POLITECNICO DI MILANO

Facoltà di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in
Ingegneria Aeronautica

Un approccio pratico alla valutazione del rischio per il Safety Management System in campo aeronautico: il caso studio delle perdite di separazione in volo.

Relatore: Prof. Pietro Carlo CACCIABUE

Co-relatore: Ing. Valentina LICATA

Tesi di Laurea di:

Andrea DE COL Matr.: 765559

Anno Accademico 2011 - 2012

A mio nonno Luciano

RINGRAZIAMENTI

Ringrazio il mio relatore, il Prof. Cacciabue, che durante le sue lezioni e le ore passate con lui, ha saputo trasmettermi, grazie alla sua professionalità, alla sua esperienza e ai suoi aneddoti, la cultura e la passione per la sicurezza del volo. In lui ho trovato non solo un Professore, ma anche una persona saggia, allegra e sempre disponibile.

Ringrazio tutto lo staff di Kite Solutions, che mi ha accolto durante il tirocinio, insegnandomi come comportarsi in un luogo di lavoro e tenendomi compagnia, facendomi ridere e distrarre durante le pause. In particolare voglio ringraziare Valentina, mia tutor aziendale, che più di tutti ha seguito il mio lavoro, sapendo darmi utili consigli e suggerimenti.

Ringrazio Fabio Toti e Pierluigi Guanziroli di Alitalia per l'aiuto fornito nel reperimento dei dati per questa tesi e per la loro disponibilità e accoglienza dimostrata durante i nostri incontri.

Ringrazio Italo Oddone ed Alberto Ottomaniello di Air Dolomiti per i loro suggerimenti e per i consigli tecnici forniti.

Ringrazio Daniele Occhiato di Aeroporti di Roma, per la sua disponibilità e la velocità con la quale ha fornito alcuni dati.

Ringrazio la mia famiglia, che mi ha sempre sostenuto durante tutto il percorso di studi e che ha sempre creduto in me. In particolare voglio ringraziare mia mamma Raffaella, mio papà Maurizio e mia sorella Noemi.

Ringrazio tutti i miei amici e compagni di università, grazie ai quali le lunghe giornate passate al Poli non sono sembrate tanto lunghe. Ringrazio in particolare gli amici di sempre, Andrea e Matteo, e i nuovi amici, come Luca e Martina.

Ringrazio la mia ragazza, Michela, per essermi sempre stata vicina, sostenendomi e motivandomi, in questi ultimi due anni di studio. Senza di lei, e senza i bellissimi momenti passati insieme, non sarei riuscito a raggiungere questo traguardo nei tempi giusti. In due anni insieme a lei ha saputo insegnarmi molto, e i momenti passati insieme sono e saranno sempre indimenticabili. Grazie Cucciola!

INDICE

ELENCO DELLE FIGURE

ELENCO DELLE TABELLE

SOMMARIO

Per migliorare il livello di sicurezza del trasporto aereo, oggigiorno è necessario sviluppare a livello aziendale un sistema di gestione della sicurezza, o Safety Management System (SMS). Il Safety Management System è la forma più completa ed integrata dell'approccio alla sicurezza messo in atto in un'organizzazione. In questa tesi è stata sviluppata una particolare metodologia per effettuare analisi di rischio di tipo prospettico che può essere utilizzata all'interno di un SMS per soddisfare le richieste normative di ENAC ed EASA, in merito all'analisi di rischio legato ad alcuni pericoli o conseguenze incidentali specifiche, come i casi di "mid-air collision". Tuttavia, la metodologia è di carattere generale e può essere applicata per ogni valutazione prospettica di rischio ed è immediatamente applicabile non solo in campo aeronautico. Nella tesi è riportato lo studio completo di un'applicazione realistica della metodologia per la valutazione dei rischi associati alle perdite di separazione in volo di una media compagni aerea operante in Italia.

Parole chiave: Analisi di rischio, Safety Management System, collision in volo, perdita di separazione.

ABSTRACT

In order to improve the safety level of air transportation, today a company is required to develop a Safety Management System (SMS). A Safety Management System is the most complete and integrated approach to safety adopted by a company. In this thesis, a particular methodology to carry out prospective safety analysis is developed; this methodology can be applied within a SMS to assess risk in order to comply with ENAC and EASA regulations, about risk analysis connected to some specific hazards or consequences, like mid-air collisions. Nevertheless, this methodology has a general nature and can be applied for any prospective risk evaluation, not only in aeronautic domain. In this thesis, a complete study of a realistic application of the methodology is reported, in order to assess the risk related to the loss of separation in-flight of a medium Italian airline.

Keywords: Risk assessment, Safety Management System, mid-air collision, loss of separation.

1 INTRODUZIONE

Questa tesi rientra in un'attività di tirocinio svolta presso la Kite Solutions S.R.L. a Laveno Mombello (VA). La Kite Solutions è un'azienda specializzata in studi di sicurezza e analisi di rischio nell'ambito di processi industriali complessi e ad elevata automazione, come l'ambito aeronautico del giorno d'oggi, sviluppando, inoltre, anche strumenti software per la raccolta dei dati e utili come supporto agli analisti di sicurezza. Grazie alla collaborazione con Kite Solutions, è stato possibile avere accesso a molti dati utili per sviluppare analisi di rischio. Inoltre, il lavoro sviluppato in questa tesi, potrà essere integrato con gli strumenti software sviluppati dall'azienda per fornire ulteriori strumenti agli analisti di sicurezza.

1.1 IL SAFETY MANAGEMENT SYSTEM

Nel campo del trasporto aereo, la sicurezza è sempre stata uno degli obiettivi primari inseguiti dalle compagnie aeree e da tutte le organizzazioni operanti nel settore; essa gioca anche un ruolo fondamentale nel successo o nel fallimento di una compagnia. Grazie alle nuove tecnologie sviluppate negli ultimi anni, l'affidabilità degli aeromobili è incrementata notevolmente, mentre l'affidabilità dell'essere umano e delle organizzazioni non è aumentata allo stesso modo; questo ha portato gli errori umani e organizzativi ad essere la principale causa di incidenti aerei. Il ruolo dell'essere umano a bordo di un velivolo è cambiato e sta cambiando sempre più negli ultimi anni: si è passati da equipaggi composti da tre o quattro persone, che avevano il compito di pilotare, gestire tutti gli impianti dell'aeromobile, conoscere la posizione e trovare la rotta, ad equipaggi di solo due persone, scaricando l'onere di molti compiti sui calcolatori elettronici. Il ruolo dei piloti è sempre più vicino a quello di "osservatori", mentre i velivoli sono sempre più automatizzati. Risulta anche necessari progettare i velivoli in maniera differente, in modo che l'equipaggio possa svolgere al meglio le sue nuove funzioni, tenendo in considerazione l'interfaccia uomo-macchina, al fine di ridurre la probabilità di errori. L'evoluzione tecnologica, inoltre, ha portato il trasporto aereo ad essere un sistema estremamente sicuro.

Gli elevati livelli di affidabilità degli aeromobili sono stati raggiunti grazie ai processi aziendali e progettuali adottati dall'industria aeronautica, questi processi e filosofie progettuali verranno definiti metodi "classici" di safety. In

particolare alcuni metodi per l'aumento dell'affidabilità dei velivoli sono basati sulla ridondanza, quindi sulla disponibilità di due o più sistemi o impianti che svolgono la stessa funzione, o sul sovradimensionamento di alcuni componenti. In caso di guasto di un impianto, il velivolo può ugualmente portare a termine la missione grazie alla presenza dell'altro impianto. Per quanto riguarda sistemi elettronici e calcolatori, si raggiungono elevati livelli di sicurezza grazie alla presenza anche di quattro computer di bordo che svolgono gli stessi calcoli, i cui risultati sono confrontati tra loro. Nel caso in cui uno di questi risulti diverso dagli altri, il sistema che lo ha generato viene considerato guasto e quindi disattivato. Inoltre, per ridurre la presenza di errori hardware e software, i vari computer di bordo e i loro software possono essere prodotti e sviluppati da aziende differenti. Il sovradimensionamento è usato principalmente in ambito strutturale: tutti i componenti, infatti, sono progettati per resistere ad un carico pari ad 1,5 volte il carico massimo previsto. Un'altra applicazione del sovradimensionamento al fine di aumentare l'affidabilità dei velivoli, risiede nell'installazione di componenti (motori, pompe, valvole, etc.) con potenza o capacità superiori a quelle richieste; tali componenti verranno poi utilizzati solo ad una certa percentuale della loro capacità massima, riducendo quindi la possibilità di guasto e aumentando di conseguenza l'affidabilità. Questo approccio "classico" alla safety consiste sostanzialmente nelle rispondenza alle normative aeronautiche, che negli anni sono diventate sempre più complesse, e che sono volte unicamente a garantire la sicurezza di tutte le persone coinvolte nel trasporto aereo.

Negli ultimi anni il traffico aereo è continuamente aumentato, mentre il tasso di incidenti per numero di decolli è rimasto pressoché invariato; questo si traduce in un aumento del numero di incidenti aerei. Per migliorare il livello di sicurezza del trasporto aereo, si rende quindi necessaria l'implementazione di un sistema di gestione della sicurezza, o Safety Management System (SMS), che consideri, oltre gli aspetti tecnici, anche gli aspetti legati ai fattori umani e organizzativi. A differenza degli approcci "classici" alla safety, il SMS permette di sviluppare una filosofia proattiva nei confronti della sicurezza. Le analisi di sicurezza si basavano, infatti, su metodi di analisi retrospettiva, basata cioè sull'analisi di eventi già accaduti. In particolare venivano analizzati alcuni parametri ritenuti significativi, come ad esempio il rateo di incidenti per numero di decolli o in un certo periodo di tempo. Come descritto da Liou, Yen e Tzeng [1] e nel Safety Management Manual di ICAO [2], l'analisi di questi parametri presenta alcuni problemi: la grande affidabilità degli aeromobili rende gli incidenti molto poco

frequenti, facendo perdere di significato alcuni ratei. In secondo luogo, i ratei di incidenti possono essere poco utili nell'individuazione di possibili incidenti futuri. In ultimo, un sistema basato unicamente su analisi di questo tipo, può solo reagire ad eventi già accaduti e non ha possibilità di prevenire situazioni indesiderate. L'adozione di una filosofia proattiva, permette alle aziende di prendere provvedimenti e di effettuare cambiamenti nell'organizzazione, nelle modalità di svolgimento delle operazioni o nella manutenzione, in modo da migliorare la sicurezza e di evitare un certo incidente prima che questo si verifichi. Per ottenere tali risultati è necessario utilizzare i metodi probabilistici moderni di analisi del rischio, affiancandoli ai concetti più tradizionali di safety, basati sul massimo incidente credibile.

1.1.1 Analisi prospettiche e retrospettive

Si definisce analisi prospettica di sicurezza [3]:
una valutazione capace di predire ed anticipare preventivamente le conseguenze di interazioni sistemiche, dati taluni eventi iniziatori e condizioni al contorno.

Da tali analisi nascono misure proattive volte ad impedire l'accadimento di situazioni indesiderate e al mantenimento dei livelli di sicurezza voluti. Analisi prospettiche possono essere condotte dagli analisti immaginando degli scenari di eventi e condizioni particolarmente critici alla sicurezza e che procurano effetti non desiderati al sistema. Sempre gli analisti dovranno sviluppare ed attuare eventuali barriere volte a fermare la sequenza di eventi non desiderati.

Questo tipo di analisi è utilizzata anche nell'ambito del change management, cioè nella gestione del cambiamento. I cambiamenti in esame, dei quali si vuole valutare il rischio prima che diventino effettivi, possono essere dovuti all'introduzione di nuove tecnologie all'interno dell'organizzazione, come l'introduzione degli Electronic Flight Bags (EFB) studiato da Claudia Mariani [4], o il volo in presenza di ceneri vulcaniche dovute ad eruzioni di grande entità, come descritto da De Grandi et al. [5]. Un ulteriore esempio di change management è descritto da Cassani et al. [6] riguardo l'introduzione di EFB in una piccola compagnia aerea.

Si definisce, invece, analisi retrospettiva [3]:
la valutazione di eventi che coinvolgono "incidenti", "inconvenienti gravi", o "quasi – incidenti", ovvero circostanze di "non – conformità" operative, con l'obiettivo di trovare le ragioni fondamentali e le cause ("root causes") che li hanno promossi.

Oltre a individuare le cause principali di un determinato incidente, le analisi retrospettive forniscono dati di input per le simulazioni delle analisi prospettiche. Esse, infatti, per essere affidabili richiedono dati in ingresso che descrivano al meglio il comportamento del sistema, sia in termini tecnici, sia in termini di procedure e ambiente operativo. Per poter utilizzare i dati ricavati da analisi retrospettive come input per analisi prospettiche, è necessario che i metodi utilizzati per i due tipi di analisi siano simili, in modo da utilizzare le stesse tipologie di dati.

1.1.2 Definizione di rischio

Parte fondamentale di un SMS è l'analisi del rischio. Il rischio R è definito come il prodotto tra le conseguenze C di uno specifico incidente, rappresentate dal loro livello di severità, e la probabilità di accadimento φ di tale incidente.

$$R = C \cdot \varphi \tag{1.1}$$

La determinazione di questi due fattori non è facile, ed è spesso affetta dalla soggettività dell'analista. Secondo il documento ICAO Doc 9859 [2], la severità è definita come l'entità del danno che potrebbe ragionevolmente verificarsi come conseguenza o risultato del pericolo individuato; nello stesso manuale si distinguono cinque livelli di severità che, dalla più alta alla più bassa, sono: catastrofico, pericoloso, maggiore, minore, trascurabile; le definizioni dei livelli di severità cambiano in base al sistema o all'evento in considerazione, ad esempio la definizione di catastrofico sarà diversa nel caso di trasporto aereo o nel caso si consideri il software di un bancomat. Nell'ICAO Doc 9859 [2] vengono inoltre date delle definizioni per ogni categoria di severità (Figura 1.1).

Severity Table (Basic)

Level	**Descriptor**	**Severity Description** *(customise according to nature of product or service provider's operations)*
1	*Insignificant*	*No significance to aircraft related operational safety.*
2	*Minor*	*Degrade or affect normal aircraft operational procedures or performance.*
3	*Moderate*	*Partial loss of significant/ major aircraft systems or result in abnormal F/Ops procedure application.*
4	*Major*	*Complete failure of significant/ major aircraft systems or result in emergency F/Ops procedure application.*
5	*Catastrophic*	*Loss of aircraft or lives.*

Severity Table (Alternate)

Level	**Descriptor**	**Severity Description** *(customise according to nature of product or service provider's operations)*					
		Safety of Aircraft	**Physical Injury**	**Damage to Assets**	**Potential Revenue Loss**	**Damage to Environment**	**Damage to Corporate Reputation**
1	*Insignificant*	*No significance to aircraft related operational safety.*	*No injury*	*No Damage*	*No Revenue Loss*	*No Effect*	*No implication*
2	*Minor*	*Degrade or affect normal aircraft operational procedures or performance.*	*Minor injury*	*Minor Damage <$__*	*Minor Loss < $__*	*Minor Effect*	*Limited Localised Implication*
3	*Moderate*	*Partial loss of significant/ major aircraft systems or result in abnormal F/Ops procedure application*	*Serious injury*	*Substantial Damage <$__*	*Substantial Loss <$__*	*Contained Effect*	*Regional Implication*
4	*Major*	*Complete failure of significant/ major aircraft systems or result in emergency F/Ops procedure application*	*Single fatality*	*Major Damage <$__*	*Major Loss <$__*	*Major Effect*	*National Implication*
5	*Catastrophic*	*Aircraft/ Hull Loss*	*Multiple fatality*	*Catastrophic Damage >$__*	*Massive Loss >$__*	*Massive Effect*	*International Implication*

Figura 1.1: Definizione dei livelli di severità, tratto da [2]

La probabilità di accadimento è l'elemento più difficile da determinare, in quanto gli eventi non sono solo di tipo tecnico, come ad esempio il guasto di un interruttore, per i quali esistono metodi analitici per la stima dell'affidabilità, ma spesso riguardano il comportamento di chi sta operando. Per la determinazione di tali probabilità si ricorre spesso al giudizio di persone esperte del settore, ma sono state anche sviluppate diverse metodologie per la valutazione del comportamento umano, e quindi della probabilità di accadimento delle sue azioni. Per meglio valutare la probabilità di accadimento, essa viene a volte sostituita dalla frequenza di accadimento: mentre la prima, essendo una probabilità, è un numero compreso tra 0 e 1, la seconda è espressa in termini di numero di occorrenze in un certo intervallo di tempo (una volta al mese, tre volte all'anno). Anche la probabilità di accadimento è divisa in cinque livelli: da frequente, ad occasionale, remoto, improbabile, ed estremamente improbabile.

La combinazione di frequenza e gravità porta alla definizione della matrice di rischio (Figura 1.2): a seconda di dove si colloca il rischio dell'evento, questo può: essere accettabile (verde), richiedere intervento (giallo), o essere inaccettabile (rosso).

Risk probability		Risk severity				
		Catastrophic A	Hazardous B	Major C	Minor D	Negligible E
Frequent	5	5A	5B	5C	5D	5E
Occasional	4	4A	4B	4C	4D	4E
Remote	3	3A	3B	3C	3D	3E
Improbable	2	2A	2B	2C	2D	2E
Extremely improbable	1	1A	1B	1C	1D	1E

Figura 1.2: Tipica matrice di rischio in campo aeronautico tratta da [2]

Per la definizione della matrice di rischio si sfrutta la curva di tollerabilità; tale curva delimita la zona entro la quale il rischio è tollerabile e la zona dove invece il rischio non è più accettabile. L'importanza di uno strumento come la matrice di rischio, è evidenziata dal fatto che essa rappresenta un mezzo fondamentale per la valutazione del rischio sia in analisi prospettiche, sia in analisi retrospettive.

1.2 STRUTTURA DI UN SMS

L'implementazione di un SMS coinvolge diverse parti di un'azienda, quali la gestione delle operazioni, la gestione finanziarie e la gestione delle risorse umane. Tutti questi reparti devono collaborare al fine di garantire la sicurezza durante lo svolgimento delle operazioni e di migliorare continuamente il livello di sicurezza dell'azienda riducendo la presenza di rischi. Una possibile definizione di SMS è data da Cacciabue [3]:

Il Safety Management System è la forma più completa ed integrata dell'approccio alla sicurezza messo in atto in un'organizzazione nei confronti della prevenzione, gestione e contenimento di occorrenze negative, eventi di pericolo, non-conformità e incidenti che si possono verificare nella vita e nei processi produttivi di un sistema.

Si possono evidenziare quattro elementi fondamentali di un SMS:

- Politica di sicurezza e obiettivi istituzionali;
- Analisi e gestione del rischio;
- Valutazione dei pericoli e della sicurezza reale;
- Promozione della sicurezza in seno all'organizzazione;

L'analisi e gestione del rischio e la valutazione dei pericoli e della sicurezza reale, costituiscono la parte operativa di un safety management system. La politica di sicurezza e gli obiettivi istituzionali e la promozione della sicurezza in seno all'organizzazione, formano, invece, la parte gestionale e organizzativa di un SMS. Affinché le componenti operative siano svolte in maniera corretta ed efficace, è necessario che il management promuova opportunamente la gestione della sicurezza all'interno dell'azienda.

Documento di riferimento principale per lo sviluppo di un SMS in campo aeronautico, ma non solo, è il già citato ICAO Doc 9859 [2]; tuttavia tale documento non entra nel dettaglio degli aspetti operativi, e non specifica quali strumenti o metodologie utilizzare.

In riferimento agli aspetti operativi di un SMS, si possono distinguere quattro operazioni principali: analisi prospettiche di sicurezza, analisi retrospettive di sicurezza, audit di sicurezza e gestione delle emergenze. Le analisi prospettiche e retrospettive di sicurezza si adottano, rispettivamente, per l'analisi e la gestione del rischio e per la valutazione dei pericoli e della sicurezza reale. Alcune delle principali tecniche utilizzate per analisi prospettiche e retrospettive verranno brevemente descritte in seguito. L'audit di sicurezza e la gestione delle emergenze rivestono, invece, un carattere più gestionale. Negli audit di sicurezza, infatti, si verifica la rispondenza dell'azienda alle normative vigenti in materia di sicurezza e che gli obiettivi preposti in fase di progetto siano stati raggiunti. La gestione delle emergenze, invece, riguarda tutte le azioni e le operazioni che devono essere messe in atto dopo il verificarsi di un incidente; esse vanno dalla comunicazione con la stampa, alla gestione dei familiari delle vittime.

1.2.1 Raccolta e classificazione dei dati

Punto di partenza fondamentale per le analisi retrospettive sono i dati raccolti. Non è importante soltanto la quantità di dati raccolti, ma soprattutto la qualità di questi dati. Le fonti principali di dati sono le analisi di incidenti già avvenuti, e i report di occorrente volontari e obbligatori (Mandatory Occurrence Report,

MOR). L'ICAO Annex 13 stabilisce che gli stati membri sviluppino un sistema di raccolta di segnalazioni di eventi potenzialmente pericolosi per la sicurezza del volo. A livello europeo, la normativa 2003/42/EC stabilisce i requisiti dei report obbligatori, e quali occorrenze devono essere obbligatoriamente riportate. Oltre ai report obbligatori, gli operatori possono inviare dei report su altre occorrenze, ritenute una minaccia per la sicurezza delle operazioni; questi report sono detti volontari.

Un'occorrenza è definita come l'incidente, l'inconveniente, l'accadimento non desiderato, visti nel loro complesso. Con evento, invece, si intende un'azione o un fatto tali da far evolvere il sistema da uno stato ad un altro, entrambi di condizioni operative non normali. Un'occorrenza, quindi, può essere composta da più eventi.

Affinché si instauri un buon sistema di reporting, è necessario che l'organizzazione adotti delle filosofie gestionali adeguate. In particolare i report raccolti non devono avere uno scopo punitivo, ma dovranno essere favoriti il più possibile: chi compila ed invia i report di occorrenze deve avere piena fiducia nell'organizzazione e non dovrà utilizzare questo strumento ai danni dell'azienda. Inoltre, l'organizzazione dovrà garantire, per quanto possibile, l'anonimità di chi invia il report.

Altro aspetto fondamentale risiede nella analisi dei dati raccolti. Tutti i report, infatti, devono essere sottoposti ad una prima analisi che permetta il loro inserimento all'interno di un database. Questa operazione, se svolta correttamente, permetterà in futuro di interrogare il database e di analizzare i dati al suo interno, per effettuare valutazioni sullo stato di sicurezza dell'organizzazione.

Per ogni report di occorrenza, l'analista dovrà ricercare la causa scatenante, effettuando quindi una root cause analysis, evidenziando e ordinando cronologicamente tutti gli eventi che costituiscono l'occorrenza. Quest'ultima operazione porta alla creazione di una event time line, grazie ad essa sarà possibile individuare gli eventi iniziatori e gli eventi conseguenza. Un'altra importante distinzione va fatta tra eventi positivi ed eventi negativi: i primi concorrono a fermare la sequenza di eventi che porta all'incidente, mentre i secondi contribuiscono alla sequenza negativa dell'occorrenza.

Una volta raccolte e classificate correttamente le occorrenze, è possibile effettuare diversi tipi di analisi sui dati raccolti. La più semplice consiste nell'interrogare il database su alcuni parametri standard, ritenuti significativi. Questi possono variare a seconda del tipo di organizzazione, e forniscono una visione immediata sulla tendenza della quantità che si sta analizzando. Un altro tipo di analisi consiste nel monitoraggio di alcuni parametri chiave, detti key performance indicator, in grado di dare informazioni sulle performance di sicurezza dell'azienda. Periodicamente questi indicatori vengono analizzati e vengono anche definiti gli obiettivi da raggiungere nel periodo seguente. Di fondamentale importanza è l'individuazione di similarità tra gli eventi raccolti: essi, infatti, mettono in luce comportamenti comuni che si verificano all'interno dell'organizzazione, e che potrebbero sfociare in conseguenze pericolose.

Molto importante al fine di svolgere buone analisi di questo tipo è l'adozione di una tassonomia ben strutturata, come ad esempio ADREP, tassonomia adottata da ICAO. Infine sarà possibile effettuare una valutazione del rischio di un'occorrenza e degli eventi che ne hanno preso parte.

1.3 METODI PER ANALISI PROSPETTICHE E RETROSPETTIVE

Verranno ora brevemente descritti i principali metodi utilizzati per analisi prospettiche e retrospettive. Al fine di poter classificare in modo sistematico gli eventi di una sequenza incidentale e le cause che li hanno generati, è necessario definire una tassonomia di riferimento. Con tassonomia si intende una classificazione, cioè un insieme strutturato di categorie con cui vengono raccolti e catalogati i dati. Risulta evidente che, come base di ogni tassonomia, è necessario avere un modello di riferimento, atto ad analizzare le modalità di accadimento di un evento. Vi è, dunque, uno stretto legame tra tassonomia e modello, tanto che, in alcuni casi, essi arrivano a fondersi e a prendere lo stesso nome, come nel caso di ADREP.

1.3.1 Metodi per ricerca di cause e classificazione dati

1.3.1.1 SHELL

Lo scopo del modello SHELL è di descrivere le interazioni tra gli operatori e le attività loro assegnate, tenendo presente anche fattori ambientali e normativi. Questo modello è derivato dal modello SHEL sviluppato da Edwards [7]. Ogni lettera del nome del modello rappresenta un blocco del diagramma:

- Liveware (L): rappresenta l'uomo, l'operatore;

- Hardware (H): rappresenta la macchina con cui l'operatore deve operare;
- Software (S): comprende tutte le leggi, le procedure e gli usi nell'ambito dello svolgimento delle operazioni;
- Environment (E): costituisce l'ambiente nel quale vengono svolte le atività.

Il modello originale è stato in seguito modificato [8], mediante l'aggiunta di un altro blocco L, che consente di valutare anche le interazioni tra più operatori. Il classico modello SHELL è rappresentato in Figura 1.3.

Figura 1.3: Modello SHELL

Tale modello è di grande importanza specialmente in campo aeronautico, in quanto è stato ufficialmente adottato da ICAO.

1.3.1.2 ADREP 2000

Accident/Incident Data Reporting (ADREP) è un sistema di raccolta dati gestito e operato da ICAO. ADREP, che iniziò ad operare nel 1976, raccoglie, immagazzina e fornisce dati relativi alle segnalazioni di occorrenze provenienti da tutto il mondo. Per raccogliere e gestire una quantità di dati così grande, è stato necessario definire un'opportuna tassonomia, ADREP 2000, basata sul modello SHELL, continuamente aggiornata in collaborazione con gli stati membri di ICAO. La tassonomia si basa su una serie di tabelle che descrivono tutti i vari eventi, le varie fasi di volo, l'ambiente esterno e i fattori umani che possono intervenire in un'occorrenza. Le classi principali sono:

- Events: sono definiti i vari eventi che si sono verificati nell'occorrenza e le fasi di volo durante le quali si sono verificati.
- Descriptive factors: descrivono in dettaglio cosa è successo durante un evento, elencando tutti i fenomeni accaduti.

- Explanatory factors: servono a spiegare perché un evento è accaduto; possono essere usati per determinare quali azioni preventive è necessario adottare. Sono quindi correlati con i fattori umani o gestionali: se l'evento non prevede l'intervento di questi fattori, non è richiesto l'uso di explanatory factors.
- Modifiers: sono assegnati a descriptive ed explanatory factors per dar loro una misura qualitativa.

In Figura 1.4 è riportato lo schema di classificazione delle occorrenze secondo ADREP, preso dall'ICAO Doc 9156 [9].

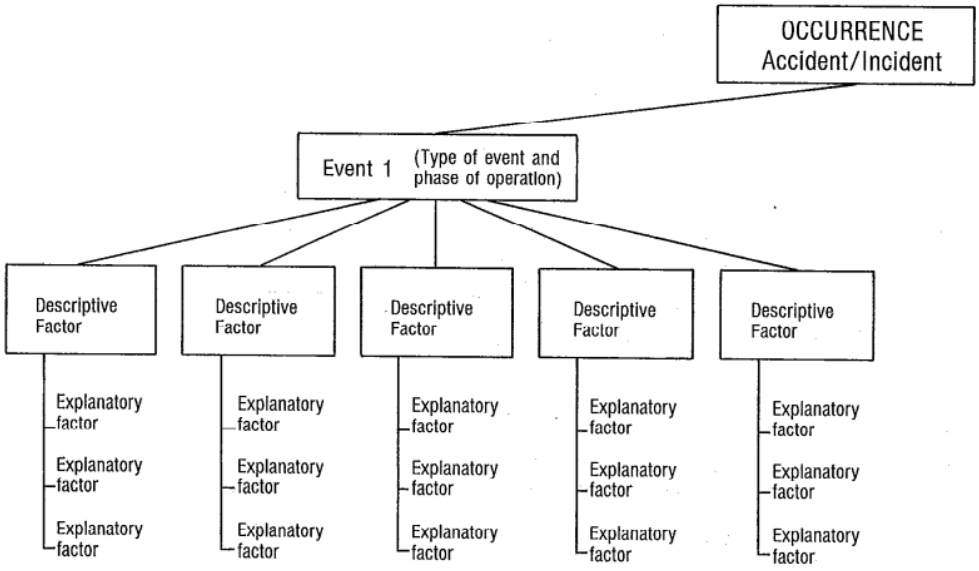


Figura 1.4: Struttura della tassonomia ADREP 2000

Il primo passo da compiere nella classificazione di un'occorrenza secondo ADREP è classificare l'occorrenza in base alla severità, poi si passa a catalogare l'occorrenza in una precisa categoria, come mid-air collision (MAC), loss of control inflight (LOC-I) o controller flight into terrain (CFIT). Successivamente vengono individuati gli eventi che hanno concorso all'occorrenza e, dopo averli disposti in ordine cronologico, ad ognuno vengono assegnati gli opportuni descriptive factors, eventuali explanatory factors e i relativi modifiers.

1.3.1.3 ISAAC

Il metodo Integrated Systemic Approach for Accident Causation (ISAAC, Cacciabue [10]) è in grado di evidenziare maggiormente gli errori umani rispetto

alla tassonomia ADREP. Esso fa riferimento al modello organizzativo di Reason (1997) ed è volto a mettere in luce gli errori attivi e latenti commessi a diversi livelli e tempi dell'organizzazione.

Con riferimento alla Figura 1.5, è possibile notare che da ogni evento si diramano due percorsi: percorso fattori umani e percorso guasti tecnici. Nel primo vengono riportati gli errori attivi commessi dagli operatori durante l'esecuzione di un compito; nel percorso guasti tecnici, invece, vengono riportate le avarie occorse al sistema durante l'occorrenza. Entrambi i percorsi vanno a convergere ad uno o più errori latenti. Ogni errore attivo può essere generato o favorito da altre cause, come ad esempio fattori personali, fattori causali, o fattori contestuali. Possono anche essere analizzati collegamenti tra i due percorsi, come nel caso di errori umani che vanno a generare dei guasti tecnici.

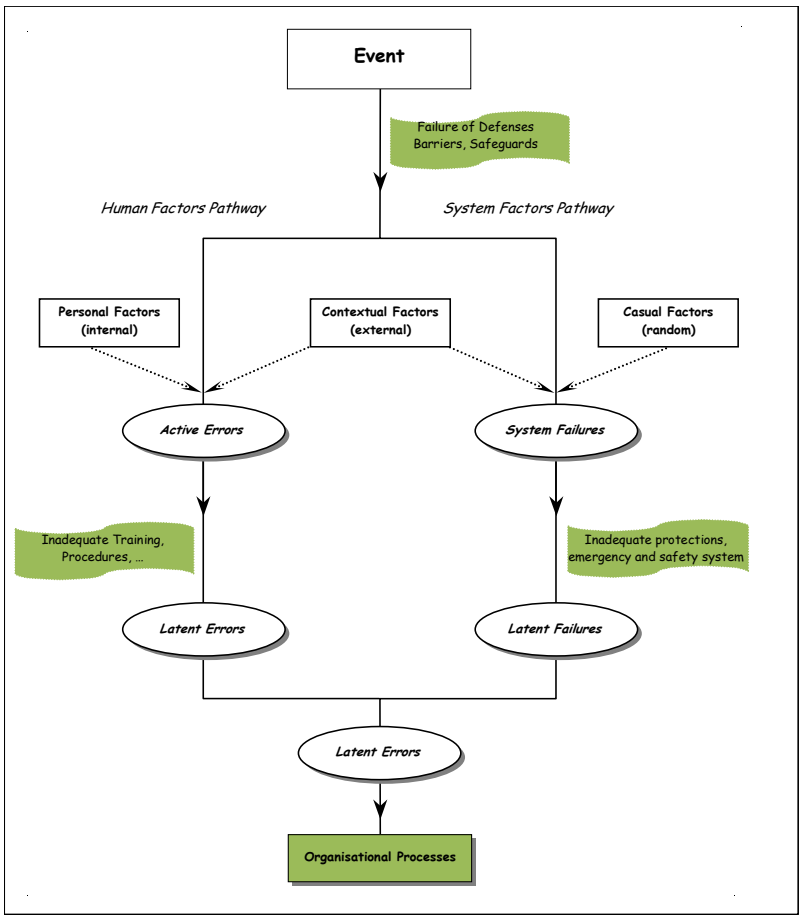


Figura 1.5: Diagramma ISAAC, adattato da [3]

A questo metodo non è associata alcuna tassonomia specifica, salvo l'uso dei concetti basici di errori attivi e latenti e tipologie standard di errori definiti da Reason [11]. Questo offre il vantaggio di lasciare più libertà all'analista di descrivere l'occorrenza secondo la sua esperienza. La mancanza di una tassonomia di riferimento, tuttavia, rende difficile l'inserimento dell'occorrenza in un database e non permette di fornire linee guida all'analista.

1.3.1.4 CREAM

Cognitive Reliability Error Analysis Method (CREAM) è un metodo, sviluppato da Hollnagel [12], per l'analisi di fattori umani di seconda generazione. Esso può essere utilizzato sia per predire la probabilità di accadimento di un certo evento, sia per analizzare le cause di un incidente. Esso si basa sul modello COCOM per considerare gli aspetti del contesto operativo e sociale, per poi combinarli e valutarli, al fine di classificare gli errori umani commessi nei diversi processi mentali e ottenere un'analisi di affidabilità. Secondo il modello COCOM, il comportamento umano è diviso in quattro funzioni cognitive (percezione, interpretazione, pianificazione ed esecuzione) collegate ciclicamente tra di loro.

Il metodo CREAM permette di considerare, in modo integrato, l'interfaccia uomo-macchina, ovvero impianti ed operatori, generando sequenze di eventi sulla base di criteri definiti a priori o sulla base dell'evolversi della sequenza. Il problema principale di questo metodo risiede nell'individuazione di dati per il calcolo delle probabilità di errori umani nelle diverse attività cognitive.

1.3.1.5 HFACS

Lo Human Factors Analysis and Classification System (HFACS) è un metodo per l'analisi e la classificazione di eventi legati a fattori umani. Questa tassonomia è stata sviluppata partendo dall'analisi di diversi incidenti aerei provenienti dal campo militare e civile Statunitense ed è basata sul modello di Reason [13] che distingue tra errori attivi e latenti. I primi sono commessi dal personale di prima linea, mentre gli errori latenti sono spesso la causa degli errori attivi e le loro radici risiedono nel management e nelle decisioni dell'organizzazione. In particolare nella tassonomia HFACS si distinguono quattro tipi di errore:

- **Unsafe Acts:** sono errori attivi, commessi dall'equipaggio e rappresentano spesso la cause diretta dell'incidente. Si distinguono de categorie:

  - **Errors:** rappresentano l'attività fisica e mentale dell'individuo che non raggiunge l'obiettivo desiderato.
  - **Violations:** riguardano infrazioni volontarie alle norme e ai regolamenti che garantiscono la sicurezza del volo.
- **Preconditions for Unsafe Acts:** rappresentano gli errori latenti più vicini agli errori attivi. Sono a loro volta divisi in:
  - **Substandard Conditions of Operators:** racchiudono tutte le condizioni psicologiche e mentali degli operatori che possono aver portato all'errore.
  - **Substandard Practices of Operators:** fanno riferimento alle relazioni tra i membri dell'equipaggio e alle loro abitudini fuori dal lavoro.
- **Unsafe Supervision:** il ruolo dei supervisori è di fornire la possibilità di successo; a tal fine essi devono fornire linee guida, addestramento, motivazioni e il corretto comportamento da essere emulato. La mancanza di questi elementi rientra in questa categoria di errori latenti.
- **Organizational Influences:** rappresentano il livello più alto di errori latenti, e costituiscono errori decisionali ad alto livello presi dal management dell'azienda.

Questi tipi di errori attivi e latenti sono ulteriormente espansi e classificati, come descritto da Shappell e Wiegmann [14]. In conclusione, la tassonomia HFACS rappresenta un collegamento tra teoria e pratica e fornisce agli investigatori un utile strumento di indagine per identificare e classificare le cause di incidenti legate a fattori umani.

1.3.2 Metodi per analisi prospettiche

1.3.2.1 Alberi di evento e alberi di guasto

Gli alberi di evento (ET, Event Trees) e gli alberi gi guasto (FT, Fault Trees) rappresentano due strumenti di grande utilità nell'analisi quantitativa del rischio. Gli alberi di evento rappresentano uno strumento di analisi in avanti nel tempo, quindi di tipo induttivo. L'albero parte da un evento iniziatore, identificato da analisi precedenti, dal quale si considerano tutti i sistemi di sicurezza come funzionanti (W) o guasti (F), in riferimento alla Figura 1.6 [15].

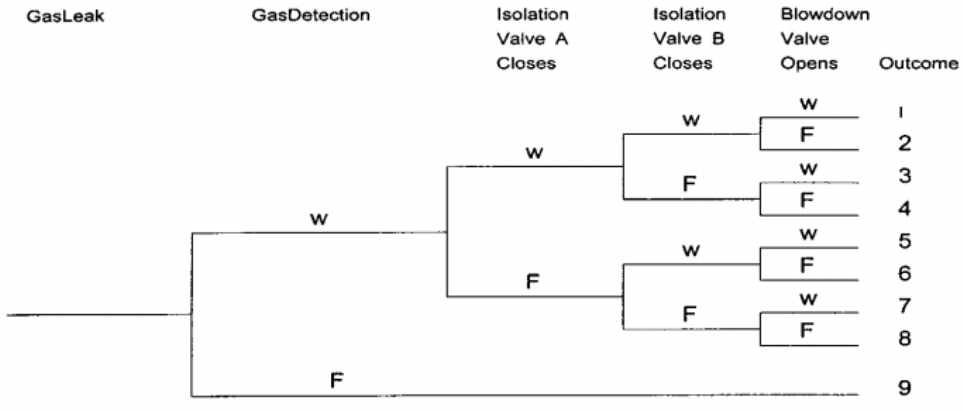


Figura 1.6: Esempio di albero di evento

Continuando con queste possibilità di tipo binario, si ottiene un albero con 2^n possibili sequenze, con n numero di sistemi di sicurezza. In realtà gli alberi vengono semplificati nel caso in cui, come in Figura 1.6, il guasto di un sistema di sicurezza comporti il guasto o il non intervento dei sistemi di sicurezza successivi. Ad ogni sistema di sicurezza è assegnata una probabilità di successo, ovvero di fallimento; la probabilità di accadimento della sequenza finale, nel caso di eventi indipendenti, è data semplicemente dal prodotto delle probabilità di tutti gli eventi che compongono quel ramo dell'albero. Nel caso di eventi dipendenti il calcolo non è così semplice, e potrebbe richiedere l'applicazione di particolari metodi di analisi, come quelli descritti in [15]. Per calcolare la probabilità di fallimento o di successo di un singolo sistema di sicurezza, in genere inteso come un insieme complesso di più elementi, si utilizzano gli alberi di guasto.

La tecnica degli alberi di guasto è uno strumento molto potente finalizzato al calcolo della probabilità di fallimento di un sistema complesso. Nota la struttura del sistema in esame e note le probabilità di cedimento dei vari componenti che compongono il sistema, è possibile calcolare la probabilità di malfunzionamento del sistema (detto evento TOP). Il metodo si struttura graficamente come un albero che, partendo dall'evento TOP, analizza tutte le possibili cause che possono generare l'evento TOP.

Un albero di guasto è composto da due elementi principali: events e gates. Gli events rappresentano i vari eventi che concorrono alla realizzazione dell'evento TOP, mentre i gates rappresentano le porte logiche che collegano gli events. Le proprietà dei diversi elementi e le norme per la realizzazione di un albero di

guasto, sono descritte nel documento della Nuclear Regulatory Commission degli Stati Uniti [16].

Per la determinazione della probabilità di accadimento dell'evento TOP si utilizzano le regole dell'algebra booleana. Tuttavia, nel caso uno stesso evento compare più volte nello stesso albero, è necessario adottare la tecnica dei minimal cut sets, descritto in letteratura [17].

1.3.2.2 Bow-Tie

Il metodo Bow-Tie [18] è diventato molto popolare negli ultimi anni; le ragioni della sua popolarità risiedono nella sua implementazione grafica, molto intuitiva e facilmente comprensibile anche da persone non esperte nel settore. Grazie a tale metodologia è possibile ottenere un'analisi qualitativa e quantitativa del rischio. L'idea che vi sta alla base è di combinare in un unico grafico le cause (fault tree) e le conseguenze (event tree) di una situazione di pericolo.

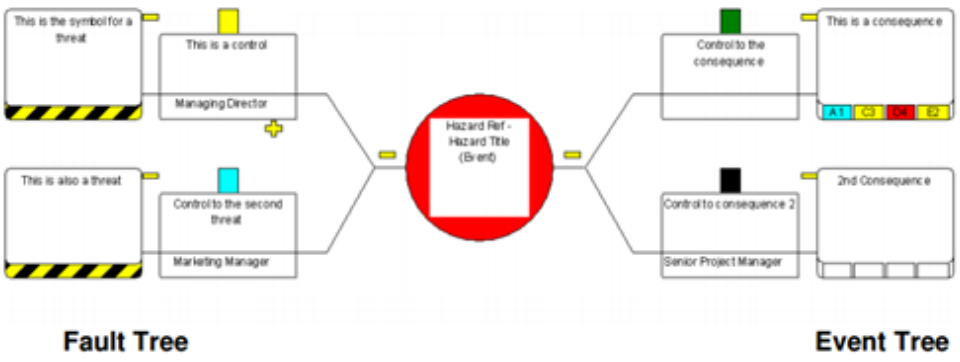


Figura 1.7: Esempio di grafico Bow-Tie, tratto da [18]

Il processo prevede l'identificazione del pericolo che si vuole evitare, delle minacce che possono portare a questa situazione di pericolo, e delle conseguenze che tale situazione potrebbe generare. In seguito è possibile inserire anche le barriere atte ad evitare il verificarsi della situazione di pericolo (nella parte sinistra del grafico) e delle barriere atte a contenere le conseguenze una volta che la situazione di pericolo si è verificata (nella parte destra del grafico). Il diagramma che si ottiene ha la tipica forma di un cravattino (Figura 1.7), da qui il nome Bow-Tie. Il metodo permette anche l'inserimento di escalation factors, cioè di fattori che possono limitare o annullare l'efficacia delle barriere. Questo processo è di tipo iterativo ed è spesso eseguito da un team di esperti del settore.

Costruito il diagramma, se sono note le probabilità di accadimento degli eventi che lo compongono, è possibile calcolare la probabilità di accadimento di ognuno dei possibili scenari, in modo da poterli includere in una matrice di rischio. Il metodo Bow-Tie, tuttavia, non permette il calcolo delle probabilità di accadimento degli eventi; questo metodo, quindi, va accoppiato ad altri metodi per il calcolo delle probabilità degli eventi, come alberi di evento o alberi di guasto, o a metodi per l'analisi di dati raccolti dai quali ricavare le frequenze di accadimento. Per quanto riguarda la severità delle conseguenze, la valutazione è lasciata all'analista, che potrà utilizzare la sua esperienza o ricorrere a simulazioni deterministiche.

Il metodo Bow-Tie, grazie alla sua semplicità e all'accuratezza dei risultati che fornisce, è uno strumento molto utile nello sviluppo di un buon SMS.

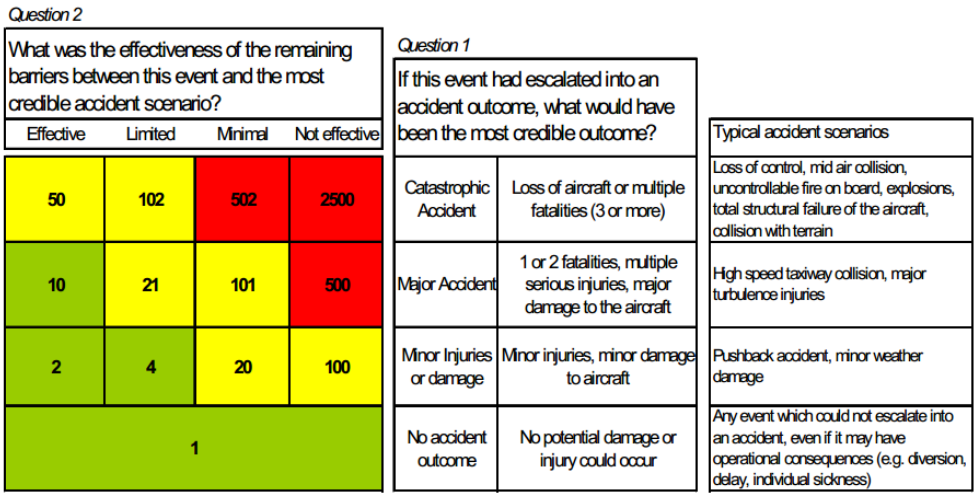
1.3.2.3 ARMS

ARMS (Aviation Risk Management Solution) è un gruppo di lavoro creato nel 2007, con lo scopo di sviluppare una metodologia per la valutazione del rischio operativo (ORA, Operational Risk Assesment"). La metodologia sviluppata, che costituisce un ottimo strumento per lo sviluppo si un SMS, comprende due fasi principali: una di analisi retrospettiva e una di analisi prospettica, ed è abbondantemente descritta in [19].

Nella prima fase, denominata ERC (Event Risk Classification), tutti i dati raccolti vengono analizzati e il rischio di ogni evento viene classificato. Questa prima fase permette di identificare tutti gli eventi per i quali è richiesta un'azione immediata per mitigare il rischio ad essi associato. L'ERC si basa su due domande fondamentali:

- Se questo evento fosse sfociato in un incidente, quale sarebbe stato lo scenario più credibile?
- Quale sarebbe stata l'efficacia delle barriere restanti tra questo evento e lo scenario più credibile?

Questa fase porta a due output (Figura 1.8).



Question 2

What was the effectiveness of the remaining barriers between this event and the most credible accident scenario?

Effective	Limited	Minimal	Not effective
50	102	502	2500
10	21	101	500
2	4	20	100
1			

Question 1

If this event had escalated into an accident outcome, what would have been the most credible outcome?

		Typical accident scenarios
Catastrophic Accident	Loss of aircraft or multiple fatalities (3 or more)	Loss of control, mid air collision, uncontrollable fire on board, explosions, total structural failure of the aircraft, collision with terrain
Major Accident	1 or 2 fatalities, multiple serious injuries, major damage to the aircraft	High speed taxiway collision, major turbulence injuries
Minor Injuries or damage	Minor injuries, minor damage to aircraft	Pushback accident, minor weather damage
No accident outcome	No potential damage or injury could occur	Any event which could not escalate into an accident, even if it may have operational consequences (e.g. diversion, delay, individual sickness)

Figura 1.8: Tabella ERC metodo ARMS

Il primo output è costituito da una raccomandazione su cosa fare riguardo l'evento in esame:

- Rosso: investigazione immediata e presa di provvedimenti;
- Giallo: investigare e svolgere altre valutazioni di rischio;
- Verde: usare per il miglioramento continuo.

Il secondo output è costituito da un valore numerico, detto ERC risk index, che fornisce una natura quantitativa al rischio e sarà utile al fine di successive analisi statistiche.

Attraverso l'analisi dei dati ottenuti, l'organizzazione identifica un certo numero di "safety issue" che interessano le sue operazioni; queste andranno analizzate mediante l'uso del metodo SIRA (Safety Issue Risk Assessment). Il primo passo da compiere è definire con precisione tutte le proprietà del safety issue in esame; questo rende il processo di valutazione del rischio molto più semplice da svolgere. La valutazione del rischi attraverso il metodo SIRA si basa su quattro fattori:

- Frequenza o probabilità che si verifichi l'evento iniziatore;
- Efficienza delle barriere per la prevenzione dell'evento iniziatore;
- Efficienza delle barriere per prevenire gli eventi conseguenza e per il recupero della situazione;
- Severità dell'incidente più probabile.

Il metodo SIRA, rende possibile considerare all'interno delle analisi di rischio, anche la bresenza di barriere, cosa non considerata dalla semplice formula probabilità per conseguenza. In Figura 1.9 è riportato il modello che sta alla base di SIRA.

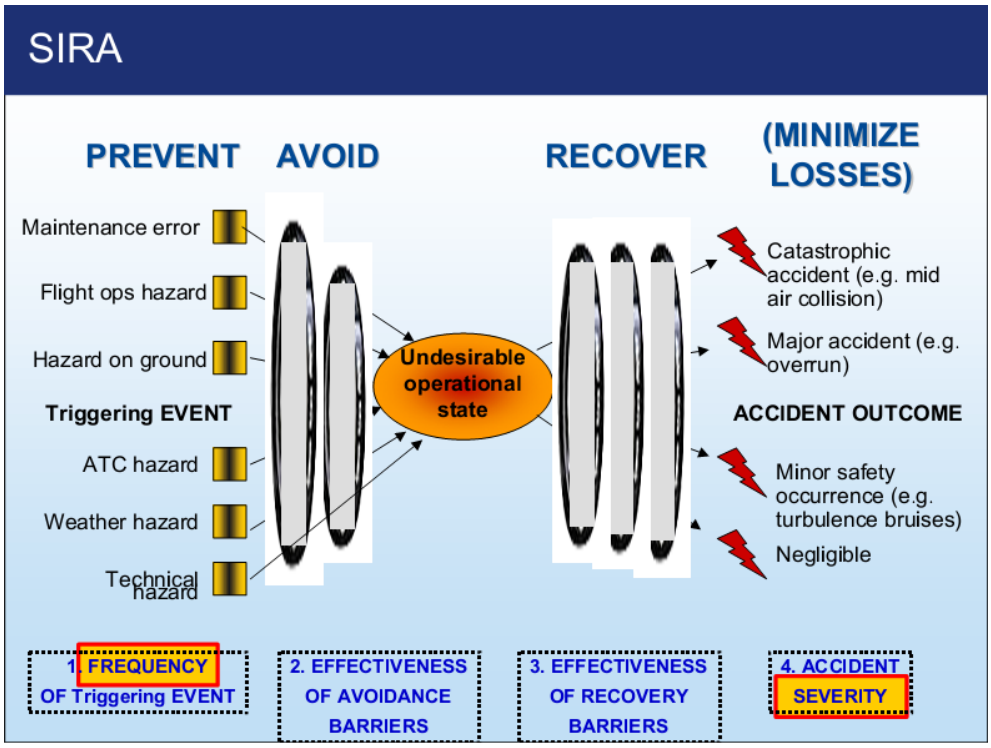


Figura 1.9: Metodo SIRA

Come si nota, il modello fa riferimento al modello Bow-Tie. Le minacce sono rappresentate dai "triggering events", il pericolo dallo "undesirable operational states" e le conseguenze dagli "accident out come". Tra questi elementi sono presenti le barriere, che vengono incluse nell'analisi di rischio, permettendo una stima migliore del livello di rischio.

ARMS ha sviluppato un foglio di calcolo che passo passo permette di effettuare la valutazione del rischio mediante il metodo SIRA, partendo dalla definizione dell'evento iniziatore, di tutte le barriere e dell'incidente più probabile. Il risultato sono cinque livelli di rischio: due inaccettabili (stop e improve) e tre accettabili (secure, monitor e accept).

1.4 RICHIESTE NORMATIVE

Gli ultimi aggiornamenti agli annessi tecnici emanati da ICAO (International Civil Aviation Oranization), impongono a tutti i prestatori di servizi facenti parte di stati aderenti alla convenzione di Chicago, di sviluppare un Safety Management System. Al fine di promuovere l'implementazione di SMS da parte di tutti gli operatori del trasporto aereo, EASA (European Aviation Safety Agency) ha elaborato un documento, detto European Aviation Safety Plan (EASP) [20]. Lo scopo di questo documento è di creare un punto d'intesa europeo comune sui problemi relativi la sicurezza del trasporto aereo, come continuazione del lavoro già svolto per aumentare continuamente i livelli di sicurezza e rispondere alle normative ICAO. Tale documento descrive le modalità di gestione della safety a livello europeo, valorizzando e supportando i Safety Programme sviluppati a livello nazionale dagli stati membri. In particolare il testo europeo si divide in due parti: da un lato viene descritto ciò che è stato attuato negli anni precedenti; dall'altro lato vengono emanate nuove attività per ridurre il rischio dei pericoli già identificati. L'EASP è stato sviluppato prendendo in considerazione i problemi relativi alla sicurezza, riscontrati dagli stati membri dell'Unione Europea, i quali sono stati interrogati in merito alle cinque problematiche maggiori riscontrate. Le problematiche raccolte dagli stati membri sono state divise in tre aree:

- Tematiche di sistema: sono tutte quelle problematiche che riguardano l'aviazione intesa come sistema nel suo complesso. Spesso sono alla radice di diversi incidenti.
- Tematiche operative: riguardano i problemi collegati direttamente alle operazioni di volo.
- Tematiche emergenti: comprendono tutti quegli aspetti legati a operazioni o normative non ancora completamente sviluppate e per le quali non sono ancora presenti dati da analizzare.

Fattor comune di queste tre aree sono i fattori umani; essi, infatti, sono presenti in ogni campo dell'aviazione e il loro miglioramento si riflette nell'aumento della sicurezza in ogni campo. La struttura appena descritta è riportata in forma grafica in Figura 1.10.

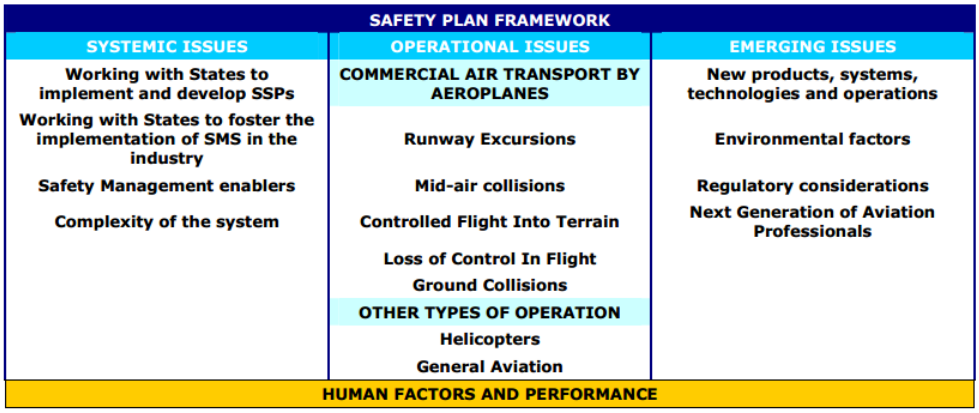


Figura 1.10: Organizzazione dell'EASP

Le tematiche operative evidenziate dall'EASP sono rivolte soprattutto al settore commerciale dell'aviazione, con particolare riguardo agli aeromobili ad ala fissa. L'agenzia europea ha identificato cinque categorie, che costituiscono vari modi in cui un incidente si può verificare; esse sono: runway excursion, mid-air collision, controlled flight into terrain e ground collision.

A livello nazionale, il documento di EASA è stato recepito da ENAC tramite la stesura di due documenti: il programma nazionale italiano della sicurezza aeronautica (state safety programme) [21] e l'ENAC safety plan [22]. Una definizione di cosa sia uno state safety programme è data, appunto, nello state safety programme di ENAC [21]:

lo State Safety Programme è l'insieme organico delle politiche, delle attività e degli obiettivi di sicurezza ed è finalizzato al raggiungimento e al mantenimento di un accettabile livello di sicurezza attraverso il miglioramento delle attività istituzionali di regolazione, certificazione e sorveglianza.

Risulta quindi necessario che ogni Stato definisca e condivida quale sia il livello accettabile di sicurezza. Questo integra all'approccio classico alla safety basato sulla pura rispondenza alle normative, con un approccio moderno, basato sulle prestazioni del sistema in esame. Inoltre, con la Nota Informativa di ENAC [23], viene imposto a tutte le compagnie aeree italiane, di implementare un Safety Management System entro il 28 ottobre 2014.

L'ENAC Safety Plan, invece, rappresenta il piano di attuazione dei contenuti dello State Safety Programme per quanto di competenza di ENAC. Esso rispecchia in pieno la struttura dell'European Aviation Safety Programme di

EASAIn particolare, nel documento di ENAC, viene evidenziato come nella categoria di mid-air collision (MAC) non siano comprese solo le collisioni in volo, ma tutti gli eventi in cui due o più velivoli riducono la loro distanza reciproca oltre i minimi di sicurezza. Inoltre sono comprese anche le segnalazioni di resolution advisory, le risposte inadeguate da parte dell'equipaggio a tali segnalazioni, le separazioni sbagliate da parte del gestore del traffico aereo e le violazioni dello spazio aereo.

Le resolution advisory (RA) sono degli avvisi emessi dal TCAS (Traffic Collision Avoidance System), un dispositivo la cui funzione è di evitare collisioni in volo, mediante l'avviso sonoro e visivo ai piloti. Il TCAS, inoltre, suggerisce all'equipaggio anche la manovra evasiva da mettere in atto per evitare la collisione, questo tipo di avviso sono appunto le RA. Prima di emettere una RA, il TCAS emette un Traffic Alert (TA): un allarme che avvisa semplicemente i piloti della presenza di un traffico in vicinanza. Un dispositivo di questo tipo rappresenta sicuramente una barriera nel contesto di una sequenza incidentale che porta ad una collisione in volo. Per informazioni più dettagliate sul TCAS, si rimanda all'Appendice A.

Altro aspetto trattato nell'ENAC Safety Plan, riguarda le runway excursion (RE) e le runway incursion (RI). Entrambe sono occorrenze legate alla sicurezza delle piste di decollo e atterraggio; nel primo caso l'aeromobile esce dai limiti della pista di volo, laterali o frontali, durante la corsa di decollo o atterraggio. Nel secondo caso, invece, un velivolo, un veicolo o una persona, non autorizzato entra nell'area protetta delle operazioni di decollo e atterraggio. Per entrambe le occorrenze sono state studiate e messe in atto diverse barriere. Per prevenire le RE si ricorre, per esempio, ad un adeguato addestramento dei piloti, a misurazioni dell'attrito tra pneumatico e pista, e all'adozione di nuove tecnologie a bordo degli aeromobili. Per quanto riguarda le RI vi sono addestramenti adeguati del personale di terra, l'adozione di sistemi anti intrusione e di sorveglianza dei movimenti dei velivoli e dei veicoli al suolo (A-SMGCS).

1.5 OBIETTIVI E SVILUPPO DELLA TESI

Lo scopo di questa tesi è valutare il rischio legato al pericolo di "loss of separation", come parte integrante dello sviluppo di un SMS, attraverso analisi di tipo prospettico ed uso di dati ricavati dagli archivi storici aziendali, dati di altre aziende associate o collegate e dati generici ottenuti dalla letteratura. Altri

impieghi dell'analisi prospettica riguardano la valutazione dei rischi associati a particolari conseguenze di sequenze incidentali, come il CFIT o le "runway excursion", e le analisi di rischio nel caso di specifici pericoli, come nel caso di "mid-air collision". In questa tesi verrà sviluppata una particolare metodologia per effettuare analisi di rischio di tipo prospettico: questa potrà essere utilizzata all'interno di un SMS per soddisfare le richieste normative, in merito alla analisi di rischio legato ad alcuni pericoli. Tuttavia, la metodologia sviluppata sarà di carattere generale, potendo così essere applicata non solo in campo aeronautico. In seguito, la metodologia sviluppata, verrà implementata, a scopo esemplificativo, all'analisi di rischio di alcuni pericoli contenuti nella normativa ENAC ed EASA.

Nel capitolo 2 viene descritto un quadro globale sulla sicurezza dell'aviazione, analizzando diverse statistiche di sicurezza, mentre nel capitolo 3 è presentata una metodologia per analisi di rischio prospettiche e retrospettive. Nel capitolo 4, invece, viene applicata la metodologia descritta, ad un caso studio reale, che soddisfi le richieste normative. Infine, nel capitolo 5 sono presentate le conclusioni e i possibili sviluppi futuri della metodologia.

2 MOTIVAZIONI DELLE SCELTE DEI PERICOLI INSERITI NELL'EASP

Il seguente capitolo si pone l'obiettivo di mettere in evidenza i fattori che hanno portato l'agenzia europea per la sicurezza aerea (EASA) ad includere nell'EASP [20] le cinque categorie di incidenti già citate:

- Runway excursion (RE)
- Mid-air collision (MAC)
- Controlled flight into terrain (CFIT)
- Loss of control in flight (LOC-I)
- Ground collision:
    - Runway Incursion (RI)
    - Ground Handling (RAMP)

2.1 STATISTICHE DI INCIDENTI

Ogni anno vengono elaborate, a livello mondiale, continentale e nazionale, molte statistiche sulla sicurezza aerea. Tali studi prendono normalmente in considerazione il decennio precedente, ed analizzano molti parametri come, ad esempio, l'andamento del rateo di incidenti nel tempo, il numero di incidenti per categoria di velivolo, o il numero di incidenti per regione. Tra i documenti più importanti a livello mondiale vi sono l'ICAO State of Global Aviation Safety [24] e il rapporto redatto dalla Boeing [25]; mentre a livello europeo il documento EASA [26] è sicuramente il più importante.

2.1.1 Accident e incident

Per meglio comprendere le statistiche che verranno presentate in seguito, è opportuno chiarire la differenza che intercorre tra "accident" e "incident". Nonostante in italiano si traducano entrambi con "incidente", in inglese hanno un significato ben differente. Nella tassonomia ADREP 2000, le occorrenze vengono classificate in cinque classi principali, ben definite in base ai danni ottenuti a causa di esse (Figura 2.1):

- Accident
- Serious incident
- Incident
- Occurrence without safety effects

- Not determined

ECCAIRS 4	Occurrence classes	Data Definition Standard
100	Accident	**Accident**
	An occurrence associated with the operation of an aircraft which takes place between the time any person boards the aircraft with the intention of flight until such time as all such persons have disembarked, in which: a) a person is fatally or seriously injured as a result of: - being in the aircraft, or - direct contact with any part of the aircraft, including parts which have become detached from the aircraft, or - direct exposure to jet blast,except when the injuries are from natural causes, self-inflicted or inflicted by other persons, or when the injuries are to stowaways hiding outside the areas normally available to the passengers and crew; orb) the aircraft sustains damage or structural failure which: - adversely affects the structural strength, performance or flight characteristics of the aircraft, and - would normally require major repair or replacement of the affected component,except for engine failure or damage, when the damage is limited to the engine, its cowlings or accessories; or for damage limited to propellers, wing tips, antennas, tires, brakes, fairings, small dents or puncture holes in the aircraft skin; orc) the aircraft is missing or is completely inaccessible.	
200	Serious incident	**Serious incident**
	An incident involving circumstances indicating that an accident nearly occurred.N.B. Examples of serious incidents can be found in Attachment D of ICAO Annex 13 and in the ICAO Accident/Incident Reporting Manual (ICAO Doc 9156).	
300	Incident	**Incident**
	An occurrence, other than an accident, associated with the operation of an aircraft which affects or could affect the safety of operation.N.B. The type of incidents which are of main interest to the International Civil Aviation Organization for accident prevention studies are listed in the ICAO Accident/Incident Reporting Manual (ICAO Doc 9156) and ICAO Annex 13.	
301	Major incident	**Major incident**
	Eurocontrol: An incident associated with the operation of an aircraft, which safety of aircraft may have been compromised, having led to a near collision between aircraft with ground or obstacles (i.e. safety margins not respected which is not the result of an ATC instruction)	
302	Significant incident	**Significant incident**
	Eurocontrol: An incident involving circumstances indicating that an accident, a serious or major incident could have occurred, if the risk had not been managed within safety margins, or if another aircraft had been in the vicinity.	
400	Occurrence without safety effect	**Occurrence without safety effect**
	Eurocontrol: An incident which has no safety significance. N.B. This appears to be a contradiction with the ICAO definition of an incident: An occurrence, other than an accident, associated with the operation of an aircraft which affects or could affect the safety of operation.	
500	Not determined	**Not determined**
	The class of the occurrence has not been determined.	

Figura 2.1: Classi di occorrenza ADREP 2000

A livello nazionale, la circolare ENAC GEN01B [27], riporta alcune definizioni di classi di occorrenze.

Di particolare importanza è analizzare le definizioni di “accident”, “serious incident” e “incident”.

La definizione di “accident” è molto articolata e dettagliata, ma riassumendo si può dire che con “accident” si intende un’occorrenza che ha portato alla morte involontaria e non naturale di uno o più passeggeri o membri dell’equipaggio, o che ha portato alla perdita dell’aeromobile o a danneggiarlo in maniera da richiedere grandi interventi di manutenzione. Nella circolare ENAC GEN01 [27], questa classe viene definita come incidente, e la definizione è analoga a quella adottata da ADREP 2000.

Per "serious incident", invece, si intende un'occorrenza che ha portato ad evitare per poco l'accadimento di un "accident"; a livello nazionale, tale classe di occorrenza è definita nella circolare ENAC GEN01 [27] come inconveniente grave.

Con "incident" viene indicata un'occorrenza, che non sia un "accident", che pregiudica o potrebbe pregiudicare la sicurezza del volo.

2.1.2 Analisi ICAO

Nello State of Global Aviation Safety [24] del 2011, ICAO vuole fornire un riepilogo delle iniziative e dei successi ottenuti in ambito della sicurezza, per informare gli Stati membri e tutti gli operatori sullo stato mondiale, regionale e statale della sicurezza del trasporto aereo. In primo luogo viene svolta un'analisi sul mercato dell'aviazione commerciale globale, mettendo in evidenza le tendenze per ogni regione del mondo. In seguito ICAO descrive i mezzi e le iniziative con cui monitorare e aumentare i livelli di sicurezza dell'aviazione mondiale: Policiy and Standardization, Safety Monitoring, Safety Analysis e Implementation.

Di particolare interesse è la sezione dedicata all'analisi sulla sicurezza; questa viene effettuata mediante l'uso di statistiche. Come indicatore primario sullo stato di sicurezza, ICAO utilizza il rateo di incidenti, basato sui voli commerciali di linea effettuati con velivoli di peso massimo al decollo superiore a 2250 kg; con rateo di incidenti si intende il numero di incidenti avvenuti per milioni di partenze. Oltre all'adozione dello "storico" rateo di incidenti, l'organizzazione mondiale, in collaborazione con tutti gli stati membri, sta elaborando un altro indicatore, armonizzato e basato su criteri comuni.

In primo luogo viene valutato il rateo di incidenti a livello mondiale negli anni dal 2005 al 2010. In seguito viene analizzato il rateo di incidenti per le singole regioni del mondo (Figura 2.2).

Accident Statistics and Accident Rates: 2010

UN Region	Traffic	Accidents		Fatal Accidents
		Number	Rate[3]	
Africa	1,013,063	17	16.8	3
Asia	7,629,403	24	3.1	9
Europe	7,263,218	24	3.3	2
Latin America and the Caribbean	2,976,575	16	5.4	5
North America	10,624,134	35	3.3	0
Oceania	1,050,120	5	4.8	0
World	**30,556,513**	**121**	**4.0**	**19**

Figura 2.2: Rateo di incidenti per regioni tratto da [24]

Nel caso dell'Europa, viene messo in evidenza come il rateo di incidenti sia inferiore alla media mondiale, con soltanto l'8% degli incidenti aventi conseguenze mortali. Nello stesso documento, tuttavia, si nota come il rateo di incidenti a livello regionale dipenda fortemente dal volume di traffico che interessa quella regione: un incidente in una regione con un gran volume di traffico ha meno impatto rispetto ad uno in una regione con poco traffico. Questo richiede l'analisi di ulteriori dati per completare l'analisi dei dati a livello regionale. ICAO ha implementato un sistema, denominato Safety Intelligence, per colmare queste lacune.

Nel seguito del documento redatto da ICAO, sono descritte le iniziative, volte a migliorare la sicurezza, in ambito mondiale, attualmente adottate dall'organizzazione.

2.1.3 Analisi EASA

L'Annual Safety Review 2011 di EASA [26] presenta caratteristiche molto simili al documento ICAO. Anche in questo caso, viene fatta una breve analisi del trasporto aereo nel suo complesso a livello europeo, dopodiché vengono presentati i dati statistici e le iniziative adottate da EASA per perseguire gli obiettivi di sicurezza. Tutte le statistiche presenti in questo documento, sono riferite a velivoli registrati in uno degli stati membri dell'Unione Europea. Viene fatta una distinzione tra aviazione commerciale, aviazione generale e velivoli leggeri. Nell'ambito dell'aviazione commerciale, vengono analizzati tutti gli incidenti correlati a velivoli aventi peso massimo al decollo superiore a 2250 kg ed operanti a scopi commerciali, quindi trasporto passeggeri, merci o posta. La categoria di velivoli considerati è dunque più ampia rispetto ai velivoli considerati nel rapporto di Boeing, come vedremo, tuttavia, EASA si limita ad

analizzare incidenti avvenuti a velivoli registrati in uno degli Stati membri di EASA.

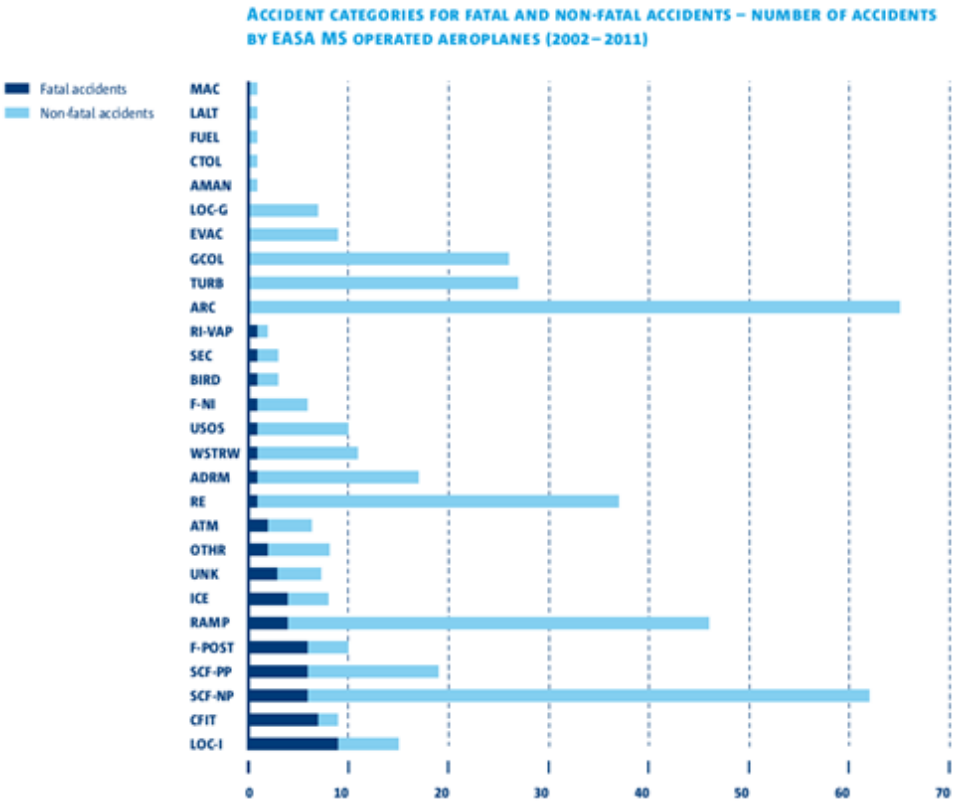


Figura 2.3: Categorie di incidenti aviazione commerciale europea 2002-2011 tratto da [26]

Nel grafico di Figura 2.3 sono riportati il numero di "accidents", mortali e non, divisi per categorie secondo la tassonomia CICTT (CAST/ICAO Common Taxonomy Team) [28]. Come si può notare le categorie con maggiori occorrenze sono LOC-I (Loss of Control In flight) e CFIT (Controlled Flight Into Terrain).

2.1.4 Analisi Boeing

Il documento redatto dalla Boeing del 2012 [25] si differenzia per parecchi aspetti dai documenti ICAO ed EASA. In primo luogo, Boeing considera solamente velivoli commerciali con propulsione a jet e peso massimo al decollo maggiore di 60000 lbs (circa 27000 kg); si nota come i velivoli considerati siano un sottoinsieme di quelli presi in considerazione da ICAO ed EASA, tuttavia, questi rappresentano la grande maggioranza dei velivoli che operano voli di linea e sono senza dubbio più simili agli aeromobili costruiti da Boeing.

Vengono esclusi dall'analisi i velivoli militari e quelli di costruzione Sovietica o costruiti nel Commonwealth of Independent States (CIS). In secondo luogo, Boeing fornisce più dati statistici sugli incidenti rispetto ad ICAO, ma con meno distinzione tra regioni del mondo, considerando sempre l'aviazione globale. Infine, l'azienda Statunitense non fornisce linee guida o raccomandazioni agli operatori, ma si limita a presentare i dati raccolti e analizzati.

Tra le statistiche più importanti presentate dalla Boeing, vi è l'andamento del rateo di "accidents" e di decessi dal 1959 al 2011 (Figura 2.4).

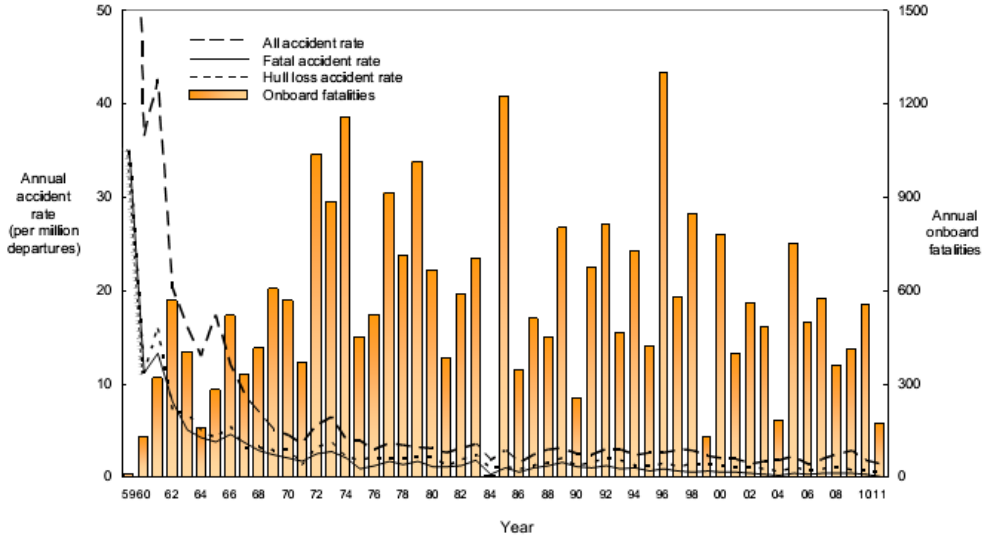


Figura 2.4: Andamento incidenti dal 1959 al 2011 tratto da [25]

Come si può notare, il rateo di incidenti è diminuito molto dai primi anni, mentre è rimasto pressoché costante negli ultimi anni. Il numero delle vittime è molto variabile, dipendendo molto dalla capacità dei velivoli coinvolti negli incidenti.

Un'altra statistica molto importante fornita da Boeing, è la suddivisione degli "accidents" per categoria. Boeing utilizza la classificazione fornita dal CAST/ICAO Common Taxonomy Team (CICTT) per la classificazione delle occorrenze. Nel grafico (Figura 2.5) sono riportati i dati relativi agli incidenti del decennio 2002-2011.

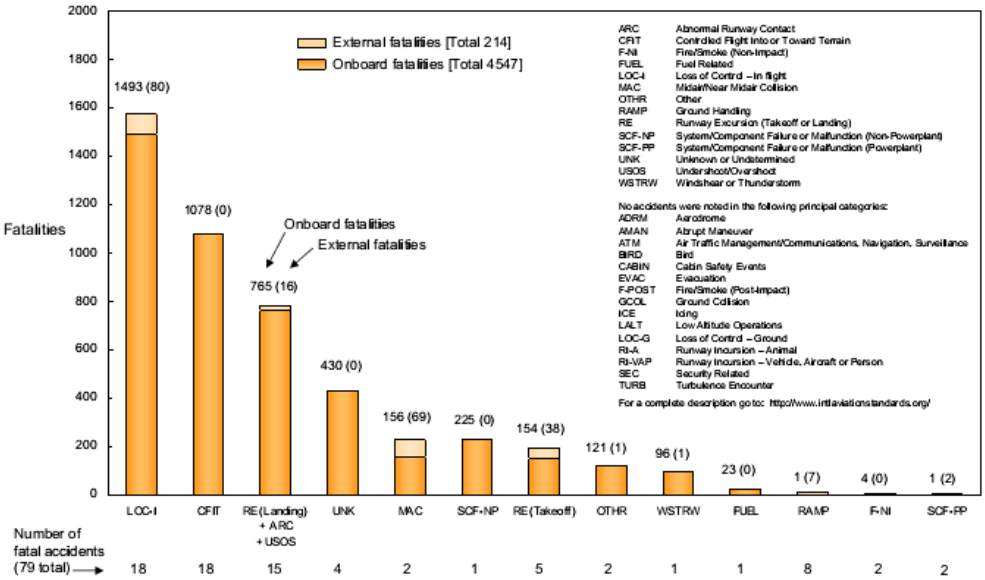


Figura 2.5: Suddivisione incidenti per categoria tratto da [25]

Le diverse categorie di incidenti sono ordinate in base al numero di vittime e non in base al rateo o al numero di incidenti. Questo aiuta a capire quale categoria di incidente abbia conseguenza peggiori per i passeggeri. Una nota riguardo alla categoria MAC (mid-air collision): il numero di incidenti riportato in basso si riferisce ad ogni singolo aeromobile, quindi nel caso di collisione tra due velivoli il numero di occorrenze sarebbe 2.

2.1.5 Altre fonti

Altre importanti fonti di dati statistici sugli incidenti nel campo dell'aviazione si possono trovare a livello nazionale e internazionale. In particolare, a livello nazionale, ANSV (Agenzia Nazionale per la Sicurezza del Volo) redige annualmente il rapporto informativo sull'attività svolta da ANSV e sulla sicurezza dell'aviazione civile in Italia [29]. A livello internazionale, invece, un'altra importante fonte di dati statistici è fornita da IATA (International Air Transport Association) nel safety report che viene redatto annualmente [30].

Analogamente a quanto riscontrato a livello europeo e mondiale, dalle statistiche EASA e Boeing, anche ANSV identifica in Italia le categorie più frequenti di incidenti nel LOC-I e nel CFIT. Nel rapporto ANSV relativo all'anno 2011, inoltre, viene messo in evidenza come il numero totale di inchieste aperte dall'agenzia, stia calando negli ultimi anni. Infine, viene anche analizzato che il

settore maggiormente coinvolto in incidenti è quello dell'aviazione generale e turistico/sportiva.

Dalle analisi svolte da IATA [31], emerge che la categoria di incidenti più frequente sono le "runway excursion" (RE), seguite da "gear up landing", "ground damage", "controller flight into terrain" (CFIT) e "loss of control in flight" (LOC-I).

2.2 ANALISI DEI DATI STATISTICI

Sulla base dei dati statistici appena presentati, è possibile comprendere le ragioni che hanno spinto EASA ad inserire nell'European Aviation Safety Plan i cinque pericoli discussi in precedenza.

Il "loss of control in flight" (LOC-I) e il "controlled flight into terrain" (CFIT), rappresentano le principali cause di incidenti. Questo si verifica sia a livello europeo, come emerge dal documento EASA, sia a livello mondiale, come si può verificare dalle statistiche Boeing. Queste due categorie, infatti, non solo rappresentano le più frequenti, ma sono anche quelle che causano più vittime.

Le "runway excursion", nella classifica Boeing delle categorie con più vittime, occupano il terzo posto; nel report Boeing viene fatta distinzione tra RE in atterraggio e in decollo, e, considerandole in un'unica categoria, il numero di vittime risulta ancora maggiore. A livello europeo, non si hanno molti incidenti mortali di RE, ma la frequenza di "non fatal accidents" di questa categoria è molto elevata.

Per quanto riguarda le "runway incursion", invece, esse sono considerate nell'EASP insieme agli eventi RAMP. Questi ultimi sono molto frequenti come "non fatal accident" in Europa, mentre procurano poche vittime a livello mondiale. Le "runway incursion", pur non comparendo nella classifica Boeing, compaiono in quella EASA; sono state inserite nell'EASP poiché, pur registrandosi pochi "accident" di questo tipo, potrebbero verificarsi numerosi "incident", non riportati nel report EASA.

Le "mid-air collision" compaiono nelle statistiche Boeing subito dopo le RE, se si esclude la categoria "unknown". Nel report EASA, esse compaiono all'ultimo posto come "non fatal accident". Il loro inserimento nell'European Aviation Safety Plan, potrebbe essere dovuto all'elevato numero di vittime che un "accident" di questo tipo può causare, come dimostra il report Boeing, in quanto

in questa categoria sono coinvolti sempre almeno due velivoli. Inoltre, essendo inclusi nella categoria MAC anche occorrenze che comprendono solo l'emanazione di avvisi del TCAS, è probabile che ci siano molte occorrenze di questa categoria, ma classificate come "incidents", e quindi non riportate nel report EASA. La presenza di molte occorrenze che coinvolgono l'attivazione del TCAS, è confermata anche dai dati forniti da diversi operatori nazionali italiani [32].

3 DESCRIZIONE METODOLOGIA PER ANALISI IN UN SMS

Lo scopo di questo capitolo è di formalizzare e descrivere una procedura, che sia la più generale possibile ed al tempo stesso estremamente pratica, da applicare per le analisi di rischio da includere in un Safety Management System. Nonostante tali analisi siano già state svolte da alcuni operatori italiani, il processo utilizzato non è stato formalizzato in maniera completa ed esaustiva. Ciò rende la sua applicazione piuttosto difficile ed esposta a possibili alterazioni o dimenticanze. La metodologia che verrà descritta in questo capitolo, si basa sui documenti già sviluppati, eliminando le ambiguità che si sono riscontrate, formalizzando il processo di implementazione di analisi prospettica e retrospettiva in una procedura applicativa standardizzata. La metodologia sviluppata prende il nome di Risk Assessment for Managing Company Operational Processes (RAMCOP). La procedura che verrà di seguito descritta, tuttavia, non deve essere interpretata come uno schema rigido e unico da applicare pedissequamente. A seconda del rischi da valutare, della tipologia di operazione da analizzare e a seconda della volontà dell'analista, la procedura qui descritta potrà essere modificata nella sua forma di applicazione, per meglio adattarla alle esigenze dell'analista.

3.1 DEFINIZIONI

Prima di procedere nella descrizione della metodologia, è utile dare alcune definizioni, al fine di avere ben chiari i concetti spiegati in seguito.

Pericolo: una condizione, oggetto, attività o evento con il potenziale di generare danni alle persone, agli equipaggiamenti, alle strutture, perdite di materiale o riduzione della capacità di portare a termine la missione.

Undesirable operational state: la situazione, nello svilupparsi di un incidente, in cui l'unico modo di evitare l'incidente è attraverso misure di recupero efficaci.

Minaccia: un guasto, un fatto casuale o un evento precursore, che da solo o assieme ad altri, può portare ad un undesirable operational state.

Conseguenza: un potenziale punto di conclusione di un incidente, al quale può essere assegnato un grado di severità.

3.2 METODOLOGIA

3.2.1 Fase 1

Il primo passo da compiere per la valutazione del rischio è quello di effettuare un'analisi qualitativa del processo in esame. Questo procedimento presenta aspetti differenti nel caso si voglia analizzare un cambiamento, o nel caso si vogliano analizzare procedure o operazioni già in uso. In ogni caso non è un processo semplice; infatti, le operazioni e gli aspetti da analizzare potrebbero essere molto numerose. Inoltre, nel caso di change management, potrebbero non essere ancora definite procedure precise da seguire e potrebbe non essere facile identificare tutte le operazioni che vengono coinvolte dal cambiamento. Inoltre, se la metodologia RAMCOP viene utilizzata per analizzare dei cambiamenti, assume un'accezione prospettica, mentre nel caso venga utilizzata per l'analisi di operazioni già in uso, assume un carattere retrospettivo, e potrà basarsi anche su database di occorrenze già avvenute.

Lo scopo di questa prima analisi è di compilare una tabella, detta tabella di fase 1, dove vengono riportate le minacce, i pericoli e le possibili conseguenze. Questi tre fattori devono essere divisi, in modo che ogni insieme di minacce, pericoli e conseguenze rappresentino una possibile sequenza incidentale. Un esempio di tale tabella è riportato in Tabella 3.1.

Tabella 3.1: Esempio di tabella fase 1

Operazione interessata:		
Minacce	**Pericoli**	**Conseguenze**

Come è possibile intuire, al fine di compilare correttamente questa tabella, è necessario possedere una grande conoscenza delle operazioni analizzate, dell'ambiente di lavoro, delle procedure e delle abitudini adottate dall'operatore. Questo processo, quindi, richiede una collaborazione tra l'analista, esperti del settore, e gli operatori di prima linea interessati nelle operazioni studiate.

In un certo senso, questa prima tabella raccoglie le minacce e i relativi pericoli che si possono presentare, in ordine cronologico, seguendo le varie fasi di volo

della missione del velivolo o, più in generale, le diverse operazioni svolte nell'ambito di un processo dell'organizzazione. Infatti, per la compilazione della tabella di fase 1, si consiglia l'uso di checklist, "Standard Operating Procedures" (SOP), "Emergency Operating Procedures" (EOP), ecc. adottate dall'operatore e la collaborazione di esperti del settore e operatori di prima linea, in grado di fornire informazioni più dettagliate sulle attività che svolgono.

Una volta compilata la tabella con minacce, pericoli e conseguenze, risulterà evidente che molti dei pericoli individuati si ripetono, per diverse minacce. Il passo successivo consiste proprio nel raggruppare i pericoli uguali per compilare la tabella di fase 3, più dettagliata, che permetterà di effettuare l'analisi finale.

3.2.2 Fase 2

Prima di poter compilare la tabella di fase 3 è spesso, ma non sempre, necessario compiere un passo intermedio. Questo ha lo scopo di identificare la conseguenza peggiore, tra tutte le sequenze incidentali derivanti da un certo pericolo e quindi, se necessario o utile, passare ad una fase di selezione ("screening") tra le varie sequenze, per selezionare quella con le conseguenze "peggiori" in termini di rischio che verrà analizzata in fase 3. Per ogni pericolo sono state individuate diverse conseguenze; dovendo valutare il rischio, quindi severità e probabilità, è necessario analizzare le varie conseguenze singolarmente. Non è infatti possibile attribuire al pericolo, quindi ad uno stato operativo indesiderato, una severità unica. I metodi per assegnare delle probabilità verranno discussi in seguito.

Anche in questa fase è utile fare uso di una tabella, come quella proposta da Claudia Mariani [4] (Tabella 3.2). Questa è solo una possibile tabella da adottare; a seconda del metodo scelto per l'analisi quantitativa il formato della tabella potrebbe cambiare, o si potrebbe anche non fare uso di tabelle.

Tabella 3.2: Esempio tabella fase 2

Pericolo	Descrizione sequenza incidentale		Barriere esistenti		Severità	Probabilità	Rischio
No.	Conseguenze	Probabilità	Descrizione	Fattore riduzione			

In questa tabella, i pericoli uguali vengono raggruppati e numerati: la numerazione è un passaggio fondamentale per mantenere ordine e chiarezza durante l'analisi. Per ogni pericolo, vengono poi riportate tutte le conseguenze ad esso associato. Oltre alle conseguenze, è utile riportare in questa tabella anche le barriere già esistenti atte ad impedire la sequenza incidentale. Una corretta identificazione delle conseguenze e delle barriere, permetterà di rendere più agevole l'analisi quantitativa che verrà svolta in seguito.

Nella colonna probabilità delle conseguenze, vengono riportate le probabilità di accadimento delle conseguenze, una volta verificatosi il pericolo. Ad esempio, una probabilità pari a 0,1 indica che, una volta verificatasi la situazione di pericolo, nel 10% dei casi accadrà la conseguenza relativa a tale probabilità.

Nella tabella di fase 3 verrà considerato il livello di rischio più alto riscontrato per ogni singolo pericolo. Per determinare il livello di rischio più alto, si utilizza la matrice di rischio: il rischio più alto corrisponde alla casella con maggior frequenza e severità (la casella 5A, con riferimento alla Figura 1.2). Per determinare il rischio maggiore, basterà valutare quale rischio è più vicino al livello 5A. Nel caso di condizioni di rischio identiche, e. g. 3B e 4C, l'analista di sicurezza dovrà utilizzare la propria esperienza per decidere qual è il rischio maggiore.

3.2.3 Fase 3

Per compilare correttamente la tabella della fase 3, è necessario numerare e ordinare tutti i pericoli individuati, in modo da avere una visione chiara e ordinata dei pericoli che andranno analizzati.

Grazie alle analisi svolte nella fase 2, in questa tabella viene riportata solo la sequenza incidentale che presenta il rischio più elevato, selezionata nella fase precedente.

Come è possibile notare dall'esempio di Tabella 3.3, nella tabella di fase 3 sono contenute molte più informazioni. Oltre a quelle già viste per la tabella di fase 2, qui vengono riportate anche le barriere aggiuntive che dovranno essere considerate per mitigare il rischio, nel caso che questo risulti troppo elevato.

Tabella 3.3: Esempio di tabella fase 3

Pericolo		Descrizione della sequenza incidentale	Barriere esistenti	Conseguenze			Barriere richieste	Conseguenze			Richieste di monitoraggio e revisione
#	Descrizione			Severità	Probabilità	Rischio		Severità	Probabilità	Rischio	
1											
2											
3											
4											

Oltre alla descrizione delle nuove barriere che dovranno, eventualmente, essere adottate, in questa tabella vengono anche riportati i risultati della nuova analisi di rischio, condotta considerando anche le nuove barriere introdotte.

Questa tabella finale, offre una visione riassuntiva globale dei pericoli individuati, del rischio loro associato e delle eventuali misure correttive da mettere in atto. L'organizzazione deve quindi riferirsi a questo documento per decidere se le attività che svolge sono sicure e per definire quali ulteriori barriere mettere in atto nello svolgimento dei suoi processi. Inoltre, questa tabella costituisce il punto di partenza della fase di monitoring, dovrà quindi essere costantemente aggiornata e controllata per verificare che il rischio rimanga entro limiti accettabili.

3.3 CONSIDERAZIONI

Il procedimento sopra descritto, porta alla formulazione dell'analisi in un'ottica Bow-Tie. Il passaggio dalla tabella di fase 1 a quella di fase 3, infatti, prevede che i pericoli comuni individuati nella prima fase, vengano raggruppati. Questo passaggio porta al centro dell'attenzione il pericolo, parte centrale e singola del Bow-Tie, evidenziando tutte le minacce che possono generarlo, parte sinistra del Bow-Tie, e le possibile conseguenze che possono scaturire dal pericolo in esame, parte destra del Bow-Tie (Figura 1.7). Le minacce e le conseguenze individuate potranno essere ulteriormente analizzate e sviluppate, a discrezione dell'analista, in modo da formare un albero di guasto ed un albero di evento, per

permettere un calcolo più accurato delle probabilità di accadimento del pericolo e delle conseguenze.

Inoltre, nella stesura dell'ultima tabella, vengono considerate anche le barriere, anch'esse presenti in un diagramma Bow-Tie. Volendo effettuare un'analisi più accurata, le barriere possono essere incluse negli alberi di evento e di guasto, considerando quindi le rispettive probabilità di successo o fallimento; in alternativa, possono essere considerate come dei fattori di riduzione, come verrà meglio descritto in seguito.

In Figura 3.1 è riportato lo schema logico della metodologia. Partendo dalle procedure e dalle check-list adottate dall'organizzazione, si passa alla fase 1, individuando quindi le minacce, i pericoli che da esse possono derivare e le possibili conseguenze che possono sorgere a partire dai pericoli individuati. Nello schema sono riportate alcune domande utili all'analista per l'identificazione di minacce, pericoli e conseguenze. Una volta analizzate tutte le operazioni di interesse, si passa a numerare tutti i pericoli riscontrati, raggruppando i pericoli identici in un'unica voce. In seguito, prendendo in considerazione un singolo pericolo per volta, si passa a valutare il rischio associato a ciascuna delle conseguenze collegate al pericolo in esame. Per fare ciò, è necessario individuare le barriere presenti nel processo, che possono evitare il verificarsi della sequenza incidentale considerata. Queste operazioni rappresentano la fase 2. Nella fase 3, per ogni pericolo, viene presa in considerazione solo la conseguenza che presenta il rischio maggiore. Per tali conseguenze vengono introdotte nuove barriere, nel caso il rischio sia intollerabile e debba essere ridotto, e viene quindi svolta una nuova analisi di rischio. Se tutte le conseguenze, dopo l'aggiunta delle eventuali nuove barriere, risultano avere un rischio accettabile, si passa a modificare le procedure e le check-list, come richiesto. Nel caso, invece, che il rischio dovesse risultare non accettabile, anche dopo l'aggiunta di ulteriori barriere, le operazioni in esame dovranno essere interrotte per permettere un'analisi più accurata e una modifica radicale di esse, per ridurne il rischio associato.

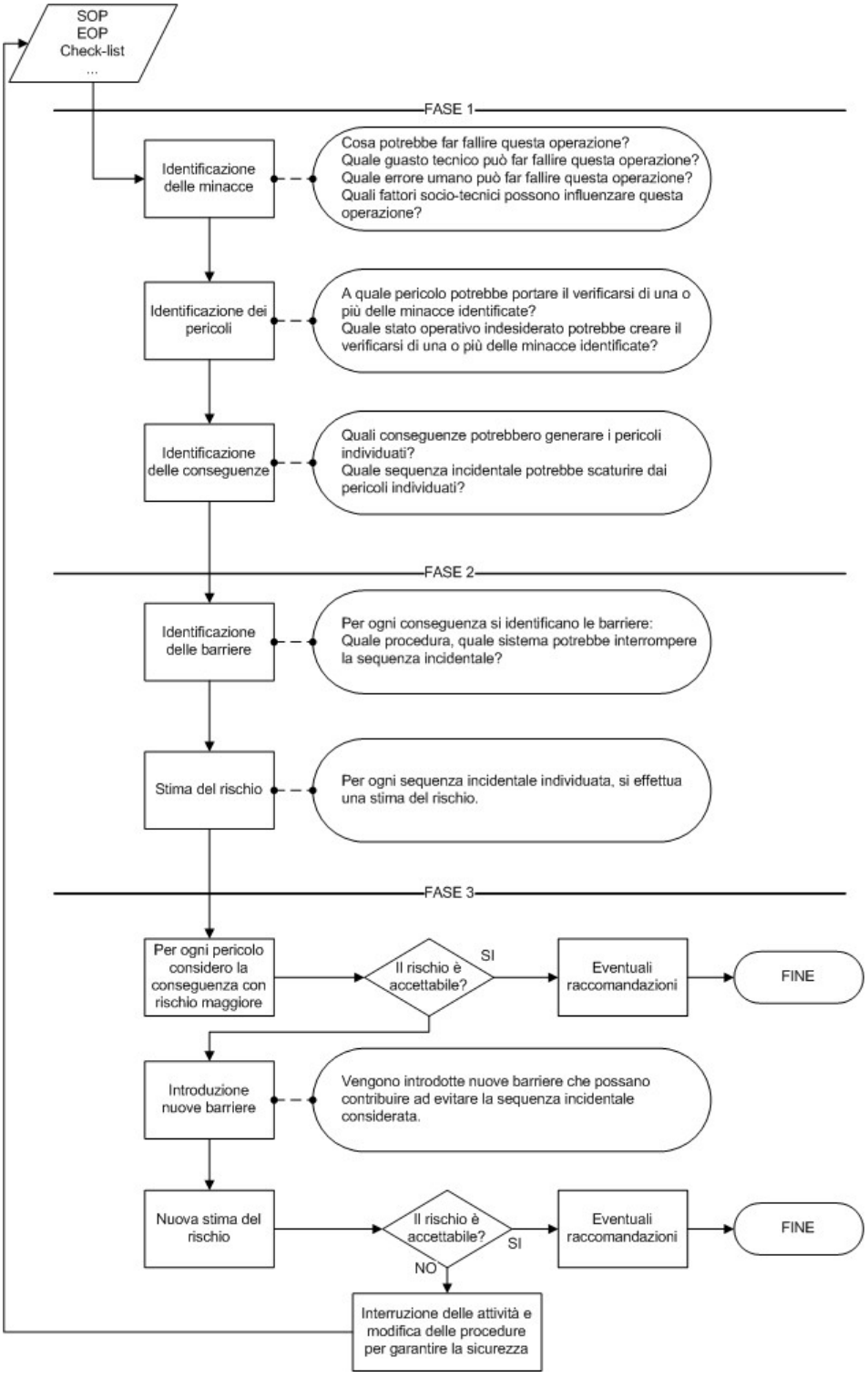


Figura 3.1: Diagramma di flusso della metodologia sviluppata

In Figura 3.2, invece, è riportato un differente flow chart, più compatto, della metodologia sviluppata.

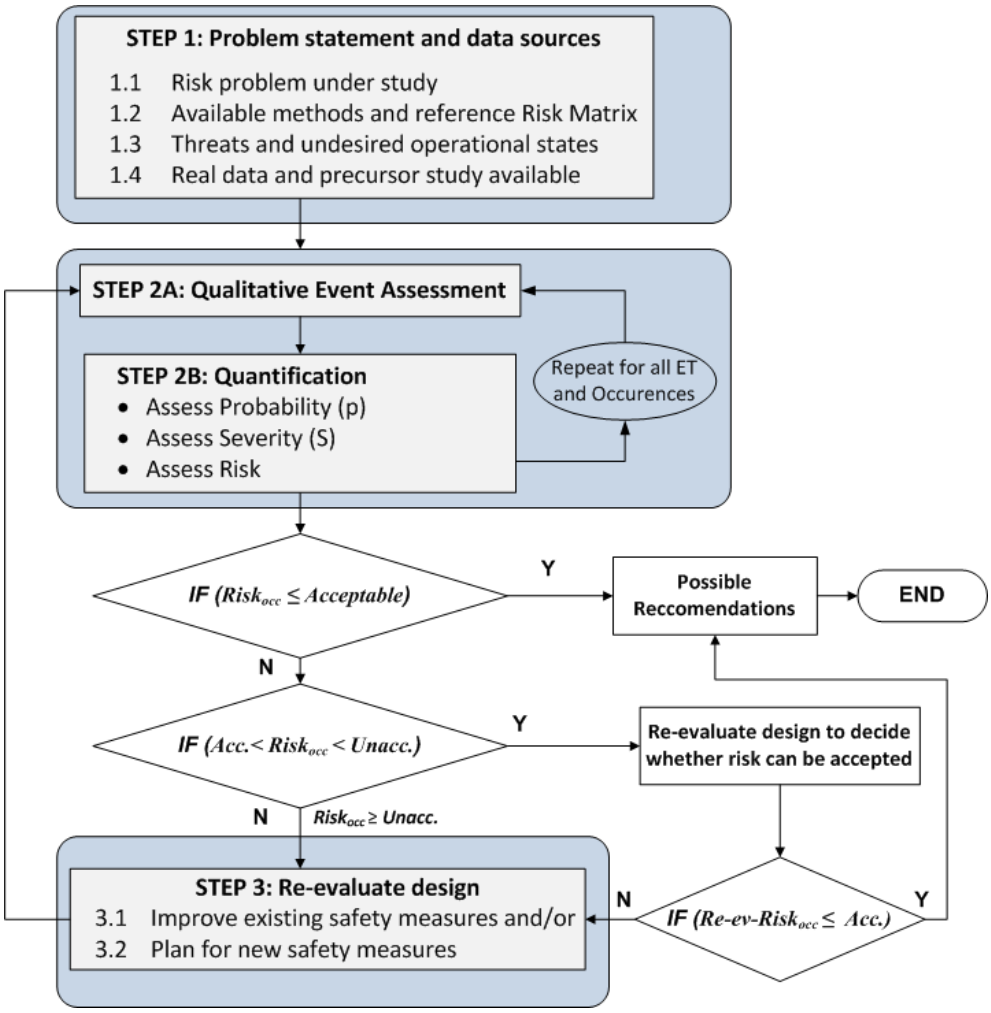
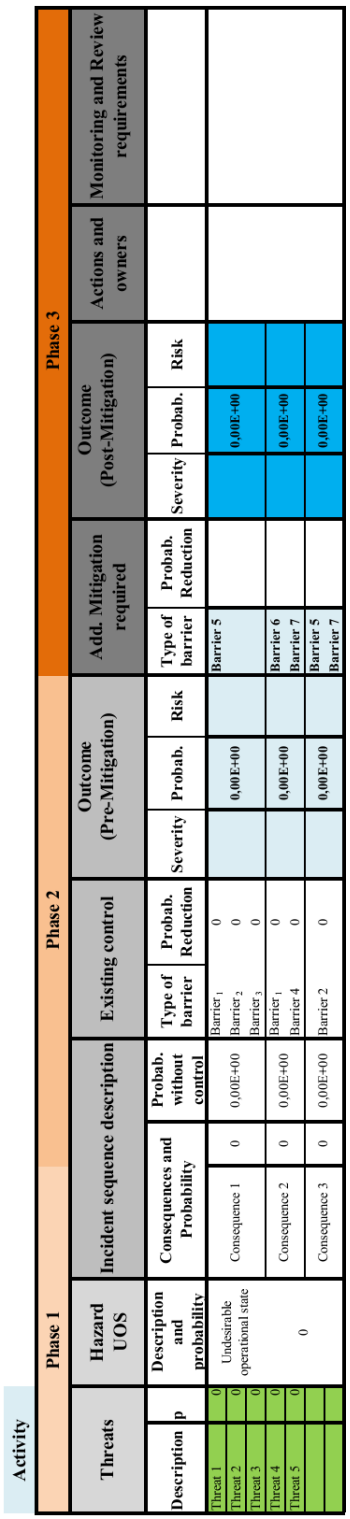


Figura 3.2: Flow chart compatto della metodologia RAMCOP

In questo diagramma, le tre fasi sono rappresentate dai tre step evidenziati. Tra lo step due e lo step tre, compaiono dei blocchi decisionali, che servono a decidere se è necessario aggiungere ulteriori barriere al processo considerato o no.

I risultati ottenuti dalle tre tabelle, possono essere riassunti in un'unica tabella (Tabella 3.4), che dia una visione globale del pericolo, con le relative minacce e conseguenze, ognuna con le rispettive probabilità di accadimento.

Tabella 3.4: Tabella riassuntiva



Activity																				
	Phase 1			Phase 2								Phase 3								
	Threats		Hazard UOS	Incident sequence description			Existing control			Outcome (Pre-Mitigation)			Add. Mitigation required		Outcome (Post-Mitigation)			Actions and owners	Monitoring and Review requirements
	Description	p	Description and probability	Consequences and Probability		Probab. without control	Type of barrier	Probab. Reduction		Severity	Probab.	Risk	Type of barrier	Probab. Reduction	Severity	Probab.	Risk		
	Threat 1	0	Undesirable operational state	Consequence 1	0	0,00E+00	Barrier 1	0			0,00E+00		Barrier 5			0,00E+00			
	Threat 2	0					Barrier 2	0											
	Threat 3	0					Barrier 3	0											
	Threat 4	0		Consequence 2	0	0,00E+00	Barrier 1	0			0,00E+00		Barrier 6			0,00E+00			
	Threat 5	0					Barrier 4	0					Barrier 7						
			0	Consequence 3	0	0,00E+00	Barrier 2	0			0,00E+00		Barrier 5			0,00E+00			
													Barrier 7						

Si ricorda che questa è soltanto una possibile impostazione per la presentazione e l'analisi dei dati. Sarà compito dell'analista modificare e adattare la procedura appena descritta alle necessità specifiche di ogni analisi e delle operazioni analizzate. La procedura qui descritta, non deve essere interpretata come unico modo per eseguire le analisi, ma ha lo scopo di fornire le linee guida per le analisi di rischio.

3.4 METODI PER L'ANALISI QUANTITATIVA

3.4.1 Analisi della probabilità

L'analisi quantitativa rappresenta la tappa cruciale da portare a termine in un'analisi di rischio. Ci sono diversi modi di ottenere una stima delle probabilità di accadimento dei diversi eventi delle sequenze incidentali considerate. Un primo approccio è quello adottato in questa tesi: si parte assegnando una probabilità al pericolo in esame, e successivamente si assegna una probabilità di accadimento ad ogni conseguenza legata al pericolo scelto, senza considerare l'intervento delle barriere. Ad ogni barriera viene poi assegnato un fattore di riduzione, cioè un numero compreso tra 0 e 1, dove 1 indica una barriera sempre inefficace, mentre 0 indica una barriera che evita sempre l'accadimento dell'evento. Naturalmente i due casi estremi sono solo ideali e non verranno mai considerati. La probabilità di accadimento della sequenza incidentale (P_{inc}) è quindi calcolata come prodotto della probabilità di accadimento del pericolo (P_{per}), della probabilità di accadimento della conseguenza (P_{cons}), e dei fattori di riduzione delle barriere BAR (equazione (**3.1**).

$$P_{inc} = P_{per} \cdot P_{cons} \cdot BAR \tag{3.1}$$

Questo processo è molto semplificato e sottintende che tutti gli eventi considerati siano indipendenti tra di loro. In caso contrario, i risultati ottenuti saranno comunque più conservativi. Il problema principale di questo approccio risiede nel metodo di assegnazione delle probabilità. Spesso, infatti, si ricorre all'expert judgement (EJ), cioè al giudizio di persone esperte del settore, in grado di stimare una probabilità di accadimento in base alla loro esperienza di operatori o analisti. In altri casi è possibile usare metodi per la definizione di errori umani, come THERP, per la stima delle probabilità del pericolo, come implementato da Claudia Mariani [4]; questo metodo si basa su diversi fattori riguardanti, ad esempio, il tipo di attività, lo stato d'animo dell'operatore o

fattori ergonomici, per stimare la probabilità di accadimento dell'attività considerata.

Nel caso in cui si stimino le probabilità di accadimento tramite il giudizio di esperti, EJ o TESEO, questo processo corrisponde alla metodologia sviluppata da ARMS, e in particolare a SIRA. Il foglio di calcolo sviluppato da ARMS, che implementa SIRA, infatti, non fa altro che moltiplicare le probabilità di accadimento delle minacce, per le probabilità di fallimento delle barriere, determinando così la probabilità di accadimento del pericolo e della sequenza incidentale.

Un altro possibile approccio all'analisi quantitativa delle probabilità, è quello di analizzare più approfonditamente le minacce e le conseguenze. Per quanto riguarda le minacce, queste possono essere scomposte in eventi più semplici, che sono collegati tra loro da connessioni logiche. Questo porta alla formazione di un albero di guasto a tutti gli effetti, come quello presente a sinistra del pericolo in un diagramma Bow-Tie. Anche in questo caso bisognerà assegnare delle probabilità ai diversi eventi, ma questa operazione potrebbe risultare più semplice nel caso di eventi che coinvolgono il guasto di componenti tecnici. Per calcolare la probabilità di accadimento del pericolo in esame, basterà quindi risolvere l'albero di guasto che gli sta a monte. Analogamente si può procedere a valle del pericolo, analizzando tutti gli eventi che possono portare alle conseguenze considerate, formando quindi un albero di eventi. Il vantaggio di questo approccio è che le barriere vengono considerate più in dettaglio, essendo inserite negli alberi di guasto o di evento, e non semplicemente come un fattore di riduzione, a volte di difficile assegnazione.

3.4.2 Analisi della severità

Per valutare la severità è necessario dividere tra severità di evento e severità di occorrenza. Ogni occorrenza è composta da più eventi, per definire quindi la severità dell'occorrenza è prima necessario definire la severità di ogni evento che compone l'occorrenza.

La severità di evento parte dall'assegnazione ad ogni evento di una severità, detta assoluta. La severità assoluta è un valore assegnato a priori ad ogni evento, e come tale deve essere accettato dalle autorità competenti; tuttavia, ad oggi, una tale classificazione non è ancora stata implementata da alcuna autorità, pertanto questo metodo non è al momento applicabile così come descritto. Un livello di severità assoluta deve essere assegnato ad ogni evento presente nella tassonomia

che si sta utilizzando per l'analisi. La severità assoluta (S_a) rappresenta la pericolosità di un evento, senza tenere in considerazione il contesto socio-tecnico nel quale l'evento si verifica. Tale contesto è tenuto in considerazione nella definizione di severità effettiva (S_e) di un evento (equazione (**3.2**).

$$S_e = S_a \cdot \frac{f_o + f_c}{2} \tag{3.2}$$

Con f_o viene indicato il fattore di impatto organizzativo, mentre con f_c viene indicato il fattore di impatto contestuale. Il primo indica la gravità che l'evento assume in relazione agli aspetti organizzativi. Ad esempio, un velivolo bloccato al parcheggio per un guasto al portellone, procura danni diversi se considerato dal punto di vista della compagnia aerea o dal punto di vista del gestore aeroportuale. Il fattore di impatto contestuale, invece, esprime l'influenza del contesto ambientale e fisico sulla severità dell'evento. Un guasto al carrello di atterraggio, ad esempio, assume gravità diversa se avviene in condizioni meteo di vento calmo e buona visibilità, o se si verifica durante un temporale.

La severità assoluta e quella effettiva sono rappresentate da un numero compreso tra 1 e 5, in accordo con la definizione di severità definita da ICAO [2]. Tuttavia, la severità potrà assumere anche valori più elevati, ma sempre in accordo con la definizione di matrice di rischio in uso dall'organizzazione. La severità effettiva sarà sempre maggiore, o al limite uguale, alla severità assoluta: questo perché la severità assoluta rappresenta un valore di riferimento della severità di un determinato evento. Per rispettare questa definizione, i fattori di impatto organizzativo e contestuale, sono numeri compresi tra 1 e 1,5, come suggerito da Cacciabue [3].

La severità dell'occorrenza (S_{e-occ}) può essere calcolata, una volta definite le severità effettive degli eventi che la compongono, mediante l'equazione (**3.3**):

$$S_{e-occ} = \max(S_e) \cdot \gamma \tag{3.3}$$

Dove la massima severità effettiva degli eventi che compongono l'occorrenza, è moltiplicata per il fattore γ, che rappresenta un fattore di riduzione che tiene in conto la presenza di eventi positivi, quindi di barriere. Per γ=1 non si hanno barriere, mentre per γ=0 si avrebbero delle barriere sempre efficaci, in grado di impedire sempre la sequenza incidentale, barriere del tutto ideali.

Una volta nota la probabilità e la gravità di un'occorrenza, è facile calcolarne il rischio, semplicemente mediante l'utilizzo di una matrice di rischio.

4 APPLICAZIONE METODOLOGIA RAMCOP

In questo capitolo verrà utilizzata la metodologia RAMCOP, a scopo esemplificativo, per l'analisi di rischio richiesta dalle normative EASA [20] ed ENAC [22]. In particolare, la metodologia sviluppata, verrà applicata all'analisi di rischio associata ad eventi di "mid-air collision", essendo questi compresi sia nell'EASP, sia nello State Safety Plan di ENAC. Per lo scopo di questa tesi, si faranno delle assunzioni ipotetiche. A livello qualitativo, per l'identificazione delle minacce, si farà riferimento a dati forniti da Alitalia. Da un punto di vista quantitativo, verrà considerata una compagnia aerea di piccole-medie dimensioni, operante su aeroporti con un volume di traffico dell'ordine dell'aeroporto di Roma Fiumicino.

4.1 DEFINIZIONE DEL PROBLEMA

A livello normativo, e in accordo con la tassonomia sviluppata dal CICCT [28], il termine "mid-air collision" (MAC) viene utilizzato per indicare non soltanto le collisioni in volo vere e proprie, ma anche per indicare AIRPROX, "TCAS alert", "loss of separation" e "near mid-air collision". Con il termine AIRPROX, si intende una situazione in cui, secondo il giudizio del pilota o del controllore del traffico aereo, la distanza, la posizione e la velocità relativa di due velivoli, è tale da compromettere la sicurezza dei velivoli coinvolti; questa definizione è riportata nella tassonomia ADREP 2000.

Considerare tutti gli aspetti legati al termine MAC, effettuando un'analisi di rischio per ognuno, rappresenterebbe un processo troppo dispendioso ai fini di questa tesi. Nel seguito, verrà quindi considerata solo la situazione di "loss of separation", essendo la più generica all'interno della definizione di MAC, raggruppando quindi la maggior parte dei casi.

La "loss of separation" (LOS), nell'ambito della metodologia RAMCOP, viene considerato senza dubbio un pericolo. Il flusso logico della metodologia, per l'applicazione a questo caso studio, dovrà quindi essere modificato. Il punto di partenza non sarà costituito da procedure o check-list adottate dall'operatore per identificare le minacce e quindi i pericoli; in questo caso il punto di partenza è il pericolo, definito dalla normativa, e da esso si dovranno individuare minacce e conseguenze. In un'ottica Bow-Tie, quello che in questo caso rappresenta il

punto di partenza, è la parte centrale, quindi il pericolo; la parte sinistra e la parte destra del diagramma (minacce e conseguenze) dovranno essere individuate nelle fasi successive.

4.2 FASE 1

Per la compilazione della tabella di fase 1, come detto in precedenza, il punto di partenza per questo caso studio è il pericolo. Sarà quindi presente un unico pericolo, che è quello definito dalla normativa, mentre sarà necessario individuare le minacce e le conseguenze.

Un ottimo mezzo per l'identificazione delle minacce di un generico pericolo, è quello di tenere un database, nel quale vengono raccolti i report, forniti dagli equipaggi o dagli operatori di prima linea, dove vengono descritte le situazioni di pericolo. Tali situazioni non devono necessariamente essere sfociate in incidenti, ma potrebbero essersi concluse senza alcuna conseguenza sul volo o sui passeggeri. Per l'individuazione delle minacce del pericolo di LOS, si è fatto riferimento al database di Alitalia, analizzando i report legati ad eventi nei quali si sono verificate situazioni di perdita di separazione, che hanno comportato anche l'attivazione del TCAS. I report analizzati sono circa un centinaio, e fanno riferimento all'anno 2011. I dati, prima di essere analizzati, sono stati debitamente de identificati, eliminando tutti i dati sensibili, come numero di volo, data, ora, posizione e tipo di velivolo.

L'identificazione delle conseguenze, invece, è stata svolta sulla base di incidenti realmente accaduti, come quelli riportati in Appendice B. Non sono stati considerati i report utilizzati per l'individuazione delle minacce, in quanto nella totalità dei casi non ci sono state conseguenze, ma soltanto delle piccole deviazioni dalla rotta di volo. Per identificare le conseguenze che possono nascere da una perdita di separazione, è stato quindi necessario analizzare gli incidenti avvenuti a causa di una perdita di separazione.

Le minacce e le conseguenze individuate, sono diverse in base alla fase di volo in cui si trova il velivolo. Per questo motivo, nella tabella di fase 1, sono state divise le principali fasi di volo di un velivolo civile.

Tabella 4.1: Tabella fase 1

Fase di volo: Climb		
Minacce	**Pericoli**	**Conseguenze**
Callsign confusion High rate of climb/descend ATC workload ATC wrong clearance VFR traffic Military traffic Clearance not followed Congested airspace	Loss of separation	Mid-air collision Abrupt maneuver Ground collision
Fase di volo: Cruise		
Minacce	**Pericoli**	**Conseguenze**
Callsign confusion ATC workload ATC wrong clearance Military traffic Clearance not followed Congested airspace	Loss of separation	Mid-air collision Abrupt maneuver
Fase di volo: Descend		
Minacce	**Pericoli**	**Conseguenze**
Callsign confusion High rate of climb/descend ATC workload ATC wrong clearance VFR trafficu Military traffic Clearance not followed Congested airspace	Loss of separation	Mid-air collision Abrupt maneuver
Fase di volo: Final approach		
Minacce	**Pericoli**	**Conseguenze**
Callsign confusion ATC workload ATC wrong clearance VFR traffic Military traffic Clearance not followed Congested airspace Parallel approach	Loss of separation	Mid-air collision Abrupt maneuver Ground collision

I report più frequenti riscontrati, riguardano degli eventi definiti "TCAS nuisance". Questo evento è descritto anche nella tassonomia ADREP 2000, classificato con il codice 1344501, e definito come: *an event involving a nuisance alarm from the aircraft's airborne collision avoidance system or traffic alert and collision avoidance system*. Eventi di questo tipo si verificano spesso durante la fase di salita o di discesa, a causa delle elevate velocità verticali tenute. Per spiegare questo evento, faremo riferimento ad un esempio: il velivolo A si trova a FL220 (Flight Level 220, corrispondente a 22000 ft) in salita per FL230, mentre il velivolo B si trova in crociera a FL240; i due velivoli stanno volando sulla stessa rotta. Se le velocità di salita è elevata, all'avvicinarsi dei due velivoli, i TCAS rileveranno una possibile collisione in breve tempo, emettendo quindi un TA o addirittura un RA (Figura 4.1).

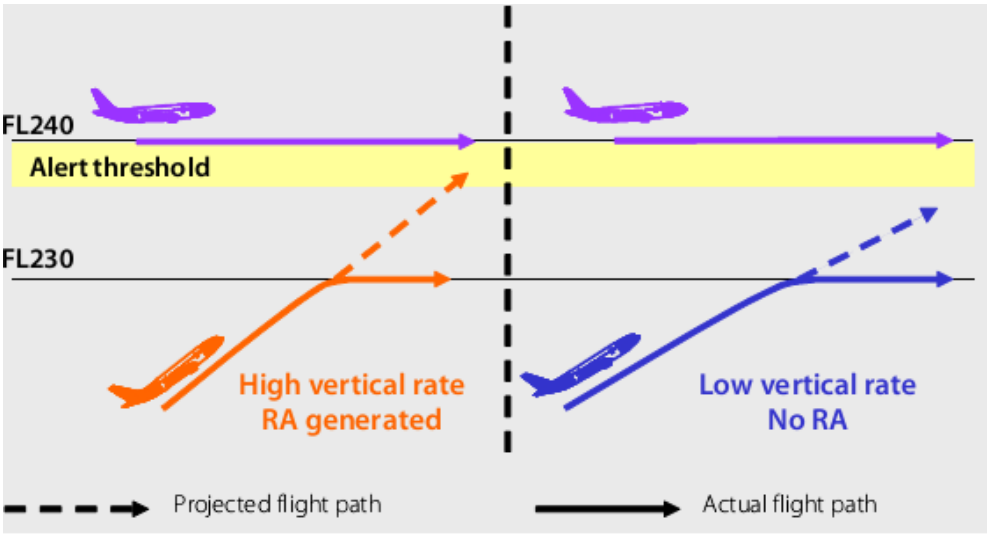


Figura 4.1: Esempio di TCAS nuisance

In realtà, non esiste alcun pericolo effettivo, in quanto normalmente entrambi i velivoli hanno correttamente impostato gli autopiloti. Sono state emesse diverse circolari e raccomandazioni dalle autorità nazionali ed europee, come da EUROCONTROL, per fare in modo che nell'ultimo tratto della salita e della discesa, i velivoli riducano la loro velocità verticale. Queste raccomandazioni, tuttavia, pur essendo recepite e approvate dalle compagnie, non sono sempre seguite dai piloti.

Nelle fasi successive della metodologia RAMCOP, verrà considerata solo la fase di volo "final approach". Questa scelta è dettata dal fatto che in questa fase sono

state identificate il maggior numero di minacce e il maggior numero di conseguenze. Come verrà in seguito illustrato, per la valutazione delle probabilità delle minacce, verrà creato uno scenario fittizio di riferimento.

4.3 FASE 2

Nella fase 2, è necessario stimare la probabilità di accadimento del pericolo. Per effettuare questa stima, si è scelto di partire dalla valutazione delle probabilità di accadimento delle minacce. Queste verranno in seguito combinate per ottenere la probabilità di accadimento del pericolo.

Come detto in precedenza, si è scelto di considerare solo la situazione di "final approach", in quanto è quella che comprende più minacce e più conseguenze. Per poter valutare le probabilità di accadimento delle minacce, si è scelto di sviluppare uno scenario fittizio, che comprende un grande aeroporto, dove vengono effettuati avvicinamenti paralleli e che si trova nelle vicinanze di aeroporti più piccoli civili e militari. Sulla base di dati raccolti in rete e di articoli sull'argomento, è stato possibile stimare le probabilità di accadimento delle minacce. Questo processo è descritto in dettaglio nel seguito.

4.3.1 Calcolo probabilità delle minacce

4.3.1.1 Callsign confusion

Con il termine "callsign confusion" si intende la confusione di due o più callsign da parte dei piloti, del personale ATC o da parte di entrambi. Il callsign è una sigla assegnata ad ogni volo, che viene usata nelle comunicazioni terra bordo terra per distinguere i diversi velivoli nello stesso spazio aereo. Un callsign è composto da tre caratteri distintivi per ogni compagnia (ad esempio AZA per Alitalia o COA per Continental Airlines) e da un suffisso composto da un massimo di quattro caratteri che possono essere numerici o alfanumerici. Le regole per la definizione dei callsign sono riportati nell'ICAO Annex 10.

La confusione tra callsign può essere uditiva, visiva o entrambe. Una confusione uditiva può avvenire tra controllori del traffico aereo e piloti, tra piloti di due voli differenti. La confusione visiva riguarda principalmente i controllori ATC, i quali possono confondere le scritte presenti sulle strip. La confusione nasce quando nello stesso spazio aereo e nello stesso tempo, sono presenti voli con callsign simili.

Nel 1997, questo problema fu studiato nel Regno Unito, da un gruppo denominato ACCESS (Aircraft Call sign Confusion Evaluation Safety Study) [33]. Questo gruppo di lavoro ha raccolto per un anno intero, delle segnalazioni da parte di controllori e piloti sulla confusione tra callsign. I dati raccolti sono stati analizzati e divisi in base alla severità. In particolare, sono stati distinti tre livelli di severità:

- Livello A: la prescritta separazione ATC è stata persa;
- Livello B: la separazione ATC non è stata persa, ma si sono verificate deviazioni dalle procedure standard dell'equipaggio o dei controllori;
- Livello C: nessuna deviazione dalle procedure standard.

In totale, il gruppo ha raccolto 482 segnalazioni, le quali sono così divise per livello di severità:

Tabella 4.2: Suddivisione per severità di eventi di callsign confusion

Livello di severità	Numero di occorrenze	Percentuale
A	3	0.6%
B	69	14.3%
C	410	85.1%

Nel report del gruppo ACCESS sono riportati anche il numero di voli annuali per ogni compagnia nel regno unito, e il numero di occorrenze di "callsign confusion" per ogni compagnia. Grazie a questi dati è stato possibile calcolare la probabilità di accadimento di un "callsign confusion". In primo luogo sono stai sommati tutti i voli delle compagnie, ottenendo il numero totale di voli annuali in Regno Unito N_{FLT-UK}. Analogamente sono stati sommati il numero di occorrenze di callsign confusion per ogni compagnia, ottenendo il numero annuale di occorrenze nel Regno Unito N_{CC-UK}. La probabilità che si verifichi una callsign confusion con livello di severità A (quello che interessa questo caso studio, comportando una perdita di separazione), è stata ottenuta dall'equazione (4.1):

$$p_{CC} = \frac{N_{CC-UK}}{N_{FLT-UK}} \cdot P_A = \frac{932}{1217126} \cdot \frac{0{,}6}{100} = 4{,}6 \cdot 10^{-6} \qquad (4.1)$$

Il termine P_A indica la percentuale di occorrenze di livello A, cioè 0,6%. Come ci si attende, la probabilità che una confusione tra callsign porti ad una perdita di

separazione è molto bassa, dell'ordine di 10^{-6}. Questa probabilità verrà considerata come probabilità di accadimento della minaccia di callsign confusion.

4.3.1.2 Traffico VFR

Dall'analisi dei report raccolti, è emerso che alcune occorrenze erano causate dalla presenza di traffico VFR in zone non consentite. I voli VFR sono dei voli che seguono le regole del volo a vista (Visual Flight Rules), e si distinguono dai voli strumentali IFR (Instrumental Flight Rules). La principale differenza tra i due tipi di volo è che nei voli IFR la responsabilità della separazione dagli altri velivoli è affidata al controllo del traffico aereo, mentre nei voli VFR la responsabilità della separazione è affidata al pilota. Capita, a volte, che i piloti dei piccoli aeri da turismo volino a quote basse e non in contatto con controllori del traffico aereo, creando così un potenziale pericolo per i velivoli di linea.

Per il calcolo della probabilità di incontrare un traffico VFR, si è fatto riferimento ai dati di traffico 2011 raccolti da ENAC [34]. In questo rapporto, sono contenuti diversi dati riguardanti il traffico aereo in Italia, riferiti all'anno 2011; si trovano dati relativi al traffico aeroportuale, divisi per aviazione commerciale, passeggeri, cargo, low-cost e aviazioni generale, oppure dati relativi alle destinazioni e all'origine dei voli.

Al fine di calcolare la probabilità che un volo di linea incontri un traffico VFR, è stato considerato un aeroporto campione, in particolare l'aeroporto di Roma Fiumicino. Su questo aeroporto operano principalmente voli commerciali, ma si trova nelle vicinanze di due aeroporti più piccoli, Ciampino e Urbe, dai quali prendono il volo diversi velivoli VFR. Il numero di voli commerciali riferiti all'anno 2011 per l'aeroporto di Fiumicino, è riportato nel testo di ENAC [34], ed è pari a:

$$N_{COMM-FCO} = 328482$$

Nel rapporto di ENAC, non sono riportati i dati relativi al solo traffico VFR, ma sono riportati i dati relativi all'aviazione generale. L'aviazione generale viene così definita nel rapporto ENAC: *traffico diverso dal trasporto aereo commerciale; esso comprende sostanzialmente l'attività degli aeroclub, delle scuole di volo, dei piccoli aerei privati ed i servizi di lavoro aereo pubblicitari, aerofotografici e di rilevazione, spargimenti di sostanze, trasporti di carichi esterni al mezzo, ecc.* Non tutti i voli di aviazione generale saranno quindi

operati in VFR, anche se i voli a vista rappresentano sicuramente la maggior parte di questa categoria. Per determinare la probabilità di incontrare un traffico VFR, verranno considerati tutti i voli di aviazione generale come VFR, questo comporterà una stima conservativa della probabilità. Il numero di voli di aviazione generale operanti sugli aeroporti di Fiumicino, Ciampino e Urbe, riferiti all'anno 2011, è pari a:

$$N_{AG-RM} = N_{AG-FCO} + N_{AG-CIA} + N_{AG-URB} = 14 + 4135 + 26607 = 30756$$

La probabilità che un velivolo commerciale, operante a Fiumicino, incontri un volo VFR nelle vicinanze, è stata calcolata dall'equazione

$$p_{VFR} = \frac{N_{AG-RM}}{N_{COMM-FCO}} = 9{,}36 \cdot 10^{-2} \tag{4.2}$$

Questa probabilità non rappresenta la probabilità che un velivolo operante a Fiumicino occorra in una perdita di separazione con un traffico VFR operante in aeroporti limitrofi. La probabilità calcolata rappresenta soltanto la probabilità che un volo in partenza o in arrivo a Fiumicino, esegua le operazioni in contemporanea con un volo VFR operante sugli aeroporti limitrofi.

4.3.1.3 Avvicinamenti paralleli

In aeroporti di grandi dimensioni, è comune trovare due o più piste parallele. Se l'aeroporto è molto trafficato, e le piste rispondono alle normative, è possibile utilizzarle per effettuare degli avvicinamenti paralleli. In questo tipo di avvicinamento, due velivoli volano parallelamente in avvicinamento alle piste. La possibilità di collisione si verifica in particolar modo nella fase di allineamento all'asse pista, quando i velivoli catturano l'ILS, poiché in questa fase esiste la possibilità di "overshoot", quindi di avvicinarsi all'altro velivolo.

Il rischio e la probabilità di collisione in volo a seguito di un avvicinamento parallelo, è già stata trattata da Speijker et al. [35]. Nel loro lavoro, i ricercatori del NLR, sviluppano un modello matematico per il calcolo della probabilità di collisione in caso di avvicinamenti paralleli, basandosi su diversi parametri, quali ad esempio: la dimensione dei velivoli, la velocità di avvicinamento dei velivoli, la posizione relativa delle due piste, le quote di intercettazione dell'ILS, l'angolo di discesa e il numero di voli giornalieri e annuali. Di particolare interesse per la ricerca del NLR, era la distanza tra gli assi delle piste: potendo ridurre la distanza minima prevista dalla normativa (attualmente 1035 m), senza

aumentare troppo il rischio, sarebbe possibile incrementare il traffico di aeromobili anche su aeroporti dove questa distanza non è raggiunta, come ad esempio l'aeroporto di Milano Malpensa.

Anche nella loro ricerca, Speijker et al. considerano uno scenario di base, che risponde agli attuali requisiti normativi. Alcuni dei parametri impostati per questo scenario sono:

- Distanza tra gli assi delle piste: 1035 m;
- Tempo tra due avvicinamenti: 75 s, corrispondenti a 4 nmi di separazione;
- Numero medio di avvicinamenti in un anno: 200000;
- Angolo di discesa: 3°.

Con questi parametri, il modello sviluppato ha calcolato una probabilità di avere una perdita di separazione per un singolo avvicinamento pari a:

$$p_{PA} = 7{,}44 \cdot 10^{-5} \tag{4.3}$$

Questa probabilità sarà preso come valore di probabilità di accadimento della minaccia di avvicinamenti paralleli p_{PA}.

4.3.1.4 ATC wrong clearance

Questa minaccia vuole raffigurare il caso in cui un controllore di volo emette un'istruzione scorretta. Tale istruzione potrebbe non generare alcun problema, o potrebbe, ad esempio, portare un velivolo ad un avvicinamento mancato, o potrebbe portare ad una perdita di separazione con altro traffico o con il terreno.

Per una stima delle probabilità di un errore da parte dei controllori del traffico aereo, si è fatto riferimento alle statistiche redatte dall'ATSB [36]. Prendendo come riferimento l'anno 2010, in primo luogo è stato determinato il numero di voli annuali, sia commerciali, sia di aviazione generale, ottenendo:

$$N_{FLT-AU} = 3248000$$

Successivamente è stato calcolato il numero di occorrenze di "ATC procedural error" che hanno generato "accidents", "serious incidents" e "incidents" nell'anno 2010 nell'aviazione commerciale e generale. Il numero di occorrenze è pari a:

$$N_{ATC-AU} = 136$$

La probabilità che un errore del controllo del traffico aereo generi un incidente, è stata calcolata mediante l'equazione (4.4):

$$p_{ATC} = \frac{N_{ATC-AU}}{N_{FLT-AU}} = 4{,}2 \cdot 10^{-5} \tag{4.4}$$

Questo valore sarà considerato come la probabilità che un controllore del traffico aereo commetta un errore nel rilascio di un'istruzione. Questo errore, tuttavia, non comporta necessariamente la perdita di separazione tra due velivoli.

4.3.1.5 Congested airspace

Con la crescita del traffico aereo, gli spazi aerei vicini ai grandi aeroporti risultano sempre più affollati. Questo, naturalmente, comporta una notevole crescita del carico di lavoro dei controllori del traffico aereo, che potrebbe indurli a commettere errori più facilmente.

Stimare la probabilità che lo spazio aereo sia affollato è molto difficile, in quanto dipende da molti elementi, quali la conformazione dello spazio aereo, il tipo di spazio aereo, la sua posizione, le condizioni meteo, la quantità e il tipo di traffico e altri parametri. Per stimare la probabilità che lo spazio aereo sia affollato, si è fatto riferimento ai dati relativi ai movimenti orari dell'aeroporto di Fiumicino [37]. In particolare, si sono considerate come affollate, le ore in cui il numero di movimenti è maggiore o uguale al 90% dei movimenti massimi; questo numero di ore è indicato con h_{TFC}. Rapportando questo numero di ore al numero totale di ore della settimana (h_{SET}), è stata ottenuta la probabilità di avere uno spazio aereo affollato.

$$p_{CA} = \frac{h_{TFC}}{h_{SET}} = \frac{11}{168} = 6{,}55 \cdot 10^{-2} \tag{4.5}$$

4.3.1.6 Altre minacce

La minaccia di ATC workload, risulta molto complessa da essere analizzata per poter ottenere una probabilità di accadimento. Vi sono infatti molte teorie in letteratura, su quali elementi creino carichi di lavoro e in quale misura. In questo ambito, NASA ha sviluppato uno strumento per valutare il carico di lavoro,

denominato NASA TLX [38] (Task Load indeX). Questo metodo permette una valutazione del carico di lavoro, mediante il giudizio soggettivo degli operatori che devono dare una valutazione ad alcuni aspetti, come l'impegno fisico, l'impegno mentale o le prestazioni. Molti studi legano il carico di lavoro, misurato secondo il metodo TLX, con il numero di velivoli, come studiato da Endsley e Rodgers [39]. Risulta tuttavia difficile trovare una relazione tra il carico di lavoro e gli errori commessi. Moon et al. [40] hanno condotto uno studio correlando il numero di voli controllati con il numero di errori commessi dai controllori; tuttavia, il loro paper, risulta poco informativo e non si è potuto utilizzarlo per stimare una probabilità. Sarebbe risultato fuori dallo scopo di questa tesi, indagare ulteriormente per il calcolo di una probabilità associata al carico di lavoro dei controllori di traffico; per questo motivo si è scelto di non considerare questa minaccia.

Anche la probabilità della minaccia di traffico militare poteva essere stimata in modo analogo alla probabilità della minaccia di traffico VFR. I dati relativi al traffico militare, però, non vengono resi pubblici, e sono difficili da reperire. Per questo motivo, anche la minaccia di traffico militare non è stata considerata.

4.3.2 Calcolo probabilità del pericolo

La probabilità di accadimento del pericolo di "loss of separation", è stata calcolata partendo dalle probabilità di accadimento delle minacce. Adottando un approccio conservativo, si è deciso di considerare come indipendenti l'accadimento delle diverse minacce. Ogni minaccia, quindi, può generare la situazione di pericolo, anche se dovesse verificarsi singolarmente. L'unica eccezione fatta consiste nel traffico VFR, che di per sé non rappresenta una minaccia. Essa è stata quindi combinata con la probabilità di "congested airspace". La presenza di traffico VFR in uno spazio aereo già affollato, comporta la possibilità di incorrere in una perdita di separazione. Affinché si verifichi il pericolo di perdita di separazione, è quindi necessario che si verifichi sia la presenza di traffico VFR, sia la presenza di una spazio aereo affollato. I casi considerati sono riportati in Tabella 4.3.

Tabella 4.3: Elenco delle minacce considerate nei diversi casi

Caso n°	Minacce		Probabilità pericolo
	Descrizione	Probabilità	
1	Parallel approach	$7{,}44 \cdot 10^{-5}$	$7{,}44 \cdot 10^{-5}$
2	VFR traffic Congested airspace	$9{,}36 \cdot 10^{-2}$ $6{,}55 \cdot 10^{-2}$	$6{,}13 \cdot 10^{-3}$
3	Callsign confusion	$4{,}6 \cdot 10^{-6}$	$4{,}6 \cdot 10^{-6}$
4	ATC wrong clearance	$4{,}2 \cdot 10^{-5}$	$4{,}2 \cdot 10^{-5}$

4.3.3 Calcolo probabilità delle conseguenze

Ad ognuna delle tre conseguenze individuate, è stata assegnata una probabilità. Tale valore rappresenta la probabilità che si verifichi la conseguenza, una volta che sia già verificato il pericolo. Non avendo dati a disposizione, queste probabilità sono state calcolate mediante il metodo Expert Judgement (EJ). Le probabilità così calcolate sono riportate in Tabella 4.4.

Tabella 4.4: Probabilità delle conseguenze

Conseguenza	Probabilità
Mid-air collision	10^{-2}
Abrupt maneuver	$8 \cdot 10^{-1}$
Ground collision	10^{-3}

La conseguenza “mid-air collision” rappresenta una collisione in volo vera e propria, dove due velivoli collidono, in parte o completamente, tra di loro. Questa conseguenza potrebbe portare alla perdita di controllo completa o parziale del velivolo, con conseguente impatto al suolo.

Con “abrupt maneuver”, invece, si intende una brusca manovra di evasione effettuata dal pilota per evitare la collisione; questo potrebbe portare al ferimento o, in casi estremi, al decesso dei passeggeri che non indossano la cintura di sicurezza.

Una “ground collision”, quindi una collisione con il suolo, potrebbe avvenire nel tentativo del pilota di evitare un altro velivolo, quando si trovasse a volare a bassa quota.

Va sottolineato come le probabilità fin qui calcolate non tengono conto delle barriere presenti. Queste ultime, infatti, verranno considerate in seguito attraverso opportuni fattori di riduzione della probabilità di accadimento.

4.3.4 Calcolo dei fattori di riduzione delle barriere

Per tenere in conto della presenza delle barriere, si è deciso di assegnare ad ogni barriera un fattore di riduzione della probabilità. Questi fattori non sono calcolabili con metodi analitici o a partire da dati empirici, ma sono stati assegnati con il metodo EJ.

Le barriere individuate possono essere diverse a seconda della sequenza incidentale considerata. Inoltre, sempre al variare della sequenza incidentale, il fattore di riduzione delle barriere può assumere un valore differente. Una stessa barriera, infatti, potrebbe essere molto efficace all'interno di una certa sequenza incidentale, mentre potrebbe perdere parzialmente o completamente la sua efficacia, se considerata in un contesto di una diversa sequenza incidentale.

Nel complesso di tutte le sequenze incidentali, le barriere individuate sono le seguenti (in ordine alfabetico):

- Airspace design: il progetto e la configurazione di uno spazio aereo, rappresenta una valida barriera, atta ad evitare che vi siano intrusioni di traffico VFR, in zone ad alto traffico di voli di linea. La configurazione dello spazio aereo non riguarda solo la forma, ma anche la quota e il tipo di uno spazio aereo.
- ATC: il controllo del traffico aereo rappresenta, sicuramente, una barriera molto importante per evitare perdite di separazione in volo. Il suo scopo è, infatti, quello di garantire la sicurezza dei velivoli, assicurando un'adeguata separazione con gli altri velivoli e con il terreno.
- GPWS: il Ground Proximity Warning System, è un dispositivo in grado di avvisare i piloti nel casi si trovino a volare in prossimità del terreno con una configurazione non adeguata. Rappresenta un'efficace barriera per evitare collisioni con il terreno.
- Pilot training: l'addestramento dei piloti è un aspetto fondamentale per garantire la sicurezza del volo. Nel caso di perdita di separazione, un equipaggio ben addestrato è in grado di individuare l'altro velivolo a vista, garantendo quindi la separazione da esso. L'addestramento

dell'equipaggio riguarda anche la modalità con cui l'equipaggio risponde agli avvisi del TCAS.

- STCA: il Short Term Conflict Alert, è un sistema di cui sono dotati i sistemi radar dei controllori di volo, in grado di identificare rischi di collisione tra due velivoli, e di avvisare il controllore di volo di tale possibilità.
- TCAS: questo dispositivo rappresenta la barriera principale per evitare collisioni in volo. Esso, infatti, è in grado di rilevare la possibilità di collisione tra due o più velivoli e di dare ordini agli equipaggi sulla manovra da effettuare per evitare la collisione.

Di seguito, per ogni caso, vengono riportate le barriere individuate e i relativi fattori di riduzione assegnati.

4.3.4.1 Caso 1

Il caso 1 è caratterizzato dalla minaccia di avvicinamenti paralleli. In tale situazione il controllo del traffico aereo e l'addestramento dei piloti è molto importante, per questo i fattori di riduzione associati sono bassi. Si ricorda che un basso fattore di riduzione corrisponde ad una barriera molto efficace, mentre un fattore di riduzione prossimo ad 1 corrisponde ad una barriera poco efficace. Il valore associato al STCA non è molto basso, in quanto questo sistema non è presente in tutti gli enti ATC e in quanto in alcune situazioni questo sistema potrebbe non funzionare. Le barriere con i rispettivi fattori di riduzione sono riportati in Tabella 4.5.

Tabella 4.5: Barriere e fattori di riduzione nel caso 1

Conseguenze	Barriere	Fattore di riduzione
Mid-air collision	ATC	0,1
	Pilot training	0,2
	STCA	0,5
	TCAS	0,1
Abrupt maneuver	ATC	0,1
	Pilot training	0,2
	STCA	0,5
	TCAS	0,1
Ground collision	ATC	0,1
	GPWS	0,1
	Pilot training	0,2
	STCA	0,5
	TCAS	0,1

4.3.4.2 Caso 2

Le minacce che caratterizzano il caso 2 sono la presenza di traffico VFR e lo spazio aereo affollato. Proprio queste minacce portano all'aumento (quindi alla diminuzione di efficacia) di alcune barriere: il controllo del traffico aereo e l'addestramento dei piloti. La prima barriera è notevolmente ridotta a causa dell'alto traffico che tiene impegnato il controllore del traffico aereo, togliendogli risorse per identificare eventuali conflitti. Il fattore di riduzione dell'addestramento dei piloti, invece, è stato aumentato per tenere conto del fatto che, in genere, i piloti dei piccoli aerei turistici VFR ricevono un addestramento inferiore rispetto ai piloti dei velivoli di linea. Tutte le barriere e i rispettivi fattori di riduzione sono riportati in Tabella 4.6.

Tabella 4.6: Barriere e fattori di riduzione nel caso 2

Conseguenze	Barriere	Fattore di riduzione
Mid-air collision	Airspace design	0,1
	ATC	0,4
	Pilot training	0,5
	STCA	0,5
	TCAS	0,1
Abrupt maneuver	Airspace design	0,1
	ATC	0,4
	Pilot training	0,5
	STCA	0,5
	TCAS	0,1
Ground collision	Airspace design	0,1
	ATC	0,4
	GPWS	0,1
	Pilot training	0,5
	STCA	0,5
	TCAS	0,1

4.3.4.3 Caso 3

Questo caso è caratterizzato dalla minaccia di callsign confusion. Qui la barriera rappresentata dal controllo del traffico aereo è stata considerata inesistente, ovvero le è stato assegnato un fattore di riduzione pari ad 1. Questa scelta è motivata dal fatto che, in presenza di callsign confusion, le comunicazioni terra/bordo/terra sono fortemente compromesse, in quanto, spesso, né i piloti, né i controllori si accorgono di ricevere o eseguire istruzioni destinate ad un altro

aeromobile. In sono riportate le barriere identificate con i relativi fattori di riduzione.

Tabella 4.7: Barriere e fattori di riduzione nel caso 3

Conseguenze	Barriere	Fattore di riduzione
Mid-air collision	ATC	1
	Pilot training	0,2
	STCA	0,5
	TCAS	0,1
Abrupt maneuver	ATC	1
	Pilot training	0,2
	STCA	0,5
	TCAS	0,1
Ground collision	ATC	1
	GPWS	0,1
	Pilot training	0,2
	STCA	0,5
	TCAS	0,1

4.3.4.4 Caso 4

La minaccia che caratterizza il caso 4 è un'istruzione sbagliata da parte del controllore del traffico aereo. In questo caso l'ATC non rappresenta una barriera, in quanto si suppone che il controllore del traffico aereo abbia rilasciato un'istruzione sbagliata. Le barriere con i rispettivi fattori di riduzione identificati, sono riportate in

Tabella 4.8: Barriere e fattori di riduzione nel caso 4

Conseguenze	Barriere	Fattore di riduzione
Mid-air collision	Pilot training	0,2
	STCA	0,5
	TCAS	0,1
Abrupt maneuver	Pilot training	0,2
	STCA	0,5
	TCAS	0,1
Ground collision	GPWS	0,1
	Pilot training	0,2
	STCA	0,5
	TCAS	0,1

4.3.5 Assegnazione delle severità e matrice di rischio

Al fine di effettuare l'analisi di rischio, è necessario assegnare ad ogni conseguenza una severità. La scala utilizzata è quella suggerita da ICAO (Figura 1.1).

In caso di collisione in volo con un altro velivolo, vi è la possibilità di perdere il velivolo e tutti i passeggeri. Questo porta all'assegnazione del livello di severità "catastrophic" alla conseguenza "mid-air collision". Un ragionamento analogo vale per la conseguenza di "ground collision", alla quale è stata assegnata la severità "catastrophic". Per quanto riguarda l'"abrupt maneuver", invece, la severità assegnata è "major", in quanto risulta molto improbabile che una brusca manovra evasiva porti a più di una vittima.

La matrice di rischio alla quale si è fatto riferimento, è quella consigliata da ICAO [2], ed è riportata in Figura 4.2.

	Severity Level				
Probability Level	**S5 Catastrophic**	**S4 Major**	**S3 Moderate**	**S2 Minor**	**S1 Negligeable**
P5 Frequent p > 1.0E-04	A	A	A	B	B
P4 Reasonably probable 2.0E-05 < p ≤ 1.0E-04	A	A	B	B	B
P3 Remote 2.0E-06 < p ≤ 2.0E-05	A	B	B	B	C
P2 Extremely remote 2.0E-08 < p ≤ 2.0E-06	B	B	B	C	C
P1 Extremely improbable p ≤ 2.0E-08	C	C	C	C	C

Figura 4.2: Matrice di rischio di riferimento

Il livello di rischio A corrisponde a inaccettabile, e comporta un'immediata sospensione delle operazioni. Il livello di rischio B, invece, richiede che

vengano messe in atto delle misure di mitigazione del rischio a lungo termine. Infine, il livello C è accettabile e nessuna riduzione del rischio è necessaria.

4.3.6 Risultati fase 2

Di seguito vengono riportate le tabelle di fase 2 ottenute per i quattro casi analizzati.

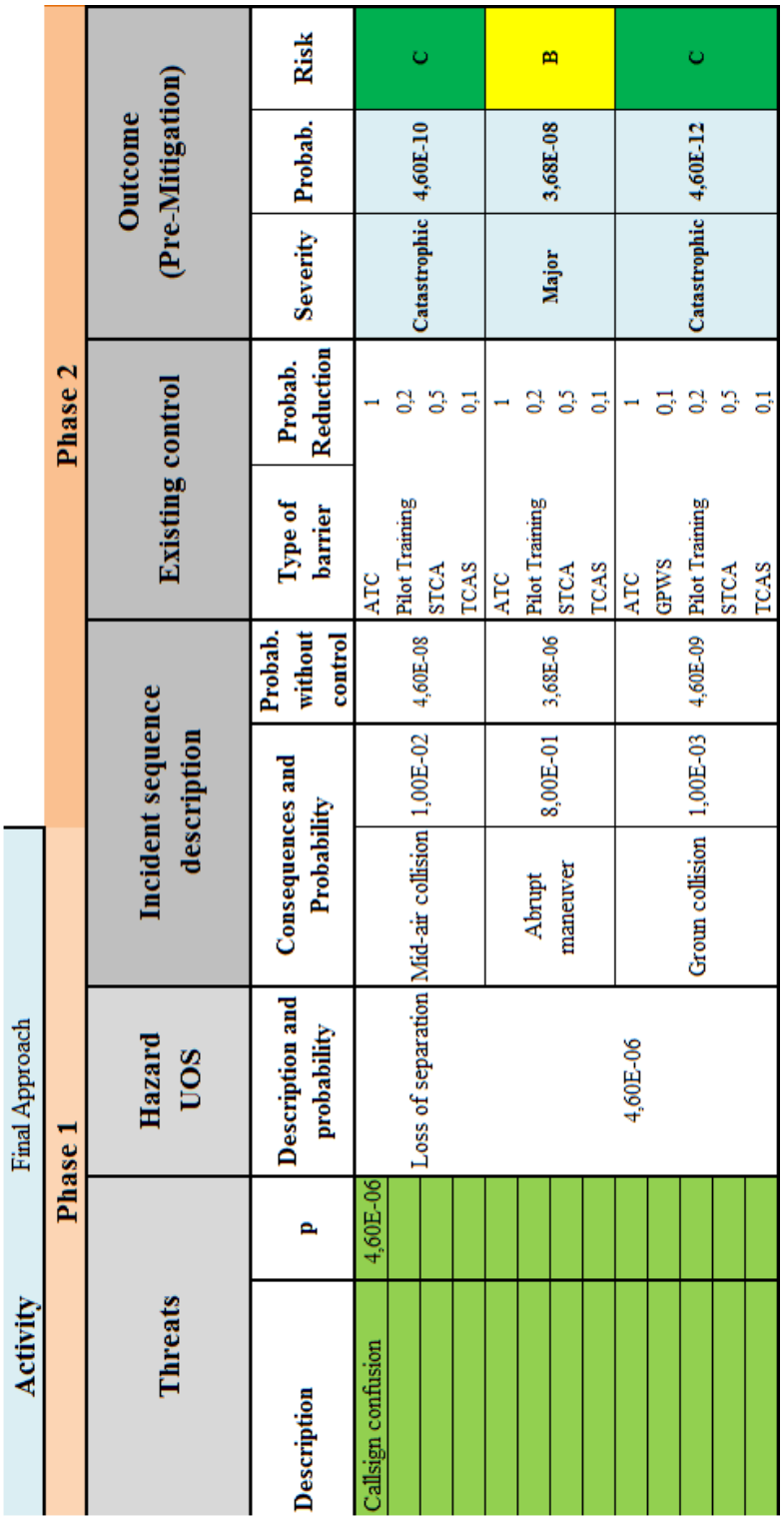
Tabella 4.9: Tabella fase 2 caso 1

Activity	Final Approach	Phase 1		Phase 2									
Threats		Hazard UOS		Incident sequence description			Existing control			Outcome (Pre-Mitigation)			
Description	p	Description and probability		Consequences and Probability		Probab. without control	Type of barrier	Probab. Reduction		Severity	Probab.	Risk	
Parallel approach	7,44E-05	Loss of separation	7,44E-05	Mid-air collision	1,00E-02	7,44E-07	ATC	0,1		Catastrophic	7,44E-10	C	
							Pilot Training	0,2					
							STCA	0,5					
							TCAS	0,1					
				Abrupt maneuver	8,00E-01	5,95E-05	ATC	0,1		Major	5,95E-08	B	
							Pilot Training	0,2					
							STCA	0,5					
							TCAS	0,1					
				Groun collision	1,00E-03	7,44E-08	ATC	0,1		Catastrophic	7,44E-12	C	
							GPWS	0,1					
							Pilot Training	0,2					
							STCA	0,5					
							TCAS	0,1					

Tabella 4.10: Tabella fase 2 caso 2

Activity	Final Approach														
Phase 1				Phase 2											
Threats		Hazard UOS		Incident sequence description			Existing control			Outcome (Pre-Mitigation)					
Description	p	Description and probability		Consequences and Probability		Probab. without control	Type of barrier	Probab. Reduction		Severity	Probab.	Risk			
VFR traffic	9,36E-02	Loss of separation	6,13E-03	Mid-air collision	1,00E-02	6,13E-05	Airspace design	0,1		Catastrophic	6,13E-08	B			
Congested airspace	6,55E-02						ATC	0,4							
							Pilot Training	0,5							
							STCA	0,5							
							TCAS	0,1							
				Abrupt maneuver	8,00E-01	4,90E-03	Airspace design	0,1		Major	4,90E-06	B			
							ATC	0,4							
							Pilot Training	0,5							
							STCA	0,5							
							TCAS	0,1							
				Groun collision	1,00E-03	6,13E-06	Airspace design	0,1		Catastrophic	6,13E-10	C			
							ATC	0,4							
							GPWS	0,1							
							Pilot Training	0,5							
							STCA	0,5							
							TCAS	0,1							

Tabella 4.11: Tabella fase 2 caso 3



Activity	Final Approach													
	Phase 1			Phase 2										
Threats		Hazard UOS		Incident sequence description			Existing control		Outcome (Pre-Mitigation)					
Description	p	Description and probability		Consequences and Probability		Probab. without control	Type of barrier	Probab. Reduction	Severity		Probab.		Risk	
Callsign confusion	4,60E-06	Loss of separation	4,60E-06	Mid-air collision	1,00E-02	4,60E-08	ATC	1	Catastrophic		4,60E-10		C	
							Pilot Training	0,2						
							STCA	0,5						
							TCAS	0,1						
				Abrupt maneuver	8,00E-01	3,68E-06	ATC	1	Major		3,68E-08		B	
							Pilot Training	0,2						
							STCA	0,5						
							TCAS	0,1						
				Groun collision	1,00E-03	4,60E-09	ATC	1	Catastrophic		4,60E-12		C	
							GPWS	0,1						
							Pilot Training	0,2						
							STCA	0,5						
							TCAS	0,1						

Tabella 4.12: Tabella fase 2 caso 4

Activity	Final Approach												
	Phase 1			Phase 2									
Threats		Hazard UOS		Incident sequence description			Existing control			Outcome (Pre-Mitigation)			
Description	p	Description and probability		Consequences and Probability		Probab. without control	Type of barrier	Probab. Reduction		Severity	Probab.	Risk	
ATC wrong clearance	4,20E-05	Loss of separation 4,20E-05		Mid-air collision	1,00E-02	4,20E-07	Pilot Training	0,2		Catastrophic	4,20E-09	C	
							STCA	0,5					
							TCAS	0,1					
				Abrupt maneuver	8,00E-01	3,36E-05	TCAS	0,1		Major	3,36E-07	B	
							Pilot Training	0,2					
							STCA	0,5					
				Ground collision	1,00E-03	4,20E-08	TCAS	0,1		Ctatstrophic	4,20E-11	C	
							GPWS	0,1					
							Pilot Training	0,2					
							STCA	0,5					

Come si può notare dalle tabelle sopra riportate, in nessun caso si raggiunge il livello di rischio inaccettabile A. Compaiono, tuttavia, diverse sequenze incidentali con livello di rischio B; si è quindi deciso di proseguire con la fase 3, aggiungendo ulteriori barriere per ridurre ulteriormente il livello di rischio.

4.4 FASE 3

In questo paragrafo verranno descritte le barriere addizionali che saranno inserite per mitigare il rischio. Inoltre, verrà eseguita una nuova valutazione del rischio, per verificarne la riduzione.

4.4.1 Caso 1

In questo caso, la minaccia è rappresentata da avvicinamenti paralleli. Come barriere aggiuntive, è possibile introdurre un addestramento addizionale per i piloti e per i controllori di volo che si trovano ad effettuare avvicinamenti paralleli. Ad ognuna di queste barriere è stato assegnato un fattore di riduzione pari a 0,3. In sono riportati i risultati ottenuti.

Tabella 4.13: Tabella fase 3 caso 1

Phase 3						
Add. Mitigation required		**Outcome (Post-Mitigation)**			**Actions and owners**	**Monitoring and Review requirements**
Type of barrier	**Probab. Reduction**	**Severity**	**Probab.**	**Risk**		
ATC special training Pilot special training	0,3 0,3	**Catastrophic**	**6,70E-11**	**C**	Airlines and Air Traffic Control Organisations should improve training to pilots and controllers performing parallel approaches	Quality and safety managers of airlines and air traffic control organisations, should periodically verify the ability of pilots and controllers
ATC special training Pilot special training	0,3 0,3	**Major**	**5,36E-09**	**C**		
ATC special training Pilot special training	0,3 0,3	**Catastrophic**	**6,70E-13**	**C**		

4.4.2 Caso 2

Il caso due fa riferimento alle minacce di traffico VFR e spazio aereo affollato. Un'ulteriore barriera per mitigare questo rischio, potrebbe essere rappresentata

dalla limitazione dei voli VFR durante le ore di maggior traffico nell'aeroporto principale. Anche a questa ulteriore barriera è stato assegnato un fattore di riduzione pari a 0,3. I risultati ottenuti sono riportati in

Tabella 4.14: Tabella fase 3 caso 2

Phase 3						
Add. Mitigation required		**Outcome (Post-Mitigation)**			**Actions and owners**	**Monitoring and Review requirements**
Type of barrier	**Probab. Reduction**	**Severity**	**Probab.**	**Risk**		
VFR limitation	0,3	**Catastrophic**	**1,84E-08**	**C**	National aviation authorities shold limit VFR traffic during high traffic hours in order to reduce airspace congestion	Implement regulations on VFR flight time limitations
VFR limitation	0,3	**Major**	**1,47E-06**	**B**		
VFR limitation	0,3	**Catastrophic**	**1,84E-10**	**C**		

4.4.3 Caso 3

La minaccia che caratterizza il caso 4 è il "callsign confusion". Per ridurre il rischio associato a questa minaccia, le compagnie aeree potrebbero lavorare insieme, coordinandosi, per ridurre la presenza di voli con callsign simili nello stesso luogo e nello stesso istante. Questa collaborazione potrebbe essere supportata dalle autorità di controllo del traffico aereo nazionali, o internazionali, come EUROCONTROL. Essendo un processo piuttosto difficile da implementare, a causa del grande numero di voli e di compagnie aeree operanti, a questa barriera è stato assegnato un fattore di riduzione pari a 0,5.

Tabella 4.15: Tabella fase 3 caso 3

Phase 3						
Add. Mitigation required		**Outcome (Post-Mitigation)**			**Actions and owners**	**Monitoring and Review requirements**
Type of barrier	**Probab. Reduction**	**Severity**	**Probab.**	**Risk**		
Airlines coordination	0,5	**Catastrophic**	**2,30E-10**	**C**	Airlines and air traffic control organisations	Coordination and team work to reduce callsign similarities
Airlines coordination	0,5	**Major**	**1,84E-08**	**C**		
Airlines coordination	0,5	**Catastrophic**	**2,30E-12**	**C**		

4.4.4 Caso 4

Per questo caso non come barriera aggiuntiva si è deciso di aggiungere un ulteriore training agli operatori ATC, in modo da prepararli a lavorare in situazioni sotto pressione e a riconoscere in anticipo eventuali situazione di conflitto per poterle recuperare il prima possibile. A tale barriera è stato attribuito un fattore di riduzione pari a 0,2 come l'addestramento aggiuntivo nei casi di avvicinamenti paralleli. Tuttavia, nonostante l'aggiunta di questa barriera addizionale, il livello di rischio rimane invariato.

Tabella 4.16: Tabella fase 3 caso 4

Phase 3						
Add. Mitigation required		**Outcome (Post-Mitigation)**			**Actions and owners**	**Monitoring and Review requirements**
Type of barrier	**Probab. Reduction**	**Severity**	**Probab.**	**Risk**		
ATC training	0,2	**Catastrophic**	**8,40E-10**	**C**	Air Traffic Control Organizations should improove controllers' training to reduce errors during work under pressure	Quality and safety managers of air traffic control organisations, should periodically verify the ability of controllers to work under pressure
ATC training	0,2	**Major**	**6,72E-08**	**B**		
ATC training	0,2	**Catastrophic**	**8,40E-12**	**C**		

4.5 CONSIDERAZIONI SUI RISULTATI

Dai risultati ottenuti, si evince come il rischio associato al pericolo di perdita di separazione in volo è piuttosto basso, e non rappresenta un problema per la sicurezza delle operazioni di volo.

In alcune sequenze incidentali, tuttavia, il rischio calcolato risulta in un livello B. Tali risultati sono stati ottenuti a causa dell'approccio conservativo adottato per il calcolo delle probabilità e per l'assegnazione dei livelli di severità. Questo approccio è stato adottato per ottenere volutamente dei livelli di rischio elevati, per poter introdurre barriere addizionali e applicare quindi anche la fase 3 della metodologia RAMCOP. I risultati ottenuti, tuttavia, sono verosimili, in quanto ottenuti da dati di statistiche reali. Il livello di rischio B, potrebbe essere accettato dalle autorità, e non implica che le operazioni correlate siano da interrompere per rischio troppo elevato. Sarà necessario, quindi, monitorare continuamente le operazioni per verificare che il rischio non aumenti e raggiunga il livello A inaccettabile.

In particolare, il metodo utilizzato per calcolare la minaccia correlata al traffico VFR è piuttosto conservativo; infatti, i rischi associati a questa minaccia sono risultati i più elevati. La probabilità così calcolata, infatti, rappresenta la probabilità che un volo di linea operante a Fiumicino, svolga le operazioni di arrivo o partenza in contemporanea con un volo VFR negli aeroporti limitrofi.

Tuttavia, anche nel caso in cui le operazioni avvengano nello stesso periodo, non necessariamente i due voli si troveranno ad interferire tra loro.

Un'altra minaccia la cui probabilità di accadimento è stata stimata in maniera conservativa, è la minaccia di errore da parte dei controllori di volo. Per calcolare tale probabilità, infatti, sono stati usati tutti gli errori procedurali dei controllori del traffico aereo, ma non necessariamente un errore procedurale da parte di un controllore di volo porta ad una perdita di separazione in volo.

5 CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI

In questa tesi si è voluto descrivere una metodologia, di applicazione generale, che possa essere utilizzata da analisti di sicurezza in diversi settori industriali, per la valutazione del rischio. Tale descrizione, è stata completata da un esempio di applicazione pratica, che non vuole rappresentare l'unica strada di implementazione della metodologia, ma un possibile utilizzo di essa, fornendo all'analista di sicurezza delle linee guida per le sue analisi. Nel caso studio analizzato, i metodi e i dati utilizzati per il calcolo delle probabilità, pur provenendo da fonti differenti, rappresentano una stima realistica di quello che si potrebbe ottenere da database più completi e precisi delle compagnie aeree, gestori aeroportuali o enti di controllo del traffico aereo.

Tale metodologia potrebbe essere integrata in uno strumento software[1] di supporto agli utenti per studi di sicurezza e sviluppo di SMS, integrando il suo utilizzo con i database in possesso all'organizzazione. Sarà quindi possibile reperire i dati, utili al calcolo delle probabilità, direttamente dai database in possesso all'organizzazione, avendo stime più precise e accurate del rischio. Questa metodologia potrebbe essere implementata a livello software per fasi, mantenendo la sua struttura e interfacciandosi con l'analista passo per passo. Tale implementazione porterebbe ad una procedura automatizzata o semi-automatizzata, di valutazione del rischio, permettendo all'analista di avere sempre una visione globale ed aggiornata dello stato di "safety" di un'organizzazione.

[1] Ad esempio, tale procedura potrebbe essere integrata nel sistema *SDS Plus*, sviluppato dalla Kite Solutions S.R.L., azienda presso la quale l'autore ha sostenuto un tirocinio.

APPENDICE A ACAS E TCAS

A.1 DEFINIZIONE E STORIA

L'ACAS (Airborne Collision Avoidance System) è un sistema di bordo dei velivoli che opera indipendentemente da attrezzature di terra o dal controllo del traffico aereo e fornisce indicazioni e allarmi ai piloti sulla presenza di altri velivoli che potrebbero presentare una minaccia di collisione. Se la collisione è imminente, il sistema fornisce ai piloti indicazione sulla manovra da effettuare per evitare lo scontro. Gli standard e le recommended practices dell'ACAS sono descritte prevalentemente nell'ICAO Annex 10, volume IV e nell'ICAO Annex 2. L'ACAS fu definito a partire dal 1993, e nel 1995 fu elaborata la versione successiva, ACAS II, le cui caratteristiche verranno descritte in seguito.

La collisione in volo tra un Boeing 727 e un Cessna 172 nei cieli di San Diego, portò la FAA a cominciare lo sviluppo di un sistema per evitare le collisioni in volo. Nel 1986, a seguito dell'incidente di Cerritos, California, la FAA decise di rendere obbligatorio il sistema sviluppato, denominato TCAS (Traffic Collision and Avoidance System). Dieci anni più tardi, a seguito dell'incidente di Nuova Delhi, si decise di rendere obbligatoria la presenza del TCAS anche in altre parti del mondo. Alla fine degli anni '80, ICAO iniziò un'operazione mondiale di valutazione delle prestazioni del TCAS. Fu sviluppata la versione TCAS II, che rendeva il TCAS completamente rispondente alle normative ICAO che definiscono l'ACAS II. Questo portò allo sviluppo di una nuova versione (TCAS II 6.04a) che riduceva il numero di falsi allarmi che si verificavano a basse quote e in fase di livellamento. La successiva versione 7.0 del TCAS II rese il sistema più compatibile con il controllo del traffico aereo, in particolare nella compatibilità con le operazioni RVSM (Reduced Vertical Separation Minima). La versione attuale del TCAS è la 7.1, che fu sviluppata da Eurocontrol per rimediare ad alcuni problemi di sicurezza riscontrati. Attualmente in Europa, la presenza del TCAS a bordo dei velivoli è obbligatoria nel caso di aeromobili ad ala fissa, con peso massimo al decollo superiore a 5700 kg o con capacità superiore a 19 passeggeri.

Sono stati sviluppati due livelli di ACAS:

- ACAS I prevede che vengano emessi sono i Traffic Advisories (TA), avvisi della presenza di traffico, ma senza suggerire alcuna manovra evasiva.

- ACAS II oltre ad emettere i TA, emette anche i Resolution Advisories (RA), delle istruzioni su come evitare la collisione, nella direzione verticale (salita o discesa).
- ACAS III non ancora sviluppato e non ci sono previsioni che venga sviluppato. Oltre ad emettere TA e RA in senso verticale, emette anche RA in senso orizzontale (virate).

Lo sviluppo della terza versione dell'ACAS non fu terminata per diversi motivi: il primo risiede nella tecnologia disponibile, che non era in grado di fornire informazioni sufficientemente precise sulla rotta dei velivoli. Il motivo principale, tuttavia, risiede nella scarsa utilità di manovre evasive in direzione orizzontale: secondo le statistiche, infatti, più del 90% dei conflitti è risolto più efficacemente con una manovra verticale, mentre soltanto il 2-3% dei casi è stato risolto più efficacemente con manovre orizzontali, tuttavia anche in questi casi una manovra verticale sarebbe stata efficace [41].

A.2 Componenti principali e funzionamento

I componenti principali che compongono il TCAS sono: antenne per ricezione e trasmissione dati, transponder, radar altimetro ed air data computer. Tutti questi componenti interagiscono con l'unità di calcolo del TCAS, che emette gli allarmi attraverso segnali sonori e visivi. Il sistema è quindi fortemente integrato con altri sistemi presenti a bordo dell'aeromobile. Per evitare che l'antenna rimanga nascosta in certe posizioni, i velivoli sono dotati di almeno due antenne, in modo che almeno una sia sempre visibile. In Figura A.1 è riportato lo schema di collegamento dei vari componenti che compongono il TCAS.

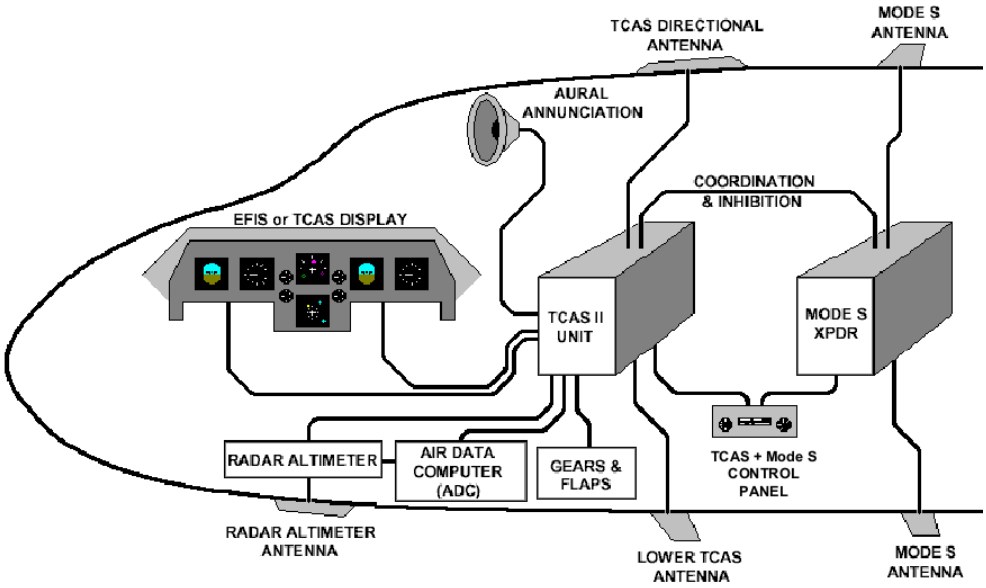


Figura A.1: Componenti del TCAS, tratto da [41]

Il principio di funzionamento si basa su una serie di interrogazioni e risposte tra diversi aeromobili presenti in una stessa zona. Ogni TCAS manda un segnale radio a tutti gli aeromobili circostanti, contenente il suo identificativo, per distinguere i diversi velivoli, e la sua quota, ricavata dal transponder in modo C o modo S; questo messaggio è ricevuto dagli altri dispositivi, che grazie ad un'antenna direzionale e in base al tempo di risposta riescono a calcolare la posizione relativa del velivolo. La velocità e la direzione degli altri velivoli sono calcolate conoscendo due posizioni ad istanti successivi. Questo processo di interrogazione e risposta può avvenire molte volte al secondo.

A.3 Traffic Alert e Resolution Advisory

Il TCAS genera una zona protettiva attorno all'aeromobile, basandosi sul tempo stimato di collisione (Figura A.2).

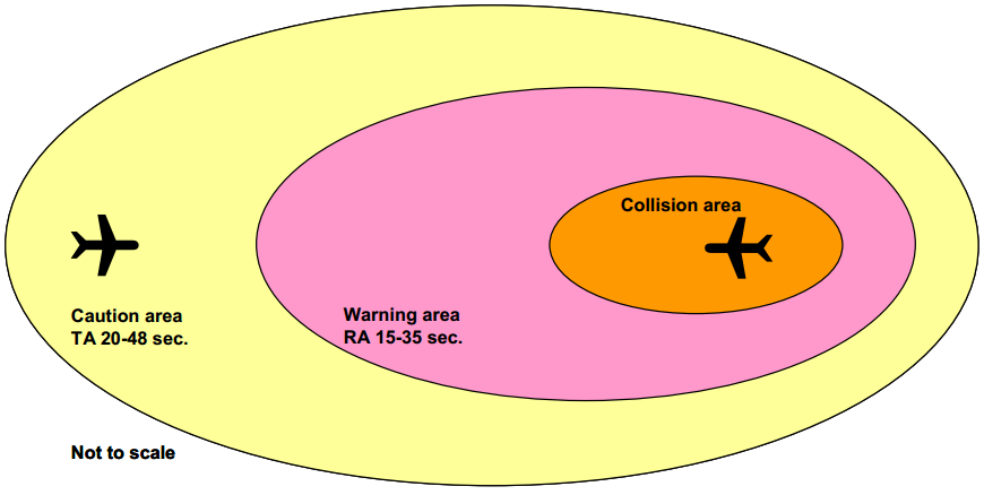


Figura A.2: Zone di protezione del TCAS

Se un altro velivolo viene a trovarsi nella caution area, il dispositivo emette un Traffic Alert (TA), cioè un avviso visivo e uditivo ai piloti che li informa della presenza di un traffico nelle vicinanze, questo si verifica dai 20 ai 48 secondi prima della collisione. Se il velivolo dovesse entrare nella warning area, invece, il TCAS emette un Resolution Advisory (RA), cioè un messaggio visivo e uditivo ai piloti che suggerisce la manovra evasiva più efficiente. Naturalmente le manovre evasive suggerite ai due velivoli sono coordinate, ovvero se al velivolo A viene ordinata una salita, al velivolo B verrà ordinata una discesa. Secondo le normative aeronautiche, le RA vanno seguite in ogni caso, anche se queste vanno contro le istruzioni assegnate dal controllo del traffico aereo. La non adempienza alle RA è stata spesso la causa di incidenti o di incidenti mancati di collisione in volo. Nelle tabelle seguenti (Figura A.3 e Figura A.4) sono riportate le varie RA possibili nella versione 7.0 e 7.1.

Upward sense			Downward sense		
RA	Required vertical rate (ft/min)	Aural	RA	Required vertical rate (ft/min)	Aural
Climb	1500	Climb, climb	Descend	– 1500	Descend, descend
Crossing Climb	1500	Climb, crossing climb; climb, crossing climb	Crossing Descend	– 1500	Descend, crossing descend; descend, crossing descend
Maintain Climb	1500 to 4400	Maintain vertical speed, maintain	Maintain Descend	– 1500 to – 4400	Maintain vertical speed, maintain
Maintain Crossing Climb	1500 to 4400	Maintain vertical speed, crossing maintain	Maintain Crossing Descend	– 1500 to – 4400	Maintain vertical speed, crossing maintain
Reduce Descent [1]	0 – 500 – 1000 – 2000	Adjust vertical speed, adjust	Reduce Climb [1]	0 500 1000 2000	Adjust vertical speed, adjust
Reversal Climb [2]	1500	Climb, climb NOW; Climb, climb NOW	Reversal Descent [2]	– 1500	Descend, descend NOW; descend, descend NOW
Increase Climb [2]	2500	Increase climb, increase climb	Increase Descent [2]	– 2500	Increase descent, increase descent
Preventive RA	No change	Monitor vertical speed	Preventive RA	No change	Monitor vertical speed
RA Removed	n/a	Clear of conflict	RA Removed	n/a	Clear of conflict

[1] Replaced by "Level off, level off" in version 7.1

[2] Not possible as an initial RA

Figura A.3: RA del TCAS 7.0

Upward sense			Downward sense		
RA	Required vertical rate (ft/min)	Aural	RA	Required vertical rate (ft/min)	Aural
Climb	1500	Climb, climb	Descend	– 1500	Descend, descend
Crossing Climb	1500	Climb, crossing climb; climb, crossing climb	Crossing Descend	– 1500	Descend, crossing descend; descend, crossing descend
Maintain Climb	1500 to 4400	Maintain vertical speed, maintain	Maintain Descend	– 1500 to – 4400	Maintain vertical speed, maintain
Maintain Crossing Climb	1500 to 4400	Maintain vertical speed, crossing maintain	Maintain Crossing Descend	– 1500 to – 4400	Maintain vertical speed, crossing maintain
Level Off [1]	0	Level off, level off	Level Off [1]	0	Level off, level off
Reversal Climb [2]	1500	Climb, climb NOW; Climb, climb NOW	Reversal Descent [2]	– 1500	Descend, descend NOW; descend, descend NOW
Increase Climb [2]	2500	Increase climb, increase climb	Increase Descent [2]	– 2500	Increase descent, increase descent
Preventive RA	No change	Monitor vertical speed	Preventive RA	No change	Monitor vertical speed
RA Removed	n/a	Clear of conflict	RA Removed	n/a	Clear of conflict

[1] New RA in version 7.1, replacing "Adjust vertical speed, adjust" from version 7.0

[2] Not possible as an initial RA

Figura A.4: RA del TCAS 7.1

A.4 Versione 7.0 e 7.1

Una sostanziale differenza tra la versione 7.0 e la versione 7.1 del TCAS risiede nelle possibili RA emanate. L'istruzione "Adjust vertical speed, adjust", in seguito a diversi studi effettuati, è risultata essere quella meno seguita dai piloti. Essa, infatti, impone una riduzione del rateo di salita (o discesa), senza tuttavia consigliare al pilota una manovra ben precisa. Tale RA è risultata anche essere la più frequente, si è deciso quindi di sostituirla con l'istruzione "Level off, level off", che impone al pilota di livellare il velivolo alla quota a cui si trova (Figura A.5).

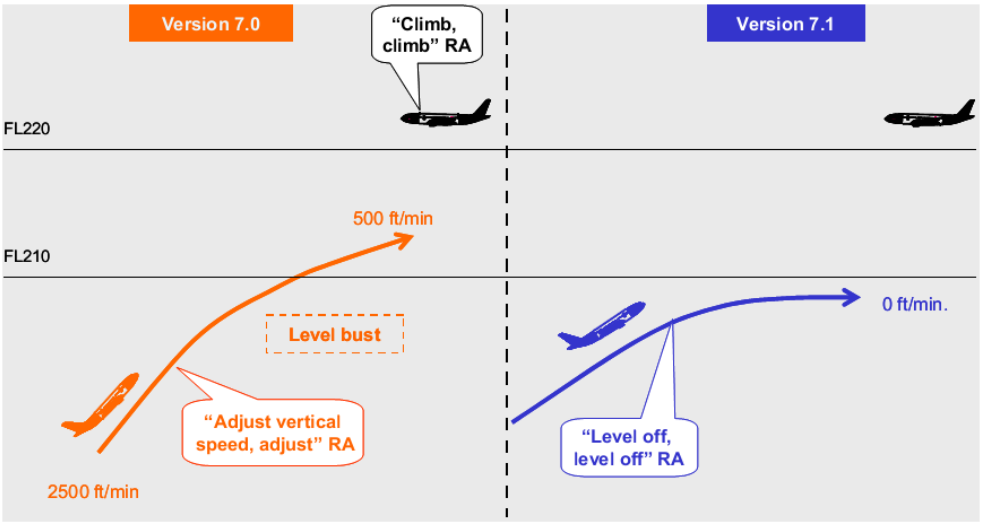


Figura A.5: RA level off versione 7.1

La seconda modifica sostanziale risiede nella logica di inversione dell'istruzione. Il TCAS 7.0 può invertire l'istruzione data ai piloti, ad esempio da salita a discesa, nel caso che uno dei due velivoli non segua le RA. Tuttavia è stato dimostrato che in alcune situazioni particolari tale inversione di istruzioni non veniva emanata. La versione 7.1 risolve questo problema, aumentando i livelli di sicurezza offerti dal TCAS (Figura A.6).

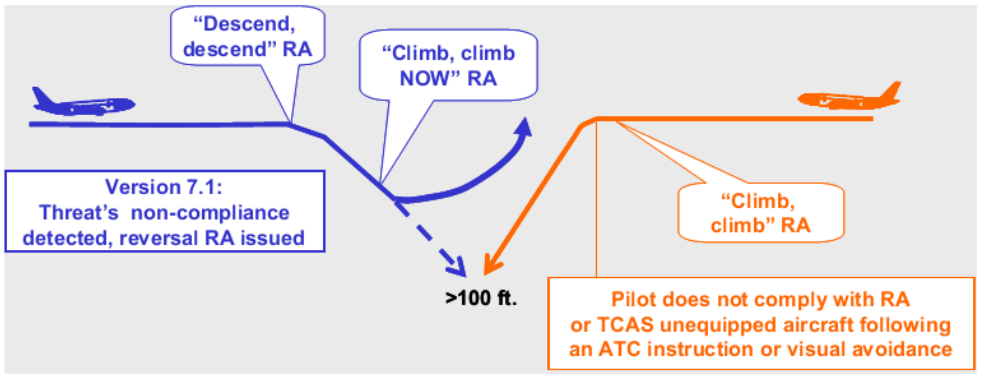


Figura A.6: Inversione dell'istruzione TCAS 7.1

APPENDICE B MID-AIR COLLISION

B.1 DEFINIZIONE

Ad una prima analisi si potrebbe pensare che il termine *mid-air collision* (MAC) si riferisca solo a collisioni avvenute in volo tra due o più aeromobili. In realtà la definizione di MAC adottata dalla tassonomia sviluppata dal CICTT (CAST/ICAO Common Taxonomy Team) è ben più vasta; nella classificazione delle occorrenze [28] si legge:

> **AIRPROX/TCAS ALERT/LOSS OF SEPARATION/NEAR MIDAIR COLLISIONS/MIDAIR COLLISIONS (MAC)**
>
> Airprox, TCAS alerts, loss of separation as well as near collisions or collisions between aircraft in flight.
>
> Usage Notes:
>
> • Includes all collisions between aircraft while both aircraft are airborne.
>
> • Both air traffic control and cockpit crew separation-related occurrences are included.
>
> • To be used for AIRPROX reports
>
> • Genuine TCAS alerts are included here.

Un evento di MAC, quindi, comprende una ben più vasta categoria di occorrenze rispetto alla sola collisione in volo. Fanno infatti parte di un evento di MAC anche situazioni di perdita di separazione, situazioni si sfiorata collisione, ma anche semplicemente situazioni in cui vi è l'intervanto del TCAS. Questa definizione è la stessa adottata nello State Safety Programme [21] sviluppato da ENAC, alla quale però si aggiunge un'altra classe di eventi: la violazione dello spazio aereo.

Non sono considerati mid-air collision eventi in cui si ha la collisione tra due velivoli in pista o tra uno a terra e uno in volo; eventi in cui due aeromobili si scontrano durante il rullaggio o il push-back; eventi in cui l'aeromobile urta un ostacolo mentre è in volo.

B.2 STORIA

La prima collisione in volo di cui si ha testimonianza si verificò al Circuito Aereo Internazionale di Milano nel 1910. In questa occasione il monoplano Antionette IV del francese René Thomas entrò in contatto con il biplano Farman III del comandante dell'esercito britannico Bertram Dickson.

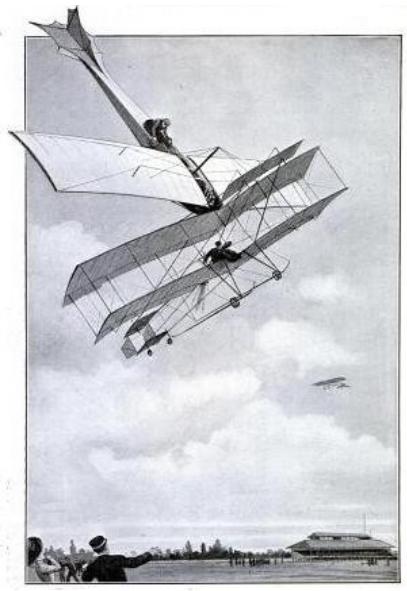


Figura B.1: Rappresentazione della prima collisione in volo

Con il passare degli anni lo sviluppo del settore aeronautico portò ad un considerevole aumento del traffico aereo e di conseguenza ad un aumento di eventi di collisione in volo. Un altro fattore che contribuì all'aumentare delle occorrenze di MAC fu anche la diversificazione tra i vari tipi di traffico: aerei militari, aerei da trasporto, aviazione generale, ecc. Si rese quindi necessaria l'introduzione di misure atte a ridurre la probabilità di incorrere in una collisione in volo. Tra le varie misure adottate negli anni vi sono:

- Una divisione e classificazione dello spazio aereo in modo razionale
- La gestione e la sincronizzazione dei flussi di traffico, pianificando arrivi, partenze e rotte dei voli
- Norme per la separazione visiva dal traffico (VFR)
- Norme per la separazione da parte dell'ATC dal traffico (IFR)

- Introduzione dello STCA (Short Term Conflict Alert) nelle stazioni dell'ATC
- Introduzione di sistemi appositi sugli aeromobili, come l'ACAS (Airborne Collision Avoidance System)

L'adozione di queste barriere ha portato ad una riduzione delle MAC, nonostante il continuo aumento del traffico aereo. Nella tabella seguente sono riportati diversi incidenti di collisione in volo, da intendersi in senso stretto e non nell'accezione ICAO.

Tabella B.1: Elenco di collisioni in volo

Date		Fat.	Surv.	Flights involved	Phase of flight	Site
1922	Apr 7	7	0	CGEA Farman F.60 / Daimler Hire Ltd. de Havilland DH.18A	Cruise	Picardie, France,
1938	Aug 24	45		Two Japanese aircraft	?	Ōmori, Tokyo, Japan
1942	Oct 23	12	2	American Airlines Flight 28 / US Army B-34 flight	Ascent/descent	Chino Canyon, California, U.S.
1945	Jul 12	2	24	Eastern Airlines Flight 45 / U.S. Army Air Force A-26 Invader	Descent	Florence, South Carolina, U.S.
1948	April 5	15	0	British European Airways Vickers VC.1 Viking / Soviet Air Force Flight	Approach	RAF Gatow, Berlin, Germany.
1948	Jul 4	39	0	Scandinavian Airlines System DC-6 / RAF Avro York	Descent	Northwood, London UK.
1949	Feb 19	14	0	BEA Douglas Dakota / RAF Avro Anson	Cruise	Exhall, U.K.
1949	Nov 1	55	1	Eastern Air Lines 537 / Lockheed P-38 test flight	Approach	Washington, D.C., U.S.
1951	Apr 25	43	0	Cubana de Aviación 493 / US Navy flight	Cruise/climb	Key West, Florida, U.S.
1952	Jun 28	2	60	American Airlines Flight 910 / private Temco Swift	Approach	Dallas, Texas, USA
1954	Apr 8	37	0	Trans-Canada Airlines Flight 9 / RCAF Harvard	?	Moosejaw, Saskatchewan Canada
1955	Jan 12	15	0	TWA flight / Private flight	Climb	Boone County, Kentucky, U.S.
1956	Jun 30	128	0	UA Flight 718 / TWA Flight 2	Cruise	Grand Canyon, Arizona, U.S.
1958	Apr 21	49	0	United Airlines Flight 736 / USAF F-100 Super Sabre	Cruise	Las Vegas, Nevada, U.S.
1958	May 20	13	1	Capital Airlines Flight 300 / Air National Guard flight	Descent	Brunswick, Maryland, U.S.
1958	May 20	31	1	British European Airways Flight 142 / Italian Air Force F-86 Sabre flight	Descent	Near Anzio, Italy
1960	Dec 16	134	0	UA Flight 826 / TWA Flight 266	Descent	New York City, New York, U.S.
1965	Dec 4	4	158	TWA Flight 42 / Eastern Airlines Flight 853	Descent	Carmel, New York, U.S.
1967	Mar 9	26	0	TWA Flight 553 / Private flight	Descent	Urbana, Ohio, U.S.
1967	Jul 19	82	0	Piedmont Airlines Flight 22 /	Climb/descent	Hendersonville, North

				Lanseair Inc. flight		Carolina, U.S.
1969	Sep 9	82	0	Allegheny Airlines Flight 853 / Private flight	Descent	Fairland, Indiana, U.S.
1971	Jul 30	162	1	ANA Flight 58 / JASDF flight	Cruise	near Shizukuishi, Japan
1973	Mar 5	68	108	Spanish Airlines DC9 / Convair 990[5]	Cruise	near Nantes, France
1975	Jan 9	14	0	Golden West Airlines Flight 261 / Private flight	Climb	near Whittier, California, USA
1976	Jun 6	50	1	Hughes Airwest Flight 706 / US Marines flight	Climb	San Gabriel Mountains, California
1976	Sep 9	64	0	Aeroflot Flight 31 / Aeroflot Flight 7957	Cruise	near Anapa, Russia
1976	Sep 10	176	0	BA Flight 476 / Inex-Adria Flight 550	Cruise	near Zagreb, Croatia
1978	Sep 25	144	0	PSA Flight 182 / Private flight	Descent	San Diego, California, U.S.
1979	Aug 11	178	0	Aeroflot 65816 / Aeroflot 65735	Cruise	Dniprodzerzhynsk, Ukraine
1981	Aug 24	37	1	Aeroflot Flight 811 / military aircraft	Cruise	Zavitinsk, Russia
1985	May 3	94	0	Aeroflot Flight SSSR-65856 / Soviet Air Force Antonov An-26	Descent	Zolochev, Ukraine
1986	Jun 18	25	0	Grand Canyon Airlines Flight 6 / Private helicopter flight	Low level	Grand Canyon, U.S
1986	Aug 31	82	0	Aeroméxico Flight 498 / Private flight	Descent/climb	Cerritos, California, U.S.
1990	Apr 9	2	7	ASA Flight 2254 / Private flight	Climb/descent	Gadsden, Alabama, U.S.
1992	Dec 22	159	0	Libyan Arab Airlines Flight 1103 / Libyan Air Force MiG-23 Flight	Approach	Tripoli, Libya
1993	Nov 26	4	0	NZ Police Eagle / NZ Police traffic patrol	Low level	Auckland, New Zealand
1996	Nov 12	349	0	Saudi Airlines Flight 763 / Kazakhstan Airlines Flight 1907	Climb/descent	Charkhi Dadri, India
1997	Jun 25	0	?	Mir / Progress M-34	Orbit	Outer space
2002	Jul 1	71	0	Bashkirian Airlines Flight 2937 / DHL Flight 611	Cruise	Überlingen, Germany
2006	Sep 29	154	7	Gol Transportes Aéreos Flight 1907 / ExcelAire flight	Cruise	Amazon Rainforest, Brazil
2007	Jul 27	4	0	KNXV-TV news helicopter / KTVK news helicopter	Low level	Phoenix, Arizona
2007	Sep 1	2	0	Two Zlin Z-526Fs of the AZL Żelazny	Aerobatic display	Near Radom, Poland
2009	Feb 10	0	0	Kosmos-2251 / Iridium 33	Orbit	Outer space
2009	Aug 8	9	0	Piper PA-32 / Eurocopter AS350 Tour Helicopter	Low level	Hudson River, New York.

Analizzando questi dati è possibile osservare l'andamento nel tempo del numero di occorrenze di MAC.

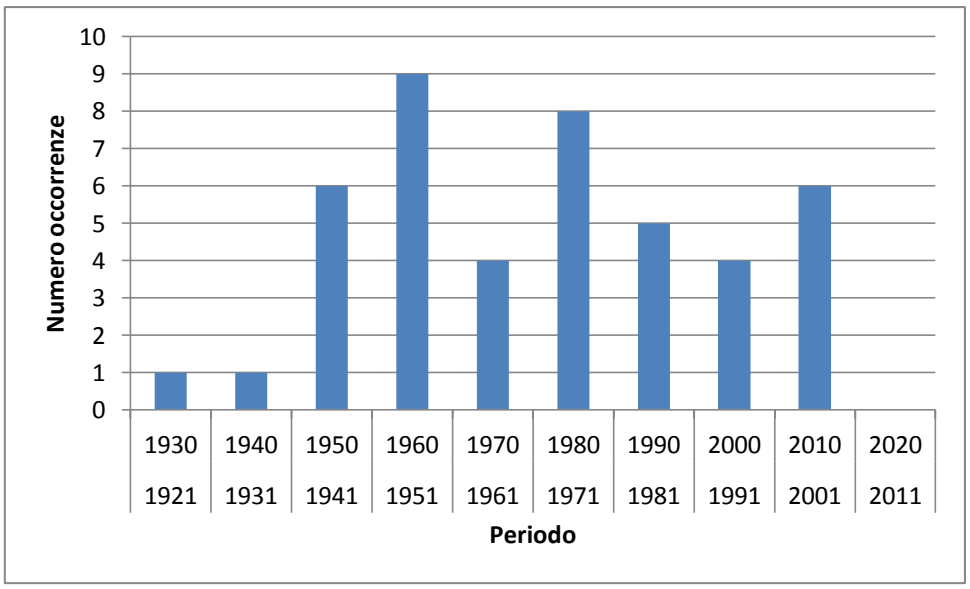


Figura B.2: Occorrenze di MAC nel tempo

Come è possibile vedere dal grafico, dopo un picco di incidenti negli anni '50 siamo ora in una fase di diminuzione di incidenti, soprattutto nel campo del trasporto passeggeri. Risulta infatti ancora più netta la diminuzione delle vittime, come si può notare dal grafico sottostante.

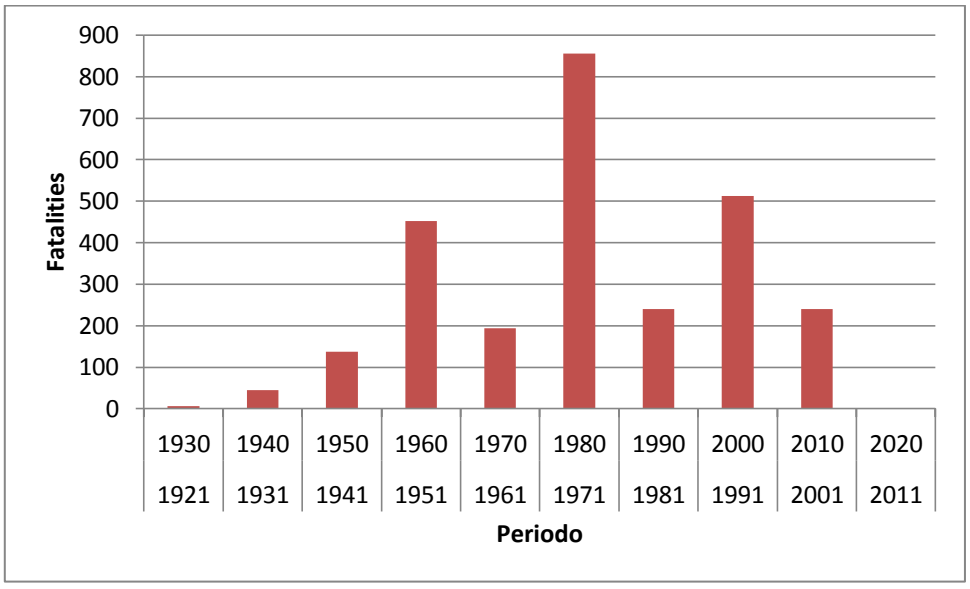


Figura B.3: Vittime di MAC nel tempo

Considerando il numero di vittime coinvolte in collisioni in volo, si nota un picco negli anni ’70. La diversa collocazione negli anni del picco del numero di occorrenze e del numero di vittime è dovuta alle dimensioni degli aeromobili coinvolti: negli anni ’70 si ebbe, infatti, un grosso sviluppo dei grandi velivoli da trasporto passeggeri.

Un’altra considerazione che si può ottenere dall’analisi dei dati è la fase di volo in cui si verificano maggiormente collisioni in volo. Si potrebbe pensare che la fase più critica sia quella di avvicinamento e partenza, quando molti aeromobili si trovano a dirigersi verso un unico punto, l’aeroporto. Tuttavia, analizzando i vari incidenti, si nota che collisioni in volo avvengono per la maggior parte quando uno o entrambi i velivoli stanno effettuando dei cambi di quota.

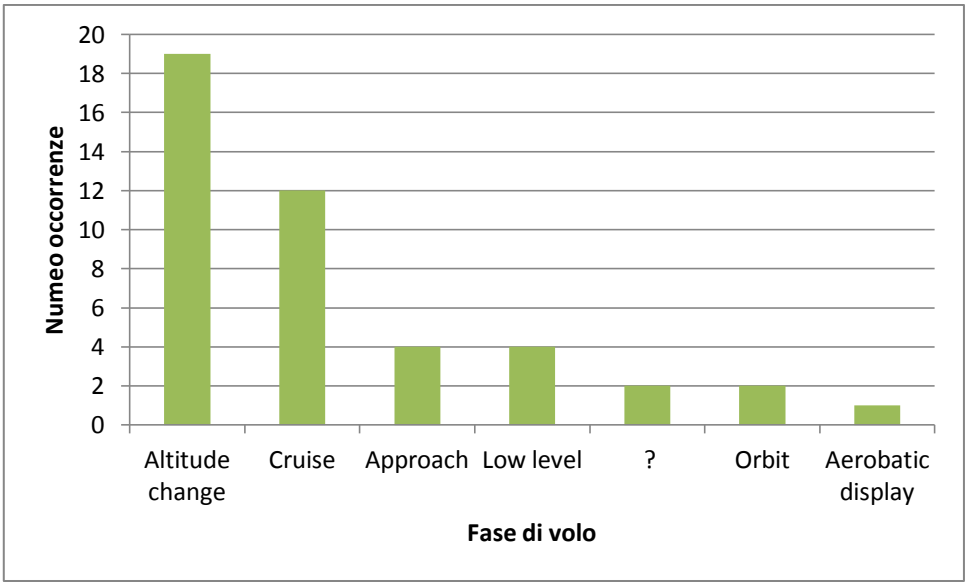


Figura B.4: Fase di volo di incidenti di MAC

B.3 MID-AIR COLLISION ACCIDENTS

B.3.1 Zagabria, 10 settembre 1976

Nel settembre 1976 due aerei si scontrarono in volo sopra i cieli di Zagabria, Croazia. Lo scontro avvenne a FL330 sulla verticale del VOR di Zagabria. I voli coinvolti erano il BE 476, un Hawker Siddeley Trident di proprietà di British Airways in volo da Londra ad Istanbul, e il JP 550, un Douglas DC-9 di proprietà di Adria Airways in volo da Spalato a Colonia. Tutte le 176 persone a

bordo di entrambi i voli rimasero uccise, rendendo questo incidente aereo la collisione in volo con più vittime fino ad allora.

Figura B.5: Rappresentazione incidente di Zagabria

B.3.1.1Storia dell'incidente

Il volo BE 476 decollò dall'aeroporto Heathrow di Londra alle 08.52 (tutti gli orari riportati sono espressi in UTC). Il primo contatto con l'upper sector di Zagabria avvenne alle 10.04, durante il quale il Trident comunicò la sua quota, FL330, e lo stimato di arrivo del successivo punto rotta, il VOR di Zagabria, alle 10.14. Il controllore ricevette le informazioni e assegnò un codice squawk al velivolo. Queste furono le ultime comunicazioni radio del BE 476 prima dell'incidente, che avvenne alle 10.14.

Il volo JP 550 decollò da Spalato alle 09.48, autorizzato a salire fino a FL180, a condizione di sorvolare il VOR di Spalato a FL120. Alle 10.06 il DC-9 riferì al controllore del middle sector di Zagabria di essere a FL260, in attesa dell'autorizzazione a salire alla quota di crociera prevista, FL310. Tuttavia diverse quote erano occupate da altri traffici, e l'unica quota disponibile per il JP 550 era FL350. Il controllore del middle sector, prima di autorizzare la salita, si coordinò con il controllore dell'upper sector, che in quei momenti era molto impegnato con altro traffico. Il coordinamento avvenne quindi tramite gesti e indicazioni sul monitor del radar. Il controllore del middle sector era convinto che il suo collega dell'upper sector avesse capito e autorizzato la richiesta di salita a FL350. Il controllore dell'upper sector ricorda solo che il suo collega gli ha fatto notare un velivolo sul radar. Inoltre, il controllore del middle sector,

dovette preparare la strip per il controllore dell'upper sector, dato che questa non era stata preparata in precedenza, siccome non era previsto che il volo JP 550 interessasse l'upper sector. Tutte queste operazioni richiesero circa due minuti, dopo di che il DC-9 fu autorizzato a salire a FL350. Alle 10.12 il volo JP 550 riportò FL310, come richiesto dal controllore, che gli ordinò di contattare l'upper sector e di impostare il transponder in modalità stand-by. In questa modalità il transponder non trasmette alcuna informazione sul volo, e sul monitor del rada l'unico simbolo visibile è un ø. All'epoca era possibile impostare il transponder in modalità A, che consentiva al controllore di vedere sul monitor il codice squawk impostato dal pilota e la quota di volo del velivolo. La modalità C, che permette la trasmissione di molte più informazioni, come velocità e rotta, non era ancora stata introdotta. Il contatto con l'upper sector avvenne circa due minuti dopo l'ultima trasmissione con il middle sector, siccome la frequenza era occupata da altre comunicazioni. Una volta stabilito il contatto radio, il JP 550 riportò FL325 e l'ora stimata del VOR di Zagabria: 10.14. Il controllore di volo si rese subito conto del pericolo, e ordinò, parlando in lingua serbo-croata, al DC-9 di mantenere il livello di volo attuale; questo confermò, dicendo di mantenere esattamente FL330.

L'equipaggio di un 737-300 di Lufthansa che volava a FL280 circa 15 miglia dietro al Trident, riportò di aver visto la collisione tra il Trident e il DC-9.

B.3.1.2Cause dell'incidente

La causa diretta dell'incidente fu l'impatto dell'ala sinistra del DC-9 con la parte anteriore della fusoliera del Trident.

Le cause indirette dell'incidente furono:

- Operazioni scorrette da parte dell'ATC:
  - Cattivo coordinamento tra i controllori del middle sector e dell'upper sector
  - Ordine di impostare il transponder in stand-by da parte del controllore del middle sector
  - Comunicazioni in una lingua diversa dall'inglese aeronautico tra il controllore dell'upper sector e il volo JP 550, non comprensibili dai piloti del BE 476
- Non conformità del comportamento degli equipaggi rispetto a quanto riportato sui manuali di volo:
  - Poca attenzione alle comunicazioni ATC

- Scarso controllo visuale del traffico circostante

B.3.2 San Diego, 25 settembre 1978

In fase di avvicinamento, un Boeing 727 della Pacific Southwest Airlines si scontrò contro un piccolo Cessna 172 che stava effettuando dei voli di addestramento. Il volo della Pacific Southwest PSA 182 era un volo regolare tra Sacramento e San Diego, con scalo intermedio a Los Angeles; a bordo erano presenti 128 passeggeri e 7 membri dell'equipaggio. Le due persone a bordo del Cessna, tutti passeggeri e i membri dell'equipaggio a bordo del 727 e 7 persone a terra rimasero uccise nell'incidente; 9 persone a terra rimasero ferite.

Figura B.6: Foto dell'incidente di San Diego

B.3.2.1Storia dell'incidente

Alle 08.16 (tutti gli orari sono riferiti all'ora della costa pacifica estiva) un Cessna 172 decollò dall'aeroporto Montgomery Field, per un volo di addestramento. Sul sedile di destra sedeva un istruttore di volo, mentre sul sedile di sinistra sedeva un pilota certificato, che stava ricevendo addestramento sul volo strumentale. Alle 08.57 il Cessna terminò l'ultimo di una serie di avvicinamenti ILS a Lindbergh Field, iniziando una salita in direzione nord-est, dopo di che fu autorizzato dalla torre a mantenere il volo VFR e a contattare San Diego Approach. Il controllore di San Diego Approach autorizzò il Cessna a volare in VFR sotto i 3500 ft, e a mantenere una prua di 070°.

Il volo PSA 182, decollato da Los Angeles, fu autorizzato alle 08.57 da San Diego Approach per un avvicinamento visuale alla pista 27. Due minuti dopo il controllore avvertì il 727 di un traffico a ore 12 ad un miglio di distanza che si muoveva in direzione nord; a questa chiamata il 727 rispose "we're looking".

Pochi secondi dopo, il controllore comunicò la posizione di un altro traffico, sempre a ore 12, a tre miglia di distanza e che si muoveva in direzione nord-est, che fu anch'esso riconosciuto dall'equipaggio del PSA 182. Alle 09.00 il controllore di San Diego Approach ordinò all'equipaggio del 727 di mantenere una separazione visuale dal traffico e di contattare Lindbergh Tower; l'equipaggio del Pacific Southwest confermò la trasmissione. Qualche secondo dopo il comandante del 727 chiese al primo ufficiale (che era il flying pilot) informazioni sulla posizione del Cessna, ma il primo ufficiale rispose che non era più in vista. Il controllore di Lindbergh Tower riportò nuovamente al volo 182 la posizione del Cessna; la risposta del volo 182 fu "okay, we had it there a minute ago. I think he's passing off to our right.", ma il messaggio recepito dal controllore di volo fu "he's passing off to our right". Per oltre un minuto nella cabina del 727 ci fu una discussione sulla posizione del Cessna, e se esso rappresentava ancora un pericolo o meno. Poco prima delle 09.02, il controllore di volo di San Diego Approach ricevette un conflict alert warning, che lo avvisava della vicinanza e della possibile collisione dei due velivoli. Qualche secondo dopo il controllore di volo comunicò la posizione del PSA 182 al Cessna, ma non ricevette risposta. In quel momento era avvenuta la collisione.

B.3.2.2 Cause dell'incidente

La causa diretta dell'incidente fu l'impatto del Cessna sotto la semiala destra del Boeing 727, che provocò una probabile perdita di controllo di quest'ultimo.

Le cause indirette dell'incidente possono essere classificate nel modo seguente:

- Operazioni scorrette da parte dell'ATC:
  - Più enti stavano controllando lo stesso spazio aereo
  - Reazione scorretta al conflict alert warning ricevuto poco prima dell'incidente
  - Mancata imposizione al volo PSA 182 di volare sopra i 4000 ft all'interno dello spazio aereo di Montgomery Field
- Il Cessna non ha mantenuto la prua 070° assegnatagli
- Operazioni scorrette da parte dell'equipaggio del boeing 727:
  - L'equipaggio non ha rispettato le istruzioni di mantenere una separazione visuale dal Cessna
  - L'equipaggio non aveva più il Cessna in vista e non ha avvertito chiaramente il controllore di questo fatto

B.3.3 Tokyo, 31 gennaio 2001

Nel pomeriggio del 31 gennaio 2001, un Boeing 747-400D (Domestic) della Japan Air Lines in volo da Tokyo a Naha, e un Douglas DC-10-40 della stessa compagnia in volo da Pusan a Tokyo, rischiarono una collisione in volo, ad una quota di circa 35000 ft. La collisione fu evitata grazie ad una manovra evasiva del 747 che tuttavia provocò diversi danni all'aeromobile e alcuni feriti.

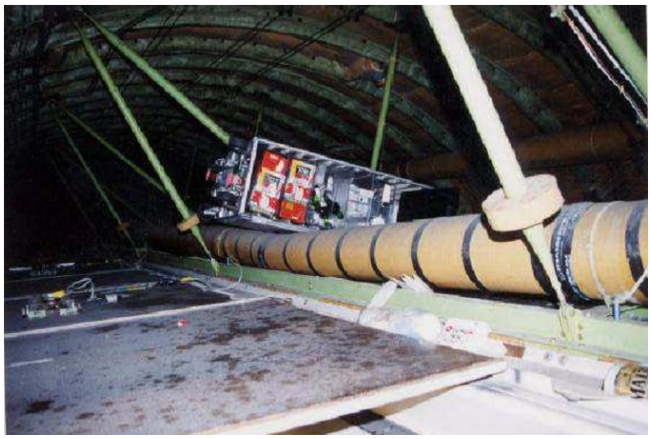


Figura B.7: Carrellino del catering dopo l'incidente di Tokyo

B.3.3.1Storia dell'incidente

Alle 15.36 (tutti gli orari sono riferiti all'ora standard del Giappone) il Boeing 747-400D decollò dall'aeroporto di Tokyo diretto a Naha con un totale di 415 persone a bordo. In cabina vi erano quattro membri dell'equipaggio: il comandante sul sedile di sinistra, un pilota in addestramento per diventare primo ufficiale sul sedile di sinistra, il primo ufficiale dietro al comandante e un altro pilota in addestramento sedeva dietro al sedile di sinistra.

Al momento dell'incidente tre persone erano in servizio al controllo del traffico aereo di Tokyo: un controllore di volo in addestramento che stava effettuando una familiarizzazione, un supervisore e un coordinatore.

Alle 15.41 il 747 contattò il controllo del traffico aereo di Tokyo e informò il controllore di essere a 11000 ft in salita per FL390. Pochi minuti dopo, il controllo del traffico aereo ordinò al 747 di mantenere FL350, poiché a FL390 stava volando un altro velivolo. Pochi minuti dopo, tuttavia, il 747 fu nuovamente autorizzato a salire fino a FL390.

Alle 15.48 il DC-10 entrò in contatto con il controllore di Tokyo; in quel momento stava volando a FL370. In cabina vi erano tre membri dell'equipaggio: il comandante che sedeva sul sedile di destra, il primo ufficiale sedeva sul sedile di sinistra per la promozione a comandante, e l'ingegnere di bordo sedeva alla sua postazione.

Alle 15.54 scattò un conflict alert al controllo del traffico aereo; in quel momento il 747 e il DC-10 si trovavano rispettivamente a FL367 e a FL370. Pochi secondi dopo a bordo dei due velivoli il TCAS emise un TA (Traffic Alert). In risposta al conflict alert, l'ATC ordinò al 747 di scendere a FL350 per evitare il DC-10; il 747 confermò l'istruzione e nella registrazione è possibile sentire anche un RA (Resolution Advisory) del TCAS che dice "*climb, climb, climb*". Nello stesso momento anche il TCAS del DC-10 emanò un RA che imponeva di iniziare una discesa. Il 747, obbedendo alle istruzioni dell'ATC, iniziò a scendere e il DC-10 effettuò la stessa manovra dando ascolto alle istruzioni del TCAS. Qualche istante dopo, il TCAS del DC-10 emise un RA di *increase descent*. Cercando di recuperare la situazione, il supervisore del traffico aereo diede istruzione al volo JAL957 di iniziare a scendere, ma non vi era nessun volo con questo numero: il 747 era il volo JAL907, mentre il DC-10 era il volo JAL958. Poco dopo il supervisore ordinò al 747 di salire a FL390, ma questa istruzione non fu mai confermata dall'equipaggio del 747.

Alle 15.55 i due aerei incrociarono le loro rotte, solo grazie ad una manovra evasiva da parte dell'equipaggio del 747 si evitò la collisione. Il Boeing, infatti, effettuò una brusca affondata, seguita da una richiamata; i fattori di carico raggiunti andarono da -0.55G a +1.59G. Questa manovra provocò ferite ad alcuni passeggeri che non indossavano la cintura di sicurezza e provocò danni all'aeromobile, facendo finire, tra l'altro, un carrellino del catering sopra al soffitto della cabina passeggeri. Il 747 rientrò a Tokyo per prestare soccorso ai passeggeri feriti.

B.3.3.2 Cause dell'incidente

Le cause che portarono a questo evento furono:

- L'istruzione di scendere fu rivolta erroneamente al 747 anziché al DC-10. Questo errore fu generato dallo stato di tensione del controllore e del supervisore, generato dal grande numero di velivoli controllati e dal conflict alert generato dal radar solo pochi secondi prima dell'eventuale collisione.

- Il conflict alert fu generato solo 30 secondi prima della collisione, e non 3 minuti come prescritto, poiché il 747 si trovava in una condizione di virata e il sistema non prevedeva la predizione di collisione per traiettorie non rettilinee.
- Il 747 non seguì le indicazioni del TCAS, era un'operazione psicologicamente difficile per il comandante iniziare una salita quando aveva appena iniziato una discesa come istruito dall'ATC. Inoltre credeva che l'ATC avesse dato l'istruzione di scendere basandosi su una visione globale del traffico nella zona.
- Il comandante del 747 non era sufficientemente informato dei rischi di agire contro ad un RA emanato dal TCAS.

B.3.4 Lago di Costanza, 1 luglio 2002

Nella notte del 1 luglio 2002, alle 21.35 (tutti gli orari sono espressi in UTC), un Boeing 757-200 della DHL in volo da Bergamo Orio al Serio verso Bruxelles, e un Tupolev Tu-154M in volo da Mosca Domodedovo verso Barcellona con a bordo 69 persone, si scontrarono nei cieli sopra al lago di Costanza, in Svizzera. Nessuna delle 71 persone totali coinvolte nel'incidente sopravvisse all'incidente.

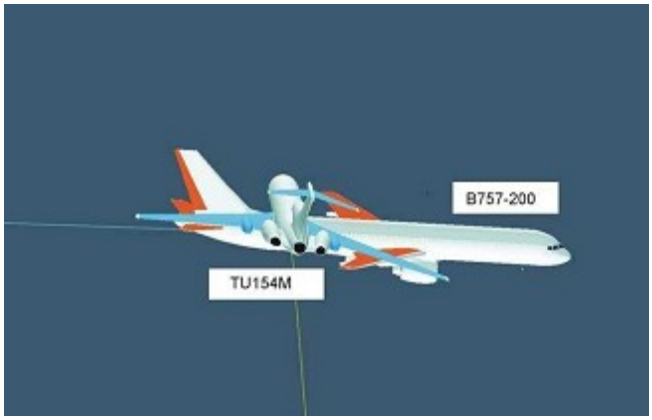


Figura B.8: Rappresentazione dell'incidente del Lago di Costanza

B.3.4.1Storia dell'incidente

Il 757 stava effettuando un volo cargo da Bahrain a Bruxelles, con scalo a Bergamo. Decollato alle 21.06 da Orio al Serio, il DHL contattò il controllo del traffico aereo di Zurigo alle 21.21, mentre si trovava a FL260 in salita verso la quota di crociera FL360, che raggiunse alle 21.30 circa. Qualche minuto dopo, alle 21.34, il TCAS allertò l'equipaggio di un possibile conflitto con altro traffico, emettendo un Traffic Advisory (TA). Solo 14 secondi dopo il TCAS

emise un Resolution Advisory (RA), che imponeva all'equipaggio di iniziare una discesa. Immediatamente il 757 iniziò una discesa con un rateo di 1500 ft/min; alle 21.35 il TCAS emise un nuovo RA, che imponeva di aumentare il rateo di discesa. Anche in questo caso l'equipaggio seguì le istruzioni del TCAS, aumentando il rateo di discesa a circa 2600 ft/min e riportando al controllo del traffico aereo le istruzioni ricevute dal TCAS. Pochi secondi dopo si verificò l'impatto con in Tupolev 154M.

A bordo del Tupolev 154 vi erano 60 passeggeri e 9 membri dell'equipaggio. Cinque di essi sedevano in cabina di pilotaggio: sul sedile di sinistra sedeva il comandante, che era sotto valutazione da parte di un supervisore che sedeva sul sedile di destra e ricopriva anche il ruolo di pilot in command, il navigatore sedeva tra i due piloti, leggermente indietro, l'ingegnere di bordo sedeva alla sua postazione dietro al sedile di destra, e un copilota fuori servizio sedeva dietro al sedile di sinistra. L'aereo stava effettuando un volo charter da Mosca Domodedovo a Barcellona; alle 21.30 entrò in contatto con il controllo del traffico aereo di Zurigo, mentre volava a FL360. Dalle 21.33 per più di un minuto, ci fu una discussione in cabina che coinvolse tutti i membri dell'equipaggio tranne l'ingegnere di bordo, riguardo ad un traffico visualizzato sul TCAS. Durante la discussione l'equipaggio si sforzò di individuare visivamente il velivolo e di capire a che quota si trovasse. Alle 21.34 il TCAS generò un TA; 7 secondi dopo il controllore di volo di Zurigo ordinò al Tupolev di effettuare un expedite descent a FL350. Pochi secondi dopo il TCAS emise un RA che imponeva all'equipaggio di salire; ci fu una breve discussione tra il copilota e il PIC: il primo disse "it (TCAS) says *climb*" e il PIC rispose "he (ATC) is guiding us down", così l'aereo continuò la discesa. Qualche secondo più tardi, alle 21.35, il controllore di volo ripeté al Tupolev di scendere a FL350. Una trentina di secondi dopo, il TCAS emise un ulteriore RA, che imponeva di aumentare il rateo di salita; il copilota commentò il RA dicendo "it says *climb*". Cinque secondi prima dell'impatto ci fu un tentativo di evitare la collisione: il volantino fu tirato completamente indietro per cominciare la salita, ma ormai era troppo tardi e il Tupolev si scontrò con il 757 ad una quota di 34890 ft.

Alla centrale di controllo del traffico aereo di Zurigo sarebbero dovute essere in servizio quattro persone: due controllori e due assistenti. Tuttavia era pratica diffusa che solo un controllore rimanesse a vigilare tutto il traffico aereo durante la notte, mentre l'altro riposava. La notte dell'incidente il controllore di volo si trovava da solo a dover gestire tre velivoli: i due coinvolti nell'incidente e un

Airbus A320 in fase di atterraggio. Le comunicazioni con quest'ultimo velivolo avvenivano su una frequenza diversa da quella del Tupolev e del 757. Nei 5 minuti prima dell'incidente il controllore prestò più attenzione all'airbus in atterraggio che agli altri voli in crociera. Nella notte dal 1 al 2 luglio 2002 erano in corso dei lavori presso la centrale di controllo del traffico aereo di Zurigo. A causa di questi lavori il radar operava con capacità limitate, e la separazione minima tra aeromobili era stata aumentata da 5 nmi a 7 nmi. In particolare non era disponibile la funzione STCA (Short Term Collision Alert) e il controllore non era consapevole che tale funzione fosse disattivata. Inoltre anche le linee telefoniche erano in manutenzione; in particolare la linea principale rimase inattiva dalle 21.23 alle 21.34 e non vi era alcun dispositivo che commutasse le chiamate entranti dalla linea principale alla linea secondaria. I controllori degli spazi aerei adiacenti si resero conto dell'imminente collisione, anche grazie al fatto che il loro STCA era in funzione, e provarono ad avvertire telefonicamente il controllore di Zurigo. Alcune chiamate furono effettuate quando la linea telefonica era nuovamente operativa, ma siccome il controllore non era stato avvisato della fine dei lavori, non rispose alle chiamate, credendo che fossero delle prove tecniche.

B.3.4.2 Cause dell'incidente

La causa diretta dell'incidente fu la collisione in volo tra il Tupolev Tu-154M e il Boeing 757. Tuttavia l'incidente trova alcune cause primarie:

- La riduzione della separazione tra i due velivoli non fu recepita per tempo dal controllore e l'istruzione al Tupolev di scendere fu emessa quando ormai era troppo tardi garantire la separazione dal 757.
- L'equipaggio del Tupolev continuò la discesa, ascoltando le istruzioni dell'ATC e ignorando il RA emesso dal TCAS.

Alte cause di tipo sistemico possono essere individuate:

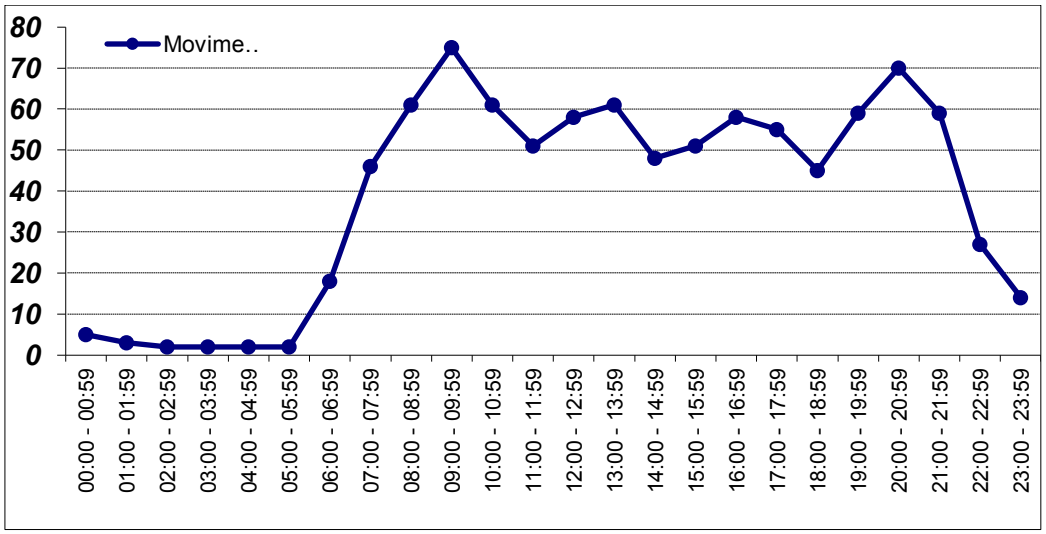
- Il sistema TCAS non era sufficientemente integrato nel sistema aviazione. Le normative emesse da ICAO, e di conseguenza le normative nazionali e i manuali operativi, non erano standardizzate ed a tratti erano incomplete e contraddittorie.
- L'ente gestore del traffico aereo non assicurò che tutte le stazioni radar fossero controllate e presenziate durante la notte.

L’ente gestore del traffico aereo tollerò per anni che durante la notte un solo controllore monitorasse tutto lo spazio aereo di competenza della zona di Zurigo.

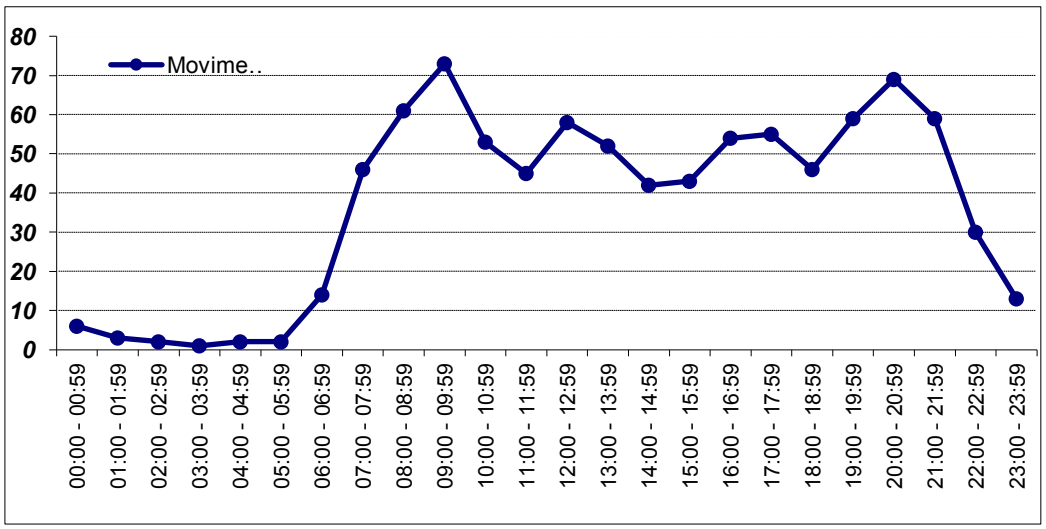
APPENDICE C DATI DI TRAFFICO DI FIUMICINO

I dati riportati di seguito sono riferiti al totale dei movimenti (arrivi e partenze) dei giorni medi dell'anno 2011.

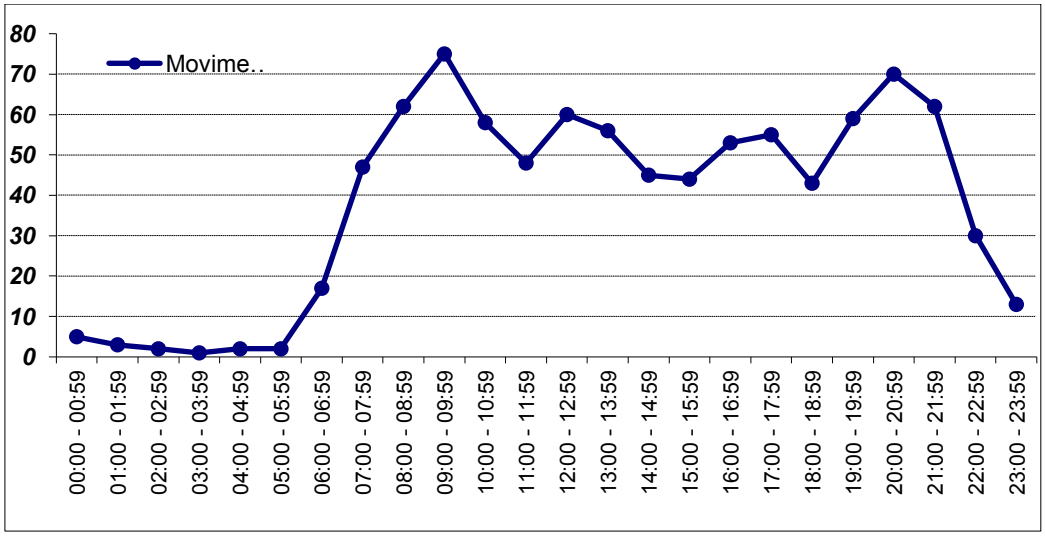
C.1 LUNEDÌ



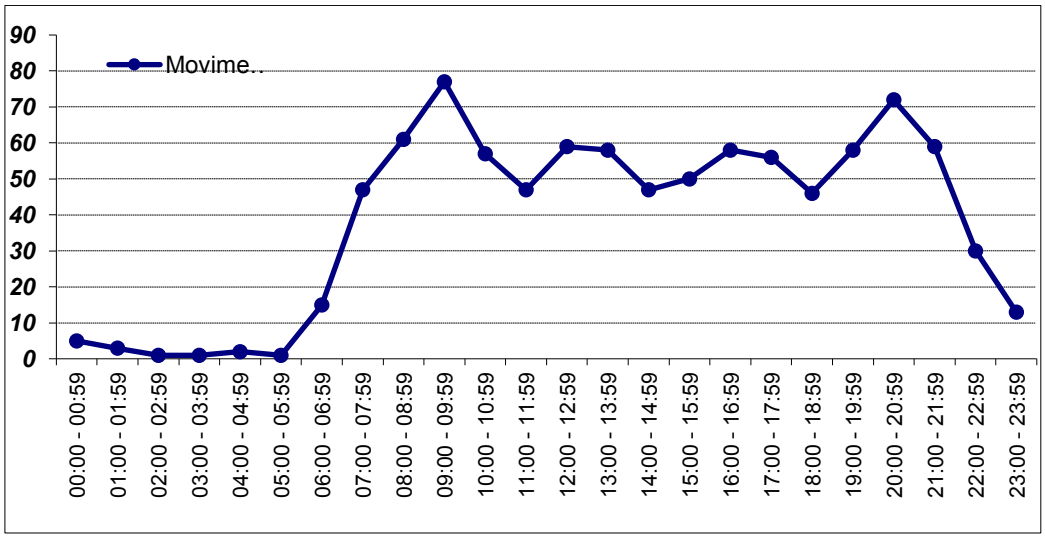
C.2 MARTEDÌ



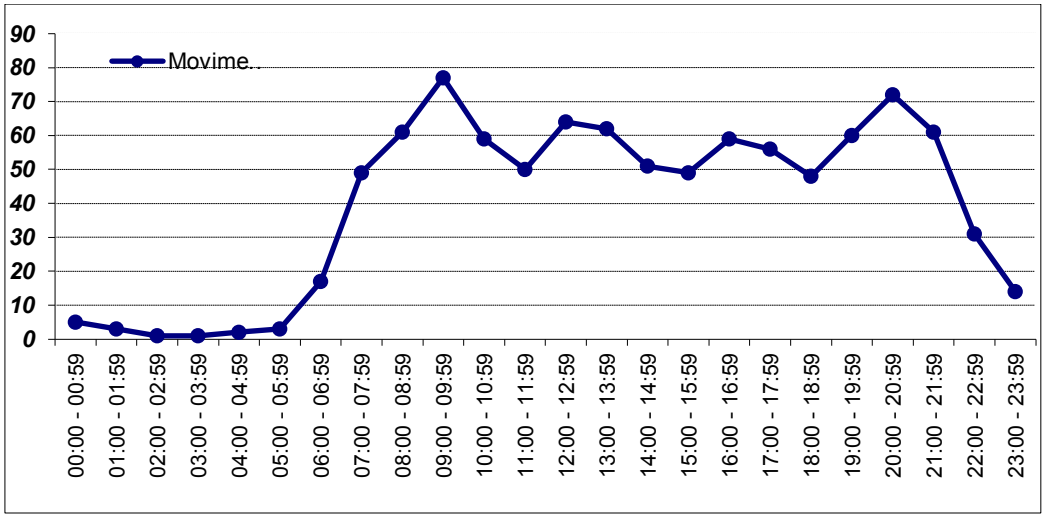
C.3 MERCOLEDÌ



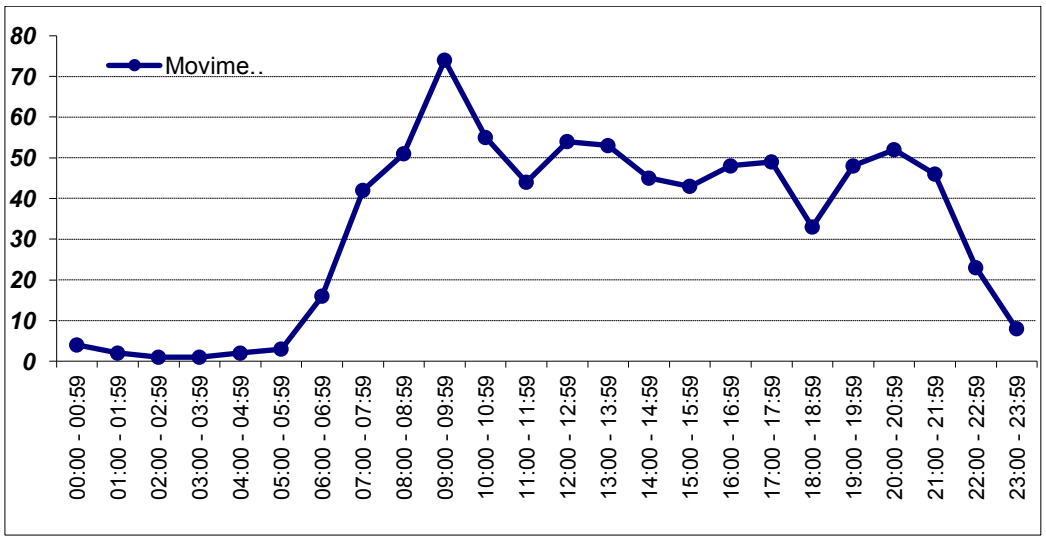
C.4 GIOVEDÌ



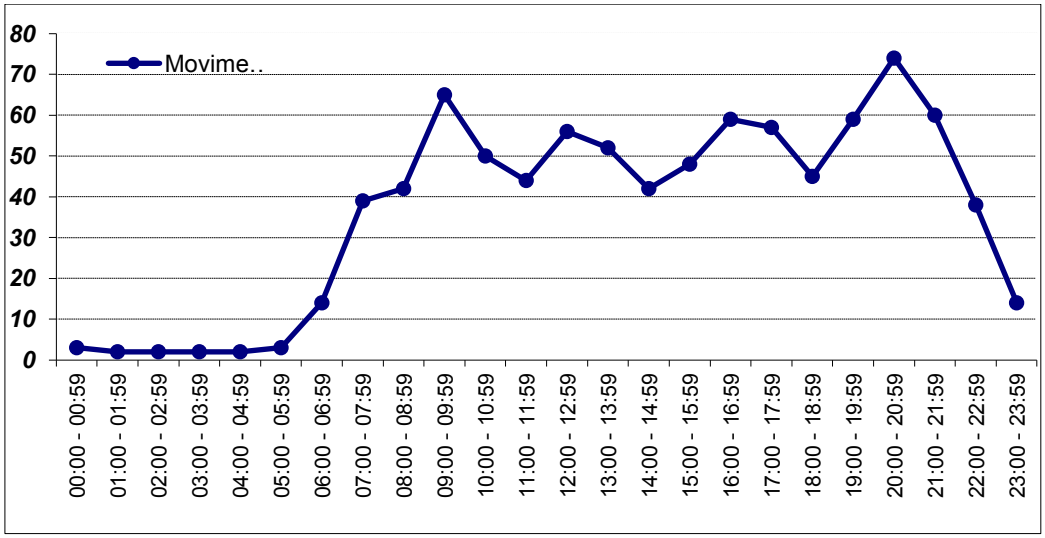
C.5 VENERDÌ



C.6 SABATO



C.7 DOMENICA


Movime..
80
70
60
50
40
30
20
10
0
00:00 - 00:59
01:00 - 01:59
02:00 - 02:59
03:00 - 03:59
04:00 - 04:59
05:00 - 05:59
06:00 - 06:59
07:00 - 07:59
08:00 - 08:59
09:00 - 09:59
10:00 - 10:59
11:00 - 11:59
12:00 - 12:59
13:00 - 13:59
14:00 - 14:59
15:00 - 15:59
16:00 - 16:59
17:00 - 17:59
18:00 - 18:59
19:00 - 19:59
20:00 - 20:59
21:00 - 21:59
22:00 - 22:59
23:00 - 23:59

ACRONIMI

ACAS	Airborne Collision Avoidance System
ADREP	Accident/Incident Data Reporting
AIRPROX	Aircraft Proximity
ANSV	Agenzia Nazionale Sicurezza Volo
ARMS	Aviations Risk Management Solutions
ATC	Air Traffic Control
CFIT	Controlled Flight Into Terrain
CREAM	Cognitive Reliability and Error Analysis Method
EASA	European Aviation Safety Agenc
EASP	European Aviation Safety Plan
EFB	Electronic Flight Bags
EJ	Expert Judgement
ENAC	Ente Nazionale Aviazione Civile
EOP	Emergency Operating Procedures
ERC	Event Risk Classification
FL	Flight Level
GPWS	Ground Proximity Warning System
IATA	International Air Transport Association
ICAO	International Civil Aviation Organization
IFR	Instrumental Flight Rules
ISAAC	Integrated Systemic Approach for Accident Causation
LOC-I	Loss Of Control In-flight
LOS	Loss Of Separation
MAC	Mid-Air Collision
MOR	Mandatory Occurrence Report
RA	Resolution Advisory
RAMCOP	Risk Assessment for Managing Company Operational Processes
RE	Runway Excursion
RI	Runway Incursion
RVSM	Reduced Vertical Separation Minima
SIRA	Safety Issue Risk Assessment
SMS	Safety Management System
SOP	Standard Operating Procedurs
SSP	State Safety Programme
STCA	Short Term Conflict Alert
TA	Traffic Alert
TCAS	Traffic Collision Avoidance System
VFR	Visual Flight Rules

BIBLIOGRAFIA

[1] J. J. H. Liou, L. Yen e G.-H. Tzeng, «Building an effective safety management system for airlines,» *Journal of Air Transport Management,* n. 14, pp. 20-26, 2008.

[2] ICAO, «ICAO Doc. 9859 Safety Management Manual (SMM), Third Edition,» 2012.

[3] P. C. Cacciabue, Sicurezza del Trasporto Aereo, Springer, 2010.

[4] C. Mariani, «Risk Analysis in Take-Off procedure with Electronic Flight Bag,» in *Tesi di Laurea Magistrale*, Politecnico di Milano, 2012.

[5] E. De Grandis, I. Oddone, A. Ottomaniello e P. C. Cacciabue, «Managing risk in real contexts with scarcity of data and high potential hazards: the case of flights in airspace contaminated by volcanic ash,» in *PSAM11*, Helsinki, 2012.

[6] M. Cassani, V. Licata, D. Baranzini, S. Corrigan, E. De Grandis e A. Ottomaniello, «Integrated Data Management for handling hazard of change situations: a sample case of operational implementation,» in *PSAM11*, Helsinki, 2012.

[7] E. Edwards, «Man adn machine: Systems for safety,» in *Proceedings of British Airline Pilots Association Technical Symposium*, London, 1972.

[8] E. Edwards, «Introductory overview,» in *Human Factors in Aviation*, San Diego, Academic Press, 1988, pp. 3-25.

[9] ICAO, «ICAO Doc. 9156 Accident/Incident Reporting Manual (ADREP Manual),» 1987.

[10] P. C. Cacciabue, Guide to Applying Human Factors Methods, London: Springer-Verlag, 2004.

[11] J. Reason, Managing the risks of organisational accidents, Aldershot:

Ashgate, 1997.

[12] E. Hollnagel, Cognitive Reliability Error Analysis Method, Elsevier, 1998.

[13] J. Reason, Human Error, New York: Cambridge University Press, 1990.

[14] S. A. Shappell e D. A. Wiegmann, «The Human Factors Analysis and Classification System - HFACS,» Federal Aviation Administration, 2000.

[15] J. D. Andrews e S. J. Dunnett, «Event-Tree Analysis Using Binary Decision Diagrams,» *IEEE Transactions on Reliability,* vol. 49, n. 2, pp. 230-238, June 2000.

[16] U. S. Nuclear Regulatory Commission, «Fault Tree Handbook,» 1981.

[17] S. Beretta, Affidabilità delle costruzioni meccaniche, Springer, 2009.

[18] «BowTie Pro - Welcome,» [Online]. Available: www.bowtiepro.com. [Consultato il giorno 12 Settembre 2012].

[19] ARMS Working Group, «The ARMS Methodology for Operational Risk Assesment in Aviation Organisations,» 2010.

[20] EASA, «European Aviation Safety Plan 2012-2015».

[21] ENAC, «Programma Nazionale Italiano della Sicurezza Aeronautica (State Safety Programme - Italy)».

[22] ENAC, «ENAC Safety Plan 2012-2015».

[23] ENAC, «Nota Informativa NI-2012-014 del 31 ottobre 2012,» 2012.

[24] ICAO, «State of Global Aviation Safety,» Montreal, 2011.

[25] Boeing, «Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents Worldwide Operations 1959-2011,» 2012.

[26] EASA, «Annual Safety Review 2011,» 2012.

[27] ENAC, «Circolare GEN-01 B,» 2011.

[28] CAST/ICAO Common Taxonomy Team, «Aviation Occurrence Category - Definitions and Usage Notes,» 2011.

[29] ANSV, «rapporto informativo sull'attività svolta dall'ANSV e sulla sicurezza dell'aviazione civile in Italia,» 2011.

[30] IATA, «IATA Safety Report,» 2011.

[31] G. Guanziroli, «World Safety Performance 2011,» in *69 assemblea IFSC*, Roma, 2012.

[32] I. Oddone, A. Ottomaniello e F. Toti, *Comunicazioni personali,* 2012.

[33] Civil Aviation Authority, «CAP704 ACCESS Aircraft Call Sign Confusion Evaluation Safety Study,» 2000.

[34] ENAC, «Dati di Traffico,» 2011.

[35] L. P. J. Speijker, M. J. H. Couwenberg e H. W. Kleingeld, «Collision risk related to the usage of parallel runways for landing,» NLR, 1997.

[36] Australian Transport Safety Bureau, «Aviation Occurence Statistics 2002 to 2011,» 2012.

[37] D. Occhiato, *Comunicazioni personali,* 2012.

[38] NASA, «NASA Task Load Index (TLX)».

[39] M. R. Endsley e M. D. Rodgers, «Distribution of attention, situation awareness, and workload in a passive air traffic control task: Implications for operational errors and automation,» *Air Traffic Control Quarterly,* vol. 6, n. 1, pp. 21-44, 1998.

[40] W.-C. Moon, K.-E. Yoo e Y.-C. Choi, «Air Traffic Volume and Air Traffic Control Human Errors,» *Journal of Transportation Technologies,* n. 1, pp. 47-53, 2011.

[41] EUROCONTROL, «ACAS II Guide - Airborne Collision Avoidance System II (Including version 7.1),» 2012.