



Politecnico di Milano

Dipartimento di Scienze e Tecnologie Aerospaziali
Corso di Sicurezza del Trasporto Aereo

Analisi Retrospettiva dell'Incidente Volo British Midland 92

Greco Andrea
Grotto Matteo
Lugli Arianna
Macovei Lorenzo
Masi Raùl
Zambaldo Carlo

Anno Accademico 2020/2021

Indice

1	Introduzione	1
1.1	Premesse e Obiettivi	1
1.2	Metodi e Metodologie Utilizzate	1
2	Glossario	2
3	Storia Del Volo	3
3.1	Premesse	3
3.2	Storia del Volo	3
3.3	Trascrizione degli eventi significativi registrati dal CVR	5
3.4	Informazioni Metereologiche	6
3.4.1	Condizioni Generali	6
3.4.2	Condizioni a London-Heathrow	6
3.4.3	Condizioni a East Midlands	7
3.5	ETL - Event Time Line	7
3.6	ETL semplificata	11
4	Analisi degli Eventi	12
4.1	Categoria ADREP dell’Occorrenza	12
4.2	evento 05 - “Engine No.2 Shutdown”	12
4.2.1	Analisi ISAAC	12
4.2.2	Analisi ADREP	13
4.2.3	Analisi CREAM	15
4.2.4	Livelli di Controllo - Processi Decisionali - COCOM	17
4.2.5	Analisi HFACS	18
4.3	evento 09 - “Engine Fire - Fire Warning on Engine No.1”	21
4.3.1	Analisi ADREP	21
4.4	Analisi ARMS	22
4.4.1	Analisi ERC	22
4.4.2	Analisi SIRA (Revisited)	23
5	Conclusioni	25
5.1	Cause dell’Incidente e Considerazioni Finali	25
5.2	Fattori Influenzanti	25
5.3	Analisi della Strumentazione	26
5.3.1	Confronto dei modelli di EIS	26
5.3.2	Intuitività degli indicatori	27
5.4	Fattori culturali/organizzativi prevalenti	28
5.5	Incidenti con Eventi Simili	28
5.6	Raccomandazioni	29
5.7	Immagini della scena dell’incidente	30
6	Fonti	32

1. Introduzione

1.1 Premesse e Obiettivi

Nel corso di questo report verrà studiato un incidente aereo, evidenziando gli eventi che lo hanno caratterizzato, classificandone alcuni e individuandone le cause specifiche. Al termine dell'analisi verranno proposte eventuali raccomandazioni da sottoporre agli enti preposti al controllo e alla sicurezza del traffico aereo, commentando gli aspetti cruciali che hanno contribuito allo sviluppo della vicenda.

1.2 Metodi e Metodologie Utilizzate

Lo studio degli eventi sarà compiuto utilizzando tecniche di analisi standard che possano valutare gli eventuali guasti tecnici e/o i fattori che hanno contribuito all'evoluzione dell'incidente aggravandone o mitigandone le conseguenze.

Saranno quindi utilizzate le metodologie **ADREP**, per la capacità di descrivere complessivamente il comportamento umano come risultato delle relazioni e dipendenze che esistono tra individuo e il contesto socio-tecnico che lo circonda, **ISAAC**, poiché in grado di offrire un quadro complessivo di riferimento per la valutazione e identificazione delle cause e **CREAM** che, seppur orientata principalmente alla classificazione degli errori umani senza quindi occuparsi di guasti sistemici, consentirà di sviluppare più approfonditamente la parte del fallimento umano. Inoltre, sarà proposta anche un'analisi **HFACS**, che, distinguendo in quattro livelli generali, consente di discernere le Azioni Erronee (fenotipi del comportamento umano) dagli errori latenti fino ad individuare possibili correlazioni a livelli più alti dell'organizzazione.

Al termine dello studio degli eventi e della ricerca delle cause, verrà anche proposto un esempio di analisi **ARMS** con scopo illustrativo e di accenno ad una possibile analisi in funzione della ricerca di raccomandazioni da proporre.

Per ulteriori approfondimenti sui metodi e metodologie utilizzate si rimanda al libro del corso [4].

2. Glossario

Parametri del Motore

EGT Exhaust Gas Temperature

FF Fuel Flow

N1 Fan Speed

N2 Core Speed

Metodi e Metodologie di Analisi

ADREP Accident/Incident Data Reporting

ARMS Aviation Risk Management Solution

CREAM Cognitive Reliability and Error Analysis Method

ERC Event Risk Classification

HFACS Human Factors Analysis and Classification System

ISAAC Integrated Systemic Approach for Accident Causation

SIRA Safety Issue Risk Assessment

Altre Abbreviazioni

CVR Cockpit Voice Recorder

EIS Engine Information System

ETL Event Time Line

FDR Flight Data Recorder

FO First Officer

GPWS Ground Proximity Warning System

PIC Pilot In Command (Commander)

VOR Very High Frequency Omnidirectional Range

3. Storia Del Volo

3.1 Premesse

Aircraft Type and Registration:	Boeing 737-400, G-OBME
No and Type of Engines:	2 CFM 56-3C high by-pass turbo-fan
Year of Manufacture:	1988
Date and Time of Crash:	8 January 1989, 20:05 (UTC)
Commander:	Male, aged 49
Total Flying Experience:	13,176 hours
Flown on the Series 400 aircraft:	23 hours
First Officer:	Male, aged 39
Total Flying Experience:	3,290 hours
Flown on the Series 400 aircraft:	53 hours

3.2 Storia del Volo

L'aereo era impegnato in un volo di andata-ritorno tra London-Heathrow e Belfast. Atterrato a Heathrow alle 18:45Z, dopo aver completato il primo volo, è ripartito per Belfast alle ore 19:52Z con **il primo ufficiale ai comandi**. Dopo il decollo, l'aereo è salito al livello di volo FL060, dove si è stabilizzato al di sopra di uno strato di nubi "stratocumuli" per due minuti, prima di ricevere l'autorizzazione a salire a FL120. Poco dopo, alle ore 19:58Z, l'aereo è stato autorizzato a continuare la salita fino alla quota di crociera FL350 in direzione del VOR Trent.

Alle ore 20:05.05Z, mentre l'aereo si stava avvicinando al livello FL290, l'equipaggio ha avvertito vibrazioni da *moderate* a *severe*, un odore di bruciato e fumo. **Il comandante ha immediatamente preso il controllo del velivolo, disattivando sia pilota automatico che l'auto-throttle**. I due piloti hanno quindi diagnosticato i **sintomi di vibrazione e fumo come indicativi di un problema al motore destro** e 20 secondi dopo l'inizio della vibrazione, **il comandante ha incaricato il primo ufficiale a ridurre la manetta del motore destro**. Il comandante, in seguito all'incidente, ha dichiarato che l'azione di chiudere la manetta del motore destro (No. 2) ha ridotto l'odore e il fumo e che non ricordava alcuna continuazione della vibrazione.

Immediatamente dopo aver rallentato il motore destro, il primo ufficiale ha informato il London Air Traffic Control (ATC) che l'aereo era a FL300 e che si trovava in una situazione di emergenza assimilabile a un incendio del motore. Passato questo

messaggio, **il comandante ordina al primo ufficiale di spegnere il motore**; l'equipaggio di volo è stato quindi impegnato nelle trasmissioni radio ATC, dichiarando la propria intenzione di dirottare su Castle Donington (East Midlands Airport). Il motore destro è stato spento 2 minuti e 7 secondi dopo l'inizio della vibrazione. A quel punto **la potenza del motore sinistro era stata ridotta**, e continuava comunque a funzionare a una potenza relativamente bassa. Dopo l'incidente, il comandante ha dichiarato che durante il resto della discesa le indicazioni degli strumenti del motore erano tali da confermare che l'emergenza si fosse conclusa con successo e che il motore sinistro funzionasse regolarmente. I parametri del motore registrati associati a questa fase del volo vengono inclusi più avanti nel report.

Sempre a seguito dell'incidente, in cabina, i passeggeri e gli assistenti di volo avevano sentito un rumore insolito accompagnato da vibrazioni da moderate a gravi. Alcuni passeggeri erano anche a conoscenza di ciò che hanno descritto come fumo, ma nessuno è stato in grado di descriverne il colore o la densità. Hanno descritto l'odore di bruciato come "gomma", "olio" e "metallo caldo". **Molti avevano visto segni di incendio dal motore sinistro**, che hanno descritto variamente come "fuoco", "torcia" o "scintille". Molti degli assistenti di cabina hanno descritto il rumore come un "tonfo" basso e ripetitivo e uno ha descritto come la vibrazione fosse stata abbastanza forte da scuotere le pareti della cambusa anteriore.

Il motore destro era stato spento a circa 5 miglia nautiche a nord-ovest dell'aeroporto di East Midlands. Dopo aver autorizzato l'aereo a svoltare a destra e scendere a FL100, l'ATC di Londra ha passato il controllo all'ATC di Manchester, che ha fornito i vectors per scendere a nord-ovest dell'aeroporto di East Midlands, per poi dirigerlo a est dell'aeroporto e iniziare il suo avvicinamento alla pista 27. Il controllo ATC dell'aeromobile è stato quindi trasferito a Castle Donington Approach.

L'avvicinamento è poi proseguito fino a quando l'aereo è arrivato sul localizzatore del sistema di atterraggio strumentale (ILS) per la pista 27, con i flap abbassati a 5°. A 2000 piedi il carrello di atterraggio è stato abbassato e, quando il marker esterno è stato superato a 4.3 nm dall'atterraggio, è stata selezionata l'estensione dei flap a 15°. Un minuto dopo, alle 20:23.50Z, quando l'aereo era a 2.4 nm dall'atterraggio e ad un'altezza di 900 piedi sopra il livello del suolo (agl), **il motore sinistro ha perso potenza, la velocità del compressore si è ridotta rapidamente e si sono avvertiti alti livelli di vibrazioni. Il comandante ha detto al primo ufficiale di riaccendere (cioè riavviare) il motore destro**. 17 secondi dopo la perdita di potenza, il sistema di allarme incendio al motore ha agito sul motore sinistro. Nessuna potenza è stata resa disponibile dal motore destro prima che l'aereo colpisse il suolo alle 20:24.43Z, 36 secondi dopo l'allarme di incendio al motore.

L'impatto iniziale con il suolo è avvenuto in assetto a muso alto su un terreno pianeggiante appena a est dell'autostrada M1. Il velivolo è quindi passato tra gli alberi e ha subito il secondo, e maggiore, impatto sulla carreggiata occidentale della M1 e sulla parte inferiore del terrapieno occidentale: questo secondo impatto è avvenuto circa 70 metri dopo l'impatto iniziale e 10 metri più in basso. La fusoliera è stata ampiamente danneggiata e il velivolo si è fermato interamente sul terrapieno occidentale boscoso, a circa 900 metri dalla soglia della pista 27 e spostato di 50

metri a destra della linea di mezzera delle luci di avvicinamento.

Alcuni testimoni a terra hanno confermato che durante l'avvicinamento finale l'aereo presentava chiare prove di incendio al motore sinistro. L'area di aspirazione del motore è stata riempita di fuoco giallo/arancione e le fiamme sono state osservate scorrere dietro la gondola motore. Sono stati anche uditi rumori metallici di "sferragliamento" e sono stati osservati detriti in fiamme cadere dalla regione del motore in fiamme. [5]

3.3 Trascrizione degli eventi significativi registrati dal CVR

Dal CVR è stato appreso che la prima indicazione di un problema con il velivolo si è presentata quando si stava avvicinando alla quota di crociera quando, per un breve periodo, si sono uditi suoni di "vibrazioni" in cabina di pilotaggio. C'è quindi stata un'esclamazione e il primo ufficiale ha commentato che avevano un incendio a bordo ("GOT A FIRE"). Si è quindi potuto sentire l'avviso acustico di disconnessione dell'autopilota e il primo ufficiale ha dichiarato: "IT'S A FIRE COMING THROUGH". **Il comandante ha quindi chiesto "WHICH ONE IS IT?", al che il primo ufficiale ha risposto: "IT'S THE LE..IT'S THE RIGHT ONE"**, Il comandante ha poi detto "OKAY, THROTTLE IT BACK".

L'ATC di Londra è stato quindi chiamato dal primo ufficiale, avvisandolo di un'emergenza, dopodiché il comandante ha chiesto lo spegnimento del motore. **Il primo ufficiale aveva iniziato a leggere la checklist per "Engine Failure and Shutdown" quando viene interrotto dalle chiamate dell'ATC e dalle chiamate del comandante alla compagnia operativa**, durante le quali venne presa la decisione di deviare verso East Midlands. Circa 2 minuti dopo la "vibrazione" iniziale è stato dato il comando finale di spegnere il motore. Il primo ufficiale ricominciò quindi la checklist e 2 minuti e 7 secondi dopo il problema iniziale ha spostato la leva di avviamento del motore No. 2 su "OFF", per poco dopo avviare l'APU. Per tutto questo periodo non è stato udito alcun avviso acustico di incendio.

L'aereo ha quindi iniziato la discesa verso l'aeroporto di East Midlands e il comandante ha fatto il suo primo annuncio ai passeggeri durante il quale ha detto che c'era stato un problema con il **motore destro**, il quale aveva prodotto del fumo in cabina. L'equipaggio di volo è stato quindi completamente occupato con le checklist, con le chiamate alla compagnia operativa e all'ATC, che li stavano instradando verso l'aeroporto di East Midlands. I piloti erano inoltre occupati nel riprogrammare il sistema di gestione del volo (FMS) per una diversione su EMA, con la quale hanno avuto qualche **difficoltà**.

Durante questo periodo hanno anche discusso brevemente dei sintomi che si erano verificati inizialmente e il comandante ha menzionato "RAPID VIBRATIONS IN THE AEROPLANE - SMOKE".

Il volo è proseguito fino a quando l'aeromobile è entrato in avvicinamento finale con la checklist di atterraggio completata. Subito dopo aver confermato all'ATC di East Midlands che il motore destro era stato spento, dall'analisi del CVR è stato possibile udire un crepitio, probabilmente a causa di un'interferenza elettrica: ciò è avvenuto 54 secondi prima del primo impatto al suolo. Prima di questo evento si sono verificati cambiamenti significativi nel contenuto in frequenza del rumore di fondo sul microfono dell'area CVR, probabilmente non udibili dall'equipaggio.

Subito dopo, è stata fatta una trasmissione alla torre che indicava che l'equipaggio aveva **problemi anche con il secondo motore (il motore No. 1)** e il comandante ha chiesto al primo ufficiale "TRY LIGHTING THE OTHER ONE UP - THERE'S NOTHING ELSE YOU CAN DO".

36 secondi prima dell'impatto è suonato l'avvisatore di incendio (motore No. 1). Il primo ufficiale ha quindi chiesto al comandante se dovesse spegnere questo motore. domanda a cui ha ricevuto risposta negativa.

Dalla registrazione CVR si è constatata la loro intenzione di "allungare la planata", ma 29 secondi prima dell'impatto l'avviso di "glideslope" del sistema di avviso di prossimità al suolo (GPWS) è intervenuto e ha continuato con un tasso di ripetizione crescente, indicando che l'aereo stava costantemente divergendo al di sotto del percorso di discesa. Il comandante ha detto due volte "TRY OPENING THE OTHER ONE UP" e ogni volta il primo ufficiale ha risposto "SHE'S NOT GOING".

A 10 secondi dall'impatto il comandante ha fatto un annuncio ai passeggeri "PREPARE FOR CRASH LANDING" (ripetuto). Si è poi sentito l'azionamento dello stick shaker, seguito dal rumore dell'impatto. [5]

3.4 Informazioni Metereologiche

3.4.1 Condizioni Generali

Il percorso da Londra a East Midlands si trovava all'interno di una corrente d'aria umida da ovest-sud-ovest, con una marcata inversione di temperatura intorno ai 3.000 piedi. L'isoterma di 0°C era a 10.000 piedi. C'erano strati e stratocumuli sparsi tra 1.000 piedi e 3.500 piedi sulla parte meridionale del percorso e una piccola probabilità di stratocumuli sparsi fino a 6.500 piedi a nord, con sottili chiazze di altocumuli/altostratus tra 14.000 e 17.000 piedi. [5]

3.4.2 Condizioni a London-Heathrow

Il tempo a Heathrow alle ore 1950Z è stato riportato come: vento 230°@ 6 kn; visibilità 6.000 metri; nuvole 8 oktas stratus, base 500 piedi; temperatura +9°C; punto di rugiada +9°C; occasionale pioggia leggera. [5]

3.4.3 Condizioni a East Midlands

Il tempo effettivo all'aeroporto di East Midlands, riferito al pilota dall'ATC alle ore 2011Z era: vento 250° @ 10 kn; visibilità 10 km; nuvole 7 oktas, base 1.700 piedi; temperatura +9°C; QNH 1018. [5]

3.5 ETL - Event Time Line

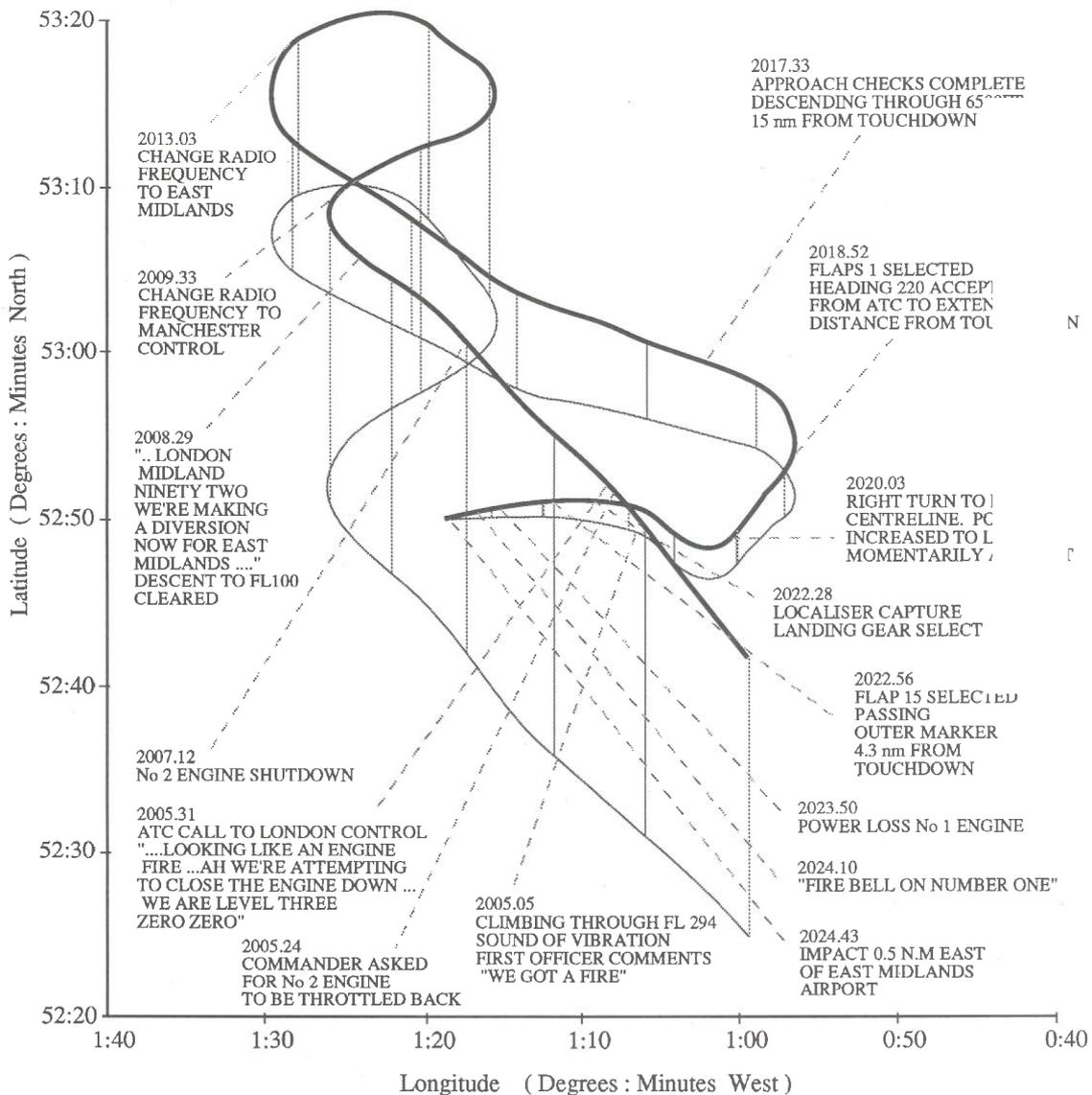


Figura 3.1: Event Time Line - Fonte: [5]

Dalla Figura 3.2 (grafico azzurro) risulta molto evidente come durante le fasi terminali dell'avvicinamento il parametro N1 nel motore guasto è aumentato notevolmente in seguito alla necessità di recuperare il glidescope, ciò ha portato ad un ulteriore danneggiamento del motore, fino alla completa perdita di spinta. Si noti,

inoltre, che a quel punto il motore No.2 risultava già spento. Ulteriori parametri vengono riportati nelle Figure 3.4 e 3.5.

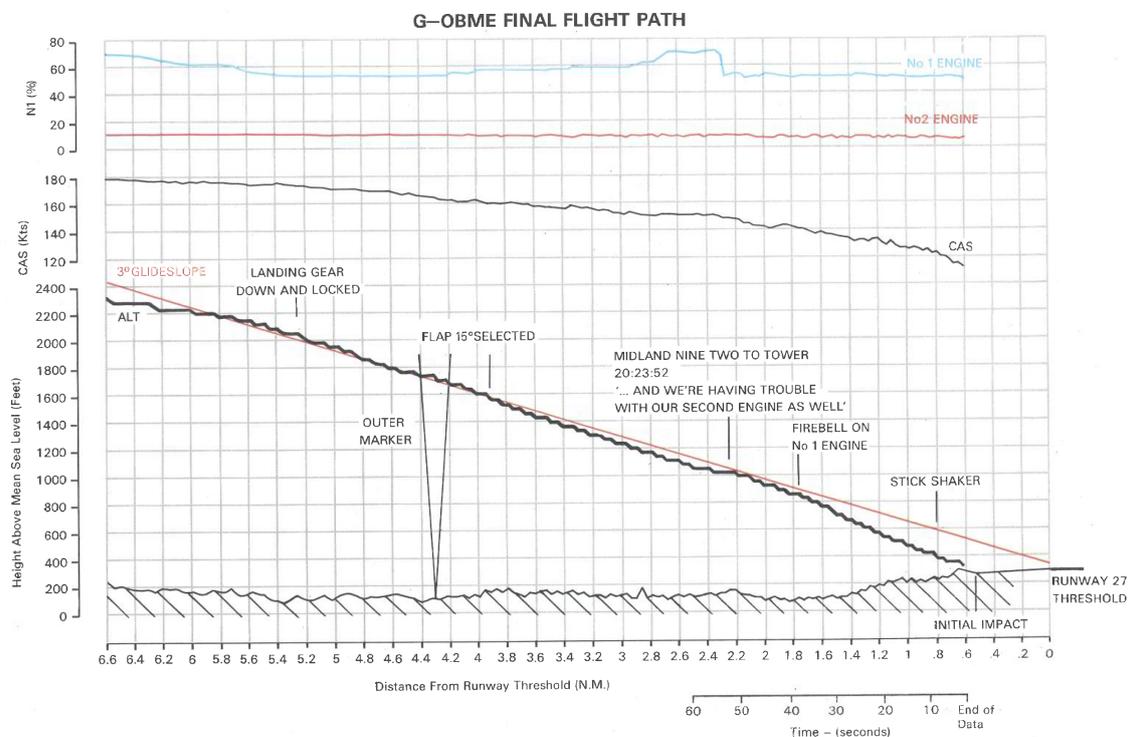


Figura 3.2: Final Flight Path - Fonte: [5]

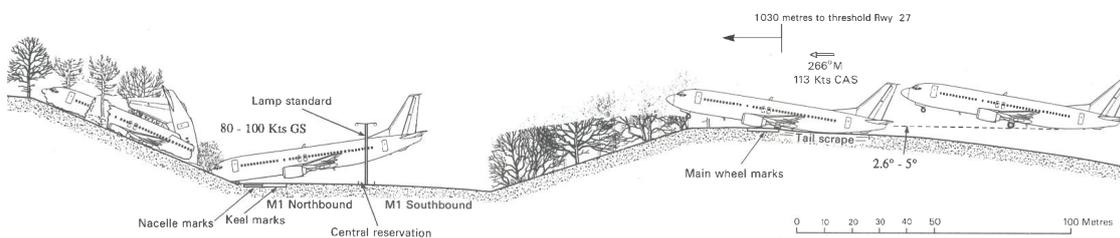


Figura 3.3: Sequenza dell'impatto - Fonte: [5]

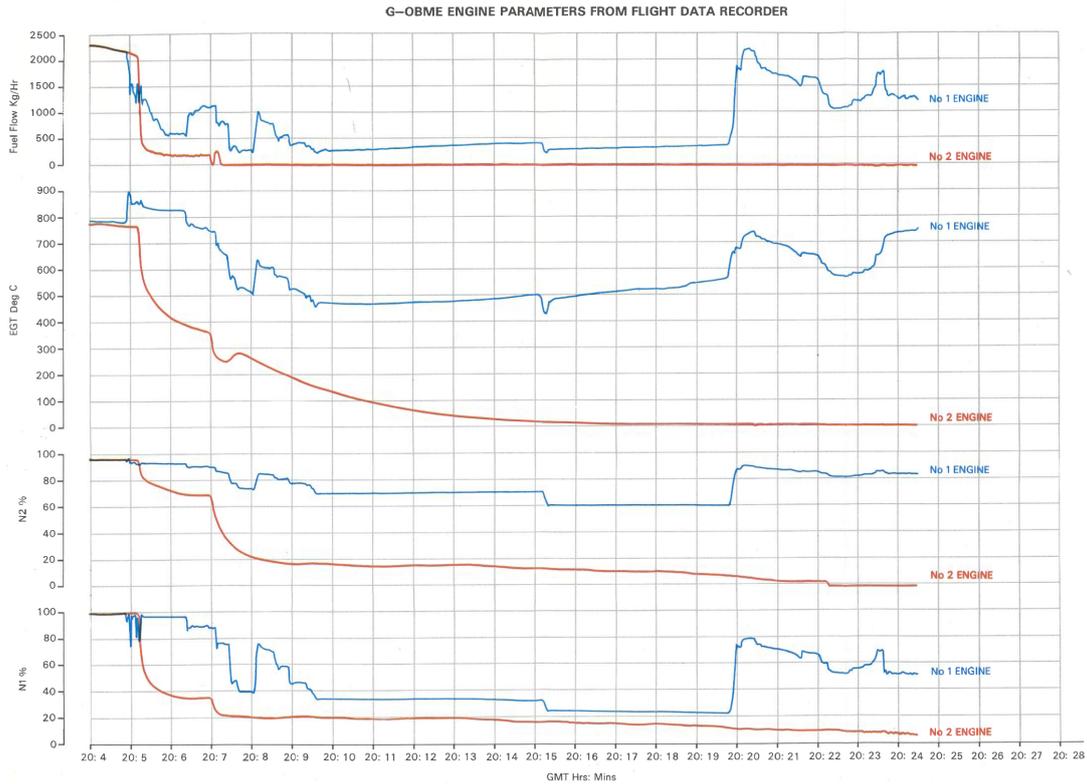


Figura 3.4: Parametri Motore registrati dal FDR - Fonte: [5]

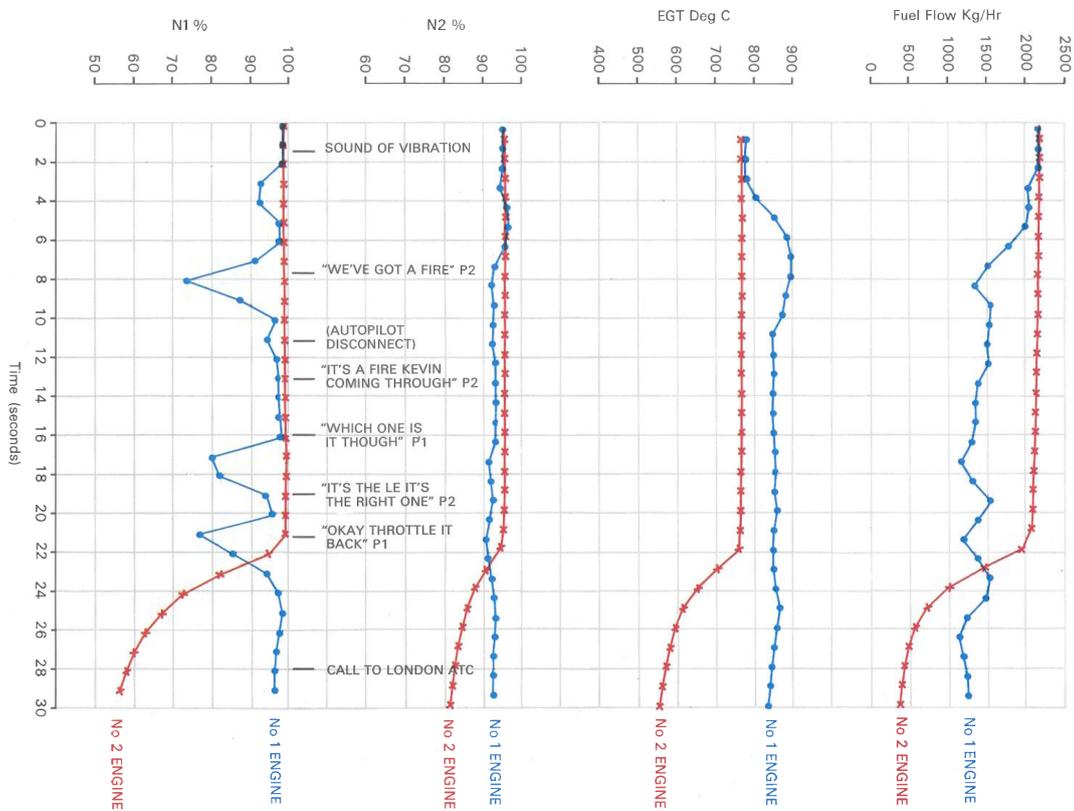


Figura 3.5: Parametri Motore registrati dal FDR - Evento Iniziatore - Fonte: [5]

Tabella 3.1: Sequenza degli eventi principali, si vedano Figg. 3.1 e 3.2

20:05.05	.....●	Climbing through FL293, sound of vibration, first officer comments "We got a fire".
20:05.24	.....●	Commander asks for No.2 engine to be throttled back.
20:05.31	.....●	ATC call to London Control: "...Looking like an engine fire ... Ah we're attempting to close the engine down... we are level three zero zero".
20:06.00	.....●	Crew attempts to go through "Engine Failure and Shutdown checklist" but gets interrupted..
20:06.25	.....●	The commander calls BMA Operation to inform of the situation.
20:07.12	.....●	No 2 engine shutdown, APU starts.
20:08.29	.....●	"..London Midland ninety two we're making a diversion now for east midlands ...", descent to FL100 cleared.
20:09.33	.....●	Change of radio frequency to Manchester Control.
20:12.28	.....●	Another attempt to diagnose the problem interrupted by communication with ATC..
20:13.03	.....●	Change of radio frequency to East Midlands.
20:17.33	.....●	Approach checks complete, descending through 6500FT, 15nm from touchdown.
20:18.52	.....●	Flaps 1 selected, Heading 220, longer approach accepted by ATC.
20:20.03	.....●	Right turn to realign with centerline. Power increased to momentarily level at 3000FT.
20:22.28	.....●	Localiser Captured, Landing Gear Selected Down.
20:22.56	.....●	Flaps 15 selected, passing outer marker 4.3nm from touchdown.
20:23.50	.....●	Power Loss from No.1 Engine.
20:23.52	.....●	Midland Nine Two to Tower: "... And we're having trouble with our second engine as well".
20:24.10	.....●	"Fire Bell on Number One".
20:24.43	.....●	Impact 0.5nm East of East Midlands Airport.

3.6 ETL semplificata

Per semplicità, lo studio della sequenza degli eventi presentata nel prossimo capitolo, farà riferimento ad una ETL semplificata che non terrà conto dell'orario preciso di accadimento di ciascun evento ma solo della sequenza temporale degli eventi. L'ETL semplificata viene riportata in Tabella 3.2

Tabella 3.2: Event Time Line semplificata

evento 01	●	Takeoff.
evento 02	●	Severe Vibrations and Smoke in the cabin, Left Engine compressor stall, due to Fanblade Fracture.
evento 03	●	Autopilot and Autothrottle disengaged.
evento 04	●	Crew decides to first reduce power to the right engine.
evento 05	●	Commander orders to shut down the right engine, Engine No.2 shutdown.
evento 06	●	No more vibrations, the problem seems to have been solved.
evento 07	●	Decision to divert to East Midlands.
evento 08	●	Abrupt thrust loss on engine No.1.
evento 09	●	Engine Fire - Fire Warning on engine No.1.
evento 10	●	Failed Attempts to restart right engine.
evento 11	●	GPWS and Stick shaker activation.
evento 12	●	Crash.

Per una miglior comprensione dell'evoluzione dell'occorrenza si consiglia la visione del video redatto dall'FAA [1] al seguente link: [Video YouTube](https://youtu.be/GWp00tUSScg)¹

¹<https://youtu.be/GWp00tUSScg>

4. Analisi degli Eventi

4.1 Categoria ADREP dell'Occorrenza

Occurrence:	Crash of British Midland 92	
Class:	100	Accident
Category:	SCF-PP	Failure or malfunction of an aircraft system or component - related to the powerplant
	LOC-I	Loss of Control-Inflight

4.2 evento 05 - “Engine No.2 Shutdown”

4.2.1 Analisi ISAAC

Un primo metodo utilizzato per l'identificazione delle cause primarie è la metodologia ISAAC, che consente di analizzare in contemporanea gli errori umani e i guasti tecnici. Inoltre, è possibile distinguere chiaramente tra gli effetti che certi errori latenti hanno sia sul sistema, che sulle prestazioni umane. Consente, infine, di identificare e distinguere le componenti nascoste (latenti) ed i fattori casuali ed esterni che sono sempre presenti e influenzano i comportamenti attivi e i guasti tecnici.

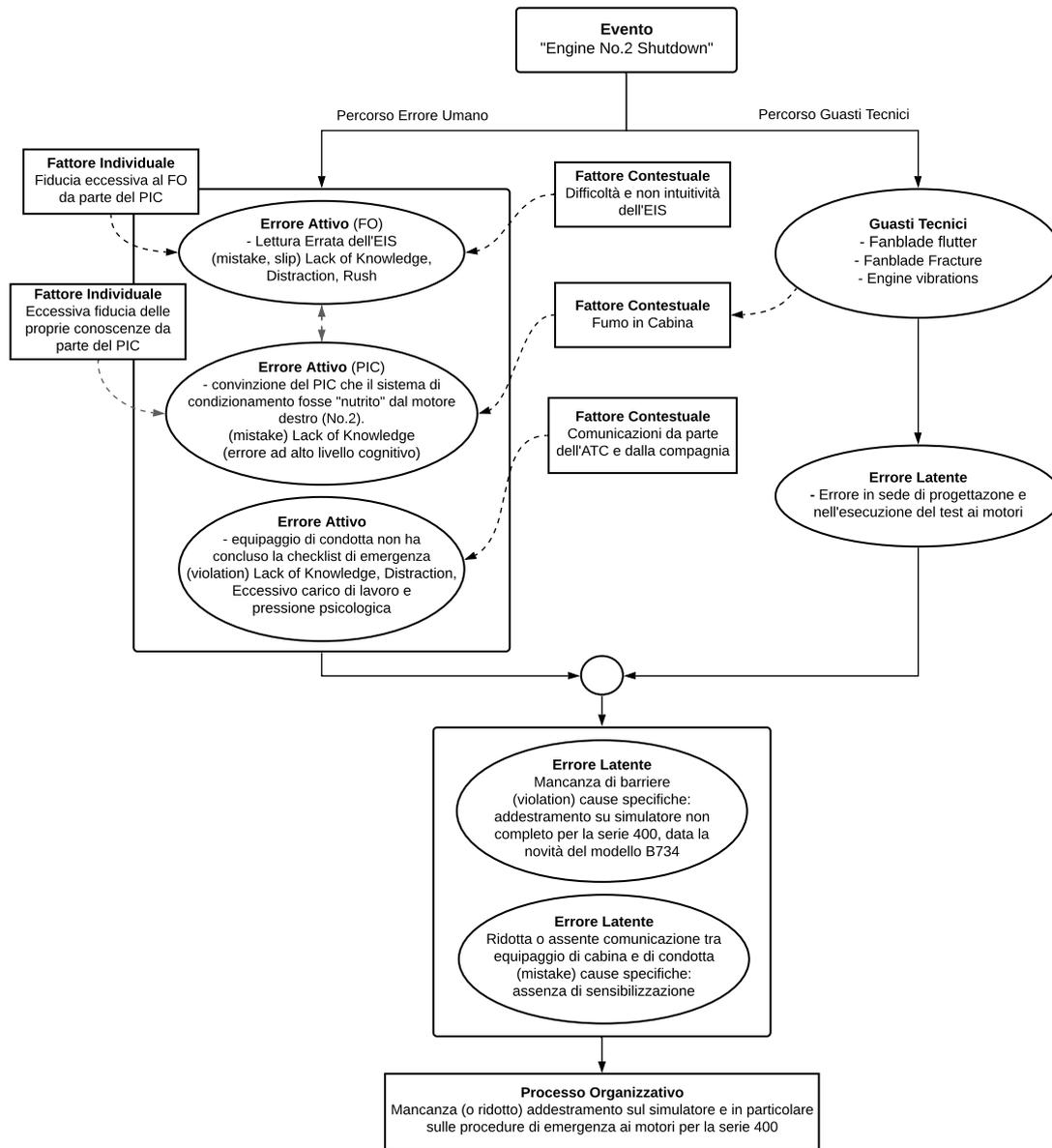


Figura 4.1: Analisi ISAAC

4.2.2 Analisi ADREP

La tassonomia ADREP, basata ampiamente sul modello SHELL, è stata introdotta nel dominio dell'aviazione per supportare la categorizzazione e catalogazione di eventi incidentali nei quali il contributo umano risulti essere molto importante, sia a livello di individui che organizzazioni.

La natura del modello SHELL, fa sì che in ADREP il comportamento umano sia visto nel suo complesso come risultato delle relazioni e dipendenze che esistono tra individuo e contesto socio-tecnico che lo circonda. Pertanto, offre un quadro formale per la strutturazione di legami tra errori umani e contesto in cui si sono verificati, anche in relazione ad altri errori commessi ad altri livelli dell'organizzazione stessa. Infine, è necessario sottolineare che la tassonomia ADREP è una struttura "viva", e in quanto tale viene costantemente aggiornata. A tal proposito, si noti che per

L'analisi proposta in questo rapporto si farà riferimento alle tabelle aggiornate al 29 Aprile 2013 reperibili a [questo link](#)¹.

Event	<i>Engine No.2 Shutdown</i>	
Event Type	3280000 Engine shutdown/flameout 3280200 Engine shutdown (hard)	
Phase	10000 Powered aircraft. 10405 Emergency descent en-route	
	Subject [Persons]	Modifiers
Descriptive Factor 1	11723000 Turbine engine compressor (ATA Code:7230) (7230 Compressor) 11723010 Compressor blade (Compressor blade)	2380 Fatigue fracture
Descriptive Factor 2	11770000 Engine indicating system (ATA Code:7700) 11773200 Engine vibration analyzer (ATA Code:7732) 12120100 Aircraft performance (Aircraft performance)	20 Abnormal 4700 Misleading 1440 Deteriorated
Explanatory Factor 2	300000000 Liveware (human) - hardware/software interface [20702 Aircraft manufacturing design staff] 301010000 Workplace equipment/workplace design liveware – hardware interface 301010100 Design or ergonomics liveware - hardware interface 301010104 Workplace instruments design unsuitable [10102 Co-pilot]	3290 Inadequate design 4700 Misleading
Descriptive Factor 3	12000000 Aircraft operation 12140000 Aircraft performance - control parameters (Aircraft performance - control parameters) 12140900 Engine out control 12250600 Flight crew's communication 12234500 Flight crew's use of emergency check list [10100 Flight crew]	1760 Erroneous 1760 Erroneous
Explanatory Factor 3	103030700 Psychological - false hypothesis 103060000 Human judgement factors 103060400 Other human judgement factors 105030500 Aircraft systems knowledge 105010203 Experience on aircraft type (Experience of aircraft type) [10100 Flight crew] 105020200 Recency on aircraft type (Recency on aircraft type) 401020000 Human interface-emergency and abnormal procedures (Human v abnormal procedure) 402050000 Human interface-emergency training (Human v emergency training) 501000000 The interface between humans in relation to communications (Human v communications) 501010300 The interface between humans in relation to air-ground communications (Human v air-ground communications) 503000000 The interface between humans in relation to supervision [10101 Pilot] 503010000 The interface between humans in relation to operational supervision 503030000 The interface between humans in relation to quality control	4700 Misleading 1760 Erroneous 5400 Not enforced 6860 Poor 1760 Erroneous 6860 Poor 4700 Misleading 4780 Missing 1760 Erroneous

Figura 4.2: Analisi ADREP

¹<https://www.icao.int/safety/airnavigation/aig/pages/adrep-taxonomies.aspx>

4.2.3 Analisi CREAM

La tassonomia CREAM (Cognitive Reliability and Error Analysis Method) è associata al modello COCOM ed è orientata alla classificazione degli errori umani, senza occuparsi di guasti tecnici o sistemici.

In questa tassonomia, una sequenza logica viene mantenuta tra le funzioni cognitive del modello COCOM, ovvero tra Osservazione, Interpretazione, Pianificazione ed Esecuzione, nel collegare le cause, gli effetti e le manifestazioni del comportamento umano, in un'interazione dinamica circolare. Questa caratteristica fondamentale di questo approccio consente lo sviluppo di una procedura formale con la quale la tassonomia ed il modello vengono applicati per la costruzione logica di sequenze processi decisionali che porta a manifestazioni di errori.

	<i>Cause Effetti</i>	<i>Tassonomia</i>	<i>Osservazioni</i>
E	Effetto Generico	Azione non corretta	<i>Il primo ufficiale spegne il motore destro (No.2)</i>
X	Effetto Specifico	Cattura cognitiva	<i>L'equipaggio è convinto di aver risolto il problema</i>
E	Causa Generica	Scelta errata di alternativa	<i>(\Rightarrow PIAN)</i>
	Causa Specifica		
	Causa Esterna	Comunicazione: distrazione	
	<i>Cause Effetti</i>	<i>Tassonomia</i>	<i>Osservazioni</i>
P	Effetto Generico	Scelta errata di alternativa	<i>Il Primo Ufficiale comunica al Comandante che il motore No.2 è quello che causa il problema</i>
	Effetto Specifico	Uso di criteri errati	<i>Il Comandante sceglie basandosi sulla sua conoscenza dei precedenti modelli di B737</i>
A	Causa Generica	Diagnosi errata	<i>(\Rightarrow INT)</i>
N	Causa Specifica	Cattivo giudizio	

	<i>Cause Effetti</i>	<i>Tassonomia</i>	<i>Osservazioni</i>
I	Effetto Generico	Diagnosi errata	<i>L'equipaggio non è in grado di riconoscere il problema</i>
	Effetto Specifico	<ul style="list-style-type: none"> • Ricostruzione non corretta(PIC) • Situazione non familiare 	<i>L'equipaggio non era a conoscenza delle modifiche apportate ad alcuni impianti nel B737-400</i>
T	Causa Generica	Incorretto riconoscimento di valore	(\Rightarrow OSS)
	Causa Specifica	<ul style="list-style-type: none"> • Conoscenza inadeguata • Carenza di addestramento • Sovra-generalizzazione / errore di deduzione 	

	<i>Cause Effetti</i>	<i>Tassonomia</i>	<i>Osservazioni</i>
O	Effetto Generico	Incorretto riconoscimento di valore	
	Effetto Specifico	Lettura errata del valore (FO)	<i>A causa del layout non intuitivo degli strumenti e del ridotto addestramento</i>
S	Causa Generica		
S	Causa Specifica	<ul style="list-style-type: none"> • Carenza di attenzione • Carenza di addestramento 	
	Causa Esterna	Ergonomia del sistema tecnico: interfacce	<i>Bassa visibilità degli indicatori degli strumenti</i>

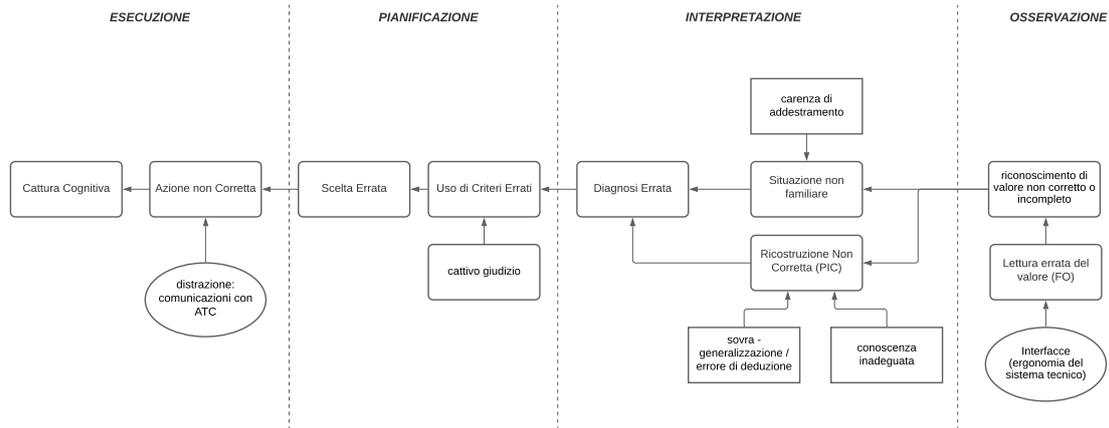


Figura 4.3: Schema CREAM

4.2.4 Livelli di Controllo - Processi Decisionali - COCOM

Può, inoltre, risultare utile considerare l'evoluzione dei processi cognitivi secondo COCOM: così facendo, è possibile individuare i livelli di controllo a cui si è trovato ad operare l'equipaggio.

Come prima cosa, si ricorda che il modello COCOM prevede quattro livelli di controllo:

- **strategico:** livello massimo di controllo, permette l'utilizzo di tutte le funzioni cognitive;
- **tattico:** basata sulla pianificazione;
- **opportunistico:** le azioni vengono scelte in tempo reale;
- **impulsivo:** quando la scelta dell'azione è completamente non correlata con la situazione in corso e risulta praticamente casuale.

Da un breve studio della ETL semplificata (Tabella 3.2) si ricava la Tabella 4.1 da cui si deduce che l'equipaggio ha principalmente operato a livello opportunistico, ovvero la situazione emergenziale è risultata a loro non del tutto familiare (indice di un ridotto addestramento), con la conseguente presa di decisioni "al momento".

Processi Decisionali Principali	Livelli di Controllo
Disinserimento Autopilota e Automanetta	Controllo Tattico
Riduzione Thrust Motore No.2	Controllo Opportunistico
Spegnimento Motore No.2	Controllo Opportunistico
Deviazione su East Midlands	Controllo Strategico
Tentativi di riavviare il Motore No.2	Controllo Opportunistico

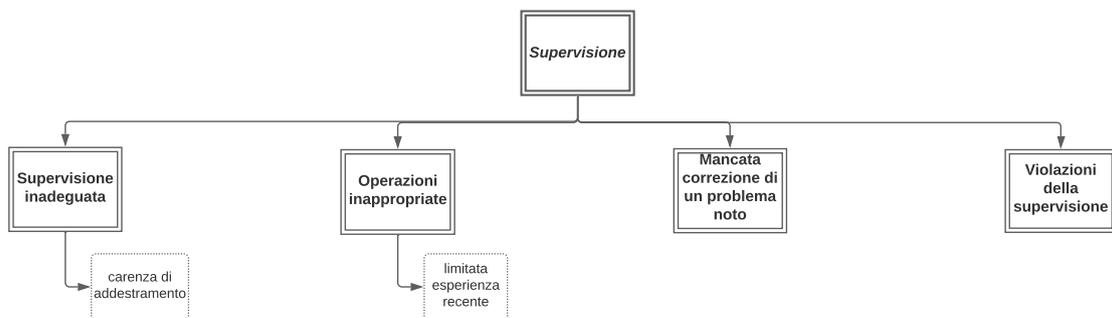
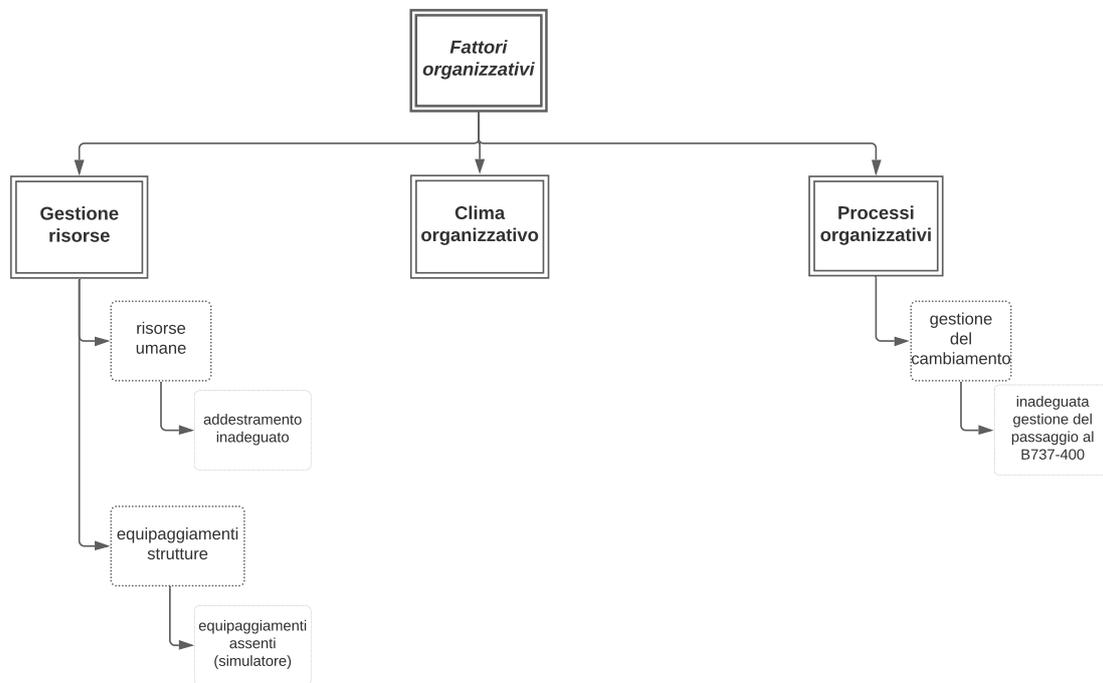
Tabella 4.1: Livelli di Controllo - Metodo COCOM

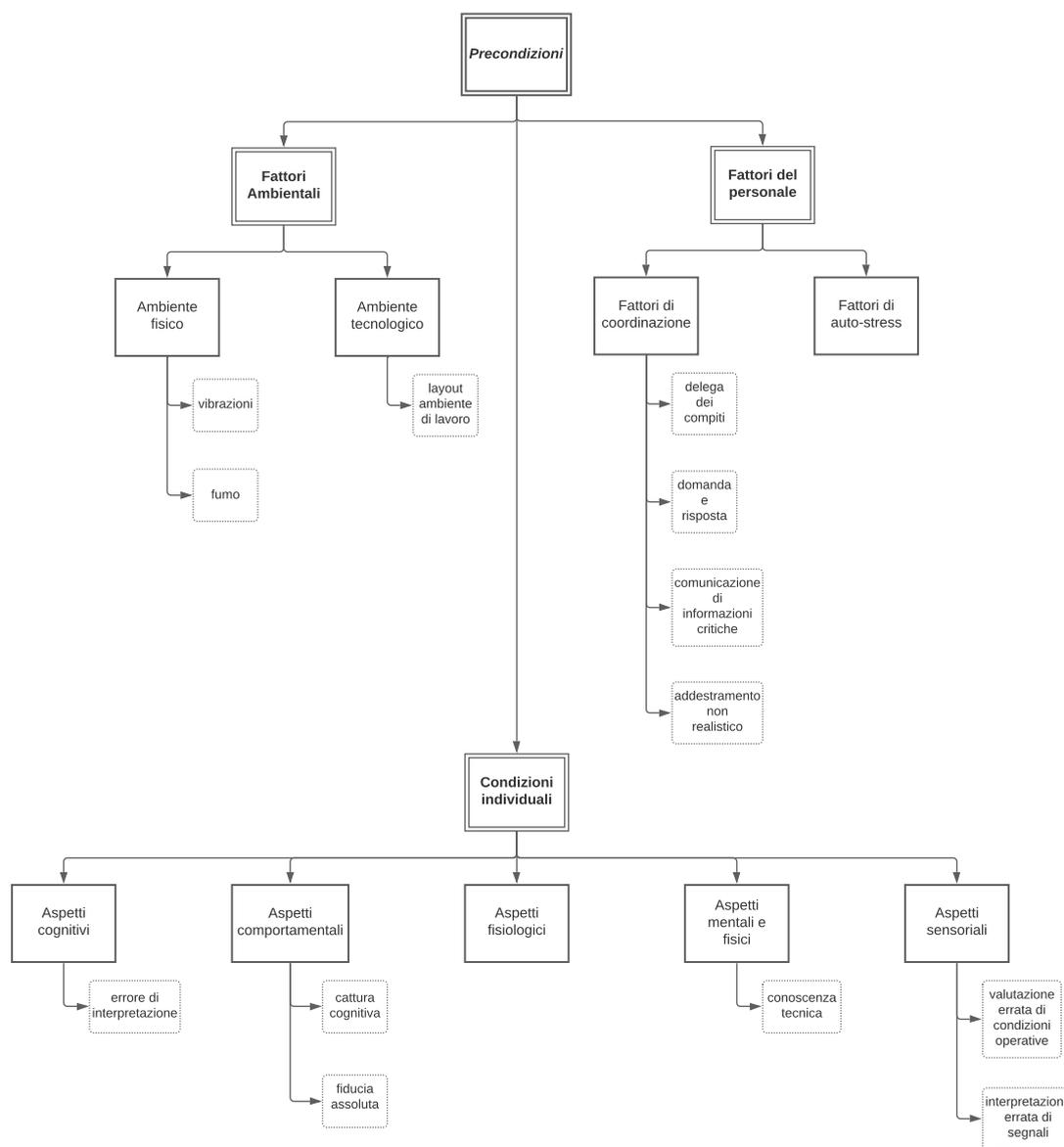
Si noti, inoltre, come la decisione di spegnere il motore sia stata intrapresa nella convinzione che il problema fosse al motore No.2 e la stessa procedura di spegnimento è stata interrotta dall'equipaggio numerose volte a causa delle comunicazioni

radio, possibilmente “decontestualizzando” lo spegnimento dei motori ad una “normale” operazione di emergenza a seguito di un problema al motore: come verrà discusso in seguito, l’equipaggio ha avuto la falsa concezione che tutte le situazioni che abbiano un comportamento anomalo del motore dovrebbero portare anche al suo spegnimento.

4.2.5 Analisi HFACS

La tassonomia Human Factor Analysis and Classification System (HFACS) si struttura su quattro livelli generali correlati da possibili elementi contributivi e descrittivi degli errori umani, che si riallacciano alla tassonomia e Modello Organizzativo degli errori umani di Reason. Nell’analisi retrospettiva, i quattro livelli generali vengono considerati in sequenza, partendo dalle manifestazioni degli errori, per poi risalire a possibili errori latenti e correlazioni a livelli più alti dell’organizzazione.





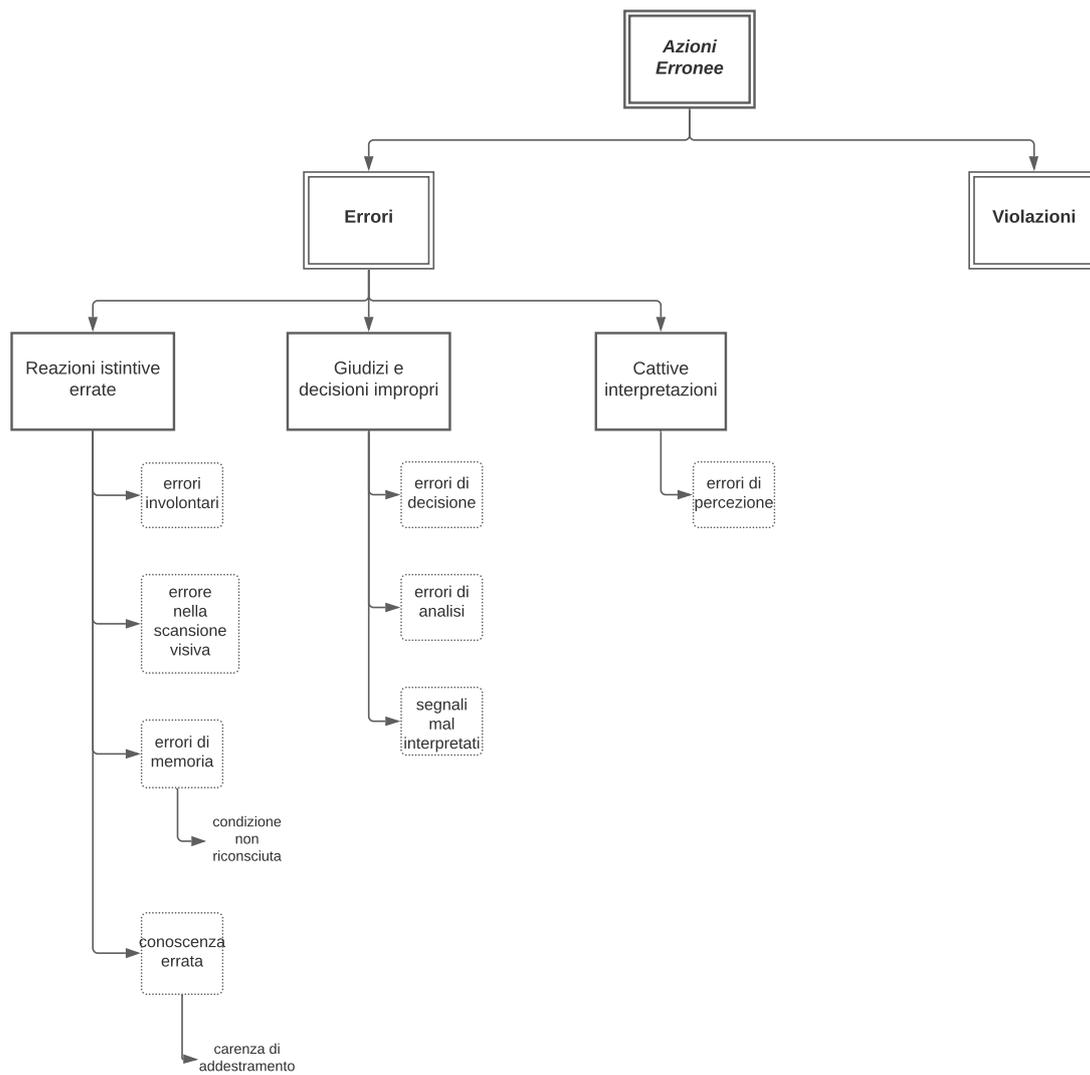


Figura 4.4: Analisi HFACS

4.3 evento 09 - “Engine Fire - Fire Warning on Engine No.1”

4.3.1 Analisi ADREP

Event	<i>Engine Fire – Fire Warning on Engine No.1</i>	
Event Type	1990000 Non-component specific events (Non-component specific events) 1990111 Fire (Fire) 1990118 Fire – Powerplant (Fire – Powerplant)	
Phase	10000 Powered aircraft 10602 Final approach. (Final approach)	
	Subject	Modifiers
Descriptive Factor 1	11260000 Fire protection system (ATA Code:2600) 11261000 Fire/smoke/overheat detection system (ATA Code:2610) 11261201 Powerplant fire detection system (Powerplant fire detection)	130 Activated
Explanatory Factor 1	103040000 Psychological-attention, perception and monitoring [10100 Flight crew] 103040100 Psychological-perception 103060000 Human judgement factors[10100 Flight crew] 103060400 Other human judgement factors 105030500 Aircraft systems knowledge 105010203 Experience on aircraft type (Experience of aircraft type) 401020000 Human interface-emergency and abnormal procedures (Human v abnormal procedure) 402050000 Human interface-emergency training (Human v emergency training) 503000000 The interface between humans in relation to standards 503030000 The interface between humans in relation to quality control	6860 Poor 1760 Erroneous 1760 Erroneous 5400 Not enforced 6860 Poor 4640 Mishandled 1760 Erroneous 5400 Not enforced 1760 Erroneous

Figura 4.5: Analisi ADREP

4.4 Analisi ARMS

ARMS risulta essere una delle metodologie più diffuse per l'analisi dei rischi in ambito operativo. Inizia dapprima con lo studio e la classificazione del rischio per ogni evento conosciuto attraverso occorrenze realmente accadute (ERC). Una volta individuato il rischio di ogni Evento/Occorrenza si cerca di individuare problematiche di sicurezza correnti e prevedibili; successivamente queste vengono meglio sviluppate durante il SIRA, il quale rappresenta l'analisi prospettica di valutazione dei rischi. Pur trattandosi di un Accident (e quindi di un evento grave già accaduto), viene comunque qui proposto un esempio di analisi retrospettivo-prospettica ERC-SIRA.

4.4.1 Analisi ERC

Data l'occorrenza "Incidente del volo British Midland 92", ogni evento dell'ETL dovrebbe essere classificato in termini di rischio e accettabilità. Tuttavia, per semplicità verrà illustrato il solo evento principale di questa occorrenza: "Engine No.2 Shutdown".

La metodologia ERC si basa quindi sulla risposta a due principali domande:

1. Se questo evento si fosse evoluto in un incidente o inconveniente grave, quale sarebbe stato il risultato più credibile?
2. Quale sarebbe potuta essere l'efficacia delle barriere restanti fra questo evento e l'ipotetico incidente più credibile?

Question 2 What was the effectiveness of the remaining barriers between this event and the most credible accident scenario?				Question 1 If this event had escalated into an accident outcome, what would have been the most credible outcome?		Typical accident scenarios
Effective	Limited	Minimal	Not effective			
50	102	502	2500	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
10	21	101	500	Major Accident	1 or 2 fatalities, multiple serious injuries, major damage to the aircraft	High speed taxiway collision, major turbulence injuries
2	4	20	100	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 4.6: Analisi ERC

Si noti che nell'analisi in Figura 4.6 la scelta del valore "Minimal" come risposta alla seconda domanda è dovuta dal fatto che l'equipaggio è stato interrotto durante lo svolgimento di una delle barriere², che avrebbero potuto individuare l'errore

²Come si è potuto leggere dalla trascrizione delle registrazioni del CVR l'equipaggio per un breve periodo ha discusso i sintomi che si erano verificati, ma senza ripercorrere completamente le azioni intraprese

commesso, da un evento casuale e non controllabile (le chiamate da parte dell'ATC).

4.4.2 Analisi SIRA (Revisited)

Dato il rischio stimato in 502 (zona rossa della matrice ERC), è prevista un'analisi immediata dell'occorrenza attraverso il processo denominato SIRA.

Si procede quindi individuando l'UOS (Undesirable Operational State) per poi terminare con il calcolo dell'accettabilità o meno della sequenza incidentale.

Si osservi che in questo caso viene adottata un'analisi SIRA rivisitata, che comprende anche lo studio di eventuali barriere consequenziali (per referenza si confronti [4]).

Inserendo dei valori ragionevoli per i parametri richiesti dall'analisi SIRA (ad esempio una frequenza del fallimento di un motore 1 volta ogni 1M di voli³) è stato possibile ottenere la classe di rischio "Secure". Si osserva, inoltre, che la frequenza di fallimento della barriere atte ad evitare l'UOS è stata scelta abbastanza elevata, infatti, basterebbe ridurla da 1/10 a 1/1000 per ottenere una classe di rischio "Acceptable"!

Difference with tolerability limit		Consequence
1,E-02		Accept
1,E-01		Monitor
1,E+00		Secure
1,E+01		Improve
1,E+02		Stop
Severità	Tolerability limit	Short definition
Catastrofico	1,E-09	1 fatality or more
Pericoloso	1,E-07	Serious injuries
Maggiore	1,E-05	Major injuries
Minore	1,E-03	Minor injuries
Trascurabile	1,E+00	Negligible

Figura 4.7: Legenda colori e valori SIRA

Ovvero, seppur la severità dell'Accident sia Catastrofica, il miglioramento e rafforzamento delle barriere consentirebbe di raggiungere un compromesso.

In conclusione, è interessante osservare come l'inserimento e la valutazione delle barriere atte al contenimento delle conseguenze "migliori" la classe di rischio. Infatti, utilizzando il SIRA originale e inserendo gli stessi parametri, la classe di rischio risulta "Improve", con la conseguente interruzione delle attività e la necessità di una investigazione approfondita.

³fonte: <https://www.cbsnews.com/news/jet-engine-failures-rare-usually-not-fatal/>

SIRA Revisited					
1	Safety Issue title: British Midlans flight 92, shutdown of wrong engine during emergency with one of the engines				
2	Define/scope the SI:				
	Description of Hazard(s) Pilot error causes loss of thrust from both engines				
	Description of Scenario During cruise one engine suffers from compressor stall / surges. Cabin fills with smoke, pilots wrongly respond shutting off the working engine. During descend the faulty engine runs low N1, but as soon as the plane levels out / commences approach, it is requires more power, N1 increases and further damages the engine, losing all thrust, thus crashing				
	A/C types B737-400 (ICAO: B734) (IATA: 734)				
	Locations East Midlands Airport (ICAO: EGNX) (IATA: EMA)				
	Time period under study 1990s				
	Other				
3	Analysis of potential Accident Scenario				
	3.1 Triggering event	3.2 Undesirable Operational State	3.3 Accident Outcome	3.4 Consequences Limitation	
	Engine Failure, high vibrations and smoke in cabin	Wrong Engine Shutdown	Loss of Control, Crash/Collision	Pure Luck	
4	Describe the barriers				
	4.1 To avoid the UOS	4.2 To recover situation before the Accident	4.3 To contain Accident consequences		
	Follow the right procedures/checklists, training in the simulator, studying more the characteristics of the aircraft. Captain should always keep a hand on the shutoff valve of the working engine to avoid shutting the wrong one. In the mean time by doing so it acknowledges the F/O to have understood the situation	When critical situation finishes review the choices done during emergency, follow the right checklists. Remember: Aviate, Navigate, Communicate. Don't be distracted by ATC communications if running through an important checklist	Prompt emergency staff response, passengers should be in brace position during impact. When evacuating (if applicable) passengers must leave all their belongings inside the aircraft and leave as soon as they can		
5	Risk Assessment				
	The estimated frequency of the triggering event (per flight sectors) is:	The barriers will fail in AVOIDING the UOS...	The barriers will fail in RECOVERING the situation before the ACCIDENT...	The barriers will fail in CONTAINING the consequences of the ACCIDENT	Accident severity
	About every 1M sectors	Once every 10 times	Once every 10 times	Once every 10 times	Catastrofico
	1,E-06	1,E-01	1,E-01	1,E-01	
		UOS frequency:			Mean Accident frequency:
		1,E-07			1,E-09
6	Result				
	6.1 Resulting risk class	Secure			
	Comments on actions:				

Figura 4.8: Analisi SIRA Revisited

5. Conclusioni

5.1 Cause dell'Incidente e Considerazioni Finali

L'aereo ha subito uno **stallo del compressore al motore No.1, a seguito della rottura di una fan blade**, che non ha causato immediatamente il guasto del motore sinistro, ma ha causato **forti vibrazioni e diffuso fumo attraverso il sistema di condizionamento dell'aria**. L'esperienza del capitano, maturata in velivoli precedenti, lo ha portato a convincersi che il fumo dovesse provenire dal motore destro (in quanto nei velivoli da lui pilotati precedentemente il sistema di condizionamento dell'aria era alimentato esclusivamente dal motore No.2).

Il comandante ha quindi scollegato rapidamente l'automanetta, portando il motore destro al minimo. Il disinserimento dell'automanetta ha consentito agli stalli del compressore di attenuarsi, **portando entrambi i piloti a credere di aver risolto il problema**.

Nessuno dei due ha individuato il vero problema dagli strumenti del motore e, poiché il motore era al minimo, è stata loro negata la possibilità di confrontare i due motori. L'equipaggio, inoltre, ha avuto diverse opportunità di discernere la situazione reale: dapprima con l'imbardata dell'aereo a causa della perdita di spinta e anche dopo aver rallentato il motore destro al minimo.

Durante l'avvicinamento finale all'atterraggio, il motore No.1 ha subito una forte perdita di spinta a causa del danno secondario al fan dopo che la potenza era stata aumentata, portando alla perdita del controllo del velivolo e allo schianto al suolo. [6][2]

5.2 Fattori Influenzanti

L'analisi dell'incidente ha quindi individuato i seguenti fattori come contributivi alla risposta errata dell'equipaggio di condotta [3]:

- La combinazione di forti vibrazioni del motore, rumore e l'odore di fumo associato, erano al di fuori della formazione ed esperienza dell'equipaggio;
- Hanno reagito al problema iniziale del motore prematuramente e in modo contrario alla loro formazione;
- Non hanno assimilato le indicazioni sul display dell'EIS prima di ridurre la manetta e spegnere il motore No.2;

- Il disinserimento dell'automanetta e la riduzione di potenza del motore No.2 hanno contribuito a ridurre il rumore e le vibrazioni associati al problema del motore No.1, facendo credere alla crew di aver correttamente identificato il motore difettoso;
- Non sono stati informati delle fiamme emesse dal motore No.1 osservate da molti a bordo, tra cui 3 assistenti di volo.

5.3 Analisi della Strumentazione

Da un'analisi più approfondita sull'EIS e l'interfaccia della strumentazione di bordo, si sono potuti evidenziare ulteriori fattori che probabilmente hanno influenzato negativamente il giudizio del Primo Ufficiale nell'identificare il motore danneggiato.

5.3.1 Confronto dei modelli di EIS

Un primo aspetto non poco importante è la (relativamente) poca esperienza dell'equipaggio di condotta sulla serie 400, la quale aveva subito diversi cambiamenti rispetto ai modelli precedenti, tra i quali i sistemi di interfaccia con l'equipaggio (Figura 5.1). Questo fattore, ha giocato un ruolo decisivo nella catena degli eventi: l'equipaggio, in quanto non familiare con il nuovo EIS a causa di un mancato addestramento al simulatore, ha mal interpretato le informazioni fornite dal velivolo facendogli spegnere il motore funzionante.



(a) Strumenti ibridi puntatore/contatore elettromeccanico



(b) Sistema elettronico a stato solido (EIS) (come quello montato su G-OBME)

Figura 5.1: Confronto strumenti utilizzati per la visualizzazione dei parametri del motore

In particolare, l'interfaccia dell'EIS mostra un indice delle vibrazioni sul motore tramite una "lancetta" verde digitale esterna al quadrante, come si può vedere nella Figura 5.2. Questa configurazione potrebbe aver degradato la capacità di lettura da parte dell'equipaggio, in quanto non del tutto familiare con la nuova grafica.

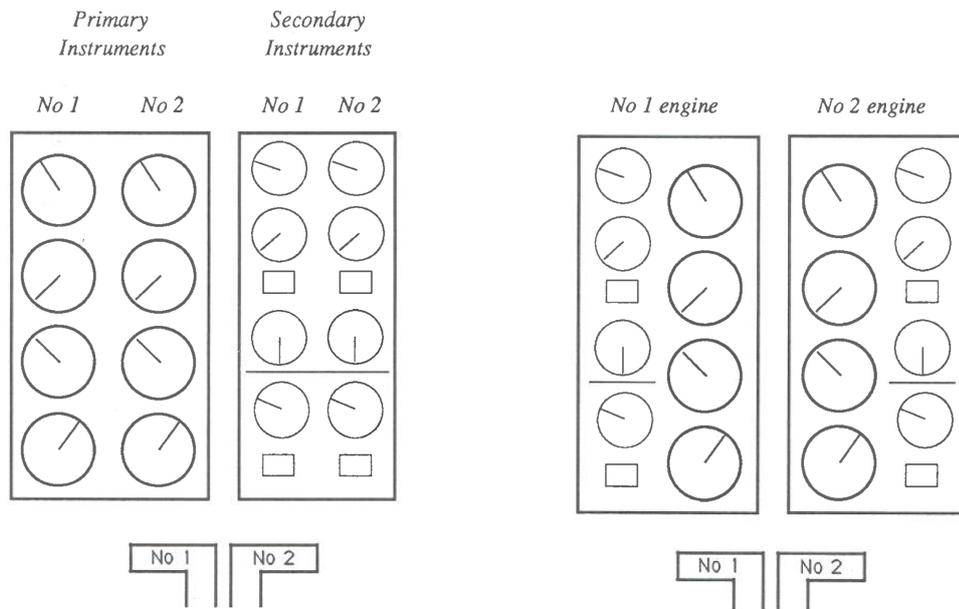


Figura 5.2: Esempio di EIS presente su G-OBME

5.3.2 Intuitività degli indicatori

Un ulteriore aspetto cruciale individuato dall'indagine sull'EIS è stata la non completa intuitività del sistema, soprattutto durante un'emergenza.

Dalle figure 5.3 risulta ben evidente come gli indicatori secondari dell'EIS montato su G-OBME siano disposti in linea d'aria con la manetta del secondo motore, con la possibilità (seppur remota se associata ad un opportuno addestramento) di scambiare i parametri letti con quelli del motore No.2.



(a) EIS presente su G-OBME

(b) EIS proposto

Figura 5.3: Confronto sull'intuitività della lettura per l'EIS. Vengono indicate, per contestualizzare il problema, le leve dei motori

5.4 Fattori culturali/organizzativi prevalenti

Il rapporto sull'incidente afferma, inoltre, che l'equipaggio di condotta non avesse assimilato le indicazioni su entrambi gli indicatori di vibrazione e conclude che ciò potrebbe essere stato il risultato della loro esperienza generale e dell'esperienza di altri equipaggi con gli indicatori di vibrazione di prima generazione, considerati imprecisi e con prestazioni inferiori. L'indagine ha concluso che se l'equipaggio avesse consultato l'indicatore sulle vibrazioni, il motore guasto sarebbe potuto essere correttamente identificato, evitando così lo schianto al suolo.

Inoltre, quando British Midland Airways ha preso in consegna il suo primo aeromobile dotato di EIS, è stato fornito un **corso di formazione di un giorno per evidenziare le differenze tra gli aeromobili dotati di EIS e quelli non dotati di tale equipaggiamento. Non era disponibile un simulatore di addestramento dotato di EIS di nuova generazione**, quindi l'indagine ha stabilito che la prima volta che un equipaggio di volo avrebbe visto indicazioni anomale su un EIS sarebbe stato in volo, su un aeromobile con un motore guasto.

Infine, il rapporto sull'incidente afferma che **le prestazioni di un equipaggio di condotta in una situazione di emergenza sono in gran parte un prodotto della loro formazione**. Nel simulatore, la maggior parte (se non tutti) i problemi del motore portano allo spegnimento del motore problematico. Ciò **rafforza nei piloti l'idea che tutte le situazioni in volo che coinvolgano un comportamento anomalo del motore dovrebbero portare allo spegnimento dello stesso**. L'indagine ha concluso che non era sorprendente che, poiché l'arresto di un motore era un evento normalmente addestrato e praticato, si sia proceduto allo spegnimento.

5.5 Incidenti con Eventi Simili

Si ritiene importante, ai fini del miglioramento complessivo della sicurezza aerea, il confronto di occorrenze con eventi accaduti molto simili.

In primo luogo, si è evidenziato che il **problema all'origine dell'incidente è stato il guasto del motore (CFM56-3C)**, causato dalla frattura delle pale del fan. Questa modalità di rottura ha portato al disastro aereo di Kegworth, discusso in questo report, ma anche a un volo della Dan-Air (Boeing 737-400, G-BNNL, 9 Giugno 1989) e a un altro della British Midland (Boeing 737-400, G-OBMG, 11 Giugno 1989); questi ultimi casi però, seppur con guasti alle pale in condizioni simili, non hanno provocato un incidente o lesioni: ciò evidenzia ulteriormente la criticità del ruolo giocato dal fattore umano nel volo British Midland 92.

Già da dopo il secondo incidente, la flotta B737-400 fu interdetta al volo, ma, meno di un mese dopo, venne autorizzata a riprendere le operazioni a patto di sostituire le pale del fan e il disco del fan e che venissero modificati i controlli elettronici del motore per ridurre la spinta massima del motore. Le pale del fan, riprogettate, sono state installate su tutti i motori CFM56-3C1 e CFM56-3B2. Si noti, inoltre, che all'epoca **non era obbligatorio testare in volo nuove varianti di motori**

esistenti e i test di certificazione non riuscirono a rivelare le modalità di vibrazione che il fan sperimentava durante le salite di potenza regolarmente eseguite in alta quota. L'analisi ha rivelato che quando il fan funzionava ad alto numero di giri era sottoposto a sollecitazioni a fatica peggiori del previsto e anche più gravi di quelle testate per la certificazione; queste maggiori sollecitazioni hanno causato la frattura delle palette. [7]

Nell'agosto 2016 il volo Southwest Airlines 3472 (Boeing 737-700, N766SW) ha subito un "uncontained engine failure" dovuta alla rottura di una fan blade, ma è atterrato poco dopo senza ulteriori incidenti. Sebbene l'aereo abbia subito danni sostanziali, non ci sono stati feriti.

Il 17 aprile 2018, il volo Southwest Airlines 1380 (Boeing 737-700, N772SW) ha sofferto una rottura alla base della fan blade numero 13: detriti partiti dal motore hanno perforato una finestra. Il Boeing 737-700 è atterrato in sicurezza, ma un passeggero è deceduto e otto sono rimasti feriti.

In secondo luogo, un ulteriore aspetto cruciale durante l'evoluzione dell'occorrenza è stata la **lettura fallace dell'indicatore di vibrazioni dell'EIS**. Questo aspetto, ovvero la lettura errata di uno strumento, non è affatto trascurabile: sono innumerevoli gli incidenti che hanno coinvolto almeno un errore di questo tipo, con conseguenze spesso tragiche. Per evidenti motivi non verranno qui riportati tutti gli incidenti, ma vale la pena citare ad esempio il Volo Crossair 498, nel quale una delle cause dell'incidente è stata l'errata interpretazione dell'indicatore di assetto (o orizzonte artificiale) da parte del comandante.

5.6 Raccomandazioni

A conclusione del report vengono riportate alcune delle raccomandazioni emanate a seguito dell'incidente del volo 92 della British Midland. Si sarebbe comunque potuto giungere a un risultato simile tramite un'analisi proattiva dei rischi con ERC-SIRA (Figure 4.6-4.8) e con il conseguente studio dell'efficacia delle barriere restanti e/o l'introduzione di nuove barriere atte a migliorare la sicurezza globale delle operazioni. Alcune delle raccomandazioni proposte sono [3]:

- Addestramento al simulatore obbligatorio, in particolare sulla strumentazione EIS di nuova generazione;
- Modifica dei display EIS del 737-400 affinché venga incluso un sistema per catturare l'attenzione sull'indicatore di vibrazioni che segnala un valore anomalo;
- Comunicazione e coordinamento tra equipaggio in cabina e piloti fortemente consigliato in caso di emergenze;
- Riprogettazione e miglioramento dei motori CFM56-3C.

Inserendo quindi opportuni valori di probabilità (ottenuti da giudizi di esperti) nella tabella SIRA si potrebbe ottenere una stima della sicurezza complessiva e, fin tanto che la classe di rischio non risulti accettabile, sarà necessario monitorare e/o individuare ulteriori strategie per migliorare la sicurezza del trasporto aereo.

5.7 Immagini della scena dell'incidente



Figura 5.4: Posizione finale dell'aeromobile



Figura 5.5: Soccorritori sulla scena dell'incidente



Figura 5.6: Posizione finale dell'aeromobile - Fonte: [8]

6. Fonti

Online Sources

- [1] Federal Aviation Administration. *Boeing 737-400 British Midland Flight 92, G-OBME*. URL: https://lessonslearned.faa.gov/ll_main.cfm?TabID=1&LLID=62&LLTypeID=0.
- [2] Laura Victoria Duque Arrubla. *Lessons learned from British Midland Flight 92, Boeing B-737-400*. URL: <https://livingsafelywithhumanerror.wordpress.com/2016/08/15/lessons-learned-from-british-midland-flight-92-boeing-b-737-400-january-8-1989/>.
- [3] *B734, vicinity East Midlands UK, 1989*. URL: https://www.skybrary.aero/index.php/B734,_vicinity_East_Midlands_UK,_1989#Investigation.
- [6] Aviation Safety Net. *aviation-safety.net*. URL: <https://aviation-safety.net/database/record.php?id=19890108-0>.
- [7] Wikipedia. *CFM International CFM56*. 2021. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/CFM_International_CFM56#Fan_blade_failue.
- [8] Wikipedia. *Volo British Midland 92*. 2021. URL: https://it.wikipedia.org/wiki/Volo_British_Midland_92.

Book Sources

- [4] Ivan Rizzolo Carlo Cacciabue Italo Oddone. *Sicurezza del Trasporto Aereo*. Seconda Edizione. Springer, 2019. ISBN: 978-88-470-3988-9.

Report

- [5] D. A. Cooper. *Report No: 4/1990. Report on the accident to Boeing 737-400, G-OBME, near Kegworth, Leicestershire on 8 January 1989*. Air Accident Report. Air Accidents Investigation Branch Department Of Transport, 1990. URL: <https://www.gov.uk/aaib-reports/4-1990-boeing-737-400-g-obme-8-january-1989>.