

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Aerospaziale

Tesi di Laurea Magistrale

Applicabilità di FRAM per l'analisi di incidenti e confronto dei risultati ottenuti tramite HFACS



**Politecnico
di Torino**

Relatore

Prof. Paolo Maggiore

Co-relatore

Ing. Marco Gajetti

Magg. Antonio Schifano AMI 60° Stormo di Guidonia

Magg. Antonio Schifano

Candidato

Marcello Arizzi

270125

Ottobre 2023

EXECUTIVE SUMMARY

Il lavoro di tesi svolto si concentra su uno dei requisiti più importanti, se non il primo, dell'aviazione: l'evoluzione della sicurezza del volo. Tale argomento merita uno studio più approfondito in quanto è uno dei quattro obiettivi cardine della Commissione Europea per l'aeronautica del domani: migliore efficienza, maggiore sicurezza, minor impatto ambientale ed ottimizzazione dei costi.

La gestione e la valutazione del rischio non sono concetti che si applicano esclusivamente all'aviazione civile, ma riguardano anche quella militare. I grandi passi avanti compiuti dal volo commerciale nel tema della sicurezza vengono riconosciuti ed acquisiti anche nel campo delle forze armate di ciascun paese. Infatti, in questa tesi, vengono analizzati tre casi di incidenti (o mancati incidenti) con elemento comune il C130-J, un velivolo militare della Lockheed Martin, denominato "Super" – Hercules. L'analisi è stata effettuata con l'ausilio di FRAM (Functional Resonance Analysis Method) in quanto strumento con meccanismi concordi alla filosofia Safety-II e che non limita il fattore umano all'errore, ma lo esamina come una variabilità.

I risultati delle analisi sono stati comparati con quelli ottenuti attraverso il metodo attualmente utilizzato in caso d'incidente, ovvero HFACS. In questo modo, si possono approfondire i punti di forza dei due metodi e, eventualmente, poter sviluppare un nuovo strumento di analisi per la valutazione e la gestione del rischio.

Occorre precisare che i risultati di un'analisi possono essere influenzati dalla soggettività e dall'esperienza (quindi anche dall'inesperienza) di chi esamina i casi d'incidente. Per cui è necessario specificare che l'obiettivo della tesi non è vedere "chi ha ragione" e "chi ha torto", ma è trovare un punto di accordo tra HFACS e FRAM che sia lo starter di una nuova concezione di sicurezza del volo.

EXECUTIVE SUMMARY (English version)

The thesis work focuses on one of the most important, if not the first, requirements of aviation: the evolution of flight safety. This topic deserves a more detailed study as it is one of the four key objectives of the European Commission for the aeronautics of tomorrow: better efficiency, greater safety, less environmental impact and cost optimization.

Risk management and risk assessment are not concepts that apply exclusively to civil aviation, but also to military field. The great advances made by the civil environment in the topic of security are also recognized and acquired in the field of the armed forces of each country. In fact, in this thesis, three cases of accidents (or missed accidents) are analyzed with common element the C130-J, a Lockheed Martin military aircraft, called "Super" Hercules. The analysis is carried out with the help of FRAM (Functional Resonance Analysis Method) as a tool with mechanisms in accordance with the Safety-II philosophy and that does not limit the human factor to error but examines it as a variability.

The results of the analyses were compared with those obtained by conventional methods used in accident cases, namely HFACS. In this way, the strengths of the two methods can be deepened and, if necessary, a new analysis tool for risk assessment and management can be developed.

It should be pointed out that the results of an analysis can be influenced by the subjectivity and experience (therefore also by the inexperience) of the examiner of accident cases. So, it is necessary to specify that the aim of the thesis is not to see “who is right” and “who is wrong”, but to find a point of agreement between HFACS and FRAM that is the starter of a new concept of flight safety.

INDICE

1.	Introduzione ai metodi di analisi di un incidente.....	1
1.1	Cos'è un sistema socio-tecnico e la sua gestione del rischio	4
1.2	Il trasporto aereo come “sistema di sistemi” socio-tecnici.....	6
1.3	Dal concetto di Safety-II a FRAM	7
1.4	Principali differenze tra FRAM e HFACS.....	9
2.	Caso aeroporto di Lajes (LPLA).....	11
2.1	Descrizione dell'evento	11
2.2	Modello LCI	12
2.3	Modello LCF	15
2.4	Identificazione delle variabilità	17
2.5	Gestione delle variabilità	20
2.6	Confronto risultati FRAM con HFACS.....	24
3.	Caso aeroporto di Gander (CYQX)	27
3.1	Descrizione dell'evento	27
3.2	Modello LCI	28
3.3	Modello LCF	30
3.4	Identificazione delle variabilità	32
3.5	Gestione delle variabilità	34
3.6	Confronto risultati FRAM con HFACS.....	38
4.	Caso aeroporto di Linate (LIML)	42
4.1	Descrizione dell'evento	42
4.2	Modello LCI	43
4.3	Modello LCF	45
4.4	Identificazione delle variabilità	47
4.5	Gestione delle variabilità	49
4.6	Confronto risultati FRAM con HFACS.....	51
5.	Conclusioni	54
	Appendice A.....	56
	Appendice B.....	57
	Appendice C.....	60
	Appendice D.....	62
	Appendice E.....	64

FONTI.....65

Ringraziamenti67

1. Introduzione ai metodi di analisi di un incidente

L'ICAO (International Civil Aviation Organization) nell'Annesso 19 – Safety Management definisce la sicurezza come:

“Lo stato in cui i rischi associati alle attività aeronautiche, correlate o direttamente a supporto delle operazioni di aeromobili, sono ridotti e controllati ad un livello accettabile.”¹

Tale definizione è alla base una richiesta crescente di miglioramenti nell'ambito della sicurezza dovuta ad una costante espansione dell'industria aeronautica. Difatti, l'evoluzione dell'aviazione civile ha sempre posto particolare attenzione alla sicurezza del volo attraverso l'analisi degli incidenti o eventi indesiderati, come sancito dall'Annesso 13 dell'ICAO.

Agli albori del volo commerciale lo studio si concentrava prevalentemente sui guasti tecnologici con semplici relazioni lineari basati sull'accoppiamento causa-effetto. Il primo modello utilizzato per descrivere i sistemi tecnici è il Modello Domino (Heinrich 1931). Con il tempo, tale metodo è stato introdotto anche per analizzare altri fattori contribuenti all'inconveniente, tra cui quelli umano ed organizzativo. La conseguenza diretta di questa linea di pensiero era un concorso di colpe sugli individui e l'eliminazione del tassello che porta alla “caduta del domino”, nonché della causa diretta dell'incidente.

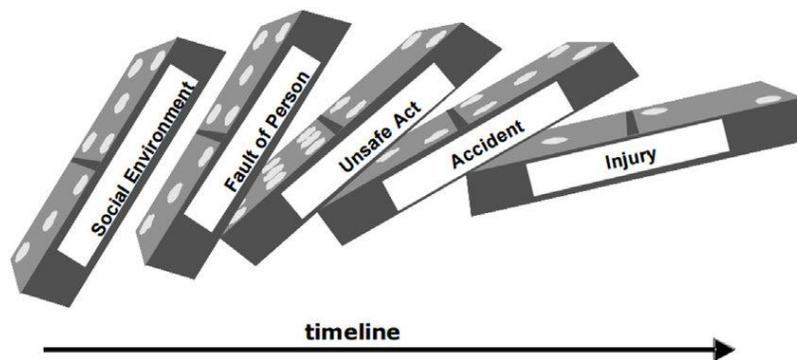


Figura 1 Modello Domino di Heinrich ²

Il ragionamento dietro il Modello Domino di Heinrich segue la filosofia per cui gli esiti avversi di un sistema possono essere descritti esclusivamente attraverso le cause e la soluzione per avere un ambiente più sicuro è di eliminare o contenere i malfunzionamenti. Tale concetto descrive la Safety-I che misura l'affidabilità dei sistemi in base al numero di manifestazioni indesiderate in un dato periodo di tempo: quanto più l'indice è basso, tanto più alto è il livello di sicurezza.

L'evoluzione dell'aviazione civile a metà degli anni '70 ed il progresso tecnologico hanno generato ambienti socio-tecnici sempre più complessi e di difficile comprensione, richiedendo meccanismi di Safety-I più potenti. Il modello più influente è lo Swiss Cheese Model di James Reason, utilizzato tutt'oggi per spiegare come gli inconvenienti siano il risultato di una combinazione di errori umani e condizioni latenti. Tale metodo ricerca le cause di un incidente in una serie di fallimenti avvenuti secondo un ordine specifico conducendo all'evento stesso. Per cui, dal fattore umano causante l' “unsafe act” si possono ripercorrere a ritroso tutte le

¹ ICAO, *Draft Glossary of terms*, p. 8

² Fu Gui, Xie Xuecai, Jia Qingsong, Li Zonghan, Chen Ping, Ge Ying, *The development history of accident causation models in the past 100years: 24Model, a more modern accident causation model*, 2019

violazioni commesse e le precondizioni inappropriate con il fine di inserire delle barriere correttive e di mitigazione dei rischi.

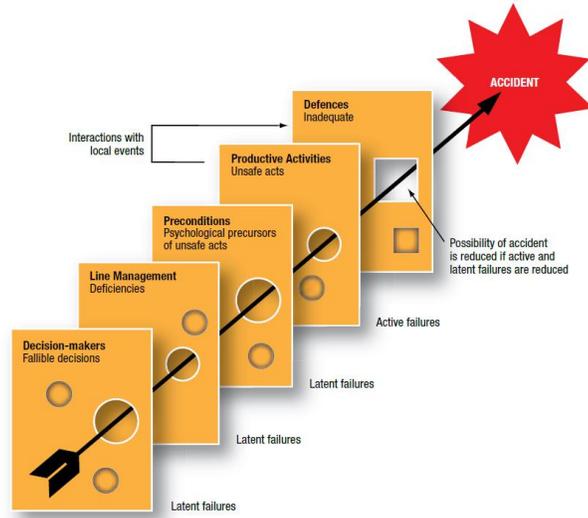


Figura 2 Modello Swiss Cheese ³

La teoria dietro lo Swiss Cheese Model è concomitante alla Safety-I. Difatti, i presupposti del concetto sono la scomponibilità dei sistemi in componenti indipendenti (similmente ad una componente tecnologica) ed il funzionamento bimodale: le cose o vanno bene o vanno male.

L'applicabilità dello Swiss Cheese all'aviazione è stata conciliata dallo sviluppo del modello SHELL da parte di Edwards (1972) e di Hawkins (1984). Come indicato dalla circolare ICAO 240-AN/144, è necessario investigare e classificare i fattori umani coinvolti in un incidente. Per questo, si propone una prospettiva sul sistema in cui l'individuo (Liveware) è interfacciato con quattro ambienti: umano (Liveware), tecnologico (Hardware), organizzativo e di supporto (Software) ed ambientale (Environment).



Figura 3 Modello SHELL ⁴

³ Tratto da *Maintenance in Focus*, Flight Comment, Issue 1 – 2012

⁴ Tratto da ICAO, *HUMAN FACTORS DIGEST No. 7 INVESTIGATION OF HUMAN FACTORS IN ACCIDENTS AND INCIDENTS*, 1993

In questo caso, i componenti del sistema con le relative interfacce sono descritti come:

- **Liveware (individuale).** L'epicentro del modello è l'individuo con i suoi stati fisici, fisiologici, psicologici e psicosociali.
- **Liveware – Liveware.** Rappresenta l'interazione tra l'individuo ed il personale presente sul posto di lavoro.
- **Liveware – Hardware.** Rappresenta l'interfaccia uomo – macchina che si presenta all'individuo.
- **Liveware – Software.** Rappresenta l'interazione presente tra l'individuo e qualsiasi sistema di organizzazione e di supporto, tra cui, ad esempio, informazioni su procedure, manuali e carte.
- **Liveware – Environment.** Rappresenta l'interazione tra l'individuo e l'ambiente esterno sia in senso fisico, come il clima/meteo, che postazione di lavoro.

Tale scomposizione fornisce la tassonomia SHELL che va a classificare e descrivere i fattori umani trovati nell'analisi dell'evento.

Lo sviluppo e l'utilizzo del modello SHELL hanno evidenziato l'importanza della classificazione del fattore umano: la standardizzazione dell'approccio all'analisi degli incidenti. Questo a vantaggio dei ricercatori internazionali degli enti di sicurezza del volo che si adoperano alla pianificazione di strategie per la prevenzione e la valutazione dei rischi. Proprio per questo, il Dipartimento della Difesa degli USA ha lavorato (e lavora tutt'oggi) all'evoluzione di SHELL: il modello HFACS (Human Factors Analysis and Classification System).

Sulla base del ragionamento di Reason si raccolgono e si analizzano tutte le prove per dedurre i fattori che hanno causato e determinato malfunzionamenti all'interno di un processo. Non si cercano esclusivamente i fallimenti attivi (atti e violazioni), ma anche i guasti latenti che contribuiscono agli eventi avversi: precondizioni, supervisione e organizzazione. Queste categorie racchiudono i nano-codici studiati per limitare la soggettività di chi applica il metodo al fine di descrivere nella maniera più imparziale e standard i fattori causali.

L'applicazione di HFACS ad un'analisi di incidenti segue quattro step:

1. **Determinare tutti i fattori contribuenti all'evento.** Si cercano le anomalie verificatesi che hanno portato alla manifestazione dell'incidente.
2. **Determinare la relazione tra ogni fattore causale.** Si correlano i fallimenti attivi o i contributi indiretti, nonché i fattori latenti che hanno influenzato l' "unsafe act".
3. **Assegnare i nano-codici HFACS per i fallimenti attivi e le cause latenti.** Quando tutti i guasti sono stati identificati, si categorizzano e si classificano sulla base della suddivisione proposta dal Dipartimento della Difesa.

L'assegnazione dei nano-codici è guidata dai quesiti presenti su ogni manuale fornito per l'applicazione di HFACS. Alcuni esempi di domande da porsi possono riguardare la commissione o l'omissione dell'individuo di una procedura e se questo è stato fatto in maniera consapevole o è stato un errore.

4. **Giustificare l'assegnazione dei nano-codici.** La figura incaricata dell'analisi dell'incidente deve spiegare in forma scritta la relazione tra i fattori ed i nano-codici assegnati per una pubblicazione più esaustiva e completa.

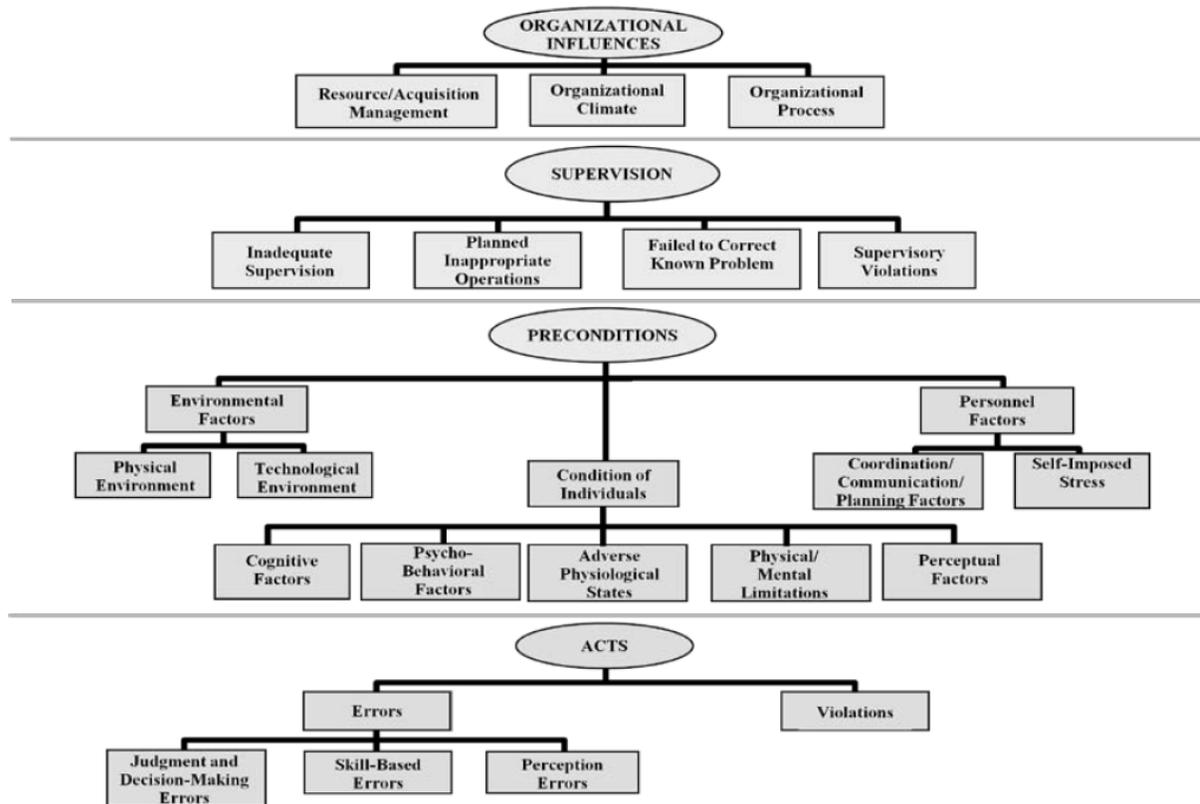


Figura 4 Modello HFACS⁵

I modelli appena descritti seguono la filosofia della Safety-I: la soluzione che si cerca contro le anomalie è più del tipo “trova e correggi”. Difatti, la Safety-I si occupa di analizzare esclusivamente i fallimenti che portano agli incidenti, nonostante questi siano in numero molto minore (nell’ordine di 10^{-4}) rispetto agli eventi “normali”. L’attenzione al malfunzionamento concorre ad ottenere risultati quanto più vicini al “Work-As-Image”, quindi allo svolgimento perfetto di una procedura ed alla eliminazione di qualsiasi forma di variabilità.

Tuttavia, il costante sviluppo dell’aviazione comporta sistemi sempre più intrecciati, accoppiati e complessi e che, spesso, non possono essere descritti in maniera esaustiva. Ancor più difficile potrebbe essere la comprensione approfondita di un incidente.

1.1 Cos’è un sistema socio-tecnico e la sua gestione del rischio

Il concetto di sistema socio-tecnico è sorto per la prima volta alla fine degli anni ’40, durante lo sforzo di ricostruzione post-bellica. Se prima degli anni ’50 gli ingegneri si occupavano esclusivamente di tecnologie adoperate a scopi specifici, nel 1951 iniziavano ad essere pubblicate le prime ricerche su come i sistemi sociali si comportavano all’interno delle organizzazioni che costituivano. Queste sono state progettate per soddisfare i requisiti dei

⁵ Tratto da USAF, *A MAPPING FROM THE HUMAN FACTORS ANALYSIS AND CLASSIFICATION SYSTEM (DOD-HFACS) TO THE DOMAINS OF HUMAN SYSTEMS INTEGRATION (HSI)*, 2009

sistemi tecnologici, traducendoli in sistemi di gestione: esempi ne sono fabbriche, miniere, centrali elettriche e via dicendo.

Gli obiettivi tecnici del sistema tendevano, quindi, ad avere la priorità sui bisogni sociali e sulle esigenze della forza lavoro che produceva e gestiva la tecnologia stessa. A metà degli anni '60, però, l'imperativo tecnologico nella progettazione cedeva il passo all'enfasi sui risultati positivi, sia economici che umani. Le discipline dei sociologi e dei tecnologi iniziavano ad interfacciarsi introducendo la teoria per cui la tecnologia non può avere il monopolio di unico fattore guida all'implementazione di nuovi processi e sistemi di lavoro, ma è necessario anche garantire un'alta qualità dell'ambiente per i dipendenti.

Un principio importante del sistema socio-tecnico era che il lavoro veniva definito come l'insieme di attività che costituivano il funzionamento del tutto. Allo stesso tempo, gli ingegneri sviluppavano l'idea della ridondanza delle parti al fine di migliorare l'affidabilità e, questo, ha introdotto il concetto di multi-qualificazione dell'individuo: si superava la filosofia del taylorismo per cui la produttività era direttamente correlata alla suddivisione dei compiti in base alle capacità dei dipendenti.

La nozione di sistema socio-tecnico è stata sviluppata per trovare la migliore corrispondenza tra le componenti tecnologiche e sociali dello stesso, evidenziando alcune interdipendenze sia interne che esterne. Questo equivale a dire che internamente i gruppi, seppur autoregolati, dipendono l'uno dall'altro per ottenere il risultato desiderato e, nel mentre, interagiscono anche con l'ambiente esterno. L'impresa vista come sistema socio-tecnico, quindi, è aperta alle forniture ed ai servizi di altre società e dei clienti, nonché alla cooperazione di aspetti tecnologici e sociali per raggiungere specifici obiettivi SMART (Specific, Measurable, Achievable, Relevant, Time bound). Ciò comporta un condizionamento a disturbi e perturbazioni che possono portare all'instabilità, definita dinamica e generalmente indicata come rischio per un'eventuale crisi.

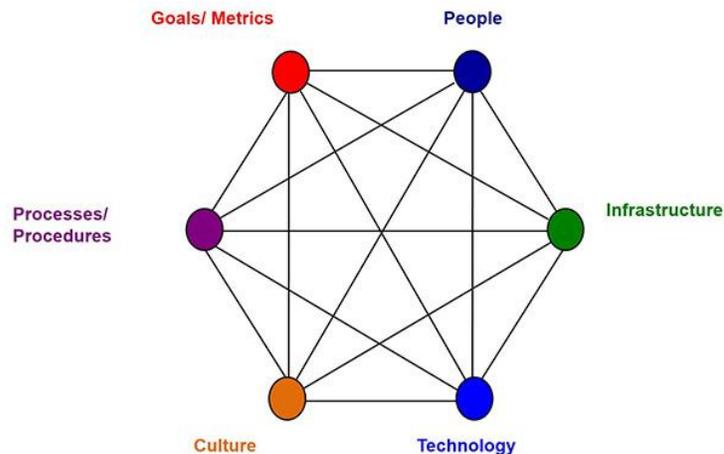


Figura 5 Componenti del sistema socio-tecnico ⁶

Il sistema socio-tecnico è una rete di elementi interconnessi che comprende, oltre che gli individui, la tecnologia, le procedure ed i dati, anche i difetti. Un errore del sistema è la differenza tra lo scopo dello stesso ed il risultato effettivo. Tale variazione deve

⁶ Tratto da <https://business.leeds.ac.uk/research-stc/doc/socio-technical-systems-theory>

concettualmente tendere allo zero attraverso la regolamentazione e la legislazione dell'impresa e della ridondanza.

La ridondanza è un concetto tecnico introdotto ai sistemi per migliorarne l'affidabilità ed è stata applicata anche al contesto sociale, quindi al multi-tasking dell'individuo e alla sua visione dell'insieme complesso.

La resilienza, invece, è un concetto sociale che si riferisce all'elasticità o all'adattabilità di un sistema socio-tecnico in modo che, ad un significativo disturbo oltre determinati parametri di progettazione di una prestazione, possa riadattare il raggiungimento dei suoi obiettivi o in alternativa fissarne di nuovi (riprogettazione). La resilienza è importante quando un'elevata affidabilità non è raggiungibile o non è auspicabile, prerogativa dei complessi sistemi socio-tecnici attuali.

1.2 Il trasporto aereo come “sistema di sistemi” socio-tecnici

L'aviazione, che si parli di trasporto civile o militare, è una rete socio-tecnica di sistemi comprensiva di aspetti tecnologici, umani e organizzativi. All'interno di questi sistemi esistono distinte connessioni operative che coinvolgono attività aeronautiche, manutenzione, gestione/controllo del traffico aereo e ciascuno di questi aspetti ha autonomia manageriale, essendo gestiti da società indipendenti o fornitori nazionali. Tuttavia, ognuno di essi è vincolato da una serie di principi operativi comuni e regolamenti internazionali per la progettazione e le prestazioni al fine di cooperare in un ambiente globale standardizzato.

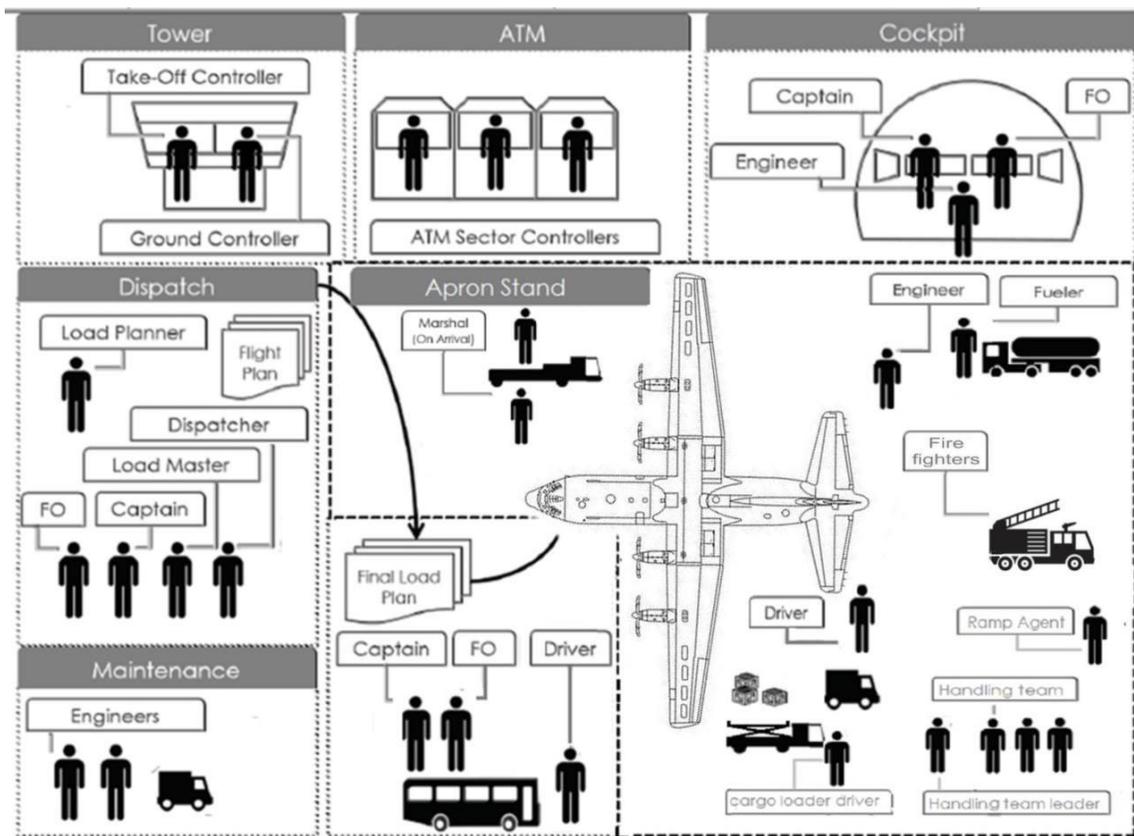


Figura 6 Aviazione come sistema di sistemi

L'aviazione è, dunque, un sistema di sistemi con alcune caratteristiche intrinseche:

- Indipendenza operativa degli elementi.
- Indipendenza gestionale degli elementi.
- Sviluppo evolutivo ed emergente.
- Distribuzione geografica degli elementi.

Tali peculiarità, rendono l'aviazione un esempio di "sistema di sistemi" socio-tecnici che comprende

- Fattori umani critici come la variabilità delle prestazioni individuali, l'addestramento, l'esperienza e lo stato psicofisico.
- I fattori organizzativi come le procedure, le comunicazioni, il carico di lavoro e la sicurezza.
- I fattori tecnici/infrastrutturali come la progettazione, le installazioni fisse, la manutenzione e l'automazione.

Tutti i componenti del complesso aviazione sono sistemi parzialmente aperti che devono interagire con l'ambiente esterno, ma hanno anche bisogno di confini per esistere. Le compagnie aeree commerciali, ad esempio, operano in una vasta gamma di aeroporti indipendenti e dislocati geograficamente, ma le attività manutentive o i servizi di movimentazione possono essere spesso affidati a terzi, così come la gestione ed il controllo del traffico sono forniti dagli enti locali o dei paesi sorvolati.

La complessità intrinseca delle operazioni aeronautiche è difficile da catturare nella sua interezza, poiché la natura sfaccettata delle diverse funzioni ha rivelato aspetti aggregati provenienti dalla cognizione distribuita nel tempo e nello spazio ed emergenti nei sistemi socio-tecnici complessi.

1.3 Dal concetto di Safety-II a FRAM

I presupposti della Safety-I, quali scomponibilità e bimodalità, comportano una suddivisione del sistema in componenti indipendenti rischiando di avere una precisione "illusoria". Tali premesse possono essere insufficienti per la gestione della sicurezza nei tempi moderni. In più, i sistemi socio-tecnici diventano sempre più complessi anche a causa delle richieste delle organizzazioni internazionali, come quelle della Commissione Europea: maggiore sicurezza, riduzione dell'impatto ambientale, aumento dell'efficienza e minimizzazione dei costi. Questi quattro obiettivi non possono essere contemplati indipendentemente: lavorare su uno incide pesantemente sugli altri tre.

Poiché, quindi, i sistemi non possono essere descritti completamente attraverso scomposizione e bimodalità delle prestazioni, è necessario assumere un certo grado di variabilità e passare dalla visione di "Work-As-Image" a "Work-As-Done" ("Lavoro-Come-Immaginato" LCI – "Lavoro-Come-Fatto" LCF). Si introduce il concetto di Safety-II.

Work as Imagined vs Work as Done



Copyright The Flow Consortium Iic and Nigel Thurlow 2017 onwards. All rights reserved. Confidential – Distribution, copying or commercial use prohibited without permission.

Figura 7 LCI vs LCF⁷

A differenza della filosofia Safety-I con cui si va a studiare esclusivamente “ciò che va male” e, quindi, quella percentuale relativamente bassa di eventi avversi, con la Safety-II si analizza anche “ciò che va bene”. Si introduce la variabilità nei sistemi come elemento imprescindibile e, dato che le componenti tecnologiche sono studiate per avere un livello di affidabilità definito, ci si concentra sull’aspetto sociale e sull’interfaccia uomo – mezzi di supporto. Con questa filosofia, il fattore umano assume tutt’altro significato in quanto non è più visto come qualcosa da limitare e da evitare, ma anche come punto di forza per limitare i rischi. La variabilità è onnipresente nelle prestazioni quotidiane e se la maggior parte delle volte un sistema funziona è perché il personale sul lavoro è flessibile e adattabile.

La Safety-II è alla base dell’ingegneria della resilienza che riconosce i risultati accettabili (e non) partendo da una base comune: gli aggiustamenti quotidiani delle prestazioni e l’adattabilità all’ambiente esterno, nonché la variabilità. I presupposti di tale concetto non escludono quanto approfondito dalla Safety-I: è fondamentale, infatti, una coesione delle due teorie per poter agire là dove si verificano incidenti ed osservare quali aggiustamenti vengono effettuati con maggior frequenza per avere esiti “normali”. In questo modo possono essere valutati i rischi più consoni ai complessi sistemi socio-tecnici odierni ed eventualmente applicare barriere di mitigazione per evitare malfunzionamenti.

Nel campo dell’aviazione è stata introdotta la teoria della risonanza funzionale e della modellazione secondo il metodo più appropriato in accordo con la Safety-II, ovvero il FRAM (Functional Resonance Analysis Method)⁸.

FRAM è lo strumento di analisi che propone una visione del sistema che non si origina dall’errore o dall’ “unsafe act”, ma compie un ulteriore passo in avanti analizzando le procedure esatte. Viene sviluppato un modello potenziale, nonché del “Lavoro-Come-Immaginato” (LCI), come una rete di funzioni.

⁷ Tratto da <https://nigelthurlow.com/the-agile-transformation-myth/>

⁸ Vedere Appendice B.

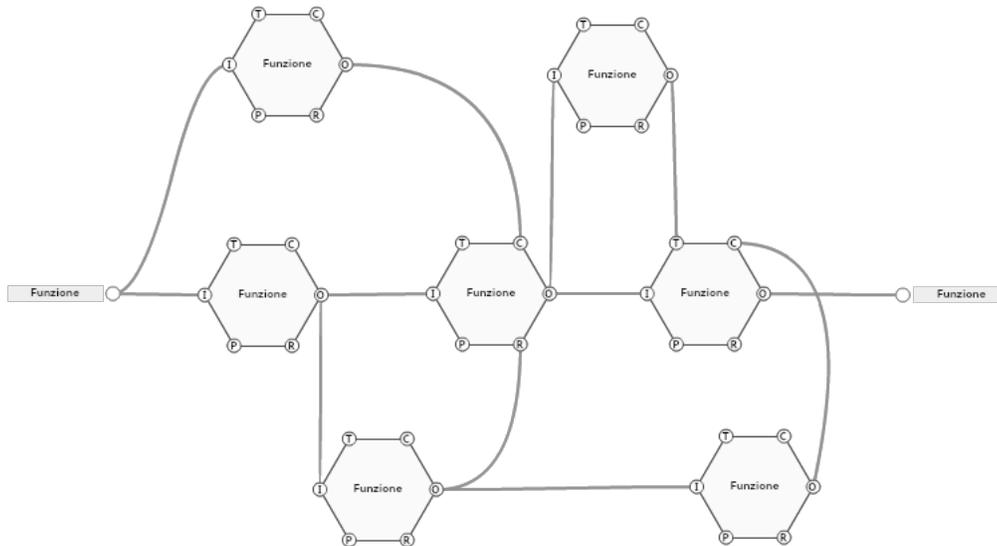


Figura 8 Esempio modellazione LCI in FRAM

Nel sistema FRAM gli incidenti sono considerati il risultato di una variabilità inadeguata delle prestazioni e non di guasti individuali o dei componenti singoli. Il modello attuale, nonché del “Lavoro-Come-Fatto” (LCF), evidenzia quei possibili adattamenti che possono presentarsi ripetutamente nel sistema. Infatti, possono essere sviluppati un numero pressoché infinito di modelli LCF e lo studio di un incidente, avvenuto o mancato, non è altro che uno scenario particolare. In questo senso, la sicurezza è un prodotto di strutture di mitigazione incorporate nel sistema socio-tecnico flessibile e adattivo.

1.4 Principali differenze tra FRAM e HFACS

Le principali differenze tra i metodi HFACS e FRAM sono riassunte nelle visioni della filosofia Safety-I e quella Safety-II.

In primo luogo, vi sono i concetti di manifestazioni risultanti, concerni ad HFACS, ed emergenti, in accordo con le basi di FRAM. Difatti, nello studio del sistema per la prevenzione degli incidenti, spesso non è facile capire quale sia il problema o vedere se effettivamente è presente, almeno non fino a quando non si è verificato l’evento stesso. I guasti sono, quindi, per lo più dovuti a combinazioni insolite di condizioni, che coinvolgono le caratteristiche scarsamente descritte dei sistemi e delle organizzazioni socio-tecniche. Mentre gli specialisti in fattori umani, ingegneria cognitiva o analisi del rischio possono ancora essere in grado di capire quali sono i problemi, questa comprensione potrebbe sfuggire ad altre persone, come, ad esempio, agli operatori di linea. Tuttavia, per la natura complessa dei sistemi, anche “ciò che non va come immaginato” può essere di difficile interpretazione, così come prevederne le conseguenze ed individuare i rischi significativi.

In secondo luogo, altra differenza riguarda quali eventi analizzare: se con HFACS si studiano solo gli incidenti, con FRAM ci si concentra anche su quelli mancati, quindi su tutte le prestazioni soggette a variabilità che, comunque, riportano esiti positivi/normali. Ovviamente, quest’ultimo ragionamento amplia l’analisi agli eventi che accadono con maggior frequenza. Si pensi che, sulla base della Safety-I, il metodo HFACS è utilizzato esclusivamente sugli

inconvenienti e si pensi che, solo in Italia, ci sono circa 250mila movimenti al mese di agosto per le categorie passeggeri e cargo con una media di circa 9mila viaggi al giorno.



Figura 9 Dati movimenti agosto 2023 ⁹

Ragionando sulla base che un incidente grave ha una probabilità di 10^{-9} sui voli totali (praticamente sono eventi fortunatamente inesistenti) e assumendo che la frequenza di un fenomeno con fallimenti minori sia di circa tre al giorno, si deduce che l'analisi HFACS si concentra esclusivamente sullo 0.03% del traffico. Tale stima approssimata evidenzia che gli eventi che si vorrebbero evitare possono verificarsi solo molto raramente o addirittura essere così insoliti da non ripetersi quasi mai.

Poiché, inoltre, l'eziologia di questi malfunzionamenti (la causa della malattia della condizione anormale) non è chiara, può essere molto difficile sia determinare quali conseguenze possono scatenare sia valutare la loro probabilità in forma quantitativa o qualitativa.

Infine, ogni volta che i rischi possono essere valutati, spesso la complessità delle cause rende arduo identificare contromisure semplici e robuste.

FRAM, invece, porta ad analizzare in primo luogo la procedura corretta di un'attività, quindi addirittura il "Lavoro-Come-Immaginato" dell'intero sistema. Monitorare i vari scenari che abbiamo o meno esiti negativi, evidenzia la natura e la frequenza delle variabilità presenti rendendo più facile ed immediato:

- a) Pianificare ciò che le persone dovrebbero fare, affinché il lavoro abbia successo, ovvero produrre i risultati desiderati.
- b) Gestire ciò che le persone fanno durante lo svolgimento del lavoro considerandone le reali condizioni di svolgimento ed analizzandone il risultato, in particolare le situazioni in cui questo è stato inaccettabile e/o inaspettato.

⁹ Dati estratti da <https://assaeroporti.com/statistiche/>

2. Caso aeroporto di Lajes (LPLA)

Per quanto concerne l'incidente che coinvolge il C130-J durante la fase di rullaggio, avvenuto nella base aerea di Lajes con codice identificativo ICAO LPLA in Portogallo, si devono esaminare la procedura corretta di avvio motori e di rullaggio e quali fattori significativi hanno contribuito alle variazioni delle performance che hanno portato all'evento. È necessario, dunque, prendere come riferimento i modelli potenziale, nonché “Lavoro-Come-Immaginato” (LCI), ed attuale, “Lavoro-Come-Fatto” (LCF): il primo descrive una situazione ritenuta ipoteticamente esatta, quindi secondo la procedura standard eseguita correttamente. Il modello LCF, invece, descrive la specifica situazione verificatasi in cui sono evidenziate le variazioni degli esiti di determinate funzioni, ovvero quelle che hanno portato all'incidente.

Per la descrizione delle funzioni identificate vedere Appendice C.

2.1 Descrizione dell'evento

La descrizione dell'evento è tratta dalla rivista “Sicurezza del Volo n. 279” a cura dell'Istituto Superiore per la Sicurezza del Volo dell'Aeronautica Militare Italiana (articolo “Anatomia di un incidente Aeromobile C130J”).

L'equipaggio del velivolo C130-J, composto da cinque persone (tre piloti e due responsabili di carico), si prepara ad una missione di addestramento per un volo con rotta oceanica da Lajes (LPLA) in Portogallo a PISA (LIRP) in Italia. A seguito del briefing pre-missione, i tre piloti ricevono informazioni sul traffico aereo dall'ufficio ARO locale, mentre i due load master (direttori di carico) iniziano il controllo pre-volo dell'aeromobile.

Alle 11:30 UTC l'equipaggio, completati i controlli pre-volo, chiede al Ground Control dell'Aeroporto l'autorizzazione alla messa in moto. Ottenuto il permesso ad avviare i motori, il Primo Ufficiale accende l'APU (Auxiliary Power Unit) e, contemporaneamente, senza esplicita richiesta e senza contattare l'equipaggio italiano, il marshall dell'USAF (United States Air Force) raggiunge lo stand e si accinge alla rimozione della GPU, ancora collegata al C130-J. Il marshall non provvede a rimuovere dallo stand la GPU disconnessa ed un estintore con ruote posto davanti al radome del velivolo.



Figura 10 Posizionamento estintore rispetto al C130-J¹⁰

¹⁰ Immagine tratta da Cap. Riccardo Nardin, *Anatomia di un incidente Aeromobile C130J*, Sicurezza del Volo n. 279, Istituto Superiore per la Sicurezza del Volo, Aeronautica Militare, 2010

Un check al sistema avionico del C130-J evidenzia un malfunzionamento e costringe l'equipaggio alla procedura di emergenza ed al riavvio dell'APU. Le condizioni meteorologiche si aggravano ed inizia a piovere. Il pilota inizia la procedura di messa in moto dei motori secondo la sequenza prevista e sotto la supervisione del load master, posizionatosi frontalmente rispetto al muso del C130-J. A causa dell'aumento della precipitazione, ormai temporale, il pilota suggerisce al load master di spostarsi sull'aereo e rimanendo sul bordo del portellone anteriore.

Alle 12:05 UTC, terminata la procedura di avvio dei motori, l'equipaggio riceve l'autorizzazione dalla Tower di rullare al punto di attesa per il decollo. Inizia il rullaggio del C130-J e l'equipaggio avverte una sensazione di sbandamento del carrello anteriore durante una virata per entrare nella taxiway designata. In primo luogo, si attribuisce tale fenomeno all'asfalto bagnato, ma la sbandata si ripete all'azionamento dei freni di stazionamento. Ottenuta l'autorizzazione per l'ingresso in pista, l'equipaggio nota che il velivolo non si muove all'aumentare della potenza dei motori. A quel punto, il pilota chiede al load master di scendere dal mezzo e verificare la presenza di anomalie ai freni. Il load master segnala la presenza di un estintore incastrato tra il ventre della fusoliera e le ruote del carrello principale.

Il pilota spegne i motori e contatta la Tower che allerta i mezzi di emergenza.

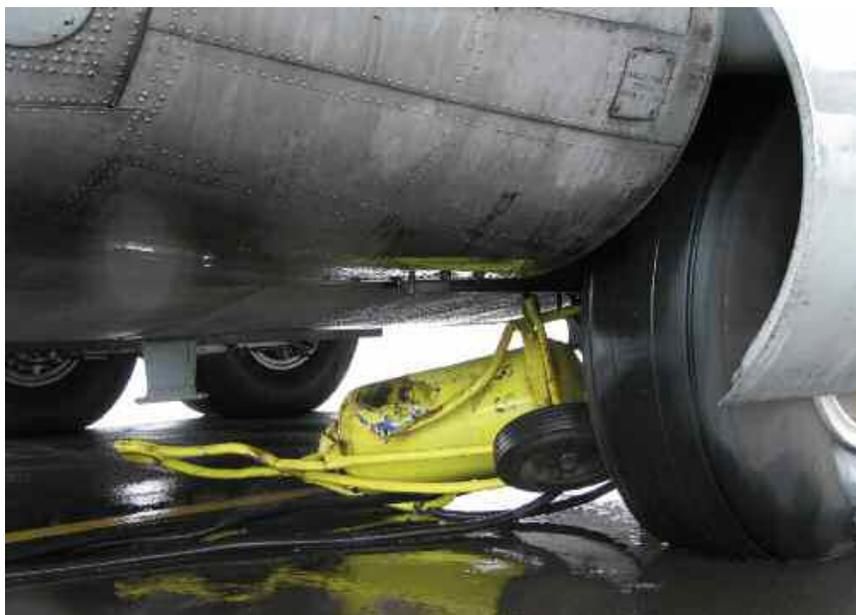


Figura 11 Estintore incastrato nel caso di Lajes (LPLA) ¹¹

2.2 Modello LCI

Il modello del “Lavoro-Come-Immagine” è composto da tredici funzioni, ciascuna dei quali descrive l'attività che deve svolgere il singolo operatore coinvolto, collegate tra loro in modo da evidenziare anche l'interdipendenza delle performance. Le funzioni di foreground, nonché quelle “principali”, sono svolte dall'equipaggio a bordo (Crew) secondo un flusso che procede

¹¹ Immagine tratta da Cap. Riccardo Nardin, *Anatomia di un incidente Aeromobile C130J, Sicurezza del Volo n. 279*, Istituto Superiore per la Sicurezza del Volo, Aeronautica Militare, 2010

dalla richiesta di messa in moto dei motori all'inizio del decollo. Le altre funzioni sono di background, risultando comunque essenziali al corretto svolgimento della procedura.

La prima funzione, con il ruolo di starter del modello, è attribuita all'equipaggio a bordo (Crew) del C130-J che richiede il permesso per la messa in moto dei motori al Ground Control dell'aeroporto (**C. 1. Request permission to start up**). La performance ha due output: il primo è l'emissione della richiesta stessa ed è connessa come input alla funzione svolta dal Ground Control (**GC. 1. Provide permission to start**), il quale accorda all'equipaggio la possibilità di avviare i motori. Il secondo output esprime la condizione di predisposizione all'avvio ("Ready to start"), input di due funzioni. La Crew avvia l'APU (Auxiliary Power Unit) (**C. 2. Start the APU**) con la preconditione che il Ground Control abbia dato il permesso alla messa in moto, mentre il Ground Marshall si appresta alla disconnessione della GPU (Ground Power Unit) ed alla rimozione dell'AGE (Airplane Ground Equipment), mantenendosi in comunicazione costante con il personale di bordo (**GM. 1. Remove AGE**).

La Crew, avviato l'APU, procede al controllo dei sistemi avionici (**C. 3. Check the avionics system**) e, verificato che siano funzionanti, passa alla messa in moto (**C. 4. Start motors**) secondo la sequenza descritta da procedura. Tale funzione è soggetta al controllo del Direttore di Carico (Load Master) che si posiziona di fronte al velivolo per supervisionare che non ci siano errori o inconvenienti durante la messa in moto (**LM. 1. Stand in front of the aircraft**). A motori avviati, il Load Master effettua un check dell'area di Handling del velivolo per verificare l'assenza di AGE e sale a bordo del velivolo (**LM. 2. Check handling area and get on board**). Con il Load Master a bordo, la Crew richiede alla Tower il permesso per iniziare il rullaggio al punto d'attesa (**C. 5. Requests permission to taxi**).

A questo punto, la Crew aspetta l'autorizzazione della Tower (**T. 1. Provide permission to taxi**), preconditione della funzione di rullaggio al punto attesa per l'ingresso in pista (**C. 6. Taxi to the runway entrance**) e, nel frattempo, il Ground Marshall lascia il piazzale del velivolo (**GM. 2. Go away**). La Crew aspetta l'autorizzazione al rullaggio, ottenuta una volta che il Ground Marshall lascia l'area dell'aeromobile con il AGE, ed inizia le procure per il decollo (**C. 7. Begin take off**).

Il modello LCI è schematizzato come segue:

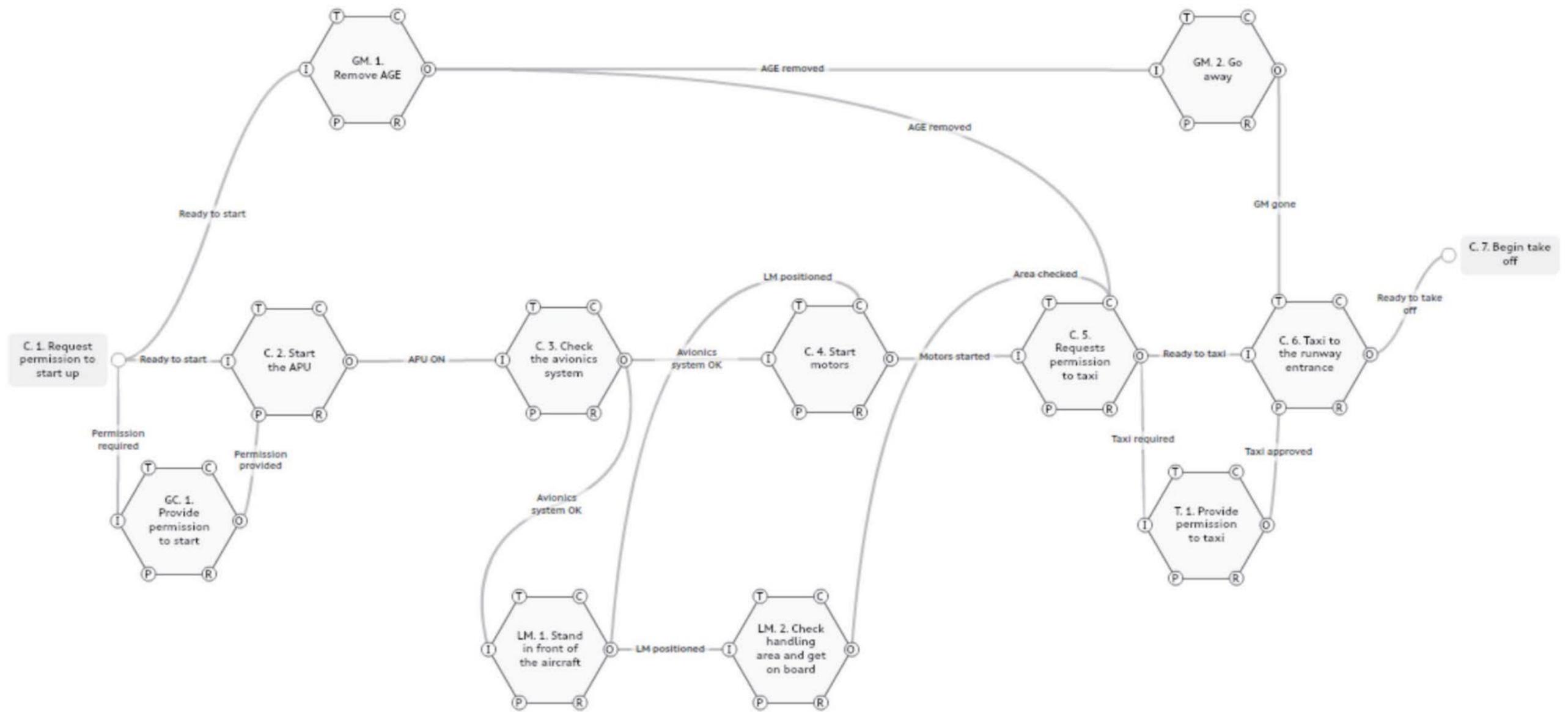


Figura 12 Modello LCI delle procedure di avvio motori e rullaggio al punto attesa

2.3 Modello LCF

Il modello del “Lavoro-Come-Fatto” differisce da quello LCI a causa delle variazioni di performance delle singole attività. In particolare, nel flusso delle funzioni dell’equipaggio di bordo (Crew) è presente una variabilità a seguito del controllo dei sistemi avionici non andato a buon fine (**C. 3. Check the avionics system**). È stato necessario ottemperare a tale variabilità con l’inserimento di un accoppiamento di funzioni non previsto: la Crew ha avviato la procedura di emergenza (riavvio dell’APU e controllo dei sistemi avionici), generando un collegamento diverso dal modello LCI (“Emergency procedure started”), indice della risoluzione del problema riscontrato.

Altre variabilità che hanno variato la prestazione attesa della Crew (come descritta nel modello LCI) derivano dalle funzioni di background. In primo luogo, l’output della funzione **GM. 1. Remove AGE** è incorretto, in quanto il Ground Marshall non ha visto e, dunque, non ha spostato in zona safe l’estintore presente nello stand che, in seguito al movimento dell’A/C, si è incastrato nella parte destra del carrello principale. Tale fattore si è propagato nelle funzioni **GM. 2. Go away** ed in particolare come termine di controllo nella **C. 5. Requests permission to taxi**, potenzialmente svolta una volta che tutto l’AGE viene rimosso. Per cui il collegamento “AGE removed” visibile nel modello è in pratica inesistente. Conseguentemente, la funzione **GM. 2. Go away** è avvenuta in maniera imprecisa.

Altra variabilità importante deriva dalle condizioni di lavoro del Load Master: la funzione **LM. 1. Stand in front of the aircraft** è stata svolta in maniera imprecisa a causa della forte precipitazione. L’output “LM positioned” incorretto ha propagato la variabilità influenzando relativamente poco sul controllo della messa in moto **C. 4. Start motors**, ma più incisivamente sulla funzione **LM. 2. Check handling area and get on board**, ripercuotendosi sul monitoraggio dell’area attorno al velivolo e sulla funzione **C. 5. Requests permission to taxi**.

Le funzioni **C. 6. Taxi to the runway entrance** e **C. 7. Begin take off** non sono state avviate poiché l’aeromobile si è fermato in apron e sono evidenziate dal colore nero.

Il modello LCF è schematizzato come segue:

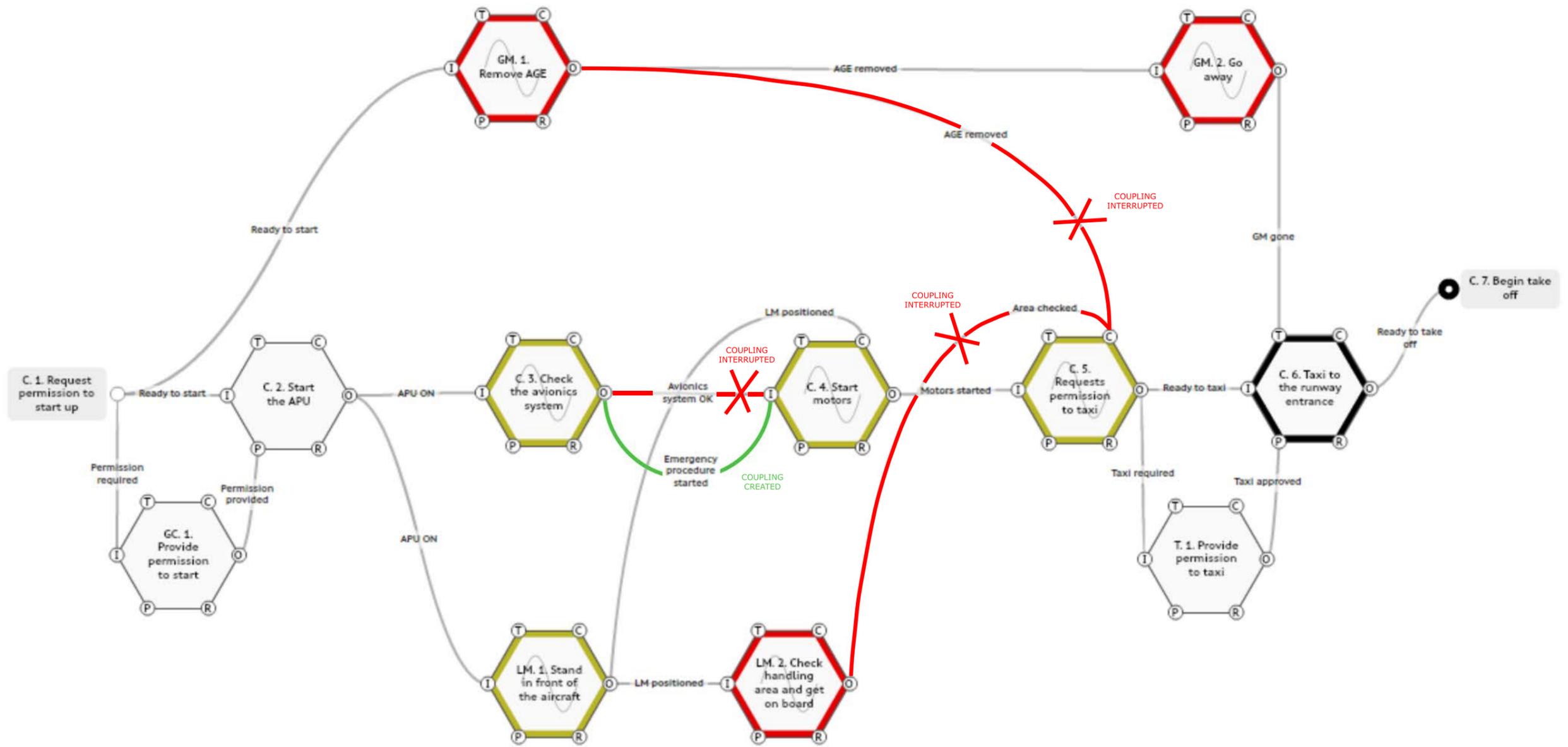


Figura 13 Modello LCF caso di LPLA

2.4 Identificazione delle variabilità

L'identificazione della variabilità esterna è descritta in termini di precisione e tempistica sull'output della funzione e sull'effetto dei risultati.

Le funzioni di rimozione del materiale AGE da parte del ground marshall ed il check sull'area di handling del load master sono state svolte in maniera imprecisa ed è aumentata la variabilità negativa del sistema. Inoltre, entrambe sono caratterizzate da una tempistica errata: la prima citata è avvenuta troppo presto, mentre la seconda è stata addirittura omessa.

Un aspetto interessante è l'accoppiamento generatosi dalla funzione **C. 3. Check the avionics system**. Una variabilità tecnologica ha condizionato l'output della prestazione sfociato in un malfunzionamento tecnico del sistema avionico del C130-J. Tuttavia, una variabilità umana al modello LCI ha permesso di ottenere uno smorzamento con il risultato "Emergency procedure started".

Tuttavia, l'adattamento non è riuscito a compensare un aumento di variabilità negativa eccessivo.

Function		Output	Time	Precision	
GM. 1. Remove AGE	M	AGE removed	Too Early	Imprecise	V+
GM. 2. Go away	M	GM gone	Too Early	Imprecise	V+
C. 3. Check the avionics system	T	Avionics system OK	On Time	Imprecise	V+
	M	Emergency procedure started	On Time	Precise	V-
C. 4. Start motors	M	Motors started	On Time	Acceptable	V=
C. 5. Requests permission to taxi	M	Ready to taxi	On Time	Acceptable	V=
LM. 1. Stand in front of the aircraft	M	LM positioned	On Time	Imprecise	V+
LM. 2. Check handling area and get on board	M	Area checked	Omission	Imprecise	V+

Tabella 1 Variabilità interna (LPLA)

A questo punto, è stata studiata la caratterizzazione della variabilità esterna attraverso le Common Performance Conditions (CPC) e la possibilità di avere deviazione dal modello LCI in base al loro grado di adeguatezza. Alcune funzioni possono essere caratterizzate da più condizioni comuni poiché il tipo di influenza a cui sono soggette può avere più origini.

La funzione **GM. 1. Remove AGE** è caratterizzata dalle CPC sulla qualità della comunicazione assente (quindi inadeguata e notificabile) in quanto il marshall non ha comunicato il distacco della GPU al resto dell'equipaggio, e sulla collaborazione in gruppo, poco rispettata dato che ha intrapreso azioni indipendenti dal resto del personale, risultate poi errate. Stesse condizioni

ed eguali ragionamenti sono stati pensati per la funzione **GM. 2. Go away**, mentre la performance della crew **C. 3. Check the avionics system** risulta inadeguata in termine di disponibilità delle risorse. Infatti, la mancanza di un sistema avionico funzionante ha portato ad una possibile variabilità notificabile, smorzata in seguito dalla disponibilità di metodi e procedure di emergenza quali il riavvio dell'APU e degli apparati.

Per la funzione **LM. 1. Stand in front of the aircraft**, la CPC che descrive la variabilità riguarda le condizioni di lavoro intese in senso fisico. La forte precipitazione, condizione possibile ed eventuale in molti scenari, ha obbligato il load master a ripararsi sul bordo del portellone anteriore del C130-J lasciando scoperta la posizione assegnata. Tale CPC coincide anche con la descrizione presente nella prestazione **LM. 2. Check handling area and get on board**, assieme alla segnalazione di un possibile sovraccarico di lavoro.

Infatti, nella preparazione di una missione con rotta oceanica, il personale è condizionato da un carico di lavoro più alto. La figura del load master, già di per sé satura di incarichi, è stata sottoposta ad un numero eccessivo di obiettivi in quanto ha dovuto provvedere anche al trasporto in safe zone della GPU.

Function	Common Conditions	Rating	Performance Variability
GM. 1. Remove AGE	Quality of communication	Inadequate	Noticeable
	Team collaboration quality	Inadequate	Noticeable
GM. 2. Go away	Quality of communication	Inadequate	Noticeable
	Team collaboration quality	Inadequate	Noticeable
C. 3. Check the avionics system	Availability of resources	Inadequate	Noticeable
	Availability of procedures and methods	Adequate	Small
C. 4. Start motors	Team collaboration quality	Adequate	Small
C. 5. Requests permission to taxi	Team collaboration quality	Adequate	Small
LM. 1. Stand in front of the aircraft	Conditions of work	Inadequate	Noticeable
LM. 2. Check handling area and get on board	Conditions of work	Inadequate	Noticeable
	Number of goals and conflict resolution	Inadequate	High

Tabella 2 Variabilità esterna e CPC (LPLA)

Una volta analizzata la variabilità esterna, si procede con lo studio della propagazione della stessa all'interno del sistema. In particolare, si esaminano gli effetti degli output delle funzioni con devianze sulle prestazioni accoppiate.

Ad esempio, la performance **GM. 1. Remove AGE** con variabilità imprecisa ed anticipata, ha più effetti sulle funzioni a valle ad essa collegata. L'output impreciso è input di **GM. 2. Go away**, per cui la conseguenza è la mancanza del segnale di avvio, nonché "AGE removed". Infatti, concentrandosi sull'evento, il marshall non ha rimosso il materiale presente nella zona di handling e, quindi, manca l'input corretto per allontanarsi dal C130-J. Altra conseguenza è l'assenza di controllo sulla funzione **C. 5. Requests permission to taxi**.

Analogo ragionamento vale per la funzione **LM. 2. Check handling area and get on board**. In questo caso, però, l'effetto propagato non si limita all'assenza di controllo, ma che un'altra forma di monitoraggio deve essere trovata. Questa descrizione è in linea con quanto accaduto nell'evento di Lajes (LPLA): il load master effettua un controllo aggiuntivo come "elemento ridondante" di sicurezza, ma è il ground marshall che, in primo luogo, deve verificare di assenza di materiale AGE nella handling area.

Altri effetti sono la perdita di accuratezza nello svolgimento della **LM. 1. Stand in front of aircraft** sulla **LM. 2. Check handling area and get on board**, l'aumento di variabilità per l'accoppiamento delle funzioni del ground marshall e della crew e la perdita di tempo a causa del malfunzionamento tecnico del sistema avionico.

Nota interessante è lo smorzamento dovuto all'accoppiamento generato "Emergency procedure started".

Function	Output	Variability		Downstream function		Effect	
GM. 1. Remove AGE	AGE removed	M	Too Early Imprecise	I	GM. 2. Go away	Input Possibly Missed	V+
				C	C. 5. Requests permission to taxi	Control input may be missed	V+
GM. 2. Go away	GM gone	M	Too Early Imprecise	T	C. 6. Taxi to the runway entrance	Increased variability	V+
C. 3. Check the avionics system	Avionics system OK	T	On Time Imprecise	I	C. 4. Start motors	Loss of Time	V+
	Emergency procedure started	M	On time Precise	I	C. 4. Start motors	Possible Dampening	V-
C. 4. Start motors	Motors started	M	On Time Acceptable	I	C. 5. Requests permission to taxi	No effect	V=
C. 5. Requests permission to taxi	Ready to taxi	M	On Time Acceptable	I	C. 6. Taxi to the runway entrance	No effect	V=
LM. 1. Stand in front of the aircraft	LM positioned	M	On Time Imprecise	I	LM. 2. Check handling area and get on board	Loss of Accuracy	V+
				C	C. 4. Start motors	No effect	V=
LM. 2. Check handling area and get on board	Area checked	M	Omission Imprecise	C	C. 5. Requests permission to taxi	Substitute control may be found	V+

Tabella 3 Variabilità agli accoppiamenti (LPLA)

2.5 Gestione delle variabilità

Una volta identificate le variabilità, si procede alla caratterizzazione attraverso l'associazione dei fattori umani descritti nella tassonomia SHELL ed HFACS. Tale passaggio è fondamentale perché le CPC non consentono la piena comprensione della deviazione dal modello LCI a quello LCF, almeno non nel campo dell'aviazione. Inoltre, la classificazione SHELL, così come quella HFACS, standardizza la descrizione del fattore umano a livello globale secondo le richieste ICAO. Altra utilità di questo passaggio è il poter, successivamente, confrontare i risultati ottenuti con FRAM con quelli già esistenti

Nell'evento della base aerea di Lajes (LPLA) sono stati associati ad ogni CPC il corrispettivo codice SHELL e HFACS per tutti i casi in cui il rating della condizione risulta inadeguato o imprevedibile:

Function		Common Conditions	SHELL Human Factors	HFACS Nanocodes
GM. 1. Remove AGE	M	Quality of communication	L – L – Oral Communication – Communication Content	PP106 COMMUNICATING CRITICAL INFORMATION
	M	Team collaboration quality	L – Individual – Psychological Factors – Information Processing - Judgment	AE2XX JUDGEMENT AND DECISION MAKING ERRORS
GM. 2. Go away	M	Quality of communication	L – L – Oral Communication – Communication Content	PP106 COMMUNICATING CRITICAL INFORMATION
	M	Team collaboration quality	L – Individual – Psychological Factors – Information Processing - Judgment	AE2XX JUDGEMENT AND DECISION MAKING ERRORS
C. 3. Check the avionics system	T	Availability of resources	L – H – Equipment – Workspace – Alerting and Warnings	PE202 INSTRUMENTATION AND SENSORY FEEDBACK SYSTEMS
C. 4. Start motors	M	Team collaboration quality	-	-
C. 5. Requests permission to taxi	M	Team collaboration quality	-	-
LM. 1. Stand in front of the aircraft	M	Conditions of work	L – E – External – Weather – Weather: actual and forecasts	PE1XX PHYSICAL ENVIRONMENT
LM. 2. Check handling area and get on board	M	Conditions of work	L – E – External – Weather – Weather: actual and forecasts	PE1XX PHYSICAL ENVIRONMENT
	M	Number of goals and conflict resolution	L – Individual – Psychological Factors – Attention – Channelized Attention	PC102 CHANNELIZED ATTENTION

Tabella 4 Associazione SHELL e HFACS alle CPC (LPLA)

Stesso procedimento si può effettuare associando la propagazione di variabilità dovuta agli accoppiamenti delle funzioni e classificarla con l'opportuno codice SHELL ed HFACS:

Function	Output	Downstream function		SHELL Human Factors	HFACS Nanocodes
GM. 1. Remove AGE	AGE removed	I	GM. 2. Go away	L – Individual – Psychological Factors – Information Processing - Judgment	AE2XX JUDGEMENT AND DECISION MAKING ERRORS
		C	C. 5. Requests permission to taxi	L – L – Controllers – Briefings	PP110 MISSION BRIEFING
GM. 2. Go away	GM gone	T	C. 6. Taxi to the runway entrance	L – L – Controllers – Briefings	PP110 MISSION BRIEFING
C. 3. Check the avionics system	Avionics system OK	I	C. 4. Start motors	-	-
C. 4. Start motors	Motors started	I	C. 5. Requests permission to taxi	-	-
C. 5. Requests permission to taxi	Ready to taxi	I	C. 6. Taxi to the runway entrance	-	-
LM. 1. Stand in front of the aircraft	LM positioned	I	LM. 2. Check handling area and get on board	L – Individual – Physical Factors – Sensory Limitation Vision – Vision	AE301 ERROR DUE TO MISPERCEPTION
		C	C. 4. Start motors	-	-
LM. 2. Check handling area and get on board	Area checked	C	C. 5. Requests permission to taxi	L – L – Controllers – Supervision	SI001 LEADERSHIP/SUPEVISION/OVERSIGHT INADEQUATE

Tabella 5 Associazione SHELL e HFACS agli accoppiamenti (LPLA)

Classificare la variabilità con le tassonomie esistenti e normate SHELL e HFACS può essere uno strumento potente per la gestione dei risultati ottenuti e le misure di sicurezza da intraprendere. Il codice HFACS viene associato:

- All'individuo/organizzazione a cui è applicabile la misura.
- Alla tipologia di gestione della variabilità, nonché alle misure da adottare nel caso FRAM (vedere appendice B per approfondimento) ed alle raccomandazioni di chi stila il report.

Nella tabella seguente, inoltre, sono stati evidenziati i fattori umani più impattanti sull'incidente, ovvero quelli che, mitigati, possono essere ottime barriere contro eventi simili.

Function	HFACS Nanocodes	Applicability of Measure	Type of Variability Management	
GM. 1. Remove AGE	PP106 COMMUNICATING CRITICAL INFORMATION	M INDIVIDUAL Ground Marshall	Prevention	Training
	AE2XX JUDGEMENT AND DECISION MAKING ERRORS	M INDIVIDUAL Ground Marshall	Prevention	Briefing on mission aims by assessing environmental factors
	PP110 MISSION BRIEFING	M INDIVIDUAL Ground Marshall	Prevention	Briefing on mission aims by assessing environmental factors
GM. 2. Go away	PP106 COMMUNICATING CRITICAL INFORMATION	M INDIVIDUAL Ground Marshall	Prevention	Training
	AE2XX JUDGEMENT AND DECISION MAKING ERRORS	M INDIVIDUAL Ground Marshall	Prevention	Briefing on mission aims by assessing environmental factors
	PP110 MISSION BRIEFING	M INDIVIDUAL Ground Marshall	Prevention	Briefing on mission aims by assessing environmental factors
LM. 1. Stand in front of the aircraft	PE1XX PHYSICAL ENVIRONMENT	M INDIVIDUAL Load Master	Facilitation	Briefing on mission aims by assessing environmental factors
LM. 2. Check handling area and get on board	PE1XX PHYSICAL ENVIRONMENT	M INDIVIDUAL Load Master	Facilitation	Briefing on mission aims by assessing environmental factors
	PC102 CHANNELIZED ATTENTION	M INDIVIDUAL Load Master	Prevention	Training
	SI001 LEADERSHIP/SUPEVISION/OVERSIGHT INADEQUATE	M INDIVIDUAL Load Master	Prevention	Training

Tabella 6 Gestione della variabilità (LPLA)

Nel caso avvenuto a Lajes (LPLA) sono state evidenziate principalmente due misure di sicurezza: prevenzione e facilitazione. A seguito di queste considerazioni sono state sviluppate le seguenti raccomandazioni:

- **Briefing on mission aims by assessing environmental factors.** Effettuare un briefing con tutto il personale prima di una missione e considerando le sopraggiunte condizioni atmosferiche avverse, POTREBBE ESSERE UNA PREVENZIONE per il Ground Marshall e POTREBBE ESSERE UNA FACILITAZIONE per il Load Master. In questo modo, il Ground Marshall non avrebbe preso decisioni individuali in base alle proprie percezioni ed il Load Master avrebbe potuto chiedere un briefing sulla sospensione (anche temporanea) delle attività o si sarebbe posto nelle condizioni di lavorare sotto la forte pioggia.
- **Training.** La formazione e l'addestramento del personale è sempre una misura di mitigazione del rischio. In questo caso, migliorare la formazione del ground marshall e

del load master sulla corretta comunicazione all'interno della squadra ed in termini di esperienza nella supervisione, POTREBBE ESSERE UNA PREVENZIONE contro eventi futuri simili.

2.6 Confronto risultati FRAM con HFACS

Il confronto dei fattori umani trovati con FRAM e quelli con HFACS, riportati dai report sulla sicurezza, hanno evidenziato dei punti in comune e delle discrepanze.

È opportuno specificare che l'analisi di incidenti, così come la valutazione del rischio, è comunque influenzata anche dalla soggettività degli individui che si occupano del caso.

FRAM			
UNSAFE ACTS	PRECONDITIONS FOR UNSAFE ACTS	UNSAFE SUPERVISION	ORGANISATIONAL INFLUENCE
AE2XX JUDGEMENT AND DECISION MAKING ERRORS	PP106 COMMUNICATING CRITICAL INFORMATION	SI001 LEADERSHIP/SUPERVISION/OVERSIGHT INADEQUATE	
	PP110 MISSION BRIEFING		
	PE1XX PHYSICAL ENVIRONMENT		
	PC102 CHANNELIZED ATTENTION		

Tabella 7 Codici ricavati con FRAM (LPLA)

HFACS			
UNSAFE ACTS	PRECONDITIONS FOR UNSAFE ACTS	UNSAFE SUPERVISION	ORGANISATIONAL INFLUENCE
JUDGEMENT AND DECISION MAKING - AE202 TASK MISPRIORITIZATION	PERSONAL FACTORS - PP106 COMMUNICATING CRITICAL INFORMATION		ACQUISITION MANAGEMENT - OR004 ACQUISITION MANAGEMENT PROCESS
	PSYCHO BEHAVIOURAL FACTORS - PC214 RESPONSE SET		
	PERCEPTUAL FACTORS - PC504 MISPERCEPTION		
	PHYSICAL ENVIRONMENT - PE102 VISION RESTRICTED BY METEO CONDITIONS		

Tabella 8 Codici ricavati con HFACS (LPLA)

Per il caso del FOD incastrato sotto il C130-J nella base di Lajes (LPLA) in Portogallo, i risultati convergono sul codice PP106 COMMUNICATING CRITICAL INFORMATION, descritto come “il fattore quando le informazioni critiche note non sono state fornite alle persone appropriate in modo accurato o tempestivo”. Il PP106 sottolinea l’importanza della comunicazione appropriata in termini di precisione e tempestività, ragion per cui anche nelle mitigazioni raccomandate si suggerisce una miglioria nell’addestramento del personale di handling e quello a bordo. Tale concetto è ritrovato attraverso FRAM in PP110 MISSION BRIEFING, ovvero nel far notare che una riunione del personale, soprattutto a fronte di cambiamenti di condizioni di lavoro così repentini, possa essere una barriera contro una comunicazione inaccurata.

Altro punto in comune è la descrizione sotto la voce “Unsafe act”: AE2XX JUDGEMENT AND DECISION MAKING ERRORS, ovvero un atto dovuto ad un errore di giudizio che ha comportato scelte sbagliate. Occorre precisare, però, che FRAM non riconosce questo fattore umano come un errore. Difatti, la classificazione come “Unsafe act” è limitata al confronto dei risultati e, mentre con HFACS si riconosce un errore effettivo, con FRAM tale codice è utilizzato esclusivamente per descrivere la variabilità della prestazione. L’ “Unsafe act” ha senso di esistere solo utilizzando il metodo HFACS, mentre con FRAM la trattazione della variabilità non contempla l’errore umano in sé, a favore di un risultato sulle precondizioni più accurato.

Per quanto gli altri nanocodici siano diversi, si riconosce comunque una certa somiglianza nelle descrizioni delle precondizioni. In particolare, la forte precipitazione è riconosciuta come

precondizione ambientale che ha influito sull'evento: con FRAM come disturbo a scapito del load master che si è dovuto posizionare in una posizione più asciutta (non davanti al radome del C130-J), con HFACS sulla percezione visiva di un punto o delle risorse. In questo caso, HFACS sembra aver dato una descrizione più approfondita, ma FRAM potrebbe aver compreso più fattori dovuti alla forte pioggia, sintetizzati nel codice PE1XX PHYSICAL ENVIRONMENT.

Il confronto sulle altre precondizioni è per lo più soggettivo. In ogni caso, le discrepanze non sono enormi e convergono agli stessi ragionamenti sulle raccomandazioni. Il PC214 RESPONSE SET ed il PC504 MISPERCEPTION non si allontanano drasticamente dal PC102 CHANNELIZED ATTENTION: viene esaminato comunque un focus errato sulle operazioni a causa di una percezione sbagliata dovuta alle condizioni di lavoro esterne (numero di obiettivi, meteo, attività).

Altra discrepanza che si può analizzare è l'assenza di influenze organizzative derivante da FRAM e quella della supervisione in HFACS. È difficile stabilire quale sia il codice più appropriato, ma non è da escludere che tra i fattori OR004 ACQUISITION MANAGEMENT PROCESS e SI001 LEADERSHIP/SUPERVISION/OVERSIGHT INADEQUATE non vi sia uno sbaglio: semplicemente sono risultati di due analisi effettuate con metodi differenti e da persone diverse.

FRAM	HFACS
Una formazione/addestramento (training) migliore sull'appropriata comunicazione orale POTREBBE ESSERE UNA PREVENZIONE per problemi di comunicazione e di divulgazione errata di informazioni tra l'equipaggio ed il personale di handling.	Migliorare la formazione/addestramento (training) sulla fraseologia standard: questo potrebbe prevenire problemi di comunicazione tra l'equipaggio e il personale di handling.
<p>Effettuare un briefing con tutto il personale prima di una missione, soprattutto se prevista forte precipitazione, POTREBBE ESSERE UNA PREVENZIONE per il Ground Marshall e POTREBBE ESSERE UNA FACILITAZIONE per il Load Master:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Il Ground Marshall non avrebbe preso decisioni individuali in base alle proprie percezioni. • Il Load Master avrebbe potuto chiedere un briefing sulla sospensione (anche temporanea) delle attività o si sarebbe posto nelle condizioni di lavorare sotto la forte pioggia. 	<p>Migliorare la formazione al fine di correggere decisioni inappropriate dell'equipaggio derivanti dalla percezione dell'individuo di dover compiere determinate azioni, indipendentemente da altri segnali.</p> <p>La Air Force Organization dovrebbe:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fornire materiale protettivo adeguato a poter affrontare qualsiasi condizione meteorologica. • Rafforzare la consapevolezza dell'equipaggio sui potenziali pericoli durante le operazioni. • Fornire istruzioni sul posizionamento dell'equipaggio durante l'avvio dei motori in qualsiasi condizione atmosferica. • Fornire una lista di controllo per il decollo con condizioni speciali (nel caso in assenza di personale a terra) per verificare la pulizia da FOD dello stand.

Tabella 9 Confronto raccomandazioni (LPLA)

3. Caso aeroporto di Gander (CYQX)

Per la descrizione dell'incidente che coinvolge il C130-J in fase di rimorchio (towing) alla base della RCAF Gander con codice identificativo ICAO CYQX, si devono esaminare parte della procedura corretta di pushback e quali fattori significativi hanno contribuito alle variazioni delle performance che hanno portato all'evento. È necessario, dunque, prendere come riferimento i modelli potenziale, nonché “Lavoro-Come-Immaginato” (LCI), ed attuale, “Lavoro-Come-Fatto” (LCF): il primo descrive una situazione ritenuta ipoteticamente esatta, quindi secondo la procedura standard eseguita correttamente. Il modello LCF, invece, descrive lo specifico scenario verificatosi in cui sono evidenziate le variazioni degli esiti di determinate funzioni, ovvero quelle che hanno portato all'incidente.

Per la descrizione delle funzioni identificate vedere Appendice D.

3.1 Descrizione dell'evento

La descrizione dell'evento è tratta dalla rivista “Flight Comment, Issue 1-2012” redatta dal Directorate of Flight Safety (articolo “Maintenance in Focus” a cura del Sergente Edward Taylor).

Durante un'altra giornata di routine e dopo un turno di dodici ore, l'Air Logistic Squadron presso la base aerea di Gander (CYQX) in Canada riceve un ulteriore compito: effettuare il pushback del C130-J dall'hangar fino allo stand di parcheggio assegnato sul piazzale. L'operazione procede tranquillamente da parte dell'equipaggio formato da un brake operator, un auxiliary pump operator, un tow driver ed il supervisor.

Arrivati alla posizione designata, alla fine del rimorchio, lo squadrone deve parcheggiare il C130-J su un punto del piazzale caratterizzato dal 2% di inclinazione per il drenaggio. Vengono inseriti i cunei di blocco al carrello anteriore e a quel punto il supervisor segnala al brake operator di inserire i freni di parcheggio. Il supervisor, senza aspettare il feedback dall'operatore a bordo, bussa con il pugno sulla fusoliera per segnalare all'auxiliary pump operator di scendere dall'aeromobile ed iniziare la disconnessione della tow bar. L'auxiliary pump operator scende dal velivolo e si appresta alla disconnessione della barra. Dato che i freni di parcheggio non erano stati inseriti a causa di una depressurizzazione del sistema frenante ed i cunei di blocco risultavano troppo larghi, il C130-J risulta essere libero di muoversi e rischia di travolgere l'aviere incaricato al distacco.



Figura 14 Pushback di un C130-J¹²

¹² Immagine tratta da Marco Gajetti, *NEAR MISS C130 J DURING AIRCRAFT TOWING AT GANDER RCAF BASE* evo3, Politecnico di Torino, Nov 2022

3.2 Modello LCI

Il modello del “Lavoro-Come-Immaginato” è composto da dieci funzioni, ciascuna dei quali descrive l’attività che deve svolgere il singolo operatore coinvolto, collegate tra loro in modo da evidenziare anche l’interdipendenza delle performance. Le funzioni di foreground, nonché quelle “principali”, sono svolte dal Tow Crew Supervisor secondo un flusso che procede dal monitoraggio dell’inserimento dei cunei frenanti alla fine del pushback, nonché quando gli operatori al suolo si allontanano dal velivolo. Le altre funzioni sono di background, risultando comunque essenziali al corretto svolgimento della procedura.

La prima funzione è di background ed è attribuita al guidatore del trattore di rimorchio (Tow Driver) che raggiunge il punto designato per il parcheggio del mezzo (**TD. 1. Reach the parking spot**). A questo punto, il Tow Driver resta in attesa finché lo svolgimento del pushback viene completato, mentre il Supervisor monitora l’inserimento dei cunei di blocco al carrello anteriore del C130-J ed indica al Brake Operator di applicare i freni di parcheggio (**TCS. 1. Supervise chocks application**). L’output della funzione è “Signal to apply brakes” ed ha ruolo di input, oltre che per la successiva attività del Supervisor, per il Brake Operator, il quale imposta i freni di parcheggio e ne segnala l’applicazione (**BO. 1. Set the parking brake**), e per l’Operatore della Pompa Ausiliaria (Auxiliary Pump Operator - APO).

La funzione dell’APO è di controllare la corretta applicazione dei freni di parcheggio e verificare lo stato della pompa idraulica manuale degli stessi, posta sul lato sinistro del portellone di carico (**APO. 1. Control for setting of brakes**). È fondamentale che l’APO mantenga la sua posizione di controllo sull’impostazione dei freni del Brake Operator che, a sua volta, determina la tempistica agente sull’attività del Supervisor.

Il Supervisor riceve il segnale di applicazione dei freni da parte del Brake Operator ed indica all’aviere (Airman) di disconnettere la tow bar dal velivolo (**TCS. 2. Indicate to disconnect tow bar**). Il Supervisor procede le sue attività di monitoraggio sulle operazioni al suolo, dal distacco della barra di rimorchio alla rimozione ed alla segnalazione del Bypass pin (**TCS. 3. Supervise ground operations**). L’Airman, dopo la segnalazione del Brake Operator di freni applicati, inizia il distacco della towbar dal C130-J (**A. 1. Disconnect tow bar from aircraft**). L’output di tale funzione, nonché lo stato di towbar disconnessa dal velivolo fermo, è condizione per il Tow Driver di completare la funzione di attesa di fine pushback (**TD. 2. Wait for pushback to finish**).

A pushback completato e Bypass pin mostrato al personale di bordo, gli operatori di terra lasciano la zona circostante il velivolo completando il flusso (**Go away from aircraft**).

Il modello LCI è schematizzato come segue:

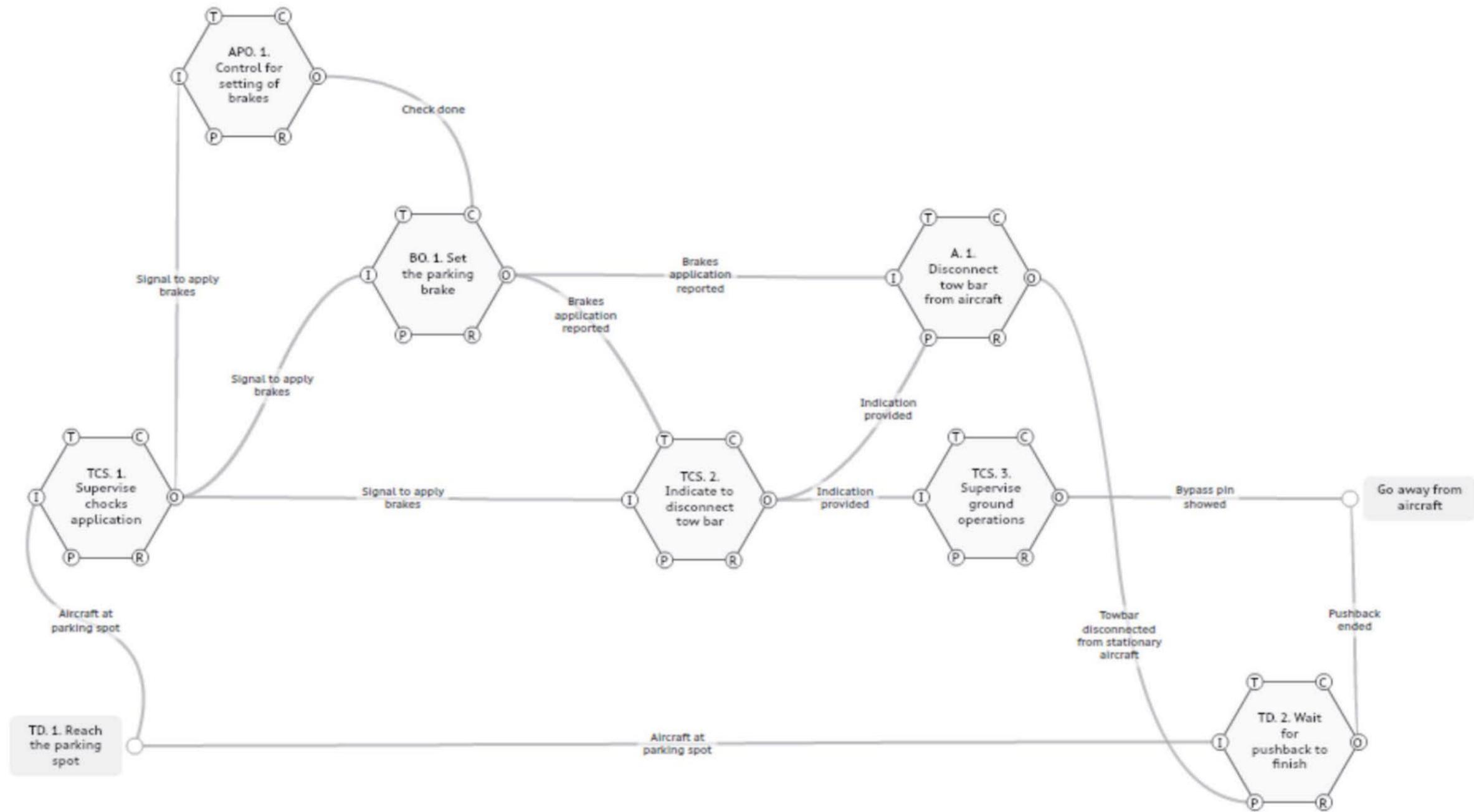


Figura 15 Modello LCI delle procedure finali di pushback

3.3 Modello LCF

Il modello del “Lavoro-Come-Fatto” differisce da quello LCI a causa delle variazioni di performance delle singole attività. Il modello in esame prevede addirittura sei funzioni soggette a variabilità.

La prima è nella supervisione dell’applicazione dei cunei di blocco da parte del Supervisor (**TCS. 1. Supervise chocks application**) soggetta ad imprecisione. Altre variabilità interne, che caratterizzano l’output della funzione, sono presenti nel check assente ed impreciso dell’Auxiliary Pump Operator (**APO. 1. Control for setting of brakes**) e nell’impostazione dei freni da parte del Brake Operator (**BO. 1. Set the parking brake**), omessa a causa della mancata pressione nel serbatoio. Per cui, i collegamenti “Check done” e “Brakes application reported” risultano assenti.

Il Supervisor indica all’Auxiliary Pump Operator di uscire dall’aeromobile: tale collegamento è errato e avvenuto troppo presto (**TCS. 2. Indicate to disconnect tow bar**). Infatti, il Supervisor doveva assicurarsi che l’APO mantenesse la posizione di controllo della pressione, invece, gli ha indicato di uscire dal velivolo. La variabilità è data dall’assenza del ruolo dell’Airman che ha generato accoppiamenti errati. Difatti, la funzione **A. 1. Disconnect tow bar from aircraft** è stata svolta dall’Auxiliary Pump Operator che si è adoperato al distacco della towbar dal C130-J come figura equivalente, ovviamente errata. La disconnessione avviene troppo presto ed in condizione di freni di parcheggio non applicati e cunei di blocco inseriti imprecisamente (troppo larghi).

Al distacco della barra, il velivolo segue la pendenza di drenaggio del piazzale muovendosi pericolosamente.

Il flusso di attività si interrompe facendo e le funzioni **TCS. 3. Supervise ground operations, TD. 2. Wait for pushback to finish** e **Go away from aircraft** non vengono svolte e sono evidenziate in nero.

Il modello LCF è schematizzato come segue:

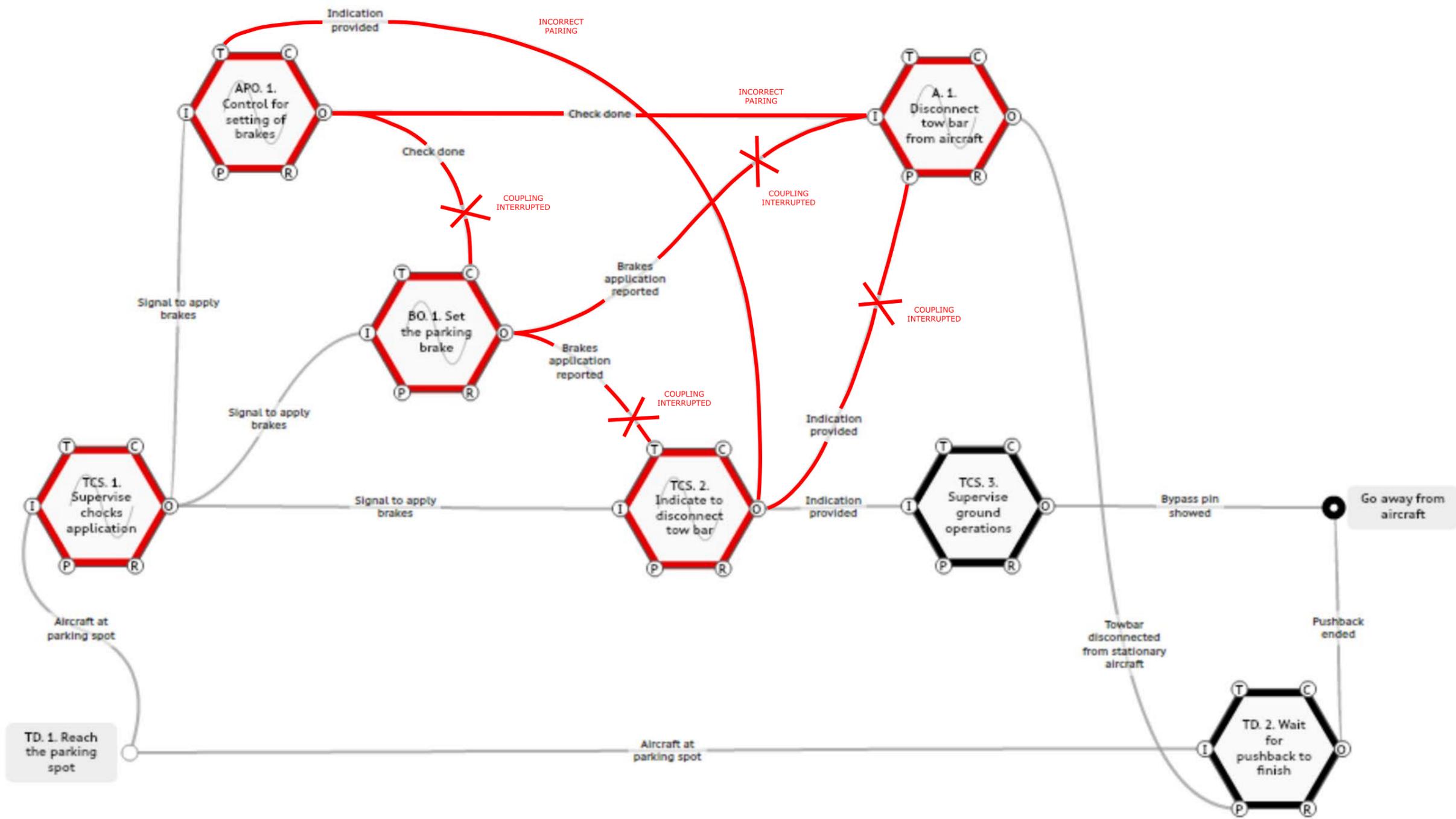


Figura 16 Modello LCF del caso di CYQX

3.4 Identificazione delle variabilità

L'identificazione della variabilità esterna è descritta in termini di precisione e tempistica sull'output della funzione e sull'effetto dei risultati.

La funzione **A. 1. Disconnect tow bar from aircraft** risultata imprecisa ed anticipata rispetto alla corretta esecuzione. Difatti, a differenza del modello LCI, la performance è stata svolta dall'APO, non dall'aviere, e prima che i freni di parcheggio venissero applicati.

Le restanti funzioni soggette a variabilità hanno contribuito all'aumento del livello di rischio. Il supervisor ha svolto in maniera imprecisa il controllo della corretta applicazione dei cunei ed ha indicato all'APO di scendere dal C130-J, piuttosto che assicurarsi che mantenesse la posizione. L'APO, a sua volta, ha omesso di svolgere la funzione **APO. 1. Control for setting of brakes**.

La variabilità emergente in queste funzioni è umana (M) ad eccezione per la performance del brake operator, omessa in termini di tempistica a causa di un fattore tecnologico (T): la pressione all'interno del sistema frenante non era sufficiente.

Function		Output	Time	Precision	
TCS. 1. Supervise chocks application	M	Signal to apply brakes	On time	Imprecise	V+
TCS. 2. Indicate to disconnect tow bar	M	Indication provided	Too Early	Imprecise	V+
APO. 1. Control for setting of brakes	M	Check done	Omission	Imprecise	V+
A. 1. Disconnect tow bar from aircraft	M	Towbar disconnected from stationary aircraft	Too Early	Imprecise	V+
BO. 1. Set the parking brake	T	Brakes application reported	Omission	Acceptable	V+

Tabella 10 Variabilità interna (CYQX)

A questo punto, è stata studiata la caratterizzazione della variabilità esterna attraverso le Common Performance Conditions (CPC) e la possibilità di avere deviazione dal modello LCI in base al loro grado di adeguatezza. Alcune funzioni possono essere caratterizzate da più condizioni comuni poiché il tipo di influenza a cui sono soggette può avere più origini.

La variabilità esterna che ha influenzato la funzione del supervisor **TCS. 1. Supervise chocks application** può essere descritta con due CPC: la prima riferita allo stress/stanchezza derivante da un turno di dodici ore antecedente la performance; la seconda alla collaborazione con la squadra inadeguata sulla supervisione dell'applicazione dei cunei di blocco. Inoltre, nello svolgere la **TCS. 2. Indicate to disconnect tow bar**, il supervisor ha utilizzato un'inadeguata fraseologia non verbale (un pugno sbattuto sulla fusoliera del C130-J) per indicare all'APO di scendere dal mezzo. L'indicazione di per sé doveva essere riferita ad un quarto aviere e non all'APO: si ha anche la mancata disponibilità di risorse, in questo caso umane.

Per le altre funzioni si effettuano gli stessi ragionamenti sulle CPC assegnate in base ad una inadeguata collaborazione della squadra e l'indisponibilità del quarto aviere. La prestazione

BO. 1. Set the parking brake è influenzata, invece, in termini di indisponibilità delle risorse tecniche, ovvero della pressione nel sistema frenante.

Function	Common Conditions	Rating	Performance Variability
TCS. 1. Supervise chocks application	Circadian rhythm, stress	Inadequate	Noticeable
	Team collaboration quality	Inadequate	Noticeable
TCS. 2. Indicate to disconnect tow bar	Quality of communication	Inadequate	Noticeable
	Availability of resources	Inadequate	Noticeable
APO. 1. Control for setting of brakes	Team collaboration quality	Inadequate	Noticeable
A. 1. Disconnect tow bar from aircraft	Availability of resources	Inadequate	Noticeable
	Team collaboration quality	Inadequate	Noticeable
BO. 1. Set the parking brake	Availability of resources	Inadequate	Noticeable

Tabella 11 Variabilità esterna e CPC (CYQX)

Una volta analizzata la variabilità esterna, si procede con lo studio della propagazione della stessa all'interno del sistema. In particolare, si esaminano gli effetti degli output delle funzioni con devianze sulle prestazioni accoppiate.

In questo caso, la variabilità della funzione **TCS. 1. Supervise chocks application** non si è propagata nelle performance di background dell'APO e del BO, ma ha avuto effetti sull'input di **TCS. 2. Indicate to disconnect tow bar**, comportando una perdita di accuratezza. Allo stesso modo, l'imprecisione si è propagata come aspetto di tempistica nella funzione **APO. 1. Control for setting of brakes**. La conseguenza è stata che:

- Il monitoraggio omesso dell'APO sulla pressione utile al sistema frenante ha portato alla necessità di avere un controllo con origine diversa sulla funzione **BO. 1. Set the parking brake**.
- La predisposizione dell'APO allo sgancio della tow bar all'esterno del velivolo ha peggiorato l'accuratezza del sistema.

La funzione **A. 1. Disconnect tow bar from aircraft** è stata svolta dal personale non appropriato e anticipatamente rispetto all'applicazione dei freni: è mancata la preconditione della performance del tow driver **TD. 2. Wait for pushback to finish**, punto in cui la procedura si è arrestata.

La mancanza di pressione nel serbatoio ha contribuito alla risonanza del sistema come variabilità tecnologica.

Function	Output	Variability		Downstream function		Effect	
TCS. 1. Supervise chocks application	Signal to apply brakes	M	On Time Imprecise	I	APO. 1. Control for setting of brakes	No effect	V=
				I	BO. 1. Set the parking brake	No effect	V=
				I	TCS. 2. Indicate for the APO to exit the aircraft	Loss of Accuracy	V+
TCS. 2. Indicate to disconnect tow bar	Indication provided	M	Too Early Imprecise	I	TCS. 3. Supervise ground operations	No effect	V=
				T	APO. 1. Control for setting of brakes	Increased variability	V+
APO. 1. Control for setting of brakes	Check done	M	Omission Imprecise	C	BO. 1. Set the parking brake	Substitute control may be found	V+
				I	A. 1. Disconnect tow bar from aircraft	Loss of Accuracy	V+
A. 1. Disconnect tow bar from aircraft	Towbar disconnected from stationary aircraft	M	Too Early Imprecise	P	TD. 2. Wait for pushback to finish	Precondition may be missed	V+
BO. 1. Set the parking brake	Brakes application reported	T	Omission Acceptable	T	TCS. 2. Indicate for the APO to exit the aircraft	Imprecise start of function	V+

Tabella 12 Variabilità agli accoppiamenti (CYQX)

3.5 Gestione delle variabilità

Una volta identificate le variabilità, si procede alla caratterizzazione attraverso l'associazione dei fattori umani descritti nella tassonomia SHELL ed HFACS. Tale passaggio è fondamentale perché le CPC non consentono la piena comprensione della deviazione dal modello LCI a quello LCF, almeno non nel campo dell'aviazione. Inoltre, la classificazione SHELL, così come quella HFACS, standardizza la descrizione del fattore umano a livello globale secondo le richieste ICAO. Altra utilità di questo passaggio è il poter, successivamente, confrontare i risultati ottenuti con FRAM con quelli già esistenti

Nell'evento registrato presso la base aerea di Gander (CYQX) sono stati associati ad ogni CPC il corrispettivo codice SHELL e HFACS per tutti i casi in cui il rating della condizione risulta inadeguato o imprevedibile:

Function		Common Conditions	SHELL Human Factors	HFACS Nanocodes
TCS. 1. Supervise chocks application	M	Circadian rhythm, stress	L – Individual – Physiological Factors – Fatigue Duty – Duty Hours	PC307 FATIGUE
	M	Team collaboration quality	L – L – Controllers – Supervision	SI001 LEADERSHIP/SUPEVISION/OVERSIGHT INADEQUATE
TCS. 2. Indicate to disconnect tow bar	M	Quality of communication	L – L – Oral Communication – Communication Content	PP106 COMMUNICATING CRITICAL INFORMATION
	M	Availability of resources	L – L – Crew Interactions – Resource Management	SP002 CREW / TEAM COMPOSITION
APO. 1. Control for setting of brakes	M	Team collaboration quality	L – L – Controllers – Supervision	PP102 CROSS MONITORING PERFORMANCE
A. 1. Disconnect tow bar from aircraft	M	Availability of resources	L – L – Crew Interactions – Resource Management	SP002 CREW / TEAM COMPOSITION
	M	Team collaboration quality	L – L – Controllers – Coordination	PP1XX COORDINATION/COMMUNICATION/PLANNING FACTORS
BO. 1. Set the parking brake	T	Availability of resources	L – H – Equipment – Workspace – Alerting and Warnings	PE202 INSTRUMENTATION AND SENSORY FEEDBACK SYSTEMS

Tabella 13 Associazione SHELL e HFACS alle CPC (LPLA)

Stesso procedimento si può effettuare associando la propagazione di variabilità dovuta agli accoppiamenti delle funzioni e classificarla con l'opportuno codice SHELL ed HFACS:

Function	Output	Downstream function	SHELL Human Factors	HFACS Nanocodes	
TCS. 1. Supervise chocks application	Signal to apply brakes	I	APO. 1. Control for setting of brakes	-	-
		I	BO. 1. Set the parking brake	-	-
		I	TCS. 2. Indicate for the APO to exit the aircraft	L – L – Controllers – Supervision	SI006 SUPERVISION LACK OF FEEDBACK
TCS. 2. Indicate to disconnect tow bar	Indication provided	I	TCS. 3. Supervise ground operations	-	-
		T	APO. 1. Control for setting of brakes	L – L – Oral Communication – Communication Content	PP106 COMMUNICATING CRITICAL INFORMATION
APO. 1. Control for setting of brakes	Check done	C	BO. 1. Set the parking brake	L – L – Controllers – Supervision	PP102 CROSS MONITORING PERFORMANCE
		I	A. 1. Disconnect tow bar from aircraft	L – L – Crew Interactions – Resource Management	SP002 CREW / TEAM COMPOSITION
A. 1. Disconnect tow bar from aircraft	Towbar disconnected from stationary aircraft	P	TD. 2. Wait for pushback to finish	L – H – Equipment – Equipment Failure	PE1XX PHYSICAL ENVIRONMENT
BO. 1. Set the parking brake	Brakes application reported	T	TCS. 2. Indicate for the APO to exit the aircraft	L – L – Controllers – Supervision	SI006 SUPERVISION LACK OF FEEDBACK

Tabella 14 Associazione SHELL e HFACS agli accoppiamenti (CYQX)

Classificare la variabilità con le tassonomie esistenti e normate SHELL e HFACS può essere uno strumento potente per la gestione dei risultati ottenuti e le misure di sicurezza da intraprendere. Il codice HFACS viene associato:

- All'individuo/organizzazione a cui è applicabile la misura.
- Alla tipologia di gestione della variabilità, nonché alle misure da adottare nel caso FRAM (vedere appendice B per approfondimento) ed alle raccomandazioni di chi stila il report.

Nella tabella seguente, inoltre, sono stati evidenziati i fattori umani più impattanti sull'incidente, ovvero quelli che, mitigati, possono essere ottime barriere contro eventi simili.

Function	HFACS Nanocodes	Applicability of Measure	Type of Variability Management	
TCS. 1. Supervise chocks application	PC307 FATIGUE	O ORGANISATION Royal Canadian Air Force	Facilitation	Work shifts shorter than 12 hours
	SI001 LEADERSHIP/SUPERVISION/OVERSIGHT INADEQUATE	M INDIVIDUAL Tow Crew Supervisor	Prevention	Training
	SI006 SUPERVISION LACK OF FEEDBACK	O ORGANISATION Royal Canadian Air Force	Facilitation	Contemplate connecting headphone cable between Marshall and Cabin Crew
TCS. 2. Indicate to disconnect tow bar	PP106 COMMUNICATING CRITICAL INFORMATION	M INDIVIDUAL Tow Crew Supervisor	Prevention	Training
	SP002 CREW / TEAM COMPOSITION	M INDIVIDUAL Tow Crew Supervisor	Prevention	Better consideration of "equivalent staff"
APO. 1. Control for setting of brakes	PP102 CROSS MONITORING PERFORMANCE	M INDIVIDUAL Auxiliary Pump Operator	Prevention	Better consideration of "equivalent staff"
	AE2XX JUDGEMENT AND DECISION MAKING ERRORS	M INDIVIDUAL Auxiliary Pump Operator	Prevention	Training
	SP002 CREW / TEAM COMPOSITION	M INDIVIDUAL Auxiliary Pump Operator	Prevention	Training
A. 1. Disconnect tow bar from aircraft	PP1XX COORDINATION/COMMUNICATION/PLANNING FACTORS	M INDIVIDUAL Auxiliary Pump Operator	Prevention	Training
	SP002 CREW / TEAM COMPOSITION	M INDIVIDUAL Auxiliary Pump Operator	Prevention	Better consideration of "equivalent staff"
BO. 1. Set the parking brake	SI006 SUPERVISION LACK OF FEEDBACK	O ORGANISATION Royal Canadian Air Force	Facilitation	Contemplate connecting headphone cable between Marshall and Cabin Crew

Tabella 15 Gestione della variabilità (CYQX)

Nel caso di Gander (CYQX) sono evidenziate diverse misure di natura preventiva e facilitativa su cui poter sviluppare le seguenti raccomandazioni:

- **Contemplate connecting headphone cable between Marshall and Cabin Crew.** Prevedere un ponte radio tra il marshall a terra, in questo caso il Tow Crew Supervisor, e la cabina (il Brake Operator) POTREBBE ESSERE UNA FACILITAZIONE che permette di inserire un collegamento diretto terra-bordo-terra tramite cavo o wireless (con certificazione ATEX¹³). Infatti, si aggiunge un anello di controllo

¹³ La certificazione ATEX (ATmosphere EXplosive) è obbligatoria per gli strumenti che devono rispettare i requisiti minimi in materia di salute e sicurezza dei luoghi di lavoro con presenza di atmosfere potenzialmente esplosive.

sull'impostazione dei freni di parcheggio in modo tale che il feedback non sia comunicato esclusivamente tramite hand signals, ma anche oralmente.

- **Work shifts shorter than 12 hours.** Un turno di lavoro che eccede le 12 ore rischia di essere troppo faticoso a livello fisico e mentale. Diminuirli **POTREBBE ESSERE UNA PREVENZIONE.**
- **Better consideration of “equivalent staff”.** La sostituzione dell’Airman con un generico operatore equivalente è prevista sul manuale di operazioni di towing del C130-J. Tuttavia, la figura dell’Auxiliary Pump Operator non è adatta alla sostituzione in quanto egli deve sempre controllare la pressione per i freni a bordo del velivolo ed il Supervisor deve assicurare tale posizionamento. Una formazione o addestramento su una migliore considerazione di “personale equivalente” **POTREBBE ESSERE UNA PREVENZIONE.**
- **Training.** La formazione e l’addestramento del personale è sempre una misura di mitigazione del rischio. In questo caso, la formazione deve essere mirata all’attività di supervisione sulle performance della squadra (per il supervisor) e del brake operator (per l’APO).

3.6 Confronto risultati FRAM con HFACS

Il confronto dei fattori umani trovati con FRAM e quelli con HFACS, riportati dai report sulla sicurezza, hanno evidenziato dei punti in comune e delle discrepanze.

È opportuno specificare che l’analisi di incidenti, così come la valutazione del rischio, è comunque influenzata anche dalla soggettività degli individui che si occupano del caso.

FRAM			
UNSAFE ACTS	PRECONDITIONS FOR UNSAFE ACTS	UNSAFE SUPERVISION	ORGANISATIONAL INFLUENCE
AE2XX JUDGEMENT AND DECISION MAKING ERRORS	PC307 FATIGUE	SI001 LEADERSHIP/SUPERVISION/OVERSIGHT INADEQUATE	
	PP102 CROSS MONITORING PERFORMANCE	SI006 SUPERVISION LACK OF FEEDBACK	
	PP1XX COORDINATION/COMMUNICATION/PLANNING FACTORS	SP002 CREW / TEAM COMPOSITION	

Tabella 16 Codici ricavati (CYQX)

HFACS			
UNSAFE ACTS	PRECONDITIONS FOR UNSAFE ACTS	UNSAFE SUPERVISION	ORGANISATIONAL INFLUENCE
AE103 PROCEDURAL ERROR	PC106 DISTRACTION	SI003 LOCAL TRAINING ISSUE / PROGRAMS	OR002 AIRFIELD
	PC204 EMOTIONAL STATE		
	PE205 AUTOMATION		
	PC208 COMPLACENCY		
	PP107 STANDARD AND PROPER TERMINOLOGY		
	PC405 TECHNICAL / PROCEDURAL KNOWLEDGE		
	PC206 WORKSPACE INCOMPATIBLE WITH HUMAN		

Tabella 17 Codici ricavati con HFACS (CYQX)

Per il caso del mancato incidente durante il pushback del C130-J nella base di Gander (CYQX), sono stati trovati con FRAM ed HFACS fattori umani che inducono a considerazioni similari per lo sviluppo delle raccomandazioni, nonostante la diversa natura. Si veda, innanzitutto, la descrizione sotto la voce “Unsafe act”: con HFACS è emerso un errore procedurale (AE103 PROCEDURAL ERROR). Occorre precisare, però, che FRAM non riconosce questo fattore umano come un errore. Difatti, la classificazione come “Unsafe act” è limitata al confronto dei risultati e, mentre con HFACS si riconosce un errore effettivo, con FRAM tale codice è utilizzato esclusivamente per descrivere la mutabilità della prestazione. L’ “Unsafe act” ha senso di esistere solo utilizzando il metodo HFACS, mentre con FRAM la trattazione di ciò che è variato non contempla l’errore umano in sé, a favore di un risultato sulle precondizioni più accurato. In questo caso, con FRAM la deviazione dal modello LCI è legata ad una variabilità umana decisionale (AE2XX JUDGEMENT AND DECISION MAKING ERRORS).

Ancor più diverse sono le precondizioni. Attraverso HFACS ne sono emerse cinque sulle condizioni dell’individuo attribuite ad un lavoro approssimativo dettato da stato emozionale, compiacimento, distrazione, conoscenza delle procedure e ambiente di lavoro incompatibile (PC204, PC208, PC106, PC405 e PC206). Con FRAM è stata evidenziata solo la fatica del

personale dopo dodici ore di lavoro (PC307). Data la soggettività delle persone che hanno lavorato ai report non è da escludere che non ci sia un codice più corretto di altri. Infatti, in FRAM è sicuramente necessario dover tener conto anche della distrazione e delle conoscenze del personale operativo ed in HFACS, invece, bisogna considerare che lo squadrone aveva alle spalle già un turno di dodici ore di lavoro. È importante, quindi, considerare anche l'influenza della fatica nell'evento.

Il fattore comune emerso con i due metodi è la comunicazione tra il personale di handling e quello a bordo. Con FRAM è stato evidenziato il PP1XX COORDINATION / COMMUNICATION / PLANNING FACTORS per descrivere un dialogo inappropriato avvenuto tra il supervisor e l'auxiliary pump operator. Oltre al contenuto delle informazioni di per sé errato, il supervisor ha colpito la fusoliera del C130-J con un pugno chiuso per segnalare all'APO di scendere dal mezzo. Fattore che è stato meglio descritto con HFACS come PP107 STANDARD AND PROPER TERMINOLOGY, segnalando la mancanza di comunicazione con fraseologia non verbale standard. Il PP107 descrive oggettivamente più a fondo tale preconditione e, quindi, il suo utilizzo è indubbiamente corretto, mentre il PP1XX utilizzato in FRAM risulta essere più generico. Con FRAM tale fattore è più associato ad un'insicura supervisione (SI001 LEADERSHIP / SUPERVISION / OVERSIGHT INADEQUATE), sottolineata in HFACS con SI003 LOCAL TRAINING ISSUE / PROGRAMS, trovando accordo nel fatto che, in ogni caso, deve essere previsto un addestramento migliore per chi monitora le operazioni aeronautiche.

Se HFACS è riuscito ad evidenziare meglio una comunicazione poco appropriata, FRAM ha sottolineato maggiormente l'assenza di feedback (per l'impostazione dei freni di parcheggio) verificatasi tra il supervisor ed il brake operator. Il fattore è descritto come SI006 SUPERVISION LACK OF FEEDBACK.

Inoltre, il fatto che il distacco della tow bar sia stato effettuato dall'APO e non da un quarto aviere è stato evidenziato con FRAM con SP002 CREW / TEAM COMPOSITION, ovvero, per quanto i compiti possano essere svolti da "personale equivalente", vi è stato un errore nel considerare l'APO come valido sostituto. Infatti, l'APO doveva restare a bordo del C130-J per monitorare la pressione ai freni di parcheggio applicati dal BO, omissione di performance descritta in PP102 CROSS MONITORING PERFORMANCE. In HFACS la mancanza dell'aviere è descritta come influenza organizzativa in OR002 AIRFIELD RESOURCES, assieme al fatto che lo stand di parcheggio del velivolo era inadeguato per la presenza dell'inclinazione per il drenaggio.

FRAM	HFACS
<p>Prevedere un ponte radio tra il marshall a terra, in questo caso il Tow Crew Supervisor, e la cabina in cui era presente il Brake Operator POTREBBE ESSERE UNA FACILITAZIONE che permette di inserire un collegamento diretto terra-bordo-terra tramite cavo o wireless (con certificazione ATEX). Infatti, si aggiunge un anello di controllo sull'impostazione dei freni di parcheggio, ovvero il feedback non è comunicato esclusivamente tramite hand signals, ma anche ORALMENTE.</p>	<p>Migliorare formazione sui segnali manuali del Marshall per migliorare la comunicazione non verbale standard.</p>
<p>Un turno di lavoro che eccede le 12 ore rischia di essere troppo faticoso a livello fisico e mentale per l'individuo. Diminuirli POTREBBE ESSERE UNA PREVENZIONE.</p>	
<p>La sostituzione dell'Airman con un generico operatore equivalente è prevista sul manuale di operazioni di towing del C130J. Tuttavia, la figura dell' Auxiliary Pump Operator non è adatta a tale sostituzione in quanto egli deve sempre controllare la pressione per i freni a bordo del velivolo ed il Supervisor deve assicurare tale posizionamento. Una formazione o addestramento su una migliore considerazione di "personale equivalente" POTREBBE ESSERE UNA PREVENZIONE.</p>	<p>Migliorare la formazione nel coordinamento del team per ridurre l'autocompiacimento individuale e migliorare la conoscenza delle procedure per anticipare i pericoli.</p>
<p>Migliorare formazione sulla comunicazione verbale e non standard da utilizzare tra equipaggio e personale di handling.</p>	

Tabella 18 Confronto raccomandazioni (CYQX)

4. Caso aeroporto di Linate (LIML)

Per quanto concerne l'incidente che coinvolge il C130-J durante la fase di parcheggio, avvenuto nell'aeroporto di Linate in Italia con codice identificativo ICAO LIML, occorre esaminare la procedura di parcheggio dell'aeromobile e quali fattori significativi hanno contribuito alle variazioni delle performance che hanno portato all'evento. È necessario, dunque, prendere come riferimento i modelli potenziale, nonché “Lavoro-Come-Immaginato” (LCI), ed attuale, “Lavoro-Come-Fatto” (LCF): il primo descrive una situazione ritenuta ipoteticamente esatta, quindi secondo la procedura standard eseguita correttamente. Il modello LCF, invece, descrive la specifica situazione verificatasi in cui sono evidenziate le variazioni degli esiti di determinate funzioni, ovvero quelle che hanno portato all'incidente.

Per la descrizione delle funzioni identificate Appendice D.

4.1 Descrizione dell'evento

La descrizione dell'evento è tratta dalla rivista “Sicurezza del Volo n. 296” a cura dell'Istituto Superiore per la Sicurezza del Volo dell'Aeronautica Militare Italiana (articolo “Anatomia di un incidente C130J”).

Alle 12:23 locali, quindi su Milano Linate (LIML), un aereo C130-J della 46° Brigata Aerea proveniente da Pisa atterra all'aeroporto citato per l'imbarco ed il trasporto a cui è stato assegnato. L'equipaggio riceve istruzioni dal servizio Ground dell'ATC di parcheggiare il C130-J nel piazzale militare, parzialmente occupato da un elicottero AB212 ed un aeromobile P180. I velivoli sono parcheggiati ai due angoli sud del piazzale, quindi l'AB212 a Sud-Ovest ed il P180 a Sud-Est. Sul bordo Nord-Est, in prossimità dell'hangar, sono parcheggiati i mezzi di servizio disposti perpendicolarmente alla via di rullaggio per l'entrata nel piazzale.



Figura 17 Situazione del piazzale di LIML al momento dell'evento ¹⁴

¹⁴ Immagine tratta da Marco Gajetti, *C-130 J INCIDENT COLLISION WITH OBSTACLE DURING TAXING ON THE MIL APRON LIN AIRPORT*, Politecnico di Torino, Jul 2015

Il piazzale non è fornito di segnaletica verticale ed orizzontale e, dietro il C130-J, un secondo P180 attende di parcheggiarvi all'interno. Un marshall e due wingman guidano i piloti allo stand designato, ma, a causa di una comunicazione non verbale inesatta, l'aeromobile urta un traliccio dell'hangar con il wing tip destro comportandone danni strutturali.



Figura 18 Danni strutturali C130-J (LIML) ¹⁵

4.2 Modello LCI

Il modello del “Lavoro-Come-Immaginato” è composto da sette funzioni, ciascuna dei quali descrive l'attività che deve svolgere il singolo operatore coinvolto, collegate tra loro in modo da evidenziare anche l'interdipendenza delle performance. Le funzioni di foreground, nonché quelle “principali”, sono svolte dai piloti a bordo secondo un flusso che procede dall'arrivo al piazzale di parcheggio dedicato (apron) all'inizio delle procedure di parcheggio e spegnimento dell'aeromobile. Le altre funzioni sono di background, risultando comunque essenziali al corretto svolgimento della procedura.

La prima funzione di foreground è attribuita alla performance dei Piloti di arrivare all'apron assegnato per il parcheggio del C130-J (**P. 1. Arrive at military apron**), il cui output è la condizione di velivolo all'ingresso del piazzale. Tale condizione è input di tre funzioni di background assegnate ai due Wingman, che presidiano lo spazio circostante le estremità alari destra e sinistra, ed al Marshall che si posiziona frontalmente al naso dell'aeromobile (**M. 1. Stand in front of the nose of the aircraft**). Il Marshall, a posizione acquisita, indica ai Piloti le manovre da adoperare per raggiungere il punto di parcheggio ponendo attenzione agli ostacoli da egli visibili (**M. 2. Lead the pilots to the parking spot**).

Tale funzione è dipendente in termini di controllo dagli output delle funzioni dei Wingman destro e sinistro che segnalano la presenza di ostacoli e la corretta distanza da essi (**FW. 1. Control obstacles on the right side** e **SW. 1. Control obstacles on the left side**). Per cui, il Marshall guida i Piloti anche con l'ausilio delle indicazioni degli operatori ai lati delle ali del velivolo e fornisce istruzioni (hand signals), al personale a bordo.

I Piloti seguono le indicazioni del Marshall (**P. 2. Follow the instructions**) e conducono il mezzo al punto designato per il parcheggio, dove poi possono iniziare le procedure di spegnimento motori e così via (**P. 3. Start parking procedure**).

Il modello LCI è schematizzato come segue:

¹⁵ Immagini tratte da Marco Gajetti, *C-130 J INCIDENT COLLISION WITH OBSTACLE DURING TAXING ON THE MIL APRON LIN AIRPORT*, Politecnico di Torino, Jul 2015

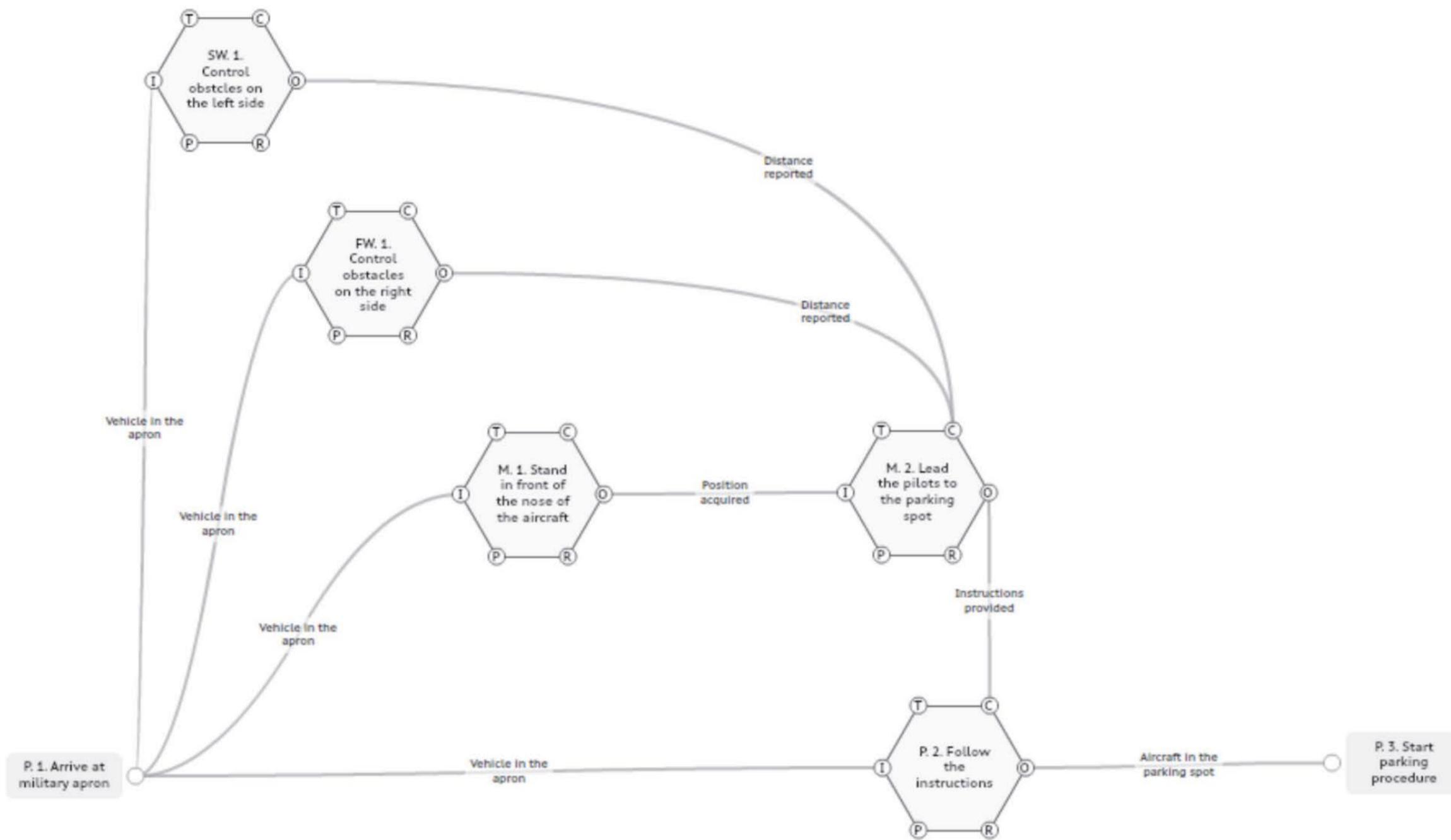


Figura 19 Modello LCI parcheggio del C130-J

4.3 Modello LCF

Il modello del “Lavoro-Come-Fatto” differisce da quello LCI a causa delle variazioni di performance delle singole attività. La prima forma di variabilità è presente nella funzione **FW. 1. Control obstacles on the right side**: il primo Wingman posizionato sul lato destro del C130-J ha segnalato in maniera imprecisa la distanza di separazione dai mezzi di soccorso ed ha omesso quella dal traliccio dell’hangar. La variabilità si è propagata a cascata sulla funzione **M. 2. Lead the pilots to the parking spot**, per cui il Marshall ha indicato ai Piloti istruzioni imprecise.

La funzione **P. 2. Follow the instructions** è soggetta alla variabilità dovuta agli accoppiamenti e a quella interna, di tipo organizzativo. Difatti, la manovra di parcheggio del C130-J è stata eseguita tramite istruzioni visive in mancanza di segnaletica (verticale ed orizzontale) e procedure, nonché piani di valutazione dei rischi adatti per i VLA (Very Large Aircraft) di categoria D (wingspan compresa tra i 35 e i 52 m).

A questo punto, il C130-J impatta il wing tip destro contro il traliccio dell’hangar ed il flusso si interrompe: la funzione **P. 3. Start parking procedure** non viene svolta ed è evidenziata in nero.

Il modello LCI è schematizzato come segue:

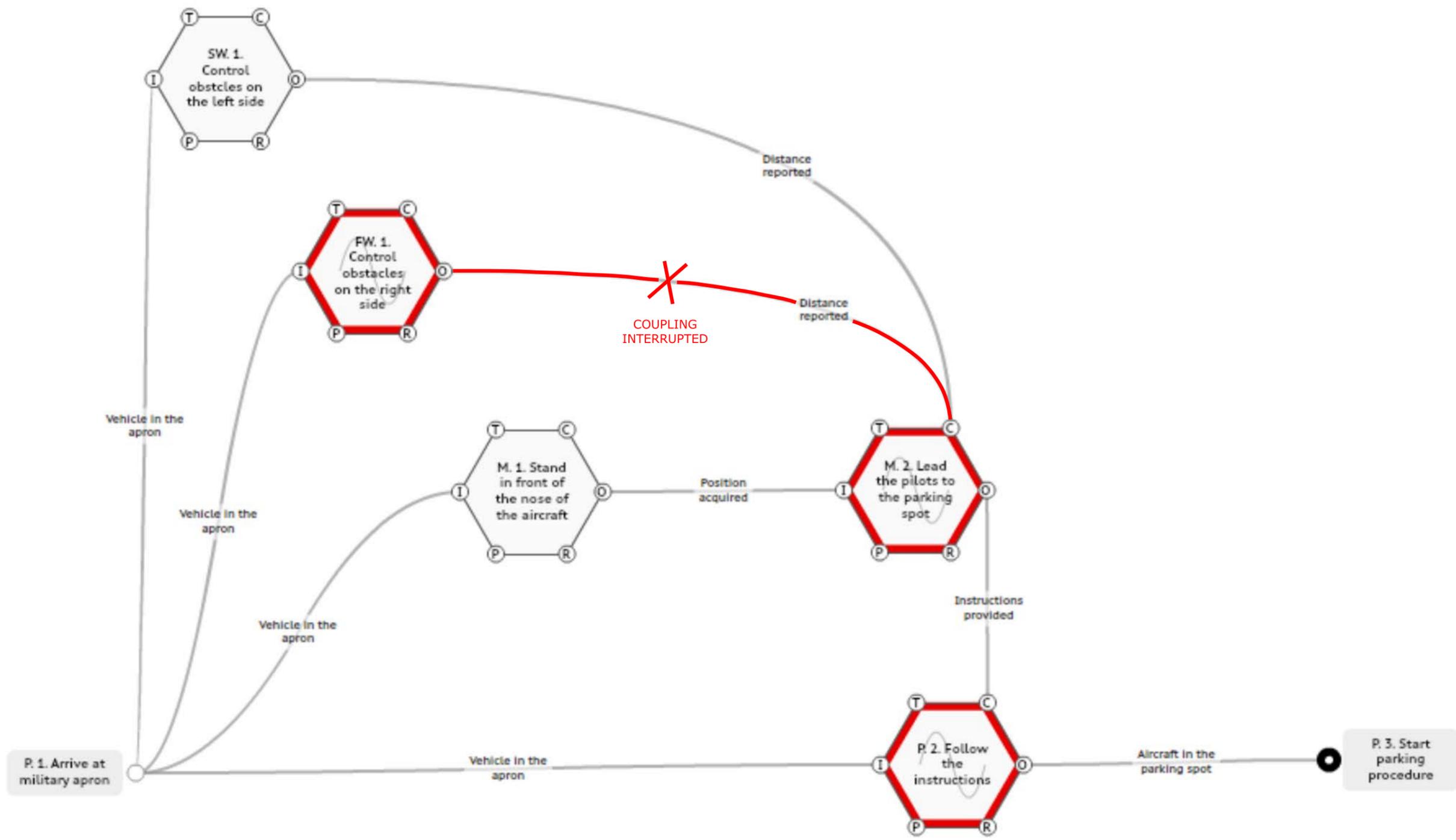


Figura 20 Modello LCF del caso di LIML

4.4 Identificazione delle variabilità

L'identificazione della variabilità esterna è descritta in termini di precisione e tempistica sull'output della funzione e sull'effetto dei risultati.

La performance che ha contribuito maggiormente al superamento della soglia limite di sicurezza è la **FW. 1. Control obstacles on the right side**. Difatti, il wingman destro ha omesso di riportare la distanza dal traliccio dell'hangar ed ha comunicato imprecisamente quella dai mezzi.

La funzione **M. 2. Lead the pilots to the parking spot** ha output impreciso a causa della variabilità umana generatosi nella performance che aumenta indubbiamente la mutabilità del sistema, però in maniera relativamente più contenuta. Analogo discorso si può fare su **P. 2. Follow the instructions** con la variabilità che è di tipo organizzativa.

Function		Output	Time	Precision	
FW. 1. Control obstacles on the right side	M	Distance reported	Omission	Imprecise	V+
M. 2. Lead the pilots to the parking spot	M	Instructions provided	On Time	Imprecise	V+
P. 2. Follow the instructions	O	Aircraft in the parking spot	On Time	Imprecise	V+

Tabella 19 Variabilità interna (LIML)

A questo punto, è stata studiata la caratterizzazione della variabilità esterna attraverso le Common Performance Conditions (CPC) e la possibilità di avere deviazione dal modello LCI in base al loro grado di adeguatezza. Alcune funzioni possono essere caratterizzate da più condizioni comuni poiché il tipo di influenza a cui sono soggette può avere più origini.

Come detto, la funzione **FW. 1. Control obstacles on the right side** è caratterizzata da una qualità della comunicazione sbagliata ed imprevedibile. Difatti, la gestualità utilizzata dall'aviere, per segnalare che la semiala destra del C130-J passava sopra i mezzi di soccorso, è stata la mano chiusa con il pollice in su:



Figura 21 Hand signals "All is clear"¹⁶

Tuttavia, nella terminologia non verbale standard, tale gesto indica la situazione “All is clear”, ovvero che non c’è pericolo di presenza di ostacoli (condizione ovviamente sbagliata).

La funzione **M. 2. Lead the pilots to the parking spot** è caratterizzata da due CPC: la prima riguarda l’inadeguata collaborazione in team (o meglio, con il first wingman), la seconda la pressione operativa che ha soggiogato il marshall. Questa potrebbe essere derivata dalla presenza del P180 in coda al C130-J per parcheggiare nel piazzale di Milano Linate (LIML).

La variabilità organizzativa che ha influenzato il pilota, invece, nella funzione **P. 2. Follow the instructions** deriva da un’inadeguata disponibilità di risorse fornite dall’aeroporto, concretizzata nella mancanza della segnaletica, e dall’assenza di supporto dell’organizzazione stessa, nonché dall’indisponibilità di avere informazioni/procedure di parcheggio in spazi ristretti per VLA.

Function	Common Conditions	Rating	Performance Variability
FW. 1. Control obstacles on the right side	Quality of communication	Unpredictable	High
M. 2. Lead the pilots to the parking spot	Team collaboration quality	Inadequate	Noticeable
	Available time, time pressure	Inadequate	High
P. 2. Follow the instructions	Availability of resources	Inadequate	High
	Quality and support of the organization	Inadequate	Noticeable

Tabella 20 Variabilità esterna e CPC (LIML)

Una volta analizzata la variabilità esterna, si procede con lo studio della propagazione della stessa all’interno del sistema. In particolare, si esaminano gli effetti degli output delle funzioni sulle prestazioni accoppiate.

¹⁶ Immagine tratta da FLYINGGROUP / FLYINGSERVICE & PALMYRA AVIATION ADVISORS, *GROUND OPERATIONS MANUAL - GOM/A*

Nel caso registrato sull'aeroporto di Linate (LIML), la variabilità umana del wingman si è propagata a cascata sul controllo della funzione del marshall e, successivamente, sul controllo della prestazione del pilota, comportando un mancato compromesso sulla precisione delle operazioni e, quindi, una perdita di accuratezza.

Function	Output	Variability		Downstream function		Effect	
FW. 1. Control obstacles on the right side	Distance reported	M	Omission Imprecise	C	M. 2. Lead the pilots to the parking spot	Trade-offs in precision and exactitude	V+
M. 2. Lead the pilots to the parking spot	Instructions provided	M	On Time Imprecise	C	P. 2. Follow the instructions	Trade-offs in precision and exactitude	V+
P. 2. Follow the instructions	Aircraft in the parking spot	O	On Time Imprecise	I	P. 3. Start parking procedure	Loss of Accuracy	V+

Tabella 21 Variabilità agli accoppiamenti (LIML)

4.5 Gestione delle variabilità

Una volta identificate le variabilità, si procede alla caratterizzazione attraverso l'associazione dei fattori umani descritti nella tassonomia SHELL ed HFACS. Tale passaggio è fondamentale perché le CPC non consentono la piena comprensione della deviazione dal modello LCI a quello LCF, almeno non nel campo dell'aviazione. Inoltre, la classificazione SHELL, così come quella HFACS, standardizza la descrizione del fattore umano a livello globale secondo le richieste ICAO. Altra utilità di questo passaggio è il poter, successivamente, confrontare i risultati ottenuti con FRAM con quelli già esistenti

Nell'evento di Linate (LIML) sono stati associati ad ogni CPC il corrispettivo codice SHELL e HFACS per tutti i casi in cui il rating della condizione risulta inadeguato o imprevedibile:

Function		Common Conditions	SHELL Human Factors	HFACS Nanocodes
FW. 1. Control obstacles on the right side	M	Quality of communication	L – L – Oral Communication – Communication Content	PP107 STANDARD AND PROPER TERMINOLOGY
M. 2. Lead the pilots to the parking spot	M	Team collaboration quality	L – L – Oral Communication – Communication Content	PP106 COMMUNICATING CRITICAL INFORMATION
	M	Available time, time pressure	L – L – Worker Management – Pressures – Operational Pressure	PC207 PRESSING
P. 2. Follow the instructions	O	Availability of resources	L – E – External – Infrastructure Aerodrome – Airfield Facilities	OR002 AIRFIELD RESOURCES
	O	Quality and support of the organization	L – S – Written Information – Standard Operating Procedures	OR008 INFORMATIONAL RESOURCES/SUPPORT

Tabella 22 Associazione SHELL e HFACS alle CPC (LIML)

Stesso procedimento si può effettuare associando la propagazione di variabilità dovuta agli accoppiamenti delle funzioni e classificarla con l'opportuno codice SHELL ed HFACS:

Function	Output	Downstream function		SHELL Human Factors	HFACS Nanocodes
FW. 1. Control obstacles on the right side	Distance reported	C	M. 2. Lead the pilots to the parking spot	L – L – Oral Communication – Communication Content	PP107 STANDARD AND PROPER TERMINOLOGY
M. 2. Lead the pilots to the parking spot	Instructions provided	C	P. 2. Follow the instructions	L – L – Oral Communication – Communication Content	PP106 COMMUNICATING CRITICAL INFORMATION
P. 2. Follow the instructions	Aircraft in the parking spot	I	P. 3. Start parking procedure	L – S – Written Information – Standard Operating Procedures	OR008 INFORMATIONAL RESOURCES/SUPPORT

Tabella 23 Associazione SHELL e HFACS agli accoppiamenti (LIML)

Classificare la variabilità con le tassonomie esistenti e normate SHELL e HFACS può essere uno strumento potente per la gestione dei risultati ottenuti e le misure di sicurezza da intraprendere. Il codice HFACS viene associato:

- All'individuo/organizzazione a cui è applicabile la misura.
- Alla tipologia di gestione della variabilità, nonché alle misure da adottare nel caso FRAM (vedere appendice B per approfondimento) ed alle raccomandazioni di chi stila il report.

Nella tabella seguente, inoltre, sono stati evidenziati i fattori umani più impattanti sull'incidente, ovvero quelli che, mitigati, possono essere ottime barriere contro eventi simili.

Function	HFACS Nanocodes	Applicability of Measure	Type of Variability Management	
FW. 1. Control obstacles on the right side	PP107 STANDARD AND PROPER TERMINOLOGY	M INDIVIDUAL First Wingman	Prevention	Training
M. 2. Lead the pilots to the parking spot	PP106 COMMUNICATING CRITICAL INFORMATION	M INDIVIDUAL Marshall	Prevention	Training
	PC207 PRESSING	M INDIVIDUAL Marshall	Prevention	Training
P. 2. Follow the instructions	OR002 AIRFIELD RESOURCES	O ORGANISATION Linate Airport	Facilitation	Provide road markings for VLA parking
	OR008 INFORMATIONAL RESOURCES/SUPPORT	O ORGANISATION Linate Airport	Prevention	Provide procedure/information and risk assessments for the parking of VLA

Tabella 24 Gestione delle variabilità (LIML)

Per il caso su LIML sono state considerate misure preventive e facilitative per poter sviluppare le seguenti raccomandazioni:

- **Provide road markings for VLA parking.** La presenza di segnaletica orizzontale e verticale studiata per un VLA (Very Large Aircraft), POTREBBE ESSERE UNA FACILITAZIONE per l’equipaggio (sia a bordo che a terra) a favore di una guida al parking spot più semplice, quindi più veloce ed accurata.
- **Provide procedure and risk assessments for the parking of VLA.** La presenza di procedure / informazioni ed una valutazione del rischio sui limiti del piazzale, in cui doveva parcheggiare il C130-J (in generale dei VLA, categoria D), POTREBBE ESSERE UNA PREVENZIONE per contrastare eventi simili.
- **Training.** La formazione e l’addestramento del personale è sempre una misura di mitigazione del rischio e, in questo caso, POTREBBE ESSERE UNA PREVENZIONE contro errori di comunicazione e fraintendimenti tra l’equipaggio.

4.6 Confronto risultati FRAM con HFACS

Il confronto dei fattori umani trovati con FRAM e quelli con HFACS, riportati dai report sulla sicurezza, hanno evidenziato dei punti in comune e delle discrepanze. È opportuno specificare che l’analisi di incidenti, così come la valutazione del rischio, è comunque influenzata anche dalla soggettività degli individui che si occupano del caso.

FRAM			
UNSAFE ACTS	PRECONDITIONS FOR UNSAFE ACTS	UNSAFE SUPERVISION	ORGANISATIONAL INFLUENCE
	PP107 STANDARD AND PROPER TERMINOLOGY		OR002 AIRFIELD RESOURCES
	PP106 COMMUNICATING CRITICAL INFORMATION		
	PC207 PRESSING		OR008 INFORMATIONAL RESOURCES/SUPPORT

Tabella 25 Codici ricavati con FRAM (LIML)

HFACS			
UNSAFE ACTS	PRECONDITIONS FOR UNSAFE ACTS	UNSAFE SUPERVISION	ORGANISATIONAL INFLUENCE
AE206 DECISION MAKING DURING OPERATION	PE104 VISION RESTRICTED IN WORKSPACE		OR002 AIRFIELD RESOURCES
AE202 TASK MISPRIORITIZATION	PE203 VISIBILITY RESTRICTION		OR001 AIR TRAFFIC CONTROL RESOURCES
AE101 INADVERTENT OPERATION			

Tabella 26 Codici ricavati con HFACS (LIML)

L'evento verificatosi durante il parcheggio del C130-J su Linate (LIML) è, probabilmente, l'incidente che meglio descrive la differenza tra i metodi HFACS e FRAM. Primo punto d'interesse è la numerosa presenza di "unsafe act" ottenuta con il modello HFACS contro l'assoluta mancanza in FRAM. Il metodo di Hollnagel, infatti, fonda le sue radici nella Safety-II, quindi nel non partire dagli atti errati o dalle violazioni. Per quanto questi effettivamente abbiano inciso sull'incidente, in FRAM non sono contemplati come fattori per l'analisi dell'evento.

Inoltre, le precondizioni trovate con HFACS descrivono solo dei presupposti dipendenti dall'ambiente che sono PE104 VISION RESTRICTED IN WORKSPACE e PE203 VISIBILITY RESTRICTION, sulla base della scarsa visibilità sugli ostacoli concessa dalla cabina di pilotaggio del C130-J. FRAM, invece, è riuscito a cogliere precondizioni del tutto diverse:

- PP107 STANDARD AND PROPER TERMINOLOGY, ovvero l'errata gestualità del wingman nel comunicare distanza del mezzo dagli ostacoli.
- PP106 COMMUNICATING CRITICAL INFORMATION, l'inappropriata comunicazione in sé.
- PC207 PRESSING, la pressione operativa dovuta alla presenza del P180 in coda al C130-J per parcheggiare.

La raccomandazione che segue entrambi i metodi riguarda comunque la formazione sugli hand signals appropriati che i marshall devono utilizzare sul piazzale, ma con HFACS si arriva a tale ragionamento attraverso l' "unsafe act", mentre con FRAM con le precondizioni alla sicurezza.

I due metodi convergono sull'assenza di supervisioni errate e sui fattori organizzativi che hanno inciso, in particolare sul codice OR002 AIRFIELD RESOURCES, nonché sulla necessità di fornire ai velivoli, specie se VLA, segnaletica orizzontale e verticale anche nei piazzali militari. I codici OR008 INFORMATIONAL RESOURCES/SUPPORT (FRAM) e OR001 AIR TRAFFIC CONTROL RESOURCES (HFACS) descrivono approssimativamente lo stesso fattore, ma risulta effettivamente più completo il secondo. L'utilizzo di FRAM evidenzia la

mancanza di informazioni a supporto del parcheggio di un velivolo di categoria D quale il C130-J. L'analisi HFACS ha sottolineato, oltre la mancanza di procedure appropriate (in accordo con i risultati da FRAM), anche una necessaria rivalutazione, da parte dell'aeroporto di Milano Linate (LIML), dei limiti e delle caratteristiche delle aree per le manovre dei VLA.

FRAM	HFACS
Migliorare la formazione sulla comunicazione non verbale ed i segnali manuali per le operazioni di handling POTREBBE ESSERE UNA PREVENZIONE contro l'errore umano.	Migliorare la formazione sulla comunicazione non verbale ed i segnali manuali per le operazioni di handling.
La presenza di procedure/informazioni ed una valutazione del rischio sulle condizioni attuali del piazzale all'ingresso del C130-J (in generale dei VLA, categoria D) POTREBBE ESSERE UNA PREVENZIONE per contrastare eventi simili.	La valutazione del rischio di parcheggiare una V.L.A. nel "Piazzale" Militare di Linate (LIML) e la procedura per descrivere come operare, avrebbero costituito barriere di mitigazione.
La presenza di segnaletica orizzontale e verticale studiata per un VLA (Very Large Aircraft), POTREBBE ESSERE UNA FACILITAZIONE per l'equipaggio (sia a bordo che a terra) a favore di una guida al parking spot più semplice, quindi più veloce ed accurata.	Effettuare la valutazione dei rischi sull'assenza di segnaletica orizzontale e verticale designata ai VLA.
	Necessaria una conoscenza più approfondita dei limiti e delle caratteristiche strutturali dell'aeroporto al fine di gestire i rischi legati alle manovre in uno spazio ristretto di un VLA.

Tabella 27 Confronto raccomandazioni (LIML)

5. Conclusioni

Lo studio effettuato in questo lavoro di tesi non si limita all'analisi di applicabilità di FRAM, per quanto, comunque, si possono effettuare delle importanti considerazioni non essendo, per il momento, ancora un metodo standard per la gestione di sicurezza nel campo aeronautico.

Una piccola osservazione sul metodo in sé potrebbe essere una modifica sul meccanismo di applicazione. In teoria, nel processo di identificazione e caratterizzazione delle funzioni (vedere Appende B), si deve anche determinare la tipologia della prestazione che può essere umana (M), tecnologica (T) oppure organizzativa (O). Nella pratica è risultato più utile ed immediato traslare tale concetto dalla descrizione della funzione a quella della variabilità. Difatti, sulla base che ogni prestazione (funzione) è influenzata dalle decisioni organizzative, dalla tecnologia cui si dispone e dall'individuo che svolge la performance, è chiaro che tutti e tre gli aspetti risultano influenti. Quindi, una definizione univoca e determinante della tipologia di funzione potrebbe risultare fuorviante e incoerente con la filosofia di FRAM, mentre, se si parla di variabilità, questa può effettivamente avere una natura più definita nell'analisi dei modelli LCF ("Lavoro-Come-Fatto").

A sostegno di tale tesi, si pensi anche ad una grande utilità che FRAM concede: nella modellizzazione di una procedura esatta (LCI – "Lavoro-Come-Immaginato"), più funzioni potrebbero essere sintetizzate in una e, viceversa, una prestazione può essere presa singolarmente e suddivisa in più elementi. Durante lo svolgimento della tesi, infatti, le prime bozze di modelli FRAM erano più ampi e complessi, rischiando di essere dispersivi ed inefficaci al lavoro stesso. Ad esempio, con riferimento al modello LCI del caso di Lajes (LPLA), la funzione **GM. 1. Remove AGE** era scomposta in più elementi inutili allo scopo dello studio e si è deciso, quindi, di raggrupparle sotto la performance principale.

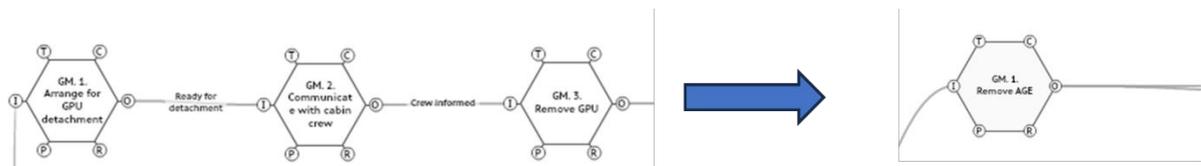


Figura 22 Raggruppamento funzioni in FRAM

La funzione ottenuta sintetizza in maniera ottimale il compito attribuito al Ground Marshall, ma è anche evidente che la stessa potrebbe essere influenzata da fattori di natura diversa, che siano umani, tecnologici od organizzativi.

Oltre questa piccola osservazione sui meccanismi di FRAM, il metodo è stato confrontato con HFACS, utilizzato tutt'oggi nelle analisi di incidenti. Sulla base di tale comparazione, sono stati analizzati i punti di forza e di debolezza che i due metodi offrono.

In primo luogo, FRAM segue la filosofia della Safety-II, ovvero non fermarsi all'analisi di inconvenienti, ma monitorare anche gli eventi "normali", cioè con esiti positivi. Questo concetto non è importante solo per l'osservazione di quella variabilità garantita ed onnipresente che smorza la risonanza funzionale del sistema, ma anche per lo studio e la gestione di quelle funzioni che con maggiore frequenza sono soggette ad instabilità. Si prenda, ad esempio, il caso di Linate (LIML): il wingman doveva riportare la distanza dell'ala del C130-J dagli ostacoli a destra del velivolo, ma ha usato una gestualità errata che ha portato all'incidente. In questo caso, l'incremento di variabilità del sistema ha superato la soglia di sicurezza limite, ma

un'attenzione più oculata degli altri membri del personale avrebbe potuto smorzare la risonanza funzionale al fine di ottenere un evento "normale". A questo punto, per la filosofia Safety-I dietro HFACS, non sarebbero state condotte alcune indagini sull'accaduto e l'errore del wingman non sarebbe stato corretto passando inosservato. A quel punto, l'interrogativo non è più "se" l'incidente sarebbe avvenuto, ma "quando".

Con FRAM, invece, l'errore diventa una variabilità e, ipotizzando una mitigazione dal resto del personale, la causa emergente del sistema rimane riconoscibile e trattabile, quindi correggibile attraverso la formazione o altre barriere di mitigazione. Questo punto di forza di FRAM è molto importante per la direzione verso cui si sta evolvendo il concetto di gestione della sicurezza. Infatti, come anticipato nel capitolo introduttivo e limitatamente alla statistica italiana, quando si analizza un incidente ci si concentra su una casistica veramente bassa, addirittura minore dell'1% dei movimenti nazionali e si rischia di tralasciare dei fattori che potenzialmente potrebbero essere un pericolo per le prestazioni quotidiane del sistema aviazione, che sia civile o militare.

Tuttavia, un limite riscontrato in FRAM è la descrizione delle variabilità riconosciute. Sotto normativa ICAO tutti i risultati di incidenti (o in questo caso eventi variabili) devono poter essere accessibili a livello internazionale, ma l'identificazione dei fattori attraverso le CPC non offre possibilità di standardizzazione. Evinco, dunque, l'assoluta importanza della tassonomia HFACS poiché i nanocodici utilizzati per la descrizione dei fattori umani è un punto di riferimento globale per la sicurezza del volo.

Sulla base di queste valutazioni l'unico dubbio in sospeso può riguardare la fattibilità economica dell'applicazione della teoria Safety-II e FRAM. Le compagnie aeree ed i dipartimenti della difesa nazionali, infatti, investono molto nella sicurezza, in primis perché è un requisito fondamentale al volo, ma anche perché la maggior parte delle volte (se non sempre) è più oneroso dover ottemperare ad i danni subiti in un incidente (che sia alle persone od all'aeromobile) che alla ricerca di mitigazioni e barriere appropriate. Restando sul caso di Linate (LIML), sicuramente è meno gravoso l'investimento sulla formazione dell'aviere che sul wing tip del C130-J e sul traliccio dell'hangar. Per non parlare poi dei conseguenti ritardi che, nel mondo aeronautico, si traducono pragmaticamente in perdita di soldi e risorse. La valutazione sulla fattibilità economica è un processo che necessariamente bisogna approfondire, ma che parte già a vantaggio della Safety-II sulla base che "prevenire è meglio che curare".

A conclusione di questo lavoro di tesi si può affermare, quindi, che FRAM risulta più che valido nella gestione della sicurezza e nella valutazione dei rischi, ma non può interamente sostituire il metodo HFACS, in cui l'utilizzo della tassonomia resta di fondamentale importanza. Gli strumenti, inoltre, non sono in disaccordo l'uno con l'altro e, quindi, non si può avere la pretesa di poter sostituire totalmente HFACS con FRAM, anche perché il concetto di Safety-II non abolisce quello di Safety-I.

Una cooperazione dei due metodi, FRAM ed HFACS, può risultare essenziale per la sicurezza del volo nel prossimo futuro così da avere non solo maggiore efficienza, ma anche costi ridotti.

Appendice A

Caratteristiche generali del C130-J (“Super” – Hercules)

Il C130-J “Super” – Hercules è aereo turboelica quadrimotore da trasporto militare della casa produttrice Lockheed Martin entrato in servizio nel 1999 ¹⁷.

Dimensioni e pesi:

- Lunghezza 29.79 m
- Altezza 11.84 m
- Apertura alare 40.41 m
- Superficie alare 162.12 m²
- MTOW 79378 kg
- OEW 34274 kg
- Capacità 19050 kg

Propulsione:

- 4 turboelica Rolls-Royce AE 2100D3
- 3458 kW per motore

Performance:

- Velocità massima 645 km/h
- Service ceiling 9315 m con MTOW di 66680 kg
- Range 5250 km
- Distanza di Take-Off 1093 m

Equipaggio:

- 2 Piloti
- 1 Direttore di carico
- 1 Ingegnere di volo
- 1 Navigatore

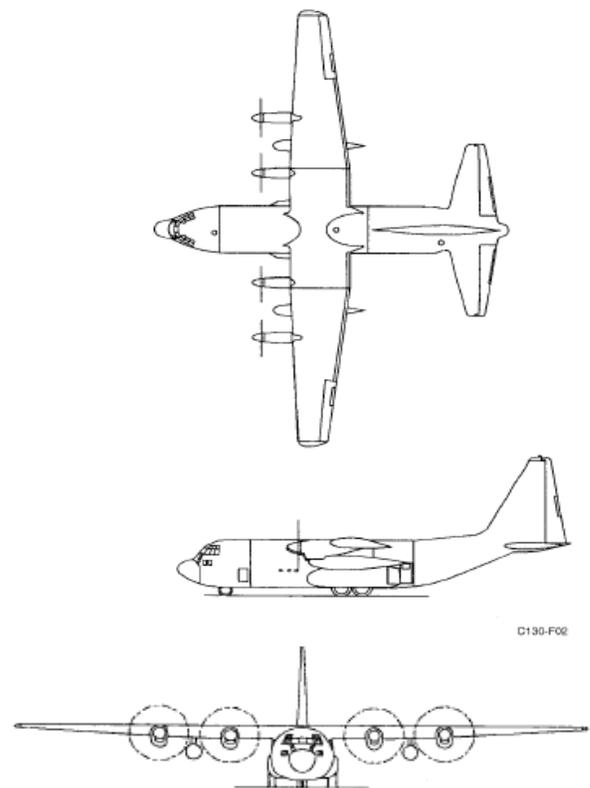


Figura 23 Lockheed Martin C130-J

¹⁷ Immagini e dati tratti da DEPARTMENT OF THE NAVY, NAVAL AIR SYSTEMS COMMAND, RADM WILLIAM A. MOFFETT BUILDING, 47123 BUSE ROAD, BLDG 2272, PATUXENT RIVER, MD 20670-1547 NATOPS Flight Manual Navy Model C-130T Aircraft, 2006

Appendice B

Meccanismo di FRAM

FRAM (Functional Resonance Analysis Method) è lo strumento di analisi che meglio descrive un sistema socio-tecnico non lineare ed è stato sviluppato da Hollnagel nel 2012 per rispettare la filosofia Safety-II. Il metodo è basato su quattro principi fondamentali:

- **Principio di equivalenza di successi e fallimenti.** In accordo con la teoria dell'ingegneria della resilienza, i risultati delle prestazioni, positivi o negativi, hanno la stessa origine. Quando si verificano eventi avversi manca l'abilità di reagire proattivamente alla sicurezza e, quindi, anticipare eventuali situazioni critiche. Tale abilità è normalmente presente nelle componenti del sistema.
- **Principio degli aggiustamenti approssimativi.** A causa dell'ambiente di lavoro in continuo cambiamento, le prestazioni sono soggette ad inevitabili e necessari aggiustamenti che non possono essere definiti come esatti o sbagliati, ma solo approssimativi. Tale principio definisce cos'è la variabilità, presente in tutti i sistemi.
- **Principio di emergenza.** Al contrario della filosofia Safety-I, che cerca o deduce le cause risultanti nell'incidente, l'approccio di FRAM rispecchia la Safety-II. I fattori contribuenti possono essere elusivi e non rintracciabili, quindi emergenti.
- **Principio della risonanza funzionale.** La variabilità non è una caratteristica limitata alla funzione singola, ma, al pari di un segnale di rumore, tiene conto degli accoppiamenti tra le componenti del sistema. L'aggregazione di variabilità negative può portare alla risonanza stocastica, definita anche "funzionale" poiché generata, appunto dagli accoppiamenti delle funzioni. Quando il tale segnale supera una certa soglia di tollerabilità, il sistema entra in risonanza e si rischiano eventi avversi alla sicurezza.

FRAM analizza i sistemi come elementi interconnessi in maniera non-lineare che perseguono lo stesso obiettivo. Le funzioni si distinguono in tre tipologie: umana (M), tecnologica (T) ed organizzativa (O).

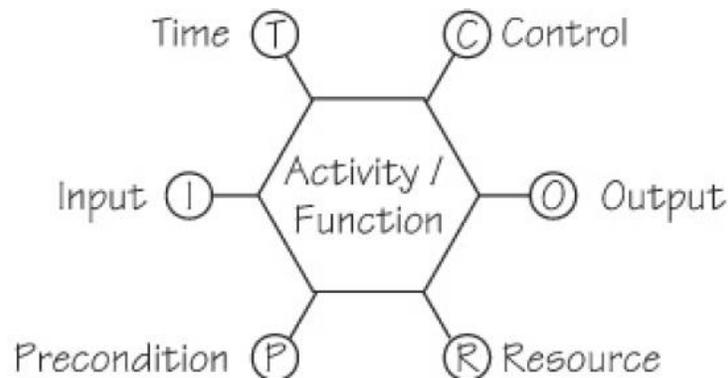


Figura 24 Struttura funzione in FRAM¹⁸

¹⁸ Tratto da *FRAM: the Functional Resonance Analysis Method*, 2012

Ogni elemento, nonché funzione, è strutturato attraverso sei aspetti:

- Input (I), il segnale che avvia la performance.
- Output (O), il risultato della performance che ne descrive il cambiamento di stato.
- Precondition (P), una condizione pre-esistente che si deve verificare per il corretto avvio della funzione.
- Resource (R), ciò che è necessario allo svolgimento della funzione (anche Executive Condition) o ciò che essa consuma per produrre l’output.
- Time (T), qualunque vincolo temporale che scandisca lo svolgimento della funzione.
- Control (C), i mezzi di monitoraggio e controllo della funzione.

La specifica funzione può essere poi classificata come elemento di “foreground”, quindi in primo piano, o di “background”, di sfondo. Le performance di foreground seguono un flusso cronologico di un individuo per una più facile comprensione da parte di chi osserva il modello e sono influenzate dalle funzioni di background, in termini di connessioni degli aspetti di precondizione, risorse, tempo e controllo o dalla variabilità.

La variabilità che caratterizza le prestazioni può essere classificata come interna, esterna o per accoppiamenti di funzioni, in base al fatto che l’approssimazione è dovuta alla natura stessa della performance, all’ambiente esterno o alle connessioni. Lo studio delle variabilità definisce il modello attuale, ovvero un particolare scenario ispirato, in questo caso, agli malfunzionamenti che hanno portato all’evento. In questo modo si possono avere vantaggi nella riduzione della soggettività che caratterizza i report d’incidenti e nella visione d’insieme del sistema, valutando quali variabilità portano alla risonanza e quali hanno effetti smorzanti.

Sotto tali assunzioni, è possibile trovare i fattori circostanziali che hanno condotto all’errore umano descrivibile attraverso le Common Performance Conditions (CPCs). Queste sono una classificazione delle origini delle variabilità esterne e sono assegnate a seconda della tipologia di funzione svolta ed alla probabile presenza delle stesse.

CPCs	Funzione tipo			Probabile variabilità delle funzioni		
	M	T	O	Adequate	Inadequate	Unpredictable
Availability of resources (personnel, materials, equipment)	X	X		Small	Noticeable	High
Training and experience (competence)	X			Small	High	High
Quality of communication (team, organization)	X		X	Small	Noticeable	High
Adequacy of HMI and operational support	X			Small	Noticeable	High
Availability of procedures and methods	X			Small	Noticeable	High
Conditions of work	X	X		Small	Noticeable	High
Number of goals and conflict resolution	X		X	Small	High	High
Available time, time pressure	X		X	Small	High	Very high

Circadian rhythm, stress	X			Small	Noticeable	High
Team collaboration quality	X			Small	Noticeable	High
Quality and support of the organization			X	Small	Noticeable	High

Tabella 28 Classificazione delle CPCs

La descrizione della variabilità interna, invece, avviene in termini di:

- Tempistica: troppo presto, in tempo, troppo tardi, omissione.
- Precisione: precisa, accettabile, imprecisa.

La caratterizzazione delle variabilità, interne od esterne, influenza gli accoppiamenti tra le funzioni correlando gli aspetti interconnessi con l'effetto della variabilità stessa che può:

- Aumentare $V+$
- Restare invariate $V=$
- Smorzare $V-$

Una volta analizzato il modello attuale con relative variabilità classificate e descritte, si procede a valutare quali mitigazioni effettuare per evitare situazioni di rischio. In generale le barriere nei confronti della variabilità si traducono in eliminazione, prevenzione, protezione e facilitazione. In linea con il concetto di Safety-II, FRAM aggiunge altri due aspetti: monitoraggio e smorzamento, ricordando che l'obiettivo è studiare anche tutti i sistemi funzionanti soggetti a variabilità, in modo da poter comprendere quali aggiustamenti quotidiani sono necessari per avere più esiti positivi possibile.

Appendice C

Funzioni del caso LPLA

Funzione	C. 1. Request permission to start up
Descrizione	Crew requests authorization to start the engine from the airport ground control.
Input	
Output	Ready to start Permission required
Precondizione	
Risorsa	
Controllo	
Tempo	

Funzione	GC. 1. Provide permission to start
Descrizione	The airport Ground Control provides start-up authorization to the crew.
Input	Permission required
Output	Permission provided
Precondizione	
Risorsa	
Controllo	
Tempo	

Funzione	C. 2. Start the APU
Descrizione	Crew starts the APU (Auxiliary Power Unit).
Input	Ready to start
Output	APU ON
Precondizione	Permission provided
Risorsa	
Controllo	
Tempo	

Funzione	C. 3. Check the avionics system
Descrizione	Crew checks the correct functioning of the avionics system.
Input	APU ON
Output	Avionics system OK
Precondizione	
Risorsa	
Controllo	
Tempo	

Funzione	C. 4. Start motors
Descrizione	Crew starts the motors in the sequence of start-up. The first one is the motor number 3, then 4,2,1.
Input	Avionics system OK
Output	Motors started
Precondizione	
Risorsa	
Controllo	LM positioned
Tempo	

Funzione	C. 5. Requests permission to taxi
Descrizione	Crew requests authorization to taxi from the tower.
Input	Motors started
Output	Ready to taxi Taxi required
Precondizione	
Risorsa	
Controllo	AGE removed Area checked
Tempo	

Funzione	C. 6. Taxi to the runway entrance
Descrizione	Crew begins taxiing to the designated runway entrance from the tower.
Input	Ready to taxi
Output	Ready to take off
Precondizione	Taxi approved
Risorsa	
Controllo	
Tempo	GM gone

Funzione	C. 7. Begin take off
Descrizione	Crew requests the permission to entry in the runway and begin take off from the tower. Once permission is provided, take off can start.
Input	Ready to take off
Output	
Precondizione	
Risorsa	
Controllo	
Tempo	

Funzione	GM. 1. Remove AGE
Descrizione	Ground Marshall notifies the GPU detachment to the cabin crew, checks the handling area and removes the AGE.
Input	Ready to start
Output	AGE removed
Precondizione	
Risorsa	
Controllo	
Tempo	

Funzione	GM. 2. Go away
Descrizione	Ground Marshall go away with AGE from the area around the aircraft.
Input	AGE removed
Output	GM gone
Precondizione	
Risorsa	
Controllo	
Tempo	

Funzione	LM. 1. Stand in front of the aircraft
Descrizione	Load Master positions himself in front of the aircraft to check engine starting.
Input	Avionics system OK
Output	LM positioned
Precondizione	
Risorsa	
Controllo	
Tempo	

Funzione	LM. 2. Check handling area and get on board
Descrizione	Load Master checks the area around the aircraft and boarding the aircraft.
Input	LM positioned
Output	Area checked
Precondizione	
Risorsa	
Controllo	
Tempo	

Funzione	T. 1. Provide permission to taxi
Descrizione	Tower provides taxi permission to the crew.
Input	Taxi required
Output	Taxi approved
Precondizione	
Risorsa	
Controllo	
Tempo	

Appendice D

Funzioni del caso di CYQX

Funzione	TD. 1. Reach the parking spot
Descrizione	Tow Driver reaches the assigned parking spot for the aircraft.
Input	
Output	Aircraft at parking spot
Precondizione	
Risorsa	
Controllo	
Tempo	

Funzione	TD. 2. Wait for pushback to finish
Descrizione	Tow Driver wait for the end of ground operations until the bar is disconnected.
Input	Aircraft at parking spot
Output	Pushback ended
Precondizione	Towbar disconnected from stationary aircraft
Risorsa	
Controllo	
Tempo	

Funzione	TCS. 1. Supervise chocks application
Descrizione	Tow Crew Supervisor controls the correct application of the chocks and signals for the brake operator on board to apply the parking brake. Handling signal: raise the right hand with open palm and close it into a fist.
Input	Aircraft at parking spot
Output	Signal to apply brakes
Precondizione	
Risorsa	
Controllo	
Tempo	

Funzione	TCS. 2. Indicate to disconnect tow bar
Descrizione	Tow Crew Supervisor indicates for the Airman to disconnect tow bar from aircraft after signaling that the parking brakes have been applied.
Input	Signal to apply brakes
Output	Indication provided
Precondizione	Brakes application reported
Risorsa	
Controllo	
Tempo	

Funzione	TCS. 3. Supervise ground operations
Descrizione	Tow Crew Supervisor controls the correct disconnection of tow bar and if the field around the aircraft is clear. Then TCS removes the Bypass pin by the nose gear and shows it to the pilot on board.
Input	Indication provided
Output	Bypass pin showed
Precondizione	
Risorsa	
Controllo	
Tempo	

Funzione	BO. 1. Set the parking brake
Descrizione	The Brake Operator apply the parking brake, once the auxiliary hydraulic tank reaches the correct pressure, and signals for the brake operator on ground that brakes are applied. Handling signal: raise the right hand with open palm and close it into a fist.
Input	Signal to apply brakes
Output	Brakes application reported
Precondizione	
Risorsa	
Controllo	Check done
Tempo	

Funzione	APO. 1. Control for setting of brakes
Descrizione	Auxiliary Pump Operator on board controls the correct application of brakes. It is imperative that the APO maintains the hydraulic pressure control position.
Input	Signal to apply brakes
Output	Check done
Precondizione	
Risorsa	
Controllo	
Tempo	

Funzione	Go away from aircraft
Descrizione	Once the pushback procedure is finished, the ground operators move away from aircraft.
Input	Bypass pin showed Pushback ended
Output	
Precondizione	
Risorsa	
Controllo	
Tempo	

Funzione	A. 1. Disconnect tow bar from aircraft
Descrizione	Airman hangs up the nose wheel scissors and disconnects the tow bar first from the tow bar truck and then from the aircraft. Then connect the tow bar to the truck.
Input	Brakes application reported
Output	Towbar disconnected from stationary aircraft
Precondizione	Indication provided
Risorsa	
Controllo	
Tempo	

Appendice E

Funzioni del caso di LIML

Funzione	P. 1. Arrive at military apron
Descrizione	Pilots guide the aircraft from the runway to apron designated for military vehicle to be parked.
Input	
Output	Vehicle in the apron
Precondizione	
Risorsa	
Controllo	
Tempo	

Funzione	P. 3. Start parking procedure
Descrizione	Pilots start the parking procedure of the aircraft.
Input	Aircraft in the parking spot
Output	
Precondizione	
Risorsa	
Controllo	
Tempo	

Funzione	M. 2. Lead the pilots to the parking spot
Descrizione	Marshall pays attention to the obstacles and the instructions of the wingmen to avoid aircraft collisions.
Input	Position acquired
Output	Instructions provided
Precondizione	
Risorsa	
Controllo	Distance reported
Tempo	

Funzione	SW. 1. Control obstacles on the left side
Descrizione	Second Wingman positions himself at the left wingtip and signals the distance to obstacles on that side.
Input	Vehicle in the apron
Output	Distance reported
Precondizione	
Risorsa	
Controllo	

Funzione	P. 2. Follow the instructions
Descrizione	Pilots follow the instructions of the marshall to park the aircraft in the designated area.
Input	Vehicle in the apron
Output	Aircraft in the parking spot
Precondizione	
Risorsa	
Controllo	Instructions provided
Tempo	

Funzione	M. 1. Stand in front of the nose of the aircraft
Descrizione	Marshall positions himself in front of the aircraft to guide the crew on board to the parking spot.
Input	Vehicle in the apron
Output	Position acquired
Precondizione	
Risorsa	
Controllo	
Tempo	

Funzione	FW. 1. Control obstacles on the right side
Descrizione	First Wingman positions himself at the right wingtip and signals the distance to obstacles on that side.
Input	Vehicle in the apron
Output	Distance reported
Precondizione	
Risorsa	
Controllo	
Tempo	

FONTI

ICAO, *Draft Glossary of terms*

Erik Hollnagel, *FRAM: the Functional Resonance Analysis Method*, 2012

Erik Hollnagel, Jörg Leonhardt, Tony Licu, Steven Shorrock, *From Safety-I to Safety-II: A White Paper*, EUROCONTROL, SEP 2013

FLYINGGROUP / FLYINGSERVICE & PALMYRA AVIATION ADVISORS, *GROUND OPERATIONS MANUAL - GOM/A*

John Colombi, Ph.D., Nicholas S. Hardman, Major, USAF, *A MAPPING FROM THE HUMAN FACTORS ANALYSIS AND CLASSIFICATION SYSTEM (DOD-HFACS) TO THE DOMAINS OF HUMAN SYSTEMS INTEGRATION (HSI)*, DEPARTMENT OF THE AIR FORCE AIR UNIVERSITY, AIR FORCE INSTITUTE OF TECHNOLOGY, Wright-Patterson Air Force Base, Ohio, NOV 2009

Department of the Air Force Guide, *HFACS 8.0 – Human Factors Analysis and Classification System*, MAY 2022

ICAO, *HUMAN FACTORS DIGEST No. 7 INVESTIGATION OF HUMAN FACTORS IN ACCIDENTS AND INCIDENTS*, 1993

Marco Gajetti, *SHELL MODEL BY ICAO H.F. DIGEST N.7*, JAN 2018.

Fu Gui, Xie Xuecai, Jia Qingsong, Li Zonghan, Chen Ping, Ge Ying, *The development history of accident causation models in the past 100years: 24Model, a more modern accident causation model*, 2019

Perrow, C., *Incidenti normali: vivere con tecnologie ad alto rischio*. Princeton New Jersey, Princeton University Press, 1999

Rochlin, G.I., *Definizione pratica delle organizzazioni ad "alta affidabilità"*. In Roberts, K.H. (ed.), *New Challenges to Understanding Organizations*. New York, MacMillan, 1993

Sagan, Scott D., *I limiti della sicurezza: organizzazioni, incidenti e armi nucleari*, Princeton New Jersey, Princeton University Press, 1993

Schulman, P.R., Roe, E., van Eeten, M. e de Bruijne, M., *Alta affidabilità e gestione delle infrastrutture critiche*. In *Journal of Contingencies and Crisis Management*, Vol 12, No 1, 14-28. Oxford, Blackwell Publishers, 2004

Von Bertalanffy, L., *La teoria dei sistemi aperti in fisica e biologia*. Scienza, Vol 3, 1950

Wildavsky, A., *Alla ricerca della sicurezza*. New Brunswick USA, Transaction Publishers, 1989

Baxter, G., & Sommerville, I., *Sistemi socio-tecnici: dai metodi di progettazione all'ingegneria dei sistemi*. *Interazione con i computer*, 23(1), 4-17, 2011

DEPARTMENT OF THE NAVY, NAVAL AIR SYSTEMS COMMAND, RADM WILLIAM A. MOFFETT BUILDING, 47123 BUSE ROAD, BLDG 2272, PATUXENT RIVER, MD 20670-1547 *NATOPS Flight Manual Navy Model C-130T Aircraft*, 2006

DEPARTMENT OF THE NAVY, *Manual of Operations C130J*

Cap. Riccardo Nardin, *Anatomia di un incidente Aeromobile C130J, Sicurezza del Volo n. 279*, Istituto Superiore per la Sicurezza del Volo, Aeronautica Militare, 2010

T.Col. Livio Generali, *Anatomia di un incidente C-130J, Sicurezza del Volo n. 296*, Istituto Superiore per la Sicurezza del Volo, Aeronautica Militare, 2013

Sergeant Edward Taylor, *Maintenance in Focus, Flight Comment Issue 1-2012*, Directorate of Flight Safety, 2012

Marco Gajetti, *NEAR MISS C130 J DURING AIRCRAFT TOWING AT GANDER RCAF BASE ev03*, Politecnico di Torino, Nov 2022

Marco Gajetti, *CASE STUDY INCIDENT C 130-J IN LAJES LPLA/TER AIRPORT*, Politecnico di Torino

Marco Gajetti, *C-130 J INCIDENT COLLISION WITH OBSTACLE DURING TAXING ON THE MIL APRON LIN AIRPORT*, Politecnico di Torino, Jul 2015

SERVICE NEWS – A SERVICE PUBLICATION OF LOCKHEED-GEORGIA COMPANY A DIVISION OF LOCKHEED AIRCRAFT CORPORATION, *Ground Handling New Air Conditioning Units*, 1976

<https://business.leeds.ac.uk/research-stc/doc/socio-technical-systems-theory>

<https://nigelthurlow.com/the-agile-transformation-myth/>

<https://assaeroporti.com/statistiche/>

<https://www.atexitalia.it/atex/>

Ringraziamenti

A conclusione del lavoro di tesi svolto vorrei poter ringraziare le figure che mi hanno aiutato in questo percorso.

Al prof. Marco Gajetti per avermi concesso di poter continuare il lavoro iniziato durante la stesura della tesi triennale su un argomento così affascinante quale la sicurezza del volo. La sua disponibilità e cortesia nel concedermi tempo ed attenzione sono state essenziali per poter affrontare temi così importanti alla base della mia carriera professionale.

Al Magg. Antonio Schifano del 60° Stormo i Guidonia dell'Aeronautica Militare Italiana per essersi prestato ad ogni tipo di chiarimento e spiegazione sulle procedure attorno al C130-J. Il campo dell'aeronautica militare può avere un approccio più difficoltoso per chi, come me, si è sempre e solo fermato agli aspetti civili. Se sono riuscito in quest'opera è sicuramente grazie alla disponibilità del Maggiore, sempre professionale e tempestivo nonostante i molteplici impegni.