Forma embrionale dalla quale poi nel 1983 nacque Internet, fu pensata per scopi militari statunitensi durante la guerra fredda. Paradossalmente ne nacque uno dei più grandi progetti civili, una rete globale che collega tutta la Terra. (Fonte Wikipedia).

militare a quello scientifico. Grazie alla loro flessibilità, sono sempre più impiegati in attività pratiche di grande utilità, soprattutto là dove è fondamentale intervenire tempestivamente.

### **3.1 Sviluppo di applicazioni autonome in ambito militare e della sicurezza**

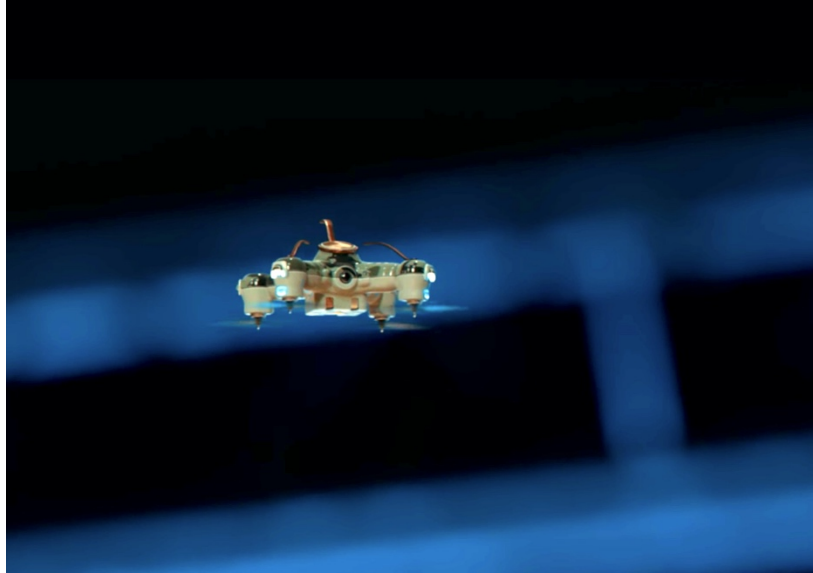
Nel Novembre del 2017 è stato caricato su YouTube un video chiamato “Slaughterbots”, nato dall’idea di **Stuart Russell** (professore di intelligenza artificiale presso l’Università della California, Berkeley) e finanziato dalla **Future of Life Institute** (FLI), un’associazione di scienziati e tecnologi tra cui **Elon Musk**<sup>20</sup>, **Stephen Hawking**<sup>21</sup> e **Martin John Rees**<sup>22</sup>, preoccupati per i risvolti inaspettati che queste nuove tecnologie avrebbero potuto determinare in un futuro non troppo lontano. Questo filmato è stato ambientato in un futuro prossimo, in cui piccoli droni intelligenti, dotati di sensori come sistemi di riconoscimento facciale e piccole cariche di esplosivo, venivano programmati per cercare ed uccidere individui determinati o classi di individui.

---

<sup>20</sup> **Elon Musk**: Nato a Pretoria il 28 giugno del 1971, è un imprenditore sudafricano fondatore di diverse aziende come AD e CTO di Space Exploration Technologies Corporation, nonché CEO di Tesla e Neuralink. Fonte: <https://argomenti.ilsole24ore.com/elon-musk.html>

<sup>21</sup> **Stephen Hawking**: Nato a Oxford l’8 gennaio del 1942 e deceduto il 14 marzo 2018, è stato uno scienziato, astrofisico, cosmologo, matematico e fisico, fra i più importanti e rinomati fisici teorici a livello mondiale.

<sup>22</sup> **Martin John Rees**: Nato a York nel Regno Unito il 23 giugno del 1942, è un astronomo e cosmologo inglese.



*Figura 3.1: Slaughterbots, Fonte: IEEE SPECTRUM*

Principalmente la domanda che il professor Russell si poneva era: “ancora per quanto tempo tutto questo sarà finzione?”

Potremmo forse rispondere non per molto ancora. Infatti, oggi i laboratori militari di tutto il pianeta sono impegnati a sviluppare piccoli robot autonomi da impiegare in guerra, sia convenzionali che non convenzionali, realizzando già alcuni primi importanti risultati.

Nel Dicembre del 2017, la Cina ha conquistato il record mondiale al Fortune Global Forum<sup>23</sup> di Guangzhou, per essere riuscita a mobilitare il più grande sciame di droni della storia. Oltre 1000 droni in miniatura ad alto livello tecnologico hanno svolto una serie di esercizi in modo collettivo, in grado di realizzare uno spettacolare gioco di luci.

---

<sup>23</sup> Il Fortune Global Forum è una conferenza annuale tenuta dalla rivista Fortune. La prima conferenza si tenne a Singapore nel 1995. Il Fortune Global Forum convoca presidenti e CEO delle migliori compagnie del mondo e anche prestigiosi economisti. L'ultimo forum dal titolo "Openness and Innovation: Shaping the Global Economy" si è tenuto a Guangzhou in China, nel Dicembre del 2017.



*Figura 3.2: I droni illuminati si muovono in sincronia al Global Fortune Forum di Guangzhou, Cina,  
Fonte: The Diplomat*

La performance messa in atto dimostra la potenziale abilità che la Cina ha nella gestione dei sistemi di sciame efficaci. Il pilotaggio di minuscoli DroneBot in un'unica unità dimostra la capacità e l'interesse che questo paese ha per i velivoli autonomi, non semplicemente droni ma macchine intelligenti in grado di fare molto di più che un semplice spettacolo di luminarie.

In America, nell'Aprile 2018, la **Defense Advanced Research Projects Agency** (agenzia per i progetti di ricerca avanzata di difesa del Pentagono) meglio conosciuta con l'acronimo DARPA, ha lanciato il programma Gremlins, assegnando un contratto da 38,6 milioni di dollari all'azienda statunitense DYNETICS<sup>24</sup>, per sviluppare un software che riesca a far decollare e atterrare dei droni da una piattaforma in volo.

Lo scopo di tale programma è dunque quello di utilizzare un aereo di grande dimensioni, il C130, come una sorta di “nave madre”, capace di ospitare uno sciame di droni dal costo contenuto in grado di cooperare sullo stesso campo di azione, svolgendo per lo più missioni di localizzazione e di cyber war. Questa specie di “portaerei volante” dovrà consentire il decollo e l'atterraggio dei piccoli droni, i quali una volta portata a termine la missione saranno in grado di fare ritorno alla nave madre.

---

<sup>24</sup> Azienda Statunitense operante nel settore dell'ingegneria, scienza applicata e tecnologie informatiche.

Il vantaggio di questa applicazione sarà quello di spostare agevolmente in modo fast and safe piccoli gruppi di droni, da poter schierare in poco tempo laddove ne sarà richiesto l'uso.

La durata prevista dei gremlin di circa 20 utilizzi potrebbe fornire vantaggi significativi in termini di costi di missione e manutenzione rispetto alle piattaforme convenzionali, progettate per avere una durata di utilizzo decennale.

Attualmente Dynetics sta eseguendo la fase dimostrativa del programma e nell'ultimo aggiornamento pubblicato sul loro sito ufficiale, hanno affermato che “la US Air Force ha assegnato il titolo X-61A al programma Dynetics Gremlins. Gli X-planes sono stati storicamente all'avanguardia nella ricerca aerospaziale DoD<sup>25</sup>, quindi il titolo fornisce un riconoscimento delle sfide tecniche del programma Gremlins”<sup>26</sup>.

L'intero team si sta preparando per lo step successivo, ovvero quello di testare il volo del sistema Gremlins integrato. Il primo sarà un volo di checkout del GAV<sup>27</sup>, seguito da tentativi di recupero precoce. Appena il team avrà raggiunto il primo recupero si preparerà alla dimostrazione finale: recuperare quattro GAV in meno di mezzora.

Questo programma ha avuto inizio sotto l'amministrazione Obama e rientra nella “Third Offset Strategy” del Dipartimento della Difesa degli Stati Uniti progettata per trarre vantaggio dai principali avversari attraverso la tecnologia come velivoli senza equipaggio, robotica ed intelligenza artificiale.

### **3.2 Applicazioni in ambito civile e scientifico**

Come abbiamo già avuto modo di vedere nei punti precedenti, sicuramente uno dei settori in cui queste tecnologie vengono e verranno maggiormente utilizzate è quello

---

<sup>25</sup> DoD: Dipartimento della difesa degli Stati Uniti.

<sup>26</sup> Fonte: Gremlins continues to progress during the demonstration phase. (Dynetics.com, 2019)

<sup>27</sup> GAV: Acronimo di Gremlins Air Vehicle.

militare. Tuttavia interessanti applicazioni si stanno sperimentando anche in ambiti diversi, come quello civile e scientifico.

La filosofia alla base della tecnologia degli Swarm's of Drones può contribuire al controllo attivo di aree contaminate a seguito di eventi meteorologici estremi (alluvioni, uragani, terremoti, ecc...) per analizzare anche ampie zone ambientali e valutare l'eventuale pericolosità per la presenza dell'uomo. Sciami di droni opportunamente attrezzati potrebbero anche intervenire attivamente nella sanificazione di aree interessate da infestazioni o agenti pericolosi.

Un'altra interessante applicazione può avvenire nel settore dell'agricoltura di precisione, utilizzando gruppi di droni per analizzare dettagliatamente (con sensori igrometri<sup>28</sup> ed altri specifici) i campi coltivati ed avere una mappa puntuale delle zone, ad esempio, attaccate da parassiti e malattie virali delle piante, ed intervenire sempre con queste tecnologie trattando esclusivamente le zone interessate. Si otterrebbe così una maggior efficienza sia in termini di efficacia degli interventi fitosanitari che di risorse impiegate (riducendo costi operativi, sprechi di fitofarmaci ed emissioni nocive nell'ambiente).

In uno scenario più futuristico si potrebbe pensare infine a tecnologie più affinate soprattutto di miniaturizzazione dei droni ed utilizzo degli sciame di droni in ambito chirurgico. Sarebbe così possibile creare uno sciame di droni piccoli come cellule, in grado di replicare le funzionalità del sistema immunitario umano ed attaccare malattie specifiche (tumori, leucemie) che oggi richiedono interventi chirurgici invasivi e difficili.

### **3.3 Assegnare il pieno controllo decisionale a macchine autonome: criticità**

Chiunque abbia mai provato a eliminare delle formiche dalla cucina sa quanto è difficile scongiurare l'invasione di un piccolissimo esercito ben organizzato (Jerry

---

<sup>28</sup> L'igrometro è uno strumento che misura l'umidità relativa dell'aria, ovvero il rapporto tra l'umidità assoluta (quantità di vapore acqueo presente nell'atmosfera in un dato istante) e l'umidità di saturazione (quantità massima di vapore acqueo che può essere presente ad una data temperatura e pressione). Entrambe si esprimono in termini di peso del vapore acqueo per unità di peso di aria secca e quindi sono adimensionali. L'umidità relativa, anch'essa adimensionale, si esprime in percentuale come rapporto tra le due umidità assolute. (Fonte Wikipedia)



Kaplan, 2017). Questa frase lascia ben intendere quale possa essere la principale criticità del demandare ad un algoritmo di un software la capacità di interagire con l'ambiente, valutare scenari e agire con comportamenti più o meno prevedibili. Si pensi all'applicazione in campo medico riportata nel capitolo precedente. La stessa tecnologia che potrebbe servire a curare i tumori potrebbe essere usata per uccidere. Replicare tramite algoritmo quelli che sono i processi fondamentali che governano gli sciami di insetti in natura, ovvero il governo dell'organismo collettivo senza una centralità della gestione, con un avvicendamento delle azioni dei singoli che si rafforzano e implementano al verificarsi di certe condizioni ambientali, può far deviare il risultato rispetto alle attese, determinando scenari inaspettati e imprevedibili. Oltre a ciò le potenzialità di questa tecnologia in campo militare sono elevate, ma altrettanto lo sono i rischi connessi.

L'ufficio di ricerca navale (ONR) già qualche anno fa ha condotto delle dimostrazioni di sciame di (UAV). Tali dimostrazioni facevano parte del programma definito Low-Cost UAV Swarming Technology (LOCUST) basato sul drone Coyote, che aveva come obiettivo quello di creare uno sciame composto da 30 droni del tutto automatizzati allo stesso costo di un singolo missile, ovvero, circa 1,2 milioni di dollari<sup>29</sup>.



*Figura 3.3: Drone LOCUST, Fonte: Defense Update*

Già in precedenza abbiamo visto come uno sciame di droni può agire in modo collaborativo per creare uno spettacolo di luci, quindi non è di certo una sorpresa che

---

<sup>29</sup> Fonte: il Giornale.it <http://www.ilgiornale.it/news/mondo/usa-testano-locusta-primo-sciame-guerra-1212591.html>

i militari abbiano riconosciuto queste capacità per permettere loro di essere utilizzati in altre circostanze e con altri tipi di incarichi. Infatti, come dimostra anche il progetto LOCUST, questi droni sono stati ideati per condividere informazioni tra di loro e, una volta in volo, essere capaci di collaborare autonomamente per svolgere missioni sia offensive che difensive. Le dimostrazioni dell'ONR, che si sono svolte negli ultimi anni in più località, comprendevano il lancio di UAV Coyote capaci di trasportare dei carichi utili per svolgere diversi tipi di missioni. Il responsabile del programma ONR “**Lee Mastroianni**” ha dichiarato: *“questo livello di volo autonomo non è mai stato fatto prima”* (2015).

Le armi autonome hanno molti vantaggi rispetto ai soldati umani. Non si stancano, sono più precise, possono reagire più velocemente e sono in grado di eseguire operazioni al di fuori dei parametri in cui un essere umano sopravviverebbe, come ad esempio trascorrere lunghi periodi in luoghi desertici. Non hanno bisogno di anni di addestramento e allenamento e possono essere riprodotti su larga scala. Non vengono uccisi o feriti ma semplicemente, nel peggiore dei casi danneggiati o distrutti. In caso di distruzione subentra poi un altro importante fattore, quello economico. Basti pensare, infatti, che centinaia di piccoli UAV hanno un prezzo inferiore rispetto ad un singolo velivolo tattico e nell'eventualità di attacco bisogna mettere in bilancio la perdita di alcuni elementi, difficilmente dell'intero sciame.

Giustificare impegni militari al pubblico è più facile quando vengono utilizzate armi autonome. Dal momento che le perdite umane sono minime dal lato dell'attaccante, anche gli eserciti possono conservare un profilo più basso. Anche i recenti impieghi dell'UE e degli Stati Uniti in Libia, Yemen e Siria hanno avuto una forte concentrazione sull'utilizzo di droni, missili da crociera e campagne di bombardamenti. Se da un lato, gli attaccanti puntano sugli sciame di droni, dall'altro, gli avversari sono naturalmente portati a concentrarsi su una risposta adeguata ad essi, in quanto senza tali mezzi avrebbero un grande handicap nell'affrontare i robot.

### **3.3.1 Aspetti Etici delle applicazioni in campo militare di Swarm of Drones**

L'utilizzo di tecnologie così avanzate e impattanti sulla vita umana genera come sempre aspetti etici e interrogativi di non facile definizione. I dipendenti di Google nel

maggio dello scorso anno si sono dimessi in segno di disapprovazione per la compagnia che ha contribuito ad aiutare le forze armate statunitensi nello sviluppare sistemi di intelligenza artificiale per i droni. E successivamente la società ha deciso di abbandonare ciò che aveva iniziato. Circa 2.400 ricercatori più recentemente hanno deciso e promesso di non sviluppare più armi autonome. Alcuni ingegneri e ricercatori di AI non sono disposti a lavorare sulle autonomous weapons per paura che il loro aiuto contribuisca a dare il via ad una corsa agli armamenti dell'intelligenza artificiale. L'aspetto di fondo che preoccupa maggiormente è che queste macchine non hanno un cervello umano e come dimostrava l'esperimento condotto da **Stuart Russell** (cfr paragrafo 3.1), sono robot progettati per obbedire e svolgere dei semplici compiti, robot che al contrario di un essere vivente non provano emozioni e non hanno ripensamenti, sono solo capaci di portare a termine una determinata missione e se cadono nelle mani sbagliate possono essere utilizzati anche per reprimere o uccidere la popolazione civile.

### **3.3.2 Disciplinare l'utilizzo della tecnologia: possibili soluzioni**

Come prima cosa bisognerebbe sviluppare un trattato di non proliferazione, simile a quello redatto per le armi nucleari, in modo da vietare le armi autonome. Senza di un trattato del genere, le parti che per un motivo morale o etico dovessero astenersi, avrebbero un grande svantaggio.

Ad oggi sono anche aumentate le iniziative per fermare la riproduzione di questo tipo di armi. La *Campaign to stop killer robots*, associazione che ingloba all'incirca un centinaio di organizzazioni non governative, ha conquistato il supporto di 28 governi con lo scopo di far inserire questa tipologia di armi tra quelle con effetti indiscriminati e particolarmente dannose nella *Convention on Certain Conventional Weapons* (Convenzione su alcune armi non convenzionali). Il problema è che i protagonisti dello scenario militare come la Russia, Stati Uniti e Israele mancano all'appello, il che fa crollare le possibilità di generare un accordo che blocchi lo sviluppo di questi device intelligenti.

È molto difficile e improbabile fermare la creazione di queste armi, anche se il trattato internazionale venisse firmato da tutti i paesi, come già successo per la non

proliferazione nucleare. Questo perchè sono troppe le differenze tra i due modelli di guerra.

Il trattato del 1958, riguardante la non proliferazione nucleare, funziona bene grazie a due motivi: il primo, è la presenza di un asse temporale molto lungo di accelerazioni per diffondere le armi nucleari, il che rende possibile ad altri firmatari di reagire alle trasgressioni ed emanare delle sanzioni, mentre il secondo è dovuto alla grande efficacia delle ispezioni.

Per produrre armi nucleari c'è bisogno di un impianto di arricchimento e plutonio a livello militare, il che è difficile da nascondere, anche perché tracce di plutonio sono facili da trovare nel momento delle ispezioni. Inoltre, è richiesto un lungo periodo per la costruzione e anche una grande competenza, nonché strumenti specializzati per la creazione di tutte le parti speciali.

Mentre per le armi autonome è tutto il contrario. Innanzitutto hanno un tempo di accelerazione molto inferiore: ci sono già svariate tecnologie utili per la creazione di queste armi e possono essere sviluppate agevolmente senza infrastrutture specifiche. Basti pensare agli aerei da combattimento o ai carri armati, che sono già dotati di svariati sensori e telecamere ad alta risoluzione per registrare e mostrare tutto quello che accade intorno a loro. Basterebbe combinare la sensoristica e i sistemi di automazione con l'intelligenza artificiale ed il gioco è fatto.

Le ricerche in campo di IA stanno proseguendo sempre più velocemente, grazie a entità private e governi che investono sempre di più in essi. Questo progresso, oltre che essere guidato da laboratori di ricerca come ad esempio il DeepMind<sup>30</sup> di Alphabet<sup>31</sup> sta iniziando ad essere seguito anche da società che sviluppano giochi. Il perché di questa scelta è anche abbastanza facile da intuire, i soldati dell'intelligenza artificiale non hanno l'esigenza di essere addestrati sul campo, ma possono farlo anche virtualmente. Lo dimostra una delle ricerche condotte da **“OpenAI”** sull'apprendimento del trasferimento, che dimostra come questi possano adattarsi al

---

<sup>30</sup> DeepMind è un gruppo di scienziati, ingegneri, esperti di machine learning e altro ancora, che collaborano insieme con lo scopo di far avanzare lo stato dell'arte dell'intelligenza artificiale. (DeepMind.com)

<sup>31</sup> Alphabet è un'azienda statunitense fondata nel 2015 come holding a cui fanno capo Google, LCC e altre società controllate. (Alphabet Inc. Wikipedia)

mondo reale dopo aver svolto una simulazione di addestramento virtuale, con una percentuale di errore bassissima. Essa è un'organizzazione non profit che opera nel settore della ricerca sull'intelligenza artificiale e che ha come scopo quello di collaborare con altri ricercatori per sponsorizzare e creare una **Friendly AI** (intelligenza artificiale amichevole) e rendere le sue ricerche e brevetti disponibili a tutti liberamente. È stata fondata da **Elon Musk** e **Sam Altman** nel dicembre 2015, motivati anche dai rischi che questa “artificial intelligence” può generare.

Le ispezioni sulla creazione di armi autonome non sono semplici da condurre. La tecnologia e le ricerche necessarie al loro sviluppo non sono specifiche ma comuni anche ad altri campi. Inoltre, è molto più difficile individuare un'intelligenza artificiale alla base di un'arma autonoma che quella utilizzata per la realizzazione di armi nucleari. Questo perché l'AI può essere sviluppata in un qualsiasi centro dati; codici e dati in fondo possono essere facilmente trasferiti e nascosti senza lasciare traccia. La maggior parte dello sviluppo e del miglioramento di questi codici può avvenire in un qualsiasi server nel cloud, e le simulazioni possono essere facilmente mascherate. In questo modo gli ispettori esterni non hanno alcun indizio sul fatto che si stia utilizzando l'AI per costruire un'arma letale o semplicemente per sviluppare un nuovo gioco per Pc.

Ma se le due proprietà prima definite non vengono soddisfatte, allora un trattato non ha modo di essere rispettato. Quindi i firmatari continueranno a ricercare in segreto nuove tecnologie da integrare con le armi autonome senza la possibilità che possano essere scoperti.

## Capitolo 4

### 4. Conclusioni

Il mio lavoro di tesi ha avuto come obiettivo quello di esaminare in maniera dettagliata gli “Swarm of Drones”, partendo dalla nascita del drone sino ad arrivare allo sviluppo dei droni con intelligenza artificiale. Sono stati analizzati i diversi modi in cui i ricercatori hanno portato avanti lo studio sui droni, evidenziandone vantaggi e svantaggi. Lo sviluppo di tale tecnologia ha avuto origine dallo studio delle dinamiche comportamentali degli insetti sociali. Tali ricerche, come abbiamo avuto modo di vedere nella tesi, hanno portato alla luce la straordinaria capacità di collaborazione che questi insetti possiedono e come questo forte spirito collaborativo venga utilizzato per risolvere dei problemi molto complessi. Ciò ha fatto sì che gli scienziati sviluppassero sulla base di questi studi degli algoritmi per la risoluzione di problemi complessi che sono poi stati utilizzati per la creazione degli sciami di droni. Pensare che queste opere di elevata tecnologia emulino dei fattori biologici è alquanto sbalorditivo: macchine capaci di compiere eccezionali azioni militari costruite partendo dall’osservazione di fenomeni naturali come la ricerca del cibo o la costruzione di un termitaio.

Se da un lato questa grande invenzione ha portato molti vantaggi in diversi ambiti, a partire da quello militare fino ad arrivare a quello civile o scientifico, dall’altra ha arrecato non poche preoccupazioni riguardo quello che può fare uno sciame se utilizzato in modo non appropriato. Ad esempio, basti pensare alla costruzione e allo sviluppo delle armi autonome. Come enunciato nell’ultimo paragrafo, il loro sviluppo è inevitabile, ma c’è bisogno di trovare un modo per far sì che queste non vengano utilizzate contro la popolazione; si potrebbe cominciare con il limitarne l’uso nella polizia.

Sulla base delle ricerche condotte posso affermare che i vantaggi scaturiti dall’utilizzo dei droni superino di gran lunga gli svantaggi; penso che questo avanzamento tecnologico che ha contribuito e sta contribuendo a innumerevoli successi su svariati fronti sia solo l’inizio di una grandiosa evoluzione che porterà giovamento alle

popolazioni future. In particolare, ritengo che gli algoritmi sopracitati possano essere sfruttati non solo nel settore dei droni ma anche, e soprattutto, in campo medico. La loro applicazione potrebbe essere fondamentale per sviluppare un innovativo sistema in grado di combattere le cellule tumorali.

Tutto questo non è un'utopia anzi potrà sicuramente essere realizzato; c'è tanto potenziale da sfruttare e siamo solo all'inizio di quello che si prospetta un futuro pieno di intelligenza artificiale e automazione, con la speranza che i diritti degli esseri umani vengano sempre rispettati, ma soprattutto messi davanti a quelli delle macchine.





## Bibliografia

- [01] Adel M.SharafAdel A.A.Elgammal - Novel AI-Based Soft Computing Applications in Motor Drives (38) - Power Electronics Handbook (Fourth Edition),(2018), Pages 1261-1302.
- [02] Allegretti M., “*Unmanned Aerial Vehicle: tecnologie e prospettive future: UAV: dalle origini ai giorni nostri*”, s.l, Edizioni Accademiche Italiane, (2017).
- [03] Bai, Q. (2010). “Analysis of particle swarm optimization algorithm. Computer and information science”, 3(1), 180.
- [04] Battifoglia E., “*I ROBOT SONO TRA NOI. Dalla fantascienza alla realtà*”, s.l, Hoepli, (2016).
- [05] Berkhouse, L., Hallowell, JH, McMullan, FW, Davis, SE, Jones, CB, Osborne, MJ, ... & Martin, EJ (1984). “*Operazione CROSSROADS-1946*” (No. KT-83-006 (R)). KAMAN TEMPO SANTA BARBARA CA.
- [06] Bonabeu E, Dorigo M, Theraulaz G., “*Swarm Intelligence: From Natural to Artificial Systems*”, s.l, OUP USA, (1999).
- [07] Da Empoli S., “*Intelligenza artificiale: ultima chiamata. Il sistema Italia alla prova del futuro*”, s.l, Università Bocconi Editore, (2019).
- [08] Dorigo, M., & Socha, K. (2006). “*An introduction to ant colony optimization. Universit de Libre de Bruxelles*”, CP, 194(6).
- [09] Flammini, F. “*ARTIFICIAL INTELLIGENCE (AI) APPLICATA AGLI AUTONOMOUS SYSTEMS*”.
- [10] G. Piccoli P., “*Droni. Security, safety, privacy ed etica. Sistemi aeromobili a pilotaggio remoto: il futuro dell’aviazione militare e civile*”, s.l, EPC, (2016).
- [11] Kaplan J., “*Intelligenza artificiale. Guida al futuro prossimo*”, s.l, LUISS University Press, (2017).
- [12] Luisalba Filippini V., “*DRONI E DIRITTO Leggi, regolamenti e prassi*”, s.l, FAG, (2017).
- [13] Maeterlinck M., “*La vita delle api – La vita delle termiti – La vita delle formiche*”, s.l, Licenza – Newton Compton editori, (2017).
- [14] Roli, A., & Tiboni I., *I PRINCIPI DELLA SWARM INTELLIGENCE*.
- [15] Russel S., “*Artificial Intelligence: A modern Approach, Global Edition*”, s.l, Pearson Education, (2016).

[16] Schwab k., “*Governare la quarta rivoluzione industriale*”, s.l, Franco Angeli, (2019).

[17] Tegmar M., “*VITA 3.0 Essere umani nell’era dell’intelligenza artificiale*”, s.l, Cortina Raffaello, (2018).

## Sitografia

[01] DARPA, “Gremlins on Track for Demonstration Flights in 2019”,  
<https://www.darpa.mil/news-events/2018-05-09> - (ultima consultazione 20 Febbraio 2020).

[02] Dreifus C., THE NEW YORK TIMES, “Toby Walsh, A.I. Expert, Is Racing to Stop the Killer Robots”, Luglio 2019,  
<https://www.nytimes.com/2019/07/30/science/autonomous-weapons-artificial-intelligence.html> - (ultima consultazione 18 Dicembre 2019).

[03] DYNETICS, “Gremlins continues to progress during the demonstration phase”, Settembre 2019,  
<https://www.dynetics.com/newsroom/news/2019/gremlins-continues-to-progress-during-the-demonstration-phase> - (ultima consultazione 10 Febbraio 2020).

[04] EMBENTION, “Drone Swarm Performance and Applications”, Giugno 2019,  
<https://www.embention.com/news/drone-swarm-performance-and-applications/#targetText=Concretely%20Drone%20Swarm%20consists%20of,of%20intelligence%20of%20artificial%20swarms> - (ultima consultazione 28 Gennaio 2020).

[05] Flammini F., MINISTERO DELLA DIFESA, “Artificial intelligence (AI) applicata agli autonomous systems”, Febbraio 2019,  
[https://www.difesa.it/SMD\\_/CASD/IM/CeMiSS/Pubblicazioni/ricerche/Pagine/Ricerca\\_AN\\_SMD\\_02.aspx](https://www.difesa.it/SMD_/CASD/IM/CeMiSS/Pubblicazioni/ricerche/Pagine/Ricerca_AN_SMD_02.aspx) - (ultima consultazione 20 Febbraio 2020).

[06] Grigis M., WEBNEWS, “Droni, perché l’uomo vuol volare”,  
<https://www.webnews.it/speciale/droni/> - (ultima consultazione 16 Luglio 2019)

[07] GTECHNOLOGY, “La nascita dei droni”, Marzo 2017,  
<http://www.gtfondazione.org/industria-4-0/la-nascita-dei-droni/> - (ultima consultazione 9 Agosto 2019).

[08] Kirsch A., QUARTZ, “Autonomous weapons will be tireless, efficient, killing machines - and there is no way to stop them”, Luglio 2018,  
<https://qz.com/1332214/autonomous-weapons-will-be-tireless-efficient-killing-machines-and-there-is-no-way-to-stop-them/> - (ultima consultazione 13 Gennaio 2020).

[09] LA REPUBBLICA, “Api, al miele arrivano con una luce polarizzata. E poi inizia la danza”, Gennaio 2014,  
[https://www.repubblica.it/scienze/2014/01/10/news/api\\_usano\\_luce\\_polarizzata\\_e\\_danza\\_per\\_navigare-75560069/](https://www.repubblica.it/scienze/2014/01/10/news/api_usano_luce_polarizzata_e_danza_per_navigare-75560069/) - (ultima consultazione 9 Gennaio 2020).

[10] Luzzatto A., LA CHIMICA E LA SOCIETA', "Sulle api e gli insetti sociali in genere: collaborazione stigmergica e intelligenza collettiva", Dicembre 2015, <https://ilblogdellasci.wordpress.com/2015/12/02/sulle-api-e-gli-insetti-sociali-in-genere-collaborazione-stigmergica-e-intelligenza-collettiva/> - (ultima consultazione 15 Febbraio 2020).

[11] PROJECTEMS, "Electronic System", Agosto 2015, <https://www.projectems.it/tipologie-di-droni-droni-volanti-subacquei-e-terrestri/> - (ultima consultazione Agosto 2019).

[12] Roma A., LIMESONLINE, "Breve storia dei droni", Luglio 2013, <http://www.limesonline.com/breve-storia-dei-droni/48678> - (ultima consultazione Agosto 2019).

[13] Smalley D., ONR: LOCUST, "Autonomous, swarming UAVs fly into the future", Aprile 2015, <https://www.onr.navy.mil/en/Media-Center/Press-Releases/2015/LOCUST-low-cost-UAV-swarm-ONR.aspx> - (ultima consultazione 11 Gennaio).

[14] Soldavini P., IL SOLE 24 ORE, "Pechino mette in guardia: la nuova Guerra fredda hi-tech si combatte con l'intelligenza artificiale", Febbraio 2019, <https://www.ilsole24ore.com/art/pechino-mette-guardia-nuova-guerra-fredda-hi-tech-si-combatte-l-intelligenza-artificiale-ABxF4oUB> - (ultima consultazione 20 Febbraio 2020).

[15] THE ECONOMIST, "Military robots are getting smaller and more capable", Dicembre 2017, <https://www.economist.com/science-and-technology/2017/12/14/military-robots-are-getting-smaller-and-more-capable> - (ultima consultazione 16 Novembre 2019).

[16] UAV UNIVERSE, <https://sites.google.com/site/uavuni/1910-s> - (ultima consultazione 25 Settembre 2019).

[17] Wierzbanski S., DARPA, "Gremlins", <https://www.darpa.mil/program/gremlins> - (ultima consultazione 20 Febbraio 2020).

[18] WIKIPEDIA, "History of unmanned aerial vehicles", [https://en.wikipedia.org/wiki/History\\_of\\_unmanned\\_aerial\\_vehicles#World\\_War\\_II](https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_unmanned_aerial_vehicles#World_War_II) - (ultima consultazione 20 Settembre 2019).

[19] WIKIPEDIA, "Pierre-Paul Grassè", [https://en.wikipedia.org/wiki/Pierre-Paul\\_Grass%C3%A9](https://en.wikipedia.org/wiki/Pierre-Paul_Grass%C3%A9) - (ultima consultazione 7 Febbraio 2020).

[20] WIKIPEDIA, "Sigint", <https://it.wikipedia.org/wiki/SIGINT> - (ultima consultazione 15 Gennaio 2020).

[21] WIKIPEDIA, “Statoreattore”, <https://it.wikipedia.org/wiki/Statoreattore> - (ultima consultazione 20 Gennaio 2020).

[22] WIKIPEDIA, “Stigmergy”, <https://en.wikipedia.org/wiki/Stigmergy> - (ultima consultazione 3 Febbraio 2020).

[23] WONDERSHARE - FILMORA, “Tipologie di Droni: Analizziamo le diverse tipologie dei droni”, <https://filmora.wondershare.com/it/drones/types-of-drones.html> - (ultima consultazione 10 Luglio 2019).

[24] Wright T., AIR SPACE, “When is a Drone Swarm Not a Swarm?”, Gennaio 2018, <https://www.airspacemag.com/daily-planet/when-drone-swarm-not-swarm-180967820/#targetText=Technically%2C%20a%20%E2%80%9Cswarm%E2%80%9D%20is,respond%20to%20changing%20conditions%20autonomously> - (ultima consultazione 20 Febbraio 2020).

