

POLITECNICO DI TORINO

Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Aerospaziale

**Corso di Laurea Magistrale
in Ingegneria Aerospaziale**

Tesi di Laurea Magistrale

Analisi delle differenze amendment ICAO dei sistemi di sorveglianza e prevenzione delle collisioni delle telecomunicazioni aereonautiche



Relatore

Prof. Paolo Maggiore

Candidato

Stefan Mirkovic

Indice

1. Introduzione	1
2. Sistemi di sorveglianza	2
2.1 Radar secondario di sorveglianza	2
2.2 Modi A/C	3
2.3 Modo S	5
2.3.1 Modo S Elementare	6
2.3.2 Modo S Avanzato	7
2.4 ADS-B	9
2.5 Multilaterazione	10
2.6 WAM	11
2.7 ACAS	11
2.8 SSR Monopulso	12
3. Amendment ICAO e regolamentazioni europee	14
3.1 ICAO Annesso 10 volume IV	14
3.1.1 Amendment 77 (2002)	15
3.1.1 Amendment 82 (2007)	15
3.1.3 Amendment 85 (2010)	16
3.1.4 Amendment 89 (2014)	16
3.1.5 Amendment 90 (2018)	17
3.2 Regolamentazioni europee	17
3.2.1 Regolamento N. 262/2009	18
3.2.2 Regolamento N. 1206/2011	19
3.2.3 Regolamento N. 1207/2011	20
3.2.4 Regolamento N. 1028/2014	21
3.2.5 Regolamento N. 2016/2345	21
3.2.6 Regolamento N. 2017/386	22
3.2.7 Regolamento N. 2020/587	22
4. Analisi delle differenze amendment	24
4.1 Evoluzione dei sistemi di sorveglianza	24
4.1.1 Modo S Elementare	24
4.1.2 Modo S Avanzato	24
4.1.3 ADS-B	25
4.2 Parametri dei sistemi di sorveglianza	26
4.2.1 Modo S Elementare	26

4.2.2 Modo S Avanzato	27
4.2.3 ADS-B	27
4.2.4 Confronto dei parametri	28
4.3 Carico della banda 1090MHz	29
5. Conclusione	32
5.1 Modo S	32
5.2 ADS-B	32
5.3 Confronto delle differenze	33
5.4 Considerazioni finali e possibili scenari futuri	35
6. Figure	37
7. Bibliografia	38

Abbreviazioni

ACAS – Airborne Collision Avoidance System

ADS-B – Automatic Dependent Surveillance Broadcast

ANS – Air Navigation Service

ATC – Air Traffic Control

ATM – Air Traffic Management

BDS register – Comm-B Data Selector register

CS-ACNS – Certification Specification - Airborne Communication Navigation Surveillance

DAP - Downlink Aircraft Parameters

EASA – European Aviation Safety Agency

EHS – Enhanced Mode S

ELS – Elementary Mode S

EUROCAE – European Organisation for Civil Aviation Equipment

FRUIT – False Replies Unsynchronised In Time

GICB – Ground-Initiated Comm-B

GNSS – Global Navigation Satellite System

GPS – Global Positioning System

IC – Interrogator Code

ICAO – International Civil Aviation Organization

II codes – Interrogator Identifier codes

ITU – International Telecommunication Union

MLAT – Multilateration

MSSR – Monopulse SSR

SPI – Special Position Indication

PSR – Primary Surveillance System

SARP - Standards and Recommended Practices

SES – Single European Sky

SI codes – Surveillance Identifier codes

SSR – Secondary Surveillance Radar

TCAS – Traffic Collision Avoidance System

WAM – Wide Area Multilateration

1. Introduzione

Nel campo dell'aviazione civile, l'ICAO è l'ente internazionale competente che definisce gli standard e le procedure operative. La standardizzazione nel campo aeronautico è diventato sempre più importante, soprattutto nel settore civile, dove l'internazionalizzazione rende necessario avere regole comuni, per rendere i sistemi nei diversi paesi compatibili tra loro, oltre che renderli sicuri, efficaci ed economicamente sostenibili.

Nel corso dei decenni, gli standard e le procedure definite dalle regolamentazioni nel campo dell'aviazione civile sono state modificate periodicamente, per soddisfare l'aumento costante del traffico aereo, per migliorare le prestazioni e le funzionalità dei sistemi. L'obiettivo di questa tesi è condurre uno studio sull'evoluzione delle regolamentazioni per analizzarne le differenze.

In particolare, questo studio si focalizza sui sistemi di sorveglianza e prevenzione delle collisioni, che sono definiti nell'Annesso 10 volume IV dell'ICAO. Si analizzano gli amendment degli ultimi anni e i loro effetti sulle funzionalità e caratteristiche dei sistemi.

Lo scopo di questo studio è quindi di analizzare le documentazioni ICAO riguardanti i sistemi di sorveglianza, in particolare le differenze degli emendamenti negli anni, analizzando i diversi cambiamenti e i loro conseguenze.

Questo studio è diviso in tre sezioni. Nella prima parte si introducono i sistemi di sorveglianza, definendo le loro funzionalità, caratteristiche e parametri.

Nella seconda parte ci si concentra sugli amendment ICAO e sulle regolamentazioni europee degli ultimi anni, analizzando le loro evoluzioni, e confrontando i diversi documenti e analizzando le differenze.

Nell'ultima parte si analizzano gli effetti delle modifiche dei regolamentazioni sui diversi sistemi di sorveglianza. Si studiano i requisiti, le caratteristiche ed i parametri che sono stati influenzati da queste modifiche, e gli impatti funzionali e operazionali sui sistemi. Si confrontano le diverse capacità e funzionalità per analizzarne i benefici e le limitazioni dei diversi modi operativi.

Si conclude lo studio riepilogando i diversi cambiamenti avvenuti e gli impatti che hanno avuto sulla sicurezza ed efficienza dei sistemi di sorveglianza, fornendo infine alcune considerazioni finali sui possibili scenari futuri.

2. Sistemi di sorveglianza

I sistemi di sorveglianza hanno l'obiettivo di identificare i velivoli e determinarne la posizione per garantire la sicurezza dei cieli e l'efficienza dei voli. Hanno lo scopo di aiutare il controllo del traffico aereo offrendo diverse informazioni per migliorare la consapevolezza dei piloti e degli operatori.

Tuttavia, i sistemi di sorveglianza presentano alcuni rischi e complicazioni, che devono essere opportunamente gestiti. In questo capitolo si introducono i sistemi di sorveglianza secondari, standardizzati dall'organizzazione internazionale dell'aviazione civile (ICAO) e definiti nell'annesso 10 volume IV, evidenziando le loro caratteristiche, i pregi e difetti.

2.1 Radar Secondario di Sorveglianza

Il radar secondario di sorveglianza (SSR) è un sistema di sorveglianza usato per il controllo del traffico aereo che, a differenza del radar primario di sorveglianza (PSR), il quale è dotato di un solo radar di terra che trasmette un segnale e ne rileva la riflessione del suo target, comprende una interrogazione da un sistema di terra e la risposta da un velivolo. In questo modo si trasmettono informazioni utili per la sorveglianza, come i codici identificativi dei velivoli, l'altitudine, la velocità e molti altri parametri a seconda dei vari modi operativi del sistema.

Il SSR nasce durante la seconda guerra mondiale, con la necessità di identificare l'appartenenza amica/nemica di un velivolo. Oggi invece, questo sistema è maturato da semplice sistema di identificazione a sistema di sorveglianza, e viene ampiamente utilizzato sia nel campo civile che quello militare, per monitorare i cieli, in modo da garantire la sicurezza e l'efficienza dei voli. [1]



Figura 1 - Antenna di un SSR dell'aeroporto militare tedesco "Neubrandenburg"

Questo sistema secondario permette di avere alcuni importanti vantaggi rispetto ai PSR:

- una potenza di segnale minore, poiché i sistemi primari necessitano potenza sufficiente per il ritorno della riflessione del segnale dal velivolo al sistema di terra.
- la possibilità di ricevere molte altre informazioni aggiuntive riguardanti il velivolo e lo stato del volo, al contrario del PSR, che ottiene informazioni solamente dall'analisi del segnale riflesso (direzione, posizione, velocità).
- una affidabilità maggiore nella identificazione e distinzione di diversi velivoli ed una riduzione di eventuali errori.
- l'uso di frequenze diverse tra le stazioni di terra e i velivoli permette di individuare facilmente le situazioni di eco dovuti alla riflessione del segnale da edifici e dalle condizioni meteo

Tuttavia ci sono anche delle limitazioni e delle possibili problematiche:

- il sistema dipende dal funzionamento del transponder del velivolo; un potenziale failure nel sistema non garantisce nessuna informazione. Inoltre sistemi che usano standard non compatibili tra loro non garantiscono il funzionamento.
- potenziali errori dovuti ad interrogazioni e/o risposte multiple possono comportare false informazioni.
- possibili problemi dovuti al mal posizionamento delle antenne a bordo dei velivoli che possono non accorgersi delle interrogazioni.

Il funzionamento del SSR è semplice: l'antenna del sistema radar ruota e trasmette impulsi ai velivoli. I transponder a loro volta rispondono alla interrogazione trasmettendo le informazioni di identificazione richieste. I parametri come la distanza possono essere calcolati dalla differenza temporale tra interrogazione e risposta, mentre la direzione è determinata dalla posizione dell'antenna. [2]

I transponder del SSR lavorano su due frequenze, 1030MHz per le interrogazioni e 1090MHz per le risposte, indipendentemente dal modo operativo, e può avere una portata massima di circa 200NM.

Ci sono diversi modi di interrogazioni che le ground station possono usare, a seconda delle informazioni che si vogliono acquisire.

2.2 Modi A/C

I modi di interrogazione vengono distinti dagli impulsi che vengono trasmessi dai radar. I diversi modi vengono differenziati dai tempi tra i vari impulsi inviati. Per esempio, come mostra la figura seguente, i modi vengono definiti dal tempo tra il primo ed il terzo impulso, che corrispondono a $8\mu\text{s}$ e $21\mu\text{s}$, rispettivamente per i modi A e C.

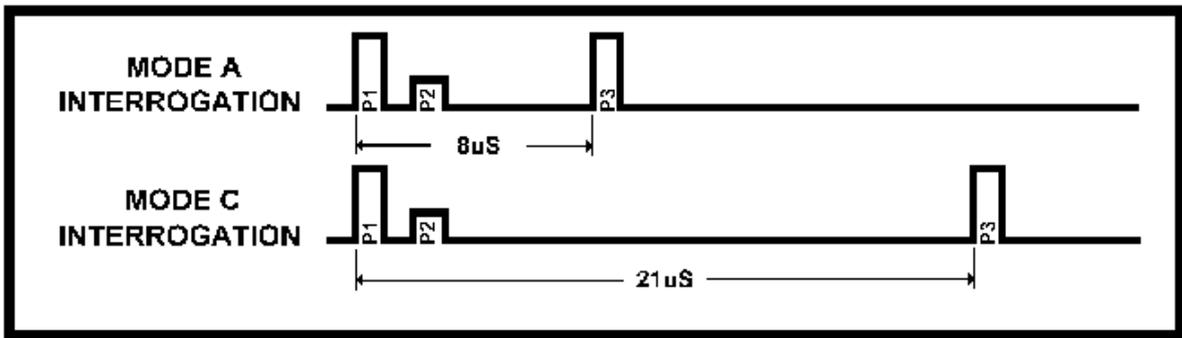


Figura 2 - Interrogazione modi A e C (1030MHz)

Quando il transponder del velivolo riceve una richiesta di interrogazione in modo A, il pilota deve trasmettere in risposta un codice identificativo corrispondente al proprio velivolo. Il modo C invece, richiede la trasmissione della quota del velivolo. I due modi sono separati tra loro, non si possono interrogare i modi A e C contemporaneamente. Tuttavia è pratica comune combinare interrogazioni multiple di modi A e C per ottenere delle serie di interrogazioni (per esempio A/C/A/C oppure A/A/C/A/A/C). [3]

Il modo A presenta solamente 4096 codici di identificazione disponibili. Considerando l'aumento costante del traffico aereo negli anni, questo numero diventa limitante, ed è quindi necessario assegnare i codici ai velivoli in modo tale che non ci siano problemi di duplicazioni nello stesso momento.

Il modo C trasmette l'altitudine in pressione codificata da un codice che esprime i diversi livelli con passo di 100ft.

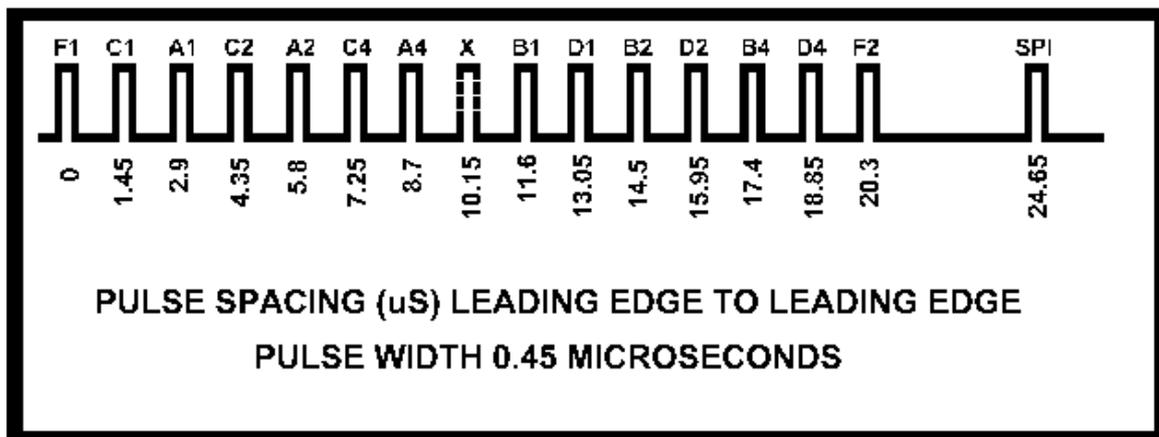


Figura 3 - Risposte modi A e C (1090MHz)

Il formato dei dati in risposta è uguale in entrambi i modi, tuttavia la codifica corretta dei dati avviene solamente con il tipo di modo richiesto.

2.3 Modo S

Il modo S è un metodo di sorveglianza che permette una interrogazione selettiva di un velivolo, ed è nata perché i sistemi SSR precedenti hanno raggiunto dei limiti nelle loro capacità operative. Alcune problematiche, come il numero massimo di target, il carico e le interferenze da radio frequenza, errori di identificazione ed identificazioni perse, rendono il modo S uno sviluppo necessario per garantire sicurezza ed efficienza nella sorveglianza dei cieli. Il modo S garantisce nuove prestazioni, ma rimane comunque retrocompatibili con i sistemi precedenti, poiché lavora nella stessa banda di frequenza 1030/1090MHz, e quindi rende possibili interrogazioni e risposte dei modi A/C

Una novità importante è l'introduzione degli indirizzi a 24 bit, che aumenta notevolmente il numero di codici identificativi utilizzabili. Inoltre il modo S è stato sviluppato con il principio che le interrogazioni siano dirette a velivoli specifici, attraverso l'uso dei codici identificativi. In questo modo, sia i radar che i transponder possono ignorare le interrogazioni e le risposte che non coincidono con gli indirizzi.

L'interrogazione del modo S è definita da un tempo tra gli impulsi P1 e P3 di 3.5μs, seguito da un impulso modulato in fase per la sincronizzazione con il transponder del velivolo ed un blocco di dati, contenenti indirizzi e codici di parità.

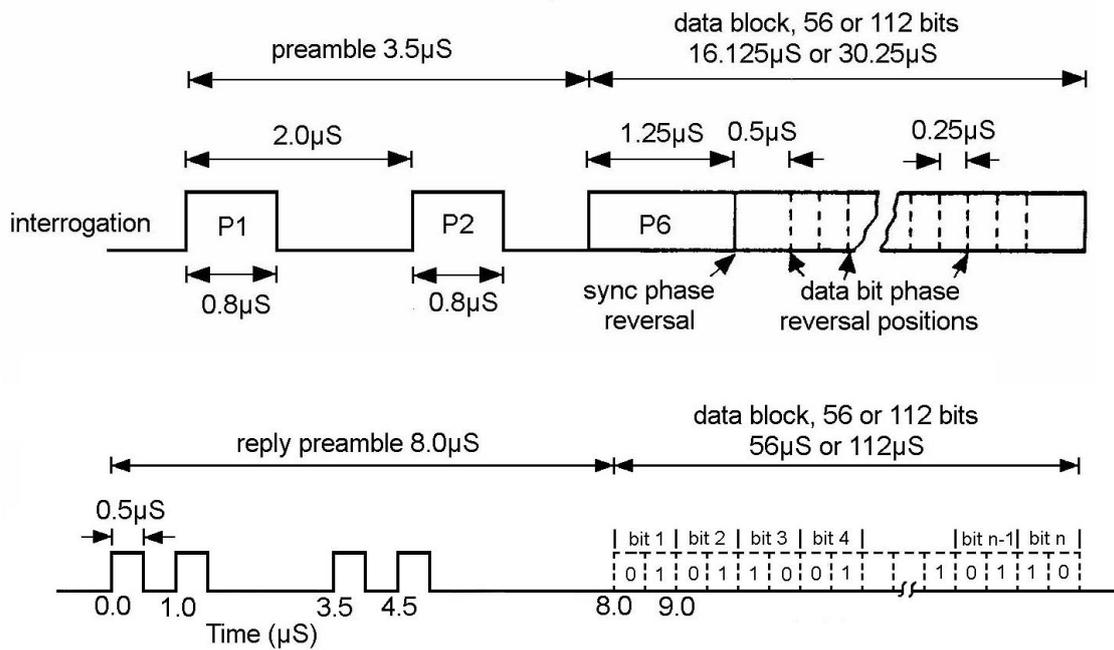


Figura 4 - Interrogazione e risposta modo S

La risposta contiene una serie di impulsi iniziali per distinguere il modo S dai modi A/C. Il resto della risposta contiene i dati richiesti, i codici identificativi e i codici di parità.

Il modo S supporta diversi tipi di interrogazione. Grazie alla retrocompatibilità, supporta i modi A/C, ma la principale novità introdotta con il modo S è la selettività.

La differenza è che con il vecchio metodo all-call, un transponder di un velivolo rispondeva a tutte le interrogazioni ricevute, e questo portava dei problemi di interferenza nelle aere trafficate. Il metodo selettivo permette di bloccare il transponder di un velivolo in modo tale che la comunicazione avvenga solamente da un radar, ignorando quindi le altre interrogazioni provenienti da altri sistemi. Questo permette di ridurre il carico sulla banda 1090MHz, poiché quando una interrogazione avviene in un area trafficata, con il metodo all-call molteplici risposte da diversi velivoli vengono trasmesse, mentre con il metodo selettivo solamente un velivolo risponde alla interrogazione.

Il modo S è stato implementato attraverso l'allocazione di una serie di registri contenenti diverse informazioni utili per la sorveglianza. La ground station a terra può interrogare i transponder richiedendo le informazioni volute contenuti in questi registri.

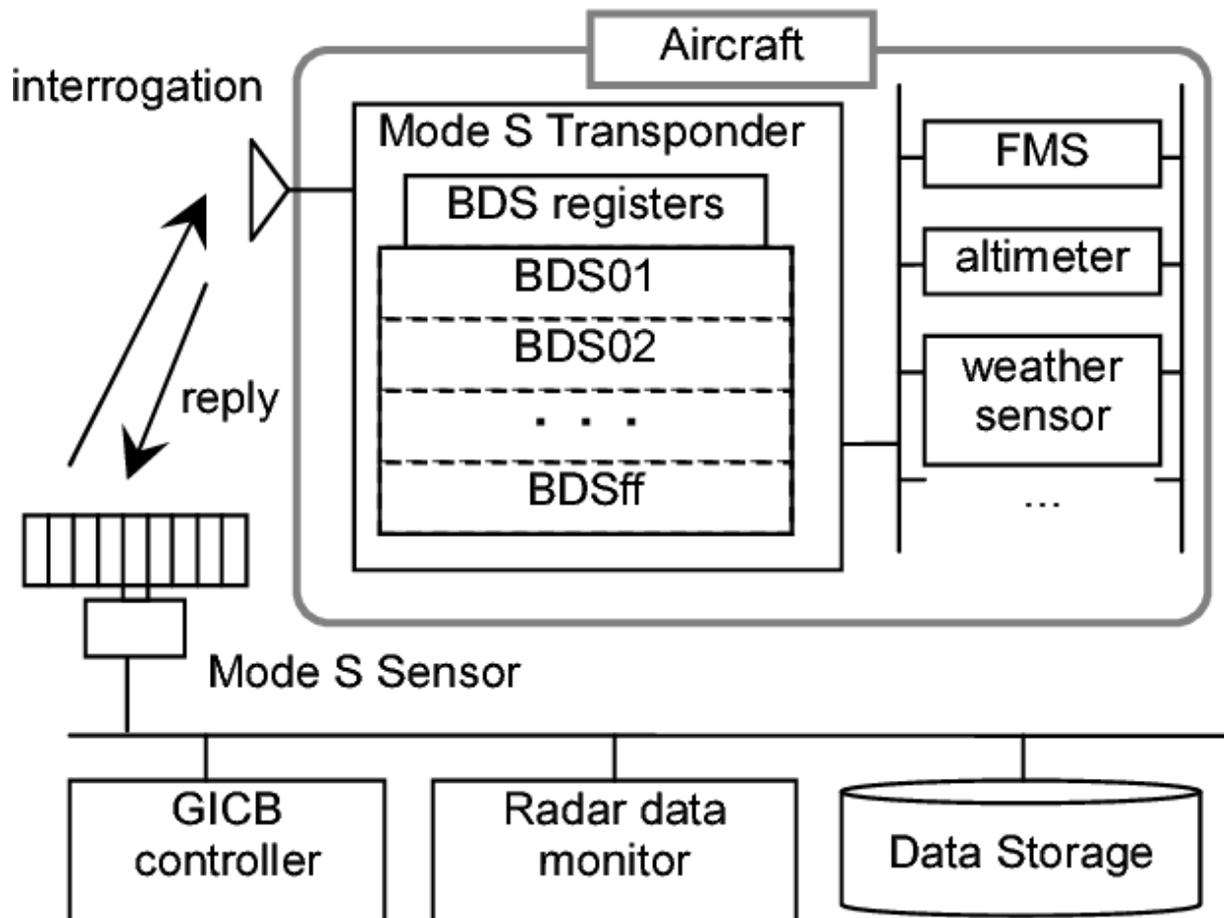


Figura 5 - Schema di funzionamento del modo S

Durante gli anni sono stati sviluppati diverse versioni del modo S

2.3.1 Modo S Elementare

Il ELS fornisce delle nuove funzionalità rispetto ai classici modi A/C:

- Una importante novità è l'identificazione automatica del velivolo che avviene senza la necessità di intervento del pilota.
- Gli intervalli dell'altitudine si riducono da 100ft a 25ft (a seconda delle capacità dei velivoli), migliorando quindi la qualità di informazione.
- L'aggiunta della segnalazione delle caratteristiche tecniche del transponder del velivolo alla ground station, per identificare le capacità del transponder.
- Possibilità di comunicare lo stato di volo (in volo/a terra).
- L'introduzione dei codici SI.

I benefici dell'ELS sono molteplici rispetto ai modi A/C classici sono molteplici.

1. L'introduzione dei codici a 24 bit permette la disponibilità di più di 16 milioni di indirizzi unici da assegnare ai velivoli. Inoltre l'identificazione automatica permette una semplificazione ed un aumento della sicurezza della sorveglianza. Questo mitiga il problema della carenza di codici nel modo A.
2. L'interrogazione selettiva e le capacità maggiori riducono notevolmente i problemi di carico eccessivo sulla banda 1090MHZ, risolvendo i problemi di interrogazioni e risposte multiple che risultavano in perdite di dati o informazioni errate.
3. Agli operatori di controllo viene migliorata la presentazione della situazione aerea, grazie alle nuove capacità e alle tecniche di tracking migliorate. Gli errori sono ridotti e le informazioni sono più affidabili.
4. La riduzione degli errori permette di aumentare la sicurezza dei sistemi di sorveglianza, diminuendo di conseguenza il numero di segnalazioni.
5. Le nuove capacità migliorate permettono di gestire l'incremento del traffico aereo negli anni, garantendo sicurezza ed efficienza.

2.3.2 Modo S Avanzato

Questo modo possiede tutte le caratteristiche dell'ELS, ma sono state aggiunte delle funzionalità in più che permettono di avere a disposizione molte altre informazioni aggiuntive che possono essere trasmesse ai radar, grazie anche all'integrazione con il downlink di parametri DAP.

- L'altitudine selezionata è una delle importanti novità di questo nuovo modo. La possibilità di trasmettere l'altitudine selezionata dal pilota, permette alla ground station di controllo di avere informazioni aggiuntive sulla traiettoria prevista dal velivolo, e ciò comporta un miglioramento della sorveglianza, consentendo di verificare più facilmente possibili conflitti con altri velivoli. L'altitudine selezionata indica la traiettoria finale del velivolo che avrà dopo aver effettuato le manovre. Questo parametro aumenta la sicurezza dei cieli e riduce drasticamente i falsi allarmi di anticollisione.
- I parametri dell'angolo di rollio, dell'angolo true track e della velocità del track angle, permettono di migliorare il tracciamento dei radar di terra. Questi nuovi parametri insieme alla velocità di volo permettono di trasmettere

informazioni alla ground station per rendere più efficiente il tracking del velivolo.

- La velocità di terra, misurata tra il velivolo e la ground station.
- La direzione magnetica rispetto al polo nord magnetico. Questo parametro riduce il carico delle bande che invece si avrebbero per le richieste al pilota.
- Velocità di volo IAS indicata oppure il numero di Mach
- La velocità di ascesa o discesa.



Mode S Required Data items

Parameter	ELS 1207/2011 (Draft CS-ACNS)	EHS 1207/2011 (Draft CS-ACNS)
ICAO 24 bit address	Mandatory	Mandatory
Aircraft identification	Mandatory	Mandatory
Mode A code	Mandatory	Mandatory
Special position indication (SPI or IDENT)	Mandatory	Mandatory
Emergency status (incl. Mode A codes)	Mandatory	Mandatory
Barometric Pressure altitude	Mandatory	Mandatory
<i>Level 2 SI Code capable</i>	Mandatory	Mandatory
Flight Status (Air/Gnd)	Mandatory	Mandatory
Data link capability report (ACAS, Mode S, ES, SI,....)	Mandatory	Mandatory
ACAS traffic status (incl. RA active (TCAS II) etc)	If TCAS II installed	If TCAS II installed
Horizontal Velocity (Ground speed)	-	Mandatory
Vertical rate	-	Mandatory
Selected Altitude (MCP/FCU incl status)	-	Mandatory
Barometric pressure setting	-	Mandatory
Roll Angle	-	Mandatory
True Track Angle	-	Mandatory
Indicated Airspeed (IAS) or Mach	-	Mandatory
Magnetic Heading	-	Mandatory
Track Angle Rate (or true airspeed if "TAR" not available)	-	Mandatory

Figura 6 - Dati trasmessi dai modi ELS e EHS

Tutte queste informazioni addizionali portano ad ulteriori benefici, oltre a quelli del modo elementare:

1. Una quantità aggiuntiva di informazioni dello stato del volo garantisce una migliorata consapevolezza della situazione e permette un monitoraggio di qualità superiore, riducendo gli errori e i falsi allarmi.
2. La possibilità di inviare automaticamente informazioni riguardanti i parametri del volo permette una riduzione del carico di dati nella ricetrasmisione di altri canali, come quelli dello scambio vocale, riducendo il carico ai piloti.

3. L'accesso ai parametri DAP permette di fare un controllo incrociato delle informazioni con altri dati, aumentando di conseguenza la sicurezza dei sistemi di sorveglianza. [4]

2.4 ADS-B

L'ADS-B è una tecnica di identificazione che riceve e trasmette automaticamente, senza necessità di interrogazioni, informazioni tra i diversi velivoli e ground station in modo da garantire l'identificazione e il tracciamento.

Questa nuova tecnica si affida ai velivoli e stazioni di terra che trasmettono la loro identificazione e posizione a tutti. L'ADS-B utilizza i sistemi di navigazione satellitare GNSS per la determinazione della posizione, poiché l'assenza delle interrogazioni elimina la possibilità di calcolare la distanza tra altri radar. Con questa nuova tecnica il velivolo che trasmette le l'identificazione, non ha conoscenza su chi riceve i dati, poiché non c'è più il sistema di interrogazione-risposta.

Viene utilizzata dai velivoli trasmettendo i propri dati. Il segnale può essere ricevuto da una ground station (ADS-B OUT), senza che questa abbia inviato un segnale di interrogazione, oppure può essere ricevuto da altri velivoli (ADS-B IN), per aumentare la consapevolezza del traffico aereo circostante. Questo tipo di sistema, è automatico e quindi non richiede nessun intervento dal pilota, e poiché non c'è nessun segnale di interrogazione e non ci sono altre risposte, il velivolo che ha inviato il segnale non ha conoscenza di chi abbia ricevuto i dati.

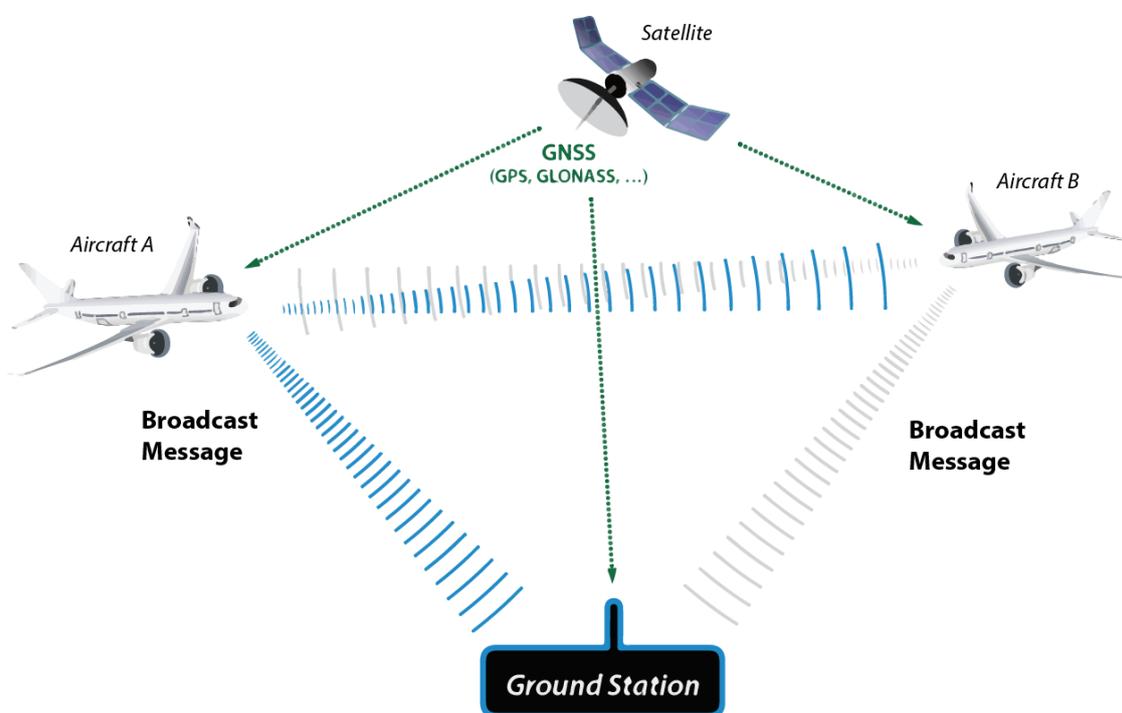


Figura 7 - Modello di scambio di dati con l'ADS-B

L'ADS-B ha molte opportunità in futuro, ed è ben vista da diverse organizzazioni per migliorare la sorveglianza in modo indipendente, tramite la creazione di reti di sorveglianza.

L'introduzione di questo sistema può dare la possibilità per la creazione di ampie reti di sorveglianza con grande copertura, e una possibile sorveglianza tra i velivoli può aumentare l'affidabilità e la sicurezza dei voli, oltre che aumentare la capacità e diminuire i costi delle infrastrutture. I velivoli equipaggiati con questo sistema sono in grado di scambiarsi le informazioni di altitudine, direzione, velocità e distanza, offrendo la possibilità di controllare il traffico aereo a loro circostante.

Altri dati utili possono essere scambiati, come informazioni sul meteo. L'uso dell'ADS-B può quindi portare ad una interoperabilità globale e può garantire nuovi tipi di applicazioni future. [5][6]

L'introduzione dell'ADS-B permette di aumentare la sicurezza e migliorare la sorveglianza, grazie a diversi benefici:

- Una gestione del traffico migliore
- La possibilità di garantire le funzionalità di sorveglianza anche senza stazioni di terra
- Riduzione degli spazi necessari per le manovre
- Miglioramento delle operazioni ad alta quota
- Miglioramento del controllo del traffico aerea in assenza di radar

2.5 Multilaterazione

La multilaterazione (MLAT) è una tecnica di localizzazione che prevede il calcolo della distanza tra una serie di ricevitori (o trasmettitori) ed un trasmettitore (o ricevitore), attraverso la misurazione del tempo di percorrenza del segnale tra il target ed i sensori.

Nella aeronautica, i velivoli ricevitori, acquisiscono i segnali delle stazioni di terra di cui si conoscono già le posizioni. I processi di navigazione iperbolica permettono di determinare le distanze dalle stazioni di terre e quindi di calcolare la posizione del velivolo.

Dal punto di vista matematico, si necessiterebbero di 4 trasmettitori a terra per determinare univocamente la posizione. Con 3 trasmettitori ci sarebbero 2 posizioni possibili, tuttavia è possibile determinarne la posizione poiché una delle due è improbabile e facilmente escludibile.

Questo sistema ha delle differenze e delle similitudine con l'ADS-B. I due sistemi usano tecnologie completamente differenti tra loro: la MLAT misura la distanza attraverso i tempi di arrivo del segnale, mentre l'ADS-B acquisisce la posizione attraverso la decodifica dei dati trasmessi dai satelliti GPS. Tuttavia, hanno in comune il fatto che sono sistemi di broadcasting, e il loro funzionamento prevedono la creazione di reti di sorveglianza. [7][8]

Entrambi i sistemi hanno potenzialità future la gestione della sorveglianza.

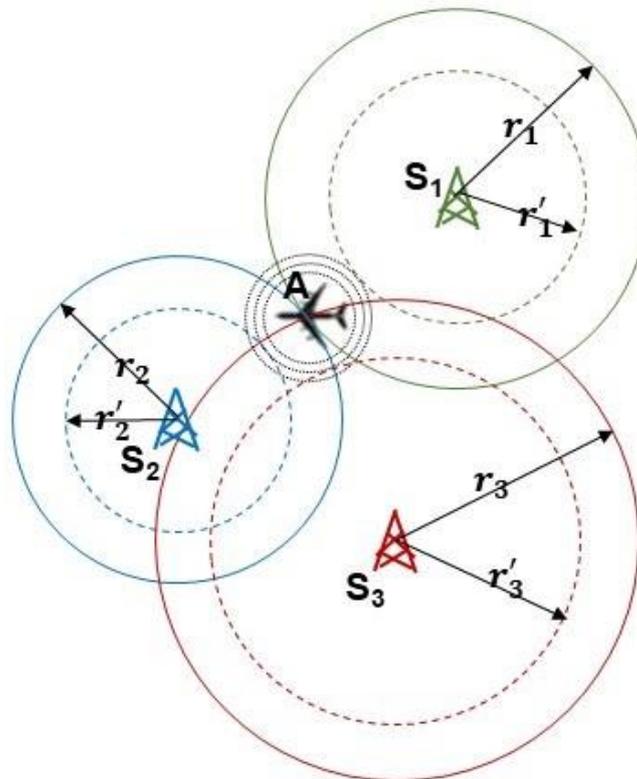


Figura 8 - Esempio di multilaterazione

2.6 WAM

La multilaterazione ad ampia area (WAM) si basa sul principio della multilaterazione, attraverso l'uso delle trasmissioni a 1090MHz dei modi A/C ed S.

Questi sistemi sfruttano l'uso delle trasmissioni dei SSR per determinare le posizioni attraverso il calcolo dei tempi di propagazione dei segnali. La WAM si può adattare a tutte le diverse tipologie e modi di comunicazione del SSR, e non necessitano di modifiche negli equipaggiamenti, poiché usufruiscono dei segnali trasmessi con i sistemi di sorveglianza stessi.

Questo sistema permette la semplificazione e renderebbero i sistemi di sorveglianza meno costosi poiché non necessitano di altro equipaggiamento.

Sebbene il WAM e l'ADS-B funzionano in modo differente, entrambe svolgono un simile ruolo, e l'utilizzo di entrambi i sistemi offre delle soluzioni affidabili, sicure e senza ulteriori costi. [9][10]

2.7 ACAS

Il sistema di prevenzione delle collisioni di volo (ACAS) è un sistema aereo basato sui transponder del SSR che operano indipendentemente dall'equipaggiamento a terra, per

fornire ai piloti consigli su potenziali conflitti tra aerei che sono dotati di transponder SSR.

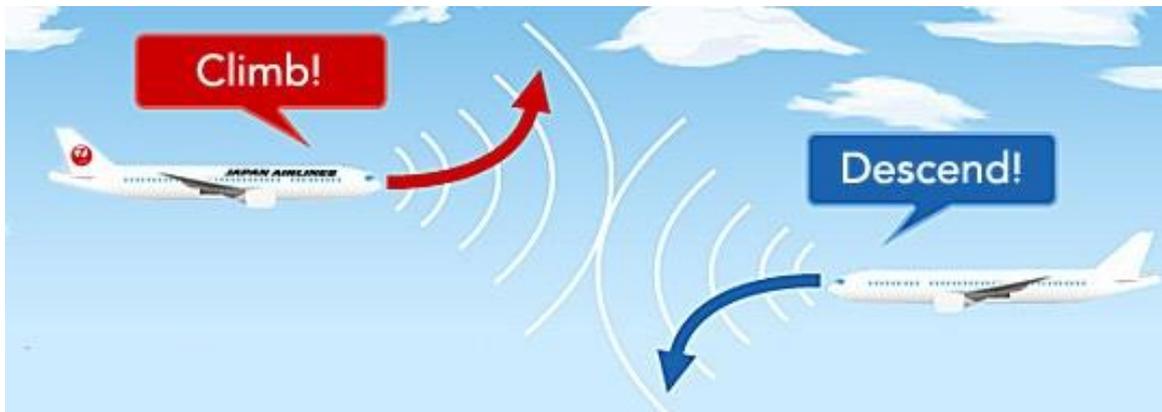


Figura 9 - Esempio di ACAS

È un sistema basato sui modi C e S del SSR. I transponder dei velivoli ricevono segnali rilevati nelle vicinanze, ed in base alle informazioni, confrontano i parametri relativi all'altitudine e direzione dei due velivoli. In caso di possibile collisione, l'ACAS avvisa i piloti attraverso delle segnalazioni, e suggerisce delle manovre per evitare la collisione.

Se un rischio di collisione viene stabilito dai sistemi ACAS di due velivoli, i sistemi allertano i piloti e generano delle manovre per evitare la collisione. Una volta che un sistema ACAS stabilisce una manovra di ascesa o discesa, viene comunicato, attraverso un collegamento con modo S, all'altro velivolo una manovra complementare per evitare la collisione.

L'ACAS può individuare solamente i velivoli dotati di SSR, in caso contrario, il sistema non fornirà nessuna informazione utile. [11]

2.8 SSR Monopulso

Il SSR, poiché usa solamente un banda (1030MHz in interrogazione e 1090MHz in risposta) soffre di due problematiche relative a interrogazioni e risposte multiple:

- Nel caso di più velivoli nelle vicinanze che ricevono delle interrogazione, è possibile che le risposte dei diversi transponder vengono sovrapposte l'una con l'altra nei radar, creando delle sovrapposizioni di segnale e di conseguenza si perdono informazioni. Questo problema viene solitamente conosciuto come 'garbling'.
- Nel caso invece di radar e velivoli multipli in vicinanza, che inviano risposte a dei radar che aspettano la risposta di altri velivoli, si creano degli errori nella lettura chiamati 'FRUIT'.

Un sistema di radar secondario di sorveglianza monopulso (MSSR) riducendo la frequenza delle interrogazioni e analizzando i segnali ricevuti, riesce a ridurre in modo

rilevante queste due problematiche di interferenza, aumentando oltretutto l'accuratezza direzionale rispetto al SSR. [12]

3. Amendment ICAO e regolamentazioni europee

3.1 ICAO Annesso 10 volume IV

La necessità di avere degli standard nell'ambito aeronautico che vanno oltre i confini delle singole nazioni cresce durante gli anni 40', e per questo motivo nel 1947 nasce l'ICAO, l'organizzazione internazionale per l'aviazione civile, un'agenzia delle nazioni unite che ha come obiettivo lo sviluppo dell'aviazione civile e la preservazione dell'amicizia e comprensione tra le diverse nazioni. [13]

Da decenni, gli standard e le raccomandazioni pratiche (SARP) vengono aggiornate, in modo tale da garantire sicurezza ed affidabilità dei sistemi aeronautici, ma anche efficienza e sostenibilità economica dei sistemi.

Limitandoci allo studio della sorveglianza radar e dei sistemi di prevenzione delle collisioni, l'annesso 10 volume IV introdotto nel 1995 con l'amendment 70, è il documento dell'ICAO che definisce gli standard e le pratiche raccomandate riguardanti questi sistemi. Negli anni diversi amendment hanno aggiunto o modificato parti del volume IV. La tabella qui riportata riassume i cambiamenti principali dell'annesso 10: [14]

Amendment	Soggetto
70 (1995)	Creazione del vol. IV ed introduzione degli SARP relative all'ACAS
71 (1996)	Modifiche relative al modo S e al SSR
73 (1998)	Modifiche relative al modo S e all'ACAS
74 (1999)	Modifiche relative al modo S ES
76 (2001)	Modifiche relative ai regolamenti radio ITU
77 (2002)	Introduzione dell'ADS-B e modifiche relative al modo S e all'ACAS
82 (2007)	Modifiche relative all'ADS-B
85 (2010)	Modifiche relative al SSR, modi A/C/S, ADS-B, MLAT e ACAS
89 (2014)	Modifiche relative al modo S, ADS-B e MLAT
90 (2018)	Modifiche relative all'ACAS, ADS-B e MLAT

Tabella 1. Amendment relativi all'annesso 10 volume IV

Bisogna aggiungere che, oltre all'annesso 10, ci sono altri manuali compresi nella serie di documenti dell'ICAO, che descrivono ed approfondiscono i funzionamenti e le specifiche dei sistemi di sorveglianza.

Il rispetto degli standard e delle pratiche raccomandate (SARP) viene obbligato attraverso gli stati membri. L'ICAO ha come obiettivo la standardizzazione dei sistemi in tutti gli stati, in modo da garantire la compatibilità dei velivoli oltre i propri confini nazionali. I singoli stati sono tuttavia liberi di scegliere quali standard adottare, e anche di imporre vincoli e specifiche più stringenti a seconda delle loro necessità, perciò non è detto che sistemi adottati in uno stato siano automaticamente in conformità con le norme di un altro.

Diversi enti come l'RTCA negli USA e l'EUROCAE in Europa definiscono degli standard minimi di prestazione operativa corrispondenti agli standard specificati dalle documentazioni ICAO e non è inusuale che diversi enti internazionali lavorino insieme tra loro per produrre documenti comuni. [15] In questo studio, per l'analisi più dettagliata sulle applicazioni degli standard ICAO, si prenderanno in considerazione solamente le regolamentazioni europee.

3.1.1 Amendment 77 (2002)

Con l'amendment 77, la definizione dei transponder con modo S diventa relativamente matura e stabile, avendo a disposizione tutte le capacità.

La definizione dei registri del modo S relativi ai parametri da trasmettere viene aggiunta al volume III. In queste modifiche viene definita la prima versione dell'ADS-B (Version 0). Con questo amendment si hanno quindi le definizioni degli standard per i modi S (ELS e EHS) e l'ADS-B.

L'amendment 77 richiede che entro il 2005 tutti i transponder con modo S modifichino i livelli di altitudine di pressione da 100ft a 25ft e l'abilitazione dei codici SI.

3.1.2 Amendment 82 (2007)

Una serie di cambiamenti sono stati adottati nel 2007 attraverso l'amendment 82 che influenzano i volumi III e IV, riguardanti il modo S.

Lo scopo principale di queste modifiche sono la definizione dei formati e protocolli del modo S, e l'introduzione della seconda versione dell'extended squitter per l'ADS-B. Qui sotto sono elencati alcuni di questi cambiamenti: [16]

1. Miglioramento della quantizzazione dell'altitudine di pressione da 100ft (circa 30 metri) a 25ft (circa 8 metri) per garantire all'ACAS e ai radar di terra un tracking più accurato.
2. Chiarificazione dei requisiti per cross-link dell'ACAS
3. Modifica per garantire la trasmissione ES 1090MHz ai dispositivi non-transponder
4. Aggiunta di un requisito per risposte non richieste quando si ricevono interferenze a onde continue di basso livello (CW)
5. Aggiunta di un requisito in presenza di interferenze a onde continue di basso livello (CW)
6. Aggiunta di un formato per scopi militari per ridurre le possibili interferenze FRUIT

7. Miglioramento dei protocolli riguardante i rapporti sulla capacità dei data link
8. Miglioramento dei protocolli riguardante l'inserimento di dati dell'altitudine di pressione
9. Modifica del requisito riguardante le condizioni di terra e della convalida dello squat switch

3.1.3 Amendment 85 (2010)

L'amendment 85 ha diversi obiettivi riguardanti il modo S, l'ADS-B, l'ACAS, la multilaterazione:

- limitare il numero di errori garbling e FRUIT, e migliorare la robustezza contro le interferenze da radio frequenza
- aggiornare le allocazioni degli indirizzi dei velivoli ai diversi stati della tabella di 24-bit;
- aggiornare le SARPs del SSR, del ADS-B e del ACAS;
- introduzione di nuovi requisiti per il fit e retrofit delle nuove installazioni ACAS;
- introduzione dei sistemi multilaterazione e definizione dei requisiti, con particolare attenzione al potenziale inquinamento dovuto alle radio frequenze
- aggiunta di requisiti tecnici per le applicazioni di sorveglianza aerea che contengono requisiti funzionali e a livello di sistema per i sistemi di bordo utilizzati per l'elaborazione e la visualizzazione di altro traffico sulla base delle informazioni ricevute da ACAS e ADS-B

Qui sotto sono elencati alcuni di queste modifiche:

1. Aggiunta di un requisito per i transponder riguardante l'ACAS per la ricezioni di modi A/C, in modo da ridurre errori FRUIT
2. Aggiunta limitazione di risposte nei modi A/C da interrogazioni di modo S di basso livello
3. Miglioramento dei protocolli riguardante condizioni di segnalazione temporanea
4. Modifiche di condizioni a terra

In entrambi questi ultimi due amendment non ci sono state modifiche riguardanti i parametri dei modi S elementare ed avanzato. Con questo amendment si aggiunge una nuova versione dell'ADS-B che rimane comunque retrocompatibile con quella precedente. [17][18]

3.1.4 Amendment 89 (2014)

Gli obiettivi principali di questo amendment sono di ridurre le interferenza da radio frequenza e migliorare la sicurezza dei sistemi di sorveglianza. Per fare questo:

- Si aggiungono altre modifiche per diminuire il numero di risposte del SSR, bloccando i modi A/C e S solo con interrogazioni all-call dal 2020, in modo da diminuire i carichi sulla frequenza 1090MHz ed aumentare la sicurezza.
- Dal 2020 i velivoli dovranno garantire il controllo di parità dei dati per risolvere le problematiche dovute al BDS swap.
- Per i velivoli senza lo squat switch, il transponder aereo può essere forzato a trasmettere la sua posizione. C'è una revoca di una modifica precedente, ritornando all'amendment 77
- I velivoli devono essere forniti di equipaggiamenti per l'identificazione di altri velivoli.

L'obiettivo di ridurre le interferenze da radio frequenza entro il 2020, serve per garantire che il modo S continui a funzionare in sicurezza anche con l'aumento del traffico aereo negli anni.

L'ADS-B subisce modifiche riguardanti i parametri trasmissibili introducendo una nuova versione.

La multilaterazione subisce dei miglioramenti con dei requisiti di protezione dello spettro. [19]

3.1.5 Amendment 90 (2018)

Il più recente amendment riguardante l'annesso 10 vol. IV, è l'amendment 90 del 2018, che tocca diversi punti: l'ACAS e WAM.

1. L'ACAS subirà diverse modifiche che impatteranno in modo positivo sulla sicurezza, introducendo una nuova tecnologia ibrida, e sulla efficienza, garantendo una riduzione del lavoro dell'ATC attraverso un sistema di notifiche automatico sui cambiamenti dell'identificazione dei velivoli. Tuttavia si avranno anche impatti negativi sui costi, per la necessità di nuovo equipaggiamento a terra, oltre alle tempistiche necessarie per le diverse modifiche implementate, richiedendo più tempo per le nuove tecnologie.
2. Le modifiche relative al radar di sorveglianza secondario e alla multilaterazione ad ampia area forniscono chiarimenti sul WAM e sulla introduzione e specifiche tecniche dell'impulso X. I provvedimenti sono finalizzati a garantire l'interoperabilità dei sistemi SSR civili e militari al fine di evitare impatti di sicurezza sul funzionamento del sistema di sorveglianza aeronautica.

Queste modifiche garantiranno miglioramenti sulla sicurezza senza avere nessun impatto negativo sui costi. Le tempistiche per implementare tali modifiche richiederebbero un tempo relativamente corto di 1 o 2 anni. [20][21]

3.2 Regolamentazioni europee

I regolamenti ICAO vengono applicati attraverso gli stessi stati membri, in modo da garantire la interoperabilità. Tuttavia i singoli stati hanno libero arbitrio sulla scelta

degli standard da adottare, e hanno la possibilità di imporre vincoli e specifiche più stringenti a seconda delle loro necessità. In Europa, nasce l'idea di adottare gli stessi standard e le stesse procedure tra i diversi paesi per favorire sicurezza ed efficienza maggiore.

Il cielo unico europeo (SES) è un'iniziativa della commissione europea, nata nel 2004 per risolvere alcuni problemi che l'Europa stava affrontando, come una serie di ritardi nei voli avvenuti negli anni precedenti. Furono istituiti degli organismi tecnici per aiutare l'UE nella creazione delle leggi riguardanti l'aviazione.

Nel 2004 nasce quindi il SES (Single European Sky), con diversi obiettivi comuni ai membri dell'EU:

- Aumentare la sicurezza e l'efficienza nell'aviazione civile
- Ridurre i ritardi, ottimizzando l'uso delle risorse
- Migliorare i servizi e ridurre i costi ai passeggeri
- Integrare i sistemi militari nella gestione del traffico aereo

La frammentazione dei sistemi riguardanti l'aviazione civile è causa di diversi problemi, come costi maggiori e disomogeneità delle pratiche, oltre al fatto che i sistemi sono progettati tenendo in considerazione i confini nazionali. Il SES cerca quindi di aiutare a risolvere queste problematiche attraverso delle regolamentazioni.

Nel 2004 sono proposte una serie di regolamentazioni per aiutare la crescita dell'aviazione civile nello scenario europeo e per aumentare la sicurezza. Questo garantisce un'interoperabilità nei paesi membri del SES aiutando nella maggiore efficienza e capacità dei sistemi. [22]

Questi sono alcune delle prime regolamentazioni adottate nel 2004, riguardanti gli aspetti più importanti nell'aviazione civile

- N. 549/2004, per la creazione e definizione del SES
- N. 550/2004, per i servizi di navigazione aerea (ANS) nel SES
- N. 551/2004, per l'organizzazione e l'uso dello spazio aereo nel SES
- N. 552/2004, per l'interoperabilità della gestione del traffico aereo nel SES

Negli anni, molte altre regolamentazioni successive sono state adottate. In questo studio ne vengono analizzate alcune, principalmente quelle in riferimento ai documenti dell'ICAO annesso 10 vol. IV sulla sorveglianza e prevenzione delle collisioni.

3.2.1 Regolamento N. 262/2009

Questo regolamento definisce i requisiti per l'allocatione e l'uso dei codici nelle interrogazioni con modo S nel SES. L'obiettivo è quello di supportare la distribuzione del numero crescente delle interrogazioni con modo S, e per risolvere problematiche relative alla disponibilità di codici di identificazione per l'interrogazione.

Questo è uno dei primi regolamenti con lo scopo di supporto all'attuazione del regolamenti riguardanti l'interoperabilità.

Nel SES è importante che due interrogazione con il modo S non utilizzino lo stesso codice. Pertanto, è necessario coordinare l'allocazione e l'uso di quei codici dell'interrogatore in modo efficiente.

Questo regolamento stabilisce i requisiti per il coordinamento sull'assegnazione e l'uso dei codici di interrogazione con il modo S, per avere sistemi di sorveglianza sicuri ed efficienti. Per quanto riguardano le unità militari, ogni stato deve adottare delle misure per garantire che l'assegnazione e l'uso dei codici di interrogazione non abbia un impatto negativo sulla sicurezza del traffico aereo generale.

Gli operatori devono garantire il supporto dell'uso dei codici SI e II definiti dall'ICAO e dalle regolamentazioni europee.

I membri devono verificare la validità dei codici e comunicarlo attraverso il sistema centralizzato gestito da EUROCONTROL per il coordinamento. Il sistema esegue una serie di controlli, e comunica ogni suo aggiornamento ai membri.

Il regolamento prevede di valutare i possibili impatti dovuti ai conflitti di codice e le potenziali perdite dei dati di sorveglianza. Tali pericoli devono essere adeguatamente valutati e mitigati. Gli operatori devono implementare sistemi di monitoraggio per la rilevazione di conflitti dei codice. Qualsiasi conflitto identificato deve poi essere segnalato allo Stato membro competente.

I membri devono garantire che l'assegnazione dei codici e lo sviluppo ed il mantenimento dei manuali operativi riguardanti le istruzioni e le informazioni necessarie per consentire al personale di applicare le disposizioni del presente regolamento. I manuali devono essere accessibili e tenuti aggiornati. Inoltre devono avere un personale formato per le proprie funzioni, informato sulle disposizioni pertinenti e le procedure devono essere conformi alle specifiche dei regolamenti.

Questo regolamento ha subite successive modifiche con l'introduzione del regolamento 2016/2345, per l'aggiornamento riguardo alle disposizioni ICAO. [23][24]

3.2.2 Regolamento N. 1206/2011

Il regolamento 1206/2011 del 22 novembre 2011, ha l'obiettivo di definire dei requisiti riguardanti i dati e le procedure riguardante i sistemi di sorveglianza nel SES.

Questo regolamento definisce diverse tipologie di requisiti, come requisiti di performance, sicurezza e molti altri. Alcuni di questi vengono sintetizzati qui sotto:

I membri del SES devono garantire la capacità di identificare i velivoli utilizzando l'identificazione in downlink per almeno la metà di tutti i voli che passano nel proprio territorio o metà del numero totale di arrivi e partenze combinate.

Gli ANS devono garantire la capacità di identificare i velivoli tramite identificazione in downlink entro il 2020. Inoltre devono garantire che i sistemi a terra siano implementanti con i requisiti descritti dai regolamenti e che eventuali errori di duplicazione di codici identificativi devono essere segnalati. Tutti i membri devono

garantire la segnalazione agli ANS coinvolti i codici di visibilità dei voli idonei. Questi codici sono concordati da tutti i membri e sono assegnati solamente per le funzioni di identificazione in downlink.

Gli Stati membri devono garantire che eventuali modifiche o aggiunte di sistemi di identificazione siano prima sottoposti a una valutazione per la sicurezza.

Gli ANS devono garantire una verifica certificata, da loro stessi o tramite subappalto, dei sistemi di identificazione. La certificazione deve dimostrare la conformità dei requisiti definiti. Oltre a ciò, devono garantire una adeguata formazione del personale coinvolto, sviluppare e mantenere aggiornati i manuali operazionali, il funzionamento corretto dei metodi e delle procedure operazionali.

Gli operatori devono garantire che il personale che opera ed effettua la manutenzione sia adeguatamente formato, e le istruzioni su come utilizzare tali apparecchiature siano disponibili nella cabina di pilotaggio. Devono anche garantire che l'identificazione in downlink sia disponibile quando richiesto dal punto di vista operativo, e che non sia modificata durante il volo, a meno che non sia richiesto dai fornitori ANS.

Questo regolamento è stato poi modificato dal regolamento N. 2020/587, dove il cambiamento più importante è stato l'aggiunta di una nuova disposizione riguardante i velivoli di Stato per operazioni sensibili a livello nazionale, che possono richiedere maggiore sicurezza e riservatezza, e per tale motivo non è necessario assegnare un codice identificativo. [25][26]

3.2.3 Regolamento N. 1207/2011

Il regolamento N. 1207/2011 del 22 novembre 2011 della commissione europea, ha l'obiettivo di definire dei requisiti riguardanti performance ed interoperabilità dei sistemi di sorveglianza nel SES.

In particolare, si stabiliscono i requisiti sui sistemi che contribuiscono alla fornitura dei dati di sorveglianza, i loro componenti e le procedure associate, al fine di garantire un bilanciamento tra prestazioni, interoperabilità ed efficienza di questi sistemi, e ai fini del coordinamento civile-militare nel SES.

Come nel regolamento precedente, anche questo si applica a tutta la catena riguardante i sistemi di sorveglianza.

L'obiettivo è quindi quello di stabilire requisiti di prestazioni, interoperabilità, protezione dello spettro e di sicurezza per la sorveglianza e attuare tutte le procedure di facilitazione necessarie.

Oltre a ciò, la più importante novità del regolamento è la richiesta agli operatori aerei di garantire che tutti i velivoli siano conformi ai requisiti riguardanti il modo S elementare (ELS) del SSR. Per la categoria di velivoli che comprende gli aeromobili con una massa al decollo superiore a 5700kg o una velocità di volo massima superiore a 250 nodi, il regolamento stabilisce la richiesta agli operatori aerei di garantire che tutti i velivoli siano conformi ai requisiti riguardanti il modo S avanzato (EHS) con extended squitter e l'ADS-B OUT. Le date definite dal regolamento sono l'8 gennaio 2015 per i nuovi velivoli, e 7 dicembre 2017 per il retrofit.

Nello stabilire questi requisiti, il regolamento garantisce che il nuovo equipaggiamento siano “future proof”, cioè che saranno garantite il supporto a tutte le tecniche di sorveglianza attualmente utilizzate o previste per l'uso in futuro.

Il regolamento introduce anche un requisito per la valutazione della sicurezza. Modifiche ai sistemi nuovi o già esistenti devono essere precedute da una valutazione della sicurezza, compresa l'identificazione dei pericoli, la valutazione del rischio e la mitigazione. [27][28]

Questo regolamento è stato poi modificato più volte da altri regolamenti:

1. Il regolamento N. 1028/2014
2. Il regolamento N. 2017/386
3. Il regolamento N. 2020/587

3.2.4 Regolamento N. 1028/2014

Questo regolamento ha aggiunto delle modifiche al regolamento 1207/2011 per rimandare le date finali riguardanti l'implementazione dell'ADS-B OUT e EHS.

L'estensione di queste date serve per garantire un tempo addizionale sufficiente per raggiungere i requisiti necessari. Diversi motivi hanno prolungamento i tempi.

Solitamente le specifiche vengono emesse almeno 2 anni prima dalla data di implementazione per garantire il tempo necessario agli operatori, tuttavia questa normativa non offriva questo tempo, rendendo necessario un prolungamento delle date.

Oltre a ciò, i ritardi nelle certificazioni, la poca disponibilità degli equipaggiamenti e le capacità industriale hanno contribuito alla necessità di tempo addizionale per l'implementazione.

Le nuove date per i velivoli massa al decollo superiore a 5700kg or velocità di volo IAS maggiore di 250knots sono: 8 giugno 2016 per i nuovi velivoli e 7 giugno 2020 per i retrofit e velivoli di stato. [29][30]

3.2.5 Regolamento N. 2016/2345

Questo regolamento porta delle modifiche al regolamento 262/2006 e 1079/2012 per aggiornarle alle nuove disposizioni ICAO.

Per il regolamento 262/2006, le nuove disposizioni riguardano la nuova edizione dell'annesso 10, e l'introduzione del amendment 89, che vanno a sostituire alcune modifiche all'amendment 77.

Queste modifiche aggiungo delle nuove disposizione riguardanti i codici interrogatori nel vol. IV e le capacità del data link del modo S nel vol. III.

Le modifiche al regolamento 1079/2012 fanno riferimento al documento ICAO 4444 per le procedure per i servizi di navigazione aerea. [31][32]

3.2.6 Regolamento N. 2017/386

Questo regolamento porta modifiche al regolamento N. 1207/2011 per concedere del tempo aggiuntivo agli operatori per la conferma dei requisiti sull'equipaggiamento.

Diversi motivi hanno portato a questa decisione di posticipare le date per l'implementazione:

- Alcune inconsistenze del regolamento N. 1207/2011 non hanno dato il tempo necessario agli operatori per adeguarsi ai nuovi requisiti.
- I ritardi nelle certificazioni e le disponibilità degli equipaggiamenti rendono necessaria l'aggiunta di tempo per le implementazioni.
- I membri devono garantire il possesso di strumenti necessari per evitare la produzione di interferenze dannose da parte dei sistemi di sorveglianza. A causa delle problematiche di disponibilità viene concesso più tempo per conformarsi a questi requisiti.
- Il tempo aggiuntivo riguardano anche i velivoli di stato per adeguarsi alle diverse problematiche elencate

La nuova data per l'implementazione dei requisiti è il 7 giugno 2020 (inizialmente 7 dicembre 2017) [33][34]

3.2.7 Regolamento N. 2020/587

Questo regolamento porta modifiche ai regolamenti N. 1206/2011 e N. 1207/2011 riguardanti i requisiti sui sistemi di identificazione dei velivoli per la sorveglianza, le performance e l'interoperabilità nel SES.

Tra le modifiche:

- Le nuove disposizione garantiscono la possibilità ai velivoli di stato che richiedono riservatezza di non essere soggetti alle obbligazioni sui codici di visibilità, potendo quindi richiedere la non assegnazione.
- L'aggiunta dell'obbligo per i provider per i servizi di navigazione aerea di segnalazione in caso di deviazione dai requisiti di prestazione definiti.
- Il prolungamento delle date per l'implementazione dei requisiti di equipaggiamento del modo S elementare per garantire del tempo aggiuntivo: la nuova data è 7 dicembre 2020 (inizialmente 7 giugno 2020)
- Nuova disposizione per gli operatori dei velivoli che devono garantire i requisiti di equipaggiamento entro il 7 giugno 2023.
- Disposizione per garantire l'uso massimo di 3 giorni per i velivoli con transponder temporaneamente non operativo.
- Modifica sulla disposizione che richiedevano la conformità fino all'amendment 85 dell'ICAO. Per motivi di costi il regolamento modifica la conformità fino all'amendment 77.

- La disposizione riguardante l'obbligo dell'ADS-B da parte dei membri è revocata.
- La disposizione riguardante l'obbligo di controllo delle attrezzature ogni 2 anni è revocata.
- Modifica sulle disposizioni riguardanti l'assegnazione degli indirizzi a 24-bit portando la conformità dall'amendment 85 all'amendment 90 dell'annesso 10

Altre modifiche che non vengono tenute in considerazione per questo studio comprendono modifiche riferite agli annessi II e IV dell'ICAO. [35][36]

4. Analisi delle differenze amendment

Ora che abbiamo una visuale completa degli amendment e delle regolamentazioni europee che coinvolgono i sistemi di sorveglianza possiamo fare diversi analisi. In questo capitolo faremo diversi studi sugli effetti delle diverse regolamentazioni

4.1 Evoluzione dei sistemi di sorveglianza

In questa parte analizzeremo i principali sistemi di sorveglianza che hanno subito modifiche nei vari amendment e ne studieremo l'evoluzione negli anni.

4.1.1 Modo S Elementare

Il modo S elementare viene definito nel amendment 77, aggiungendo requisiti sulla sicurezza.

Ad esempio, le conseguenze di errori o la perdita di trasmissione da parte del transponder di ID aeromobile, altitudine e stato del volo sono minori. Non è un requisito quantificato ma lo sarà essere utilizzato dal richiedente per dimostrare il livello di sicurezza. È chiaramente specificato che non è molto requisito esigente perché si presume che ELS sarà utilizzato dai controllori e soggetto a verifica o controllo.

Il principale miglioramento associato all'introduzione del modo S Elementare è la capacità di identificare automaticamente un velivolo in modo univoco grazie all'introduzione degli indirizzi a 24 bit, che garantisce un codice unico per ogni velivolo.

La nuova funzionalità di identificazione automatica diventa un passo importante per migliorare le informazioni di sorveglianza, combinando i dati della modalità S con le informazioni del volo.

Negli anni, gli amendment sostanzialmente non hanno modificato il funzionamento del modo S Elementare, e questo ha favorito la sua implementazione, garantendo stabilità. Le modifiche che hanno toccano il ELS sono state aggiunte per aumentare la sicurezza del sistema di sorveglianza.

4.1.2 Modo S Avanzato

Il modo S avanzato viene definito nell'amendment 77 e come per il ELS le modifiche apportate hanno lo scopo di aumentare i requisiti di sicurezza.

Il modo EHS permette di trasmettere molti parametri di volo (DAP), grazie alla sua capacità in down link e all'interrogazione.

I parametri che sono richiesti per il modo S Avanzato sono i seguenti:

- Altitudine selettiva

- Angolo di rollio
- Angolo True Track
- Velocità angolare del True Track oppure velocità di volo vera
- Velocità di terra
- Direzione magnetica
- Numero di Mach
- Velocità di ascesa/discesa

I vari parametri non hanno subito modifiche nel corso degli anni nell'annesso 10.

Il BDS swap è un errore che avviene quando ci sono interrogazioni multiple nello stesso momento. Questo è un problema che di solito avviene nelle zone più dense, come gli aeroporti, quando ci sono più interrogatori con modo S.

Questo errore causa una diminuzione sull'efficienza dei sistemi di sorveglianza. Nell'amendment 89 vengono aggiunte delle modifiche per limitare questo tipo di errore.

Grazie a questa modifica, si può evitare il rilevamento e la segnalazione dei conflitti dovuti a questi errori riducendo le segnalazioni errate e migliorando la gestione della sorveglianza.

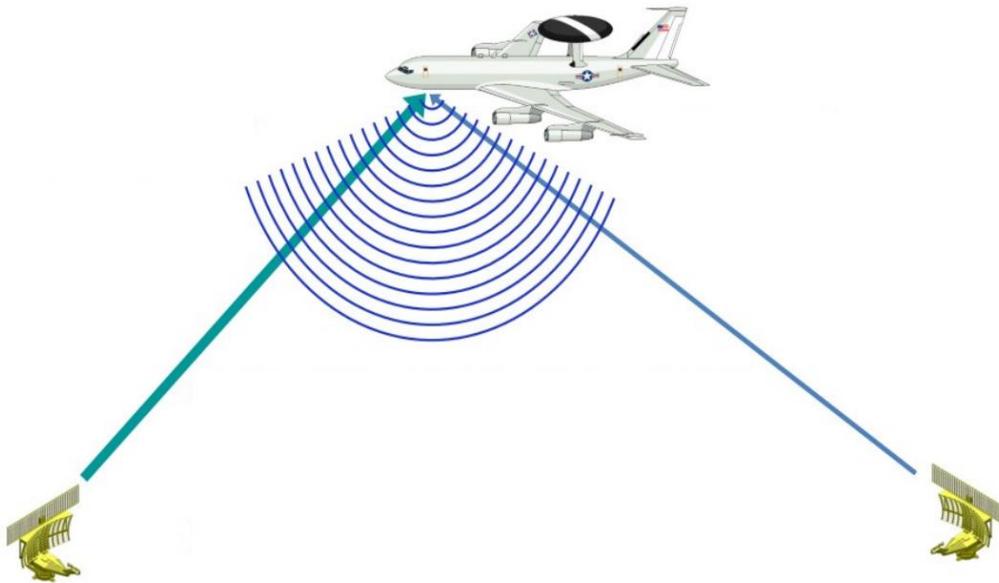


Figura 10 - Esempio di BDS swap

4.1.3 ADS-B

Al contrario dei modi S, l'ADS-B ha subito diverse modifiche negli anni nell'annesso 10. I diversi amendment hanno introdotto 3 versioni differenti. L'amendment 77

definisce nel 2002 la prima versione dell'ADS-B ed i requisiti vengono poi estesi con l'amendment 85, dove avviene l'introduzione di una seconda versione dell'ADS-B.

La regolamentazione europea N. 1207/2011 fornisce le definizioni dettagliate e le procedure, imponendo il 2020 come l'ultima data per implementare l'ADS-B a tutti velivoli con massa di take-off maggiore di 5700kg oppure ai velivoli con velocità vera.

Con l' amendment 85 ci sono diverse modifiche per ridurre il carico della frequenza 1090MHz, e una modifica relativa allo squat switch.

L'amendment 89 introduce diverse modifiche, come l'abolizione dell'uso della sola modalità all-call nei modi A/C/S, l'introduzione dei codici di parità per il controllo dei dati e la revoca della modifica precedente riguardante lo squat switch, tornando di fatto all'amendment 77.

Le modifiche più importanti che sono state aggiunte alle nuove versioni dell'ADS-B riguardano principalmente il formato e la struttura dei dati. Con queste modifiche si sono introdotti, duplicati e/o rilocati i registri dei dati dell'ADS-B.

Andando nel particolare, l'ultima versione introduce dei cambiamenti significativi riguardanti alcuni registri:

- Registro 05
- Registro 61
- Registro 62
- Registro 65

Le modifiche principali riguardanti questi registri consistono nella riallocazione dei campi all'interno dei registri per la necessità di nuovi formati introdotti.

4.2 Parametri dei sistemi di sorveglianza

In questa parte si analizzano i parametri relativi ai modi ELS, EHS e ADS-B per poi confrontare le differenze e analizzare i risultati.

4.2.1 Modo S Elementare

Il modo S Elementare introduce diversi parametri:

- Indirizzo a 24 bit
- Codice di identificazione modo A
- Altitudine barometrica
- Stato di volo
- Identificazione del velivolo
- Stato di emergenza
- Notifica di esecuzione ACAS

- Capacità transponder
- Capacità del data link
- Capacità dei registri GICB
- Capacità del codice SI

4.2.2 Modo S Avanzato

Le funzionalità dell'EHS contribuiscono ad aumentare la sicurezza della gestione del traffico aereo e a migliorare le prestazioni dei sistemi sorveglianza a terra utilizzando informazioni complementari provenienti da velivoli. I Parametri che si aggiuntivi rispetto all'ELS sono:

- Altitudine selezionata
- Pressione barometrica
- Angolo di rollio
- Angolo di True Track
- Velocità del Track angle o Velocità IAS
- Velocità di terra
- Direzione magnetica
- Mach di velocità
- Velocità di ascesa/discesa

4.2.3 ADS-B

Diverse modifiche sono state aggiunte con l'introduzione delle due nuove versione dell'ADS-B negli amendment 85 e 89. I parametri compresi nell'ADS-B sono molteplici, qui vengono introdotti solamente i registri e le informazioni generali contenuti nei registri:

- Registro 05: altitudine
- Registro 06: posizione orizzontale
- Registro 07: stato dell'extended squitter
- Registro 08: identificatore del velivolo
- Registro 09: velocità
- Registro 0A: informazioni extended squitter
- Registro 61: stato del velivolo
- Registro 62: stato di destinazione
- Registro 65: stato operativo del velivolo

4.2.4 Confronto dei parametri

La principale differenza tra il modo S e l'ADS-B è sull'origine dell'informazione sulla posizione orizzontale. La posizione del modo S viene ottenuta dal SSR misurando i segnali dei radar riguardanti la portata e la direzione. Invece l'ADS-B trasmette i dati della posizione di latitudine e longitudine ottenuti dai sistemi di posizionamento e navigazione che si basano su diversi segmenti (GPS, aereo, ground station).

Gli SSR sono sistemi le cui prestazioni possono essere predeterminate e dipendono principalmente dalle prestazioni del sistema radar, mentre per l'ADS-B le prestazioni sono variabili e non facilmente determinabili poiché i sistemi di navigazione GPS non sono sotto il controllo delle autorità aeree.

I due metodi per ottenere la posizione sono diversi, e quindi hanno diversi valori di performance. I sistemi GPS hanno caratteristiche che possono variare nel tempo e non sono sotto la responsabilità dei servizi di navigazione aerea.

Il confronto della posizione orizzontale tra il modo S e l'ADS-B mostra che la maggior parte delle prestazioni dell'ADS-B sono equivalenti o migliori di quelle del modo S. Tuttavia, ci sono dei punti da tenere in considerazione: l'ADS-B è dipendente dal sistema GPS. La disponibilità dei segnali non è garantita e dipende dalle costellazioni dei satelliti. È importante sottolineare la criticità di questo punto. Inoltre i sistemi GPS possono essere un punto di guasto comune per gli aerei di navigazione e sorveglianza. [37]

Per quanto riguarda i registri dei due sistemi, possiamo analizzare quali di questi sono in comune e quali non lo sono. Sebbene siano trasmessi con formati diversi, molti parametri sono compresi sia nel modo S che nell'ADS-B:

- L'indirizzo a 24 bit
- Codice di identificazione del modo A
- Altitudine barometrica

Questo è uno dei parametri che dipende solamente dal velivolo e non dai metodi di comunicazione. Il sistema di sorveglianza WAM ha la possibilità di fornire informazioni sulla posizione geometrica con la multilaterazione, ma di ridotte prestazioni.

- Stato di volo
- Identificazione del velivolo
- SPI
- Stato di emergenza
- Notifica di esecuzione ACAS
- Velocità di terra
- Velocità di ascesa

- Altitudine selezionata

L'altitudine selezionata fornisce informazioni sul target dell'altitudine, cioè sulla quota che il velivolo vuole raggiungere a breve a fine manovra.

- Pressione barometrica

I seguenti parametri invece, vengono trasmessi dal modo S, ma non dall'ADS-B:

- Capacità del data link
- Capacità dei registri GICB
- Velocità del Track Angle
- Angolo di rollio

La velocità dell'angolo di traccia e l'angolo di rollio sono parametri utili all'EHS per segnalare che il velivolo sta cambiando direzione, e quindi per migliorare il tracking a terra.

- Mach di velocità
- Direzione magnetica

Infine, questi sono i parametri compresi nell'ADS-B, ma non nel modo S:

- Categoria ADS-B
- Indicatore di qualità dell'altitudine di pressione (NIC_{Baro})

segnala se l'altitudine è stata confrontata con altri dati

- Altitudine geometrica
- Lunghezza e larghezza dell'aereo
- Offset dell'antenna GNSS

4.3 Carico della banda 1090MHz

I SSR lavorano solamente su due frequenze, una per l'interrogazione (1030MHz) e una per la risposta (1090MHz). I diversi modi usano le stesse frequenze, e negli ultimi decenni a causa del aumento costante del traffico aereo, sono nati problemi riguardanti le interferenze da radio frequenza.

Ci sono due tipi di errori che possono essere causati:

- FRUIT: sono errori causati da interrogazioni e risposte multiple di diversi transponder. Quando più radar operano in una certa zona, i transponder possono rispondere ad altre interrogazioni oppure possono essere disturbati dalle risposte di altri velivoli. Questi tipi di errori possono portare a segnalare distanza e altitudini non corrette, creando quindi confusione

- Garbling: quando risposte multiple vengono ricevute nello stesso momento da un transponder in interrogazione, causano questo fenomeno detto garbling (ingarbugliare), che possono comportare risultati errati o anche la non identificazione dei velivoli. Il risultato di questo fenomeno è una grave diminuzione dell'efficienza della sorveglianza

Esistono diverse modalità che sfruttano la stessa frequenza, come i modi A/C, ELS/EHS e l'ADS-B. Inizialmente, i modi A/C erano quelli più utilizzati e diffusi. Ma poiché questi modi non venivano limitati, ogni interrogazione richiedeva una risposta, e questo è il motivo per l'aumento degli errori dovuti alle interferenze, in particolari gli errori FRUIT. Infatti l'aumento costante del traffico aereo risultava in un aumento lineare di questi tipi di errori,

La saturazione di questa banda L è stata un problema per molto tempo, e per questo motivo l'implementazione dei modi S è stata spinta dalle organizzazioni, soprattutto nelle aeree ad alto traffico. Il modo S, diminuisce la necessità di utilizzare le interrogazioni "all-call", grazie alla nuova tecnica di interrogazione selettiva. I sistemi di multilaterazione possono diventare anche loro parte della soluzione del problema di interferenze di radio frequenza, con la riduzione del numero di interrogazioni necessarie.

Alcune città hanno già problemi di interferenze di radio frequenza, e quindi la riduzione delle interrogazioni è possibile solo con la riduzione dell'uso dei modi A/C.

Per risolvere questi problemi è stato introdotto il modo S per superare l'utilizzo dei modi A/C. Tuttavia questo nuovo modo richiede dei transponder e radar più sofisticati:

- Con il modo S, la maggior parte delle interrogazioni sono indirizzate; infatti le interrogazioni contengono u codici univoci di 24 bit corrispondente ad un solo velivolo, e ciò permette l'uso delle interrogazioni selettiva al contrario delle interrogazione "all-call"
- Per risolvere le problematiche relative agli errori FRUIT, le interrogazioni richiederanno risposte che contengono l'indirizzo dell'interrogatore, in modo tale da non avere problemi di risposte multiple
- Inoltre, al contrario dei modi A/C, il modo S ha anche codici di controllo CRC, per la verifica di eventuali errori sui dati
- I dati di identificazione e di altitudine hanno un proprio identificatore per non avere problemi e riuscire quindi a distinguere i diversi dati da altri velivoli
- Diversi interrogatori possono lavorare in coordinazione tra loro per identificare i velivoli e ridurre i carichi ed errori di garbling/FRUIT

Nonostante tutti le modifiche, i modi S diminuiscono ma non eliminano gli errori di garbling/FRUIT. Ciononostante rimangono un'alternativa decisamente migliore ai modi A/C, grazie anche ai nuovi codici di controllo errori dei dati. Da aggiungere il fatto che i sistemi TCAS lavorano sulla stessa frequenza di 1090MHz, tuttavia questi messaggi hanno altri formati e sono facilmente distinguibili.

Con le nuove regolamentazioni europee che spingono per l'implementazione dell'ADS-B, bisogna tenere in considerazione le possibili interferenze da radio frequenze causate da questi nuovi sistemi.

L'utilizzo dell'ADS-B aumenterà le trasmissioni sulla frequenza di 1090MHZ, rendendola più congestionata. È importante quindi prendere delle procedure per limitare i possibili errori, ma tenendo in considerazione che l'uso di questo nuovo sistema, allevierà i sistemi che usano i modi S, TCAS e WAM diminuendo i loro carichi.

L'ADS-B avrà un impatto positivo sul lungo periodo, ma è importante controllare le possibili problematiche durante questo periodo di transizione.

Le nuove modifiche aggiunte dall'amendment 85 ha infatti introdotto requisiti per rafforzare la robustezza del modo S, e quindi per diminuire le problematiche relative alle interferenze. Inoltre anche il successivo amendment 89 ha implementato altri requisiti per ridurre le future congestioni possibili con delle misure per eliminare le riposte del modo S alle interrogazioni all-call e alle interrogazioni con modi A/C

Questi nuovi requisiti ICAO sono stati aggiunti per la salvaguardia dei sistemi di sorveglianza a lungo termine.

5. Conclusioni

Per concludere questo studio si riepilogano i diversi cambiamenti che gli amendment hanno portato e gli impatti che hanno avuto sulle funzionalità dei sistemi di sorveglianza, fornendo infine alcune considerazioni finali sui possibili scenari futuri.

5.1 *Modo S*

I principali obiettivi degli amendment ICAO vol. IV riguardanti il modo S sono la riduzione del carico di frequenza (1030/1090MHz), modifiche relative a chiarimenti e correzioni di difetti che sono stati osservati durante l'implementazione completa del modo S in alcuni tipi di traffico aree dense.

La valutazione di questi cambiamenti porta alla conclusione che, per quanto riguarda i modi S elementare ed avanzato, non ci sono impatti operativi significativi sul servizio di sorveglianza dopo l'amendment 77. Tutte le modifiche che sono state aggiunte negli ultimi anni, hanno portato delle migliorie nella sicurezza, efficienza ed robustezza dei sistemi, ma influito sul servizio stesso.

La modifica riguardante il BDS swap dell'amendment 89 è utile per l'efficienza complessiva della catena di sorveglianza e costituisce una base più solida per il futuro.

Le diverse modifiche avvenute in più amendment riferite alla riduzione del carico della frequenza 1090MHz sono diventate un obiettivo importante per il mantenimento dei servizi e per la sua protezione a lungo termine.

Da un punto di vista economico, tutte le modifiche applicate dai vari amendment dell'allegato 10 dell'ICAO, volume IV, stanno fornendo vantaggi a lungo termine, ma non giustificano l'implementazione dei modi S per i velivoli in retrofit.

Infatti, rendere non obbligatorio il retrofit non impatta in nessun modo i servizi di sorveglianza. Al contrario, imporre solamente ai nuovi velivoli l'uso dei transponder più recenti e l'implementazione di tali modi non porterebbe a maggiori costi significativi sui sistemi di sorveglianza.

5.2 *ADS-B*

Lo studio evidenzia il fatto che l'amendment 85 costituisce il principale cambiamento riguardante l'ADS-B, con l'introduzione della versione 2.

La versione 2 dell'ADS-B costituisce un'evoluzione significativa rispetto a quelle precedenti, e le novità sono l'introduzione di molti più parametri per downlink, come gli indicatori di qualità delle informazioni associati al velivolo (NIC e NAC). Con il regolamento europeo N. 1207/2011 abbiamo quindi la definizione degli standard e le procedure per il modo S, l'ADS-B e per la multilaterazione ampia.

Con l'ADS-B c'è la possibilità di fornire servizi di sorveglianza negli spazi aerei meno trafficati, per avere alcuni benefici. In queste aree, con l'introduzione dell'ADS-B le distanze di sicurezza possono essere meno restrittive garantendo più opzioni per la gestione del traffico e dei voli, e il basso traffico aereo permette di non avere problemi riguardanti il carico della banda 1090MHz.

La situazione attuale nello spazio aereo europeo è tale che i servizi di sorveglianza sono per la quasi totalità degli spazi aerei solamente equipaggianti con i SSR con modo S.

Infatti le regolamentazioni ICAO ed europee hanno spinto preferenzialmente verso la diffusione del modo S, per ridurre i modi A/C. Tuttavia oggi, le prestazioni del modo S non rendono necessario l'implementazione dell'ADS-B, e per molti un costo in più da sostenere senza attuali benefici rilevanti.

L'implementazione dell'ADS-B è abbastanza lenta, soprattutto se la si confronta con l'implementazione del modo S negli anni passati.

L'introduzione dei primi sistemi ADS-B a terra in Europa sono generalmente nelle aree con meno traffico aereo. Inoltre la decisione di obbligare la dotazione dei sistemi ADS-B è stato inteso da molte parti interessate come il fatto che il modo S e il WAM siano tecnologie equivalenti che forniscono lo stesso livello di servizio in tutto lo spazio aereo europeo. Questo sembra non dimostrato finora.

L'ADS-B soffre chiaramente dei limiti di disponibilità e continuità che portano a si consideri che ADS-B potrebbe essere l'unica soluzione media solo in spazi aerei a bassa densità, mentre potrebbe essere una soluzione complementare negli altri casi adeguata con l'uso dei modi S e WAM.

L'estensione dell'implementazione ADS-B a tutti gli utenti dello spazio aereo (senza più distinzioni tra velivoli in termini di peso o velocità) in esame nello spazio aereo europeo sembra essere un costo troppo eccessivo senza benefici importanti.

Infatti il consenso generale è l'implementazione dell'ADS-B solamente quando necessario, che rappresentano gli spazi aerei che oggi non sono coperti dai altri servizi radar .

La modifica riguardante questi utenti dello spazio aereo dovrebbe essere proporzionato e limitato agli spazi aerei dove i radar non sono presenti. In questo modo i costi per l'implementazione sarebbero limitati, riducendo così il numero di velivoli interessati a dotare di capacità ADS-B.

5.3 Confronto delle differenze

Una importante differenza tra il modo S e l'ADS-B è l'indipendenza/dipendenza da altri sistemi di navigazione satellitare. Per quanto riguarda i dati della posizione orizzontale, i parametri dell'ADS-B dipendono (oltre al velivolo stesso) dai sistemi GPS satellitari o di altri velivoli. Al contrario il modo S non necessita di altri sistemi, infatti i dati vengono elaborati solamente dal velivolo.

Possiamo quindi definire che un sistema di sorveglianza è dipendente quando l'acquisizione dei dati del velivolo sono è dipendente da altri sistemi. L'ADS-B è quindi un sistema dipendente, mentre il modo S e il WAM sono indipendenti.

La disponibilità garantita dell'ADS-B è minore rispetto gli altri modi e dipende dalla costellazione dei satelliti, ma i satelliti GPS non sotto la responsabilità degli ANSP. I sistemi di navigazione sono anello aggiuntivo che fanno parte della catena dei sistemi

di sorveglianza, e ne riduce l'affidabilità poiché c'è una possibilità di errore addizionale.

Il caso peggiore è una failure completa del sistema GPS su un'aerea. In questo caso, aumenta il rischio di perdere sia la capacità di navigazione sia la funzione di sorveglianza.

Per questi motivi, a causa dell'incertezze dei sistemi di navigazione, le prestazioni dell'ADS-B sono fortemente limitanti. Potrebbe tuttavia essere una soluzione accettabile nei casi di bassa densità di traffico aereo, per rendere meno penalizzante il degrado dell'affidabilità e disponibilità dei sistemi di navigazione.

Da questo studio si è visto che i parametri forniti attraverso il modo S e l'ADS-B sia per la maggior parte simili tra loro con alcune eccezioni.

I parametri aggiuntivi del modo EHS sono l'angolo di rollio e la velocità angolare del track angle, e lo scopo di questi parametri è quello di aiutare il tracking radar delle ground station per migliorare il tracciamento dei voli.

Nei sistemi ADS-B la frequenza di aggiornamento è tale da non rendere necessario la conoscenza di questi due parametri, poiché l'aggiornamento frequente permette di identificare in tempo qualsiasi variazione di posizione.

L'ADS-B fornisce diversi parametri aggiuntivi rispetto al modo S, che permettono di avere diversi sensori per uno stesso dato, dando la possibilità di avere ridondanza nell'informazione oppure come metodo di verifica della veridicità dei dati. Questi parametri sono utilizzati per le nuove applicazioni, come l'ADS-B IN.

Ci sono ancora dei problemi dovuti alla non identità del tipo di parametri di una stessa informazione tra il modo S e l'ADS-B. Problemi di interpretazione possono nascere tra diversi tipi di sistemi con alcuni parametri, come la velocità di volo o lo stato del velivolo.

L'ICAO nei diversi amendment ha tentato di risolvere questa problematica con diverse cambiamenti (amendment 85), ma alla fine le modifiche sono state tolte ritornando alla situazione iniziale, (amendment 89, revoca dell'amendment 85 e ritorno all'amendment 77) e questo potrebbe ridurre la sicurezza e l'efficienza del sistema di sorveglianza.

Il vantaggio principale dell'ADS-B è la frequenza di aggiornamento molto più alta rispetto al modo S. Nelle zone dove sono presenti SSR multipli, il modo S riduce tale differenza di vantaggio poiché si aggiungono più interrogazioni e quindi si ha una frequenza vantaggio minore dell'ADS-B.

La maggiore frequenza dell'ADS-B permette di rilevare variazioni in modo più rapido ed un filtraggio della posizione più reattivo

Questo vantaggio può essere sfruttando anche dal modo S nel caso di radar multipli o sistemi ibridi con il WAM, aumentando robustezza e indipendenza della sorveglianza, grazie alla frequenza di aggiornamento più alta.

Tuttavia è importante far notare che l'aumento della frequenza di aggiornamento contribuisce ad aumentare il carico della banda e quindi aumenta la possibilità di avere interferenze radio.

5.4 Considerazioni finali possibili scenari futuri

Considerando che il modo S è stato obbligato da regolamentazioni europee (1207/2011 e successivi amendment) ad essere installato per migliorare la struttura dei sistemi di sorveglianza, non è da escludere che l'ADS-B in futuro sia introdotto dalle regolamentazioni europee come standard obbligatorio.

L'ADS-B introduce diversi vantaggi come la maggiore frequenza di aggiornamento delle informazioni e dei parametri aggiuntivi dell'ADS-B. Ma il vantaggio più importante è che l'ADS-B costituisce un primo passo verso la creazione di reti di sistemi di sorveglianza.

Un difetto aggiuntivo o rispetto al modo S, è che nel corso degli anni l'ADS-B ha avuto diverse versioni, e dal punto di vista dell'implementazione su larga scala, questo rende le cose più difficili, poiché la presenza di versioni diverse tra loro potrebbe non garantire tutti i vantaggi. È necessario quindi che le diverse versioni siano compatibili tra loro e che le regolamentazioni tengano in considerazione le funzionalità delle diverse versioni durante le implementazioni.

Considerando inoltre le differenze nella tipologia dei dati tra il modo S e l'ADS-B, e le intenzioni passate dell'ICAO nella modifica di questi, è naturale aspettarsi che nei prossimi amendment ci sarà una parte relativa a questi parametri, per evitare il sorgere di problemi di interpretazione di diversi dati.

C'è ancora un problema di sicurezza per quanto riguarda la fornitura di informazioni affidabili sullo stato del volo (in volo o terra) per aeromobili che non sono dotati dello squat switch appropriato. Nel futuro, una modifica nell'amendment dovrebbe essere rilasciata per risolvere questo difetto, che è stato cercato di mitigare negli ultimi amendment 85 e 89, ed evitare possibili fault nelle reti di sicurezza (ovvero rilevamento inefficiente di incursioni in pista algoritmo).

La quarta versione dell'ADS-B inoltre, prevede l'aggiunta tra i parametri scambiati anche quelli relativi alle informazioni meteorologiche. Tuttavia ci sono dibattiti a riguardo l'utilizzo eccessivo della frequenza 1090MHz e di possibili sovraccarichi, perciò non è assicurata che questa modifica sia accettata.

Le seguenti raccomandazioni riguardano gli impatti operativi sulla funzione di sorveglianza e il servizio di separazione del traffico associato, di

L'adattamento dei velivoli deve essere conforme alle ultime evoluzioni dall'annesso 10, al fine di garantire che i difetti osservati con i requisiti precedenti siano corretti e che tutte le misure destinate a mitigare il carico eccessivo della banda 1090MHz siano implementate.

Inoltre l'implementazione delle regolamentazioni dei velivoli dovrebbe essere trattato con maggiore flessibilità. Infatti la prima introduzione nelle regolamentazioni europee sull'implementazioni del modo S non fu di grande successo, poiché diversi amendment successivi hanno dovuto ritardare l'obbligo del modo S diverse volte.

Diversi fattori sono stati coinvolti tra cui la poca disponibilità ed i costi per l'installazione dei nuovi sistemi, oltre che ai ritardi nelle certificazioni. Una soluzione a questo problema potrebbe essere l'introduzione dell'obbligo implementazione per i soli velivoli nuovi, e non per il retrofit di quelli già esistenti.

Questa soluzione potrebbe garantire una transizione più lunga ma più adatta al mercato, poiché i modi S e l'ADS-B hanno anche capacità di retrocompatibilità con i sistemi meno recenti

La stessa considerazione si applica agli aggiornamenti delle installazioni a terra dei radar con modo S e il WAM. Le date più flessibili possono rendere economicamente più stabile la transizione dei sistemi.

Un'ultima considerazione riguarda il carico della banda 1090 MHz. Negli amendment ICAO e nelle regolamentazioni europee degli ultimi anni, il problema e le possibili soluzioni sulla mitigazione delle interferenze da radio frequenza e sulla riduzione del carico sono stati costantemente aggiornati per rendere sicuri e robusti i diversi sistemi di sorveglianza coinvolti. Diversi approcci sono stati presi:

- riduzione del carico di frequenza
- miglioramento della robustezza dei transponder alle interferenze in radiofrequenza
- miglioramenti dei protocolli a seguito dell'esperienze in servizio,
- chiarimenti per evitare malintesi da parte del produttore

Questa problematica sarà sicuramente rivista e tenuta in considerazione più volte nelle modifiche degli anni successivi, poiché la banda 1090MHz ha un aspetto fondamentale per la sicurezza del sistema di sorveglianza.

6. Figure

Figura 1 - Antenna di un SSR dell'aeroporto militare tedesco "Neubrandenburg"

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ssr_coelpin.jpg

Figura 2 - Interrogazione modi A e C (1030MHz)

http://www.aeroelectric.com/articles/Altitude_Encoding/modec.html

Figura 3 - Risposte modi A e C (1090MHz)

http://www.aeroelectric.com/articles/Altitude_Encoding/modec.html

Figura 4 - Interrogazione e risposta modo S

https://en.wikipedia.org/wiki/File:Mode_S_interrogation_format.jpg

https://en.wikipedia.org/wiki/File:Mode_S_reply.jpg

Figura 5 - Schema di funzionamento del modo S

<https://www.semanticscholar.org/paper/Validation-test-of-Downlink-Aircraft-Parameters-via-Matsunaga-Senoguchi/830a306664b9d91ff42ecd411b69497cfce40969/figure/0>

Figura 6 - Dati trasmessi dai modi ELS e EHS

<https://medium.com/@mehmetcagrikose/mode-a-c-mode-s-and-ads-b-the-alphabet-soup-of-secondary-surveillance-1defcd35b2ab>

Figura 7 - Modello di scambio di dati con l'ADS-B

https://shop.jetvision.de/WebRoot/Store26/Shops/64807909/MediaGallery/ADS-B_en.png

Figura 8 - Esempio di multilaterazione

https://en.wikipedia.org/wiki/File:MLAT_TOT_2D_Algorithm.jpg

Figura 9 - Esempio di ACAS

<https://sites.google.com/site/aircraftsafety47/tcas>

Figura 10 – Esempio di BDS swap

<https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/SC%202016-001Analysis%20of%20differences%20between%20amendments%20-%20ICAO%20Annex%2010%2C%20V....pdf>

7. Bibliografia

- [1] https://en.wikipedia.org/wiki/Secondary_surveillance_radar
- [2] [https://www.skybrary.aero/index.php/Secondary_Surveillance_Radar_\(SSR\)](https://www.skybrary.aero/index.php/Secondary_Surveillance_Radar_(SSR))
- [3] http://www.aeroelectric.com/articles/Altitude_Encoding/modec.htm
- [4] https://www.skybrary.aero/index.php/Mode_S
- [5] en.wikipedia.org/wiki/Automatic_Dependent_Surveillance%E2%80%93Broadcast
- [6] [skybrary.aero/index.php/Automatic_Dependent_Surveillance_Broadcast_\(ADS-B\)](https://www.skybrary.aero/index.php/Automatic_Dependent_Surveillance_Broadcast_(ADS-B))
- [7] <https://www.skybrary.aero/index.php/Multilateration>
- [8] <https://it.wikipedia.org/wiki/Multilaterazione>
- [9] [https://www.skybrary.aero/index.php/Wide_Area_Multilateration_\(WAM\)](https://www.skybrary.aero/index.php/Wide_Area_Multilateration_(WAM))
- [10] https://en.wikipedia.org/wiki/Wide_area_multilateration
- [11] [www.skybrary.aero/index.php/Airborne_Collision_Avoidance_System_\(ACAS\)](https://www.skybrary.aero/index.php/Airborne_Collision_Avoidance_System_(ACAS))
- [12] [skybrary.aero/index.php/Monopulse_Secondary_Surveillance_Radar_\(MSSR\)](https://www.skybrary.aero/index.php/Monopulse_Secondary_Surveillance_Radar_(MSSR))
- [13] <https://www.icao.int/secretariat/TechnicalCooperation/Pages/history.aspx>
- [14] Annex 10 vol. IV, FOREWORD, Table A. Amendments to Annex 10, Volume IV
- [15] en.wikipedia.org/wiki/Secondary_surveillance_radar#Standards_and_specifications
- [16][18] EUROCAE Study: Analysis of differences between amendments – ICAO Annex 10, Volume IV, Annex 7
- [17] ICAO AERONAUTICAL SURVEILLANCE IMPLEMENTATION TASK FORCE, SECOND MEETING (AS/I/TF/2), Update on the Work of ICAO Surveillance and Collision Avoidance
- [19] Sixth Meeting of the MIDANPIRG Communication, Navigation and Surveillance CNS SG/6, Global And Regional Developments Related To CNS
- [20] ICAO MIDANPIRG Communication, Navigation and Surveillance Sub-Group, Ninth Meeting (CNS SG/9), AMENDMENT TO ANNEX 10 VOLUMES II & IV
- [21] <https://www.aviation.govt.nz/assets/about-us/icao/annex-10-vol-4.pdf>
- [22] [https://www.skybrary.aero/index.php/Single_European_Sky_\(SES\)](https://www.skybrary.aero/index.php/Single_European_Sky_(SES))
- [23] COMMISSION REGULATION (EC) No 262/2009 of 30 March 2009, laying down requirements for the coordinated allocation and use of Mode S interrogator codes for the single European sky
- [24] https://www.skybrary.aero/index.php/Regulation_262/2009_-_Allocation_and_Use_of_Mode_S_Interrogator_Codes
- [25] COMMISSION IMPLEMENTING REGULATION (EU) No 1206/2011 of 22 November 2011, laying down requirements on aircraft identification for surveillance for the single European sky
- [26] https://www.skybrary.aero/index.php/Regulation_1206/2011_-_Requirements_on_Aircraft_Identification_for_Surveillance_of_the_SES

[27] COMMISSION IMPLEMENTING REGULATION (EU) No 1207/2011 of 22 November 2011, laying down requirements for the performance and the interoperability of surveillance for the single European sky

[28] [https://www.skybrary.aero/index.php/Regulation_1207/2011 - Requirements for the performance and the interoperability of surveillance for the SES](https://www.skybrary.aero/index.php/Regulation_1207/2011_-_Requirements_for_the_performance_and_the_interoperability_of_surveillance_for_the_SES)

[29] COMMISSION IMPLEMENTING REGULATION (EU) No 1028/2014 of 26 September 2014, amending Implementing Regulation (EU) No 1207/2011 laying down requirements for the performance and the interoperability of surveillance for the single European sky

[30] [https://www.skybrary.aero/index.php/Regulation_1028/2014 - Requirements for the Performance and the Interoperability of Surveillance for the SES](https://www.skybrary.aero/index.php/Regulation_1028/2014_-_Requirements_for_the_Performance_and_the_Interoperability_of_Surveillance_for_the_SES)

[31] COMMISSION IMPLEMENTING REGULATION (EU) 2016/2345 of 14 December 2016, amending Regulation (EC) No 262/2009 and Implementing Regulation (EU) No 1079/2012 as regards references to ICAO provisions

[32] [https://www.skybrary.aero/index.php/Regulation \(EU\) No 2016/2345 amending Regulations 262/2009 and 1079/2012 as regards references to ICAO provisions](https://www.skybrary.aero/index.php/Regulation_(EU)_No_2016/2345_amending_Regulations_262/2009_and_1079/2012_as_regards_references_to_ICAO_provisions)

[33] COMMISSION IMPLEMENTING REGULATION (EU) 2017/386 of 6 March 2017, amending Implementing Regulation (EU) No 1207/2011 laying down requirements for the performance and the interoperability of surveillance for the single European sky

[34] [https://www.skybrary.aero/index.php/Regulation_2017/386 - Requirements for the Performance and the Interoperability of Surveillance for the SES](https://www.skybrary.aero/index.php/Regulation_2017/386_-_Requirements_for_the_Performance_and_the_Interoperability_of_Surveillance_for_the_SES)

[35] COMMISSION IMPLEMENTING REGULATION (EU) 2020/587 of 29 April 2020, amending Implementing Regulation (EU) No 1206/2011 laying down requirements on aircraft identification for surveillance for the single European sky and Implementing Regulation (EU) No 1207/2011 laying down requirements for the performance and the interoperability of surveillance for the single European sky

[36] https://www.skybrary.aero/index.php/Regulation_2020/587_amending_Regulation_No_1206/2011_and_Regulation_No_1207/2011

[37] EUROCAE Study: Cooperative surveillance DAPs/Registers