

*Università degli Studi di Firenze*

Corso di Laurea in Ingegneria Elettronica  
Automazione - Progettazione



Relazione diagnostica e qualificazione di  
componenti e sistemi:

***GRUPPO: 6***

STUDENTI:

*Marco Montagni*

*Alessio Favina*

*Lorenzo Giuseppi*

*Jacopo Casini*

*Alessandro Ussi*

*Anno Accademico 2011/2012*

---

# Indice

<b>Indice.....</b>	<b>2</b>
Indice delle figure .....	3
Indice delle tabelle.....	4
<b>Introduzione.....</b>	<b>6</b>
<b>1 -       Descrizione del sistema.....</b>	<b>8</b>
1.1 -    Configurazione funzionale 1oo2D .....	9
1.2 -    Sottosistema Sensori.....	10
1.3 -    Sottosistema Logica.....	11
1.4 -    Sottosistema Attuatori .....	11
<b>2 -       Stima di beta.....</b>	<b>12</b>
<b>3 -       Stima Dei Parametri .....</b>	<b>16</b>
<b>4 -       Stima del SIL.....</b>	<b>20</b>
<b>Risultato dell'analisi e proposta alternativa.....</b>	<b>22</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>24</b>

---

## Indice delle figure

Figura 1 Architettura 1oo2D implementata nel sistema di sicurezza .....	8
Figura 2 Diagramma a blocchi configurazione 1ooD.....	9
Figura 3 Disposizione sensori .....	10
Figura 4 Attuatore .....	11
Figura 5 SIL al variare del PFH.....	20
Figura 6 Allegato M:Valori del PFH delle varie configurazioni funzionali a confronto in relazione a DC .....	38
Figura 7 Allegato N:Valori del PFH della configurazione 1oo2D in funzione dei valori di $\lambda$ dei sottoblocchi .....	38

---

## Indice delle tabelle

Tabella 1 Stima del Beta .....	14
Tabella 2 Punteggio totale calcolo Beta .....	15
Tabella 3 Intervalli per la stima di Beta forniti dalla norma.....	15
Tabella 4 Tasso di guasto Safe & Dangerous.....	17
Tabella 5 Parametri $t_{ce1}$ al variare di MTTR e MRT diagnostic coverage e $T_1$ .....	18
Tabella 6 PFHg al variare di DC, $\beta$ , MTTR, MRT in relazione alle formule indicate dalla [1] .....	19
Tabella 7 PFH di una* realizzazione più economica del sistema al variare dei parametri [1] .....	20
Tabella 8 PFH del miglior sistema proposto .....	21
Tabella 9 Allegato A: Punteggio domande stima Beta 1 .....	25
Tabella 10 Allegato B: Punteggio domande stima Beta 2.....	26
Tabella 11 Allegato C:Calcolo di TCE' variando DC, con $T_1=365h$ , $T_1=730$ , $T_1= 2190h$ .....	28
Tabella 12 Allegato D: PFH di sottosistema calcolato al variare di DC, MRT, $\beta$ con $T_1 = 25h$ .....	29
Tabella 13 Allegato E:PFH di sottosistema calcolato variando DC, $\beta$ , MTTR, MRT con $T_1 = 50h$ ....	30
Tabella 14 Allegato F: PFH di sottosistema calcolato variando DC, $\beta$ , MTTR, MRT con $T_1 = 100h$ .31	
Tabella 15 Allegato G:PFH di sistema calcolato del sistema al variare di MRT, DC, $T_1$ , .....	32
Tabella 16 Allegato H: PFH del sistema economico al variare di MRT, DC, $T_1$ .....	33
Tabella 17 Allegato I: PFH del sistema con configurazione funzionale 1oo3 con MRT = 0,5h .....	34
Tabella 18 Allegato J:PFH del sistema con tasso di guasto migliore .....	35
Tabella 19 Allegato K:PFH del sistema con tasso di guasto e decisore migliore.....	36

Tabella 20 Allegato L:PFH configurazione 1003 e 1003 economico .....37

## Introduzione

L'obiettivo di questo lavoro è stato quello di eseguire un'analisi di sicurezza, suggerire risoluzioni e certificare la conformità di un sistema di emergenza in campo airborne commerciale. La norma di riferimento utilizzata come base per tale studio è la norma CEI EN 61508 2011-02 , in particolare abbiamo utilizzato la parte 6 di questa norma (61508-6)[1] che comprende le linee guida per l'applicazione della IEC 61508-2 e 61508-3.

Il sistema di emergenza sul quale ci è stato commissionato il lavoro ha come compito quello di attivarsi nel caso di una depressurizzazione della cabina, espellendo una mascherina che fornisce ossigeno ai passeggeri, per evitare che questi perdano conoscenza o subiscano danni più gravi dovuti alla carenza di quest'ultimo e deve farlo fino a quando gli altri sistemi di sicurezza presenti sull'aeromobile non riportano il velivolo in uno stato di sicurezza (nuova quota e nuova pressurizzazione degli ambienti).

La funzione svolta dal nostro sistema (o safety function secondo la terminologia utilizzata dalla normativa) è piuttosto semplice. Tuttavia, se consideriamo il momento e le motivazioni in cui essa viene svolta, possiamo capire come un guasto al sistema in queste circostanze non sia tollerabile in quanto pregiudicherebbe la vita di molte persone.

La norma 61508 fornisce le indicazioni ai progettisti per realizzare sistemi di sicurezza con determinati requisiti.

In particolare per questa applicazione il committente ha richiesto un livello di SIL (Safety Integrity Level) pari o superiore a 3. Si ricorda che il SIL è una misura del livello di riduzione del rischio realizzato dalla funzione di sicurezza ed è caratterizzato da un numero compreso tra 1 e 4, dove con 4 sono classificati i sistemi più sicuri.

Il SIL è quindi una misura delle performance del sistema di sicurezza.



# 1 - Descrizione del sistema

La nostra analisi di sicurezza segue le indicazioni e le direttive della norma CEI EN 61508-6 2011-02

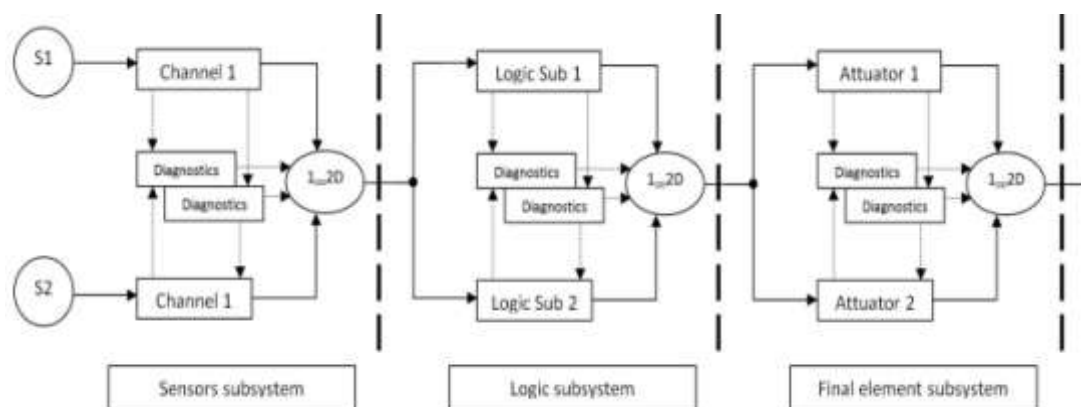


Figura 1 Architettura 1oo2D implementata nel sistema di sicurezza

Prendendo spunto da essa abbiamo supposto che il nostro sistema sia composto da 3 principali sottosistemi:

- Sistema Sensor (l'insieme dell'elettronica necessaria a monitorare un parametro).
- Sistema Logic Solver (l'insieme dell'elettronica programmabile o non programmabile che elabora i dati ricevuti dai sensori e decide come operare).
- Sistema Final Element (l'insieme degli attuatori necessari a svolgere una particolare funzione di sicurezza).

I parametri generali relativi ai vari sottosistemi e alle loro parziale configurazione funzionale che abbiamo avuto come ipotesi iniziali prevedevano:

- $\lambda = 8 \cdot 10^{-3} \text{ guasti } h^{-1}$  (per tutte le configurazioni)
- **configurazione funzionale 1oo2D implementata in almeno uno dei 3 sottoblocchi.**

Per ogni sottosistema abbiamo deciso di utilizzare la configurazione 1oo2D, almeno inizialmente, pensando poi di poterne fare a meno in qualche blocco qualora i requisiti di sicurezza fossero già soddisfatti.



Qualora non si raggiungano i requisiti di sicurezza sarebbe stato necessario discutere soluzioni alternative.

Lo schema logico-funzionale è riportato in figura 1.

## 1.1 - Configurazione funzionale 1oo2D

Questa architettura consiste in due canali connessi in parallelo come è visibile in figura 2. Durante il normale funzionamento, entrambi i canali necessitano di una funzione di sicurezza prima di poter eseguire lo scopo per cui sono stati pensati. In aggiunta se il test di diagnostica rileva un fallimento in uno dei due canali l'uscita del decisore (Blocco circolare) dipenderà solo dal canale che funziona correttamente. Se il test di diagnostica trova in entrambi i canali una discrepanza o un errore il Decisore non modificherà l'uscita ma la porterà in un stato di sicurezza. Al fine di rilevare una discrepanza tra i valori rilevati dai canali, entrambi possono determinare lo stato dell'altro canale tramite mezzi indipendenti l'uno dall'altro. Il canale viene comparato e commutato tramite un meccanismo che non è efficiente al 100% e con K si rappresenta l'efficienza dell'interazione con il meccanismo di commutazione. K sarà determinato da un'analisi FMEA.

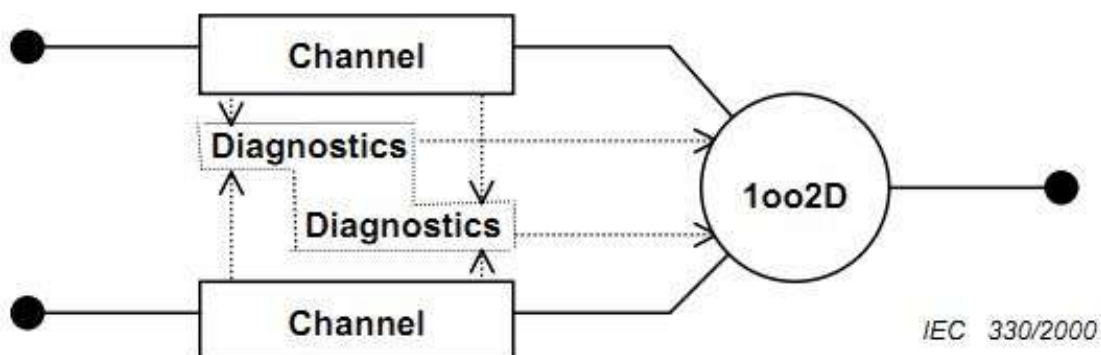


Figura 2 Diagramma a blocchi configurazione 1oo2D

Il sistema diagnostico serve a determinare uno stato di malfunzionamento di uno o entrambi i canali.

Se si verifica il malfunzionamento di un canale e il sistema diagnostico lo rileva viene comunicato all'elemento che esegue il voting e questo ne tiene di conto ignorando il canale errato nel processo di decisione.

Per determinare le differenze tra i canali ogni canale è in grado di verificare lo stato dell'altro. Per il meccanismo di comparazione-scambio la

normative stabilisce una costante  $K=0,98$  ([1]vedi normativa TAB B2 nota 3).

## 1.2 - Sottosistema Sensori

Il sottosistema sensori è basato sull'architettura 1oo2D costituito da 2 sensori di pressione posti nella cabina passeggeri ( uno a prua e uno a poppa, figura 3).

Si ipotizza che la pressione sia uniforme all'interno di tutta la carlinga. Ovvero che eventuali perdite presenti nell'ambiente pressurizzato producano il loro effetto in modo indipendente dalla loro posizione. Se una falla produce un calo di pressione in una parte del comparto il sistema di pressurizzazione registrerà un calo di pressione certamente uniforme tra poppa e prua. Le falle che causano cali di pressione verosimilmente compatibili alle ipotesi fatte non danneggiano in modo significativo la struttura dell'aereo e sono quindi state prese in esame per un sistema di sicurezza. D'altro canto falle importanti nella carlinga la possono danneggiare causando anche esplosioni, in questo caso la mascherina per l'ossigeno sarebbe superflua. Questa ipotesi giustifica il fatto di utilizzare due sensori di pressione in posizioni diverse dell'aereo considerandole comunque come se fossero una configurazione 1oo2D riferita alla stessa misura.

Per la tipologia di sensori abbiamo ipotizzato dei sensori piezoelettrici o piezoresistivi, ma non abbiamo eseguito uno studio affidabilistico a livello di componente.

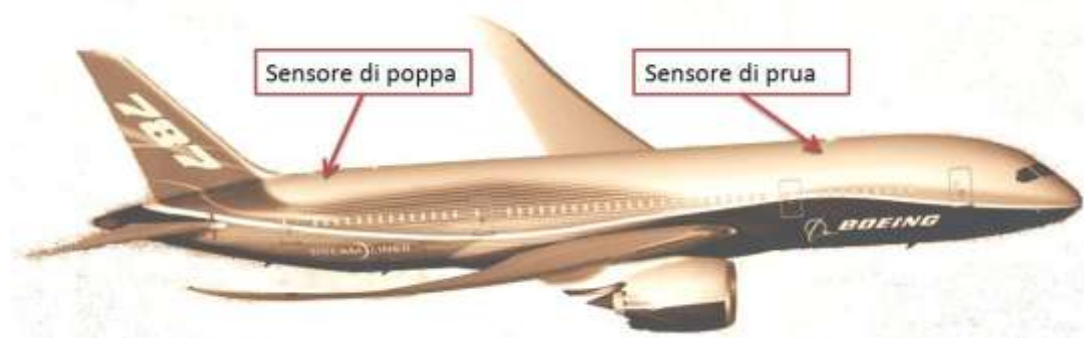


Figura 3 Disposizione sensori

## 1.3 - Sottosistema Logica

Come per il sottosistema sensori, abbiamo optato per una configurazione 1oo2D.

Il Logic Solver risulta perciò costituito da 2 controllori che operano indipendentemente su due canali distinti, aumentando così la affidabilità del sistema per via della ridondanza. Un elemento arbitro decide quale dei due dati ricevuti in ingresso assumere come corretto, una parte di autodiagnostica esegue test sui canali e comunica all'arbitro e agli altri elementi lo stato del canale.

Abbiamo scelto di utilizzare due microcontrollori simili (stessa tecnologia) per i due canali posti in due luoghi separati e su schede separate, differenziati soprattutto a livello software (cioè la funzione svolta è stata ottenuta utilizzando software di programmazione diversi fra loro) per ridurre i possibili guasti di causa comune.

## 1.4 - Sottosistema Attuatori

Per quanto riguarda gli attuatori abbiamo deciso di ipotizzare il sistema costituito da due pistoncini comandati elettronicamente (figura 4) per l'apertura del vano contenente le mascherine.

Ogni elemento è posto su un lato dello sportellino da cui escono i dispositivi di respirazione e ognuno dei due pistoncini è in grado da solo di provocare l'apertura dello sportellino. Quindi in caso di malfunzionamento di uno dei due l'altro da solo è in grado di aprire il vano.

I due circuiti che comandano i due pistoncini sono su due canali separati, indipendenti e sono progettati con elementi e programmazione diversa.



Figura 4 Attuatore

## 2 - Stima di beta

Il parametro Beta permette di valutare la probabilità di guasto per cause comuni.

Questi tipi di guasto influenzano pesantemente l'affidabilità del sistema in quanto rendono inefficaci le tecniche di ridondanza.

Per la sua valutazione non esistono criteri rigorosi, ma la normativa fornisce un metodo ingegneristico che è stato realizzato sulla base di anni di esperienza sul campo.

E' infatti presente un questionario a cui i progettisti devono rispondere a seconda delle scelte progettuali fatte.

Ad ogni risposta è attribuito un punteggio che una volta sommato fornisce il valore di Beta.

La normativa CEI EN 61508-6 dedica un intero capitolo (CEI EN 61508-6 2011-02 ANNEX D) alla stima di questo parametro. Il questionario si trova nella tabella D1 (nel presente testo sotto tabella 1).

Al fine di ridurre il più possibile le probabilità di guasto per cause comuni abbiamo fatto determinate scelte a livello di progetto, valutando un compromesso con quanto effettivamente realizzabile economicamente:

- E' stato scelto infatti di separare fisicamente i due canali di elaborazione e di dislocare i sensori di pressione in zone diverse dell'aereo.
- Per quanto riguarda l'aspetto della diversità hardware e software si è scelto di implementarla soprattutto dal lato software e utilizzando elementi elettronici simili tecnologicamente fra loro come detto in precedenza.
- Abbiamo ipotizzato, per un sistema di questo tipo, di avere a disposizione i risultati di una analisi FMEA/FMECA e di considerare nella progettazione i ritorni dal campo garantiti da anni di applicazioni e esperienze in sistemi simili al nostro.

In base alle ipotesi sopra elencate abbiamo compilato il questionario disponibile sulla normativa ed abbiamo ottenuto un valore di Beta corrispondente al 1% per la parte di logica e al 2% per le parti dei sensori e degli attuatori (vedi tabelle 2 e 3).

Nella tabella 1 sono mostrati anche i valori di Beta corrispondenti ad un sistema economico e ad un sistema in cui non sono stati considerati i guasti di modo comune in fase di progettazione. Per il primo di questi i valori di Beta sono pari al 2% (logica) e 5% (sensori ed attuatori), mentre per il secondo abbiamo 5% e 10%.

In entrambi i casi i due sistemi si dimostrerebbero comunque inadatti alla nostra applicazione.

<b>Scoring programmable electronics or sensors/finale elements</b>		
<b>Separazione/integrazione</b>		Ris
1	I cavi dei segnali sono tutti in canaline diverse	SI
2	La logica è formata da sottosistemi aventi schede diverse	SI
3	I sistemi logici sono fisicamente separati?	SI
4	Se l'elemento sensore finale ha elettronica di controllo dedicata, è questa su separate PCB per ogni canale	SI
5	Se i sensori hanno una elettronica di controllo dedicata, questa elettronica è ubicata in un contenitore diverso?	SI
<b>Diversità/ridondanza</b>		
1	I canali impiegano diverse tecnologie elettriche?	NO
2	I canali impiegano diverse tecnologie elettroniche?	NO
3	I dispositivi impiegano principi fisici diversi per i sensori?	NO
4	I dispositivi impiegano diversi progetti elettrici	NO
5	E' utilizzata una bassa diversità, ad esempio test diagnostici sull'hardware che utilizza la stessa tecnologia?	SI
6	E' utilizzata una media diversità, ad esempio test diagnostici sull'hardware che utilizza diverse tecnologie?	NO
7	I canali sono stati progettati da diversi progettisti che non hanno collaborato o parlato tra di loro?	NO
8	Sono utilizzati diversi test di verifica e diverse persone durante le prove su ciascun canale (commissioning = fase di prova/verifica del veicolo) ?	NO
9	La manutenzione su ciascun canale è effettuata da persone diverse in diversi istanti di tempo?	NO
<b>Complessità/progettazione/applicazione/evoluzione/esperienza</b>		
1	Le interconnessioni tra i canali impediscono lo scambio di ogni altra informazione che non siano quelle utilizzate per test diagnostici o scopi di voting?	SI
2	Il progetto è basato su tecniche utilizzate in altri dispositivi che sono stati utilizzati con successo sul campo per più di 5 anni?	SI
3	Ci sono più di 5 anni di esperienze con lo stesso hardware utilizzato inoltre in ambienti simili?	SI
4	Il sistema è semplice, ad esempio con non più di 10 ingressi o uscite per ogni canale?	SI
5	Gli ingressi e le uscite sono protette dai livelli di potenziale o da sovra tensioni e sovra correnti	SI
6	I dispositivi sono valutati prudentemente (con giudizio) (ad esempio di un fattore 2 o più)	SI

<b>Analisi/Valutazioni e feedback dei dati</b>		
1	Sono stati esaminati i risultati di una FMEA o di un Fault Tree Analysis per stabilire le provenienze dei guasti di modo comune	SI
2	I guasti di modo comune sono stati considerati nelle revisioni del progetto tramite i risultati dei feedback da campo?	SI
3	I guasti sul campo sono stati completamente analizzati ed i feedback sono stati utilizzati nel progetto?	SI
<b>Procedure/Interazioni con l'uomo</b>		
1	E' stata scritta una procedura che assicuri che tutti i guasti dei componenti siano rilevati,	SI
2	Ci sono procedure che assicurano che: la manutenzione su ogni canale indipendente è scaglionata ed inoltre un manuale prevede le manutenzioni successive.	SI
3	Le procedure di manutenzione documentate specificano che tutte le parti dei sistemi ridondati , indipendenti l'una dall'altra non debbano essere spostate?	NO
4	La manutenzione delle schede PCB è effettuata all'esterno in centri di riparazione qualificati e tutti i componenti riparati sono sottoposti ad un test di pre-installazione	NO
5	Il sistema ha un basso DC (Diagnostic Coverage 60%-90%)	SI
6	Il sistema ha un medio DC (Diagnostic Coverage 90%-99%)	NO
7	il sistema ha un alto DC (Diagnostic Coverage >99%)	NO
8	Il sistema di test diagnostici riportano i guasti a livello moduli sostituibili sul campo	SI
<b>Competenza/Formazione/Cultura della sicurezza</b>		
1	I progettisti sono stati formati (con documentazione sulla formazione) per capire le cause e le conseguenze dei guasti di modo comune?	SI
2	Chi esegue la manutenzione è stato formato (con documentazione sulla formazione) per capire le cause e le conseguenze sui guasti di modo comune?	SI
<b>Ambiente di controllo</b>		
1	L'accesso al personale è limitato? (ad esempio quadri chiusi ed inaccessibili)	SI
2	Il sistema lavora nei range di temperatura, umidità, corrosione, polvere, vibrazioni ecc..nei quali è stato testato?	SI
3	I cavi che trasportano i segnali e quelli di potenza/alimentazione sono sempre separati?	SI
<b>Ambiente di test</b>		
1	Il sistema è stato testato per essere immune a tutti i più rilevanti stress ambientali	SI

Tabella 1 Stima del Beta

	Tot	VALORE BETA	Tot	VALORE BETA	Tot	VALORE BETA
<b>TOTALE LOGICA</b>	77	1%	63	2%	30	5%
<b>TOTALE SENSORI/ATTUATORI</b>	83	2%	66	5%	30	10%

Tabella 2 Punteggio totale calcolo Beta

Score (S or S <sub>D</sub> )	Corresponding value of $\beta_{int}$ or $\beta_{D int}$ for the:	
	Logic subsystem	Sensors or final elements
120 or above	0,5 %	1 %
70 to 120	1 %	2 %
45 to 70	2 %	5 %
Less than 45	5 %	10 %

Tabella 3 Intervalli per la stima di Beta forniti dalla norma

### 3 - Stima Dei Parametri

La normativa richiedeva di ipotizzare e stimare di conseguenza alcuni parametri (vedi [1] tab B.1 CEI EN 61508-6:2011-02):

- **$T_1$  (Proof Test Intervall):**

Per il nostro sistema abbiamo ipotizzato una modalità di funzionamento con alta frequenza di proof test.

**Si sono ipotizzati prof test intervall pari a 25 ore, 50 ore e 100 ore**, in base all'utilizzo del sistema.

Il tempo al guasto è nell'ordine delle centinaia di ore di volo, quindi in relazione alle tratte del nostro aereo può essere richiesta una verifica più o meno frequente.

- **MTTR (Mean Time To Restoration):**

Abbiamo ipotizzato dei tempi che vanno da 0,5 ore, a 16 ore per i casi più gravi.

- **MRT (Mean Repair Time):**

Nonostante siano 2 tempi totalmente diversi, la normativa considera questo tempo uguale al MTTR.

Nel nostro caso l'assunzione può considerarsi corretta, perchè si è pensato il sistema in modo tale da non avere reboot ovvero sia operativo appena installato l'hardware.

Per quanto riguarda il sottosistema logic solver si è pensato che qualora debba essere sostituito un controllore, sia sostituito con un altro controllore già programmato.

- **DC (Diagnostic Coverage):**

Abbiamo ipotizzato valori di DC compresi tra 0,4 e 0,99.

- **$\lambda_D$  e  $\lambda_S$**

tassi di guasto Dangerous e Safe. Abbiamo ipotizzato una suddivisione al 50% ovvero:

$$\lambda_D = \lambda_S = \lambda_G/2$$



Si suddividono i guasti pericolosi in Detected (Diagnosticabili) e Undetected (non diagnosticabili) in base al valore di diagnostic coverage.

$$\lambda_{DD} = \lambda_G DC \quad e \quad \lambda_{DU} = \lambda_g (1 - DC)$$

$$\lambda_{SdD} \quad e \quad \lambda_{SU}$$

Tassi dei guasti sicuri diagnosticabili e non.

- $T_{CE}'$ : tempo equivalente medio di non operatività del canale per architettura 1oo2D (in tabella 5 si vedono i  $T_{CE}'$  calcolati per il sistema).

$$T_{CE}' = \frac{\lambda_{DU} \left( \frac{T_1}{2} + MRT \right) + (\lambda_{DD} + \lambda_{SD}) MTTR}{\lambda_{DD} + \lambda_{SD} + \lambda_{DU}}$$

- $PFH_g$ : Frequenza media di fallimento per un sottosistema.

$$PFH_g = 2(1 - \beta)\lambda_{DU} \left( (1 - \beta)\lambda_{DU} + (1 - \beta_D)\lambda_{DD} + \lambda_{SD} \right) t_{CE}' + 2(1 - K)\lambda_{DD} + \beta\lambda_{DU}$$

- $PFH_{SYS}$ : Frequenza media di fallimento per il sistema.

$$PFH_{SYS} = PFH_{SENSOR} + PFH_{LOGIC\ SOLVER} + PFH_{FINALELEMENTS}$$

Per prima cosa abbiamo determinato i tassi dei guasti sicuri e pericolosi, diagnosticabili e non diagnosticabili (tabella 4):

$\lambda$	$\lambda_s$	$\lambda_d$	DC	$\lambda_{Sd}$	$\lambda_{Su}$	$\lambda_{Dd}$	$\lambda_{Du}$
h	h	h	/	h	h	h	h
8,00E-03	4,00E-03	4,00E-03	0,40	1,60E-03	2,40E-03	1,60E-03	2,40E-03
			0,50	2,00E-03	2,00E-03	2,00E-03	2,00E-03
			0,60	2,40E-03	1,60E-03	2,40E-03	1,60E-03
			0,65	2,60E-03	1,40E-03	2,60E-03	1,40E-03
			0,75	3,00E-03	1,00E-03	3,00E-03	1,00E-03
			0,85	3,40E-03	6,00E-04	3,40E-03	6,00E-04
			0,90	3,60E-03	4,00E-04	3,60E-03	4,00E-04
			0,95	3,80E-03	2,00E-04	3,80E-03	2,00E-04
			0,99	3,96E-03	4,00E-05	3,96E-03	4,00E-05

Tabella 4 Tasso di guasto Safe & Dangerous

Abbiamo ipotizzato una copertura dei guasti pericolosi medio-bassa cioè un diagnostic coverage compreso tra il 60% e il 90%.

MTTR	MRT	$\lambda$	K	DC	TCE'		
h	h	h	/	/	h		
					$T_1=25$ h	$T_1=50$ h	$T_1=100$ h
0,5	0,5	0,008	0,980	0,60	3,63	6,75	13,00
				0,65	3,15	5,80	11,11
				0,75	2,29	4,07	7,64
				0,85	1,51	2,53	4,55
				0,90	1,16	1,82	3,13
1	1	0,008	0,980	0,60	4,13	7,25	13,50
				0,65	3,65	6,30	11,61
				0,75	2,79	4,57	8,14
				0,85	2,01	3,03	5,05
				0,90	1,66	2,32	3,63
2	2	0,008	0,980	0,60	5,13	8,25	14,50
				0,65	4,65	7,30	12,61
				0,75	3,79	5,57	9,14
				0,85	3,01	4,03	6,05
				0,90	2,66	3,32	4,63
4	4	0,008	0,980	0,60	7,13	10,25	16,50
				0,65	6,65	9,30	14,61
				0,75	5,79	7,57	11,14
				0,85	5,01	6,03	8,05
				0,90	4,66	5,32	6,63
6	6	0,008	0,980	0,60	9,13	12,25	18,50
				0,65	8,65	11,30	16,61
				0,75	7,79	9,57	13,14
				0,85	7,01	8,03	10,05
				0,90	6,66	7,32	8,63
8	8	0,008	0,980	0,60	11,13	14,25	20,50
				0,65	10,65	13,30	18,61
				0,75	9,79	11,57	15,14
				0,85	9,01	10,03	12,05
				0,90	8,66	9,32	10,63
16	16	0,008	0,980	0,60	19,13	22,25	28,50
				0,65	18,65	21,30	26,61
				0,75	17,79	19,57	23,14
				0,85	17,01	18,03	20,05
				0,90	16,66	17,32	18,63

Tabella 5 Parametri  $t_{cet}$  al variare di MTTR e MRT diagnostic coverage e  $T_1$

Grazie a tutti i valori calcolati fin qui si ottengono i diversi valori per il  $PFH_g$  dei vari sottosistemi, e dalla loro combinazione si ottiene il  $PFH_{sys}$  (tabella 6).

PFH <sub>G</sub>							
$\lambda = 8 \exp(-3) \text{ h}^{-1}$ $\beta = 1\%$ $\beta D = 0,5\%$ {solo sottosistemi di tipo B} $T_1 = 25$ ore							
DC	MRT=MTTR [h]						
\	0,5	1	2	4	6	8	16
0,6	1,852E-04	1,953E-04	2,155E-04	2,558E-04	2,962E-04	3,366E-04	4,981E-04
0,65	1,754E-04	1,845E-04	2,028E-04	2,392E-04	2,756E-04	3,121E-04	4,578E-04
0,75	1,616E-04	1,685E-04	1,823E-04	2,099E-04	2,375E-04	2,651E-04	3,756E-04
0,85	1,553E-04	1,596E-04	1,684E-04	1,859E-04	2,035E-04	2,210E-04	2,911E-04
0,9	1,549E-04	1,580E-04	1,640E-04	1,760E-04	1,880E-04	2,000E-04	2,480E-04
$\lambda = 8 \exp(-3) \text{ h}^{-1}$ $\beta = 2\%$ $\beta D = 1\%$ $T_1 = 25$ ore							
DC	MRT=MTTR [h]						
\	0,5	1	2	4	6	8	16
0,6	2,001E-04	2,101E-04	2,300E-04	2,698E-04	3,095E-04	3,493E-04	5,085E-04
0,65	1,886E-04	1,976E-04	2,156E-04	2,515E-04	2,874E-04	3,233E-04	4,670E-04
0,75	1,711E-04	1,779E-04	1,916E-04	2,188E-04	2,461E-04	2,733E-04	3,823E-04
0,85	1,611E-04	1,654E-04	1,741E-04	1,914E-04	2,087E-04	2,260E-04	2,951E-04
0,9	1,589E-04	1,618E-04	1,677E-04	1,796E-04	1,914E-04	2,033E-04	2,507E-04
$\lambda = 8 \exp(-3) \text{ h}^{-1}$ $\beta = 5\%$ $\beta D = 2\%$ $T_1 = 25$ ore							
DC	MRT=MTTR [h]						
\	0,5	1	2	4	6	8	16
0,6	2,451E-04	2,547E-04	2,737E-04	3,119E-04	3,500E-04	3,881E-04	5,407E-04
0,65	2,283E-04	2,369E-04	2,542E-04	2,886E-04	3,231E-04	3,575E-04	4,954E-04
0,75	1,999E-04	2,065E-04	2,196E-04	2,457E-04	2,719E-04	2,981E-04	4,028E-04
0,85	1,786E-04	1,828E-04	1,911E-04	2,077E-04	2,244E-04	2,410E-04	3,076E-04
0,9	1,706E-04	1,735E-04	1,792E-04	1,906E-04	2,020E-04	2,134E-04	2,591E-04
$\lambda = 8 \exp(-3) \text{ h}^{-1}$ $\beta = 10\%$ $\beta D = 5\%$ $T_1 = 25$ ore							
DC	MRT=MTTR [h]						
\	0,5	1	2	4	6	8	16
0,6	3,199E-04	3,287E-04	3,463E-04	3,816E-04	4,168E-04	4,521E-04	5,931E-04
0,65	2,943E-04	3,022E-04	3,182E-04	3,501E-04	3,820E-04	4,139E-04	5,415E-04
0,75	2,478E-04	2,538E-04	2,660E-04	2,903E-04	3,146E-04	3,389E-04	4,361E-04
0,85	2,077E-04	2,116E-04	2,193E-04	2,348E-04	2,503E-04	2,658E-04	3,277E-04
0,9	1,902E-04	1,928E-04	1,981E-04	2,088E-04	2,194E-04	2,300E-04	2,725E-04

Tabella 6 PFH<sub>G</sub> al variare di DC,  $\beta$ , MTTR, MRT in relazione alle formule indicate dalla [1]

I nostri sottosistemi hanno stessa configurazione funzionale e stesso tasso di guasto, i valori in tabella vanno bene per tutti i sottosistemi.

*(In allegato ci sono le tabelle che mostrano le variazioni in base al valore del proof test interval).*

## 4 - Stima del SIL

Per calcolare i valori di  $PFH_{SYS}$  è sufficiente utilizzare la formula :

$$PFH_{SYS} = PFH_{SENSOR} + PFH_{LOGIC\ SOLVER} + PFH_{FINAL\ ELEMENTS}$$

L'indice SIL può essere stimato come in figura 5 a partire dai valori ottenuti in tabella 7 e tabella 8, in base ai valori PFH-PFD del sistema calcolati in accordo con i modelli della normativa.

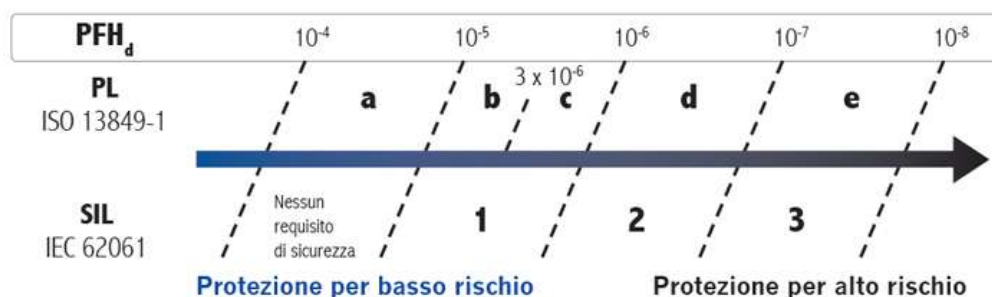


Figura 5 SIL al variare del PFH

PFH <sub>SYS</sub> - soluzione economica							
$\Lambda = 8 \exp(-3) \text{ h}^{-1}$ $\beta_{S/FE} = 5\%$ $\beta_{LS} = 2\%$ $T_1 = 25 \text{ ore}$							
DC	MRT=MTTR [h]						
\	0,5	1	2	4	6	8	16
0,6	6,904E-04	7,194E-04	7,774E-04	8,935E-04	1,010E-03	1,126E-03	1,590E-03
0,65	6,452E-04	6,714E-04	7,239E-04	8,287E-04	9,336E-04	1,038E-03	1,458E-03
0,75	5,710E-04	5,909E-04	6,307E-04	7,103E-04	7,899E-04	8,695E-04	1,188E-03
0,85	5,183E-04	5,309E-04	5,562E-04	6,068E-04	6,574E-04	7,080E-04	9,104E-04
0,9	5,001E-04	5,087E-04	5,261E-04	5,607E-04	5,954E-04	6,301E-04	7,688E-04
$\Lambda = 8 \exp(-3) \text{ h}^{-1}$ $\beta_{S/FE} = 5\%$ $\beta_{LS} = 2\%$ $T_1 = 50 \text{ ore}$							
DC	MRT=MTTR [h]						
\	0,5	1	2	4	6	8	16
0,6	8,717E-04	9,007E-04	9,587E-04	1,075E-03	1,191E-03	1,307E-03	1,771E-03
0,65	7,842E-04	8,104E-04	8,629E-04	9,677E-04	1,073E-03	1,177E-03	1,597E-03
0,75	6,421E-04	6,620E-04	7,018E-04	7,814E-04	8,610E-04	9,406E-04	1,259E-03
0,85	5,439E-04	5,566E-04	5,819E-04	6,325E-04	6,831E-04	7,337E-04	9,360E-04
0,9	5,115E-04	5,201E-04	5,375E-04	5,722E-04	6,068E-04	6,415E-04	7,802E-04
$\Lambda = 8 \exp(-3) \text{ h}^{-1}$ $\beta_{S/FE} = 5\%$ $\beta_{LS} = 2\%$ $T_1 = 100 \text{ ore}$							
DC	MRT=MTTR [h]						
\	0,5	1	2	4	6	8	16
0,6	1,234E-03	1,263E-03	1,321E-03	1,437E-03	1,554E-03	1,670E-03	2,134E-03
0,65	1,062E-03	1,088E-03	1,141E-03	1,246E-03	1,351E-03	1,455E-03	1,875E-03
0,75	7,842E-04	8,041E-04	8,439E-04	9,235E-04	1,003E-03	1,083E-03	1,401E-03
0,85	5,952E-04	6,079E-04	6,331E-04	6,837E-04	7,343E-04	7,849E-04	9,873E-04
0,9	5,343E-04	5,430E-04	5,603E-04	5,950E-04	6,296E-04	6,643E-04	8,030E-04

Tabella 7 PFH di una\* realizzazione più economica del sistema al variare dei parametri [1]

PFH <sub>sys</sub>							
$\Lambda = 8 \exp(-3) \text{ h}^{-1}$ $\beta_{S/FE} = 2\%$ $\beta_{LS} = 1\%$ $T_1 = 25 \text{ ore}$							
DC	MRT=MTTR [h]						
\	0,5	1	2	4	6	8	16
0,6	5,854E-04	6,154E-04	6,754E-04	7,953E-04	9,153E-04	1,035E-03	1,515E-03
0,65	5,526E-04	5,797E-04	6,339E-04	7,421E-04	8,504E-04	9,587E-04	1,392E-03
0,75	5,038E-04	5,244E-04	5,654E-04	6,475E-04	7,296E-04	8,117E-04	1,140E-03
0,85	4,774E-04	4,905E-04	5,165E-04	5,687E-04	6,208E-04	6,729E-04	8,814E-04
0,9	4,727E-04	4,816E-04	4,994E-04	5,351E-04	5,708E-04	6,065E-04	7,493E-04
$\Lambda = 8 \exp(-3) \text{ h}^{-1}$ $\beta_{S/FE} = 2\%$ $\beta_{LS} = 1\%$ $T_1 = 50 \text{ ore}$							
DC	MRT=MTTR [h]						
\	0,5	1	2	4	6	8	16
0,6	7,728E-04	8,028E-04	8,628E-04	9,828E-04	1,103E-03	1,223E-03	1,702E-03
0,65	6,962E-04	7,233E-04	7,774E-04	8,857E-04	9,940E-04	1,102E-03	1,535E-03
0,75	5,772E-04	5,977E-04	6,387E-04	7,208E-04	8,030E-04	8,851E-04	1,213E-03
0,85	5,039E-04	5,169E-04	5,429E-04	5,951E-04	6,472E-04	6,993E-04	9,078E-04
0,9	4,844E-04	4,933E-04	5,112E-04	5,469E-04	5,826E-04	6,183E-04	7,611E-04
$\Lambda = 8 \exp(-3) \text{ h}^{-1}$ $\beta_{S/FE} = 2\%$ $\beta_{LS} = 1\%$ $T_1 = 100 \text{ ore}$							
DC	MRT=MTTR [h]						
\	0,5	1	2	4	6	8	16
0,6	1,148E-03	1,178E-03	1,238E-03	1,358E-03	1,478E-03	1,598E-03	2,077E-03
0,65	9,833E-04	1,010E-03	1,065E-03	1,173E-03	1,281E-03	1,389E-03	1,823E-03
0,75	7,238E-04	7,443E-04	7,854E-04	8,675E-04	9,496E-04	1,032E-03	1,360E-03
0,85	5,567E-04	5,697E-04	5,958E-04	6,479E-04	7,000E-04	7,521E-04	9,606E-04
0,9	5,079E-04	5,168E-04	5,347E-04	5,704E-04	6,061E-04	6,418E-04	7,846E-04

Tabella 8 PFH del miglior sistema proposto

Per utilizzare questo sistema occorrerà fare delle verifiche e manutenzioni periodiche molto frequenti e in ogni caso visti i valori ottenuti non sarà adatto per un utilizzo in ambiente aereonavale.

## Risultato dell'analisi e proposta alternativa

I risultati ottenuti evidenziano che, anche implementando una configurazione 1oo2D su tutti i sottosistemi, con i componenti messi a disposizione dal committente, è impossibile raggiungere il requisito di sicurezza richiesto (SIL3).

Nella tabella 6 si vede che anche ponendosi nelle migliori condizioni possibili (valori meno conservativi per T1, DC,  $\beta$ , MRT, MITR) non si ottengono i valori di PFH desiderati.

Una volta verificato che la configurazione 1oo2D non è sufficiente per ottenere i risultati voluti, lo studio si è orientato ad individuare gli elementi che pesano maggiormente nel calcolo del PFH al fine di migliorarlo e capire su quali parti è più indicato intervenire.

Osservando la configurazione funzionale 1oo2D è presente un parametro K, riferito al possibile errore di scambio commesso dal decisore sull'uscita nel momento in cui la diagnostica rileva un mal funzionamento sul canale, che penalizza in modo significativo il miglioramento ottenuto con la ridondanza. Il primo tentativo di migliorare il sistema è stato modificare il solo comportamento delle elettroniche arbitro del sistema- utilizzando per esse componenti di migliore qualità a livello di affidabilità- lasciando inalterato ogni altro componente e ogni configurazione, per ottenere risultati massimi con il minor sforzo progettuale e possibilmente economico. Il K nel sistema sotto esame pesa per circa  $\frac{3}{4}$  del valore di PFH. Anche ipotizzando di utilizzare componenti che abbiano un valore di K prossimo a 1 ( $K=0,999$ ), ovvero riferito a ottimi componenti per il decisore, non si raggiungono gli obiettivi richiesti.

Abbiamo rivisto la struttura del sistema implementando una configurazione funzionale 1oo3 in ogni blocco sottosistema, quindi introducendo sia una complicazione di carattere globale nel progetto che un aggravio economico. Anche in questo caso il miglioramento ottenuto in termini di sicurezza (PFH) non è comunque risultato sufficiente (tabella 17).

Dati alla mano abbiamo informato il committente non risultava possibile raggiungere i requisiti di sicurezza richiesti in conformità alla norma CEI-EN 61508 con i componenti messi a disposizione neanche utilizzandone un quantitativo superiore al quello preventivato (ulteriore ridondanza; configurazione funzionale 1oo3) e neanche introducendo un numero limitato di componenti di qualità superiore (spesa contenuta, basso sforzo progettuale; modifica del parametro K dei decisori).

Abbiamo raccolto informazioni sulla componentistica di solito impiegata in campo airborne e ad esempio per quanto riguarda i sensori di pressione i maggiori produttori mondiali di questi elementi garantiscono

che i loro prodotti superano almeno i valori di 100000 h di MTBF [2] (quindi tassi di guasto nella vita utile del componente inferiori a  $1 \cdot 10^{-5}$  guasti/h).

Per tanto abbiamo fatto presente al committente che qualora volesse produrre un sistema di sicurezza da impiegare in campo airborne avrebbe dovuto riconsiderare la componentistica implementata e il progetto in modo da raggiungere valori di  $\lambda$  almeno nell'ordine di  $1 \cdot 10^{-5}$  guasti/h per ogni sottosistema base.

Il committente ha rivisto i propri piani e ci ha fornito sottosistemi base per l'analisi di sicurezza che hanno il valore di tasso di guasto suggerito, lasciandoci maggiore libertà di azione per quanto riguarda le soluzioni progettuali su cui svolgere l'indagine.

Come si può vedere dalla tabella 18, con i nuovi valori di tasso di guasto il sistema in configurazione funzionale 1002D si avvicina al valore di PFH richiesto per il SIL3 ma non lo raggiunge per nessun valore di DC.

Il sistema modificato con l'introduzione di un decisore di qualità superiore migliora le performance di sicurezza ulteriormente portando al raggiungimento dei requisiti richiesti per un range abbastanza ampio di valori del DC (Tabella 19).

Infine il sistema che implementa una configurazione funzionale 1003 soddisfa le specifiche per un ampio range di valori del DC, superandoli di almeno un ordine di grandezza per valori estremamente ottimistici del DC (tabella 20).

Il committente - una volta considerati gli aggravii nei costi dovuti alla nuova componentistica, al nuovo design del decisore di precisione superiore alla media, al nuovo design e il maggior numero di componenti richiesti dalla configurazione 1003 ed i risultati ottenuti da ognuna delle due differenti soluzioni - potrà scegliere quale di questi provare a produrre per introdurlo sul mercato.

# **BIBLIOGRAFIA**

[1] Norma 61508-6

[2] [www.kulite.com](http://www.kulite.com)



		Sistema ottimo				Soluzione economica				Guasti comuni trascurati			
		Logica		Sensori/attuatori		Logica		Sensori/attuatori		Logica		Sensori/attuatori	
N°	Ris	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
<b>Separazione/integrazione</b>													
1	SI	1,5	2	1	2	0	0	1	2	0	0	0	0
2	SI	3	1			0	0			0	0		
3	SI	2,5	1			0	0			0	0		
4	SI			3	2			3	2			0	0
5	SI			3	1			3	1			0	0
<b>Diversità/ridondanza</b>													
1	NO												
2	NO												
3	NO												
4	NO												
5	SI	2	1										
6	NO					3	2			0	0		
7	NO					2	2			0	0		
8	NO			1	2	1	1	1	2	0	0	0	0
9	NO			3		3		3		0		0	
<b>Complessità/progettazione/applicazione/evoluzione/esperienza</b>													
1	SI	0,5	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
2	SI	0,5	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
3	SI	1	2	2	2	1	2	2	2	0	0	0	0
4	SI		1				1				0		
5	SI	1,5	1	2	1	2	1	2	1	0	0	0	0
6	SI	2		2		2		2		0		0	

Tabella 9 Allegato A: Punteggio domande stima Beta 1

Analisi/Valutazioni e feedback dei dati													
1	SI		3		3		0		0		0		0
2	SI		3		3		0		0		0		0
3	SI	0,5	4	1	4	0	0	0	0	0	0	0	0
Procedure/Interazioni con l'uomo													
1	SI		2	1	2		0	0	0		0	0	0
2	SI	1,5	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0
3	NO					0	0	0	0	0	0	0	0
4	NO					0	0	0	0	0	0	0	0
5	SI	0,5				0				0			
6	NO												
7	NO												
8	SI			1	1								
Competenza/Formazione/Cultura della sicurezza													
1	SI	2	3	2	3	2	3	2	3	0	0	0	0
2	SI	0,5	5	1	5	1	5	1	5	0	0	0	0
Ambiente di controllo													
1	SI	0,5	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	2,5
2	SI	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1
3	SI	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
Ambiente di test													
1	SI	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

Tabella 10 Allegato B: Punteggio domande stima Beta 2

MTTR	MRT	$\lambda$	K	DC	TCE'		
					h		
					$T_1=365$ h	$T_1=730$ h	$T_1=2190$ h
0,5	0,5	0,008	0,980	0,40	5,86	11,21	21,93
				0,50	4,67	8,83	17,17
				0,60	3,63	6,75	13,00
				0,65	3,15	5,80	11,11
				0,75	2,29	4,07	7,64
				0,85	1,51	2,53	4,55
				0,90	1,16	1,82	3,13
				0,95	0,82	1,14	1,78
				0,99	0,56	0,63	0,75
1	1	0,008	0,980	0,40	6,36	11,71	22,43
				0,50	5,17	9,33	17,67
				0,60	4,13	7,25	13,50
				0,65	3,65	6,30	11,61
				0,75	2,79	4,57	8,14
				0,85	2,01	3,03	5,05
				0,90	1,66	2,32	3,63
				0,95	1,32	1,64	2,28
				0,99	1,06	1,13	1,25
2	2	0,008	0,980	0,40	7,36	12,71	23,43
				0,50	6,17	10,33	18,67
				0,60	5,13	8,25	14,50
				0,65	4,65	7,30	12,61
				0,75	3,79	5,57	9,14
				0,85	3,01	4,03	6,05
				0,90	2,66	3,32	4,63
				0,95	2,32	2,64	3,28
				0,99	2,06	2,13	2,25
4	4	0,008	0,980	0,40	9,36	14,71	25,43
				0,50	8,17	12,33	20,67
				0,60	7,13	10,25	16,50
				0,65	6,65	9,30	14,61
				0,75	5,79	7,57	11,14
				0,85	5,01	6,03	8,05
				0,90	4,66	5,32	6,63
				0,95	4,32	4,64	5,28
				0,99	4,06	4,13	4,25

MTTR	MRT	$\lambda$	K	DC	TCE'		
h	h	h	/	/	h		
					$T_1=365$ h	$T_1=730$ h	$T_1=2190$ h
6	6	0,008	0,980	0,40	11,36	16,71	27,43
				0,50	10,17	14,33	22,67
				0,60	9,13	12,25	18,50
				0,65	8,65	11,30	16,61
				0,75	7,79	9,57	13,14
				0,85	7,01	8,03	10,05
				0,90	6,66	7,32	8,63
				0,95	6,32	6,64	7,28
				0,99	6,06	6,13	6,25
8	8	0,008	0,980	0,40	13,36	18,71	29,43
				0,50	12,17	16,33	24,67
				0,60	11,13	14,25	20,50
				0,65	10,65	13,30	18,61
				0,75	9,79	11,57	15,14
				0,85	9,01	10,03	12,05
				0,90	8,66	9,32	10,63
				0,95	8,32	8,64	9,28
				0,99	8,06	8,13	8,25
16	16	0,008	0,980	0,40	21,36	26,71	37,43
				0,50	20,17	24,33	32,67
				0,60	19,13	22,25	28,50
				0,65	18,65	21,30	26,61
				0,75	17,79	19,57	23,14
				0,85	17,01	18,03	20,05
				0,90	16,66	17,32	18,63
				0,95	16,32	16,64	17,28
				0,99	16,06	16,13	16,25

Tabella 11 Allegato C:Calcolo di TCE' per valori diversi di DC, con T1=365h, T1=730, T1= 2190h

PFH <sub>G</sub>							
$\lambda = 8 \exp(-3) \text{ h}^{-1}$ $\beta = 1\%$ $\beta D = 0,5\%$ {solo sottosistemi di tipo B} $T_1 = 25 \text{ ore}$							
DC	MRT=MTTR [h]						
\	0,5	1	2	4	6	8	16
0,4	2,430E-04	2,562E-04	2,827E-04	3,356E-04	3,885E-04	4,414E-04	6,531E-04
0,5	2,103E-04	2,221E-04	2,458E-04	2,931E-04	3,404E-04	3,876E-04	5,768E-04
0,6	1,852E-04	1,953E-04	2,155E-04	2,558E-04	2,962E-04	3,366E-04	4,981E-04
0,65	1,754E-04	1,845E-04	2,028E-04	2,392E-04	2,756E-04	3,121E-04	4,578E-04
0,75	1,616E-04	1,685E-04	1,823E-04	2,099E-04	2,375E-04	2,651E-04	3,756E-04
0,85	1,553E-04	1,596E-04	1,684E-04	1,859E-04	2,035E-04	2,210E-04	2,911E-04
0,9	1,549E-04	1,580E-04	1,640E-04	1,760E-04	1,880E-04	2,000E-04	2,480E-04
0,95	1,565E-04	1,581E-04	1,611E-04	1,673E-04	1,735E-04	1,796E-04	2,043E-04
0,99	1,592E-04	1,595E-04	1,601E-04	1,614E-04	1,626E-04	1,639E-04	1,689E-04
$\lambda = 8 \exp(-3) \text{ h}^{-1}$ $\beta = 2\%$ $\beta D = 1\%$ $T_1 = 25 \text{ ore}$							
DC	MRT=MTTR [h]						
\	0,5	1	2	4	6	8	16
0,4	2,645E-04	2,775E-04	3,036E-04	3,557E-04	4,078E-04	4,598E-04	6,682E-04
0,5	2,287E-04	2,403E-04	2,636E-04	3,102E-04	3,567E-04	4,033E-04	5,896E-04
0,6	2,001E-04	2,101E-04	2,300E-04	2,698E-04	3,095E-04	3,493E-04	5,085E-04
0,65	1,886E-04	1,976E-04	2,156E-04	2,515E-04	2,874E-04	3,233E-04	4,670E-04
0,75	1,711E-04	1,779E-04	1,916E-04	2,188E-04	2,461E-04	2,733E-04	3,823E-04
0,85	1,611E-04	1,654E-04	1,741E-04	1,914E-04	2,087E-04	2,260E-04	2,951E-04
0,9	1,589E-04	1,618E-04	1,677E-04	1,796E-04	1,914E-04	2,033E-04	2,507E-04
0,95	1,585E-04	1,600E-04	1,631E-04	1,691E-04	1,752E-04	1,813E-04	2,056E-04
0,99	1,595E-04	1,599E-04	1,605E-04	1,617E-04	1,630E-04	1,642E-04	1,692E-04
$\lambda = 8 \exp(-3) \text{ h}^{-1}$ $\beta = 5\%$ $\beta D = 2\%$ $T_1 = 25 \text{ ore}$							
DC	MRT=MTTR [h]						
\	0,5	1	2	4	6	8	16
0,4	3,295E-04	3,419E-04	3,668E-04	4,165E-04	4,661E-04	5,158E-04	7,146E-04
0,5	2,839E-04	2,951E-04	3,173E-04	3,619E-04	4,064E-04	4,509E-04	6,291E-04
0,6	2,451E-04	2,547E-04	2,737E-04	3,119E-04	3,500E-04	3,881E-04	5,407E-04
0,65	2,283E-04	2,369E-04	2,542E-04	2,886E-04	3,231E-04	3,575E-04	4,954E-04
0,75	1,999E-04	2,065E-04	2,196E-04	2,457E-04	2,719E-04	2,981E-04	4,028E-04
0,85	1,786E-04	1,828E-04	1,911E-04	2,077E-04	2,244E-04	2,410E-04	3,076E-04
0,9	1,706E-04	1,735E-04	1,792E-04	1,906E-04	2,020E-04	2,134E-04	2,591E-04
0,95	1,644E-04	1,659E-04	1,688E-04	1,747E-04	1,805E-04	1,864E-04	2,098E-04
0,99	1,607E-04	1,610E-04	1,616E-04	1,628E-04	1,640E-04	1,652E-04	1,700E-04

Tabella 12 Allegato D: PFH di sottosistema calcolato al variare di DC, MRT,  $\beta$  con  $T_1 = 25\text{h}$

PFH <sub>G</sub>							
$\lambda = 8 \exp(-3) \text{ h}^{-1}$ $\beta = 1\%$ $\beta D = 0,5\%$ {solo sottosistemi di tipo B} $T_1 = 50 \text{ ore}$							
DC	MRT=MTTR [h]						
\	0,5	1	2	4	6	8	16
0,4	3,847E-04	3,979E-04	4,244E-04	4,773E-04	5,302E-04	5,832E-04	7,948E-04
0,5	3,088E-04	3,207E-04	3,443E-04	3,916E-04	4,389E-04	4,861E-04	6,753E-04
0,6	2,483E-04	2,584E-04	2,785E-04	3,189E-04	3,593E-04	3,997E-04	5,611E-04
0,65	2,237E-04	2,328E-04	2,511E-04	2,875E-04	3,239E-04	3,604E-04	5,061E-04
0,75	1,862E-04	1,931E-04	2,069E-04	2,346E-04	2,622E-04	2,898E-04	4,003E-04
0,85	1,641E-04	1,685E-04	1,773E-04	1,948E-04	2,123E-04	2,299E-04	3,000E-04
0,9	1,589E-04	1,619E-04	1,679E-04	1,799E-04	1,919E-04	2,039E-04	2,519E-04
0,95	1,575E-04	1,591E-04	1,621E-04	1,683E-04	1,745E-04	1,806E-04	2,053E-04
0,99	1,592E-04	1,595E-04	1,601E-04	1,614E-04	1,627E-04	1,639E-04	1,689E-04
$\lambda = 8 \exp(-3) \text{ h}^{-1}$ $\beta = 2\%$ $\beta D = 1\%$ $T_1 = 50 \text{ ore}$							
DC	MRT=MTTR [h]						
\	0,5	1	2	4	6	8	16
0,4	4,040E-04	4,171E-04	4,431E-04	4,952E-04	5,473E-04	5,993E-04	8,077E-04
0,5	3,257E-04	3,373E-04	3,606E-04	4,072E-04	4,537E-04	5,003E-04	6,866E-04
0,6	2,623E-04	2,722E-04	2,921E-04	3,319E-04	3,717E-04	4,115E-04	5,707E-04
0,65	2,362E-04	2,452E-04	2,632E-04	2,991E-04	3,350E-04	3,710E-04	5,146E-04
0,75	1,955E-04	2,023E-04	2,159E-04	2,431E-04	2,704E-04	2,976E-04	4,066E-04
0,85	1,699E-04	1,742E-04	1,828E-04	2,001E-04	2,174E-04	2,347E-04	3,039E-04
0,9	1,628E-04	1,657E-04	1,716E-04	1,835E-04	1,953E-04	2,072E-04	2,546E-04
0,95	1,595E-04	1,610E-04	1,640E-04	1,701E-04	1,762E-04	1,823E-04	2,066E-04
0,99	1,596E-04	1,599E-04	1,605E-04	1,618E-04	1,630E-04	1,642E-04	1,692E-04
$\lambda = 8 \exp(-3) \text{ h}^{-1}$ $\beta = 5\%$ $\beta D = 2\%$ $T_1 = 50 \text{ ore}$							
DC	MRT=MTTR [h]						
\	0,5	1	2	4	6	8	16
0,4	4,626E-04	4,750E-04	4,999E-04	5,495E-04	5,992E-04	6,489E-04	8,477E-04
0,5	3,767E-04	3,878E-04	4,101E-04	4,546E-04	4,992E-04	5,437E-04	7,219E-04
0,6	3,047E-04	3,142E-04	3,333E-04	3,714E-04	4,096E-04	4,477E-04	6,002E-04
0,65	2,740E-04	2,826E-04	2,998E-04	3,343E-04	3,688E-04	4,032E-04	5,411E-04
0,75	2,233E-04	2,298E-04	2,429E-04	2,691E-04	2,953E-04	3,215E-04	4,262E-04
0,85	1,870E-04	1,912E-04	1,995E-04	2,162E-04	2,328E-04	2,495E-04	3,161E-04
0,9	1,744E-04	1,772E-04	1,829E-04	1,943E-04	2,057E-04	2,172E-04	2,628E-04
0,95	1,653E-04	1,668E-04	1,697E-04	1,756E-04	1,815E-04	1,873E-04	2,108E-04
0,99	1,608E-04	1,611E-04	1,617E-04	1,629E-04	1,641E-04	1,653E-04	1,701E-04

Tabella 13 Allegato E:PFH di sottosistema calcolato al variare di DC,  $\beta$ , MTTR, MRT con  $T_1 = 50\text{h}$

PFH <sub>G</sub>							
$\lambda = 8 \exp(-3) h^{-1}$ $\beta = 1\%$ $\beta D = 0,5\%$ {solo sottosistemi di tipo B} $T_1 = 100$ ore							
DC	MRT=MTTR [h]						
\	0,5	1	2	4	6	8	16
0,4	6,682E-04	6,814E-04	7,079E-04	7,608E-04	8,137E-04	8,667E-04	1,078E-03
0,5	5,058E-04	5,177E-04	5,413E-04	5,886E-04	6,359E-04	6,831E-04	8,723E-04
0,6	3,744E-04	3,845E-04	4,047E-04	4,451E-04	4,855E-04	5,258E-04	6,873E-04
0,65	3,204E-04	3,295E-04	3,477E-04	3,841E-04	4,206E-04	4,570E-04	6,028E-04
0,75	2,356E-04	2,425E-04	2,563E-04	2,839E-04	3,115E-04	3,391E-04	4,496E-04
0,85	1,819E-04	1,863E-04	1,951E-04	2,126E-04	2,301E-04	2,476E-04	3,178E-04
0,9	1,668E-04	1,698E-04	1,758E-04	1,878E-04	1,998E-04	2,118E-04	2,598E-04
0,95	1,595E-04	1,610E-04	1,641E-04	1,703E-04	1,764E-04	1,826E-04	2,072E-04
0,99	1,593E-04	1,596E-04	1,602E-04	1,615E-04	1,627E-04	1,640E-04	1,690E-04
$\lambda = 8 \exp(-3) h^{-1}$ $\beta = 2\%$ $\beta D = 1\%$ $T_1 = 100$ ore							
DC	MRT=MTTR [h]						
\	0,5	1	2	4	6	8	16
0,4	6,830E-04	6,961E-04	7,221E-04	7,742E-04	8,263E-04	8,784E-04	1,087E-03
0,5	5,197E-04	5,314E-04	5,546E-04	6,012E-04	6,478E-04	6,944E-04	8,806E-04
0,6	3,866E-04	3,966E-04	4,165E-04	4,563E-04	4,961E-04	5,358E-04	6,950E-04
0,65	3,315E-04	3,405E-04	3,584E-04	3,944E-04	4,303E-04	4,662E-04	6,099E-04
0,75	2,441E-04	2,509E-04	2,645E-04	2,918E-04	3,190E-04	3,463E-04	4,553E-04
0,85	1,874E-04	1,917E-04	2,004E-04	2,177E-04	2,350E-04	2,522E-04	3,214E-04
0,9	1,706E-04	1,735E-04	1,794E-04	1,913E-04	2,031E-04	2,150E-04	2,624E-04
0,95	1,614E-04	1,629E-04	1,660E-04	1,721E-04	1,781E-04	1,842E-04	2,086E-04
0,99	1,597E-04	1,600E-04	1,606E-04	1,618E-04	1,631E-04	1,643E-04	1,693E-04
$\lambda = 8 \exp(-3) h^{-1}$ $\beta = 5\%$ $\beta D = 2\%$ $T_1 = 100$ ore							
DC	MRT=MTTR [h]						
\	0,5	1	2	4	6	8	16
0,4	7,288E-04	7,412E-04	7,660E-04	8,157E-04	8,654E-04	9,151E-04	1,114E-03
0,5	5,623E-04	5,734E-04	5,957E-04	6,402E-04	6,847E-04	7,293E-04	9,074E-04
0,6	4,239E-04	4,334E-04	4,525E-04	4,906E-04	5,287E-04	5,669E-04	7,194E-04
0,65	3,654E-04	3,740E-04	3,912E-04	4,257E-04	4,601E-04	4,946E-04	6,325E-04
0,75	2,701E-04	2,766E-04	2,897E-04	3,159E-04	3,421E-04	3,682E-04	4,730E-04
0,85	2,039E-04	2,081E-04	2,164E-04	2,330E-04	2,497E-04	2,663E-04	3,329E-04
0,9	1,819E-04	1,847E-04	1,904E-04	2,018E-04	2,133E-04	2,247E-04	2,703E-04
0,95	1,672E-04	1,687E-04	1,716E-04	1,775E-04	1,833E-04	1,892E-04	2,127E-04
0,99	1,608E-04	1,611E-04	1,617E-04	1,629E-04	1,641E-04	1,653E-04	1,701E-04

Tabella 14 Allegato F: PFH di sottosistema calcolato al variare di DC,  $\beta$ , MTTR, MRT con  $T_1 = 100h$

PFH <sub>SYS</sub>							
$\Lambda = 8 \exp(-3) \text{ h}^{-1} \quad \beta_{S/FE} = 2\% \quad \beta_{LS} = 1\% \quad T_1 = 25 \text{ ore}$							
DC	MRT=MTTR [h]						
\	0,5	1	2	4	6	8	16
0,4	7,720E-04	8,113E-04	8,898E-04	1,047E-03	1,204E-03	1,361E-03	1,989E-03
0,5	6,677E-04	7,028E-04	7,730E-04	9,134E-04	1,054E-03	1,194E-03	1,756E-03
0,6	5,854E-04	6,154E-04	6,754E-04	7,953E-04	9,153E-04	1,035E-03	1,515E-03
0,65	5,526E-04	5,797E-04	6,339E-04	7,421E-04	8,504E-04	9,587E-04	1,392E-03
0,75	5,038E-04	5,244E-04	5,654E-04	6,475E-04	7,296E-04	8,117E-04	1,140E-03
0,85	4,774E-04	4,905E-04	5,165E-04	5,687E-04	6,208E-04	6,729E-04	8,814E-04
0,9	4,727E-04	4,816E-04	4,994E-04	5,351E-04	5,708E-04	6,065E-04	7,493E-04
0,95	4,735E-04	4,781E-04	4,873E-04	5,056E-04	5,239E-04	5,422E-04	6,155E-04
0,99	4,783E-04	4,792E-04	4,811E-04	4,848E-04	4,885E-04	4,923E-04	5,072E-04
$\Lambda = 8 \exp(-3) \text{ h}^{-1} \quad \beta_{S/FE} = 2\% \quad \beta_{LS} = 1\% \quad T_1 = 50 \text{ ore}$							
DC	MRT=MTTR [h]						
\	0,5	1	2	4	6	8	16
0,4	1,193E-03	1,232E-03	1,311E-03	1,468E-03	1,625E-03	1,782E-03	2,410E-03
0,5	9,602E-04	9,953E-04	1,066E-03	1,206E-03	1,346E-03	1,487E-03	2,048E-03
0,6	7,728E-04	8,028E-04	8,628E-04	9,828E-04	1,103E-03	1,223E-03	1,702E-03
0,65	6,962E-04	7,233E-04	7,774E-04	8,857E-04	9,940E-04	1,102E-03	1,535E-03
0,75	5,772E-04	5,977E-04	6,387E-04	7,208E-04	8,030E-04	8,851E-04	1,213E-03
0,85	5,039E-04	5,169E-04	5,429E-04	5,951E-04	6,472E-04	6,993E-04	9,078E-04
0,9	4,844E-04	4,933E-04	5,112E-04	5,469E-04	5,826E-04	6,183E-04	7,611E-04
0,95	4,765E-04	4,810E-04	4,902E-04	5,085E-04	5,269E-04	5,452E-04	6,185E-04
0,99	4,784E-04	4,793E-04	4,812E-04	4,849E-04	4,887E-04	4,924E-04	5,074E-04
$\Lambda = 8 \exp(-3) \text{ h}^{-1} \quad \beta_{S/FE} = 2\% \quad \beta_{LS} = 1\% \quad T_1 = 100 \text{ ore}$							
DC	MRT=MTTR [h]						
\	0,5	1	2	4	6	8	16
0,4	2,034E-03	2,074E-03	2,152E-03	2,309E-03	2,466E-03	2,623E-03	3,252E-03
0,5	1,545E-03	1,580E-03	1,651E-03	1,791E-03	1,931E-03	2,072E-03	2,634E-03
0,6	1,148E-03	1,178E-03	1,238E-03	1,358E-03	1,478E-03	1,598E-03	2,077E-03
0,65	9,833E-04	1,010E-03	1,065E-03	1,173E-03	1,281E-03	1,389E-03	1,823E-03
0,75	7,238E-04	7,443E-04	7,854E-04	8,675E-04	9,496E-04	1,032E-03	1,360E-03
0,85	5,567E-04	5,697E-04	5,958E-04	6,479E-04	7,000E-04	7,521E-04	9,606E-04
0,9	5,079E-04	5,168E-04	5,347E-04	5,704E-04	6,061E-04	6,418E-04	7,846E-04
0,95	4,823E-04	4,869E-04	4,961E-04	5,144E-04	5,327E-04	5,510E-04	6,244E-04

Tabella 15 Allegato G:PFH di sistema calcolato del sistema al variare di MRT, DC, T1,



PFH <sub>SYS</sub> – SOLUZIONE ECONOMICA							
$\Lambda = 8 \exp(-3) \text{ h}^{-1}$ $\beta_{S/FE} = 5\%$ $\beta_{LS} = 2\%$ $T_1 = 25 \text{ ore}$							
DC	MRT=MTTR [h]						
\	0,5	1	2	4	6	8	16
0,4	9,235E-04	9,614E-04	1,037E-03	1,189E-03	1,340E-03	1,491E-03	2,097E-03
0,5	7,965E-04	8,304E-04	8,982E-04	1,034E-03	1,170E-03	1,305E-03	1,848E-03
0,6	6,904E-04	7,194E-04	7,774E-04	8,935E-04	1,010E-03	1,126E-03	1,590E-03
0,65	6,452E-04	6,714E-04	7,239E-04	8,287E-04	9,336E-04	1,038E-03	1,458E-03
0,75	5,710E-04	5,909E-04	6,307E-04	7,103E-04	7,899E-04	8,695E-04	1,188E-03
0,85	5,183E-04	5,309E-04	5,562E-04	6,068E-04	6,574E-04	7,080E-04	9,104E-04
0,9	5,001E-04	5,087E-04	5,261E-04	5,607E-04	5,954E-04	6,301E-04	7,688E-04
0,95	4,873E-04	4,918E-04	5,007E-04	5,185E-04	5,363E-04	5,541E-04	6,253E-04
0,99	4,810E-04	4,819E-04	4,838E-04	4,874E-04	4,910E-04	4,947E-04	5,092E-04
$\Lambda = 8 \exp(-3) \text{ h}^{-1}$ $\beta_{S/FE} = 5\%$ $\beta_{LS} = 2\%$ $T_1 = 50 \text{ ore}$							
DC	MRT=MTTR [h]						
\	0,5	1	2	4	6	8	16
0,4	1,329E-03	1,367E-03	1,443E-03	1,594E-03	1,746E-03	1,897E-03	2,503E-03
0,5	1,079E-03	1,113E-03	1,181E-03	1,316E-03	1,452E-03	1,588E-03	2,130E-03
0,6	8,717E-04	9,007E-04	9,587E-04	1,075E-03	1,191E-03	1,307E-03	1,771E-03
0,65	7,842E-04	8,104E-04	8,629E-04	9,677E-04	1,073E-03	1,177E-03	1,597E-03
0,75	6,421E-04	6,620E-04	7,018E-04	7,814E-04	8,610E-04	9,406E-04	1,259E-03
0,85	5,439E-04	5,566E-04	5,819E-04	6,325E-04	6,831E-04	7,337E-04	9,360E-04
0,9	5,115E-04	5,201E-04	5,375E-04	5,722E-04	6,068E-04	6,415E-04	7,802E-04
0,95	4,902E-04	4,946E-04	5,035E-04	5,213E-04	5,391E-04	5,569E-04	6,282E-04
0,99	4,811E-04	4,820E-04	4,839E-04	4,875E-04	4,911E-04	4,948E-04	5,093E-04
$\Lambda = 8 \exp(-3) \text{ h}^{-1}$ $\beta_{S/FE} = 5\%$ $\beta_{LS} = 2\%$ $T_1 = 100 \text{ ore}$							
DC	MRT=MTTR [h]						
\	0,5	1	2	4	6	8	16
0,4	2,141E-03	2,178E-03	2,254E-03	2,406E-03	2,557E-03	2,709E-03	3,314E-03
0,5	1,644E-03	1,678E-03	1,746E-03	1,882E-03	2,017E-03	2,153E-03	2,695E-03
0,6	1,234E-03	1,263E-03	1,321E-03	1,437E-03	1,554E-03	1,670E-03	2,134E-03
0,65	1,062E-03	1,088E-03	1,141E-03	1,246E-03	1,351E-03	1,455E-03	1,875E-03
0,75	7,842E-04	8,041E-04	8,439E-04	9,235E-04	1,003E-03	1,083E-03	1,401E-03
0,85	5,952E-04	6,079E-04	6,331E-04	6,837E-04	7,343E-04	7,849E-04	9,873E-04
0,9	5,343E-04	5,430E-04	5,603E-04	5,950E-04	6,296E-04	6,643E-04	8,030E-04
0,95	4,959E-04	5,003E-04	5,092E-04	5,270E-04	5,448E-04	5,626E-04	6,339E-04
0,99	4,814E-04	4,823E-04	4,841E-04	4,877E-04	4,914E-04	4,950E-04	5,096E-04

Tabella 16 Allegato H: PFH del sistema economico al variare di MRT, DC, T1

PFH <sub>SYS</sub> 1003	
$\beta_{S/FE}=2\%$ $\beta_{LS}=1\%$ $T_1=25$ ore	
DC	MRT=MTTR [h]
\	0,5
0,4	4,654E-05
0,5	3,842E-05
0,6	3,049E-05
0,65	2,659E-05
0,75	1,889E-05
0,85	1,129E-05
0,9	7,514E-06
0,95	3,753E-06
0,99	7,502E-07
$\beta_{S/FE}=5\%$ $\beta_{LS}=2\%$ $T_1=25$ ore	
DC	MRT=MTTR [h]
\	0,5
0,4	1,094E-04
0,5	9,087E-05
0,6	7,247E-05
0,65	6,332E-05
0,75	4,513E-05
0,85	2,703E-05
0,9	1,801E-05
0,95	9,003E-06
0,99	1,800E-06

Tabella 17 Allegato I: PFH del sistema con configurazione funzionale 1003 con MRT = 0,5h

PFH <sub>SYS</sub>							
$\lambda = 1 \exp(-5) \text{ h}^{-1}$ $\beta_{S/FE}=2\%$ $\beta_{LS}=1\%$ $T_1 = 25 \text{ ore}$							
DC	MRT=MTTR [h]						
\	0,5	1	2	4	6	8	16
0,4	3,907E-07	3,908E-07	3,909E-07	3,911E-07	3,914E-07	3,916E-07	3,926E-07
0,5	4,255E-07	4,256E-07	4,257E-07	4,259E-07	4,261E-07	4,263E-07	4,272E-07
0,6	4,603E-07	4,604E-07	4,605E-07	4,607E-07	4,609E-07	4,610E-07	4,618E-07
0,65	4,778E-07	4,778E-07	4,779E-07	4,781E-07	4,782E-07	4,784E-07	4,791E-07
0,75	5,126E-07	5,127E-07	5,127E-07	5,129E-07	5,130E-07	5,131E-07	5,136E-07
0,85	5,476E-07	5,476E-07	5,476E-07	5,477E-07	5,478E-07	5,479E-07	5,482E-07
0,9	5,650E-07	5,650E-07	5,651E-07	5,651E-07	5,652E-07	5,652E-07	5,655E-07
0,95	5,825E-07	5,825E-07	5,825E-07	5,826E-07	5,826E-07	5,826E-07	5,827E-07
0,99	5,965E-07	5,965E-07	5,965E-07	5,965E-07	5,965E-07	5,965E-07	5,965E-07
$\lambda = 1 \exp(-5) \text{ h}^{-1}$ $\beta_{S/FE}=2\%$ $\beta_{LS}=1\%$ $T_1 = 50 \text{ ore}$							
DC	MRT=MTTR [h]						
\	0,5	1	2	4	6	8	16
0,4	3,914E-07	3,914E-07	3,916E-07	3,918E-07	3,921E-07	3,923E-07	3,933E-07
0,5	4,260E-07	4,260E-07	4,261E-07	4,264E-07	4,266E-07	4,268E-07	4,277E-07
0,6	4,606E-07	4,607E-07	4,608E-07	4,610E-07	4,611E-07	4,613E-07	4,621E-07
0,65	4,780E-07	4,780E-07	4,781E-07	4,783E-07	4,785E-07	4,786E-07	4,793E-07
0,75	5,128E-07	5,128E-07	5,129E-07	5,130E-07	5,131E-07	5,132E-07	5,138E-07
0,85	5,476E-07	5,476E-07	5,477E-07	5,477E-07	5,478E-07	5,479E-07	5,482E-07
0,9	5,651E-07	5,651E-07	5,651E-07	5,651E-07	5,652E-07	5,653E-07	5,655E-07
0,95	5,825E-07	5,825E-07	5,825E-07	5,826E-07	5,826E-07	5,826E-07	5,827E-07
0,99	5,965E-07	5,965E-07	5,965E-07	5,965E-07	5,965E-07	5,965E-07	5,965E-07
$\lambda = 1 \exp(-5) \text{ h}^{-1}$ $\beta_{S/FE}=2\%$ $\beta_{LS}=1\%$ $T_1 = 100 \text{ ore}$							
DC	MRT=MTTR [h]						
\	0,5	1	2	4	6	8	16
0,4	3,927E-07	3,928E-07	3,929E-07	3,931E-07	3,934E-07	3,936E-07	3,946E-07
0,5	4,269E-07	4,269E-07	4,270E-07	4,273E-07	4,275E-07	4,277E-07	4,286E-07
0,6	4,612E-07	4,613E-07	4,614E-07	4,615E-07	4,617E-07	4,619E-07	4,627E-07
0,65	4,784E-07	4,785E-07	4,786E-07	4,787E-07	4,789E-07	4,791E-07	4,798E-07
0,75	5,130E-07	5,130E-07	5,131E-07	5,132E-07	5,133E-07	5,135E-07	5,140E-07
0,85	5,477E-07	5,477E-07	5,477E-07	5,478E-07	5,479E-07	5,480E-07	5,483E-07
0,9	5,651E-07	5,651E-07	5,651E-07	5,652E-07	5,652E-07	5,653E-07	5,655E-07
0,95	5,825E-07	5,825E-07	5,825E-07	5,826E-07	5,826E-07	5,826E-07	5,827E-07
0,99	5,965E-07	5,965E-07	5,965E-07	5,965E-07	5,965E-07	5,965E-07	5,965E-07

Tabella 18 Allegato J:PFH del sistema con tasso di guasto migliore

PFH <sub>SYS</sub>							
$\Lambda = 8 \exp(-3) \text{ h}^{-1}$ $\beta_{S/FE}=2\%$ $\beta_{LS}=1\%$ $T_1=25 \text{ ore}$							
DC	MRT=MTTR [h]						
\	0,5	1	2	4	6	8	16
0,4	1,627E-07	1,628E-07	1,629E-07	1,631E-07	1,634E-07	1,636E-07	1,646E-07
0,5	1,405E-07	1,406E-07	1,407E-07	1,409E-07	1,411E-07	1,413E-07	1,422E-07
0,6	1,183E-07	1,184E-07	1,185E-07	1,187E-07	1,189E-07	1,190E-07	1,198E-07
0,65	1,073E-07	1,073E-07	1,074E-07	1,076E-07	1,077E-07	1,079E-07	1,086E-07
0,75	8,515E-08	8,518E-08	8,524E-08	8,537E-08	8,550E-08	8,563E-08	8,614E-08
0,85	6,306E-08	6,308E-08	6,312E-08	6,320E-08	6,329E-08	6,337E-08	6,369E-08
0,9	5,203E-08	5,205E-08	5,207E-08	5,213E-08	5,219E-08	5,224E-08	5,246E-08
0,95	4,101E-08	4,102E-08	4,103E-08	4,106E-08	4,109E-08	4,112E-08	4,123E-08
0,99	3,220E-08	3,220E-08	3,221E-08	3,221E-08	3,222E-08	3,222E-08	3,225E-08
$\Lambda = 8 \exp(-3) \text{ h}^{-1}$ $\beta_{S/FE}=2\%$ $\beta_{LS}=1\%$ $T_1=50 \text{ ore}$							
DC	MRT=MTTR [h]						
\	0,5	1	2	4	6	8	16
0,4	1,634E-07	1,634E-07	1,636E-07	1,638E-07	1,641E-07	1,643E-07	1,653E-07
0,5	1,410E-07	1,410E-07	1,411E-07	1,414E-07	1,416E-07	1,418E-07	1,427E-07
0,6	1,186E-07	1,187E-07	1,188E-07	1,190E-07	1,191E-07	1,193E-07	1,201E-07
0,65	1,075E-07	1,075E-07	1,076E-07	1,078E-07	1,080E-07	1,081E-07	1,088E-07
0,75	8,526E-08	8,529E-08	8,536E-08	8,549E-08	8,561E-08	8,574E-08	8,626E-08
0,85	6,310E-08	6,312E-08	6,316E-08	6,325E-08	6,333E-08	6,341E-08	6,373E-08
0,9	5,205E-08	5,206E-08	5,209E-08	5,215E-08	5,220E-08	5,226E-08	5,248E-08
0,95	4,102E-08	4,102E-08	4,104E-08	4,107E-08	4,110E-08	4,112E-08	4,124E-08
0,99	3,220E-08	3,220E-08	3,221E-08	3,221E-08	3,222E-08	3,222E-08	3,225E-08
$\Lambda = 8 \exp(-3) \text{ h}^{-1}$ $\beta_{S/FE}=2\%$ $\beta_{LS}=1\%$ $T_1=100 \text{ ore}$							
DC	MRT=MTTR [h]						
\	0,5	1	2	4	6	8	16
0,4	1,647E-07	1,648E-07	1,649E-07	1,651E-07	1,654E-07	1,656E-07	1,666E-07
0,5	1,419E-07	1,419E-07	1,420E-07	1,423E-07	1,425E-07	1,427E-07	1,436E-07
0,6	1,192E-07	1,193E-07	1,194E-07	1,195E-07	1,197E-07	1,199E-07	1,207E-07
0,65	1,079E-07	1,080E-07	1,081E-07	1,082E-07	1,084E-07	1,086E-07	1,093E-07
0,75	8,549E-08	8,552E-08	8,559E-08	8,571E-08	8,584E-08	8,597E-08	8,648E-08
0,85	6,319E-08	6,321E-08	6,325E-08	6,333E-08	6,341E-08	6,349E-08	6,382E-08
0,9	5,209E-08	5,210E-08	5,213E-08	5,218E-08	5,224E-08	5,230E-08	5,252E-08
0,95	4,103E-08	4,103E-08	4,105E-08	4,108E-08	4,110E-08	4,113E-08	4,125E-08
0,99	3,220E-08	3,220E-08	3,221E-08	3,221E-08	3,222E-08	3,222E-08	3,225E-08

Tabella 19 Allegato K:PFH del sistema con tasso di guasto e decisore migliore

PFH <sub>SYS</sub> 1003	
$\beta_{S/FE}=2\%$ $\beta_{LS}=1\%$ $T_1=25$ ore	
DC	MRT=MTTR [h]
\	0,5
0,4	1,500E-07
0,5	1,250E-07
0,6	1,000E-07
0,65	8,750E-08
0,75	6,250E-08
0,85	3,750E-08
0,9	2,500E-08
0,95	1,250E-08
0,99	2,500E-09
$\beta_{S/FE}=5\%$ $\beta_{LS}=2\%$ $T_1=25$ ore	
DC	MRT=MTTR [h]
\	0,5
0,4	3,600E-07
0,5	3,000E-07
0,6	2,400E-07
0,65	2,100E-07
0,75	1,500E-07
0,85	9,000E-08
0,9	6,000E-08
0,95	3,000E-08
0,99	6,000E-09

Tabella 20 Allegato L:PFH configurazione 1003 e 1003 economico

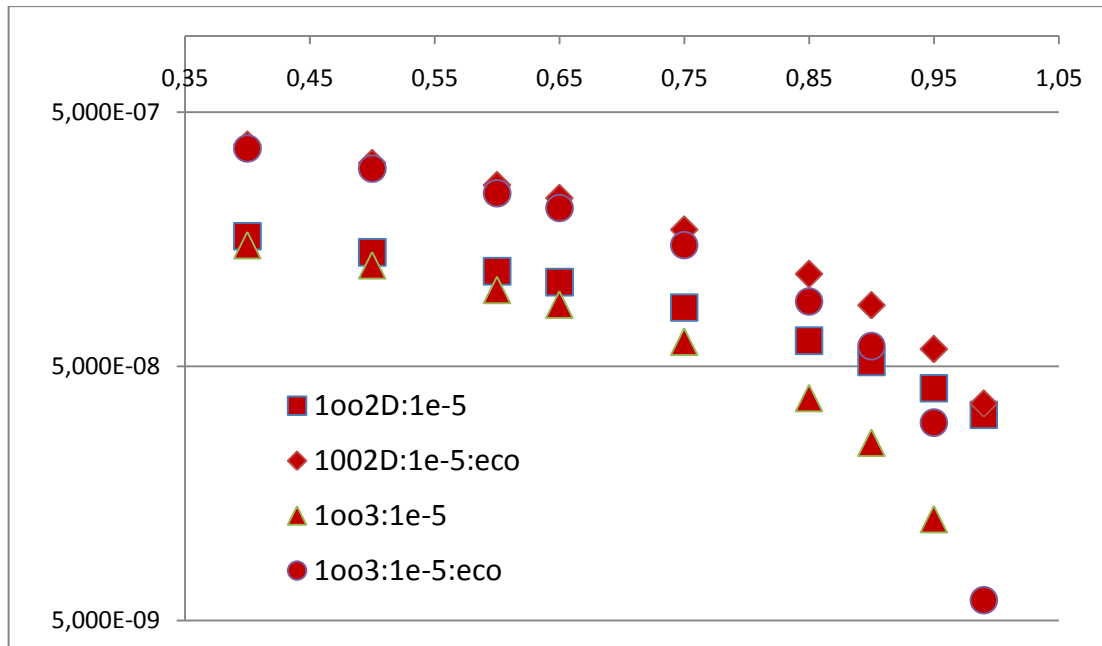


Figura 6 Allegato M:Valori del PFH delle varie configurazioni funzionali a confronto in relazione a DC

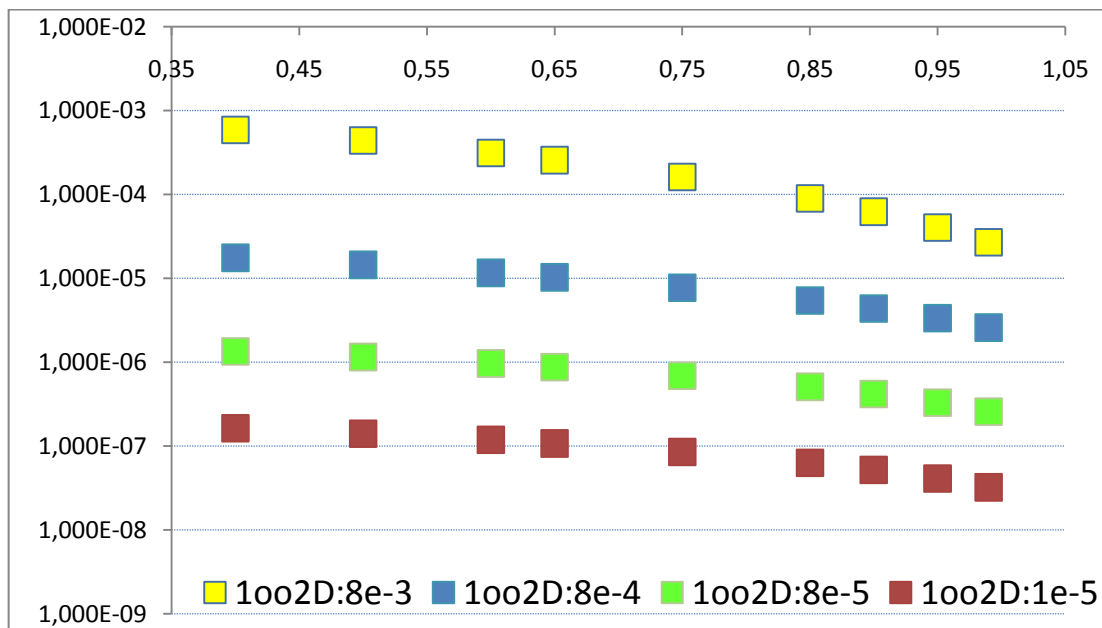


Figura 7 Allegato N:Valori del PFH della configurazione 1oo2D in funzione dei valori di  $\lambda$  dei sottoblocchi