



UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTA' DI INGEGNERIA

Corso di Laurea triennale in Ingegneria Gestionale

**L'UTILIZZO DEI DRONI (UAV)
NELLA LOGISTICA CIVILE**

THE USES OF DRONES IN THE CIVIL LOGISTICS

Relatore:

Chiar.mo Prof. Maurizio Bevilacqua

Tesi di Laurea di:

Andrea Traini

A.A. 2019 / 2020

INDICE

CAPITOLO 1

| | |
|---|---|
| 1.1 UNMANNED AERIAL VEHICLE (UAV): UNA NUOVA OPPORTUNITÀ..... | 1 |
| 1.2 LA NASCITA DELL'INDUSTRIA DEI DRONI..... | 1 |
| 1.3 DA GIOCATTOLO A STRUMENTO PROFESSIONALE..... | 4 |

CAPITOLO 2

| | |
|--|----|
| COME I DRONI ENTRERANNO A FAR PARTE DELLA NOSTRA VITA..... | 7 |
| 2.1 SPAZIO PER LA CRESCITA IN AMBITO DI UTILIZZO URBANO ED EXTRAURBANO..... | 7 |
| 2.2 SPAZIO PER LA CRESCITA IN AMBITO INDUSTRIALE..... | 9 |
| 2.3 SPAZIO PER LA CRESCITA IN AMBITO SANITARIO..... | 11 |

CAPITOLO 3

| | |
|---|--------|
| UTILIZZO DEI DRONI: CASI DI STUDIO..... | 16 |
| 3.1 MODELLO LOGISTICO PER L'UTILIZZO DEL DRONE IN FASE DI ASSEMBLAGGIO (USO INTERNO)..... | 16 |
| 3.1.1 descrizione del problema..... | 17 |
| 3.1.2 Risoluzione DEL problema..... | 18 |
| 3.1.3 Risultati del modello GA..... | 20 |
| 3.1.4 DISCUSSIONE FINALE..... | 21 |
| 3.2 MODELLO LOGISTICO PER LA CONSEGNA DEI PACCHI CON IL SISTEMA IBRIDO: TRUCK PIÙ DRONE (USO ESTERNO)..... | 22 |
| 3.2.1 descrizione del problema..... | 23 |
| 3.2.2 risoluzione DEL problema..... | 24 |
| 3.2.3 Modello matematico..... | 28 |
| 3.2.4 discussione finale..... | 32 |
| CONCLUSIONE..... | 33 |
| BIBLIOGRAFIA..... | 34 |

Capitolo 1

L'EVOLUZIONE DELLA STORIA DEL DRONE

1.1 UNMANNED AERIAL VEHICLE (UAV): UNA NUOVA OPPORTUNITÀ

Le innovazioni tecnologiche aprono opportunità per nuove figure che trasformano e ricreano le industrie, creando una spaccatura, nota come "shock dell'innovazione". Il nuovo prodotto, che stimola in modo generalmente inaspettato un aumento sostanziale e un'accelerazione della sua domanda, crea in questo modo un nuovo mercato; tuttavia, comprendere e prevedere l'evoluzione di tali tecnologie emergenti è una sfida sia per i nuovi che per i vecchi esperti del settore.

Negli ultimi anni, l'hype che si è sviluppato ha riguardato le tecnologie dei droni UAV (unmanned aerial vehicle) ed è implementato in maniera esponenziale. Secondo un report di Tractica, il giro d'affari dei droni UAV potrebbe presto raggiungere i 13,7 miliardi di dollari entro il 2025, mentre un altro studio, pubblicato su DroneII, mette in luce come il mercato dei droni avrebbe la possibilità di arrivare addirittura a 43,1 miliardi di dollari entro il 2024. La tecnologia emergente dei droni promette di promuovere innovazioni che sconvolgeranno le industrie esistenti ed è previsto che entri a far parte anche della nostra vita quotidiana, proprio come lo sono oggi gli smartphone; ogni giorno, infatti, nuovi prodotti vengono introdotti nel mercato dei droni con nuove caratteristiche e funzionalità utilizzabili in diversi contesti ed in diversi modi.

Ad oggi, consideriamo la tecnologia dei droni come un esempio di tecnologia emergente che ha avuto una lunga evoluzione: progressi nell'intelligenza artificiale, nell'elaborazione dell'immagine e nella robotica hanno equipaggiato i droni con funzioni sempre più autonome e ne stanno rafforzando le potenzialità.

1.2 LA NASCITA DELL'INDUSTRIA DEI DRONI

Il mondo dei droni ha fatto notizia negli ultimi anni. Alla fine del 2016, Amazon, nel programma Amazon air, ha effettuato la prima consegna con drone, dando un chiaro segnale di come presto si utilizzeranno veicoli senza pilota per il trasporto di merci.

Sebbene la diffusione sia stata celere, la tecnologia dietro questo tipo di prodotto è il risultato di un complesso processo evolutivo. Innanzitutto, l'utilizzo del termine “drone” viene usato per descrivere un veicolo aereo senza pilota (unmanned aerial vehicle, UAV) e con un certo grado di autonomia (Hazel & Aoude, 2015). Questo termine però è stato reso impropriamente popolare, perché è spesso assegnato a quasi tutti i tipi di veicoli UAV, anche a quelli che richiedono un'attenzione remota e costante della guida radiocomandata, mentre ci dovrebbe essere e c'è una differenza importante sia nell'utilizzo militare sia per quanto riguarda le normative esistenti che li regolano.

I droni furono introdotti per la prima volta all'inizio del '900 come tecnologie a scopo militare principalmente negli Stati Uniti. L'utilizzo di veicoli senza pilota forniva diversi vantaggi per le operazioni militari in quanto questi potevano essere utilizzati per raccogliere informazioni in missioni di ricognizione o in altre attività ritenute ad alto rischio. A quel tempo, questi droni avevano un'autonomia piuttosto limitata ed erano molto diversi dall'immagine odierna, ma negli anni, grazie al miglioramento del prodotto, l'uso militare è cambiato e cresciuto (Figura 1). L'introduzione di nuove tecnologie, infatti, ha fornito nuove capacità e funzionalità ai droni, aumentando di molto la loro importanza nei conflitti armati e nelle operazioni militari in generale.

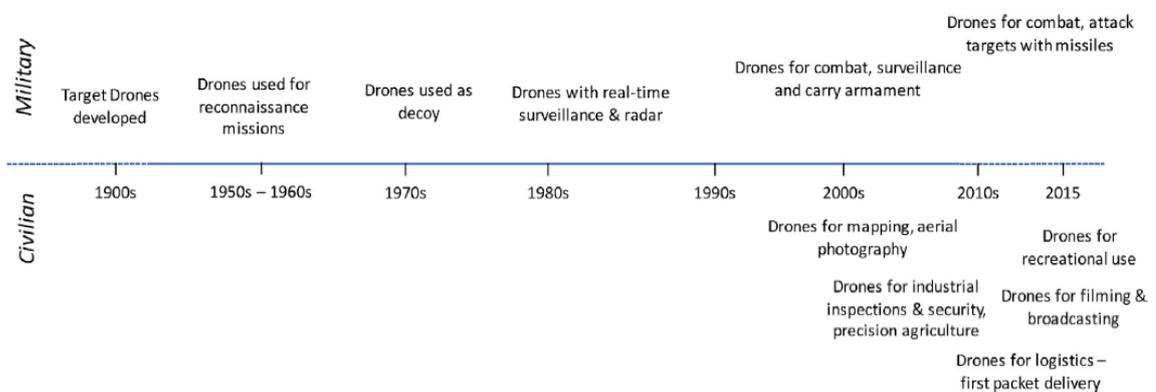


Figura 1: Timeline riguardante i vari usi dei droni a scopo militare e civile

L'introduzione e l'adozione di droni è avvenuta anche in ambito civile ma in tempi più recenti. La miniaturizzazione di componenti elettronici, materiali avanzati più leggeri e la crescente potenza di calcolo delle unità elaborative hanno permesso la realizzazione di un vero e proprio mercato dei droni. Videocamere ad alte prestazioni miniaturizzate, ad esempio, diventate oggi un consueto complemento del drone quadricottero, rappresentano uno dei tanti progressi

tecnologici attuati nell'ultimo decennio per migliorare e ad aumentare la qualità e l'usabilità dei droni civili. Le altre peculiarità sono racchiuse in Figura 2.

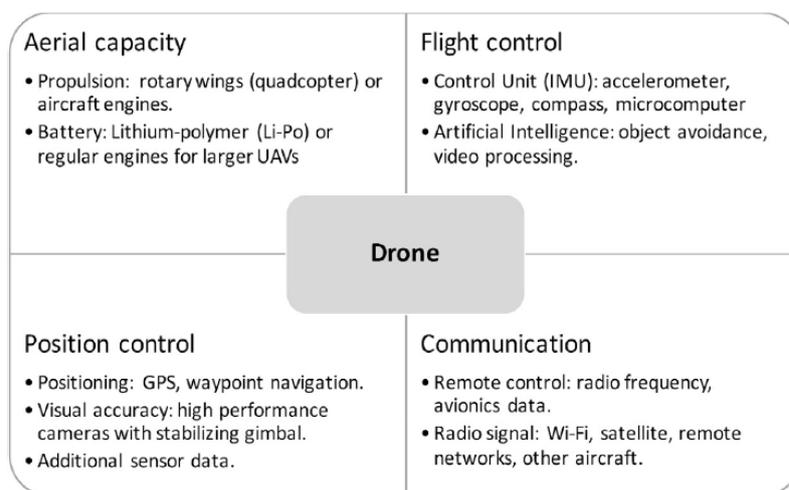


Figura 2: Caratteristiche tecnologiche dei droni civili

Nel contesto militare abbiamo osservato che il progresso tecnologico e lo sviluppo sono avanzati parallelamente alla richiesta di droni con capacità sempre più avanzate, ma anche nel contesto civile si denota una continua ricerca tecnologica dei droni. In particolare, nel contesto civile osserviamo il fenomeno descritto come "l'ascesa dei droni" (Allianz Global Corporate & Specialty, 2016) in quanto, solo in pochi anni, le dimensioni del mercato sono esplose ed è prevista una crescita futura sempre maggiore (Moskwa, 2016). Se l'industria dei droni militari è dominata da aziende che hanno già posizioni forti nel settore, come Boeing, General Atomics, Lockheed Martin, o Northrop Grumman (Harress, 2014), con l'eccezione di AeroVironment (Fisher, 2013), per l'industria dei droni civili sono due le aziende che hanno assunto una posizione di rilievo: l'azienda francese Parrot e l'azienda cinese DJI, che ad oggi sono chiari esempi di novità e di grande successo in questo settore emergente. Queste due società hanno visto l'opportunità di progettare, produrre e commercializzare droni di consumo; il loro modello di affari è molto simile a una tecnologia basata sul prodotto aziendale. In effetti, Parrot ha appena aggiunto i droni al suo arsenale diversificato di prodotti tecnologici; per DJI, invece, l'attenzione esclusiva sui droni ha dato i suoi frutti immettendo continuamente prodotti nel mercato e innovando i prodotti per diventare un'azienda leader.

Rispetto ai fornitori di droni militari, infatti, i produttori di droni civili si concentrano nel generare il maggior numero possibile di vendite, anche a discapito della più fine tecnologia e

anche se così facendo non possono allocare piene risorse nella formazione, servizi software e manutenzione.

Nelle sezioni successive, l'elaborato si propone di comprendere l'interazione tra evoluzione tecnologica e attività imprenditoriale per spiegare l'emergere dell'industria dei droni civili. Per farlo, è stata esaminata la letteratura riguardante il settore e l'annessa attività imprenditoriale, le notizie e le analisi di mercato; inoltre, sono state tenute in considerazione interviste a profili rappresentativi di diversi attori coinvolti nel settore dei droni.

1.3 DA GIOCATTOLO A STRUMENTO PROFESSIONALE

È bene sottolineare che l'industria dei droni civili non è stata guidata solo dall'evoluzione tecnologica, ma anche dal modo in cui questa evoluzione tecnologica è stata percepita dal mercato. La nascita del drone, infatti, ha sicuramente contribuito alla sua successiva evoluzione tecnologica, ma in primis il mercato, tramite l'introduzione di questa nuova tecnologia, è stato travolto dall'evoluzione tecnologica stessa e questi cambiamenti hanno contribuito all'apertura di modelli di business alternativi che hanno portato la nascita del settore. L'intero fenomeno è presentato in Figura 3.

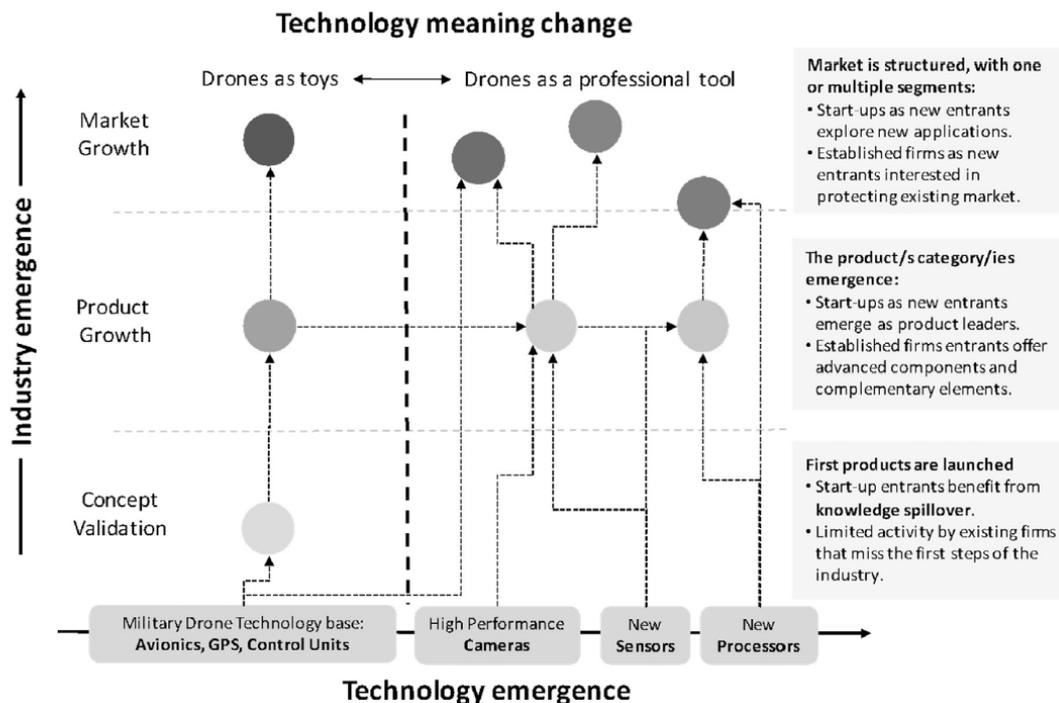


Figura 3: L'introduzione dei droni nel settore industriale, la loro evoluzione tecnologica e il significato di essa

L'introduzione dei droni nel settore industriale ha compreso tre diverse fasi: (1) l'approvazione del prodotto, (2) la crescita del prodotto e (3) la crescita del mercato. Il passaggio da una fase all'altra è il risultato di più condizioni, come lo sviluppo tecnologico delle componenti da parte di nuove aziende e l'applicazione di componenti adattate alla tecnologia del drone. Come illustrato in figura, l'evoluzione delle componenti tecnologiche ha evidenziato una scissione nell'uso civile del drone, passando da giocattolo usato per scopi ludici a strumento per eseguire un'attività o una funzione utile.

Nella prima fase di validazione del prodotto (primo livello in Figura 3) si osserva che sono state principalmente le start up a trarre vantaggio dalla diffusione delle conoscenze per la realizzazione di nuovi prototipi di droni (Agarwal et al., 2007), mentre le grandi industrie non sono intervenute in maniera importante in questa prima fase. Un esempio di startup imprenditoriale in questa fase è stata Parrot: nel 2010 l'uscita del Parrot AR Drone fu considerata dagli esperti come l'evento che ha creato il mercato dell'industria dei droni.

La seconda fase di crescita del prodotto (secondo livello in Figura 3) descrive la nascita di una categoria di prodotti. In questa fase, anche se non c'erano ancora applicazioni chiare su come migliorare la tecnologia dei droni, le start up hanno creato interesse per gli investimenti delle grandi industrie. C'è stato quindi un rapido sviluppo di nuovi droni per far fronte alla richiesta da parte dei consumatori e la successiva introduzione di tecnologie che hanno generato un significativo cambio tecnologico nella loro realizzazione. Importante è stato l'ingresso dell'azienda produttrice cinese DJI che ha registrato la crescita più rapida ed è diventata leader mondiale della categoria con il suo drone Phantom DJI con incorporato GPS e una videocamera. Proprio queste nuove funzionalità hanno facilitato il significativo cambiamento tecnologico e hanno attirato la curiosità di molte persone. Nella fase di crescita del prodotto, infatti, nuove imprese si sono interessate ad allargare e diversificare la propria attività entrando nella promettente industria dei droni. Un esempio è stato il produttore delle action cam GoPro che, grazie alla crescente disponibilità di droni, si è aperto a nuovi usi e possibilità delle sue videocamere. Questo ha permesso che le società iniziassero a stanziare più risorse in ricerca e sviluppo per soddisfare le esigenze dei clienti, percependo le potenzialità dell'assemblaggio dei droni con prodotti di nicchia.

La terza ed ultima fase, la fase di crescita del mercato (terzo livello in Figura 3) descrive il momento in cui l'infrastruttura di questo nuovo mercato si è definita grazie alla comparsa di nuovi settori e di categorie di prodotti differenziati per ogni settore di mercato. Questo richiede un aggiornamento dei settaggi dei modelli industriali (Brem et al., 2016) e in particolar modo

delle startup, in quanto queste hanno un ruolo fondamentale nello spingere la crescita del prodotto e quindi la creazione di nuovi settori. Una volta che l'industria raggiunge questa terza fase, la concretezza di questa crescita raggiunge anche gli stakeholder collegati indirettamente. Questo è anche il momento in cui “grandi attori” dell’economia intervengono come concorrenti; la Qualcomm, ad esempio, ha studiato specifiche funzionalità del drone con l’aggiunta di nuovi processori (Vincent, 2015), ed è proprio grazie alla collaborazione di colossi industriali come la Qualcomm che si creano nuove aree di mercato. Questo processo strutturale apre opportunità anche agli imprenditori di medie dimensioni, come la RobSense Technology, una nuova startup che sta creando la prossima generazione di controllori di volo per uso industriale. Con sede a Hangzhou, in Cina, ma con attività di ricerca e sviluppo partnership in Danimarca e negli Stati Uniti, questa startup risponde alle esigenze delle aziende che richiedono droni su misura per uso professionale in contesti dove la sicurezza e l'affidabilità sono una priorità.

CAPITOLO 2

COME I DRONI ENTRERANNO A FAR PARTE DELLA NOSTRA VITA

2.1 SPAZIO PER LA CRESCITA IN AMBITO DI UTILIZZO URBANO ED EXTRAURBANO

Gli UAV hanno una vasta gamma di applicazioni e si stanno scoprendo ulteriori utilizzi che potrebbero portare ampi benefici all'ambiente e alla società e una maggiore efficienza della vita. Gli UAV commerciali, infatti, ad oggi possono e sono utilizzati nel campo dell'agricoltura, delle costruzioni, dei trasporti, nella gestione dei magazzini, nella gestione del traffico, nelle ispezioni, nella sicurezza pubblica, nella sanità pubblica, in casi di disastri ambientali e situazioni di emergenza sanitaria. Si potrebbe quindi supporre in un prossimo futuro, con la nascita e la crescita di città intelligenti, che l'applicazione di veicoli aerei senza pilota avrà un ruolo di primaria importanza.

In ambito urbano, l'applicazione principale all'interno di una città intelligente sarà probabilmente quella di controllo e monitoraggio, sia in situazioni di normale amministrazione, come il controllo del traffico (Figura 4), ma soprattutto in situazioni straordinarie e di emergenza, come in caso di inondazioni o terremoti. Questa integrazione degli UAV potrebbe creare un ambiente aziendale e civile maggiormente sostenibile e un luogo di vita pacifico. La grande sfida però sarà quella di creare un piano politico funzionale per risolvere le problematiche dell'utilizzo degli UAV, come la sicurezza per i cittadini in caso di malfunzionamenti e la gestione dei file video con la garanzia del rispetto della privacy, e quindi quella di assicurare un uso etico di tale potere.



Figura 4: UAV delle forze dell'ordine utilizzato nell'attività di polizia

Al di fuori delle città, sarebbe interessante il potenziale uso degli UAV in ambito agricolo e nel coordinamento di situazioni di pericolo, come in caso d'incendi boschivi; infatti, l'agricoltura di precisione è una particolare e innovativa strategia gestionale delle coltivazioni che utilizza tecnologie all'avanguardia e ha lo scopo di eseguire interventi agronomici mirati alle effettive esigenze delle colture e stabiliti sulla base delle caratteristiche biochimiche e fisiche del suolo. L'agricoltura di precisione si inserisce in un panorama sociale ed economico in cui il miglioramento dell'efficienza deve andare di pari passo con la sostenibilità ambientale ed economica. In questo contesto l'utilizzo di droni si rivelerebbe adeguato e vantaggioso in quanto la tecnologia dei sistemi aeromobili a pilotaggio remoto impiega motori elettrici che non producono emissioni. Dunque, essendo le esternalità negative dell'uso dei UAV ridotte, di conseguenza il territorio non verrebbe contaminato da sostanze nocive. L'uso di droni nell'agricoltura di precisione proprio per questo motivo costituirebbe un vero e proprio punto di forza nel realizzare e mantenere sistemi colturali a basso impatto ambientale e i costi contenuti, il tutto accompagnato da una gestione ottimizzata dei processi, dalla tracciabilità dei prodotti alla distribuzione di tutti i fattori di produzione, come fertilizzanti e fitosanitari con particolare attenzione alle sostanze potenzialmente inquinanti.



Figura 5: UAV utilizzato nell'agricoltura di precisione

L'uso di dispositivi UAV, oltretutto, permettendo l'acquisizione di immagini e dati importanti per l'analisi dei risultati e la pianificazione di interventi specifici, consentirebbe di raggiungere ogni anfratto del territorio in modo da ottenere misurazioni più accurate. Su questi piccoli aeromobili pilotati da remoto possono essere montati sensori adatti al rilevamento delle condizioni delle colture: si tratta di camere multispettrali in grado di registrare la radiazione naturale rilasciata o riflessa dall'oggetto o le aree circostanti attraverso lo spettro elettromagnetico (banda visibile, infrarossi e termiche). Queste camere sono in grado di generare immagini che forniscono informazioni sullo "stato di salute" dei campi. Sarà così possibile stabilire in quali aree aumentare o diminuire l'irrigazione, capire quali piante stanno crescendo meglio e quali invece hanno bisogno di cure, verificare il corretto livello dell'acqua in una risaia piuttosto che la presenza di criticità come il proliferare di erbe infestanti. Parallelamente alle camere multispettrali, i droni sono dotati anche di telecamere HD e UltraHD, dispositivi che originano un fotogramma con risoluzione orizzontale a 4000 pixel. L'utilizzo di telecamere HD e telecamere multispettrali potrebbe essere utile anche per risolvere la questione degli incendi boschivi. Ad oggi, infatti, la segnalazione degli incendi avviene principalmente da terra con la compilazione di un'apposita scheda, i droni, invece, potrebbero pattugliare quotidianamente le aree a rischio negli orari "caldi". In questo modo, un eventuale incendio verrebbe individuato sul nascere e, grazie alla telecamera sul drone che trasferirebbe immediatamente alla sala operativa le immagini dell'incendio, si consentirebbe di valutare se sia più o meno appropriato l'intervento del Canadair. Un drone ad ala rotante, il più adatto per un impiego del genere, può coprire, in un'ora di volo, anche 50 ettari con costi

enormemente inferiori rispetto a quelli di un aereo da ricognizione. Per giunta, lo stesso drone potrebbe essere messo a disposizione di più enti di tutela, anche per il controllo del dissesto idrogeologico, del bracconaggio, degli abusi edilizi e per la sicurezza in generale. Tali utilizzi del UAV possono contribuire a ridurre la probabilità di errori, abbreviare i tempi di reazione, aumentare la precisione nel processo decisionale e ridurre il carico di persone e tecniche.

2.2 SPAZIO PER LA CRESCITA IN AMBITO INDUSTRIALE

A livello industriale possiamo delineare due differenti macroaree di utilizzo del drone: per operazioni all'interno e per operazioni all'esterno. Nel primo caso, gli UAV possono essere utilizzati per una corretta gestione dei magazzini, ricoprendo le funzioni di approvvigionamento, per realizzare inventari ed organizzare. Solitamente queste attività richiedono una grande quantità di tempo e richiedono diverse risorse umane che devono tenere traccia delle attività svolte e delle operazioni ancora da svolgere. Harik EH. et al. (2016) nel loro articolo presentano un nuovo schema il cui scopo è rendere il processo di inventario completamente automatizzato. Per fare ciò hanno usato l'UAV per sostituire l'inventario manuale dello stock disponibile ed hanno messo un veicolo terrestre senza pilota (UGV) e un veicolo aereo senza pilota (UAV) per lavorare in modo cooperativo. L'UGV è utilizzato come piattaforma di trasporto e considerato come riferimento a terra per il volo indoor dell'UAV. Mentre l'UAV viene utilizzato come scanner mobile che vola verticalmente per scansionare i codici a barre utilizzando lo scanner frontale. L'UGV naviga tra file di rack che trasportano l'UAV e, ad ogni rack da scansionare, l'UGV si ferma e l'UAV decolla per volare verticalmente scansionando le merci in quel rack. Una volta che l'UAV è in alto, l'UGV si sposta sul rack successivo e poiché l'UAV prende l'UGV come riferimento a terra, lo seguirà autonomamente, il che si traduce nel posizionare l'UAV nella parte superiore del secondo rack e iniziare la scansione delle merci dall'alto verso il basso. Il processo viene ripetuto fino a quando la riga di rack non viene completamente scansionata. L'UAV a questo punto atterra sull'UGV e ricarica le batterie mentre l'UGV si sposta sulla fila successiva di rack. L'architettura globale dell'inventario del magazzino autonomo definita è mostrata in Figura 6

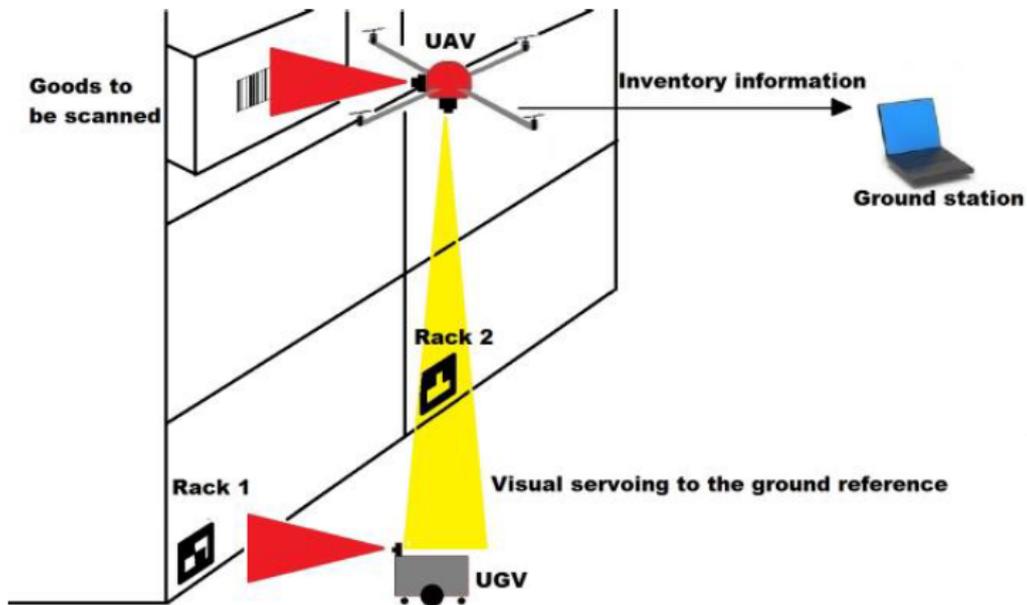


Figura 6: Metodo di funzionamento dell'UAV e dell'UGV nella realizzazione di un inventario automatizzato

Per ora la navigazione UGV si basa sulla riflessione di una parete piatta per i sensori lidar, che non è il caso dei rack, dove sono presenti buchi e spazi vuoti, quindi ulteriori sviluppi devono essere fatti in questa direzione. Potrebbe essere necessario anche l'utilizzo di sensori nel UAV per evitare la collisione con i rack durante il processo di scansione.

In generale, comunque, con l'utilizzo di questi nuovi sistemi drone, combinati a dei robot a terra, le pratiche di inventario possono essere fatte in tempo reale, in totale sicurezza, in modo rapido e automatico, senza il necessario intervento dell'operatore logistico che lavora all'interno. Solitamente il tempo impiegato per completare l'attività di inventario di un magazzino varia a seconda delle dimensioni di quest'ultimo, basti pensare che per un magazzino di 10.000 m² servono in media due o tre giorni. Con l'utilizzo dei droni, invece, è possibile portare a termine un inventario in modo automatizzato in sole 3 ore.

Per quanto riguarda l'utilizzo all'esterno, i droni verranno utilizzati dalle industrie di trasporti come "last mille delivery" cioè come veri e propri corrieri. La consegna dell'ultimo miglio è il "nodo finale" della catena logistica che si riferisce alla consegna dei pacchi ai clienti ed è considerato il processo più costoso nella logistica di distribuzione. L'entità di tale costo dipende dalla qualità del servizio, dalla natura pericolosa dei materiali consegnati, dell'area geografica, dalla quota di mercato e dalle tipologie di veicoli utilizzati. Lo shopping online sta diventando molto comune e la richiesta di consegne in giornata è cresciuta in modo

esponenziale negli ultimi anni. Il cliente si aspetta una qualità del servizio molto alta e questa tendenza costringe gli operatori logistici a gestire in modo efficiente il processo di consegna, proprio perché un'ottima gestione della distribuzione è un fattore essenziale per il successo dell'azienda. Recentemente, Amazon e DHL hanno iniziato a utilizzare veicoli aerei senza pilota per il processo di consegna dell'ultimo miglio in 30 minuti (Yoo W. et al., 2018). Da un lato, l'uso di droni nel processo di consegna riduce il rumore dato dall'inquinamento acustico ed evita sia l'aumento della congestione nell'area urbana sia le emissioni di CO₂. D'altra parte, i droni hanno una capacità inferiore (possono trasportare pacchi di peso ridotto) e un tempo di lavoro contenuto (bassa durata di volo) rispetto ai veicoli classici. Nel complesso, però, in questo settore i droni hanno un impatto positivo in quanto il loro utilizzo riduce i tempi di consegna e i costi di trasporto del processo di consegna (Wang X. et al., 2017).

2.3 SPAZIO PER LA CRESCITA IN AMBITO SANITARIO

L'uso dei droni in ambito sanitario è aumentato costantemente negli ultimi anni. I droni hanno superato con successo vari test in programmi pilota e sono già utilizzati in alcune situazioni per il trasporto di campioni e la consegna di sangue, vaccini, medicinali, organi, forniture salvavita e attrezzature mediche.

Per quanto concerne il trasferimento di campioni biologici, test preliminari hanno dimostrato la fattibilità del trasporto con drone, durante brevi voli a temperatura ambiente o con temperature più basse, senza alcuna influenza significativa sulla precisione chimica, ematologica e dell'analisi della coagulazione (Amukele TK. et al., 2015; Amukele T. et al., 2017). Anche un recente studio non ha mostrato differenze significative nelle analisi ematologiche dopo il trasporto con droni a lungo raggio (174 minuti, 258 km) tra coppie di campioni di sangue a terra e sospese in volo. Di questi campioni sono stati misurati solo glucosio e potassio e i campioni trasportati in aria avevano rispettivamente un bias dell'8,0% e del 6,2%, probabilmente causato dalle diverse condizioni di conservazione dei due set di campioni, in quanto quelli trasportati da droni erano in media a 2,5 ° C più freddi dei campioni a terra. Quindi, anche se il volo di lunga durata apparentemente non altera in modo significativo i parametri chimici ed ematologici, è necessario un rigoroso controllo per garantire l'affidabilità dei parametri sensibili tenendo conto del necessario cambiamento della temperatura di trasporto (Amukele TK. et al., 2017).

Per mitigare potenziali errori e ottenere una corretta miscelazione del sangue, è fondamentale la separazione ottimale tra plasma e siero. Ingegnosamente si potrebbero effettuare semplici

manovre di ribaltamento, durante il volo, senza avere bisogno di utilizzare i miscelatori a vortice, in modo tale da prevenire l'emolisi dei globuli rossi che potrebbe interferire con le prestazioni del test (Katariya M. et al., 2018). Nel 2017, la Svizzera ha aperto la strada al trasporto dei campioni del sangue in Europa, consentendo voli autonomi con droni per servizi sanitari nelle città, in qualsiasi momento. Il servizio postale svizzero e la compagnia di trasporti Matternet hanno sviluppato una rete di trasporto medico, utilizzando droni quadricottero (autonomia 20 km, velocità media 36 km / h, massimo 2 kg payload), con oltre 3000 voli effettuati con successo a Lugano, Berna e Zurigo ad aprile 2019 (Greaves RF. et al., 2019; Furer F. et al., 2019).

Nel 2016, il governo del Malawi e l'UNICEF ha avviato un progetto pilota per studiare se il trasporto di campioni con drone possa ridurre il tempo necessario ad ottenere risultati per il test del virus dell'immunodeficienza nei neonati (UNICEF, 2016). A Papua, in Nuova Guinea, dove la prevalenza della tubercolosi è una delle più alte nel mondo (541/100.000 abitanti / anno), i droni vengono utilizzati per trasportare campioni di saliva degli individui con sospetta tubercolosi dai centri sanitari situati nelle zone rurali al Kerema General Hospital, aggirando così la necessità di utilizzare il trasporto stradale che era molto più difficile da utilizzare soprattutto durante i mesi piovosi (Médicins sans frontières, 2014).

I droni sono stati utilizzati anche in diversi casi di emergenza umanitaria per la consegna di piccoli pacchetti con l'intento di aiutare le comunità colpite da gravi disastri naturali, come durante il terremoto di Haiti (2010), l'uragano Sandy (USA, Canada e Caraibi, 2012), il tifone Haiyan nelle Filippine (2013) e il terremoto in Nepal (2015) (Sharma G. et al., 2016). Il Ruanda è stato il primo paese a integrare, con successo, i droni nei servizi sanitari a livello nazionale attraverso un programma di consegna noto come "Uber for blood" lanciato nel 2016. Questo programma utilizza droni ad ala fissa, alimentati a batteria, progettati e realizzati da Zipline ed in grado di volare fino a 150 km di distanza trasportando fino a 1,5 kg di sangue.

I droni sono molto più veloci del trasporto via terra per cui possono fornire rapidamente sangue, vaccini e farmaci antiretrovirali e antimalarici tramite paracadute biodegradabili ad oltre 1000 strutture sanitarie (Makoye K., 2017). Nell'aprile 2019, la Gavi Alliance ha annunciato il lancio del più grande progetto di droni nel suo genere, in cui è prevista la consegna di sangue, medicinali e i vaccini per 2000 strutture sanitarie che le distribuiranno a 12 milioni di persone in tutto il Ghana. I centri di distribuzione possono effettuare fino a 600 consegne tramite droni al giorno, con possibilità di aumentare la disponibilità fino a 2000 voli al giorno (Kelland K., 2019). Rispetto al trasporto terrestre tradizionale, con la consegna dei medicinali tramite droni sono aumentate le disponibilità e ne è aumentata la diffusione, ma si è

anche ridotto il costo (Haidari LA. et al., 2016).

I droni possono esplicitare la loro utilità non solo nel trasporto di campioni o medicinali, ma anche essere di ausilio in particolari interventi chirurgici permettendo il trasporto di organi e tessuti. Attualmente, il trasporto di organi e tessuti impiega una complessa rete di corrieri, personale addetto ai trapianti, aerei commerciali e charter privati. Se reso più efficiente, più economico e più veloce, l'impatto dei fattori legati al trasporto, che incidono fortemente sul risultato del trapianto, potrebbe essere diminuiti (Scalea JR. et al, 2019). Recentemente, durante i test è stato utilizzato un drone a sei rotori per il trasporto di organi e nel corso delle 14 missioni effettuate, le temperature sono rimaste stabili e basse (2.5 C) e le biopsie renali realizzate prima e dopo il volo non hanno rivelano danni legati al viaggio (Scalea JR. et al., 2018; Scalea JR. et al, 2019).

I droni si sono dimostrati efficaci anche nel fornire materiale medico salvavita (es. lacci emostatici, medicazioni e analgesici) in ambienti in cui l'accesso con un normale veicolo o a piedi era poco pratico o impossibile. Nella simulazione i droni hanno consegnato 4,5 kg di materiale medico, entro un raggio d'azione di 1 miglio, più velocemente di altri metodi e senza alcun rischio in più al personale presente (Mesar T. et al., 2018). Approcci innovativi hanno valutato come droni dotati di defibrillatori automatizzati potrebbero far risparmiare secondi importanti nella gestione degli arresti cardiaci al di fuori dell'ospedale (come evitare gli ingorghi stradali e volare in linea retta verso il luogo richiesto) e di conseguenza ridurre drasticamente i tempi di attesa dalla defibrillazione, che è il fattore più importante che determina la sopravvivenza (Mark DB. et al., 2017).



Figura 7: UAV con defibrillatore automatizzato per la gestione degli arresti cardiaci al di fuori dell'ospedale

Un modello matematico è stato recentemente applicato a un totale di 53702 casi di arresto cardiaco, in otto regioni di Toronto (Canada), testando diverse strategie di distribuzione del DAE attraverso il drone e stimando il tempo effettuato per la consegna per compararlo con i tempi relativi a una normale risposta del 911. L'analisi specifica per regione ha mostrato che 81 basi e 100 droni basterebbero per ridurre il tempo medio dell'utilizzo del DAE di 3 minuti, rispetto al tempo medio storico. Il 90% del tempo di consegna del DAE è stato ridotto sostanzialmente di 6,5 minuti nella maggior parte delle aree urbane e nella maggior parte delle aree rurali per ben 10,5 minuti (Boutilier JJ. et al., 2017). Inoltre, un drone a otto rotori equipaggiato con un DAE è stato recentemente confrontato con i servizi di emergenza medici in uno studio pilota a Stoccolma (Claesson A. et al., 2017). Il drone equipaggiato con il DAE è arrivato sulla scena più rapidamente dei normali servizi medici di emergenza in tutti i 18 casi pilota (tempo di risposta medio era di 16,5 minuti), suggerendo che i droni equipaggiati con DAE sono un'innovazione rivoluzionaria salvavita nella fornitura di cure di emergenza (Boutilier JJ. et al., 2017; Claesson A. et al., 2017).

Inoltre, "lab-on-a-drone", un promettente studio presentato recentemente, mette in luce i vantaggi dell'uso dei droni nella sorveglianza epidemiologica delle malattie infettive sottolineando l'importanza del potenziale uso dei droni in microbiologia clinica, malattie infettive ed epidemiologia. Come si è visto infatti i droni possono aiutare ad aumentare l'accesso all'assistenza sanitaria per le persone che altrimenti potrebbero non ricevere cure adeguate, dovute alla lontananza e alla mancanza di infrastrutture o fondi, permettono un significativo risparmio dei costi rispetto al trasporto via terra ed aumentano la velocità e la comodità di consegna, tutti fattori che potrebbe guidare il miglioramento della gestione di vari settori della medicina. Tuttavia, diversi fattori come legislazione nazionale dello spazio aereo e questioni mediche legali, le differenze nella topografia e nei climi, la convenienza in termini di costi e gli atteggiamenti delle comunità nelle diverse culture e società, attualmente, ostacolano l'uso diffuso dei droni.

CAPITOLO 3

UTILIZZO DEI DRONI: CASI DI STUDIO

3.1 MODELLO LOGISTICO PER L'UTILIZZO DEL DRONE IN FASE DI ASSEMBLAGGIO (USO INTERNO)

Un grande problema della logistica interna è l'assemblaggio e la personalizzazione delle varie parti dei prodotti (Silveira GD. et al., 2001; Wu N., 2005), causato dall'elevato numero di materiali, macchine e modelli di produzione presenti nelle diverse tipologie d'industria. Di seguito si propone un innovativo modello logistico che permette l'utilizzo di droni nella fase di

assemblaggio per facilitarne e velocizzarne il processo. L'assemblaggio riguarda materiali plastici ed i prodotti finali sono scatole e vassoi. Questi vengono assemblati prelevando le parti nei magazzini e successivamente consegnandole alle linee di assemblaggio tramite una flotta di droni quadricottero. La Figura 8 mostra perlappunto la fornitura dei materiali prelevati da due magazzini adiacenti e consegnati alla postazione di lavoro (WS) adibita all'assemblaggio; questo schema di fornitura può essere utilizzato per le decine di postazioni di lavoro (WS) o per mini-linee di assemblaggio.

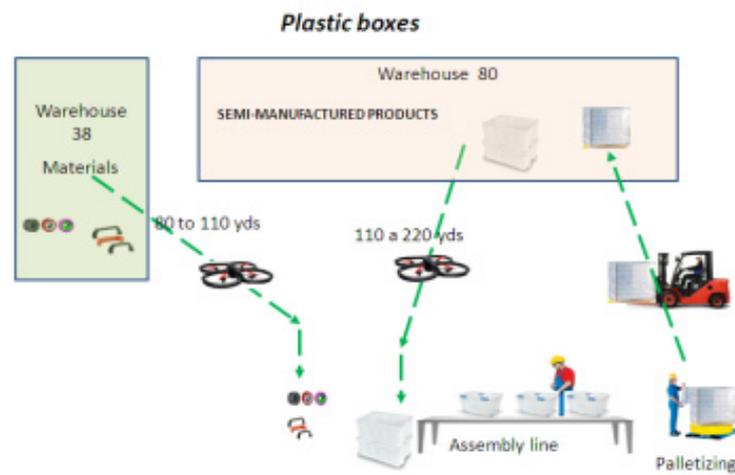


Figura 8: Consegna dei materiali alla postazione di lavoro (WS)

Una situazione analoga si verifica nella fase di produzione, nella fase di recupero dei pezzi prodotti dalle presse a iniezione e nella fase di trasporto verso la linea di pallettizzazione. La Figura 9 mostra in verde l'attuale sistema di trasporto dei prodotti tramite nastri trasportatori, dalle macchine di stampaggio a iniezione alla linea di pallettizzazione.

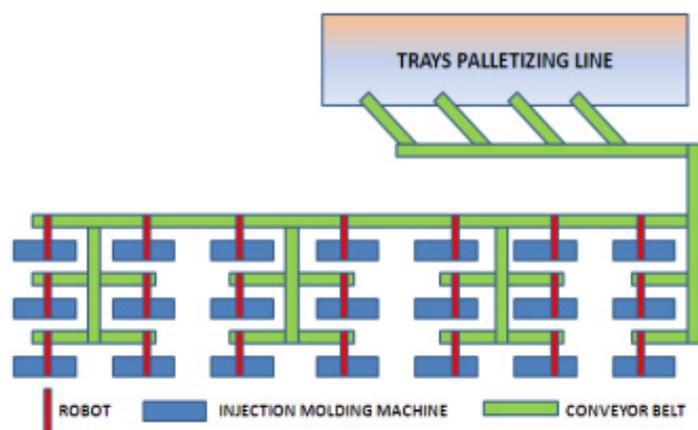


Figura 9: Attuale sistema di trasporto dei prodotti

In Figura 10, invece, viene proposta una sostituzione dei nastri trasportatori con la flotta di quadricotteri anche per il prelievo dei prodotti dalle presse ad iniezione alla linea di pallettizzazione.

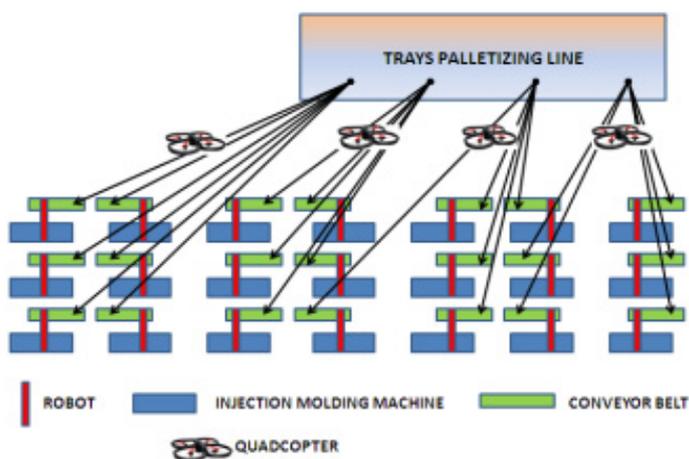


Figura 10: Nuovo sistema proposto per il trasporto dei prodotti

3.1.1 descrizione del problema

La situazione sopra riportata, sia per la consegna che per il recupero dei pezzi prodotti, può essere visualizzata in maniera semplificata in Figura 11. Considerando di essere davanti ad un reparto industriale dove sono presenti dozzine di macchinari forniti con materiali provenienti da un deposito, le posizioni dei WS nel piano (X, Y) sono mostrate da puntini blu e il triangolo giallo è il deposito con i materiali richiesti che fornisce i diversi WS. Come già descritto sopra, il primo passo è generare un cluster o raggruppamenti di punti considerando vincoli come: capacità di carico dei quadricottero, l'ora, il livello di energia delle batterie, ecc. Ciascuno di questi cluster presenterà come punto di partenza un deposito, da dove il quadricottero inizierà e terminerà il circuito dopo aver eseguito il ritiro o la consegna dei prodotti.

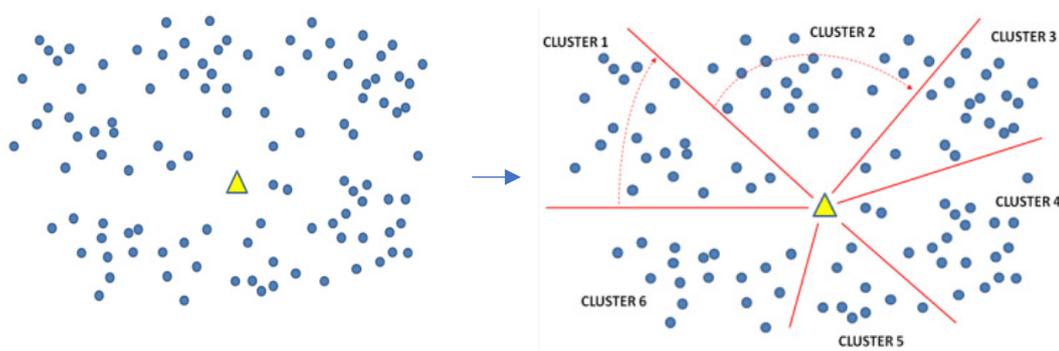


Figura 11: Organizzazione del lavoro del quadricottero tramite formazione di cluster

3.1.2 Risoluzione DEL problema

Per la creazione dei cluster, il metodo utilizzato è l'algoritmo di sweep (Shin K. et al., 2011; Prins C. et al., 2014), secondo cui i cluster sono formati ruotando una linea, in senso orario, con l'origine nel magazzino, come mostrato nella Figura 11. Ruotando la linea si incorporano i macchinari e si spazia dalla linea iniziale fino a quando non viene superato un determinato vincolo, ad esempio la capacità di carico totale del quadricottero o la potenza residua della sua batteria. Nell'esempio mostrato nella Figura 11, abbiamo ottenuto 6 cluster. Prendendo uno di questi cluster, ad esempio il cluster 1, come mostrato nella Figura 12 (a), il drone viene programmato risolvendo un TSP (Problema del commesso viaggiatore) in modo esatto o approssimato, quindi gli viene assegnato il percorso all'interno del cluster, come mostrato in Figura 12 (b). Si presume che la posizione di ciascuna stazione di lavoro (WS) sia data dalle sue coordinate polari in un sistema che ha come origine un deposito.

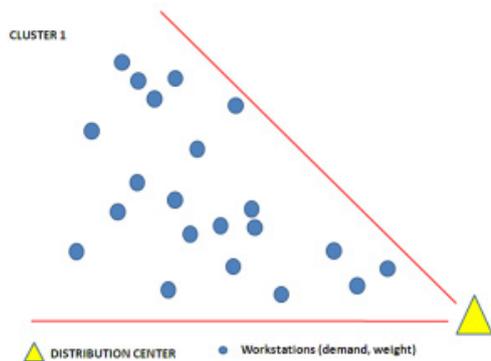


Figura 12 (a): Cluster 1

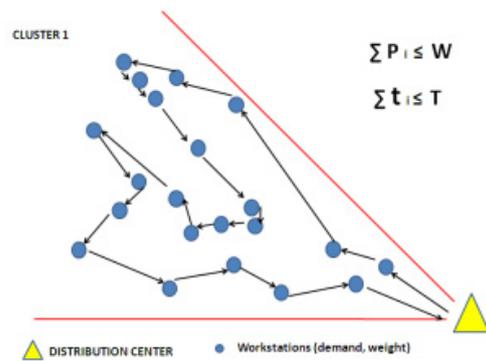


Figura 12 (b): TSP del cluster 1

Riassumendo, i passaggi dell' algoritmo sono i seguenti:

- Passaggio 1 (inizializzazione)

Scegliere un quadricottero libero k , selezionandolo da un sottoinsieme di quadricotteri non occupati e tenendo conto di un insieme di variabili, in particolare il livello di carica della batteria.

- Passaggio 2 (selezione)

- 1- Ordinare i WS in base all'angolo di inclinazione (θ) rispetto a un punto di riferimento, in questo caso il deposito, in forma crescente. Se due WS hanno un angolo di inclinazione di uguale valore (θ, r), posizionare prima quello con valore r inferiore.
- 2- Assegnare la workstation al cluster fino al raggiungimento dei vincoli, come il completamento della capacità di carico del quadricottero o la durata residua della batteria. Se tutti i WS sono stati occupati in un cluster e non è più possibile aggiungere WS al cluster a causa dei vincoli, andare al passaggio 3.

- Passaggio 3 (ottimizzazione)

Ottimizzare il percorso utilizzando un algoritmo, in questo caso un GA (Algoritmo genetico), che creerà un codice delle rotte per risolvere il TSP di ciascun cluster, generando così i sotto-cluster. I parametri del GA devono essere regolati in base al numero di WS nel sotto-cluster.

Per generare le rotte utilizzando l'algoritmo genetico (GA) per ogni cluster:

- 1- Generare la matrice delle posizioni delle workstation appartenenti al cluster, formando un poligono che avrà come punto di origine il deposito. I WS del cluster selezionati sono tutti quelli che il drone deve visitare (ovvero dove deve consegnare o ritirare materiali) in un solo viaggio. La matrice creata è una matrice posizioni ed è composta dalle coordinate polari X e Y dei WS appartenenti allo stesso cluster, più precisamente

(n, 2), dove n è il numero di WS del cluster, dato dal metodo dell' algoritmo di sweep. La posizione di ogni WS si ottiene dal layout dell' impianto.

Ad esempio, le posizioni di 10 WS e del deposito sono definite in Matlab come segue:

Posizioni= [0 0; 16 30; 40 30; 17 70; 70 60; 40 10; 30 20; 10 60; 16 70; 10 70; 0 40]

La prima posizione (X = 0, Y = 0) della matrice appartiene al deposito, il resto delle posizioni (X, Y) della matrice corrispondono ai 10 WS.

- 2- L' algoritmo genera le distanze tra i punti del cluster dalla matrice creata nello step 1.
- 3- Nell' ultimo step l' algoritmo GA sceglierà il percorso più breve, trovando una possibile soluzione al TSP per ogni cluster. L' input per questo step sono le distanze generate della matrice nella fase precedente.

3.1.3 Risultati del modello GA

I risultati del modello GA (Raja P. et al., 2012; Shiltagh NA. et al., 2013) utilizzato che genera il percorso del drone sono stati testati da scenari di produzione con una diversa quantità di WS. Per assegnare un percorso al quadricottero per la consegna dei materiali si è scelto di considerare questi materiali molto leggeri e tutti simili tra loro, considerando quindi la distanza tra WS come unica variabile. La tabella 1 mostra i risultati del TSP utilizzando il GA con 200 elaborazioni, impostando una diversa quantità di WS. Vengono mostrate dieci serie per ogni layout da 10 a 50 WS.

| N°of WS | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 10 | 247.47 | 247.47 | 247.47 | 247.47 | 247.47 | 247.47 | 247.47 | 247.47 | 247.47 | 247.47 |
| 15 | 273.90 | 287.96 | 273.90 | 273.90 | 273.90 | 273.90 | 273.90 | 273.90 | 273.90 | 273.90 |
| 20 | 315.96 | 316.95 | 316.95 | 315.96 | 344.18 | 315.96 | 315.96 | 342.99 | 315.96 | 342.99 |
| 30 | 423.63 | 405.70 | 408.48 | 421.58 | 413.00 | 422.89 | 401.86 | 420.94 | 445.68 | 430.37 |
| 40 | 527.20 | 494.46 | 502.80 | 464.94 | 524.75 | 477.29 | 557.75 | 500.64 | 509.29 | 508.31 |
| 50 | 583.60 | 539.44 | 589.29 | 616.02 | 615.17 | 631.17 | 629.58 | 629.85 | 638.73 | 595.56 |

Tabella 1: Risultati della distanza totale (in mt) di 10 corse utilizzando il GA con 200 elaborazioni

Si può vedere come per un layout fino a 10 WS, il GA genera immediatamente percorsi ottimali. Pertanto, per i cluster con 10 o meno WS, ci si può aspettare di ottenere il percorso ottimale, selezionando il valore più basso con poche esecuzioni di GA. La tabella 1 mostra anche che per 10 WS, tutte le esecuzioni del GA hanno fornito lo stesso risultato. Pertanto, non vi è alcuna differenza tra la media dei risultati e il miglior risultato. L' accuratezza del GA rimane ancora buono tra 10 e 15 WS. Ad esempio, si può osservare che per 15 WS, solo per una delle 10 analisi, l' algoritmo non ha fornito il risultato ottimale. Tra i 15 ei 20 WS il risultato è ancora accettabile perché l' elaborazione dell' algoritmo riesce a fornire ancora una rotta

adeguata al drone.

La tabella seguente riassume i risultati della Tabella 1 e ne mostra la media per ogni gruppo di WS considerato, la loro deviazione standard (STD) e la deviazione standard relativa (RSD).

| N°of WS | Best path length | Mean | STD | RSD % |
|---------|------------------|--------|-------|-------|
| 10 | 247.47 | 247.47 | 0 | 0 |
| 15 | 273.90 | 275.30 | 4.45 | 1.62 |
| 20 | 315.96 | 324.39 | 13.12 | 4.04 |
| 30 | 401.86 | 419.41 | 12.93 | 3.08 |
| 40 | 464.94 | 506.74 | 26.19 | 5.17 |
| 50 | 539.44 | 606.84 | 30.42 | 5.01 |

Tabella 2: Riassunto dei risultati del GA

La Figura 13 mostra graficamente ciò che è stato enunciato dalle tabelle precedenti: maggiore è il numero di WS nel cluster, maggiore è la differenza tra la media dei risultati e il risultato migliore, ovvero c'è un aumento della dispersione dei risultati di GA.

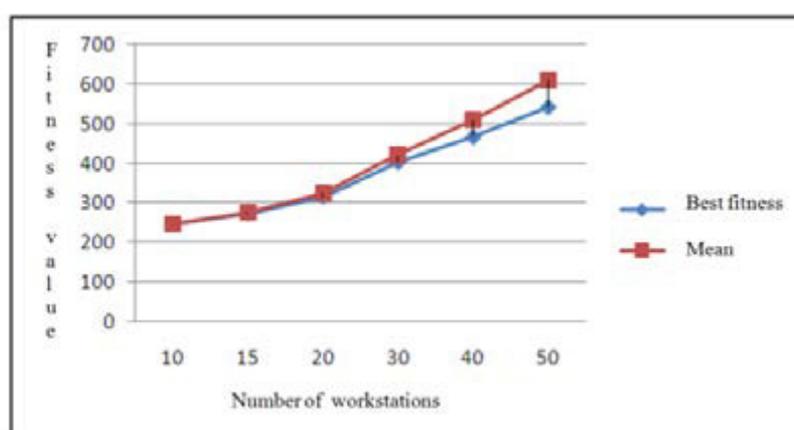


Figura 13: Differenza tra la media dei risultati e il miglior risultato

3.1.4 DISCUSSIONE FINALE

L'utilizzo di droni quadricottero all'interno di uno stabilimento produttivo porterà a un livello di efficienza, efficacia e produttività più elevato rispetto alle soluzioni utilizzate finora, sia in fase di assemblaggio sia nella personalizzazione dei prodotti. Questo perché la caratteristica principale dei quadricotteri è quella di trasportare materiali in uno spazio 3D, superando i limiti dei metodi tradizionali, quali AGV, nastri trasportatori, carrelli manuali che devono sottostare invece a percorsi molto rigidi. Per questo uso interno dei droni, come già detto precedentemente, il modello è basato su un algoritmo genetico che genera percorsi per il

trasporto di materiali in poco tempo, ottimizzando l'uso dell'energia. Il modello sarà poi la base per la generazione di un sistema per la gestione di flotte di quadricotteri.

Bisogna comunque tenere conto che l'elica e la tecnologia dei motori dei quadricotteri oggi disponibili in commercio permettono di eseguire l'operazione di ritiro e consegna all'interno di un impianto di assemblaggio sollevando carichi non più pesanti di 20 kg. Tuttavia, il principale collo di bottiglia di questa tecnologia è la durata delle batterie che non consentono operazioni per molti minuti, anche se è evidente che questa limitazione potrà essere superata in pochi anni con il grande e rapido sviluppo di batterie LiPo sempre più prestanti.

3.2 MODELLO LOGISTICO PER LA CONSEGNA DEI PACCHI CON IL SISTEMA IBRIDO: TRUCK PIÙ DRONE (USO ESTERNO)

Il primo progetto per l'utilizzo dei droni per la consegna dei pacchi prevedeva la distribuzione in maniera diretta dal deposito al cliente; tuttavia, a causa delle limitazioni tecniche che ci sono, come la poca autonomia della batteria e il limite massimo del peso trasportabile, non è ancora possibile migliorare questo processo di consegna ed i droni sono costretti a visitare un cliente alla volta per poi ritornare al deposito. Oltre alle limitazioni tecniche ci sono poi problematiche sia di carattere burocratico, come la violazione della privacy, sia problematiche di sicurezza che hanno suscitato molte critiche e discussioni non ancora risolte. Tutte queste problematiche hanno reso essenziale la scoperta di un nuovo utilizzo del drone per la consegna dei pacchi "dell'ultimo miglio": il trasporto ibrido, ovvero la sincronizzazione del drone con il furgone da consegna. In questa nuova visione di consegna il drone decolla e atterra sul furgone, consentendo di consegnare i colli in entrambe le modalità.

Inspirati da questo nuovo modo di consegnare, Murray e Chu (2015) hanno presentato un nuovo TSP con drone (TSP-D), che unisce i vantaggi dei due veicoli che hanno caratteristiche contrastanti. Infatti, il truck da una parte ha una grande capacità di carico e non ritorna al deposito prima di aver terminato tutte le consegne, dall'altra però il numero di clienti che visita potrebbe essere condizionato da limitazioni stradali da percorrere e nelle aree urbane potrebbe incorrere nel congestionamento del traffico urbano; il drone, invece, sebbene abbia una capacità di carico unitaria, può gestire in maniera ottimale restrizioni stradali difficili, e quindi i fattori che limitano il truck, non sono quelli che condizionano il drone.

3.2.1 descrizione del problema

Nel TSP-D, un camion e un drone devono consegnare i pacchi coordinandosi tra di loro e ogni richiesta del cliente deve essere soddisfatta o dal camion o dal drone. Alcuni clienti potrebbero essere serviti dal drone perché situati in territori difficili da raggiungere; altri invece devono essere serviti inevitabilmente dal furgone perché in attesa di oggetti di grandi dimensioni o troppo pesanti per il drone. Nell'organizzazione iniziale della consegna comunque tutti i pacchi vengono caricati nel truck. Tra due nodi, ovvero tra due clienti, il camion viaggia da solo o con il drone perché è attrezzato per trasportarlo, pertanto un nodo può essere servito dal drone, dal camion o dal camion con il drone in cima ad esso. Dal momento che la capacità del drone è di una unità e la durata della batteria è limitata, il drone deve ritornare verso il camion dopo ogni consegna effettuata per caricare il prossimo pacco e ricaricare la batteria. Una volta che il drone è posizionato sopra il furgone, l'operatore carica il pacco per il prossimo cliente e sostituisce la batteria se necessario e quindi è pronto per la consegna o per rimanere sul camion. Durante la consegna del drone, il truck continua comunque a muoversi lungo il suo percorso e il primo veicolo che arriva al nodo della riunione attende l'altro veicolo. L'obiettivo, infatti, è ridurre al minimo il tempo per completare tutte le consegne.

La Figura 14 mostra uno schema di consegna dove sono presenti 3 tipi di nodi con forme differenti (triangolo, quadrato, cerchio) e 2 tipi di congiunzioni (linea piena, linea tratteggiata). I nodi a forma di triangolo sono i clienti assegnati al drone, mentre i nodi a forma di cerchio sono i clienti assegnati al truck; oltre ai nodi a forma di cerchio e triangolo ci sono i nodi a forma quadrata che indicano i clienti dove inizia e finisce il volo del drone, chiamati "nodi combinati" (Agatz et al., 2016). Per quanto riguarda invece le congiunzioni, il percorso del drone si distingue con la linea di congiunzione tratteggiata, mentre quello del camion dalla linea piena.

Nel percorso illustrato in Figura 14, i veicoli partono separatamente dal deposito "[0]" e prima d'incontrarsi al nodo 4, il drone serve il nodo 10; giunti al nodo 4, l'operatore non solo serve il cliente ma sostituisce la batteria al drone e carica il pacco per il nodo 6. Successivamente il furgone visita in sequenza il nodo 2 e il nodo 7, mentre il drone consegna al nodo 6 per poi incontrarsi al nodo 9. In seguito, il camion si dirige verso il nodo 1 e si incontra con il drone al nodo 5; infine prima di giungere al deposito il drone serve il nodo 8, al contrario del furgone che dal nodo 5 raggiunge direttamente il deposito.

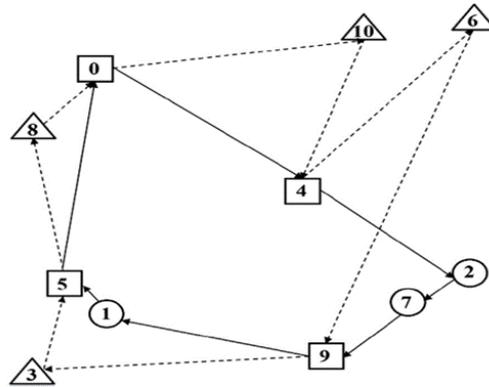


Figura 14: Esempio di percorso di consegna realizzato con TSP-D

Le principali difficoltà di questo processo di consegna sono d'attribuire alla dipendenza e alla necessità di sincronizzazione tra i due veicoli (Drex1, 2012). Il TSP-D deve realizzare tre tipi di sincronizzazione:

- Sincronizzazione delle attività, perché il cliente deve essere servito solamente una volta da uno dei due veicoli.
- Sincronizzazioni delle operazioni, perché se il drone deve consegnare a più clienti, quindi fare diversi percorsi, deve incontrarsi con il truck prima di passare al percorso successivo e questo implica che ci sia un coordinamento sia di tempo che di luogo tra i veicoli.
- Sincronizzazione del movimento, nel caso in cui i veicoli debbano viaggiare separatamente o in tandem lungo i loro percorsi.

Il TSP-D dovrà, oltretutto, cercare una soluzione per queste tre domande:

- Quali clienti saranno serviti per primi?
- Per i clienti selezionati per la consegna con il drone, quali nodi verranno assegnati come nodi combinati? E quale percorso deve essere effettuato?
- In quale ordine il camion deve servire i clienti assegnati?

Per la realizzazione dell'algoritmo sono state imposte delle condizioni operative restringenti in quanto il percorso del drone può iniziare e finire solo nei nodi, poiché esso non è autorizzato a partire o a incontrare il camion in una posizione che non sia un nodo-cliente; inoltre, il drone non può tornare allo stesso nodo-cliente da cui viene fatto partire e, una volta tornato al deposito, non gli è più consentito partire per un nuovo percorso.

3.2.2 risoluzione DEL problema

Per risolvere il problema è stato usato un algoritmo iterativo che scompone il problema in due parti (Yurek ES. et al., 2018). Nella prima fase viene determinato il percorso del camion, mentre nella seconda viene determinato il percorso del drone, così che, avendo già fissato il percorso del camion, si tengano in considerazione anche i suoi nodi-cliente nella gestione di quelli del drone. Questo approccio risolutivo in due fasi è illustrato nella Figura 15: nel lato sinistro viene rappresentata la soluzione della prima fase, nel lato destro viene rappresentata la soluzione della seconda fase.

Il percorso determinato nella prima fase, cioè il percorso che deve svolgere il camion, è dato dalla sequenza: 0-4-2-7-9-1-5-0, invece la soluzione della seconda fase che delibera il percorso del drone è dato dalla sequenza: 0-10-4, 4-6-9, 9-3-5 e 5-8-0. Lo scopo principale dell'algoritmo è consentire al drone di visitare il maggior numero di clienti possibili, ottenendo così una riduzione significativa del percorso del truck. L'assegnazione di un maggior numero di nodi al drone fa sì che il camion debba percorrere un itinerario più breve rispetto a quello che percorrerebbe se fosse da solo, quindi è probabile che il furgone completi il percorso prima del drone, dovendolo poi aspettare. Converrebbe quindi che il camion processasse altri clienti per poi raggiungere il nodo in sincronia con il drone, senza rimanere in attesa.

Per determinare il percorso del camion dobbiamo generare tutti i possibili percorsi escludendo i nodi assegnati ai droni e quindi utilizzando solo i nodi rimanenti, che costituiscono l'insieme R, cioè l'insieme di tutti i tragitti del truck. Tuttavia per dimezzare l'insieme dei percorsi del camion dobbiamo selezionare solo percorsi da una delle due direzioni, infatti tutti i percorsi generati partiranno dall'indice del primo nodo-cliente all'ultimo indice del nodo-cliente e/o viceversa; per esempio i percorsi 0-1-2-3-4-5-0 e 0-5-4-3-2-1-0 sono tracciati equivalenti con direzioni contrarie e quindi va eliminato uno dei due percorsi per impedire la ripetizione dello stesso percorso. Questo tipo di accorgimento implica l'ipotesi di simmetria delle distanze e non può essere applicato nei casi di distanze asimmetriche.

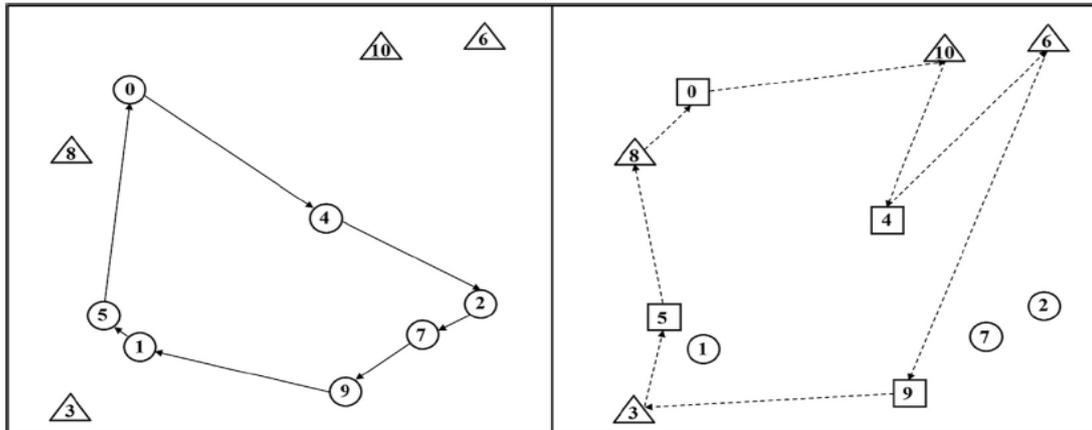


Figura 15: Esempio di percorso di consegna determinato dalla prima e dalla seconda fase dell' algoritmo proposto

Osservando i percorsi del camion generati considerando il tempo di percorrenza più breve rispetto al tempo globale del limite superiore (*gub*), si nota che il *gub* iniziale non è nient'altro che la soluzione del TSP. Tutti i percorsi vengono quindi inseriti all'interno dell'insieme *R* in ordine crescente per tempo di percorrenza.

Per ridurre il numero di percorsi generati, dividiamo questo processo in due fasi. Innanzitutto, abbiamo generato tutti i possibili percorsi del camion senza tenere in considerazione le combinazioni con i nodi-cliente del drone e li indichiamo con D_{max} ; dopodiché se la soluzione trovata è più piccola della soluzione del TSP, otteniamo un nuovo *gub*. Nella seconda fase, generiamo i percorsi del camion rimanenti, sottraendo al numero totale di nodi-clienti della rete di consegna (*N*), il numero dei possibili percorsi del camion (D_{max}), mantenendo tutti i tragitti più piccoli del *gub*. In questo modo se il *gub* viene migliorato, ogni volta avremo sempre meno rotte presenti nell'insieme *R*.

La soluzione di TSP fornisce il limite superiore del tempo di consegna totale; al contrario l'insieme *R*, dove le rotte sono elencate in ordine crescente, fornisce, ad ogni iterazione, il limite inferiore dell'iterazione selezionata (Ib_{iter}) che è il percorso del camion selezionato. Le iterazioni vengono eseguite finché il *gub* non viene superato dal limite inferiore dell'iterazione selezionata (Ib_{iter}). In questo caso si ottiene la soluzione migliore e l'algoritmo termina.

Uno pseudocodice dell'algoritmo proposto è descritto di seguito (ALGORITMO 1). Per una migliore comprensione, l'algoritmo è prima illustrato in forma di esempio: si supponga di avere una rete di consegne con quattro clienti, per prima cosa si ottiene la soluzione del TSP che è 35,56, e quindi il *gub* iniziale sarà uguale con un valore di 35,56. Poiché il numero massimo di clienti che è possibile assegnare al drone sono due, dati dalla formula di

arrotondamento del linguaggio di programmazione $\text{floor}((4+1)/2)$, si generano i possibili percorsi del furgone con due nodi-cliente e si prendono in considerazione solo i percorsi con durata di consegna inferiori al gub, che verranno inseriti nell'insieme R in ordine crescente. I percorsi che vengono mantenuti nell'insieme R sono riportati nella Tabella 3.

Il percorso più breve (11.45 min) è anche il primo elemento che viene selezionato dall'insieme R (indicato con R(I)) che permette la risoluzione della seconda fase. Ottenuto il tempo di attesa del camion che è 12.02, ne consegue che per la prima iterazione, data dal tempo di consegna più il tempo di attesa, si impiegano 23.47, una quantità inferiore alla soluzione iniziale del TSP. Nel passaggio successivo il gub viene aggiornato con il valore di 23.47 e quindi vengono generati i percorsi del camion con i rimanenti tre nodi-cliente.

| Route no. | Route | Route duration (min) |
|-----------|---------|----------------------|
| 5 | 0-2-4-0 | 11,45 |
| 4 | 0-2-3-0 | 11,76 |
| 6 | 0-3-4-0 | 12,49 |
| 1 | 0-1-2-0 | 27,82 |
| 2 | 0-1-3-0 | 30,67 |
| 3 | 0-1-4-0 | 32,56 |

Tabella 3: Esempio della generazione degli itinerari del truck

Successivamente si osservano solo i percorsi generati che hanno tempi di consegna inferiori rispetto al gub aggiornato. Pertanto, solo tre percorsi per autocarri vengono inseriti nell'insieme R.

La Tabella 4 elenca tutti i percorsi in ordine crescente, ma considera anche le iterazioni, il limite inferiore, il limite superiore globale e le soluzioni. Da essa si può quindi evincere che il gub non viene aggiornato nella iterazione 3 e nella iterazione 5 perché le soluzioni ottenute sono peggiori della soluzione migliore. In grassetto viene mostrata invece la soluzione ottimale che avviene dall'iterazione 4 con un valore di 17.66, anche se l'algoritmo continua e termina all'iterazione 6 perché il limite inferiore dell'iterazione 6 è maggiore del gub.

| Iteration | Route no. | Route | Route duration (min) | lb_{iter} | Waiting time | Solution | gub | TSP |
|-----------|-----------|-----------|----------------------|--------------|--------------|--------------|-------|-------|
| 1 | 5 | 0-2-4-0 | 11,45 | 11,45 | 12,02 | 23,47 | 23,47 | 35,56 |
| 2 | 4 | 0-2-3-0 | 11,76 | 11,76 | 11,49 | 23,25 | 23,25 | 35,56 |
| 3 | 6 | 0-3-4-0 | 12,49 | 12,49 | 12,17 | 24,66 | 23,25 | 35,56 |
| 4 | 7 | 0-2-4-3-0 | 14,45 | 14,45 | 3,21 | 17,66 | 17,66 | 35,56 |
| 5 | 8 | 0-3-2-4-0 | 16,51 | 16,51 | 1,16 | 17,67 | 17,66 | 35,56 |
| 6 | 9 | 0-2-3-4-0 | 18,25 | 18,25 | * | * | * | 35,56 |
| * | 1 | 0-1-2-0 | 27,82 | * | * | * | * | 35,56 |
| * | 2 | 0-1-3-0 | 30,67 | * | * | * | * | 35,56 |
| * | 3 | 0-1-4-0 | 32,56 | * | * | * | * | 35,56 |

* Results are not obtained since the algorithm terminates.

Tabella 4: Iter dell' algoritmo

Riassumendo lo pseudocodice dell'ALGORITMO 1:

1. $Iter \leftarrow I$
 2. Risolvere il TSP per ottenere il limite superiore globale, $v(TSP)$
 3. $GUB \leftarrow v(TSP)$
 4. Generare tutti i possibili percorsi del camion con la formula $N - D_{max}$ e considerare solo quelli con la durata minore del limite superiore (durata percorso $< gub$)
 5. Inserire ogni percorso nell'insieme in ordine crescente
 6. Impostare il limite inferiore, cioè il percorso con la durata più breve, e considerarlo come il primo percorso da scegliere nell'insieme R , $Ib_{iter} \leftarrow R(iter)$
 7. Generare tutti i possibili tragitti del drone ed impostare P_{iter}
 8. Risolvere il modello matematico della seconda fase per ottenere il tempo di attesa del camion $v(Z)$
 9. Se $(v(Z) + Ib_{iter} < gub)$
 10. $Gub \leftarrow v(Z) + Ib_{iter}$
 11. Generare tutti i possibili percorsi del truck che coinvolgano più nodi rispetto a $N - D_{max}$ e considerare sempre solo quelli con la durata del percorso minore (durata percorso $< gub$)
 12. Inserire ciascuna rotta in ordine crescente nell'insieme R
 13. $Iter \leftarrow Iter + 1$
 14. $Ib_{iter} \leftarrow R(iter)$
 15. Se $(Ib_{iter} > GUB)$
 16. L'algoritmo termina
- Altrimenti
17. Generare tutti i possibili percorsi del drone ed impostare P_{iter}
 18. Risolvere Z per ottenere tutti i possibili percorsi ottimali del drone
 19. Se $(v(Z) + Ib_{iter} < GUB)$
 20. $GUB \leftarrow v(Z) + Ib_{iter}$
 21. Ritornare allo step 13

3.2.3 Modello matematico

In questa sezione viene presentato il modello matematico sviluppato per determinare in modo ottimale il percorso del drone (Yurek ES. et al., 2018). Le definizioni di indici, insiemi, parametri e variabili decisionali sono riassunti nella Tabella 5.

| | |
|---------------------------|---|
| <i>Indexes</i> | |
| i, j | Node |
| k | Position |
| p | Drone tour |
| $iter$ | Iteration |
| <i>Sets</i> | |
| C | Set of customer nodes |
| D_{iter} | Set of customer nodes assigned to the drone in the first stage of iteration $iter$ |
| P_{iter} | Set of drone tours generated at iteration $iter$ |
| <i>Parameters</i> | |
| d_p | Duration of tour p |
| f_{ip} | Binary parameter which takes value 1 if tour p starts from node i and 0 otherwise |
| a_{ip} | Binary parameter which takes value 1 if node i is served by the drone in tour p and 0 otherwise |
| l_{ip} | Binary parameter which takes value 1 if tour p ends at node i and 0 otherwise |
| D_{max} | Maximum number of customer nodes that can be assigned to the drone |
| N | Number of customer nodes in the delivery network |
| t_i | Arrival time of the truck at node i |
| m_k | Node assigned to position k in the truck route |
| \bar{r}_{iter} | The truck route decided in the first stage of iteration $iter$ |
| $\{0, C + 1\}$ | The depot as the source and the sink nodes |
| <i>Decision variables</i> | |
| x_p | Binary variable which takes 1 if tour p is traveled by the drone and 0 otherwise |
| w_i | Waiting time of the truck at node i |

Tabella 5: Descrizione di indici, insiemi, parametri e variabili decisionali

Il TSP-D studiato secondo una logica iterativa viene scomposto in due fasi. In ogni iterazione, viene corretto il percorso del camion nella prima fase e viene denominato come $iter$. La determinazione del percorso del camion fornisce anche le assegnazioni dei nodi-clienti del drone, perché i nodi-cliente che non si trovano lungo il percorso del camion devono essere invece serviti dal drone. I nodi-cliente assegnati al drone nell'iterazione ($iter$) sono denotati come D_{iter} . Nella seconda fase di ogni iterazione, viene risolto il modello matematico proposto per determinare i tragitti ottimali. Come accennato in precedenza, un percorso è composto da tre nodi: nodo di lancio, nodo del drone e nodo di prelievo o ritiro. Poiché un volo con un drone inizia e finisce al camion, il primo nodo che rappresenta il nodo di lancio e l'ultimo nodo che rappresenta il nodo di ritiro sono inclusi anche nel percorso del camion. Tuttavia, il nodo del drone deve essere un elemento di D_{iter} . Al percorso del drone non è consentito iniziare e finire al nodo i , $i \in D_{iter}$. Inoltre, la durata di qualsiasi tragitto non può superare la durata della batteria del drone.

Il camion e il drone partono contemporaneamente dal nodo di lancio per i loro tragitti individuali. Entrambi i veicoli possono arrivare al nodo di prelievo contemporaneamente o in tempi diversi a seconda della durata dei singoli percorsi. La durata del percorso del camion non

cambierà, perché il camion non aspetta il drone se quest'ultimo arriva prima del camion o se entrambi i veicoli arrivano contemporaneamente. Tuttavia, se il camion arriva al nodo di prelievo prima del drone, attende il drone.

Il nostro scopo nella seconda fase è ridurre al minimo il tempo di attesa del camion ai nodi di ritiro poiché i nodi di ritiro selezionati sono anche nodi del cliente per il camion. Possiamo rappresentare la funzione-obiettivo del problema della seconda fase nell'Equazione (1). I veicoli possono tornare separatamente al deposito, pertanto, il deposito è considerato un nodo di ritiro ed è incluso nella funzione-obiettivo.

(1)

Trovare i percorsi del camion nella prima fase ci ha permesso anche di conoscere i tempi di arrivo al nodo-cliente di ogni camion, questo ci permette di trovare i tempi di attesa e quindi conoscere per quanto tempo il truck attende il drone in ogni nodo di ritiro.

All'interno delle parentesi dell'Equazione (2) sono rappresentati i tempi di percorrenza del furgone tra i nodi di lancio e di prelievo: se il tragitto del drone è più lungo del giro del camion, il truck deve attendere il drone per un periodo più lungo di w_i .

La prima condizione per garantire un percorso favorevole al drone è presente nell'Equazione (3). Tale condizione implica che il nodo-cliente assegnato al drone deve essere processato solamente una volta.

(3)

La seconda condizione determina il nodo i , che è un elemento del percorso r_{iter} , come il nodo di lancio di un solo percorso.

(4)

La terza condizione determina il nodo i , che è un elemento del percorso r_{iter} , come il nodo di ritiro di un solo percorso.

(5)

L'ultima condizione di fattibilità, rappresentata nell'Equazione (6), impone che il percorso del camion fissato nella prima fase abbia n nodi-cliente e stabilisce che se viene selezionato un tragitto che inizia nel nodo i e termina nel nodo j , il drone non può iniziare o terminare il percorso in nessuna posizione k che si trova tra il nodo i e il nodo j (come evidente in Figura 16).

(6)

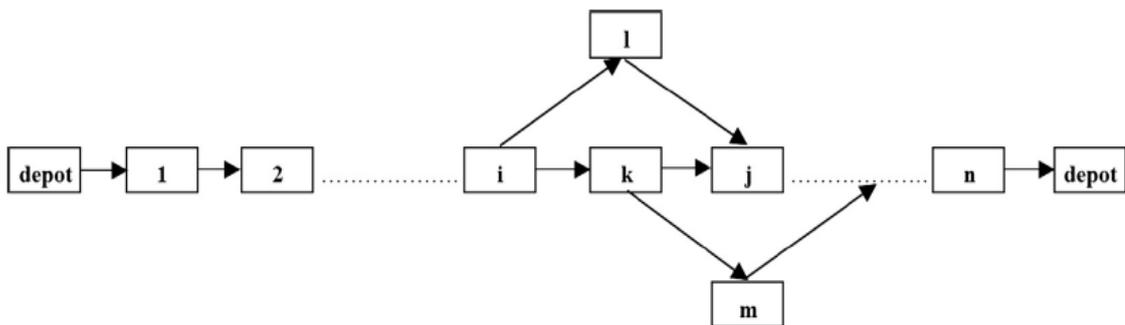


Figura 16: Tragitto non fattibile per il drone

Le definizioni delle variabili decisionali sono descritte nelle equazioni (7) e (8).

(7)

(8)

3.2.4 discussione finale

L'algoritmo di ottimizzazione iterativo utilizzato è basato sulla decomposizione in due fasi per il raggiungimento di una soluzione ottimale; inoltre, esso è stato eseguito non utilizzando istanze generate casualmente, ma parametri selezionati da soluzioni di studi precedenti

proposti da Agatz e Al (2016) e di Murray e Chu (2015). L'algoritmo è efficiente perché risolve le richieste di 12 clienti in un lasso di tempo ragionevole, mentre gli studi esistenti avevano risolto, in modo ottimale, solo problemi con 10 clienti nello stesso lasso di tempo. Quando si considerano le applicazioni nella vita reale, sembra difficile adattare la consegna con drone alle aree urbane a causa delle normative vigenti, delle barriere architettoniche (edifici e palazzi) e della densità della popolazione. Per questo la consegna con drone è maggiormente considerata come soluzione nelle aree suburbane proprio per la possibilità di oltrepassare gli ostacoli di terreni difficili.

CONCLUSIONE

"La nostra intuizione sul futuro è lineare. Ma la realtà è che la tecnologia è esponenziale e ciò crea una profonda differenza. Se faccio 30 passi in modo lineare, arrivo a 30. Se faccio 30 passi

in modo esponenziale, arrivo a un miliardo.” – Raymond Kurzweil

Questo è il pensiero di Raymond Kurzweil, inventore, informatico, saggista ma soprattutto futurologo statunitense, che sottolinea l'importanza dell'esponenziale evolversi della tecnologia e che ne considera questo solo l'inizio del percorso chiamato industrializzazione 4.0.

L'Industria 4.0 sta raccogliendo nuove possibilità, offerte dall'evoluzione tecnologica, e con queste sta creando innovazione e nuovi modelli commerciali. I droni, al giorno d'oggi, ne sono la rappresentazione, lo strumento rivoluzionario che ne è stato il prodotto ma che sarà anche alla base dell'industria del futuro. Un drone, infatti, può essere integrato in un'ampia classe di lavori per aiutare l'uomo a compiere azioni più facilmente ed in modo più efficiente e sicuro, ma allo stesso tempo può anche crearne di nuove. L'impatto maggiore all'interno dell'Industria 4.0 è appunto dato dalla loro flessibilità e da questa loro utilità nei diversi settori, grazie anche alla possibilità di equipaggiarli con lo strumento più indicato a compiere una mansione. Questo rende il drone, oltre che plasmabile a più campi, uno strumento altamente personalizzabile nelle mansioni stesse.

Per l'Industria 4.0, comunque, il drone non è la punta dell'iceberg, ma uno dei componenti di questa evoluzione industriale, in quanto ci sono un'infinità di altri strumenti che sono parte di questo processo evolutivo, come la stampante 3D o la realtà aumentata. Proprio perché un avanzamento tecnologico nei droni può innescarne un altro nella stampa DT o 3D, si può intuire che molte delle altre innovazioni che sorgeranno durante questo cammino saranno dovute e dovranno ringraziare la contaminazione e l'amplificazione reciproca delle tecnologie tuttora in uso. Come visto, molto spesso le tecnologie sono correlate e interconnesse tra loro e questo rende la parola connettività una parola di primaria importanza oggi e la parola d'ordine del nostro futuro.

BIBLIOGRAFIA

Agarwal, R., Audretsch, D., & Sarkar, M. B. The process of creative construction: Knowledge spillovers, entrepreneurship, and economic growth. *Strategic Entrepreneurship Journal*, 2007; 1(3/4), 263—286.

Agatz, N., Bouman, P. and Schmidt, M., 2016. Optimization Approaches for the Traveling Salesman Problem with Drone. ERIM Report Series Reference No. ERS-2015-011-LIS.

Allianz Global Corporate & Specialty. Rise of the drones: Managing the unique risks associated with unmanned aircraft systems UAS [White paper]; 2016. Available at https://www.agcs.allianz.com/assets/PDFs/Reports/AGCS_Rise_of_the_drones_report.pdf

Amukele TK, Sokoll LJ, Pepper D, Howard DP, Street J. Can unmanned aerial systems (drones) be used for the routine transport of chemistry, hematology, and coagulation laboratory specimens? PLoS One 2015;10:e0134020.

Amukele T, Ness PM, Tobian AA, Boyd J, Street J. Drone transportation of blood products. Transfusion 2017;57:582e8.

Amukele TK, Hernandez J, Snozek CLH, Wyatt RG, Douglas M, Amini R, et al. Drone transport of chemistry and hematology samples over long distances. Am J Clin Pathol 2017;148:427e35.

Boutillier JJ, Brooks SC, Janmohamed A, Byers A, Buick JE, Zhan C, et al. Optimizing a drone network to deliver automated external defibrillators. Circulation 2017;135:2454e65.

Brem, A., Maier, M., & Wimschneider, C. (2016). Competitive advantage through innovation: The case of Nespresso. European Journal of Innovation Management, 2016; 19(1), 133—148.

Claesson A, Bäckman A, Ringh M, Svensson L, Nordberg P, Djärav T, et al. Time to delivery of an automated external defibrillator using a drone for simulated out-of-hospital cardiac arrests vs emergency medical services. JAMA 2017;317:2332e4.

Drexler, M., 2012. Synchronization in vehicle routing—a survey of VRPs with multiple synchronization constraints. Transport. Sci. 46 (3), 297–316.

E. H. Ch. Harik et. al., Towards an Autonomous Warehouse Inventory Scheme. 2016 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence, 2016

Fisher, L. Flight of the drone maker. Strategy+Business, 2013. Available at <https://www.strategy-business.com/feature/00187?gko=ac04a>

Furer F. Swiss Post drone takes off again for healthcare services. Swiss Post; 2019 [Internet]. Available at: <https://post-medien.ch/en/swiss-post-dronelost-over-lake-zurich/>. [Accessed 26 July 2019].

Greaves RF, Bernardini S, Ferrari M, Fortina P, Gouget B, Gruson D, et al. Key questions about the future of laboratory medicine in the next decade of the 21st century: a report from the IFCC-Emerging Technologies Division. Clin Chim Acta 2019;495:570e89.

Haidari LA, Brown ST, Ferguson M, Bancroft E, Spiker M, Wilcox A, et al. The economic and operational value of using drones to transport vaccines. Vaccine 2016;34:4062e7.

Harress, C. 12 companies that will conquer the drone market in 2014 and 2015. International Business Times, 2015. Available at <http://www.ibtimes.com/12-companies-will-conquer->

drone-market-2014-2015-1534360

Hazel, B., & Aoude, G. In commercial drones, the race is on [White paper]. Oliver Wyman, 2015. Available at http://www.oliverwyman.com/content/dam/oliver-wyman/global/en/2015/apr/Commercial_Drones.pdf

Katariya M, Chung DCK, Minife T, Gupta H, Zahidi AAA, Liew OW, et al. Drone inflight mixing of biochemical samples. *Anal Biochem* 2018;545:1e3.

Kelland K. Drones to deliver vaccines, blood and drugs across Ghana. Reuters;2019 [Internet]. Available at: <https://af.reuters.com/article/topNews/idAFKCN1S014J-OZATP>. [Accessed 16 July 2019].

Makoye K. Buzz as world's biggest drone drug deliveries take off in Tanzania. Reuters; 2017 [Internet]. Available at: <https://www.reuters.com/article/ustanzania-health-drones/buzz-as-worlds-biggest-drone-drug-deliveries-takeoff-in-tanzania-idUSKCN1B91F7>. [Accessed 17 July 2019].

Mark DB, Hansen SM, Starks ML, Cummings ML. Drone-based automatic external defibrillators for sudden death? Do we need more courage or more serenity? *Circulation* 2017;135:2466e9.

Medecins Sans Frontieres. Innovating to reach remote TB patients and improve access to treatment. 2014 [Internet]. Available at: <https://www.msf.org/papua-new-guinea-innovating-reach-remote-tb-patients-and-improveaccess-treatment>. [Accessed 26 July 2019].

Mesar T, Lessig A, King DR. Use of drone technology for delivery of medical supplies during prolonged field care. *J Spec Oper Med* 2018;18:34e5.

Moskwa, W. World drone market seen nearing \$127 billion in 2020, PwC says, 2016. Available at <https://www.moneyweb.co.za/news/tech/world-drone-market-seen-nearing-127bn-2020-pwc-says/>

Murray, C.C., Chu, A.G., 2015. The flying sidekick traveling salesman problem: optimization of drone-assisted parcel delivery. *Transport. Res. Part C: Emerg. Technol* 54, 86–109.

Olivares V., Cordova F., Sepulveda JM., Derpich I. Modeling internal logistics by using drones on the stage of assembly of products. *Procedia Computer Science* 55 (2015) 1240 – 1249.

Prins C, Lacomme P, Predhon C. Order-first split-second methods for vehicle routing problems: A review. *Transportation Research* 2014; Part C 40: 179-200.

Raja P, Pugazhenth S. Optimal path planning of mobile robots: A review. *International Journal of Physical Sciences* 2012; 7(9): 1314-1320.

Scalea JR, Restaino S, Scassero M, Bartlett ST, Wereley N. The final frontier? Exploring organ transportation by drone. *Am J Transplant* 2019;19:962e4.

Scalea JR, Restaino S, Scassero M, Blankenship G, Bartlett ST, Wereley N. An initial investigation of unmanned aircraft systems (UAS) and real-time organ status measurement for

transporting human organs. *IEEE J Transl Eng Health Med* 2018;6:4000107.

Sharma G. Armed with drones, aid workers seek faster response to earthquakes, floods. Reuters; 2016 [Internet]. Available at: <https://www.reuters.com/article/us-humanitarian-summit-nepal-drones/armed-with-drones-aidworkers-seek-faster-response-to-earthquakes-floods-idUSKCN0Y7003>.

Shiltagh NA, Jalal LD. Path Planning of Intelligent Mobile Robot Using Modified Genetic Algorithm. *International Journal of Soft Computing and Engineering* 2013; 3 (2) : 39-54.

Shin K, Han S. A Centroid-Based Heuristic Algorithm for the Capacitated Vehicle Routing Problem. *Computing and Informatics*, 2011;.30: 721-732.

Silveira GD, Borenstein D, Fogliatto FS. Mass customization: literature review and research directions. *International Journal of Production Economics* 2001; 72: 1–13.

UNICEF. Malawi tests first unmanned aerial vehicle flights for HIV early infant diagnosis. 2016 [Internet]. Available at: https://www.unicef.org/media/media_90462.html. [Accessed 26 July 2019].

Vincent, J. Qualcomm video shows how much smarter drones will get in 2016. *The Verge*, 2015. Available at <http://www.theverge.com/2015/12/31/10693066/qualcomm-snapdragon-flight-preview>.

Yoo,W., Yu,E., Jung,J., 2018. Drone delivery: Factors affecting the public’s attitude and intention to adopt. *Telematics and Informatics* 35, 1687–1700.

Yurek ES., Ozmutlu HC. A decomposition-based iterative optimization algorithm for traveling salesman problem with drone. *Transportation Research Part C* 91 (2018) 249–262.

Wang,X., Poikonen,S., Golden,B., 2017. The vehicle routing problem with drones: several worst-case results. *Optimization Letters* 11, 679.

Wu N. Flexibility to Manufacturing process reengineering for Mass Customization. *International Journal of Intelligent Control and Systems* 2005; 10:152-161.