



DIPARTIMENTO DI

INGEGNERIA DELL'ENERGIA ELETTRICA  
E DELL'INFORMAZIONE "*GUGLIELMO MARCONI*"

CORSO DI LAUREA IN

INGEGNERIA ELETTRONICA PER L'ENERGIA E  
L'INFORMAZIONE

# **Analisi della propagazione radio in ambiente industriale per applicazioni smart factory**

Elaborato in  
**Campi Elettromagnetici**

Relatore:  
**Prof. Ing. Enrico Maria Vitucci**

Presentato da:  
**Vincenzo Nardiello**

Correlatore:  
**Prof. Ing. Vittorio Degli Esposti**

Anno accademico **2019/2020**  
Sessione **II**

# INDICE

<b>INTRODUZIONE</b> .....	1
---------------------------	---

## **CAPITOLO 1 - LE SMART FACTORY :UNA NUOVA RIVOLUZIONE**

1.1	Le origini dell'industria 4.0.....	3
1.2	Smart Factory: la base di partenza.....	5
1.3	Finalità dell'industria.....	6
1.4	Fattori caratteristici di una Smart Factory.....	7
1.5	Strumenti per l'attuazione-Tecnologie Abilitanti.....	8
1.5.1	Robotica Avanzata.....	8
1.5.2	Manifattura additiva.....	9
1.5.3	Realtà aumentata.....	9
1.5.4	Simulazione.....	10
1.5.5	Internet delle cose applicato all'industria.....	10
1.5.6	Cloud .....	10
1.5.7	Big Data Analytics.....	11
1.5.8	Sistema ciberfisico - CPs.....	11

## **CAPITOLO 2 - I DRONI E IL LORO IMPIEGO IN AMBITO INDUSTRIALE .**

2.1	Droni: Definizione e Classificazione .....	13
2.1.1	Definizione.....	13
2.1.2	Tipi e Classificazione dei droni .....	14
2.2	Regolamentazione dell'utilizzo dei droni .....	15
2.3	I droni: un'applicazione efficiente per una Smart Factory.....	16

## **CAPITOLO - Trasmissione ULTRA-WIDE-BAND**

3.1	Panoramica delle trasmissioni UWB.....	17
3.2	PulsOn410.....	17
3.2.1	P410: ricetrasmittitore radio.....	18

## **CAPITOLO 4 - AQUISIZIONE E ANALISI DEI DATI**

4.1	Definizione del progetto .....	20
4.2	Scenario e attrezzatura per la misurazione .....	20
4.3	Misure effettuate in varie postazioni al variare dell'altezza.....	23
4.4	Misure effettuate durante il volo continuo.....	28
<b>CONCLUSIONE</b> .....		<b>33</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....		<b>34</b>

## FIGURE

Figura 1- Le quattro rivoluzioni industriali .....	4
Figura 2-Tecnologie Abilitanti nelle Smart Factory.....	11
Figura 3-Le quattro categorie di droni .....	14
<i>Figura 3.1 - Visione dell'integrazione del drone in una futura azienda completamente automatizzata, fornita dall'articolo "Characterizing Drone-to-Machine UWB Radio Channel in Conscious Factories"</i> .....	15
Figura 4-P410 utilizzato come ranging radio.....	18
Figura 5-P410 utilizzato come radar statico.....	18
Figura 6-piantina dell'azienda con postazioni Tx/Rx .....	21
Figura 7-DJI Phantom 4 Pro, drone utilizzato per effettuare le misure.....	21
Figura 7.1-Foto dell'azienda .....	22
Figura 8 -Delay Spread caso NLOS.....	24
Figura 9-Average Power caso NLOS.....	25
Figura 10 -Delay Spread caso LOS-QLOS.....	25
Figura 11-Average Power caso LOS-QLOS.....	26
Figura 12-Delay Spread considerando tutte le postazioni meanfull .....	26
Figura 13-Average Power considerando tutte le postazioni meanfull.....	27
Figura 14 -Potenza ricevuta per ciascuno dei 5 voli.....	28
Figura 15-Delay Spread per ciascuno dei 5 voli.....	29
Figura 16-Delay Spread per i voli di andata e ritorno(Media spaziale).....	30
Figura 17 -Delay Spread di tutti i voli (Media temporale).....	31
Figura 18 -Average Power per i voli di andata e ritorno(Media spaziale).....	31
Figura 19-Average Power di tutti i voli (Media temporale).....	32



# INTRODUZIONE

Negli ultimi anni, si sta assistendo a quella che è stata definita la quarta rivoluzione industriale; un processo di cambiamento che porta le fabbriche ad utilizzare sistemi di lavorazione automatizzati e intelligenti. Le Smart Factory, o Industrie 4.0, si basano sulla digitalizzazione produttiva il cui obiettivo è quello di creare aziende con capacità di alta flessibilità, bassi lead time, produzioni in batch ridotti e customizzazione avanzata del prodotto, il tutto per offrire un maggiore valore al cliente.

Al centro della rivoluzione vi è la presenza ubiqua della tecnologia dell'informazione ( *TI* ) come comunicazioni mediante wireless, elaboratori ad elevata potenza di calcolo e macchine robotizzate; l'IT è quindi un ambito in continuo sviluppo e sottoposto a numerosi studi. Nel campo della comunicazione wireless acquistano sempre più interesse i segnali ad Ultra-Wide-Band (UWB) grazie alle loro potenziali applicazioni, la comunicazione ad alta velocità di dati e le capacità di posizionamento. L'analisi e il design di un sistema di comunicazione ad UWB richiede però conoscenze accurate delle caratteristiche del canale di propagazione.

Recentemente, si pone maggiore attenzione anche agli Unmanned Aerial Vehicles (UAVs), conosciuti come droni, i quali introducono nuove opportunità e un aumento dell'efficienza in svariate aree come ad esempio il mapping, l'analisi forense, il supporto visivo e il primo soccorso. Gli UAVs possono essere coinvolti e integrati in diversi campi per il loro elevato potenziale, un'interessante applicazione è quella di includere i droni in ambito industriale in cui possono migliorare le capacità gestionale dell'azienda, permettendo la raccolta di visual data e ottimizzando i lavori.

L'obiettivo di questa tesi è quello di presentare risultati di misure ad Ultra Wide Band effettuate all'interno di un scenario industriale reale, in cui si può immaginare di utilizzare gli UAVs come una capacità supplementare della smart factory per operazioni di ottimizzazione e controllo.

Di seguito è riportata una lista divisa in capitoli degli argomenti trattati in questo elaborato:

- Capitolo uno. Una breve introduzione sulle Smart Factories, dalla “quarta rivoluzione industriale” a cosa le caratterizza e quali sono le loro finalità.

- Capitolo due. Una panoramica sui droni trattando della loro definizione, classificazione, regolamentazione e analisi delle loro applicazioni in ambito industriale
- Capitolo tre. Definizione dei sistemi ad Ultra-wide-Band, i loro vantaggi, e introduzione alla strumentazione Time Domain.
- Capitolo quattro. Presentazione del progetto, descrizione dello scenario e della metodologia, analisi dei dati.

# CAPITOLO 1

## LE SMART FACTORY : Una nuova rivoluzione

### 1.1 Le origini dell'Industria 4.0

Nel corso della storia le industrie hanno sempre cercato di ottimizzare i propri processi produttivi attraverso l'innovazione tecnologica al fine di aumentare la propria produttività.

Questa esigenza di crescita ha stimolato la continua ricerca di soluzioni innovative, che andassero di pari passo con le evoluzioni tecnologiche allora disponibili in ambito ingegneristico. Le fasi dello sviluppo industriale hanno tempistiche e connotazioni proprie a seconda dell'area geografica considerata ma in generale possiamo oggi distinguere quattro fasi che prendono il nome di "rivoluzioni industriali".

L'invenzione e l'utilizzo del motore a vapore durante la seconda metà del XVIII secolo ha segnato la prima rivoluzione industriale. Per la prima volta si è messa in evidenza l'importanza della tecnologia; si è iniziato a dare valore al fatto di poter sfruttare una fonte di energia, la forza del vapore, mettendola a disposizione dell'uomo per ottimizzare la produzione industriale.

L'elettricità e il petrolio sono le principali fonti di energia che hanno dato vita alla seconda rivoluzione industriale al volgere del XX secolo, aprendo un mondo a possibili sviluppi futuri nel campo dell'elettronica e comunicazione nel primo caso, e del trasporto nella seconda.

La terza rivoluzione fu caratterizzata negli anni '70 dall'utilizzo dell'energia atomica e solare, ma soprattutto dall'invenzione del calcolatore elettronico, che ha segnato la nascita di altre scienze, tra cui l'informatica, che ha permesso l'elaborazione elettronica dei dati e la loro trasmissione a distanza con l'avvento di internet.

La data esatta di inizio della quarta fase di sviluppo industriale non è ancora ben definita, probabilmente perché è ancora tutt'ora in corso e solo a posteriori sarà possibile identificarne l'atto fondante. Per il momento è possibile considerare l'anno 2011, quando per la prima volta venne utilizzato il termine "Industria 4.0" in Germania da Henning Kagermann, Wolf-Dieter Lukas e Wolfgang Wahlster durante la Fiera di Hannover.

L'obiettivo dell'Industria 4.0 è quello di permettere alle Smart Factory di realizzare una rete globale che colleghi i macchinari produttivi, i sistemi di stoccaggio e le attività degli stabilimenti produttivi sotto un unico sistema cibernetico che congiunge mondo reale e mondo virtuale. I sistemi che permettono alle macchine di comunicare e operare a stretto contatto con



il mondo reale sono i Cyber-Physical Systems (CPS). Il CPS andrà ad estendersi in ogni apparato del sistema produttivo, rendendolo capace di attuare decisioni decentralizzate, di scambiare informazioni in autonomia e di attuare funzioni di controllo. I vantaggi di questi sviluppi spaziano dall'incremento di flessibilità, alla personalizzazione di massa fino alla qualità del prodotto e la velocità di consegna.

I primi stabilimenti realizzati come Smart Factory adottano un approccio completamente nuovo alla produzione: il prodotto realizzato è smart, univocamente identificabile e connesso con il sistema produttivo; i mezzi produttivi stessi sono smart, modulabili e riconfigurabili: il sistema informatico supporta le scelte strategiche ed una rete mantiene un collegamento continuo con le sedi produttive, le unità di management e progettazione.

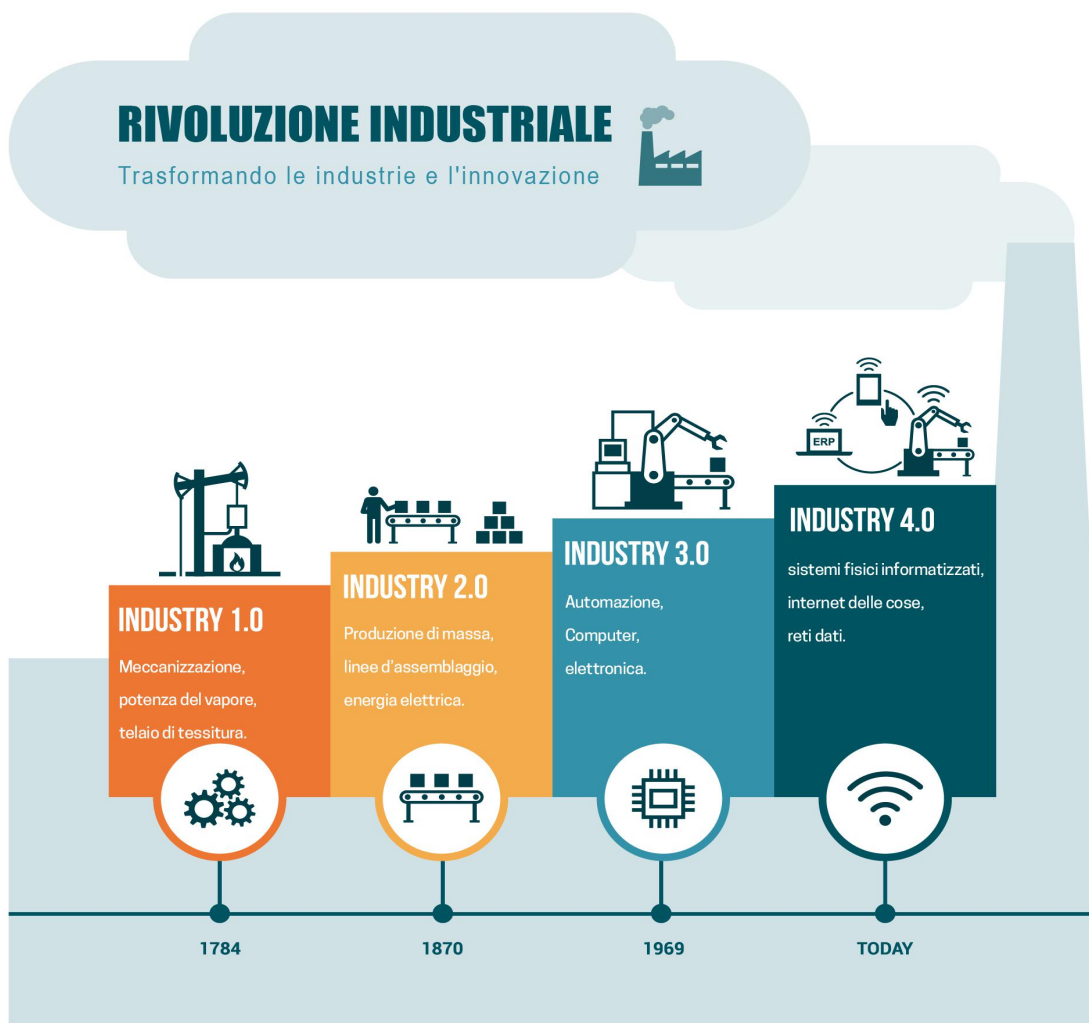


Figura 1 - Le quattro rivoluzioni industriali

## 1.2 Smart Factory: la base di partenza

Le Smart Factory sono la base di partenza dell'Industria 4.0, sono caratterizzate dalla capacità di operare in modo intelligente, rapido e in modo astuto tramite l'integrazione di sistemi informatici nelle attività svolte.

Definizione di Smart Factory a cui si può far riferimento:

*“Una fabbrica intelligente è una soluzione produttiva che impiega processi produttivi così flessibili e additivi da essere in grado di risolvere in modo dinamico e rapido i problemi che si possono presentare, andando a modificare le condizioni al contorno, in un mondo a complessità crescente. Questo particolare sistema è basato da una parte sulla automatizzazione, intesa come una combinazione di hardware, software e/o meccanica, che porta all'ottimizzazione della produzione nella forma della riduzione del lavoro necessario e dello spreco di risorse. Dall'altra parte, si vede nella prospettiva di collaborazione tra diversi partner industriali e non, dove l'intelligenza proviene dal realizzare un'organizzazione dinamica”*(Radziwon, Bilberg, Bogers, Madsen, 2014)

L'obiettivo è quindi quello di creare un'azienda in grado di rispondere e gestire gli eventi che si verificano al suo interno in modo impreveduto, le richieste del mercato e dei fornitori.

L'elemento cruciale che permette la realizzazione di fabbriche intelligenti è l'uso di tecnologie informatiche, con l'integrazione di quest'ultima ad ogni area dell'attività aziendale e del processo produttivo.

Il sistema si compone di una catena di oggetti, ognuno con un potere decisionale decentralizzato, per mettere in atto la produzione. A trarre vantaggio dalle caratteristiche sopra descritte sono le attività stesse con una riduzione dei tempi di sviluppo, di consegna di un prodotto individualizzato secondo le richieste del cliente e una maggiore attenzione all'utilizzo efficiente delle risorse.

## 1.3 Finalità dell'Industria 4.0

Il sistema produttivo e i prodotti sono il fulcro di un'azienda. Le imprese che già hanno introdotto tecnologie abilitanti all'interno del proprio plant stimano una crescita di efficienza produttiva pari al 30-50% proprio grazie all'uso delle nuove tecnologie.

Di seguito analizziamo in concreto quali sono i benefici della rivoluzione che sta travolgendo l'ecosistema produttivo proprio in questo momento:

- **Migliore flessibilità** attraverso la produzione di piccoli lotti ai costi della grande scala.  
La rete rende i processi produttivi dell'azienda più dinamici, rendendoli ovvero capaci di

reagire dinamicamente in seguito a cambiamenti o intoppi nella catena produttiva. La gestione della domanda e riorganizzazione sono facilitate dalla creazione di linee produttive in grado di compiere scelte autonome.

- **Riduzione Leadtime** con conseguente aumento della velocità dal prototipo alla produzione in serie attraverso tecnologie innovative, l'innovazione sviluppata dall'azienda può arrivare sul mercato in breve termine. La rete di connessione e la raccolta dati consentono azioni decisionali rapide indipendentemente dalla posizione.
- **Maggiore competitività del prodotto** attraverso la produzione in piccoli batch. L'obiettivo di lavorare con batch unitario è realizzabile grazie alle tecnologie di avanguardia che permettono di soddisfare le richieste del cliente. I criteri di produzione vengono basati sulle necessità del cliente che può specificare design, configurazione, modalità di ordine e produzione anche con brevi preavvisi.
- **Efficienza economica della produzione** con migliore qualità e minori scarti mediante sensori che monitorano la produzione in tempo reale. L'attenzione è rivolta ad un uso ottimizzato dei capitali disponibili con il controllo dei costi energetici e costi del personale.

Tramite il collegamento di tutti gli aspetti coinvolti nella filiera logistico-produttiva, il vantaggio primario del paradigma Industria 4.0 è sicuramente la disponibilità di tutte le informazioni pertinenti in tempo reale. Ricavare dai dati in qualsiasi momento la rendicontazione e il supporto necessario a superare eventuali problematiche produttive non è un aspetto da sottovalutare. La connessione tra persone, cose e sistemi, crea un enorme valore aggiunto in termini di riduzione dei costi, disponibilità di informazioni in real time e interazione tra risorse.

## 1.4 Fattori caratteristici di una Smart Factory

Dallo studio degli elementi che caratterizzano le Smart Factory emerge come alcuni termini prevalgano e risultino pertanto essere principi fondanti di queste ultime. Vengono identificati come punti chiavi di una Smart Factory:

**Interpolabilità:** indica la capacità di dispositivi eterogenei di poter comunicare e scambiare informazioni tra loro in un'unica rete, risultando compatibili anche se di diversi produttori e acquisiti in tempi diversi.

**Capacità di operare in real-time:** sistemi di programmazione giornaliera o settimanale non sono più adeguati per un'efficiente gestione aziendale. Una problematica, una variazione dei programmi o la necessità di avvertire soggetti esterni deve essere affrontata nel minor tempo possibile; di fatto l'uso di sensori fornisce un elevato numero di dati che con le moderne macchine intelligenti possono essere elaborati in real-time al fine di compiere decisioni.

**Decentralizzazione:** una maggiore efficienza per l'operatività continua e quindi per le prestazioni di produzione si ottiene con un controllo decentralizzato di tutte le attività, questo per via delle numerose variabili ed attività diverse che entrano in gioco all'interno di una smart factory.

**Virtualizzazione:** i sistemi CPS adottati all'interno delle aziende che si avvicinano all'industria 4.0 oltre alla capacità di comunicare con il sistema fisico permettono di ricreare modelli virtuali della realtà e basandosi sulle loro elaborazioni permettono di attuare scelte che hanno ripercussioni sui reali processi.

**Modularità:** la capacità di adattarsi in modo flessibile ai requisiti delle attività mediante la sostituzione o espansione di parti del sistema, il principio di modularità richiede sistemi plug-n-play basati su standard comuni.

**Orientamento ai servizi:** il CPS costituisce un sistema in grado di fornire servizi alle attività aziendali. I servizi vengono offerti insieme al prodotto, con personalizzazioni, assistenza e un legame tra produttore e cliente che va oltre lo scambio di beni, come può essere un servizio associato. Nei confronti dei fornitori si possono delineare analoghi rapporti di fornitura di servizi oltre che di materie prime.

## **1.5 Strumenti per l'attuazione-Tecnologie Abilitanti**

Questa rivoluzione, rispetto alle precedenti, vede come protagonista l'utilizzo all'interno dell'impianto di produzione di tecnologie abilitanti, soluzioni o miglioramenti tecnologici, cioè, che racchiudono al loro interno molta attività di ricerca e sviluppo e sono in grado di rivitalizzare il sistema produttivo. Le tecnologie abilitanti sono sempre esistite, come dimostrano l'invenzione della ruota o del ferro, ma la novità degli ultimi anni è che ce ne sono sempre più e il loro rilascio è sempre più frequente. Sfruttando queste soluzioni i processi legati all'industria saranno dotati di una interconnessione veloce, chiara e diretta tra tutti gli asset aziendali. La produttività aumenta, gli sprechi diminuiscono.

Le tecnologie abilitanti che convenzionalmente caratterizzano l'industria 4.0 sono:

### **1.5.1 Robotica avanzata**

La robotica avanzata, nota anche come advanced manufacturing solutions, sono robot collaborativi interconnessi, rapidamente programmabili e dotati di intelligenza artificiale.

Le caratteristiche principali che differiscono dalla robotica tradizionale è il vantaggio di avere finalmente una collaborazione reale con l'umano nello stesso spazio lavorativo e, inoltre, l'aspetto favoloso di poter imparare direttamente sul campo le lavorazioni da compiere avendo come maestro l'operatore della linea di produzione. Una soluzione che permette di ridurre costi per gli interventi dei tecnici e programmatori.

Grazie ai continui studi sulla robotica, siamo pronti ad affidarci a robot che saranno sempre più diffusi sulle linee produttive per alleviare la fatica, ridurre le ore di lavoro e i tempi di esecuzione degli operatori. Tra qualche anno, probabilmente i cobot, robot collaborativi, saranno in grado di pensare da soli e riprogrammarsi in base alle esigenze produttive.

Tutto questo oggi è diventato possibile grazie a sensori sempre più potenti e intelligenti e software automatizzati capaci di gestire i movimenti dei robot evitando collisioni.

Un robot è intelligente quando ha mobilità, percezione sensoriale, un sistema nervoso centrale digitale, la fornitura di energia e comunicazione tramite voce e gesti.

Lo sviluppo della robotica collaborativa contribuisce a generare nuove frontiere d'interazione uomo-macchina che impatteranno sulla struttura organizzativa del lavoro.

### **1.5.2 Manifattura additiva**

Per manifattura additiva si intende una serie di processi di fabbricazione additiva che permettono di realizzare oggetti tridimensionali a partire da un modello digitale, depositando progressivamente materiale strato su strato. Si contrappone alle tradizionali tecniche di produzione sottrattiva e rappresenta una vera e propria integrazione tra mondo reale e mondo virtuale. Esempi di questo tipo di produzione possono essere la stampa 3D o la fabbricazione digitale.

### **1.5.3 Realtà aumentata**

La realtà aumentata permette un approccio visuale che agevola diversi aspetti della vita aziendale: consente di svolgere spiegazioni ai clienti ed ai fornitori basandosi sui servizi ancora prima che sui reali prodotti; è impiegata per agevolare diverse fasi dello sviluppo in laboratorio e di sviluppo dell'area produttiva; nell'ambito della produzione aiuta da prima nella formazione e poi nella guida delle attività lavorative.

Attraverso l'impiego di ambienti virtuali abilitati da mezzi di simulazione 3D si assiste al passaggio ad una gestione visuale dei processi produttivi e del prodotto.

La realtà aumentata permette quindi di pianificare la produzione, permettendo variazioni rapide e di testare molte soluzioni in modo rapido.

### **1.5.4 Simulazione**

La simulazione consente di definire la geometria del prodotto e simularne il comportamento nei più svariati modi, senza bisogno di costruire e utilizzare prototipi fisici.

Simulare un sistema significa costruire un modello e usarlo per studiarne il comportamento e le reazioni alle cause esterne. Attraverso la realizzazione di copie digitali del prodotto un'ampia gamma di varianti possono essere confrontate, testate e valutate, tutto in modo virtuale.

### **1.5.5 Internet delle cose applicato all'industria**

Nel realizzare la rete dei dispositivi connessi della smart factory ogni attrezzatura deve essere abilitata alla comunicazione, poter dialogare ed offrire il suo contributo all'attività. L'insieme dei dispositivi interconnessi dà vita all'Internet delle cose (IoT), ovvero una tecnologia ingegnerizzata per fornire funzionalità e servizi dell'interazione tra molteplici oggetti ed utenti.

Attraverso l'IoT diviene possibile effettuare il controllo remoto dei mezzi, dei sistemi e anche del personale, con decisioni personali supportate da valori oggettivi. Le prestazioni sono raccolte in tempo reale ed i dati forniti consentono scelte che aumentino la produttività,

l'efficienza e portino all'ottimizzazione complessiva del sistema, indipendentemente da quanto possa essere complesso.

### **1.5.6 Cloud**

Per cloud si fa riferimento ad una serie di servizi offerti mediante connessione alla rete internet, beni immateriali disponibili a consumo per aziende che vogliono mantenere contenuti gli investimenti materiali nel campo IT ed utilizzare il software come un servizio. La rete internet fornisce l'accesso a nuove risorse volatili che l'azienda può acquistare nella quantità e tempi strettamente necessari secondo modelli di pagamento a consumo. Sono offerti in remoto sistemi di calcolo ad alte prestazioni, banche dati, servizi di backup e sistemi di comunicazione, mantenendo livelli di qualità e affidabilità notevolmente elevati.

L'insieme dei servizi cloud abilita il modello di business dell'Internet of Service, nel quale una infrastruttura mette a disposizione, mediante la rete, un'offerta di servizi aprendo così nuove possibilità di ampliamento dell'offerta e di vendita abbinata per i prodotti.

### **1.5.7 Big Data Analytics**

Il Bid Data Analytics è un processo di Business Intelligence adattato ai Big Data, dove è sempre più necessario l'utilizzo di strumenti automatici che possono aiutare i manager ed i responsabili dell'azienda a prendere le giuste decisioni per massimizzare i profitti ed evitare gli sprechi dovute a scelte sbagliate.

Il processo consiste nella raccolta e analisi di grandi volumi di dati per estrarre informazioni. Una raccolta molto estesa in termini di volume, velocità e varietà, che comprende dati strutturati e non, è molto difficile da navigare e analizzare. L'estrazione di informazioni richiede metodi analitici e tecnologie sempre più sofisticate.

La Big Data Analytic si prefigge di ottenere analisi in real-time sempre più veloci e precise permettendo così di anticipare il futuro con la conoscenza dei dati raccolti nel passato ed individuare nuove opportunità di guadagno con la riduzione dei costi.

### 1.5.8 Sistema ciberfisico - CPS

Nell'Industria 4.0 il sistema ciberfisico si presenta come il fulcro vitale che permette di rendere questa nuova fase di sviluppo industriale possibile.

I CPS si basano su insieme di computer in grado di comunicare e collaborare tra loro e l'ambiente circostante, controllando le attività, raccogliendo o fornendo dati in real-time e mettendo a disposizione servizi tramite Internet. L'obiettivo di questi sistemi è quello di portare a una convergenza tra mondo reale e mondo fisico, stabilendo una rete estesa a tutte le attività di business dell'azienda, incorporando i macchinari produttivi, i magazzini e gli stabilimenti della produzione.

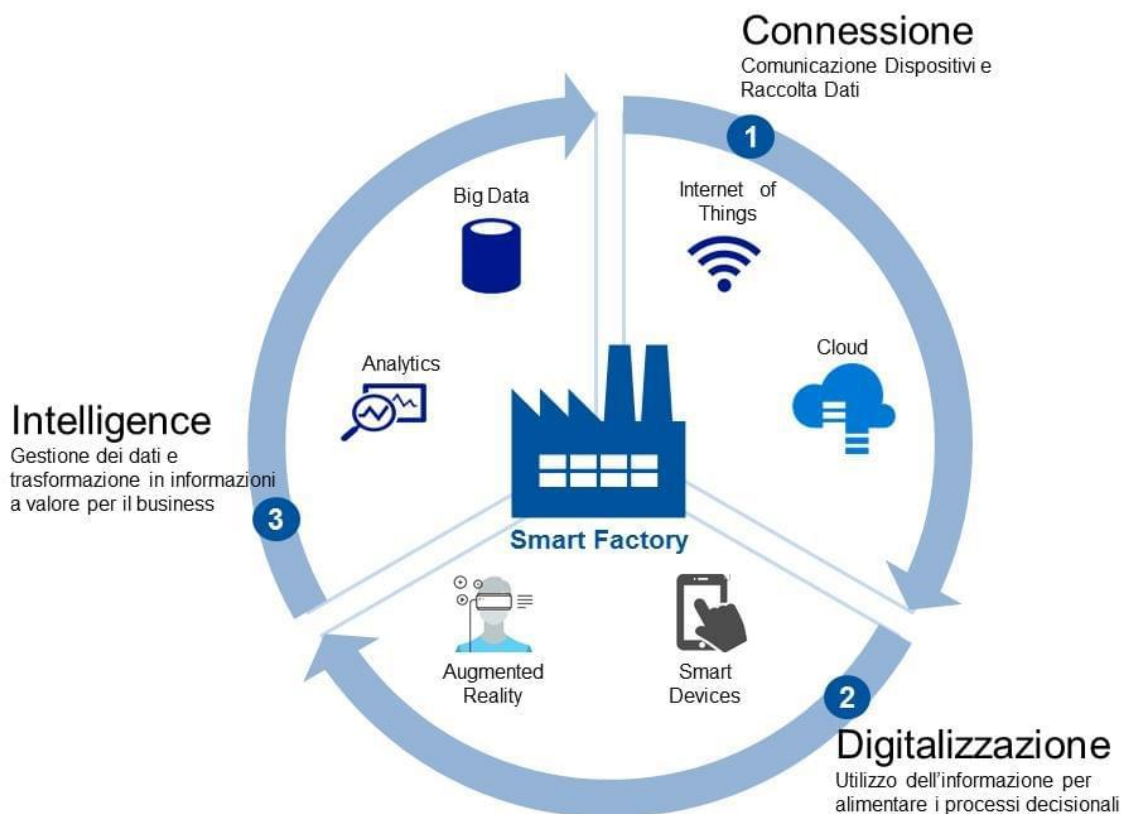


Figura 2 - Tecnologie Abilitanti nelle Smart Factories



## CAPITOLO 2

### I DRONI E IL LORO IMPIEGO IN AMBITO INDUSTRIALE

#### 2.1 I Droni: Definizione e Classificazione

##### 2.1.1 Definizione

I droni vengono spesso indicati con il termine Unmanned aerial vehicles ( UAVs ), il quale si riferisce ad una macchina volante priva di pilota umano a bordo e di passeggeri.

Le funzioni di controllo possono essere effettuate da un computer installato sul mezzo aereo o tramite il controllo remoto di un navigatore o pilota, sul terreno o in altre posizioni.

I sistemi UAV, come molti settori della tecnologia, sono stati guidati dal settore militare che ne ha permesso la nascita e lo sviluppo. Tali tecnologie solo in un secondo momento sono state adottate in applicazioni civili, a seguito di numerose sperimentazioni, con l'obiettivo di aumentare la qualità di vita dell'uomo. Oggigiorno i droni vengono impiegati in svariati settori come la sorveglianza, il trasporto, l'agricoltura, il primo soccorso, la comunicazione e tanti altri.

Non è facile identificare quale sia stato il primo UAV in senso letterale, si può pensare alla pietra lanciata dall'uomo, o a un razzo cinese lanciato nel XIII secolo. Su questi "veicoli" l'uomo però aveva poco se non nessun controllo, di fatto seguivano una traiettoria balistica.

L'aviazione con equipaggio è apparsa alla fine del 1700 mentre i primi droni nel 1916.

Il termine drone viene coniato formalmente nel 1936 e tra tutti i termini per indicare un aeromobile a pilotaggio remoto è quello più utilizzato; tale termine fa riferimento al fuco, il maschio del ape, del quale richiama la forma.

Non esiste ancora una definizione univoca di UAV, di seguito ne viene fornita una generale:

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

Joint Capability Group on Unmanned Aerial Vehicles (2007)

### 2.1.2 Tipi e Classificazione dei Droni

A seconda delle applicazioni e dagli obiettivi che si vogliono raggiungere, esistono UAV che meglio soddisfano e si adattano alle richieste dell'ambiente in cui vengono utilizzati.

I droni a differenza dei robot non sono in grado di svolgere mansioni in autonomia, possono essere considerati quindi un'estensione dell'utente umano.

Generalmente gli UAVs vengono classificati a seconda:

- **Alimentazione:** elettrica, motore a combustione, interna o nessuna;
- **Ambito di utilizzo:** terrestre, aereo e marino;
- **Campo di utilizzo:** militare e civile;
- **Capacità:** ad ala fissa o ad ala ruotante;
- **Altitudine di volo:** alta o bassa altitudine.

Negli ultimi anni il mercato si è riempito sempre più di droni e UAV, sia in ambito militare che civile; attualmente sono numerose le nazioni che utilizzano e finanziano lo sviluppo dei droni per i loro scopi.

Seguendo il rapporto facilità di accessibilità con la tecnologia e la struttura del veicolo, è possibile classificare gli UAV in quattro macro categorie:

- **Droni per hobbisti:** disponibili subito in negozio, vengono venduti completamente assemblati o da assemblare manualmente. Non richiedono infrastrutture o conoscenze specifiche. Possono volare per distanze massime di circa 10 km, e pilotati mediante telecomando o app smartphone / tablet. Possono montare sistemi GPS, fotocamere e videocamere;
- **Droni commerciali e militari di media grandezza:** costi elevati e necessità di una infrastruttura non li rendono appetibili per privati. Sono spesso usati per la sorveglianza, per eseguire obiettivi kamikaze o sganciare munizioni. Sono guidati con molta precisione;
- **Droni militari specifici di grandi dimensioni:** si tratta di droni armati, con infrastrutture militari avanzate accessibili solo a militari e all'esercito. È presente una tecnologia superiore di costruzione, maggiore gamma, resistenza e capacità di carico. Possono comunicare a grandi distanze e, se armati, possono fornire carichi di oltre 1.000 chilogrammi a distanza di migliaia di chilometri. I droni di questa categoria possono raggiungere diverse centinaia di chilometri in territorio limitrofo, senza utilizzare comunicazioni satellitari.
- **Droni stealth da combattimento:** includono i velivoli con tecnologie avanzatissime, dotati di bassa rilevazione. Sono utilizzati anche per operazioni ISR in zone con accesso ristretto / negato. Attualmente gli USA sono gli unici a possedere tali velivoli.

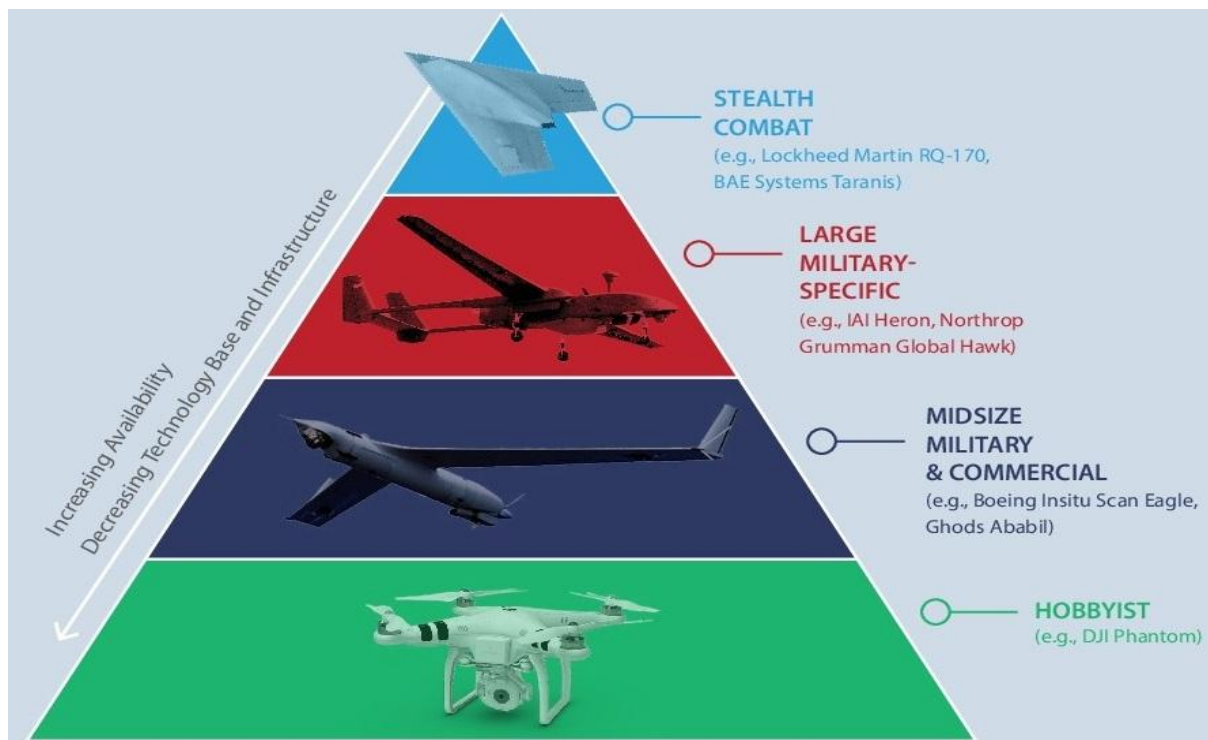


Figura 3 - Le quattro categorie di droni.

## 2.2 Regolamentazione dell'utilizzo dei droni

L'utilizzo dei UAVs è cresciuto rapidamente sia in ambito militare che civile e conseguentemente a questa crescita diverse organizzazioni hanno iniziato ad operare per rendere sicuro e affidabile l'inserimento dei droni nello spazio in tutto il mondo. Affinché tutte le operazioni eseguite attraverso UAVs si svolgessero senza alcun rischio sono state necessarie delle regolamentazioni.

In Italia ad occuparsi della regolamentazione tecnica, delle certificazioni e della supervisione è l'Ente Nazionale per l'Aviazione Civile (ENAC).

L'ENAC suddivide la regolamentazione e gli articoli in tre sezioni:

1. Aircraft con una massa al decollo inferiore a 25 Kg.

Per eseguire operazioni con questi droni i piloti necessitano di un certificato di guida rilasciato da centri di addestramento per Remotely Piloted Aircraft System (RPAS);

2. Aircraft con massa al decollo pari o superiore a 25 Kg.

Per eseguire operazioni con tali droni sono necessarie una licenza di pilotaggio, la registrazione del drone e un permesso di volo il tutto rilasciato dall'ENAC.

3. Regole generali di circolazione e uso dello spazio, che solitamente variano a seconda delle operazioni che si vogliono eseguire.

### 2.3 I droni: un'applicazione efficiente per le Smart Factory

I droni rappresentano sistemi in grado di fornire elevate prestazioni e vantaggi in tutti gli ambiti in cui vengono utilizzati, per questo il loro impiego è sempre più diffuso sia in ambito militare che in ambito civile.

L'applicazione degli UAVs in un ambiente smart factory è oggi ancora soggetta a studi, essendo entrambi in continuo sviluppo. Una prerogativa per il futuro è quella di impiegare i droni con funzioni di sorveglianza, gestione e controllo all'interno delle fabbriche.

Le smart factories sono caratterizzate da diverse tecnologie abilitanti, tra queste anche l'Internet delle cose ed è proprio in questo ambito che l'utilizzo dei droni è risultato già vantaggioso. In accordo con la loro natura, potendo sorvolare gli ostacoli, gli UAVs sono in grado di ridurre gli effetti negativi della propagazione radio (ostruzioni, cammini multipli), potendo così migliorare:

- i canali di comunicazione tra i droni stessi e i dispositivi Iot;
- la connessione dei dispositivi Iot con la rete usando la minima potenza di trasmissione e risparmiando energia.

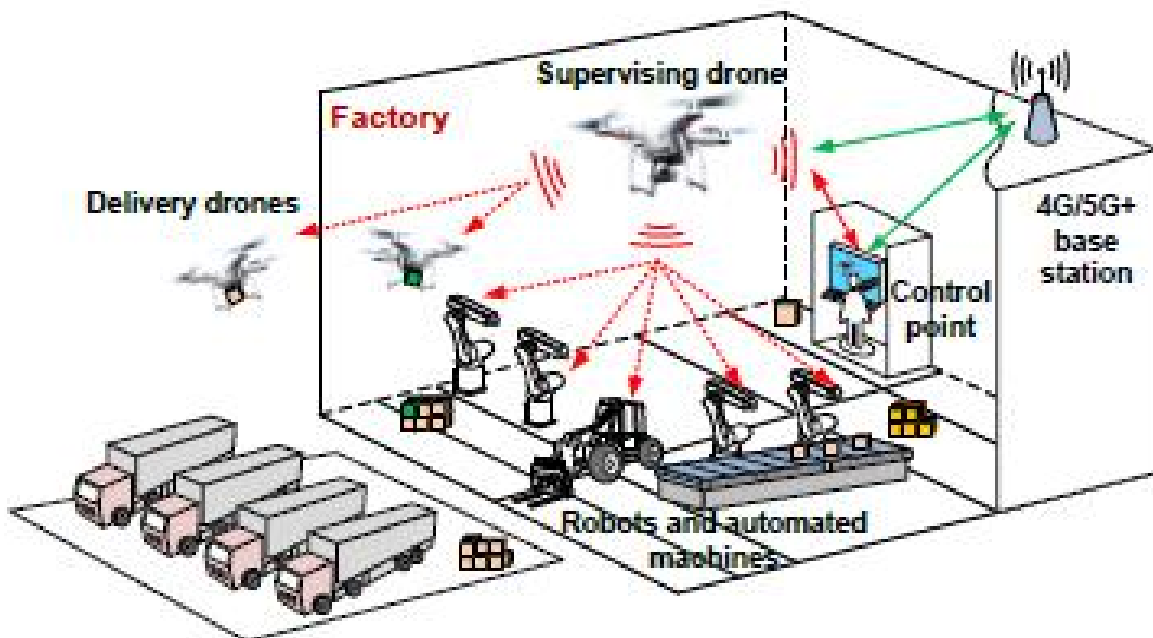


Figura 3.1 - Visione dell'integrazione del drone in una futura azienda completamente automatizzata, fornita dall'articolo "Characterizing Drone-to-Machine UWB Radio Channel in Conscious Factories".

## CAPITOLO 3

### Trasmissione Ultra-Wide-Band

#### 3.1 Panoramica delle trasmissioni UWB.

Con ultra wideband si indica una tecnica di trasmissione sviluppata per trasmettere e ricevere segnali mediante l'utilizzo di impulsi di energia a radiofrequenza di durata temporale estremamente ridotta, da poche decine di picosecondi a qualche nanosecondo, e quindi con occupazione spettrale molto ampia. Questi impulsi sono infatti rappresentati da pochi cicli d'onda di una portante in radiofrequenza e quindi lo spettro in frequenza associato a questa forma d'onda è estremamente ampio. Ultra wide band è un metodo di modulazione del segnale radio.

La tecnologia nasce negli anni '70, quando venne dimostrata la possibilità di utilizzare impulsi radio per le comunicazioni. Gli impulsi sono brevissimi e occupano di conseguenza uno spettro molto ampio, con la conseguenza di un'alta immunità alle interferenze e agli effetti di multipath, dovuti alla riflessione dell'onda radio sugli ostacoli, unita ad un'alta capacità di penetrazione attraverso i muri.

Segnali UWB sono stati e sono usati in ambito militare per la difficoltà di intercettare le comunicazioni e la capacità di penetrare gli ostacoli.

Recentemente le tecniche UWB sono entrate a far parte di diverse suite di protocolli fra cui Bluetooth, USB e IEEE 802.15, per applicazioni di trasmissione dati a grande velocità e piccola distanza e per applicazioni di misurazione della distanza fra un trasmettitore e un ricevitore.

I sistemi UWB essendo basati sulla trasmissione di impulsi brevi permettono l'utilizzo di trasmettitori con un architettura molto semplice, questo perché non è necessaria la modulazione della portante sinusoidale. Le parti Hardware sono anch'esse semplici non essendo necessari mixer o oscillatori locali. L'informazione viene trasmessa unicamente attraverso la modulazione degli impulsi, solitamente con modulazione PAM ( Pulse Amplitude Modulation) o PPM (Pulse Position Modulation).

Inoltre, cosa per noi molto importante, avendo una banda molto larga, consentono di "risolvere" i vari cammini multipli che si verificano a causa della riflessione/scattering sulle pareti di edifici o altri oggetti. Tramite la misura della risposta impulsiva del canale radio, è quindi possibile caratterizzare il canale radio stesso; la risposta impulsiva ci permette di conoscere il power-delay-profile e quindi della potenza ricevuta e del delay spread.

## **3.2 PulsOn410**

L'azienda Time Domain (ora Humatics) mette a disposizione i nodi PulsON 410 (P410), cioè una piattaforma in grado di essere un ricetrasmittitore radio a banda ultralarga e/o un sensore radar. Il dispositivo P410 può essere utilizzato per compiere diverse applicazioni sia indoor che outdoor e può svolgere le seguenti funzioni:

- permette di misurare, in modo accurato e affidabile, la distanza tra due P410s con un'alta velocità di aggiornamento oltre di comunicare i dati tra due o più P410s;
- permette di misurare la portante attraverso due metodologie ;
- è in grado di interagire e collaborare con dispositivi Time Domain di ultima generazione;
- permette trasmissioni a radio frequenze da 3.1GHz a 5.3GHz;
- permette operazioni come radar monostatico;
- è possibile utilizzarlo come dispositivo ibrido che svolge sia la funzione di sensore radar che di ricetrasmittitore radio.

Gli operatori possono controllare il P410 attraverso un Application Programming Interface (API) tramite connessione USB o Seriale.

### **3.2.1 P410: ricetrasmittitore radio**

L'utilizzo del P410 come ricetrasmittitore viene adoperato in diversi ambiti per l'estrema precisione del dispositivo:

- il suo utilizzo come ranging radio, permette di avere un dispositivo economico e a bassa potenza che permette di ottenere misure accurate, ad alta velocità di aggiornamento e prestazioni superiori rispetto a convenzionali dispositivi RFID/RTLS. Questo caso coinvolge maggiormente la nostra attenzione poiché si tratta del medesimo dispositivo che viene utilizzato per effettuare le misure nel nostro scenario industriale.



*Figura 4- P410 utilizzato come ranging radio.*

- come radar monostatico rappresenta un dispositivo a bassa potenza ed economico che fornisce più di un GHz di larghezza di banda della radio frequenza a una frequenza centrale di circa 4GHz.



*Figura 5- P410 utilizzato come radar monostatico.*

## CAPITOLO 4

### AQUISIZIONE E ANALISI DEI DATI

#### 4.1 Definizione del progetto

In questo elaborato viene analizzata la propagazione radio all'interno di un ambiente industriale.

Alla base di questa tesi si pone l'utilizzo di due sistemi che presentano un elevato potenziale in molte delle loro applicazioni: i sistemi ultra-wide-band e i droni.

I sistemi UWB sono soggetti a studi e interessi per l'ampia larghezza di banda che hanno a disposizione e per la loro resistenza alle interferenze, grazie alla loro bassa densità spettrale. Sono quindi particolarmente adatti in ambienti molto tradizionalmente "ostili" alla propagazione di segnali radio come quelli industriali, per la presenza di molte ostruzioni, oggetti metallici, e parti in movimento.

I sistemi radio a banda ultra larga operando in una banda di frequenze che va da 3.1GHz a 10.6GHz offrendo così numerose opportunità per comunicazioni a breve distanza a prezzi vantaggiosi. I sistemi UWB sono inoltre noti per la loro possibilità di poter servire più users contemporaneamente ed è proprio per questo motivo che tali sistemi sembrano inserirsi perfettamente in uno scenario come quello delle smart factories, definite da reti di comunicazione tra diverse macchine e robots.

Ai fini di questo progetto i droni vengono utilizzati come strumenti per effettuare misurazioni al fine di analizzare la propagazione radio in un ambiente industriale, offrendo elevate prestazioni.

In futuro si potrebbe pensare di sfruttare l'utilizzo dei UAVs anche in ambito industriale. Le smart factories di fatto si caratterizzano per una digitalizzazione che porta all'uso di macchinari e robot intelligenti, in grado di operare e comunicare autonomamente o all'interno di una rete. Proprio in questo scenario potrebbero inserirsi i droni fornendo prestazioni nell'ambito del processo produttivo, delle consegne, della sorveglianza o di gestione e controllo della rete dei macchinari connessi.

#### 4.2 Scenario e attrezzatura per la misurazione

La campagna di misura è stata condotta all'interno di una piccola azienda italiana che si occupa del design e della costruzione di sistemi automatizzati personalizzati. La fabbrica



realizza pezzi meccanici per sistemi automatizzati, offre servizi di assistenza e gestisce le merci.

Le dimensioni dell'azienda sono di 35,80 metri di lunghezza, 14 metri di larghezza e circa 7,5 metri di altezza.

All'interno per effettuare le misure viene utilizzato un drone commerciale il DJI Phantom 4 Pro. Questo drone è in grado di trasportare carichi leggeri e di piccole dimensioni, è dotato inoltre di un sistema visivo multilaterale che ne permette un'applicazione indoor sicura. Il drone durante la misura è stato controllato manualmente poiché i sensori di volo verso il basso erano ostacolati dalla piattaforma UWB e il segnale GPS non era disponibile all'interno della struttura.

Per sondare il canale radio sono state utilizzate due piattaforme PulsOn410, che sono in grado di simulare una ricetrasmittente UWB, operanti a frequenze comprese tra i 3.1 GHz e i 5.1 GHz.

Il trasmettitore (Tx) è stato installato nella parte inferiore del drone, e alimentato da una batteria LiPo che ne consente un'utilizzo per circa trenta minuti. Il ricevitore invece è stato posizionato sulla parte superiore all'altezza di 2 metri. Le antenne omnidirezionali, che presentano un guadagno di 3 dBi, sono state utilizzate sia dal lato del ricevitore che del trasmettitore. La risposta impulsiva del canale (CIR) è stata registrata in ciascuna postazione per circa due minuti per poter effettuare delle analisi statistiche e escludere possibili interferenze.

Le misurazioni per effettuare le analisi sono state eseguite in tre giorni differenti, pertanto di seguito bisogna considerare che lo scenario durante le tre campagne di misurazione non è sempre lo stesso ma che ha potuto subire piccole variazioni come la presenza di nuovi ostacoli.

Nella figura sottostante sono specificate le location, la posizione dei trasmettitori, marcati di rosso, e dei ricevitori, marcati di verde.

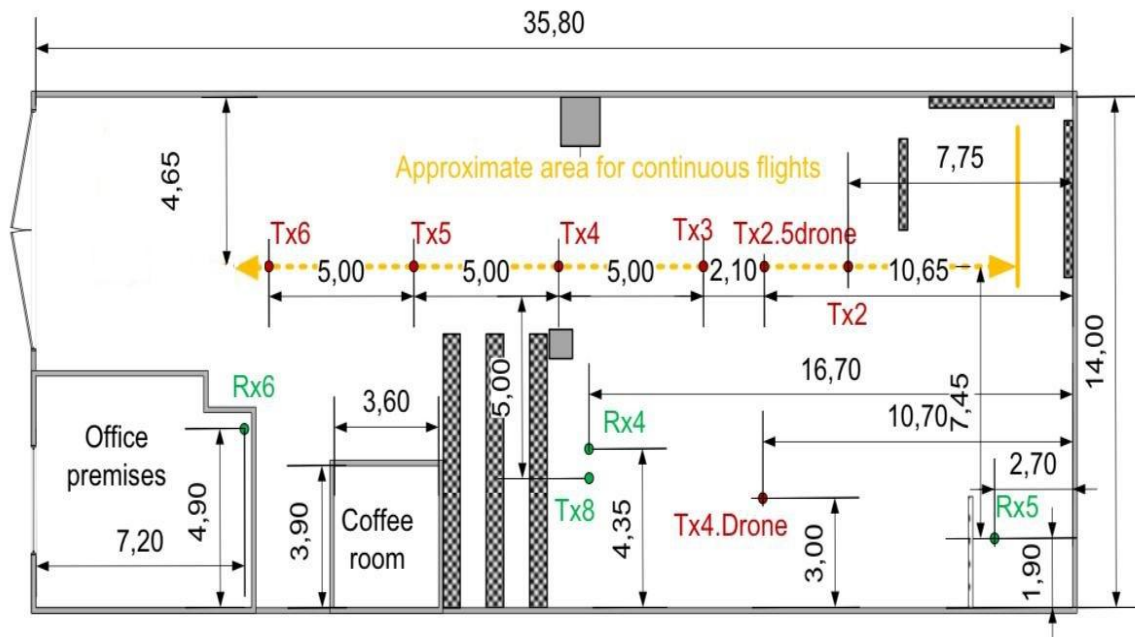


Figura 6-piantina dell'azienda con postazioni Tx/Rx

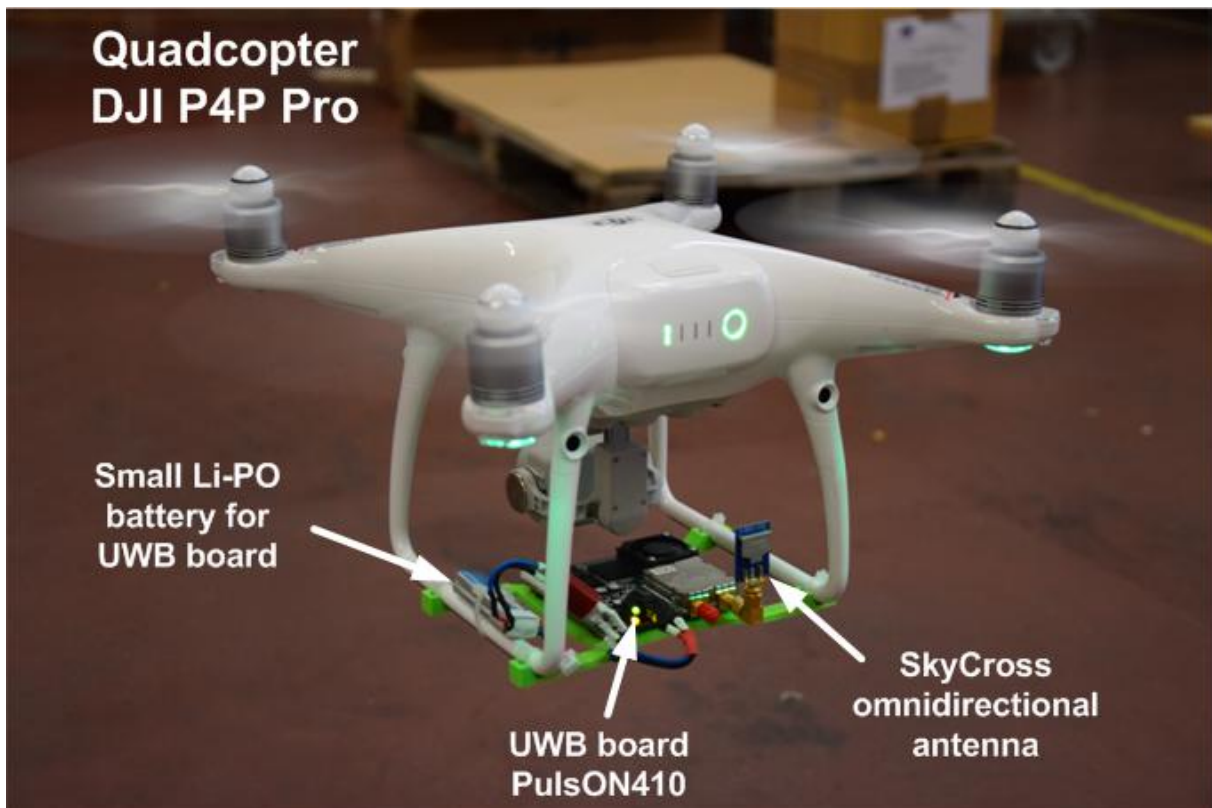


Figura 7- DJI Phantom 4 Pro, drone utilizzato per effettuare le misure



*Figura 7.1- Foto dell'azienda*

### **4.3 Misure statiche effettuate in varie posizioni al variare dell'altezza**

Le misure statiche sono state effettuate in diverse posizioni all'interno della fabbrica sia attraverso l'utilizzo del drone (cioè con l'antenna trasmittente montata sul drone, e quella ricevente su di un palo ad una altezza fissa di 2 metri), che manualmente (montando cioè sia l'antenna ricevente che quella trasmittente su di un palo, e facendo variare l'altezza solo per quest'ultima). Grazie all'utilizzo del drone, è stato possibile effettuare misure anche ad altezze superiori a 4 metri.

I dati raccolti sono stati in seguito analizzati attraverso l'uso di matlab, e in modo particolare si è cercato di analizzare l'andamento della potenza media e del delay spread medio al variare dell'altezza per le posizioni più significative.

Il Delay spread è la deviazione standard dei ritardi dei vari cammini che un segnale elettromagnetico può seguire durante la sua propagazione,; la deviazione standard è pesata in base alla potenza dei cammini stessi. Il delay spread ci fornisce un'idea della dispersione temporale del canale, cioè di quanto un impulso radio trasmesso con una certa durata temporale, quando viene ricevuto, risulta "allargato" proprio per l'effetto dei cammini multipli.

L'analisi è stata svolta per tre differenti situazioni importanti:

1. Configurazioni N-Los: il collegamento tra Tx-Rx non è diretto ma ostruito dalla presenza di ostacoli.
2. Configurazioni Los e Q-Los: il collegamento tra Tx-Rx è diretto o quasi.
3. Tutte le posizioni: sono state considerate insieme tutte le posizioni dei 2 casi precedenti, analizzandone il comportamento complessivo al variare dell'altezza.

Le tabelle seguenti mostrano le posizioni considerate per le varie altezze dell'antenna trasmittente, e a seconda dei casi.

**Tabella 1.1: Posizioni NLOS**

<b>Tx Height [m]</b>	<b>Rx-Tx Location</b>
1	Rx5-Tx5;Rx5-Tx6;Rx6-Tx4.Drone;Rx8-Tx6;Rx8-Tx5;
2	Rx5-Tx5;Rx5-Tx6;Rx6-Tx4.Drone;
2.5	Rx8-Tx6;Rx8-Tx5;Rx5-Tx5;
3.5	Rx5-Tx5;Rx5-Tx6;Rx6-Tx4.Drone;Rx8-Tx6;Rx8-Tx5;

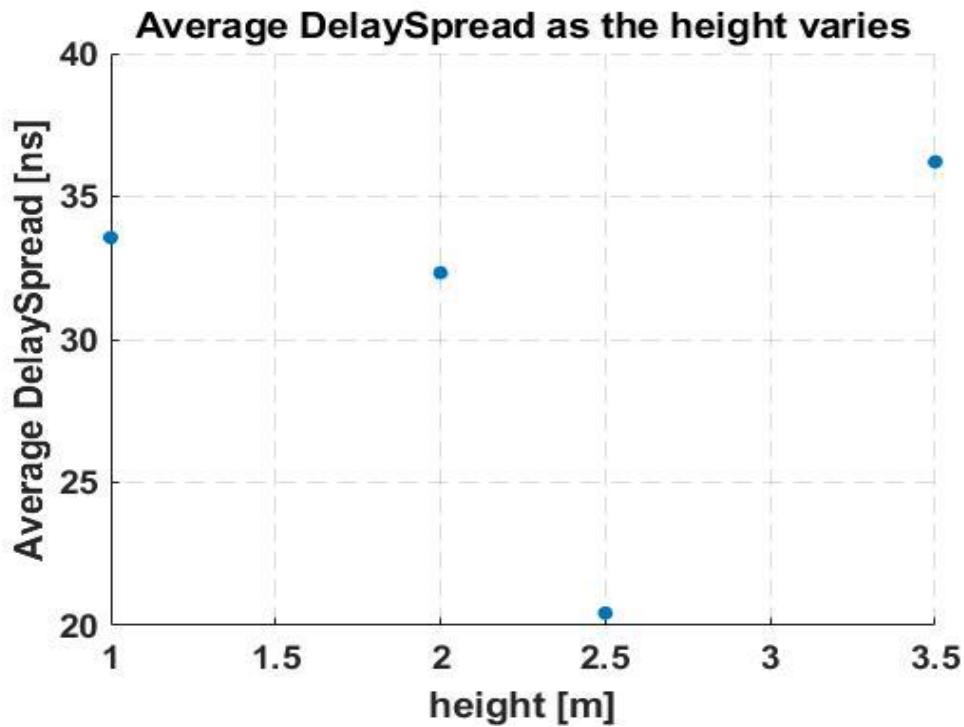
**Tabella 1.2: Posizioni LOS-QLoS**

<b>Tx Height [m]</b>	<b>Rx-Tx Location</b>
1	Rx6-Tx5;Rx6-Tx6;Rx8-Tx3;
2	Rx6-Tx5;Rx6-Tx6;
3.5	Rx6-Tx5;Rx6-Tx6;Rx8-Tx3;
4	Rx6-Tx5;Rx6-Tx6;

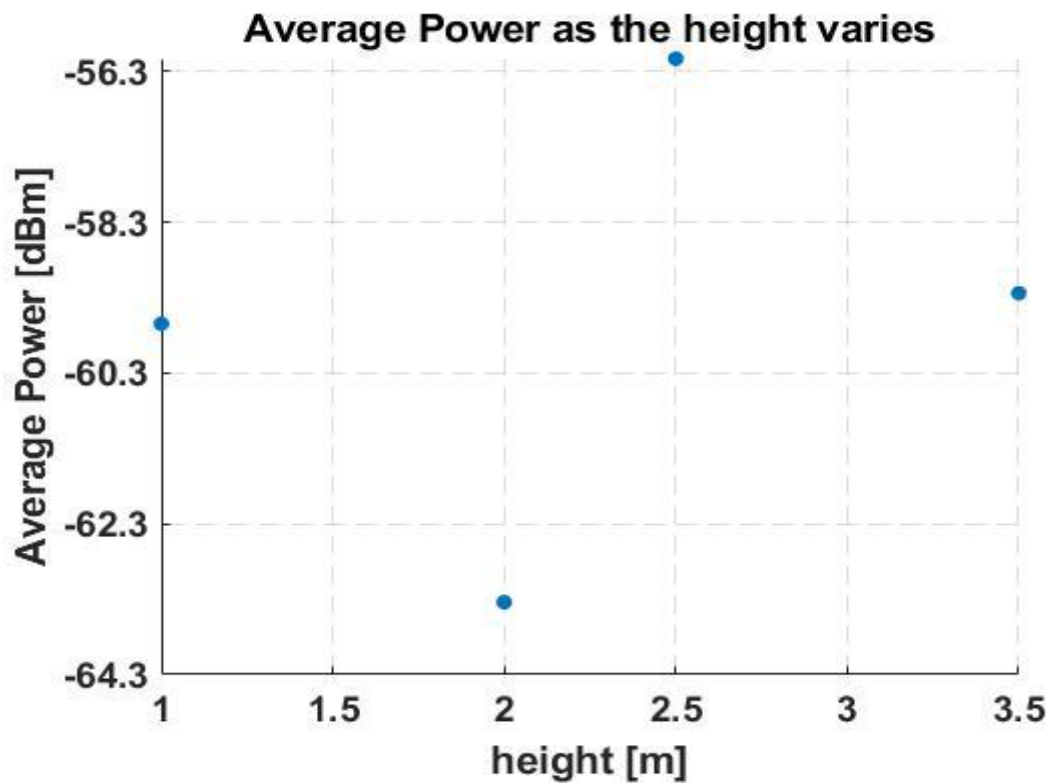
**Tabella 1.3: Tutte le posizioni**

<b>Tx</b>	<b>Height [m]</b>	<b>Rx-Tx position</b>
1	1	Rx5-Tx5; Rx5Tx6; Rx8-Tx3; Rx8-Tx5; Rx8-Tx6; Rx6-Tx6; Rx6-Tx5; Rx6-Tx4.Drone;
2	2	Rx6-Tx6; Rx6-Tx5; Rx6-Tx4.Drone;Rx5-Tx5; Rx5Tx6;
2.5	2.5	Rx5-Tx5; Rx8-Tx3; Rx8-Tx5; Rx8-Tx6;
3	3	Rx6-Tx5; Rx6-Tx4.Drone;
3.5	3.5	Rx5-Tx5; Rx5Tx6; Rx8-Tx3; Rx8-Tx5; Rx8-Tx6; Rx6-Tx6; Rx6-Tx5; Rx6-Tx4.Drone;
4	4	Rx6-Tx6; Rx6-Tx5; Rx6-Tx4.Drone;
4.5	4.5	Rx6-Tx6;Rx5Tx6;

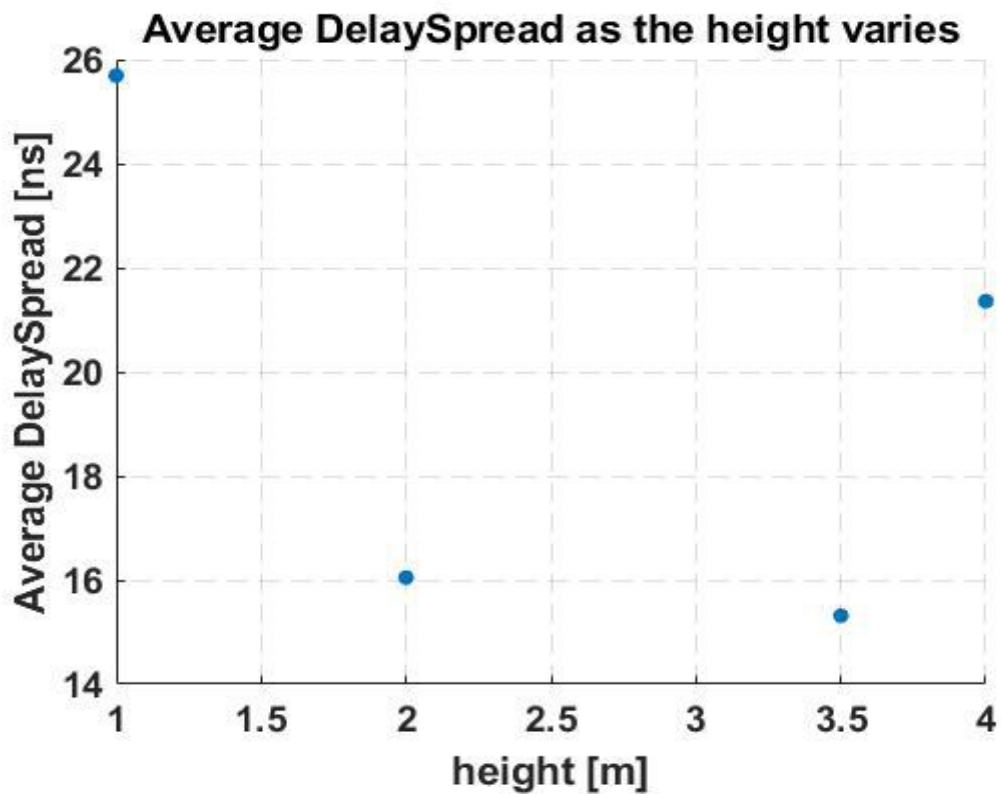
I grafici seguenti mostrano la potenza media e il delay spread medio per le tre differenti situazioni.



*Figura 8-Delay Spread (posizioni NLOS).*



*Figura 9-Average Power (posizioni NLOS).*



*Figura 10-Delay Spread (posizioni LOS-QLOS).*

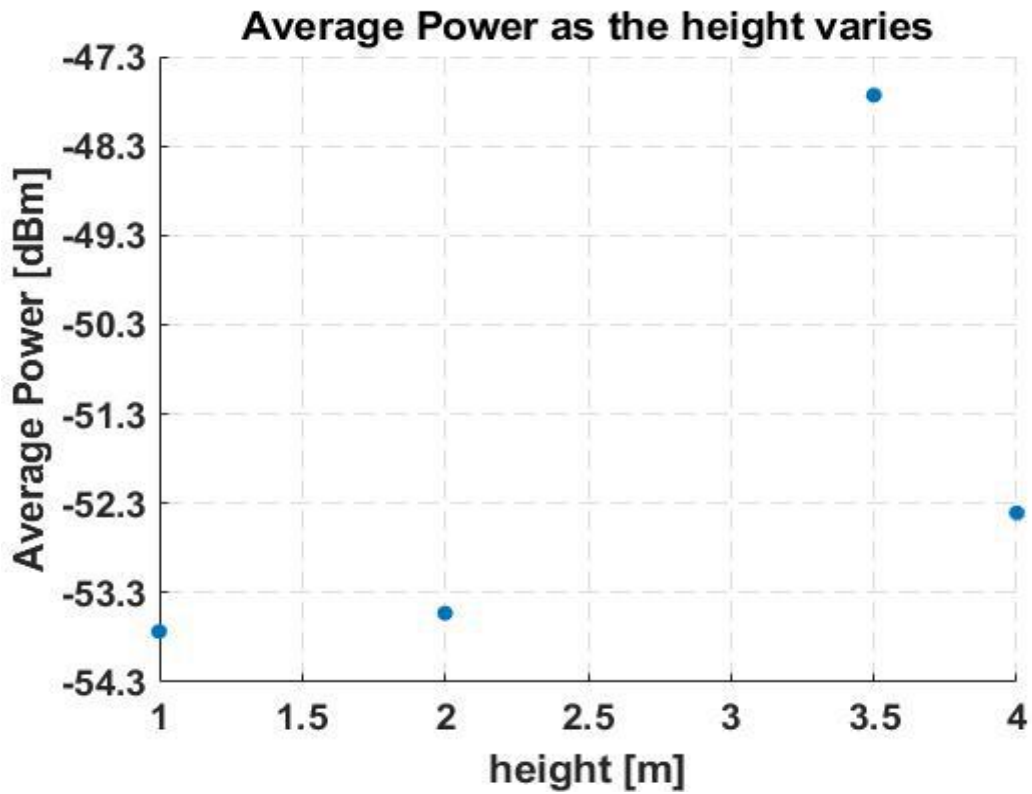


Figura 11-Average Power(posizioni LOS-QLoS).

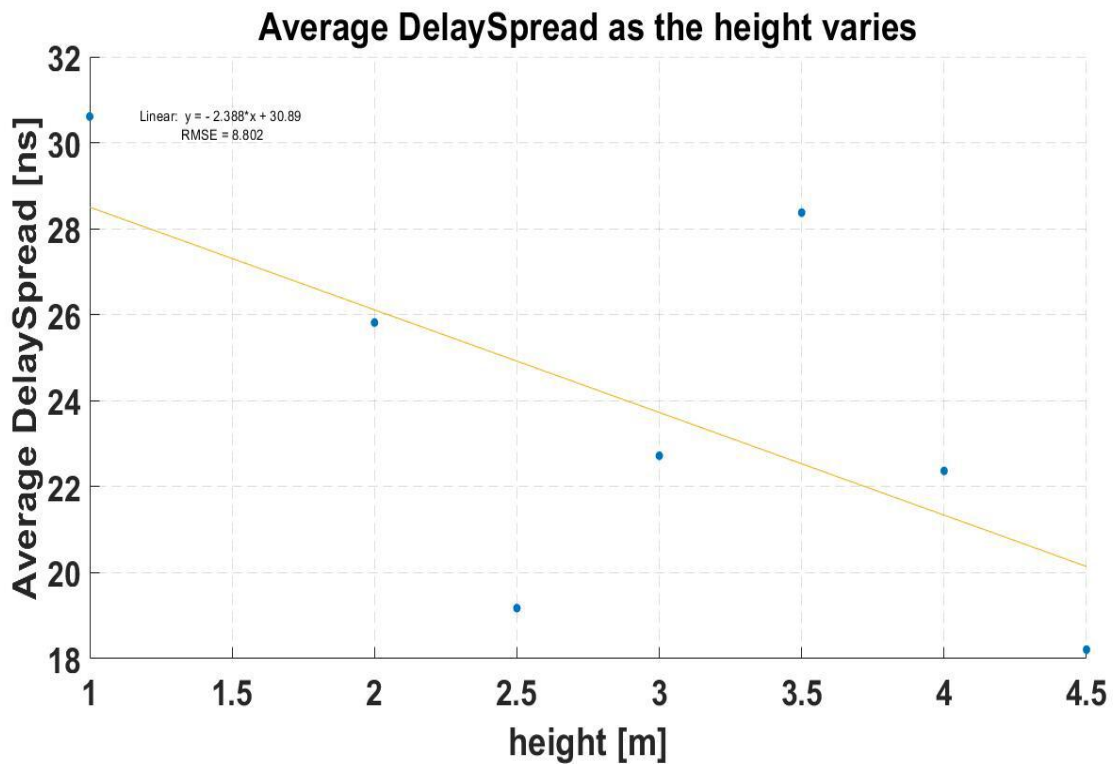


Figura 12-Delay Spread (tutte le posizioni)



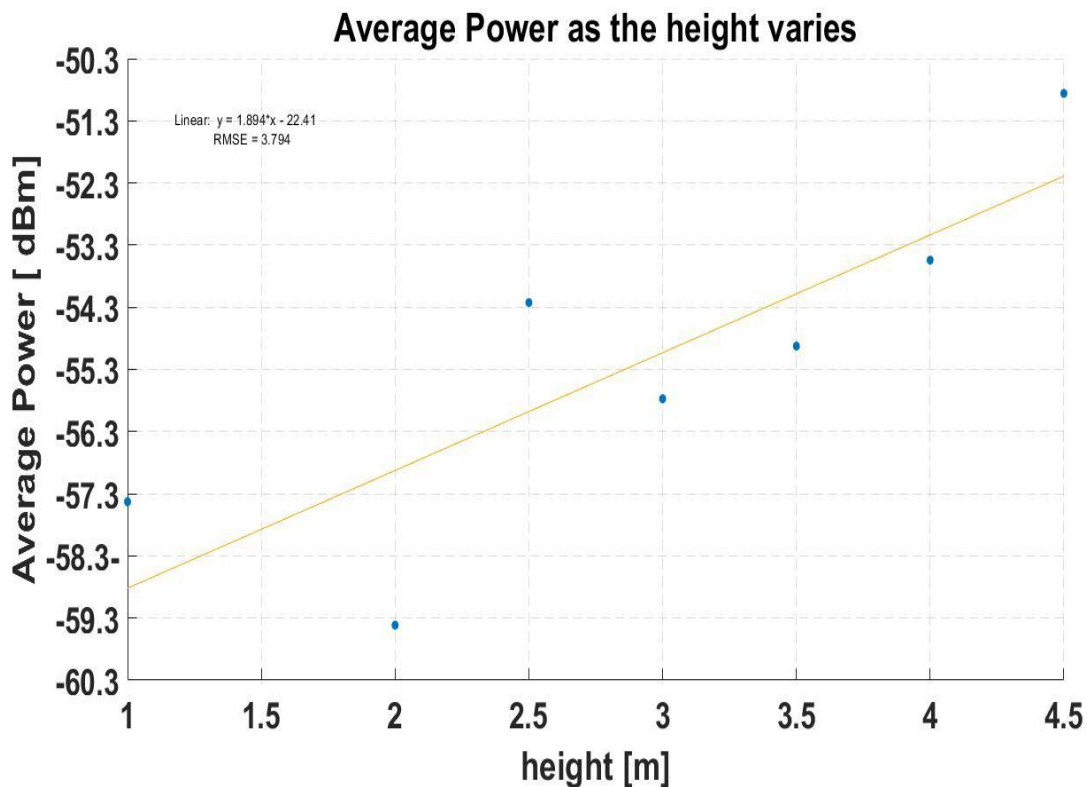


Figura 13-Average Power (tutte le posizioni)

Dai grafici soprastanti è possibile osservare come la potenza media in dBm è maggiore nel caso LOS-QLOS rispetto al caso NLOS, un risultato facilmente prevedibile essendo i cammini Rx-Tx del secondo caso ostruiti da ostacoli.

Analizzando le figure ci si stupisce di non riscontrare un trend di aumento della potenza media all'aumentare dell'altezza, questo perché all'aumentare di quest'ultima diminuisce la probabilità di incontrare interferenze nella misurazione causate dai macchinari, dall'arredamento o dagli operatori. Tuttavia, specie per altezze fra 1 e 3 metri, si notano delle oscillazioni nell'andamento potenza, che potrebbero essere causate da oggetti (es. materiali posizionati sugli scaffali), che ostruiscono di più il segnale a determinate altezze piuttosto che ad altre, mentre al di sopra dei 3 metri la potenza cresce in modo più regolare con l'altezza.

Questo comportamento può essere spiegato considerando anche altri fattori come :

- l'oscillazione del drone durante le misurazioni;
- le ostruzioni del drone stesso, causate dal fatto che l'antenna è posizionata internamente al drone;
- il fatto che alcune misure sono state effettuate con l'antenna posizionata su di un palo, ed altre tramite il drone.



E' importante specificare che nei grafici mostrati le misure compiute a 1m e 3.5m sono state prese solo manualmente, con il Tx fissato su di un palo.

Il delay spread rappresenta un ritardo di diffusione influenzato dall'insieme dei cammini e dalle figure soprastanti emerge il comportamento inverso del delay spread rispetto alla potenza media, al crescere dell'uno diminuisce l'altro e viceversa.

#### 4.4 Misure effettuate con volo continuo

Altre misure sono state ottenute facendo volare il drone avanti e indietro in modo continuo lungo un percorso lineare, nel corridoio centrale all'interno dell'azienda, ad una altezza fissa di circa 2.5m. Il punto di partenza del volo è in prossimità dell'entrata e procede linearmente fino al muro opposto, percorrendo complessivamente circa 24m.

Di seguito intenderemo per volo il percorso complessivo sia di andata che di ritorno. Vengono effettuati 5 voli, il ricevitore è posto alla posizione Tx8 indica sulla piantina a 2 m di altezza. Nell'elaborazione dei dati viene utilizzata l'applicazione matlab e di seguito vengono riportati i grafici di potenza ricevuta e delay spread dei cinque voli effettuati.

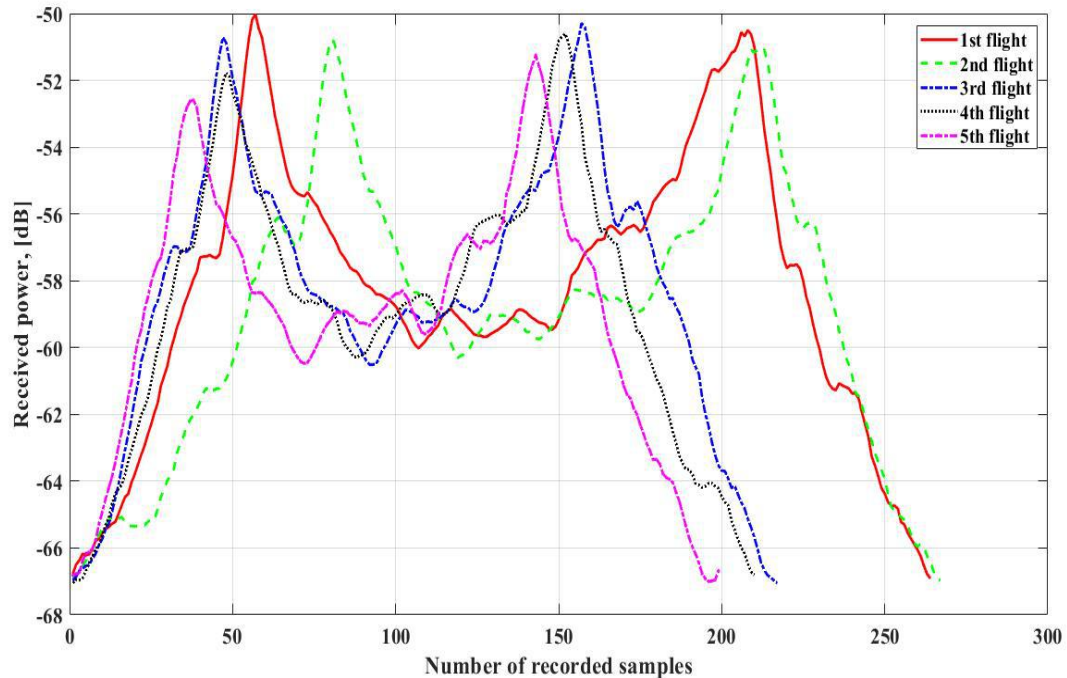


Figura 14- Potenza ricevuta per ciascuno dei 5 voli

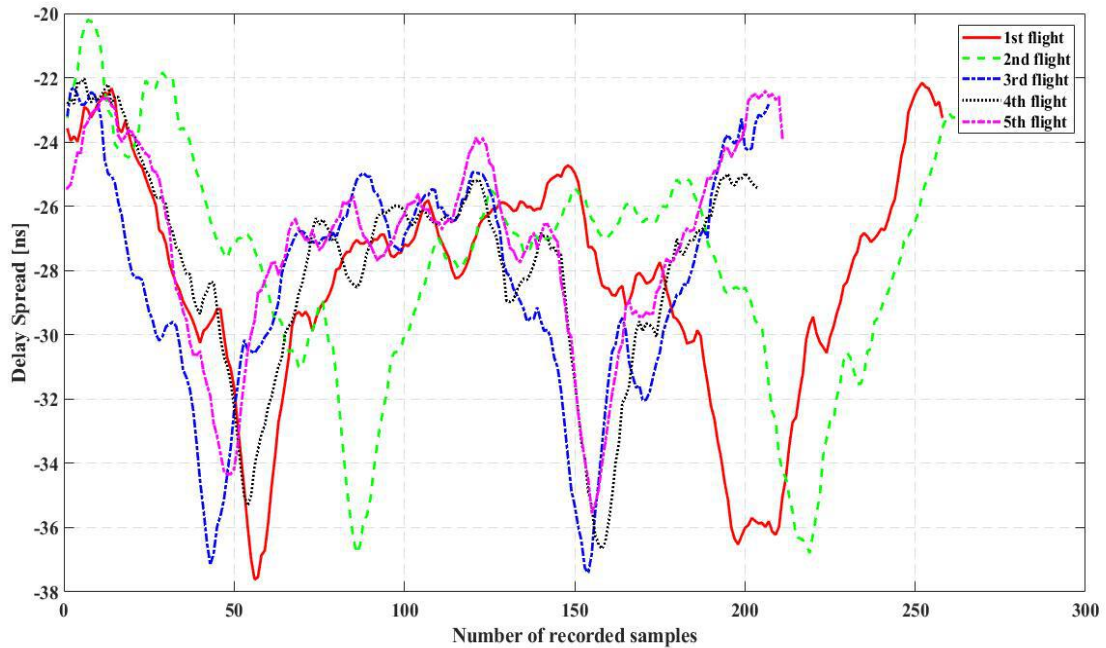


Figura 15- Delay Spread per ciascuno dei 5 voli

Nel compiere un'analisi più dettagliata i voli sono stati divisi considerando singolarmente i percorsi di andata e di ritorno, quindi nel complesso 10 voli. Poiché unicamente l'altezza di volo è fissa a 2.5m, il numero di campioni varia con la velocità del drone.

Per effettuare una analisi più accurata è stata effettuata dapprima una media della potenza e del delay spread spaziale per ciascun volo e successivamente una media temporale considerando i voli complessivamente. Affinché non si perdesse corrispondenza tra i differenti voli, a causa del diverso numero di campioni misurati per ogni posizione per via della velocità variabile del drone, sono stati fissati dei “punti pivot” (per facilità punti di massimo o minimo relativi/assoluti), riconoscibili in ciascun percorso. I voli sono stati di seguito suddivisi in un egual numero di segmenti (“bins”), di lunghezza variabile, in modo da far ricadere tutti i campioni misurati in una certa posizione nel medesimo “bin” (segmento) su tutti i voli: in questo modo è stato possibile mantenere una equivalenza tra i diversi voli, in modo da poter effettuare delle statistiche (ad esempio, media e deviazione standard della potenza per le varie posizioni lungo il corridoio). Tali statistiche sono in pratica una combinazione di medie spaziali (nell'intorno di varie posizioni lungo il corridoio) e di medie temporali (sui differenti voli). I grafici seguenti mostrano l'andamento della potenza e del

delay spread lungo il corridoio, analizzando separatamente i voli di andata e di ritorno, e poi considerando l'insieme di tutti i voli.

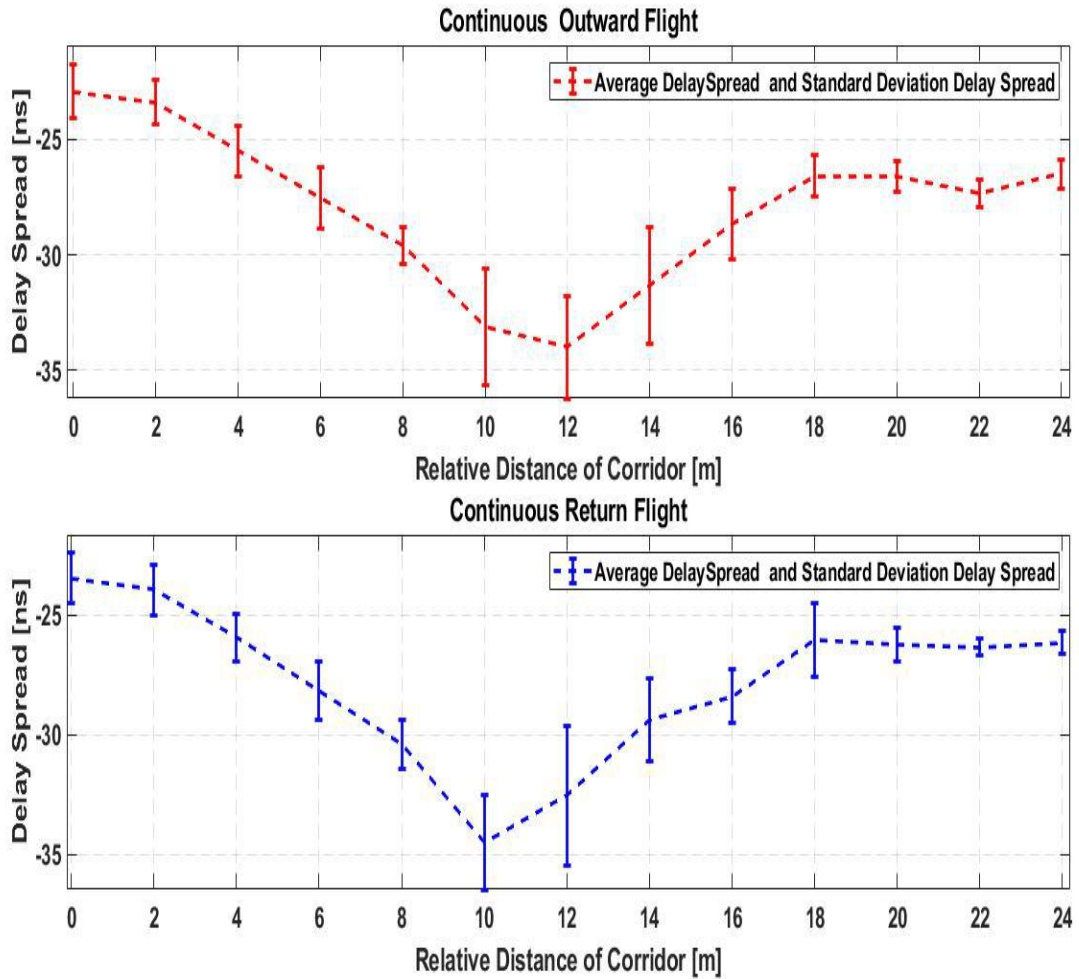


Figura 16-Delay Spread per i voli di andata e di ritorno (medie spaziali e temporali).

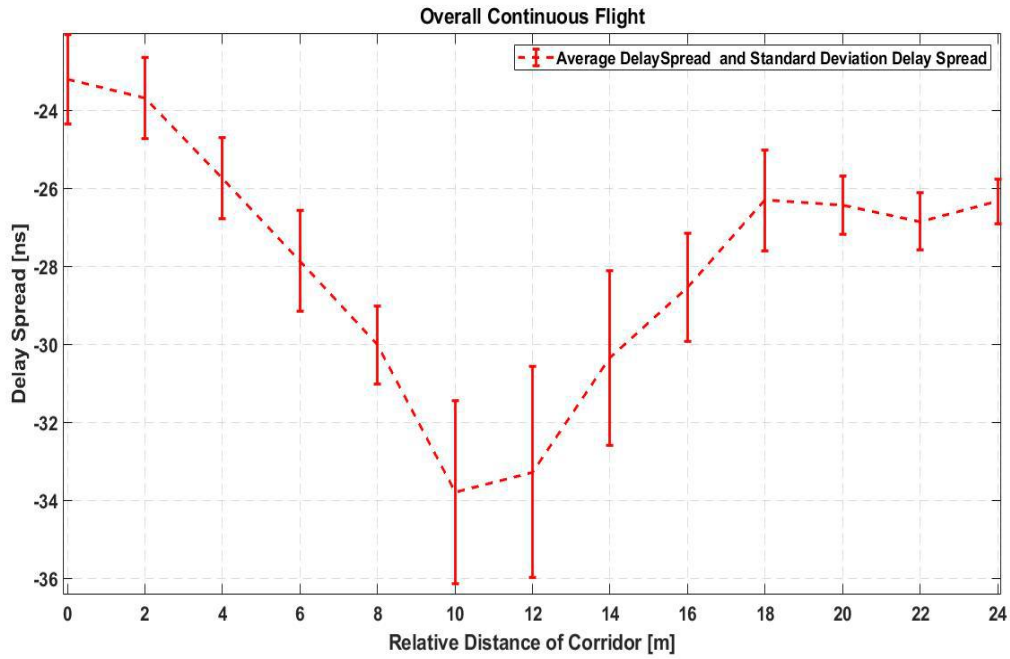


Figura 17-DelaySpread di tutti i voli (medie spaziali e temporali).

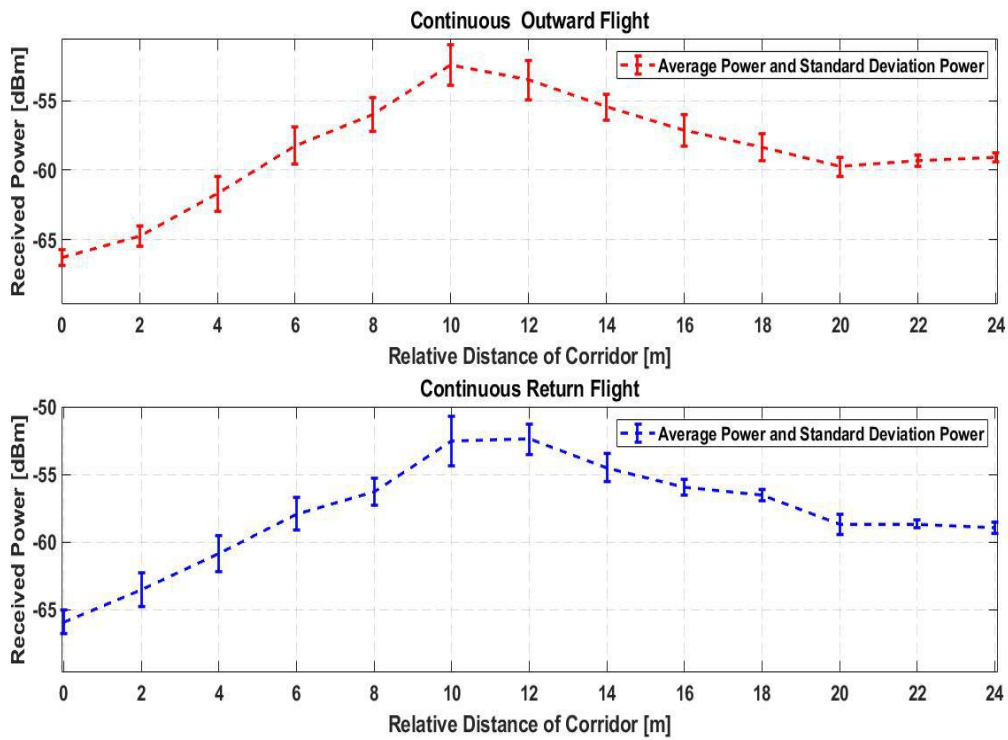


Figura 18-Received Power per i voli di andata e di ritorno (medie spaziali e temporali).

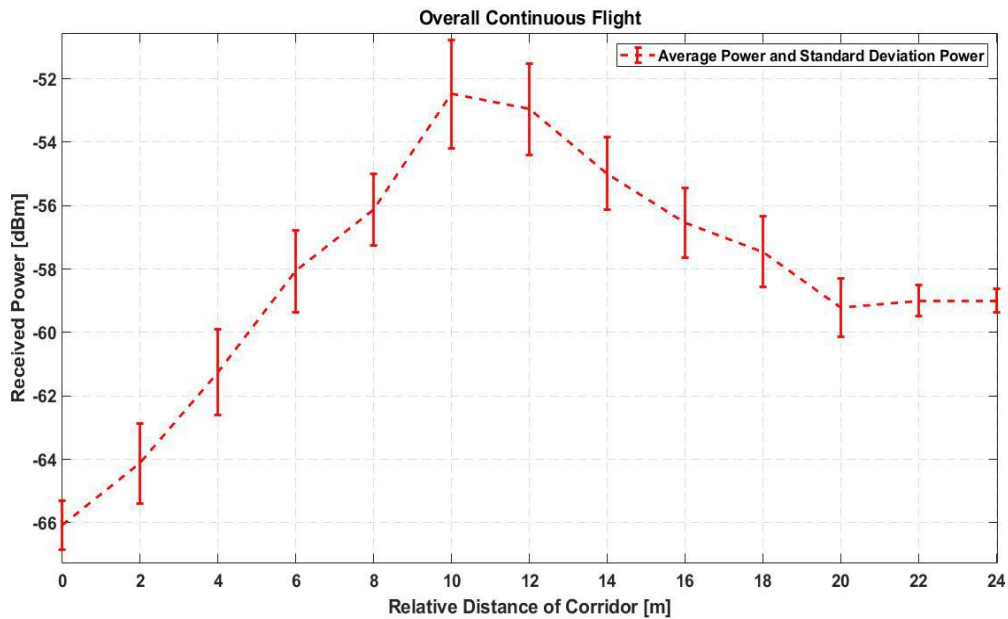


Figura 19-Received Power di tutti i voli (medie spaziali e temporali).

Dai grafici soprastanti possiamo notare come la posizione iniziale e fine del drone durante il volo corrispondono a livelli di potenza ricevuta bassi questo perché le postazioni del trasmettitore(drone) e del ricevitore risultano NLOS, ovvero soggette a interferenze e ostacoli. Il punto di massimo invece si ha quando il drone passa frontalmente al ricevitore. Il delay spread, come ci si potrebbe aspettare assume un comportamento inverso.

Seppur a velocità differenti e con campionamenti diversi i voli mantengono mediamente il medesimo comportamento.

## CONCLUSIONI

In questa tesi, vengono presentati i risultati delle misure effettuate e una prima analisi delle proprietà del canale radio alle frequenze UWB in ambiente industriale. Le misure sono state condotte all'interno di uno scenario reale, rappresentativo di un tipico ambiente di propagazione di tipo industriale, e i collegamenti radio sono stati realizzati sia montando uno dei terminali a bordo di un drone, che tramite classici collegamenti punto-punto con entrambi i terminali montati su di un treppiede.. Nell'elaborato sono stati presi in considerazione due differenti casi:

- Misure statiche in varie posizioni, al variare dell'altezza.
- Misure acquisite tramite un volo continuo a velocità variabile e altezza fissa.

Le misure condotte in questa tesi possono permettere di comprendere il comportamento del canale radio in ambiente industriale per differenti altezze e configurazioni, avendo in mente come applicazione uno scenario di tipo “smart factory”, in cui vengono utilizzati droni per svolgere funzioni di controllo, gestione e sicurezza attraverso la comunicazione wireless. Possono essere effettuate inoltre valutazioni sul costo di collegamento e sulle interferenze.

Dai grafici elaborati comparando le misurazioni effettuate con il drone, in cui il Tx è fisso sul drone e il Rx a terra, e le misure manuali, in cui sia il Tx che il Rx sono posti a terra, emergono delle differenze. Misurando con il drone bisogna tener conto di più fattori quali l'oscillazione, l'antenna posta nella struttura interna del drone, il mal funzionamento del sensore di volo verso il basso a causa del posizionamento della piattaforma UWB che possono causare interferenze e ostacoli.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] THE MANUFACTURER INDUSTRY 4.0 UK READINESS REPORT, Callum Bentley, researched by The Manufacturer, Oracle, 2016.
- [2] KPMG, The fourth industrial revolution. How does the factory of tomorrow look like?, Yönetim Danışmanlığı A.Ş., November 2015, KPMG.
- [3] BORSA ITALIANA, Rivoluzione 4.0 URL:<http://www.borsaitaliana.it/notizie/sotto-la-lente/rivoluzione-252.htm>
- [4] J. Reimann and G. Sziebig, “The intelligent factory space – a concept for observing, learning and communicating in the digitalized factory,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 70 891–70 900, 2019.
- [5] Aerospace Industries Association: Unmanned Aircraft Systems: Perceptions & Potential, 2013.
- [6] Alfieri Roberto: L’ invasione dei droni. Il futuro è sopra di noi, Hoepli, 2015.
- [7] Biagini Flavio: Architetture, Tecnologie ed Applicazioni dei Droni, CORSO DI LAUREA IN SCIENZE E TECNOLOGIE INFORMATICHE - CAMPUS DI CESENA, 2013 / 2014.
- [8] Canis Bill: Unmanned Aircraft Systems (UAS): Commercial Outlook for a New Industry, 9 settembre 2015.
- [9] Yong Zeng, Rui Zhang and Teng Joon Lim, “Wireless Communications with Unmanned Aerial Vehicles: Opportunities and Challenges”, *IEEE Communications Magazine*, May 2016.
- [10] S. Hayat, E. Yanmaz, and R. Muzaffar, “Survey on unmanned aerial vehicle networks for civil applications: A communications viewpoint,” *IEEE Communications Surveys Tutorials*, vol. 18, no. 4, pp. 2624–2661, Fourthquarter 2016.
- [11] C. Kyrkou, S. Timotheou, P. Kolios, T. Theodorides, and C. Panayiotou, “Drones: Augmenting our quality of life,” *IEEE Potentials*, vol. 38, no. 1, pp. 30–36, Jan 2019.
- [12] J. Karedal, S. Wyne, P. Almers, F. Tufvesson, and A. F. Molisch, “UWB channel measurements in an industrial environment,” in *IEEE Global Telecommunications Conference, 2004. GLOBECOM '04.*, vol. 6, Nov 2004, pp. 3511–3516 Vol.6.
- [13] Z. Irahauten, G. J. M. Janssen, H. Nikookar, A. Yarovoy, and L. P. Ligthart, “Uwb channel measurements and results for office and industrial environments,” in *IEEE International Conference on Ultra-Wideband*, Sep. 2006, pp. 225–230.
- [14] M.-G. Di Benedetto, T. Kaiser, A. Molish, I. Opperman, C. Politano, and D. Porcino, *UWB Communication Systems. A comprehensive overview.*, ser. EURASIP Book Series on Signal Processing and Communications. Hindawi Publishing Corporation, 2006.
- [15] Win, Moe Z., and Robert A. Scholtz. "Ultra-wide bandwidth time-hopping spread-spectrum impulse radio for wireless multiple-access communications." *IEEE Transactions on communications* 48.4 (2000): 679-689.
- [16] Vasilii Semkin, Enrico Maria Vitucci, Franco Fuschini, Marina Barbiroli, Vittorio Degli Esposti, and Claude Oestges, “ Characterizing Drone-to-Machine UWB Radio Channel in Conscious Factories”, submitted to *IEEE Access*.