

**ALMA MATER STUDIORUM – UNIVERSITA' DI BOLOGNA**

SECONDA FACOLTA' DI INGEGNERIA  
CON SEDE A CESENA

**CORSO DI LAUREA**  
IN INGEGNERIA AEROSPAZIALE  
Classe 10

Sede di Forlì

ELABORATO FINALE DI LAUREA

In Controlli Automatici L

*Studio preliminare di un sistema di monitoraggio e controllo del traffico  
di superficie nell'area di manovra dell'aeroporto di Fiumicino*

CANDIDATO  
Carlo Pandolfi

RELATORE  
Prof. Matteo Zanzi

CORRELATORE  
Ing. Antonio Ghetti

Anno Accademico 2011-2012  
Sessione III



*Alla mia famiglia*



## Lista acronimi

ADS-B	Automatic Dependent Surveillance – Broadcast
A/M	Aereomobile
A-SMGCS	Advanced - Surface Movement Guidance and Control System
ATC	Air Traffic Control
ATM	Air Traffic Management
A/V	Aereoveicolo
dB dBW dBm	Decibel (decibel Watt, decibel milliWatt)
ES	Extended Squitter
FAA	Federal Aviation Administration
GNSS	Global Navigation Satellite System
ICAO	International Civil Aviation Organization
LASIM	LABoratorio di Sviluppo per l'InfoMobilità
MODE A/C	Modo “All Call”
MODE S	Modo “Select”
MLAT	Multilaterazione
NM	Nautical Mile
PPM	Pulse Position Modulation
PSR	Primary Surveillance Radar
RTCA	Radio Technical Commission for Aeronautics
SMGCS	Surface Movement Guidance and Control System
SMR	Surface Movement Radar
SSR	Secondary Surveillance Radar
TDOA	Time Difference Of Arrival
VDL	VHF Data Link
VHF	Very High Frequency

# Indice

Introduzione .....	7
1 Stato dell'arte .....	10
1.1 A-SMGCS.....	11
1.2 Multilaterazione.....	15
1.3 Radar di superficie .....	20
1.4 ADS-B.....	22
1.5 Situazione attuale dei principali aeroporti europei.....	25
2 La tecnologia ADS-B .....	29
2.1 Il sistema ADS-B .....	29
2.2 Il messaggio ADS-B .....	32
2.3 Realizzazioni disponibili attualmente .....	33
3 Proposta di implementazione presso l'aeroporto di Fiumicino .....	38
3.1 L'aeroporto di Fiumicino.....	38
3.2 Stato attuale .....	41
3.3 Mappe .....	43
3.4 Occupazione di canale, copertura, volumi di traffico gestibili..	45
Conclusioni .....	50
Appendice A: Descrizione del transponder UNIBO .....	52
Appendice B: Caratteristiche tecniche della stazione ricevente .....	54
Bibliografia .....	55
Ringraziamenti.....	57

## **Indice delle tabelle**

<i>Tabella 1: Confronto tra le principali aziende operanti nell'A-SMGCS.</i>	14
<i>Tabella 2: Confronto tra le principali aziende di sistemi di MLAT .....</i>	19
<i>Tabella 3: Confronto tra le principali aziende di sistemi ADS-B .....</i>	23
<i>Tabella 4: Riassunto delle tecnologie utilizzate nei principali aeroporti europei.....</i>	27
<i>Tabella 5: Confronto tra i transponder prodotti dalle principali aziende europee ed il transponder UNIBO .....</i>	36
<i>Tabella 6: Caratteristiche tecniche transponder ADS-B.....</i>	52
<i>Tabella 7: Caratteristiche tecniche della stazione ricevente.....</i>	54

## Indice delle figure

<i>Figura 1: TDOA – Time Difference Of Arrival</i> .....	15
<i>Figura 2: Misura del TDOA's con due stazioni riceventi</i> .....	16
<i>Figura 3: Misura del TDOA's con tre stazioni riceventi</i> .....	17
<i>Figura 4: Esempio di MLAT in aeroporto</i> .....	17
<i>Figura 5: Radar di superficie "HRR Contraves"</i> .....	21
<i>Figura 6: Esempio ADS-B</i> .....	22
<i>Figura 7: Scenario europeo dei sistemi di sorveglianza aeroportuali A-SMGCS</i> .....	26
<i>Figura 8: Struttura del sistema ADS-B</i> .....	30
<i>Figura 9: Esempio di sistema completo di ADS-B</i> .....	31
<i>Figura 10: Forma d'onda del messaggio ADS-B trasmesso</i> .....	32
<i>Figura 11: Codifica PPM dei 112 bit della trama ADS-B</i> .....	32
<i>Figura 12: Transponder ADS-B UNIBO</i> .....	35
<i>Figura 13: Ground Station UNIBO</i> .....	35
<i>Figura 14: Aeroporto di Fiumicino</i> .....	39
<i>Figura 15: Esempio di triangolazione nell'aeroporto di Fiumicino</i> .....	41
<i>Figura 16: Aeroporto di Fiumicino completo di sistema di MLAT e SMR</i> .....	42
<i>Figura 17: Aeroporto di Fiumicino con le varie misure</i> .....	43
<i>Figura 18: Area di manovra e apron</i> .....	44
<i>Figura 19: Aeroporto di Fiumicino con installazione ground station</i> .....	45



<i>Figura 20: Esempio teorico dei messaggi ADS-B in 1s.....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 21: Esempio reale dei messaggi ADS-B in 1 s.....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 22: Schema funzionale.....</i>	<i>52</i>



## **Introduzione**

In questo elaborato di tesi di laurea è stato affrontato uno studio preliminare di un sistema di monitoraggio del traffico di superficie nell'area di manovra dell'aeroporto di Fiumicino.

Questo lavoro ha analizzato il modulo di localizzazione ed identificazione dei mezzi circolanti in area di manovra e la tecnologia da impiegare per ottenere lo scambio dei dati tra le unità imbarcate ed il server centrale. L'attività è stata svolta in collaborazione con ADR\_Aeroporti di Roma, nonché gestore aeroportuale di Fiumicino.

L'obiettivo è quello di ottenere, in tempo reale, la conoscenza della posizione e della traiettoria di tutti i mezzi circolanti in area di manovra per creare un sistema automatizzato di monitoraggio. Si dovrebbe così essere in grado di controllare sia eventuali invasioni delle piste e dei raccordi principali sia rischi di potenziali collisioni tra velivoli e mezzi, garantendo la minima separazione richiesta dalle normative, fornendo agli operatori l'indicazione del rischio rilevato. Le statistiche, infatti, hanno dimostrato che gli incidenti più gravi, tra quelli avvenuti nel sedime aeroportuale, si sono verificati durante il rullaggio oppure nelle fasi di decollo od atterraggio, proprio in seguito all'incursione in pista o nei raccordi da parte di mezzi di servizio o di altri aeromobili.

La tesi è suddivisa in tre parti. La prima parte espone lo scenario europeo per quanto riguarda le tecnologie utilizzate per la sorveglianza di velivoli e veicoli in area di manovra. La seconda parte descrive la tecnologia più diffusa e promettente a livello internazionale, proposta per l'aeroporto di Fiumicino, mentre nella terza parte tale tecnologia viene analizzata e sviluppata appunto per lo scenario preso in considerazione.

L'idea è quella di utilizzare un sistema integrato di sorveglianza il cui cuore è basato sulla tecnologia ADS-B. In particolare si è pensato di equipaggiare i veicoli che accedono all'area di manovra con un transponder veicolare ADS-B Modo S, che verrà poi analizzato in

seguito. È stato stimato un traffico massimo di mezzi (veicoli + velivoli), nell'area di manovra, pari a 100 unità.

In ogni modo, i principali benefici che un aeroporto può trarre dall'utilizzo di questo sistema sono:

- migliorare la sicurezza della movimentazione velivoli/veicoli sul sedime aeroportuale attraverso l'invio automatico al centro di controllo della posizione, dell'identità e dello stato di ogni veicolo sul canale di sorveglianza ADS-B;
- aumentare la sicurezza intrinseca del sistema segnalando ai piloti dei veicoli l'accesso ad aree non consentite e segnalando comportamenti errati;
- agevolare l'esecuzione delle operazioni di manutenzione dei sistemi aeroportuali segnalando al centro di controllo, attraverso un canale opzionale di servizio WiFi, la posizione, la tipologia ed il tempo dei guasti rilevati. Inoltre, l'utente può connettersi attraverso il canale WiFi ai transponder collocati su ciascun veicolo ed interagire con loro;
- mediante l'utilizzo di un eventuale display veicolare montato sui veicoli, il pilota ha a disposizione la funzione di navigazione all'interno dell'aeroporto e può visualizzare e verificare le informazioni relative ai guasti inseriti nel sistema.
- ottimizzare e snellire le operazioni di gate attraverso la visualizzazione contemporanea dei veicoli/velivoli su un unico schermo presente nel centro di controllo;
- i transponder necessari a ricevere ed inviare tali segnali sono già utilizzati sugli A/M dell'aviazione civile quindi, per quanto riguarda i soli velivoli, i segnali ADS-B sono già disponibili a terra senza ulteriori installazioni. Inoltre, è possibile visualizzare la posizione di un veicolo "pericoloso" direttamente a bordo degli aerei concedendo a questi alcuni secondi in più per manovre evasive.



# 1 Stato dell'arte

La crescente domanda di traffico che negli ultimi anni ha investito gli aeroporti, ed in generale tutti gli enti di gestione del traffico aereo, e gli incidenti avvenuti negli ultimi anni hanno evidenziato la necessità di migliorare i sistemi di sorveglianza aerea, ed in particolare quelli preposti a garantire la sicurezza della superficie aeroportuale. La sorveglianza è lo strumento di base per l'erogazione dei servizi di controllo del traffico aereo, al fine di mantenere le separazioni di sicurezza tra un velivolo e l'altro e gestire efficacemente lo spazio aereo. Ne discende, quindi, che le procedure di controllo in un definito spazio aereo sono funzione delle tecniche di sorveglianza attualmente disponibili. Brevemente queste possono essere suddivise in tre categorie:

- Sorveglianza di tipo “dipendente”: il controllore acquisisce la posizione dei velivoli fornita dai sistemi di navigazione on-board via radio tramite il voice reporting del pilota o in automatico;
- Sorveglianza di tipo “indipendente”: il controllore acquisisce la posizione dei velivoli dal radar primario (PSR e SMR);
- Sorveglianza di tipo “cooperante”: il controllore acquisisce la maggior parte delle informazioni dei velivoli, tra le quali quella di posizione dal radar secondario e alcune dai sistemi on board (SSR modo A/C ed S e multilaterazione).

## 1.1 A-SMGCS

L'attuale sistema di controllo del traffico aereo di superficie, denominato SMGCS (Surface Movement Guidance and Control System) è sostanzialmente manuale e si basa sulla capacità del controllore di torre di monitorare il traffico aereo relativo alle piste di rullaggio (taxiways), a quelle di decollo/atterraggio (runways) e ai punti di raccordo tra taxiways e runways: dunque è evidente come questo sistema divenga inadeguato in condizioni di scarsa visibilità quali presenza di pioggia o nebbia, o in generale nelle ore notturne. Da queste considerazioni discende l'esigenza di adottare un nuovo sistema per il monitoraggio della superficie aeroportuale, denominato A-SMGCS (Advanced - Surface Movement Guidance and Control System). Uno dei principali obiettivi di tale sistema è il mantenimento e la valorizzazione della sicurezza e dell'efficienza dei movimenti a terra attraverso l'automazione di semplici funzioni. Gli attuali metodi di implementazione delle funzioni del sistema A-SMGCS prevedono l'uso di tipologie di sensori eterogenei, al fine di poter individuare e identificare tutte le possibili categorie di target che si presentano nell'ambiente operativo in esame. Si capisce dunque la necessità di avere nell'architettura del sistema una parte dedicata all'elaborazione dei segnali provenienti da sensori differenti per realizzare la cosiddetta Multisensor Data Fusion, in modo da estrarre un'informazione sull'ambiente aeroportuale sufficientemente completa per garantire il rispetto delle funzioni dell'A-SMGCS. Inoltre l'A-SMGCS si propone di ridurre al minimo il carico di lavoro mentale dei controllori di torre, aspetto non secondario dato che lo stress e il conseguente errore umano rappresentano una possibile fonte di rischio per la sicurezza. Infine, è necessario premettere e specificare che il sistema A-SMGCS rappresenta una novità in continua evoluzione nell'ambito delle ricerche che riguardano la sicurezza della superficie aeroportuale e che ancora non esiste una normativa standard.

L'A-SMGCS deve poter implementare sostanzialmente quattro tipi di funzioni: Sorveglianza e Identificazione (Surveillance), Controllo (Control), Guida (Guidance), Instradamento e Pianificazione (Route planning). Le definizioni dell'ICAO riguardo ogni singola funzione sono:

- Sorveglianza e Identificazione: il sistema deve essere in grado di fornire la localizzazione e l'identificazione degli aeromobili, dei mezzi di servizio e degli ostacoli. Questi due tipi d'informazione devono consentire al controllore di guidare i piloti degli aerei e gli autisti dei veicoli di servizio alle singole destinazioni in sicurezza e nel tempo più breve. L'implementazione di questa funzione avviene tramite la fusione dei dati provenienti da sensori cooperanti e non cooperanti.
- Controllo: questa funzione deve gestire i movimenti sulla superficie aeroportuale relativi agli aeromobili e ai veicoli di servizio garantendo, con la possibilità di prevedere e di risolvere eventuali conflitti, sicurezza ed efficienza. In particolare bisogna garantire la giusta separazione dei mezzi ed evitare gli accessi non autorizzati alle taxiways e alle runways (le cosiddette "runways incursions"). È da rilevare però che la funzione di Controllo non può sostituire completamente il controllore, ma rappresenta un importante ausilio automatico per l'analisi, la prevenzione e la risoluzione dei conflitti.
- Guida: sfruttando i dati messi a disposizione dalla Sorveglianza, la funzione di Guida fornisce ai piloti degli aeromobili le informazioni necessarie per completare il percorso che è stato loro assegnato. È da sottolineare che rispetto al precedente sistema, l'automazione di questa funzione consente di operare anche in condizioni di scarsa visibilità.
- Instradamento e Pianificazione: con questa funzione il sistema pianifica il percorso migliore da assegnare ad ogni veicolo o velivolo, aumentando l'efficienza dell'aeroporto.



I livelli di automazione in cui il sistema A-SMGCS può essere implementato sono quattro e ognuno include il precedente:

1. Sistema di livello I: il sistema effettua Sorveglianza e Identificazione, ovvero riesce a localizzare e identificare tutti i mezzi sulla superficie aeroportuale, siano essi cooperativi o non cooperativi, in qualunque situazione di visibilità.
2. Sistema di livello II: in questo livello di automazione il sistema deve essere in grado di rilevare i possibili conflitti e avvisare il controllore. Oltre a fornire un quadro completo del traffico (ottenuto già al livello precedente), il sistema deve includere la funzione di Controllo e un modulo di Alerting per avvisare il controllore in caso di conflitti reali o potenziali.
3. Sistema di livello III: in questo livello di automazione il sistema implementa anche la funzione di Guida, mediante la quale gestisce i supporti preposti alla guida (ad esempio luci) per indirizzare il pilota nel percorso da svolgere.
4. Sistema di livello IV: nel livello di automazione più alto il sistema è in grado di pianificare il traffico in modo tale da ottimizzare le risorse dell'aeroporto, aumentandone l'efficienza.

Naturalmente, non tutti gli aeroporti hanno le stesse caratteristiche (densità di traffico, condizioni climatiche locali, complessità della geometria) e quindi la scelta del livello di automazione del sistema deve tener conto della tipologia dell'aeroporto, nonché del costo della tecnologia necessaria per implementare quel dato livello. Nella tabella 1 ottenuta da [1], vengono messe a confronto le principali aziende europee che si occupano dell'A-SMGCS. Come si può notare, tutte le aziende, eccetto una, impiegano tecnologie basate sull'ADS-B, sulla MLAT e sui radar di superficie. Inoltre, le funzioni di *Surveillance* e di *Monitoring & Alerting* vengono effettuate da tutte le aziende, mentre le restanti funzioni di A-SMGCS solo da tre aziende in maniera pressoché simile.

Tabella 1: Confronto tra le principali aziende operanti nell'A-SMGCS

	<b>COMSOFT</b>	<b>NORTHROP GRUMMAN</b>	<b>SELEX</b>	<b>SENSIS</b>	<b>THALES GROUP</b>
	<i>QUADRANT</i>	<i>NOVA 9000</i>	<i>SAIL</i>	<i>AEROBAHN</i>	<i>STREAMS</i>
<b>Surveillance</b>	MLAT, ADS-B	Multi-sensor data fusion. TAR, (PSR/MSSR), SMR, MLAT, ADS-B	SMR, High Resolution Radar, Terminal Area Radar, MLAT, ADS-B	PSR, SSR, SMR, MLAT, ADS-B	SMR, ASR, MLAT, ADS-B
<b>Monitoring &amp; Alerting</b>	Conflict detection & Alerting	Safety Nets: – RIMCAS – Taxiway and restricted area monitoring and alerting – Route conformance monitoring and alerting	Real-time traffic analysis. Conflict prediction and detection. Monitoring Rwy Incursion, Taxiway conflicts, prohibited areas, Stop Bar	Conflict Detection & Alerting	Conflict & Deviation detection. Rwy Incursion, Taxiway deviation, prohibited areas
<b>Automated Guidance</b>		Integrates with other systems. Electronic Flight Strips. Control and Monitoring of stop bars and taxiway centerline lighting.	Airfield Lighting System - Automated smart lamps control, Rwy to apron and vice-versa		Control and monitoring of the airfield lighting system and gate operating systems
<b>Route Planning</b>		Taxi Routing Tool	Computes best path for each aircraft. Re-planning in case of deviation		Spatial planning and assignment of taxi routes to aircraft
<b>Human Machine Interface</b>		Labelled traffic situation display with inset windows. SMR video. Single sensor, mosaic or data fused plots and tracks. Independent pan and zoom. Multiple BRMs and cursor lines. Selection of preset settings. Label deconfliction. Track history and prediction. Area filtering. Independent brightness controls	Different roles (Tower, Ground, Apron)		Controller Working Position

## 1.2 Multilaterazione

La multilaterazione si basa sul principio della trilaterazione, ovvero un oggetto può essere localizzato pienamente se visto da 3 punti noti, ma presenta una differenza significativa: la trilaterazione si basa sulla misura assoluta del tempo di arrivo da 3 o più basi, mentre la multilaterazione si basa sulla differenza del tempo di arrivo di un segnale emesso dal target a 3 o più ricevitori.

Questa tecnica è usata sia in ambiente civile che militare per determinare la posizione di un aeromobile, veicolo, o comunque di un emettitore di segnale che viene a sua volta captato da 3 o più ricevitori che, basandosi sulla differenza del tempo di arrivo del segnale (Figura 1: TDOA) consentono di ricostruire la posizione dell'emettitore.

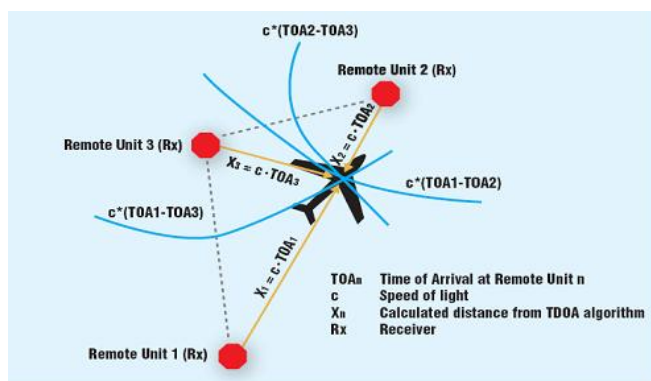
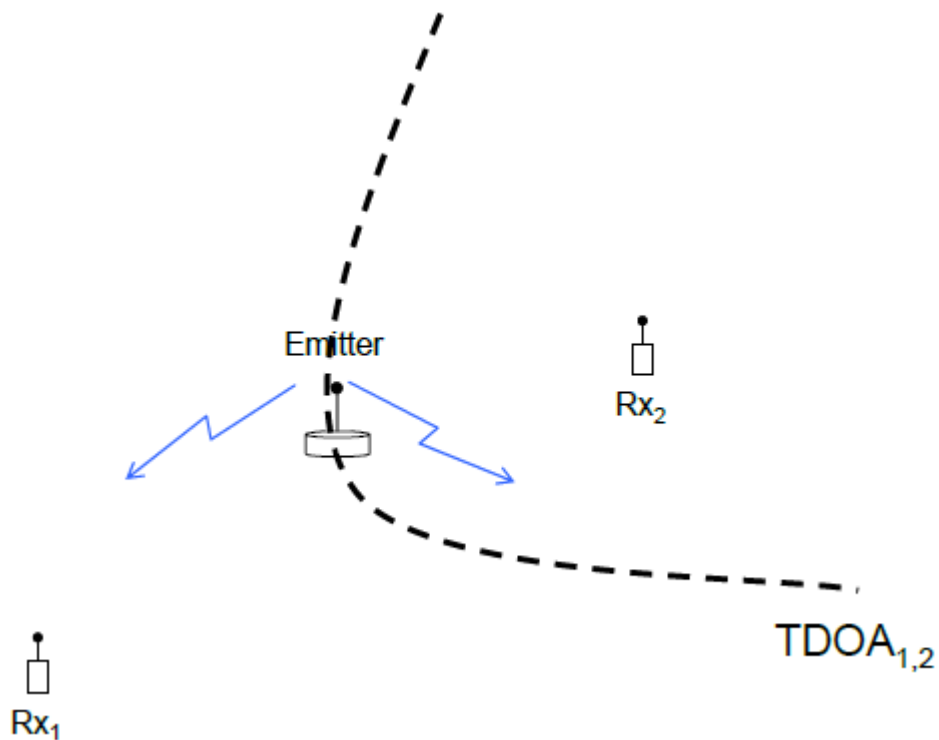


Figura 1: TDOA – Time Difference Of Arrival

Si tratta di un sistema che realizza una sorta di gps rovesciato, infatti invece di misurare il tempo di transito di un radiosegnale emesso dalla sorgente (il satellite) e ricevuto dall'osservatore, misura la differenza del tempo di arrivo dall'osservatore (target) alle sorgenti e, attraverso questa, si risale alla posizione. In pratica, la multilaterazione triangola su stazioni fisse di terra di posizione nota un trasmettitore in movimento, come può essere ad esempio un transponder SSR di un aeromobile, attraverso il rilevamento ed il time stamping dello squitter del transponder o comunque di un segnale di risposta a interrogazioni radar.

Infatti, se il segnale viene emesso da una piattaforma, questo arriverà in tempi leggermente diversi a due ricevitori posti ad una certa distanza fra loro; matematicamente parlando il TDOA corrisponde ad un iperboloide (in 3D) sul quale è localizzato l'emettitore di segnale (aeromobile o altro mezzo).

Quando si hanno 2 ricevitori, l'emettitore può essere localizzato entro un iperboloide a 2 falde (Figura 2).



*Figura 2: Misura del TDOA's con due stazioni riceventi*

Consideriamo ora un terzo ricevitore in posizione nota: ciò provocherà un secondo TDOA e quindi si avrà un secondo iperboloide (Figura 3).

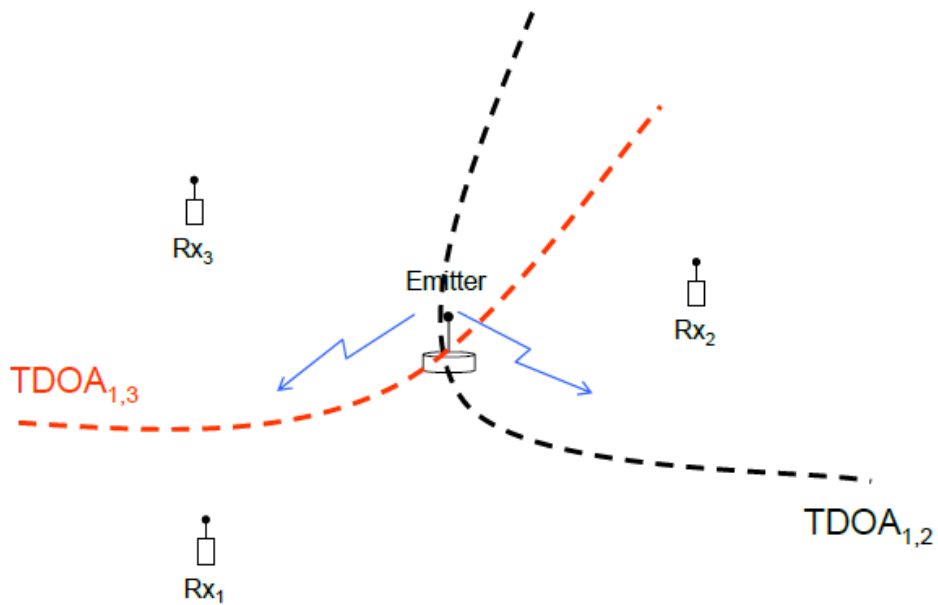


Figura 3: Misura del TDOA's con tre stazioni riceventi

L'intersezione di questi due iperboloidi determina una curva entro la quale è possibile localizzare l'emettitore; se ora aggiungiamo un quarto ricevitore in posizione nota, l'intersezione del terzo iperboloidi con la curva determinerà un punto, che è appunto la posizione dell'emettitore.

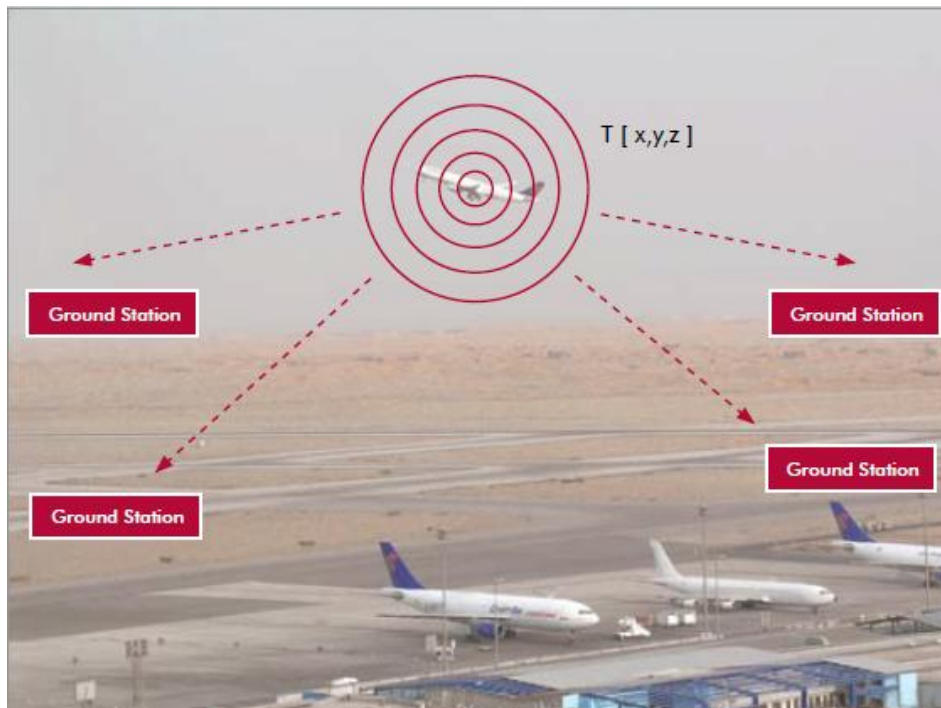


Figura 4: Esempio di MLAT in aeroporto

La tecnica richiede informazioni esatte sulla posizione delle cosiddette unità remote di ricezione (RU) per il sistema centrale di calcolo. Il tempo di arrivo della risposta/squitter viene misurato da ogni ricevitore, dopodiché viene risolto un sistema di equazioni che stabilisce il punto di intersezione fra gli iperboloidi per ogni coppia di RU. La soluzione finale è la posizione del transponder.

Poiché le intersezioni fra gli iperboloidi possono essere più di una ci si potrebbe chiedere quale sia quella giusta, a questo problema si ovvia posizionando delle antenne fortemente direzionali e definendo la geometria del sistema in modo tale che finché l'aeromobile si troverà nell'area 2D competente ai ricevitori, la precisione del segnale sarà alta, una volta allontanato, si deteriorerà velocemente.

Quindi teoricamente, e supponendo tutte le misure esatte, basterebbero 4 ricevitori per localizzare un aeromobile; in realtà, a causa di errori, queste iperboli raramente si incrociano, e un modo per ovviare a ciò è quello di disporre di più di 4 ricevitori. In generale  $N$  ricevitori generano  $N-1$  iperboloidi. Ma anche in questo caso a causa di svariati errori gli iperboloidi raramente si intersecano e quindi il problema di localizzazione diventa anche un problema di ottimizzazione che può essere risolto attraverso diversi metodi fra cui quello dei minimi quadrati o il filtro generalizzato di Kalman.

In Europa, tutti i principali aeroporti utilizzano sistemi di multilaterazione sia per i veicoli ma soprattutto per i velivoli presenti sul sedime aeroportuale. Nella tabella 2 acquisita da [2], vi è un confronto tra le principali aziende che si occupano di questo tipo di sistemi. Da quest'ultima, si può osservare che tutte le aziende applicano gli stessi requisiti standard e hanno pressoché le stesse specifiche tecniche. Per quanto riguarda invece la capacità di canale, questa non viene specificata univocamente per tutte le aziende; mentre la copertura del segnale viene esposta in maniera indicativa solo da due aziende.

Tabella 2: Confronto tra le principali aziende di sistemi di MLAT

	<b>COMSOFT</b>	<b>ERA</b>	<b>SELEX</b>	<b>SAAB SENSIS</b>	<b>THALES GROUP</b>
	QUADRANT	MSS	ADAM/ AWAM	MDS	MAGS
<b>Operating frequency</b>	1090 MHz ES 1030 MHz Mode S Interrogation	1090 MHz ES 1030 MHz Mode S Interrogation	1090 MHz ES	1090 MHz ES	1090 MHz ES, 1030 MHz Mode S Interrogation
<b>Capacity</b>	Up to 1500 targets	400 targets per sec.		250 targets	> 200 targets per sec.
<b>Mode S transmission</b>	UF 4 / UF 5 / UF 11	UF4 / UF5 / UF20 / UF21		UF4 / UF5 / UF20 / UF21	
<b>Mode S reception</b>	DF 1 - 48	DF0 / DF4 / DF5 / DF11 / DF16 / DF17 / DF18 / DF20 / DF21 / DF24		DF 17/18	
<b>Mode A/C transmission - reception</b>	x	x	x	x	x
<b>Output Format (over LAN / WAN)</b>	ASTERIX CAT 19, 20, 21	ASTERIX CAT 01, 02, 10, 19, 20, 21, 23, 34, 48	ASTERIX CAT 10, 11, 21	ASTERIX CAT 10, 11, 34/38, CD2 (MLAT), 21 (ADS-B)	ASTERIX CAT 10, 19, 20, 21, 23, 34, 48
<b>Coverage</b>	> 250 NM	Any		> 250 NM	
<b>Applicable standards</b>	ICAO Annex 10, EUROCAE ED-117, RTCA DO-260 / DO- 260A	ICAO Annex 10, EUROCAE ED-117, EUROCAE ED-142, RTCA DO-260 / 260A		ICAO Annex 10 V4. EUROCAE ED-117 MOPS & WG-70 WAM, RTCA DO-260 & DO- 260A	ICAO Annex 10, EUROCAE ED-117, RTCA DO-260 / DO-260A
<b>Temperature</b>	-40°C to +60°C	Open Air: - 40°C to +60°C	Outdoor Parts: -40°C to +49°C Indoor Parts : +10°C to +35°C		Outdoor parts: -55°C to +70°C Indoor Parts: - 10 °C to +50°C
<b>Inputs voltage</b>	24 VDC (+/- 4 V) 100 to 260 VAC 50/60 Hz	120 to 230 VAC or 18 to 30 VDC	100 to 240 VAC or 18 to 30 VDC	18-30 VDC or 100-240 VAC	
<b>Power consumption</b>	10 W		90 W (150 W with heater)	< 90 W (< 150 W with heater)	
<b>Interfaces</b>	Ethernet 10/100, Static IP or DHCP, TCP/IP. UDP, SNMP, IGPM, NTP, ICMP	Dual LAN, TCP, UDP, SNMP, NTP			

### **1.3 Radar di superficie**

In generale, il Radar (dall'acronimo inglese RAdio Detection And Ranging) è un sistema che utilizza onde elettromagnetiche appartenenti allo spettro delle onde radio o microonde per il rilevamento e la determinazione (in un certo sistema di riferimento) della posizione (coordinate in distanza, altezza e azimuth) ed eventualmente della velocità di oggetti (bersagli, target) sia fissi che mobili, come aerei, navi, veicoli, formazioni atmosferiche o il suolo.

Il radar di superficie è utilizzato per rilevare aeromobili e veicoli sulla superficie di un aeroporto. È utilizzato dai controllori del traffico aereo per integrare la sorveglianza visiva; esso può essere utilizzato anche di notte e durante scarsa visibilità per monitorare il movimento di aeromobili e veicoli. Il radar di superficie costituisce un elemento chiave dell'A-SMGCS; esso è tenuto a garantire un'elevata precisione (in genere 7,5 m), una frequenza di aggiornamento alta (1 al secondo) e un'alta risoluzione (inferiore a 20 m).

Le principali funzioni del radar di superficie possono essere riassunte in tre punti:

1. monitorare il movimento di aeromobili e veicoli sull'area di manovra;
2. fornire informazioni direzionale per piloti e conduttori di veicoli;
3. fornire consulenza e assistenza per il movimento sicuro ed efficace degli aeromobili e veicoli sull'area di manovra.





*Figura 5: Radar di superficie "HRR Contraves"*

## 1.4 ADS-B

ADS-B (Automatic Dependent Surveillance-Broadcast) è una funzione di sorveglianza per utenti A/V. Secondo la definizione data dall'ICAO è un'applicazione che trasmette parametri di sorveglianza come posizione, pista e velocità al suolo attraverso un collegamento dati in modalità broadcast ad intervalli prestabiliti per essere usati da veicoli in aria o a terra. Quindi l'ADS-B si basa sulla trasmissione regolare di report di posizione attraverso una radiodiffusione automatica dove questi report possono essere ricevuti da tutti i velivoli a terra riceventi o dalle stazioni di terra riceventi (Figura 6). Se sono ricevuti da altri transponder possono essere utilizzati per integrare le informazioni di sorveglianza disponibili e visualizzarle ai piloti o controllori di terra.

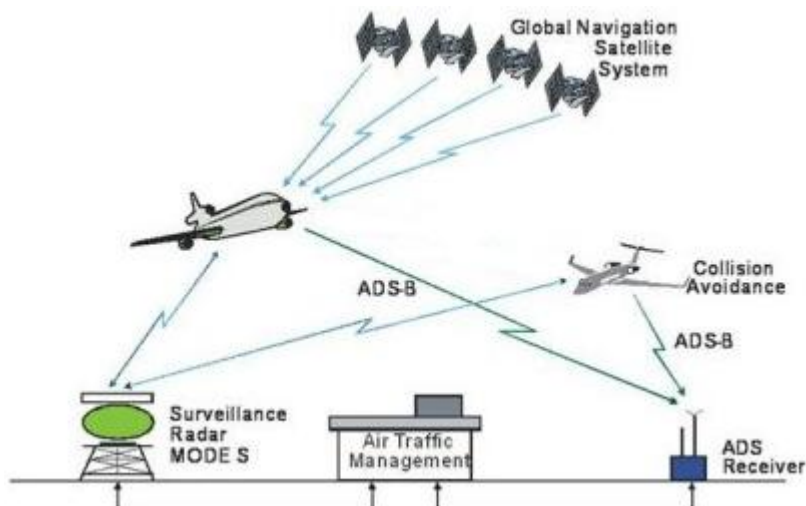


Figura 6: Esempio ADS-B

Ricostruendo i report ricevuti si può ricreare il traffico presente nelle vicinanze del velivolo e visualizzarlo all'interno degli strumenti a disposizione.

Esistono quattro tipi di tecnologie che supportano l'ADS-B:

1. State Vector [SV]: contiene informazioni sullo stato cinematico dell'A/V.

2. Mode Status Report [MS]: contiene le informazioni degli utenti che stanno trasmettendo.
3. Target State Report [TSR]: contiene le informazioni sui target rilevati dal velivolo.
4. Air Referenced Velocity Report [ARV]: contiene le informazioni su velocità, prua e intenzioni del velivolo.

In tabella 3 ottenuta da [3], vi è un confronto tra le principali aziende europee che si interessano della tecnologia ADS-B.

*Tabella 3: Confronto tra le principali aziende di sistemi ADS-B*

	COMSOFT	ERA	SELEX	SENSIS		THALES GROUP
	QUADRANT	MSS	MXC	ADS-B Mode-S	ADS-B UAT	AS 680 AS 685
<b>Operating Frequency</b>	1090 MHz ES 1030 MHz Mode S Interrogation	1090 MHz ES 1030 MHz Mode S Interrogation	1090 MHz ES	1090 MHz ES		1090 MHz ES
<b>Capacity</b>	Up to 1500 targets	500 targets	Up to 600 targets	500 targets	500 targets	> 200 targets per sec.
<b>Mode S Transmission</b>	UF 4 / UF 5 / UF 11	UF4 / UF5 / UF20 / UF21	DF 17/18			1090 MHz TIS-B (AS 685 model)
<b>Mode S Reception</b>	DF 1 - 48	DF0 / DF4 / DF5 / DF11 / DF16 / DF17 / DF18 / DF20 / DF21 / DF24	DF 17/18, DF 4/5, DF 11, DF 20/21			
<b>Output Format (over LAN / WAN)</b>	ASTERIX CAT 21	ASTERIX CAT 01, 02, 10, 19, 20, 21, 23, 34, 48	ASTERIX CAT 21	ASTERIX CAT 21	ASTERIX CAT 33	ASTERIX CAT 21 (ASTERIX CAT 23 AS 685 model)
<b>Coverage</b>	> 250 NM < 300 NM	Any	Up to 250 NM - 360°	> 250 NM	> 200 NM	Up to 250 NM
<b>Availability</b>			0.999			
<b>Continuity</b>			> 99.98% per hour of flight			
<b>MTBF</b>			> 20000 hours			
<b>Applicable</b>	ICAO Annex 10, RTCA DO-260,	ICAO Annex 10,	ICAO Annex 10,	RTCA DO-260,	RTCA DO-	ICAO Annex 10,

<b>Standards</b>	RTCA DO-260A, EUROCONTROL SAM (ESARR4;ESARR 6), ISO/IEC 61508:1998; ED-142, ED-109	EUROCAE ED-117, EUROCAE ED-142, RTCA DO-260 / 260A	RTCA DO-260A, RTCA DO-260, VDL 4 SARPs, ETSI EN 301 842-1, ETSI EN 301 842-2	RTCA DO-260A	282A	EUROCAE ED-102, RTCA DO-260 / DO-260A
<b>Temperatures</b>	-40°C to +60°C	Open Air: -40°C to +60°C	Operating: -10°C to +55°C Non-Operating: 20°C to +60°C			Outdoor parts: -40°C to +70°C Indoor Parts: +4°C to +50°C
<b>Input Voltage</b>	100 to 260 VAC or 20 to 28 VDC	120 to 230 VAC or 18 to 30 VDC	90 to 265 VAC	100 to 240 VAC or 18 to 30 VDC	18 to 30 VDC	85 to 255 VAC or 20 to 28 VDC
<b>Power Consumption</b>	< 10 W		70 W	90 W (150 W with heater)	24 W	80 W
<b>Interfaces</b>	Ethernet 10/100, Static IP or DHCP, TCP/IP, UDP, SNMP, IGMP, NTP, ICMP	Dual LAN, TCP, UDP, SNMP, NTP	RS232 / RS48, Fast Ethernet 10/100 (IEEE 802.3)			Dual Ethernet 100 BaseT (IEEE 802.3), IP V4, Modem line
<b>Redundant configuration with dual receiver</b>	x	x	x	x	x	x
<b>Expandable</b>	1030 MHz, Mode S		1090 MHz TIS-B transmitter, & VDL Mode 4 Trx	TIS-B / FIS-B	TIS-B / FIS-B	TIS-B / FIS-B, VDL 4
<b>Supports Mode-S Multilateration</b>	x	x		x	x	x

Si può osservare, come per la tabella 2, che tutte le aziende applicano gli stessi requisiti standard ed hanno una copertura di segnale all'incirca simile (eccetto che per un'azienda). Per quanto riguarda la capacità di canale, questa non viene specificata in maniera univoca ma varia da un valore di 200 targets/s a 1500 targets.

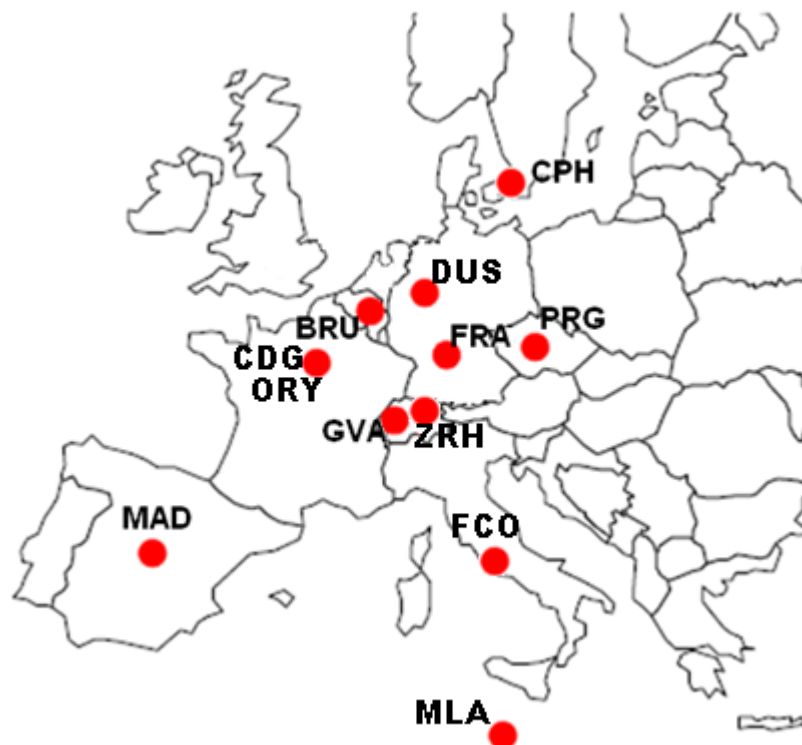
## 1.5 Situazione attuale dei principali aeroporti europei

Un'analisi generale sullo stato dell'arte in Europa mostra come solo pochi dei principali aeroporti utilizzano a pieno le funzioni dell'A-SMGCS; inoltre, tale tecnologia è tuttora in fase di un continuo sviluppo.

Facendo riferimento agli aeroporti segnati in figura 7 si può dire che:

- gli aeroporti di Copenaghen, Ginevra e Madrid, utilizzano un sistema di sorveglianza molto completo basato sul lavoro di uno o più radar di superficie e un sistema di multilaterazione integrati con dei transponder ADS-B installati sui vari veicoli che hanno accesso all'area di manovra. Inoltre, vi è un sistema di allarme che avvisa la torre di controllo in caso di potenziali minacce ma non vi è alcun sistema di allarme installato sui veicoli che segnali eventuali anomalie o incursioni in pista non autorizzate;
- gli aeroporti di Francoforte e Praga, utilizzano solo il sistema basato sulla multilaterazione integrato con il radar di superficie. Anche in questo caso non vi è alcun sistema di allarme installato sui veicoli e viene avvisato solo il controllore di volo in caso di potenziali conflitti;
- nell'aeroporto di Bruxelles, attualmente i veicoli sono monitorati per mezzo di comunicazione vocale sommato al controllo visivo della torre di controllo con l'aiuto del radar di superficie. Per il 1° trimestre del 2013, i mezzi dei vigili del fuoco e di emergenza e alcuni dei veicoli di assistenza a terra saranno dotati di transponder ADS-B; inoltre il monitoraggio dell'area sarà più efficiente grazie alla combinazione con il sistema di multilaterazione;
- l'aeroporto di Zurigo, ha equipaggiato i veicoli che accedono all'area di manovra con dei localizzatori GPS progettato per funzionare in combinazione con il sistema di multilaterazione. Tali veicoli non hanno alcun sistema di allarme e potenziali minacce vengono segnalate solo alla torre di controllo;

- negli aeroporti di Parigi (Charles de Gaulle e Orly), il monitoraggio dei veicoli in area di manovra viene fatto attraverso un sistema GPS che calcola la posizione dei veicoli stessi. Tale informazione, insieme all'identificativo del mezzo, viene trasmesso via radio al sistema centrale; inoltre, l'avviso di potenziali conflitti o incursioni in pista non autorizzate, viene segnalato solo alla torre di controllo;
- gli aeroporti di Dusseldorf e quello di Malta, attualmente non usano alcun sistema di monitoraggio dei veicoli in area di manovra;
- l'aeroporto di Fiumicino, si avvale di un sistema di sorveglianza basato sulla multilaterazione integrato con due radar di superficie. Inoltre, non vi è alcun sistema di allarme che segnali potenziali incursioni in pista non autorizzate.



*Figura 7: Scenario europeo dei sistemi di sorveglianza aeroportuali A-SMGCS*

Le tecnologie precedentemente descritte vengono ora riassunte nella tabella 4.

*Tabella 4: Riassunto delle tecnologie utilizzate nei principali aeroporti europei*

<b>A-SMGCS_ Advanced Surface Movement Guidance and Control System</b>				
<b>AIRPORTS</b>	<b>MULTILAT</b>	<b>SURFACE MOVEMENT RADAR</b>	<b>ADS-B TRANSPONDER</b>	<b>FEATURES</b>
<i>Copenhagen</i>	X (by ERA)	X	X	Nessun allarme installato sui veicoli
<i>Ginevra</i>	X	X	X	Nessun allarme installato sui veicoli
<i>Madrid</i>	X	X	X	Allarme installato sul veicolo
<i>Francoforte</i>	X (by ERA)		X	Nessun allarme installato sui veicoli
<i>Praga</i>	X (by ERA)		X	Nessun allarme installato sui veicoli
<i>Bruxelles</i>		X		Nessun allarme installato sui veicoli
<i>Zurigo</i>	X (by SENSIS)		X (by SENSIS)	Nessun allarme installato sui veicoli
<i>Parigi</i>			X	Allarme installato sul veicolo
<i>Dusseldorf</i>				Nessun sistema di monitoraggio
<i>Malta</i>				Nessun sistema di monitoraggio
<i>Fiumicino</i>	X (by SELEX)	X		Nessun tipo di allarme





## 2 La tecnologia ADS-B

Come accennato nell'introduzione, l'idea è quella di equipaggiare i veicoli che accedono all'area di manovra con un transponder veicolare ADS-B Modo S. In questo capitolo, verrà analizzata nel dettaglio tutta la tecnologia ADS-B, partendo dalla struttura di un sistema ADS-B fino al transponder pensato per tale applicazione.

### 2.1 Il sistema ADS-B

Il sistema è costituito da un transponder, basato sulla tecnologia ADS-B Modo S, da installare sui veicoli aeroportuali di servizio e di emergenza, e da una (o più) ground station da posizionare sul sedime aeroportuale nel punto più efficace.

Il transponder deve possedere i seguenti requisiti:

- il transponder deve essere low cost (preferibilmente).
- Il transponder deve rispettare lo standard RTCA (*Radio Technical Commission of Aeronautics*) ed, in particolare, i documenti:
  - DO-260A (*Minimum Operational Performance Standards for 1090 MHz Extended Squitter Automatic Dependent Surveillance – Broadcast (ADS-B) and Traffic Information Services – Broadcast*),
  - DO-242A (*Minimum Aviation System Performance Standards for Automatic Dependent Surveillance Broadcast (ADS-B)*),
  - DO-181C (*Minimum Operational Performance Standards for Air Traffic Control Radar Beacon System/Mode Select (ATCRBS/Mode S) Airborne equipment*) che definiscono i MOPS (*Minimum Operational Performance Standards*)

ed i MASP (*Minimum Aviation System Performance Standards*) per il sistema.

- Il transponder deve inoltre rispettare lo sviluppo futuro delle comunicazioni aeree ADS-B Modo S visto che questo protocollo è in espansione in questo tipo di comunicazioni radio.

In Italia non c'è alcun sistema di sorveglianza aeroportuale basato sul protocollo ADS-B. Questa è un'altra ragione per la quale sarebbe molto importante portare avanti un simile progetto.

Il sistema presenta la seguente struttura (Figura 8):

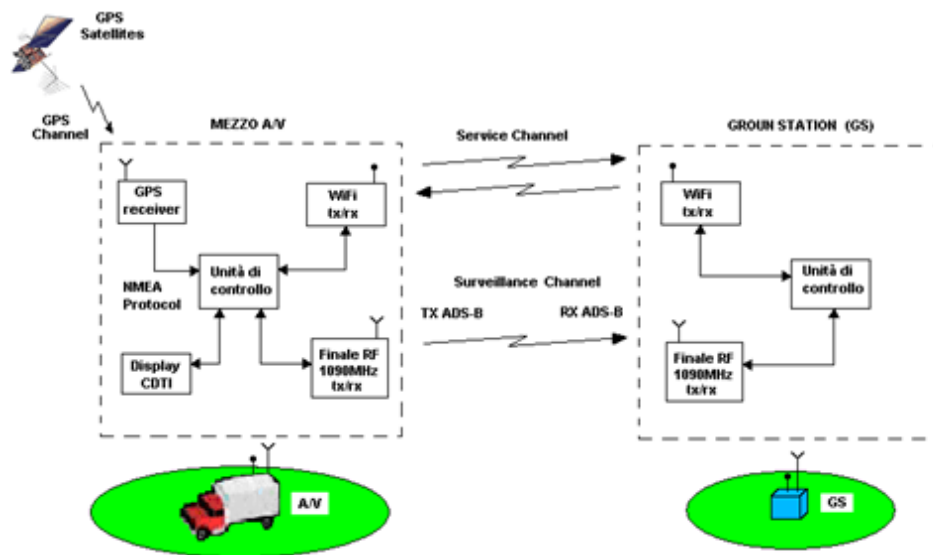


Figura 8: Struttura del sistema ADS-B

Le principali funzioni che il transponder deve svolgere sono:

- il transponder trasmette alla ground station i dati relativi all'identificazione del veicolo, i dati relativi alla posizione, alla velocità ed alla direzione del mezzo ed i dati relativi allo stato del mezzo e dell'apparecchiatura situata al suo interno.
- Il transponder comunica alla ground station le informazioni riguardanti il mantenimento delle strutture e degli apparati aeroportuali e le informazioni relative agli aggiornamenti del software del sistema (in questo modo il pilota del veicolo potrà segnalare malfunzionamenti degli apparati e delle strutture

aeroportuali ed il software del sistema potrà essere aggiornato wireless senza nessuna connessione HW).

Mentre le principali funzioni della ground station sono:

- ricevere Real Time le informazioni di posizione, identità e stato dei veicoli presenti sul sedime aeroportuale attraverso il protocollo ADS-B Modo S NTB Extended Squitter;
- ricevere Real Time le informazioni di posizione, identità e stato degli aerei presenti sul sedime aeroportuale e nel raggio di azione della ricevente (fino a 250NM) attraverso il protocollo ADS-B Modo S Extended Squitter.

Inoltre, ogni veicolo, scambia attraverso il canale WiFi di servizio (opzionale) le informazioni relative alla gestione ed al mantenimento degli apparati aeroportuali con la Ground Station.

Tutte le informazioni relative alla sorveglianza ed al servizio verranno visualizzate sul display veicolare.

Tutti i messaggi vengono poi girati al PC e visualizzati al controllore di torre.

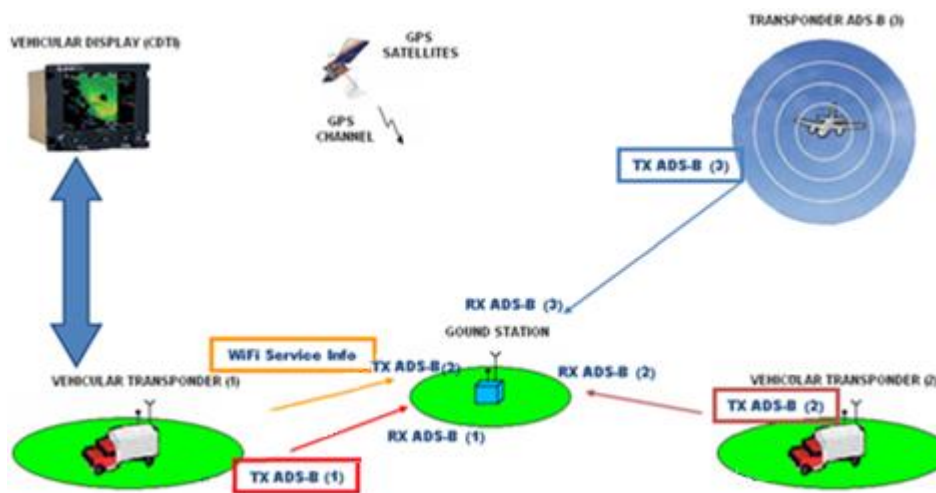


Figura 9: Esempio di sistema completo di ADS-B

## 2.2 Il messaggio ADS-B

Il messaggio ADS-B trasmesso è formato da due parti (Figura 10):

1. Preambolo
2. Blocco dati

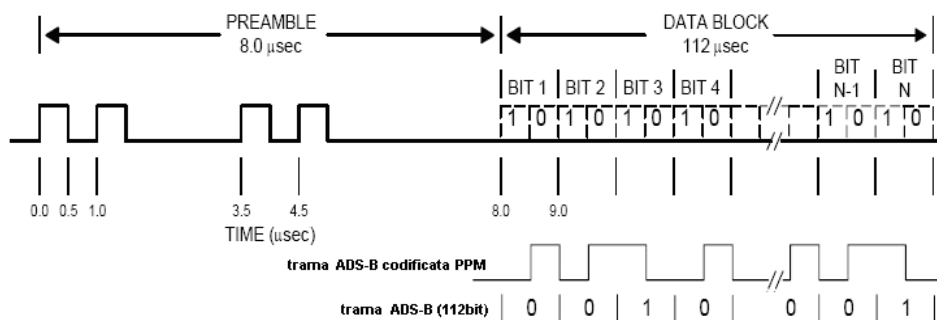


Figura 10: Forma d'onda del messaggio ADS-B trasmesso

Il preambolo serve ad identificare il messaggio ADS-B ed è formato da quattro impulsi realizzati in un certo modo (Figura 10). Ogni impulso ha una durata pari a  $0.5 \pm 0.05 \mu\text{s}$ . Dopo il primo impulso trasmesso gli altri sono spazati rispettivamente di 1.0, 3.5, e 4.5  $\mu\text{s}$ .

Il blocco dati invece, è il risultato della codifica PPM dei 112 bit che compongono una generica trama ADS-B. Il messaggio ADS-B codificato viene trasmesso 8  $\mu\text{s}$  dopo la trasmissione del primo bit di preambolo ed ha una durata di 112  $\mu\text{s}$  (Figura 11).

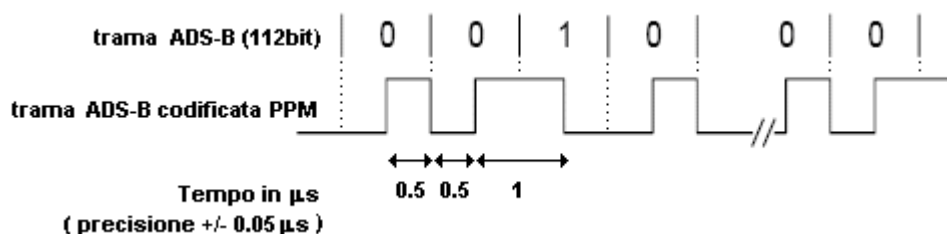


Figura 11: Codifica PPM dei 112 bit della trama ADS-B

La codifica PPM consiste nell'associare ad ogni bit una certa forma d'onda (

Figura 11: Codifica PPM dei 112 bit della trama ADS-B...):

- Ad un bit ADS-B = "1" corrisponde una forma d'onda "10" cioè la trasmissione di un impulso nella prima metà di un periodo pari ad 1  $\mu$ s . L'impulso ha una durata pari ad 0.5+/-0.05  $\mu$ s.
- Ad un bit ADS-B= "0" corrisponde una forma d'onda "01" cioè la trasmissione di un impulso nella seconda metà di un periodo pari a 1  $\mu$ s. L'impulso ha una durata pari ad 0.5+/-0.05  $\mu$ s.

Se la trasmissione di un impulso "01" è seguita dalla trasmissione di un impulso "10" verrà trasmesso un singolo impulso "1" di durata pari a 1+/-0.05  $\mu$ s.

### 2.3 Realizzazioni disponibili attualmente

Ogni veicolo all'interno dell'aeroporto dovrà quindi essere dotato di un dispositivo che permetterà:

1. l'invio e la ricezione di informazioni atte ad evitare situazioni di pericolo che si possono verificare all'interno delle aree aeroportuali attraverso il canale di sorveglianza (Surveillance Channel);
2. l'invio e al ricezione di informazioni di servizio utili ai fini della manutenzione e del mantenimento dei vari apparati presenti all'interno delle aree aeroportuali attraverso il canale opzionale dei servizi (Service Channel).

Il dispositivo dovrà essere *Mode-S Non Transponder Based, Extended Squitter 1090Mhz*.

- *Non Transponder Based (NTB)* perché non vi è interrogazione.

- *Extended Squitter* (ES) perché tutti i messaggi inviati attraverso il canale di sorveglianza dovranno essere di 112bit e non di 56bit come in un generico messaggio ADS-B.
- *Mode-S* (Select) cioè l'interrogazione contiene l'identificativo del mezzo A/V in questione. In questo modo la risposta sarà fornita solo dal mezzo A/V in questione mentre verrà ignorata dagli altri mezzi A/V. Si evita in questo modo di generare traffico eccessivo sul canale di sorveglianza.
- *1090MHZ* perché la frequenza di trasmissione e ricezione dei messaggi dovrà essere sulla portante dei 1090+/-1MHz.

I messaggi che il dispositivo dovrà trasmettere sono:

- surface position message;
- aircraft identification and type message;
- aircraft operational status message;
- test message.

Seguendo le norme dettate dall'RTCA e ripetendo i requisiti descritti precedentemente, il Laboratorio di Navigazione dell'Università di Bologna, ha realizzato un prototipo di Transponder veicolare (Figura 12) ed un prototipo di ground station (Figura 13), basati sulla tecnologia ADS-B Modo S per equipaggiare rispettivamente i mezzi aeroportuali che accedono all'area di manovra e la torre di controllo.

La descrizione tecnica dei sistemi è riportata rispettivamente nell'Appendice A e nell'Appendice B.

Inoltre, nella tabella 5, ottenuta da [4], viene fatta una comparazione tra le principali aziende europee che producono transponder veicolari basati sulla tecnologia ADS-B ed il transponder UNIBO. Come si evince dalla tabella, tutti i transponder prodotti hanno praticamente gli stessi requisiti; oltre a ciò, il transponder UNIBO è perfettamente in linea con i transponder già industrializzati.



*Figura 12: Transponder ADS-B UNIBO*



*Figura 13: Ground Station UNIBO*

Tabella 5: Confronto tra i transponder prodotti dalle principali aziende europee ed il transponder UNIBO

	<b>ERA</b>	<b>SELEX</b>	<b>SENSIS</b>	<b>THALES GROUP</b>	<b>UNIBO</b>
	SQUID	VEGA	VeeLo NextGen	MOSQUITO	ADS-B UNIBO
<b>High Density Airport</b>	x	x	x	x	x
<b>Very Low Visibility</b>	x	x	x	x	x
<b>Enhanced A-SMGCS</b>	x	x	x	x	x
<b>Easy Installation / Configuration</b>	x	x	x	x	x
<b>Low and Easy Maintenance</b>	x	x	x	x	x
<b>Small Dimensions</b>	x	x	x	x	x
<b>Low Battery Consumption</b>	x	x	x	x	x
<b>Low Electromagnetic Emission</b>	x	x	x	x	x
<b>GPS Data</b>	WAAS, EGNOS	WAAS, EGNOS	WAAS, EGNOS	WAAS, EGNOS	WAAS, EGNOS
<b>Transmission</b>	ADS-B over 1090 MHz ES	ADS-B / FIS-B over 1090 MHz ES, HyperLan or WiFi	ADS-B over 1090 MHz ES	ADS-B over 1090 MHz ES	ADS-B over 1090 MHz ES
<b>Reception</b>		ADS-B / FIS-B / TIS-B over 1090 MHz ES, HyperLan or WiFi			
<b>Backup if GPS signal is lost</b>		Inertial System (Odometer, Gyroscope)			
<b>Mode S Transmission (Message Format)</b>	Extended Squitter DF18	Short Squitter DF11 & Extended Squitter DF18	Extended Squitter DF18	Extended Squitter DF18	Extended Squitter DF18
<b>Mode S Reception (Message Format)</b>		Extended Squitter DF11 & DF18			
<b>Antenna</b>	1090 MHz, GPS	1090 MHz, GPS, HyperLan or WiFi	1090 MHz, GPS	1090 MHz, GPS	1090 MHz, GPS, WiFi
<b>Applicable Standards</b>	ICAO Annex 10, Vol. 4. RTCA DO-260A	ICAO Annex 10, Vol. 4. RTCA DO-260A	ICAO Annex 10, Vol. 4. RTCA DO-260A	ICAO Annex 10, Vol. 4. RTCA DO-260, FAA, EUROCONTROL	ICAO Annex 10, Vol. 4. RTCA DO-260A
<b>Operating Temperatures</b>	-40°C to +70°C	-30°C to +55°C	-30°C to +70°C		-30°C to +75°C
<b>Input Voltage</b>	9 to 32 V AC	10.8 to 27 V AC	9 to 32 V AC	9 to 28 V DC	13.8 V DC
<b>Power Consumption</b>	3 W	< 10 W	2 W		< 2.5 W
<b>Interfaces</b>	RS232	RS422 or Ethernet 10/100 BaseT (IEEE 802.3, 802.11)			RS232





## **3 Proposta di implementazione presso l'aeroporto di Fiumicino**

### **3.1 L'aeroporto di Fiumicino**

L'Aeroporto di Roma-Fiumicino (Figura 14), chiamato anche Aeroporto Intercontinentale Leonardo da Vinci, è un impianto aeroportuale italiano che si trova a Fiumicino, in provincia di Roma, a 28 km dal centro della Capitale. È il maggiore scalo aereo italiano nonché hub di Alitalia.

Il traffico di quasi 38 milioni di passeggeri nell'anno 2011 ne fa il primo scalo nazionale e il settimo aeroporto d'Europa per passeggeri complessivi dopo quelli di Londra-Heathrow, Parigi-Roissy, Francoforte, Amsterdam, Madrid e Monaco.

Assieme all'aeroporto di Ciampino forma il sistema aeroportuale di Roma con circa 42 milioni e mezzo di passeggeri annui (2011). Entrambi gli scali sono gestiti dalla società Aeroporti di Roma (ADR).

Il Leonardo da Vinci dispone attualmente di quattro Terminal (T1, T2, T3 e T5) riservati ai voli nazionali, internazionali ed intercontinentali e di quattro piste: la 16L/34R e la 16R/34L (separate l'una dall'altra di 4000 m), la 16C/34C prossima alla 16L/34R è utilizzata come pista di rullaggio o come backup della 16L/34R e la 07/25 utilizzata unicamente in direzione ovest a causa dei venti dominanti.

L'aeroporto opera dal 2005 con piste per atterraggi strumentali di precisione di categoria III B (sistema ILS).

Nel febbraio 2007 sono iniziati i lavori per un ulteriore adeguamento riguardo agli aiuti visivi luminosi a terra, in tal modo si passerà dai 10 movimenti per ora attuali in caso di fittissima nebbia, ai 30 futuri.



*Figura 14: Aeroporto di Fiumicino*

La società che gestisce gli aeroporti romani di Fiumicino e Ciampino è ADR S.p.A. - Aeroporti di Roma. ADR S.p.A. nasce nel 1974 con il nome di *Aeroporti di Roma - Società per la gestione del sistema aeroportuale della capitale SpA*, come concessionaria esclusiva per la gestione del sistema aeroportuale romano, costituito dall'aeroporto "Leonardo da Vinci" di Fiumicino e "Giovanni Battista Pastine" di Roma Ciampino. Quest'ultimo fu inaugurato nel 1916 come base militare destinata ai dirigibili. Da Ciampino nel 1926 partì il dirigibile Norge, progettato da Umberto Nobile, per la celebre trasvolata del Polo Nord guidata da Roald Amundsen. Ciampino rimane lo scalo principale di Roma fino al 1961, anno di inaugurazione dell'aeroporto di Fiumicino, intitolato a Leonardo da Vinci. Il 12 febbraio 1974, con la costituzione di Aeroporti di Roma, si riunirono tutte le attività sotto un unico operatore, che divenne concessionario esclusivo per la gestione e lo sviluppo del

sistema aeroportuale della capitale. Nel luglio 1997 viene avviata la privatizzazione di Aeroporti di Roma S.p.A, collocando sul mercato il 45% del capitale sociale attraverso un'offerta sia pubblica che privata, rivolta ad investitori istituzionali italiani ed esteri. La privatizzazione si è conclusa nel 2000, con la dismissione delle partecipazioni detenute dallo Stato.

Le realizzazioni più recenti sono:

- il Molo dell'aerostazione nazionale;
- il Molo Europa e il terminal B (destinati ai voli area Schengen, oggi rinominato T3);
- il Satellite per i voli intercontinentali, collegato all'aerostazione tramite un sistema People Mover;
- il Terminal A (rinominato T1), destinato ai voli nazionali;
- il Terminal AA (rinominato T2), destinato in prevalenza ai voli *Low Cost*;
- la Cargo city;
- il Terminal 5.

### 3.2 Stato attuale

Attualmente, per gestire la movimentazione degli aeromobili sulle piste e sui piazzali dell'aeroporto, il Controllore del Traffico Aereo si avvale di due tecnologie cooperanti tra di loro:

- due radar di terra (SMR "A" – "B") (Figura 16), che monitorano le piste di rullaggio (taxiway), di decollo/atterraggio (runway) e i punti di raccordo tra taxiway e runway. Tali radar lavorano su una frequenza di 8770-8830 MHz e sono posizionati su torri di altezza pari a 30m dal suolo;
- un sistema basato sulla multilaterazione, realizzato da Selex-Sistemi Integrati (Gruppo Finmeccanica), composto da 18 antenne (Figura 16), posizionate ad *hoc* intorno al perimetro dell'area di manovra, le quali dialogano continuamente. Attraverso una triangolazione (figura 15), tale sistema consente sempre di individuare la posizione del mezzo ed i suoi dati identificativi.



Figura 15: Esempio di triangolazione nell'aeroporto di Fiumicino

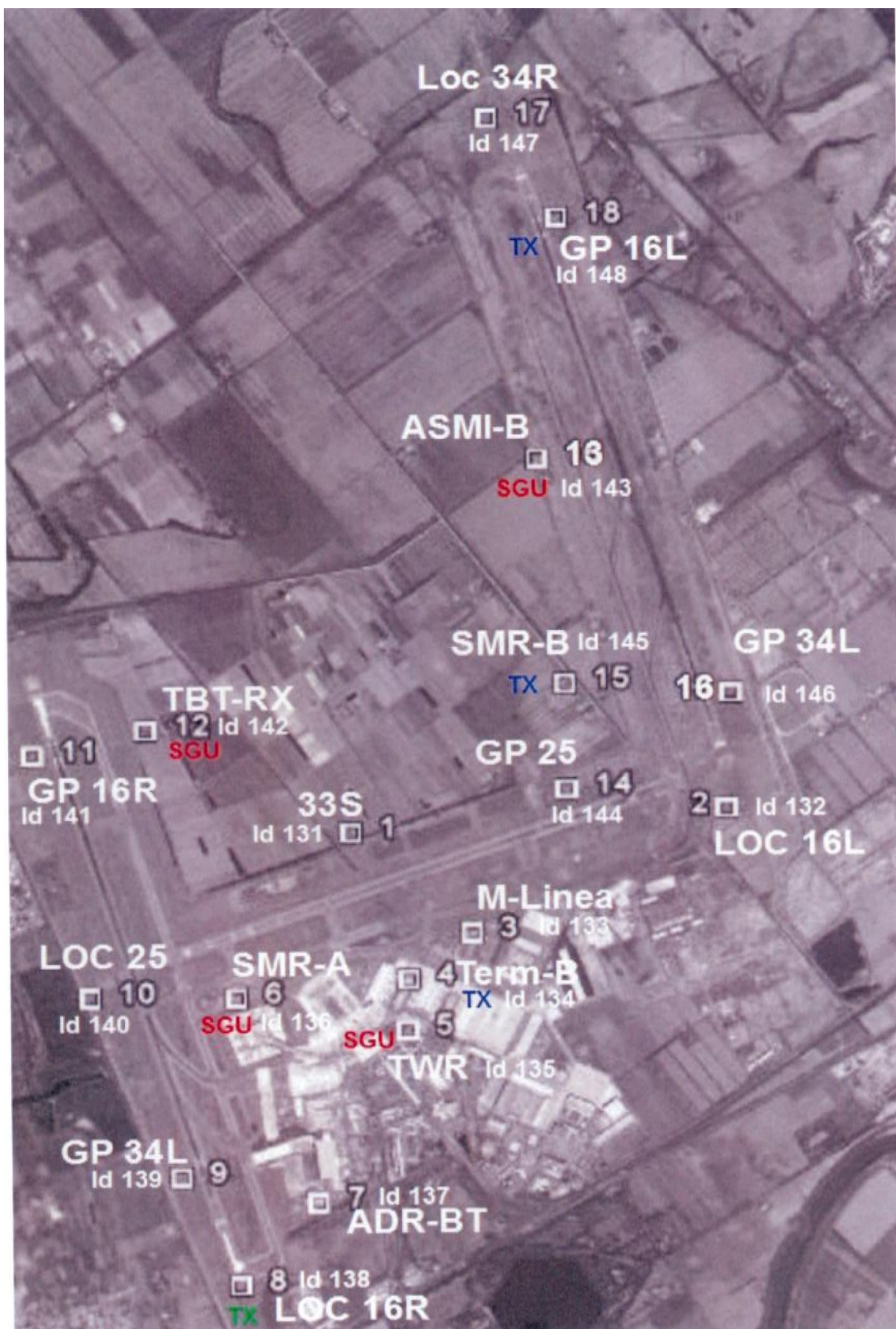
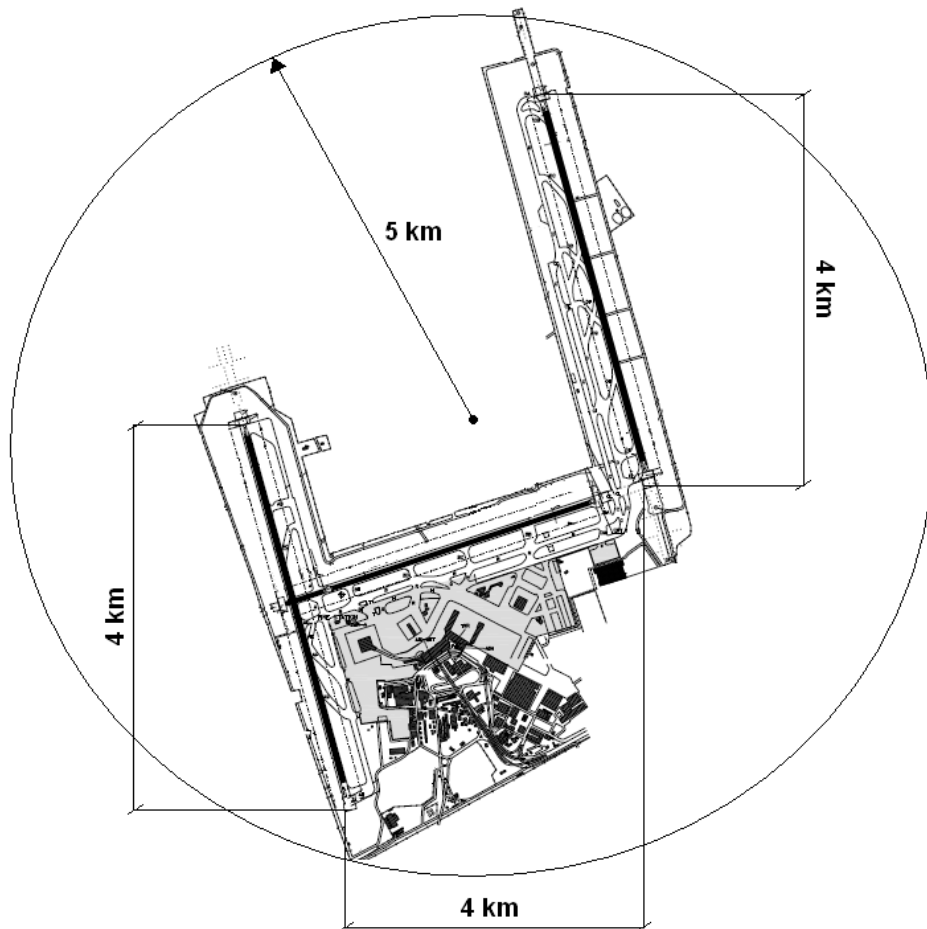


Figura 16: Aeroporto di Fiumicino completo di sistema di MLAT e SMR

### 3.3 Mappe

Il sedime aeroportuale di Fiumicino si estende per una superficie di raggio pari a 5 Km circa; vi sono presenti 3 piste di decollo/atterraggio, disposte ad “H” di lunghezza pari a 4 Km circa e larghezza pari a 400 m circa (Figura 17).



*Figura 17: Aeroporto di Fiumicino con le varie misure*

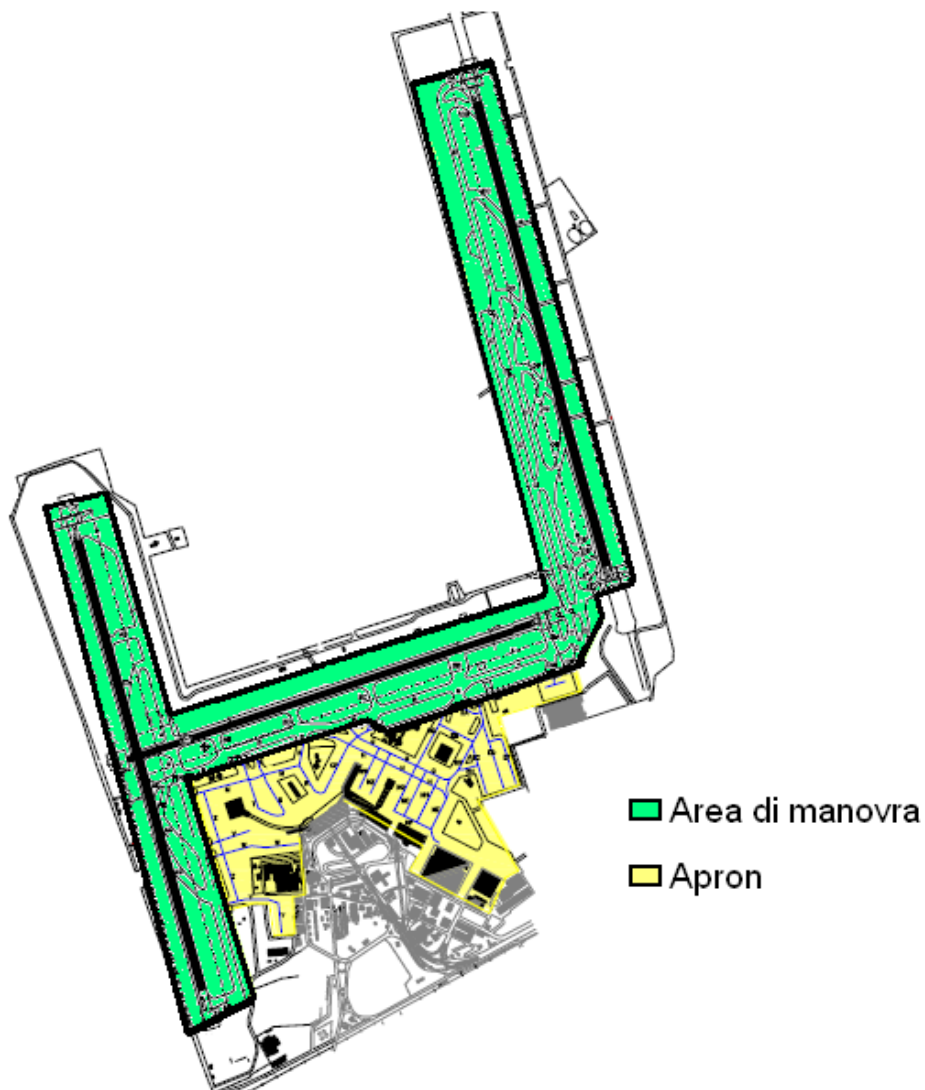
L' Aeroporto è fondamentalmente suddiviso in due zone che, sommate, costituiscono l'area di movimento:

- area di manovra, definita come “quella parte di un aerodromo che deve essere usata per il decollo, l'atterraggio ed il rullaggio degli aeromobili, escludendo i piazzali”. Pertanto, fanno parte dell'area di manovra, le piste e le altre aree di atterraggio (ad esempio i

campi erbosi e le altre aree di atterraggio per gli elicotteri), nonché tutte le vie di circolazione che conducono a tali aree. Non fanno invece parte di tale aerea la zona manutenzione, gli hangars ed i piazzali di parcheggio;

- apron, ossia i piazzali di sosta.

L'area di manovra è controllata dalla torre e ogni accesso avviene dopo contatto radio e sotto controllo radar. Nell'apron gli aeromobili sono, in Italia, ancora guidati dalla torre mentre i veicoli possono muoversi autonomamente, separandosi a vista dal traffico aereo che ha sempre la precedenza. La superficie presa in considerazione per la gestione del traffico veicolare è l'area di manovra (Figura 18).



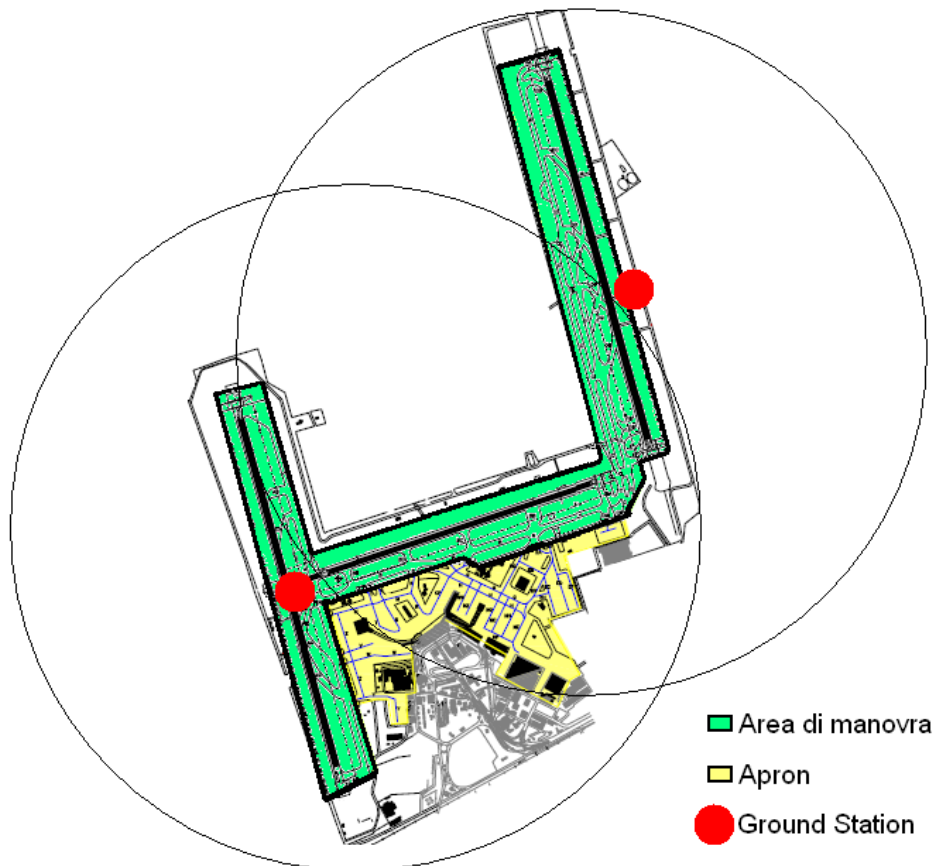
*Figura 18: Area di manovra e apron*



### 3.4 Occupazione di canale, copertura, volumi di traffico gestibili

La soluzione pensata per l'aeroporto di Fiumicino (Figura 19), come detto precedentemente, si basa sull'installazione a bordo dei veicoli di transponder ADS-B e sul posizionamento strategico sul sedime aeroportuale di stazioni riceventi (ground station). Il numero di ground station da installare e la loro relativa posizione sono stati pensati affinché:

- si abbia una copertura ottimale del segnale in tutta l'area di manovra;
- non ci siano problemi di comunicazione tra transponder e ground station nel caso ci possa essere un ostacolo tra i due.



*Figura 19: Aeroporto di Fiumicino con installazione ground station*

È stata così calcolata la copertura di segnale che si avrebbe teoricamente tra transponder e ground station. L'equazione presa in considerazione è la formula di Friis (a), la quale esprime il rapporto tra potenza fornita all'antenna in trasmissione e la potenza fornita al ricevitore dall'antenna ricevente:

$$P_R = P_T \frac{G_T G_R \lambda^2}{(4 \pi)^2 R^2} \quad (a)$$

dove:

- $P_T$  è la potenza trasmessa dal transponder pari a 40dBm (=10W) (APPENDICE A);
- $P_R$  è la potenza ricevuta ovvero la sensibilità della ground station pari a -90.3dBm (=9,333×10<sup>-13</sup>W) (APPENDICE B);
- $G_T$  e  $G_R$  sono i guadagni delle antenne trasmettenti e riceventi pari a 1;
- $\lambda$  è la lunghezza d'onda pari al rapporto tra la velocità della luce nel vuoto (300000Km/s) e la frequenza di trasmissione (1090MHz);
- $R$  è la distanza tra le antenne ovvero tra il transponder e la ground station.

da cui si ricava:

$$R = \frac{\lambda}{4 \pi} \sqrt{\frac{P_T}{P_R}} =$$

$$= \frac{300000000 / 1.09 \times 10^9}{4 \times 3.14} \sqrt{\frac{10}{9,333 \times 10^{-13}}} \cong 71692 \text{ m}$$

Tuttavia la (a) vale solo in condizioni ideali. Per una descrizione più realistica è necessario considerare due fattori fondamentali. Anzitutto, escludendo il caso del radiocollegamento tra veicoli spaziali, normalmente la propagazione del campo elettromagnetico non avviene in un mezzo normale (non dispersivo stazionario, lineare ed isotropo)

omogeneo e privo di perdite. Al contrario, nel mezzo interposto tra il transponder e la ground station, si possono verificare vari fenomeni come precipitazioni atmosferiche e la presenza di ostacoli, il cui risultato è un'attenuazione supplementare della potenza ricevuta. Inoltre, oltre al segnale utile di potenza  $P_R$ , la ground station potrebbe captare anche altri segnali indesiderati che si possono genericamente classificare come rumore.

Quindi, ai fini pratici la distanza massima tra transponder e stazione ricevente, si riduce notevolmente; nel caso si voglia considerare che tale distanza si dimezzi a causa delle considerazioni precedentemente dette, si riesce comunque a coprire bene tutto il sedime aeroportuale.

Nell'ipotesi che un mezzo venga rilevato da entrambe le ground station, vi sarà uno stesso messaggio indirizzato nella rete, che arriverà poi all'elaboratore nel centro di controllo e quest'ultimo deciderà automaticamente quale messaggio prendere in considerazione e visualizzare.

Per quanto riguarda la gestione del traffico totale in area di manovra, si è stimato che nell'ipotesi "peggiore" vi siano contemporaneamente circa 100 unità (veicoli + velivoli). In questa stima sono stati considerati anche i velivoli poiché anch'essi dispongono di un transponder comunicante sulla frequenza di 1090 MHz. Si è calcolata quindi la capacità massima di canale gestibile dal sistema ADS-B.

Sapendo che:

*Durata messaggio ADS-B:  $120\mu s$  (vedi capitolo 2\_il messaggio ADS-B)*

Supponendo che tutti i messaggi siano sequenziali (Figura 20) e non ci sia collisione tra i diversi messaggi, si può calcolare il numero massimo teorico di messaggi ricevuti:

$$1 s : 120 \mu s = 8333 \text{ messaggi/s}$$

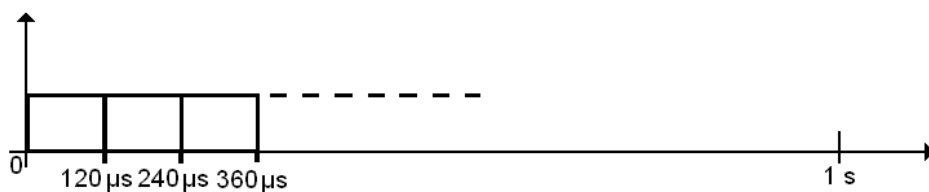


Figura 20: Esempio teorico dei messaggi ADS-B in 1 s

Sapendo che ogni mezzo può inviare al massimo 6.2 messaggi/s (norme RTCA), si può calcolare la capacità massima di canale teorica, pari a:

$$8333 : 6.2 = 1344 \text{ unità}$$

Bisogna fare però delle considerazioni sul risultato ottenuto: poiché la natura del protocollo ADS-B è a trasmissione casuale, alcuni messaggi collideranno tra loro (Figura 21).

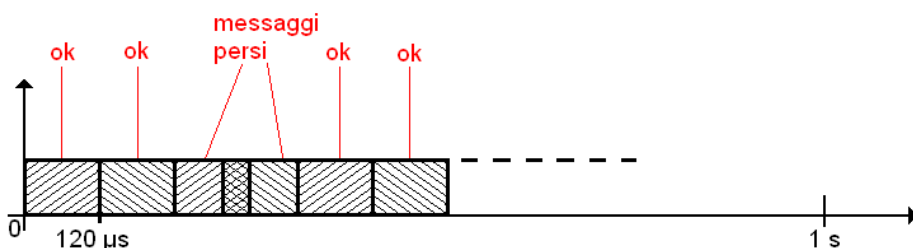


Figura 21: Esempio reale dei messaggi ADS-B in 1 s

Tali collisioni causano la perdita di alcuni messaggi, per cui la capacità massima di canale teorica (1344 unità) sarà nel caso reale notevolmente inferiore. Supponendo una probabilità di collisione dei messaggi pari al 50%, la capacità di canale rimane notevolmente superiore a quella richiesta dall'aeroporto di Fiumicino (100 unità) e pari a 672 unità.



## Conclusioni

In questo elaborato di tesi è stato fatto uno studio preliminare di un sistema di monitoraggio e controllo del traffico di superficie nell'area di manovra dell'aeroporto di Fiumicino.

Inizialmente, uno studio sullo stato dell'arte dei principali aeroporti europei ha evidenziato le varie tecnologie utilizzate per l'A-SMGCS; questo ha portato alla scelta della tecnologia da impiegare nell'aeroporto di Fiumicino.

La soluzione proposta si basa su un sistema ADS-B, in particolare sull'installazione di transponder ADS-B sui mezzi che accedono nell'area di manovra e di due ground station posizionate in punti strategici del sedime aeroportuale. Quello che successivamente è stato fatto, è uno studio dettagliato della superficie aeroportuale presa in considerazione in modo tale da avere una copertura ottimale del segnale e una gestione ideale dei volumi di traffico.

L'implementazione della tecnologia proposta, porterebbe molteplici vantaggi:

- è low cost, poiché non richiede l'installazione di particolari strutture, ma solo di unità GPS di due stazioni remote a basso costo;
- tale tecnologia è di facile installazione e non richiede un'elevata manutenzione;
- è completamente integrabile con le tecnologie di sorveglianza già presenti;
- è totalmente in linea con le tecnologie utilizzate nei principali aeroporti europei.

In futuro si potranno fare dei test pratici nell'aeroporto di Fiumicino per verificare l'effettiva validità del sistema e appurare che l'installazione pensata per le ground station sia davvero quella ottimale. Successivamente, in base ai test effettuati, si può pensare alla definitiva installazione dell'intero sistema.



## Appendice A: Descrizione del transponder UNIBO

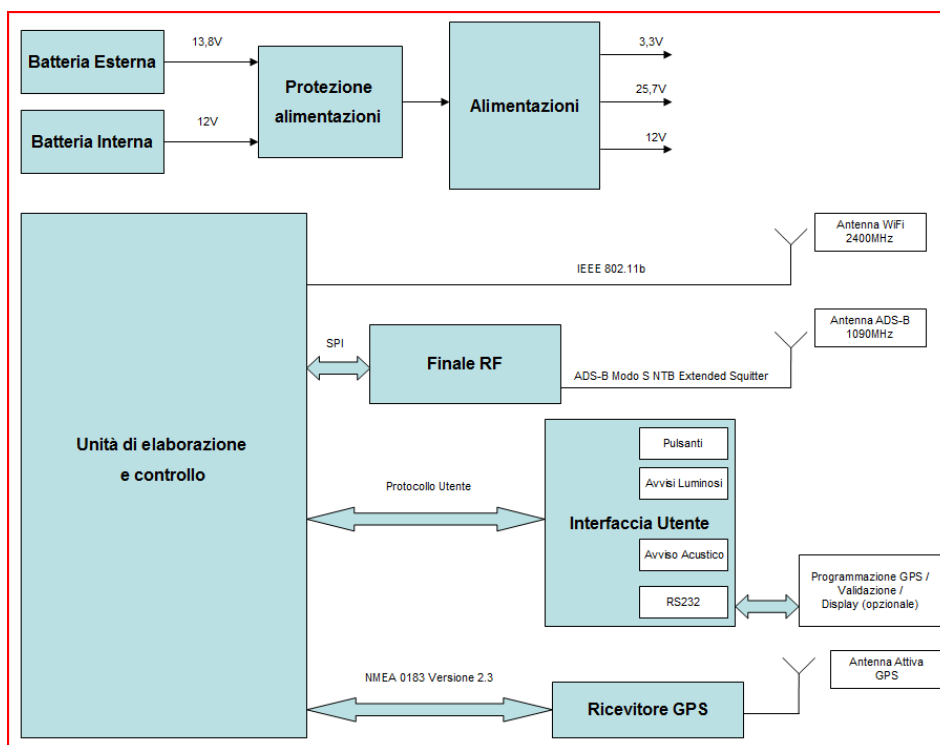


Figura 22: Schema funzionale

Tabella 6: Caratteristiche tecniche transponder ADS-B

<b>CARATTERISTICHE TECNICHE</b>
<b>Standard RTCA</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• RTCA DO181C (MODE S MOPS)</li> <li>• RTCA DO-242A (ADS-B MASPS)</li> <li>• RTCA DO-260A (ADS-B MOPS)</li> </ul>
<b>Sezione TX ADS-B</b> Protocollo: ADS-B Modo S NTB Extended Squitter (DF18) Frequenza di trasmissione dei messaggi: <ul style="list-style-type: none"> <li>- 2Hz / 0.2Hz (Posizione)</li> <li>- 0.2Hz / 0.1Hz (Identità)</li> <li>- 0.2Hz (Stato)</li> <li>- 2Hz max Gestito dall'Utente (Test)</li> </ul> Frequenza: 1090 +/-1 MHz Banda occupata: RTCA Compliant Potenza in uscita: 10W (+40dBm) classe B2low
<b>Sezione TX/RX WiFi</b> Protocollo: IEEE 802.11b Frequenza: 2.4GHz Potenza in uscita: 40mW (+16dBm)



<p><b>Ricevitore GPS</b>          Protocollo: NMEA 0183 Versione 2.3          Canali: 16, codifica C/A          Posizionamento:              - Accuratezza posizione CEP &lt;2.5m              - Accuratezza tempo UTC &lt;100ns          Sensibilità: -158dBm          Limiti operativi:              - Altezza massima 18000m              - Velocità massima 515m/s          Supporti alla navigazione:          DGPS, WAAS, EGNOS ed MSAS</p>
<p><b>Specifiche ambientali</b>          Temperatura di funzionamento: -30°C / +75°C          Caratteristiche componenti: RoHS Compliant</p>
<p><b>Specifiche elettriche</b>          Tensione nominale di ingresso: 13.8VCC          Protezione Automotive ISO / DTR 7637          Consumo: &lt; 2.5W</p>
<p><b>Interfacce</b>          RS232 (connessione GPS/Display Veicolare)</p>
<p><b>Accessori</b>          Display Veicolare CDTI</p>

## Appendice B: Caratteristiche tecniche della stazione ricevente

*Tabella 7: Caratteristiche tecniche della stazione ricevente*

<b>CARATTERISTICHE TECNICHE</b>
<b>Standard RTCA</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• RTCA DO181D (MODE S MOPS)</li> <li>• RTCA DO-242A (ADS-B MASPS)</li> <li>• RTCA DO-260B (ADS-B MOPS)</li> </ul>
<b>Sezione RX ADS-B</b> Protocollo: ADS-B Modo S NTB Extended Squitter (DF18) ADS-B Modo S Extended Squitter (DF17) Frequenza: 1090 MHz Larghezza di banda: +/- 6 MHz Sensibilità alla porta della ricevente: -90.3 dBm Range dinamico del ricevitore: 59.6 dBm Massima potenza in ingresso: -6.1 dBm Impedenza alla porta della ricevente: 50 Ohm
<b>Specifiche ambientali</b> Temperatura di funzionamento: -30°C / +75°C Caratteristiche componenti: RoHS Compliant
<b>Specifiche elettriche</b> Tensione nominale di ingresso: 5VCC Corrente: < 500mA (powered by USB or External Power Supply)
<b>Interfacce</b> RS232/USB (connessione PC) Throughput massimo : 600 messaggi/secondo @ 115200bps

## Bibliografia

- [1] <http://www.adaptaeronav.aero/providers/comp-asmgcs.htm>
- [2] <http://www.adaptaeronav.aero/providers/comp-mlat.htm>
- [3] <http://www.adaptaeronav.aero/providers/comp-adsb.htm>
- [4] <http://www.adaptaeronav.aero/providers/comp-portable.htm>
- [5] <http://www.ads-b.com/>
- [6] <http://www.trig-avionics.com/adsb.html>
- [7] <http://lasim.arces.unibo.it/node/16>
- [8] <http://pixel.blog.rai.it/2011/10/03/la-multilaterazione-radar/>
- [9] <http://www.sicetelecom.it/en/news/41.html>
- [10] [http://navigaz.uniparthenope.it/sez\\_nav/downloads/](http://navigaz.uniparthenope.it/sez_nav/downloads/)
- [11] [http://www.alpha.org/radar/intro\\_i.html](http://www.alpha.org/radar/intro_i.html)
- [12] [http://it.wikipedia.org/wiki/Fiumicino\\_Aeroporto](http://it.wikipedia.org/wiki/Fiumicino_Aeroporto)
- [13] <http://www.enav.it/portal/page/portal/PortaleENAV/Home/AIP>
- [14] <http://maps.google.it/maps?hl=it&tab=wl>
- [15] <http://lasim.arces.unibo.it/node/20>

- [16] <http://lasim.arces.unibo.it/node/27>
- [17] <http://users.libero.it/sandry/friis.pdf>

## **Ringraziamenti**

*Desidero ringraziare vivamente il Professor Matteo Zanzi che mi ha guidato e aiutato in tutto il lavoro; grazie a lui ho svolto la tipologia di tesi che ho sempre voluto, ho conosciuto nuovi ambienti ed ho imparato cose che prima mi erano estranee.*

*Ringrazio l'Ing. Antonio Ghetti per tutto l'aiuto, la disponibilità dimostratami durante la tesi e l'infinita quantità di nozioni necessarie a tale lavoro.*

*Inoltre ringrazio l'Ing. Daniele Occhiato, di Airport Management\_Reporting & Risk Management di Aeroporti di Roma, per la collaborazione, l'ospitalità e tutte le informazioni ricevute; infine, ringrazio Gianluca Alfieri, Responsabile del Safety Management di Aeroporti di Roma per l'ospitalità.*

*Ora arriva la "parte affettiva".*

*Innanzitutto dedico questo lavoro alla mia famiglia ed ai miei nonni; ringrazio di cuore i miei genitori poiché senza il loro supporto e il loro stimolo ad andare avanti, molto probabilmente, non sarei riuscito ad arrivare a questo bel traguardo della mia vita (scusatemi se vi ho fatto aspettare un po' più del previsto).*

*Ringrazio di cuore Ilenia che ha sempre creduto in me e mi ha sopportato soprattutto quando preparavo un esame.*

*Per concludere, un grosso ringraziamento va a Emanuele, Marco, Antonio e tutti gli amici che mi hanno aiutato ogni qualvolta io ero una "zecca-umana". Grazie a tutti.*