

Università degli Studi di Firenze

Facoltà di Ingegneria

A.A. – 2009/2010

Affidabilità e Controllo di Qualità I



Ingegneria Elettronica - Automazione

Gruppo n°9

Luca Federico

Marco Montagni

Guido Morgante

Niccolò Pierossi

Davide Piro

Simone Solfanelli

Introduzione:

Il circuito in esame (*fig. 1*) è una scheda di controllo composta da uno stadio di conversione DC/DC che effettua una separazione tra l'alimentazione e il circuito a valle. È costituito da filtri di rete, probabilmente per l'alimentazione di un dispositivo in continua commutazione. I led sono sicuramente per un contributo visivo allo stato del circuito.

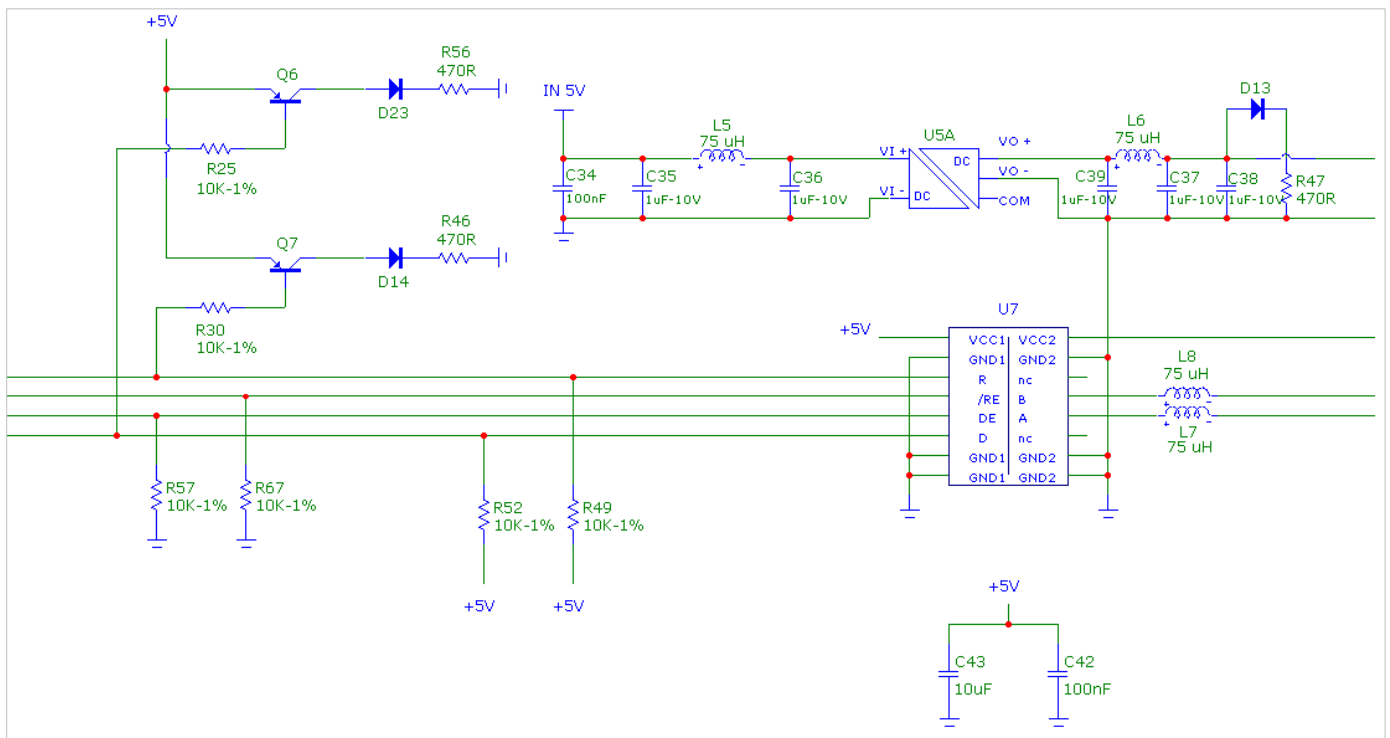


Figura 1 - Schema dell'impianto

E' richiesto di eseguire il test di affidabilità del circuito elettronico in particolari condizioni di temperatura e ambiente preliminarmente assegnate:

- GM (Ground Mobile);
- Temperatura operativa: 45°C

Tutti i valori cui si fa riferimento in questo test, ad esclusione di quelli ricavati dalla simulazione, provengono dalla banca dati "MIL_HDBK_217_F" aggiornata al 1995 ove possibile.

Le ipotesi per poter applicare la banca dati sono le seguenti:

- I tassi di guasto sono considerati costanti.
- La configurazione funzionale dei componenti è quella serie.
- Si ipotizzano guasti indipendenti.
- Si assume come modello di degradazione quello di Arrhenius, in cui il tempo di guasto dipende solo dalla temperatura.
- Tutti i valori dei tassi di guasto tabulati sono da intendersi in [Guasti/10⁶ ore].

PART LIST

Per cominciare l'analisi di affidabilità dobbiamo scegliere i componenti che verranno poi utilizzati per la realizzazione del circuito, in caso di esito positivo del test.

RIFERIMENTO CIRCUITALE	DESCRIZIONE	ARTICOLO/TECNOLOGIA	COSTRUTTORE	CARATTERISTICA
C34	CONDENSATORE	0805X104K500SNT-A	CAPAX	100nF
C35	CONDENSATORE	0805X105K100SNT-A	CAPAX	1μF
C36	CONDENSATORE	0805X105K100SNT-A	CAPAX	1μF
C37	CONDENSATORE	0805X105K100SNT-A	CAPAX	1μF
C38	CONDENSATORE	0805X104K500SNT-A	CAPAX	100nF
C39	CONDENSATORE	0805X105K100SNT-A	CAPAX	1μF
C42	CONDENSATORE	0805X104K500SNT-A	CAPAX	100nF
C43	CONDENSATORE	1210X106K100SNT-A	CAPAX	10μ F
L5	INDUTTORE	BLM21RK471SN1D	MURATA	75μH
L6	INDUTTORE	BLM21RK471SN1D	MURATA	75μH
L7	INDUTTORE	BLM21RK471SN1D	MURATA	75μH
L8	INDUTTORE	BLM21RK471SN1D	MURATA	75μH
R25	RESISTORE	0805-	CALIFORNIA MICRO DEVICES	10KΩ – 1%
R30	RESISTORE	0805-	CALIFORNIA MICRO DEVICES	10KΩ – 1%
R46	RESISTORE	0805-	CALIFORNIA MICRO DEVICES	470Ω
R47	RESISTORE	0805-	CALIFORNIA MICRO DEVICES	470Ω
R49	RESISTORE	0805-	CALIFORNIA MICRO DEVICES	10KΩ – 1%
R52	RESISTORE	0805-	CALIFORNIA MICRO DEVICES	10KΩ – 1%
R56	RESISTORE	0805-	CALIFORNIA MICRO DEVICES	470Ω
R57	RESISTORE	0805-	CALIFORNIA MICRO DEVICES	10KΩ – 1%
R67	RESISTORE	0805-	CALIFORNIA MICRO DEVICES	10KΩ – 1%
U7	INTEGRATO	ISO3082DW	TEXAS INSTRUMENT	
U5A	INTEGRATO	DCH010505S	TEXAS INSTRUMENT	
Q6	TRANSISTORE	BC856	PHILIPS	
Q7	TRANSISTORE	BC856	PHILIPS	
D13	DIODO	LED-G-0805	OSRAM	
D14	DIODO	LED-G-0805	OSRAM	
D23	DIODO	LED-G-0805	OSRAM	

Tabella 1 – Part List

PART COUNT

In questa fase si effettua un test di affidabilità preliminare che ci fornisce le informazioni sulla possibilità di mandare in produzione un circuito.

La formula utilizzata per ricavare il tasso di guasto dell'intera scheda è esplicitata nella banca dati da noi consultata:

$$\lambda_{TOT} = \sum_{i=1}^n N_i \cdot (\lambda_G \cdot \pi_Q)_i$$

Abbiamo inoltre utilizzato delle tabelle, presenti sulla banca dati, contenenti informazioni relative ai vari parametri in funzione della temperatura, delle condizioni ambientali e della tecnologia di costruzione.

Con queste informazioni abbiamo costruito la seguente tabella:

RIFERIMENTO CIRCUITALE	λ_g	λ_g notice2	π_Q	λ_{tot} F	λ_{tot} NOTICE_2	
U7	0,057	0,052	1	0,057	0,052	
U5A				0,272	0,287	
Q6	0,002	0,0017	1	0,0017	0,0017	
Q7	0,002	0,0017	1	0,0017	0,0017	
D13	0,004	0,0056	1	0,0035	0,0056	
D14	0,004	0,0056	1	0,0035	0,0056	
D23	0,004	0,0056	1	0,0035	0,0056	
C34	0,034	0,064	1	0,034	0,064	
C35	0,034	0,064	1	0,034	0,064	
C36	0,034	0,064	1	0,034	0,064	
C37	0,034	0,064	1	0,034	0,064	
C38	0,034	0,064	1	0,034	0,064	
C39	0,034	0,064	1	0,034	0,064	
C42	0,034	0,064	1	0,034	0,064	
C43	0,034	0,064	1	0,034	0,064	
L5	0,023	0,00047	1	0,023	0,00047	
L6	0,023	0,00047	1	0,023	0,00047	
L7	0,023	0,00047	1	0,023	0,00047	
L8	0,023	0,00047	1	0,023	0,00047	
R25	0,013	0,07	1	0,013	0,07	
R30	0,013	0,07	1	0,013	0,07	
R46	0,013	0,07	1	0,013	0,07	
R47	0,013	0,07	1	0,013	0,07	
R49	0,013	0,07	1	0,013	0,07	
R52	0,013	0,07	1	0,013	0,07	
R56	0,013	0,07	1	0,013	0,07	
R57	0,013	0,07	1	0,013	0,07	
R67	0,013	0,07	1	0,013	0,07	
				λ_{tot} [guasti/10 ⁶ ore]	0,8239	1,21608
				MTBF [anni/guasto]	140,4791124	95,17526868

Tabella 2 – Part Count

$$MTBF = \frac{1}{\lambda_{tot}} \quad [10^6 \text{ ore/guasto}]$$

Scelta dei CONDENSATORI: Non essendo specificata la marca, abbiamo optato per “CAPAX”. Il codice dell'articolo è stato scelto tramite i dati presenti sul datasheet (dove non è stato possibile abbiamo scelto il caso peggiorativo/generico). È stato inoltre riscontrato un errore nello schema del circuito: il condensatore “C43”, rappresentato come elettrolitico, è in realtà ceramico. Per quanto riguarda la scelta della tecnologia, è stata scelta “Ceramic General Purpose (CK)”.

Scelta dei DIODI LED: Sono stati considerati come “emitter”. Inoltre, data la varietà possibile di composizioni chimiche per il materiale costruttivo, noi scegliamo il caso migliore, poiché i parametri forniti dalle tabelle del tasso di guasto della MIL_HDBK forniscono dei parametri relativi a tecnologie

costruttive superate. Con tale scelta si evitano anche giunzioni che nella propria composizione chimica vedono la presenza del Litio, ormai obsoleto nelle tecnologie costruttive.

Controllando sul datasheet del produttore “OSRAM”, abbiamo notato le numerose prove effettuate sui dispositivi led presi in considerazione. Dai grafici forniti abbiamo dovuto effettuare una scelta tra due tipi di qualità: “JAN” e “JANTX”. Abbiamo scelto la qualità migliore “JANTX” affidandoci alla garanzia che il produttore presuppone viste le copiose prove documentate e i dettagli forniti.

Scelta degli INDUTTORI: Gli induttori sono di tipologia generica fissi. Secondo la specifica C-15305.

Scelta dei TRANSISTORI: In base alle curve di sforzo osservate nei datasheet, abbiamo scelto la qualità “JANTX” .

Scelta dei RESISTORI: in base al datasheet abbiamo classificato i resistori con tecnologia a film altamente stabili, secondo la specifica MIL-10509.

DISPOSITIVO ISO3082DW (convertitore DC/DC): La scelta di microcircuiti è stata fatta tenendo presente il fattore di utilizzo GM dei dispositivi integrati Digitali con drogaggio “GaAs” in quanto questa tecnologia è stata implementata molto nell’ultimo decennio. Con un numero di elementi attivi/passivi compreso tra 1 e 1000 (16 pin), considerando che nel datasheet, sugli ingressi equivalenti, erano presenti 12 elementi passivi in input e 4 in output (la Texas Instruments non fornisce indicazioni dettagliate sugli elementi interni).

DISPOSITIVO DCH010505S (convertitore DC/DC): Non siamo riusciti a trovare dati riguardanti l’affidabilità né sulla MIL_HDBK né sul relativo datasheet. L’unico modo per ricavare il suo tasso totale è stato quindi quello di calcolare il *Tasso di Guasto* (λ_g) e il *Fattore di Qualità* (π_q) di ogni singolo componente del dispositivo.

Questo è costituito da:

- Due diodi
- Due condensatori
- Un trasformatore
- Il Power Controller, a sua volta costituito da:
 - . Un diodo Schottky
 - . Un limitatore di corrente
 - . Un oscillatore
 - . Un transistor a tecnologia Mosfet
 - . Una resistenza
 - . Un amplificatore operazionale
 - . Un dispositivo che funge da riferimento di tensione in ingresso all’operazionale. Questo è costituito da 2 diodi da 0,6 V in cascata, in modo da mostrare il riferimento voluto di 1,2 V in ingresso all’operazionale

Il dispositivo DCH010505S appena descritto è rappresentato di seguito (*fig. 2*):

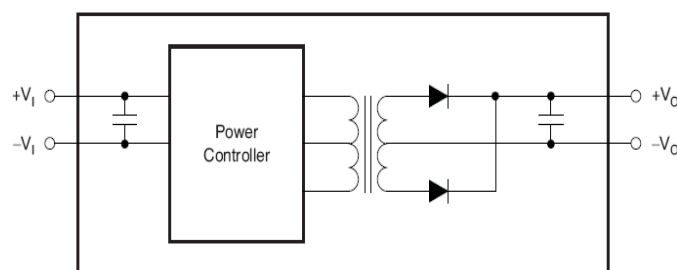


Figura 2 – Schema circuitale DCH010505S

Abbiamo calcolato il λ_g e il π_q del dispositivo ipotizzando una configurazione funzionale in serie, da cui si ricava una stima di affidabilità minore. Questo espediente è giustificato dal fatto che stiamo effettuando il Part Count.

➤ Analisi dei singoli componenti, secondo la MIL_HDBK_F:

- Diodi “General Purpose Analog” (2): $\lambda_g = 0,049$; $\pi_q = 1,000$
- Condensatori ipotizzati (CK) (2): $\lambda_g = 0,034$; $\pi_q = 1,000$
- Trasformatore per uso switching secondo la specifica T-21038: $\lambda_g = 0,049$; $\pi_q = 1$
- Power Controller: $\lambda_g = 0,057$; $\pi_q = 1$

(Per quest’ultimo abbiamo cercato nella banca dati i parametri relativi a microcircuiti con drogaggi ad arsenurio di gallio, implementato maggiormente negli ultimi anni)

$$\rightarrow \lambda_{tot} = (0,049 \times 1,00) \times 2 + (0,034 \times 1,000) \times 2 + (0,057 \times 1,00) + (0,049 \times 1,00) = \mathbf{0,272} \text{ [Guasti/10}^6 \text{ ore]}$$

❖ Analisi dei singoli componenti, secondo la MIL_HDBK_F_NOTICE_2:

- Diodi “General Purpose Analog” (2): $\lambda_g = 0,049$; $\pi_q = 1,000$
- Condensatori ipotizzati (CK) (2): $\lambda_g = 0,064$; $\pi_q = 1,000$
- Trasformatore per uso switching secondo la specifica T-21038: $\lambda_g = 0,009$; $\pi_q = 1,00$
- Power Controller: $\lambda_g = 0,052$; $\pi_q = 1,00$

(Per quest’ultimo abbiamo cercato nella banca dati i parametri relativi a microcircuiti con drogaggi ad arsenurio di gallio, implementato maggiormente negli ultimi anni)

$$\rightarrow \lambda_{tot} = (0,049 \times 1,00) \times 2 + (0,064 \times 1,000) \times 2 + (0,052 \times 1,00) + (0,009 \times 1,00) = \mathbf{0,287} \text{ [Guasti/10}^6 \text{ ore]}$$

La scelta dei $\pi_q = 1$ per praticamente tutti i componenti deriva sia dal fatto che nel datasheet del dispositivo le prove, i test della casa costruttrice sono molto dettagliati.

Possiamo quindi calcolare il tasso di guasto totale:

COMPONENTE	Qt.	λ_{tot} HDBK_F	λ_g NOTICE_2	π_q	λ_{tot} HDBK_F	λ_{tot} NOTICE_2
POWER CONTROLLER	1	0,057	0,052	1	0,057	0,052
CONDENSATORI	2	0,034	0,064	1	0,068	0,128
DIODI	2	0,049	0,049	1	0,098	0,098
TRASFORMATORE	1	0,049	0,009	1	0,049	0,009
λ_{tot} [Guasti/10 ⁶ ore]					0,272	0,287

Tabella 3 – Part Count di USA

PART STRESS

In vista di una valutazione più accurata del Rate (S), abbiamo deciso di effettuare alcune simulazioni ricalcolando in modo preciso il parametro che considera lo stress del componente discreto, analogo per diverse classi di componenti. I software utilizzati per tali simulazioni sono “Multisim” e “Pspice”.

SIMULAZIONE 1

Il circuito preso in considerazione corrisponde alla parte sinistra del circuito, riportata di seguito (fig. 3):

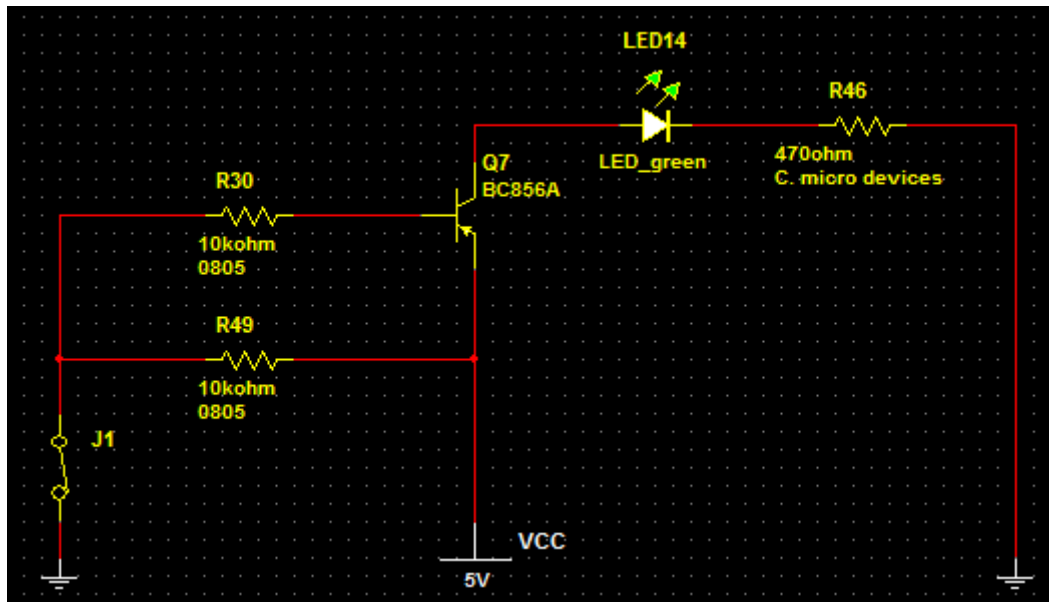


Figura 3 – Simulazione 1

A causa dell'ignota provenienza del bus di 4 bit in ingresso all'integrato U7, abbiamo ipotizzato che i diodi led fossero esclusivamente di segnalazione luminosa per gli stati logici negli ingressi R e D. Inoltre, non avendo modo di fare ipotesi più precise, è stato considerato il caso peggiore, ovvero quando generalmente i transistor sono in saturazione (J1 = close). Chiaramente, data l'analogia della parte di circuito costituito da Q6;D23;R25;R56;R52, ne consegue che tali considerazioni sono da espandersi anche a tali maglie.

RESISTORI:

➤ Analisi da MIL_HDBK_F: la previsione di affidabilità è data da:

$$\lambda_p = \lambda_b \pi_R \pi_Q \pi_E \text{ [Guasti/10}^6 \text{ ore]}$$

Dove:

- λ_b : fattore di utilizzo. I resistori nominalmente possono sopportare una $P_{max} = 200\text{mW}$. Durante la simulazione abbiamo riscontrato i valori di potenza riportati in *tabella 4* e non avendo a disposizione nella MIL-HDBK-217_F la temperatura supposta di 45°C siamo ricorsi alla seguente formula per il calcolo di λ_b :

$$\lambda_b = 50^{-5} e^{(3,5(T+273)/398)} e^{(S(45+273)/273)}$$

con $T = 45^\circ$

$S = P_i / P_{max}$ (Stress del resistore)

È stata considerata la specifica MIL-R-10509 (ovvero resistenze a film altamente stabili, come riportato sul datasheet). Inoltre gli ingressi del dispositivo U7 connesso al bus non incidono in modo

peggiorativo sui dati riportati in tabella.

Per le resistenze R57, R67 si è considerato il caso peggiore ovvero quando il bus è a 5V. Per quanto riguarda la resistenza R47 (utilizzata per una corretta polarizzazione del diodo led D13) si è ipotizzato un Rate di 0,2 dato che non è stato possibile stabilire accuratamente lo stress delle maglie interessate.

- π_R : fattore di resistenza ($R_i < 0,1M\Omega \rightarrow 1,0$)
- π_Q : fattore di qualità (ipotizzata M) $\rightarrow 1,0$
- π_E : fattore ambientale, relativo all'ambiente di utilizzo (GM) $\rightarrow 8,0$

❖ Analisi da MIL_HDBK_217_F_NOTICE_2: la previsione di affidabilità è data da:

$$\lambda_p = \lambda_b \pi_T \pi_p \pi_s \pi_Q \pi_E \text{ [Guasti/10}^6 \text{ ore]}$$

Dove:

- λ_b : parametro dipendente dalla tecnologia realizzativa (specifica mil10509) $\rightarrow 0,0037$
- π_T : fattore di temperatura (interpolato dalle tabelle della NOTICE_2) $\rightarrow 1,25$
- π_p : parametro relativo alla potenza dissipata ($\pi_p = P_{Ri}^{0,39}$)
- π_s : fattore di stress dato dalla formula ($\pi_s = 0,71e^{1,15}$)
- π_Q : fattore di qualità (ipotizzata M) $\rightarrow 1,0$
- π_E : fattore ambientale (GM) $\rightarrow 16,0$

RESISTORI	P _i [mW]	S	λ_b	π_R	π_Q	π_E	λ_p HDBK_F	λ_b	π_T	π_p	π_s	π_Q	π_E	λ_p NOTICE_2
R25	1,84	0,0092	0,000828173	1	1	8	0,006625	0,0037	1,25	0,0858	1	1	16	0,0045516
R30	1,84	0,0092	0,000828173	1	1	8	0,006625	0,0037	1,25	0,0858	1	1	16	0,0045516
R46	19,136	0,09568	0,000915945	1	1	8	0,007328	0,0037	1,25	0,2138	1	1	16	0,012477301
R47	40	0,2	0,001034292	1	1	8	0,008274	0,0037	1,25	0,285	1	1	16	0,018656847
R49	2,5	0,0125	0,000831362	1	1	8	0,006651	0,0037	1,25	0,0966	1	1	16	0,005148233
R52	2,5	0,0125	0,000831362	1	1	8	0,006651	0,0037	1,25	0,0966	1	1	16	0,005148233
R56	19,136	0,09568	0,000915945	1	1	8	0,007328	0,0037	1,25	0,2138	1	1	16	0,012477301
R57	2,5	0,0125	0,000831362	1	1	8	0,006651	0,0037	1,25	0,0966	1	1	16	0,005148233
R67	2,5	0,0125	0,000831362	1	1	8	0,006651	0,0037	1,25	0,0966	1	1	16	0,005148233

Tabella 4 – Part Stress Resistori

TRANSISTOR:

➤ Analisi da MIL_HDBK_F: la previsione di affidabilità è data da:

$$\lambda_p = \lambda_b \pi_T \pi_A \pi_R \pi_s \pi_Q \pi_E \text{ [Guasti/10}^6 \text{ ore]}$$

Dove:

- π_R : Nominalmente, i due transistor, sono da $P_{Q7Max}=250mW$. Si è calcolato:
 $P_{Q7} = V_{Q7} * I_{Q7} = 0,046 * 0,007 = 3,33 * 10^{-4} W$. Per una $P_r \ll 1$ la tabella ci suggerisce un $\pi_R \rightarrow 0,43$.
- π_E : fattore ambientale (GM) $\rightarrow 9,0$
- λ_b : caratterizza il tipo di transistor (pnp f<200MHz) $\rightarrow 0,00074$
- π_A : fattore di applicazione (switching) $\rightarrow 0,7$
- π_T : fattore di temperatura, caratterizza la temperatura di giunzione (ipotizzata 50°C) $\rightarrow 1,7$
- π_Q : fattore di qualità "JANTX" $\rightarrow 1,0$
- π_s : stress di tensione ($V_s = V_{ce} / V_{ceo} = 3.4 / 65 = 0,05$) $\rightarrow 0,11$

TRANSISTOR	λ_b	π_T	π_A	π_R	π_S	π_Q	π_E	λ_P HDBK_F
Q6	0,00074	1,7	0,7	0,43	0,11	1	9	0,000374871
Q7	0,00074	1,7	0,7	0,43	0,11	1	9	0,000374871

Tabella 5 – Part Stress Transistor

Non abbiamo trovato informazioni relative a transistori bipolari a bassa frequenza sulle MIL_HDBK aggiornate.

DIODI LED (D23, D13, D14):

➤ Analisi da MIL_HDBK_F: per dispositivi optoelettronici la previsione di affidabilità è data da:

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_T \pi_Q \pi_E \text{ [Guasti/10}^6 \text{ ore]}$$

Dove:

- λ_b : caratterizza il tipo di diodi (emitter) → 0,00023
- π_T : fattore di temperatura (ipotizzata $T_j=50^\circ\text{C}$) → 2,1
- π_Q : fattore di qualità (JANTX) → 1,0
- π_E : fattore ambientale (GM) → 8,0

DIODI	λ_b	π_T	π_Q	π_E	λ_P HDBK_F
D13	0,00023	2,1	1	8	0,003864
D14	0,00023	2,1	1	8	0,003864
D23	0,00023	2,1	1	8	0,003864

Tabella 6 - Part Stress Diodi

Non abbiamo trovato informazioni relative a Diodi Led sulle MIL_HDBK aggiornate.

SIMULAZIONE 2

Considerando la linea in ingresso per l'integrato U5A (fig. 4), vi si trovano 3 condensatori e 1 induttore che costituiscono un filtro di rete passa-basso, per ovviare al problema delle commutazioni dell'oscillatore contenuto nell'integrato stesso.

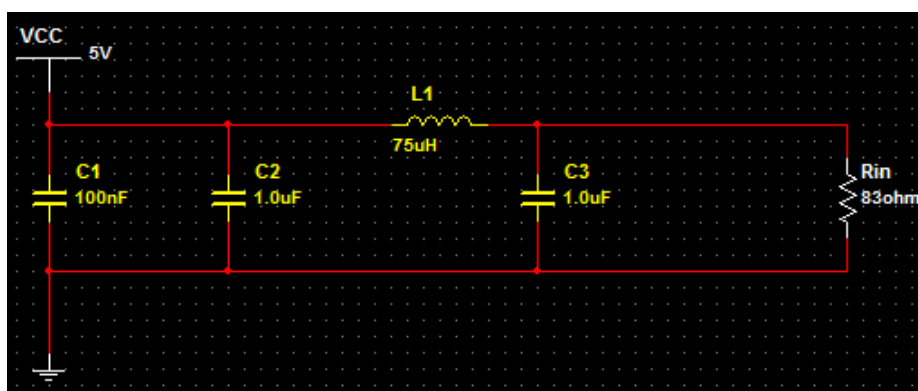


Figura 4 – Linea di ingresso per DCH010505S (Simulazione 2)

In particolar modo i due condensatori C34 e C35 in parallelo servono per ampliare l'idealità del condensatore, che altrimenti, dopo una certa frequenza e per motivi intrinseci, esalterebbero l'induttanza parassita interna (dipendente dal valore di capacità, più alta in uno e meno alta nell'altro),

limitandone il comportamento per alte frequenze.

La resistenza interna R_{in} è usata solo ai fini di simulazione per una corrente di assorbimento “no load” di 60mA del dispositivo, come riportato sul datasheet del componente.

Il diagramma di Bode (*fig. 5*) evidenzia infatti un comportamento passa-basso con una leggera sovra elongazione alla frequenza di risonanza.

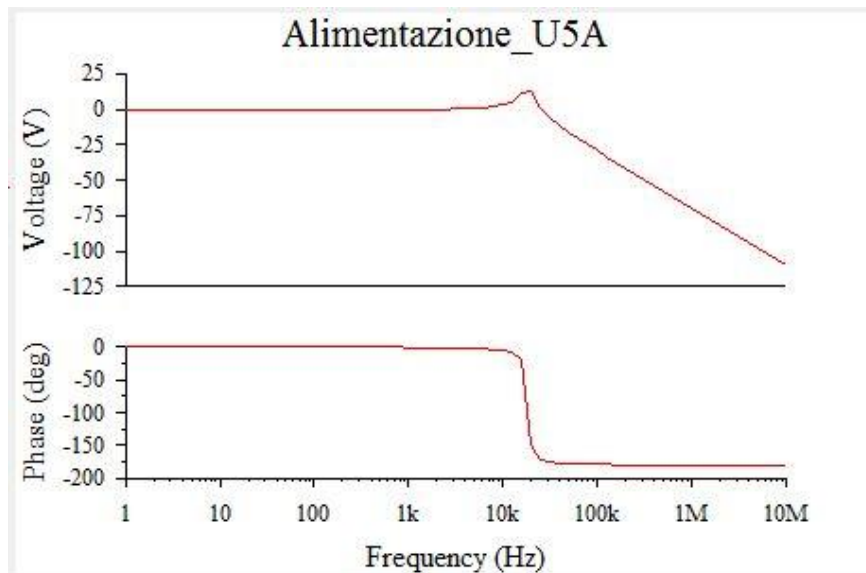


Figura 5 – Diagramma di Bode relativo alla Simulazione 2

SIMULAZIONE 3

Per quanto riguarda invece la linea di uscita di tale integrato (*fig. 6*), da manuale è prevista una tensione di 5,1V.

Come nel caso precedente l'induttanza è stata calcolata dal valore che assume a 100MHz.

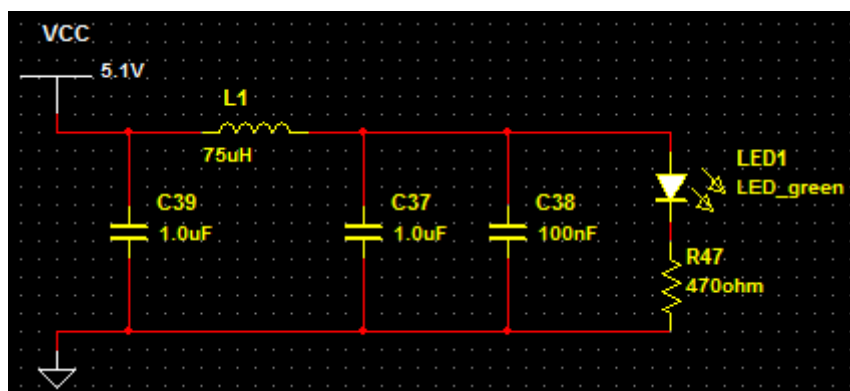


Figura 6 – Linea di uscita per DCH010505S (Simulazione 3)

L'analisi in frequenza evidenzia, anche in questo caso un andamento passa-basso. Difatti il compito del circuito nel suo insieme è quello di fornire una tensione molto precisa e non variabile, presumibilmente a causa di cambiamenti di stati logici del circuito a valle, senza disturbare l'alimentazione.

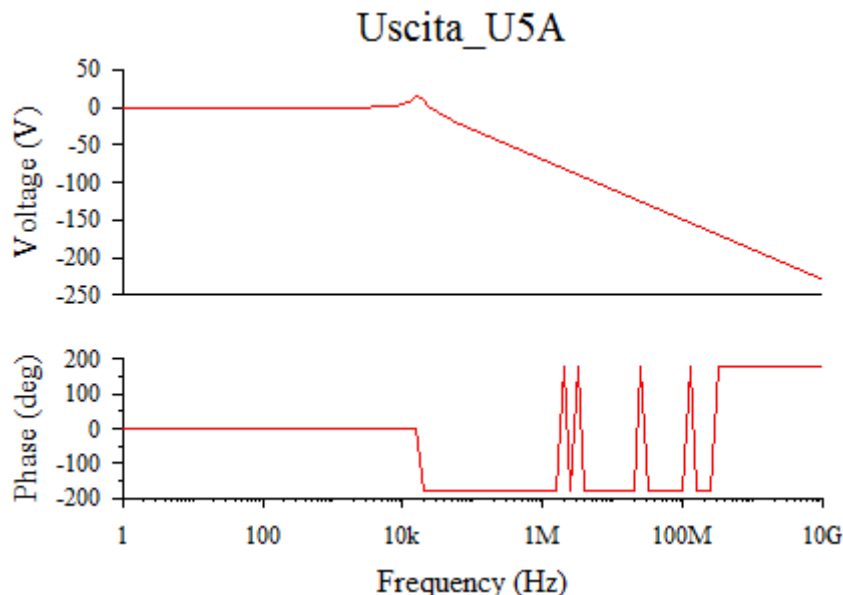


Figura 7 – Diagramma di Bode relativo alla Simulazione 3

I repentini cambiamenti di fase nel diagramma di Bode (fig. 7) sono sicuramente dovuti alla presenza del diodo. Analizzando questo filtro è possibile presumere un carico che non vada a lavorare oltre il MHz. Limiteremo lo studio dello stress del circuito in quanto, dalle simulazioni di variazione di carico, è emerso che le caratteristiche di tensione e corrente sono enormemente legate alla frequenza di lavoro che non è possibile conoscere esclusivamente dalla parte di circuito studiato. Per questi motivi abbiamo deciso di considerare lo stress consigliato dal docente per i condensatori, induttori e resistenze delle maglie appena esaminate.

CONDENSATORI:

➤ Analisi da MIL_HDBK_F:

I condensatori sono utilizzati sulla linea di alimentazione ed essendo privi di dati caratteristici sul datasheet abbiamo supposto una temperatura massima di 150°C (anche perchè il circuito in esame è ipotizzato per un utilizzo GM che comprende anche gradienti di temperatura) sulla tabella di specifica MIL-C-11015. La previsione di affidabilità è data da:

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_{cv} \pi_Q \pi_E \text{ [Guasti/10}^6 \text{ ore]}$$

Dove:

- λ_b : considerando uno stress del 10% ed una temperatura ambiente di 45°C, abbiamo calcolato il fattore di stress con la formula

$$\lambda_b = 0,0003 [1 + (S/0,3)^3] e^{(T+273)/423}$$

- π_{cv} : parametro relativo al valore di capacità, calcolato con la formula

$$\pi_{cv} = 0,41 C[\text{pF}]^{0,11}$$

- π_E : fattore ambientale (GM) $\rightarrow 9,0$
- π_Q : fattore di qualità (ipotizzata M) $\rightarrow 1,0$

❖ Analisi da MIL_HDBK_217_F_NOTICE_2: la previsione di affidabilità è data da:

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_T \pi_c \pi_v \pi_{SR} \pi_Q \pi_E \text{ [Guasti/10}^6 \text{ ore]}$$

Dove:

- λ_b : (specifica MIL-11015) $\rightarrow 0,00099$
- π_T : interpolato dalla 2ª tabella nella sezione dei condensatori $\rightarrow 2,4$
- π_C : dalla 1ª tabella nella sezione dei condensatori, con formula $\pi_C = C[\mu F]^{0,09}$
- π_V : dalla 3ª tabella nella sezione dei condensatori, con formula $\pi_V = (S/0,6)^3 + 1 = (0,2/0,6)^3 + 1 \rightarrow 1,037$
- π_{SR} : dalla 1ª tabella nella sezione dei condensatori, che tiene conto della resistenza e della tensione (ipotizzato) $\rightarrow 1,0$
- π_Q : fattore di qualità (ipotizzata M) $\rightarrow 1,0$
- π_E : fattore ambientale (GM) $\rightarrow 20$

CONDENSATORI	CAPACITA' [pF]	S	λ_b	π_{CV}	π_Q	π_E	λ_P HDBK_F	λ_b	π_T	π_C	π_V	π_{SR}	π_Q	π_E	λ_P NOTICE_2
C34	100000	0.2	0,000824739	1,454734896	1	9	0,010797987	0,00099	2,4	0,812830516	1,037	1	1	20	0,040054857
C35	1000000	0.2	0,000824739	1,874061577	1	9	0,013910502	0,00099	2,4	1	1,037	1	1	20	0,04927824
C36	1000000	0.2	0,000824739	1,874061577	1	9	0,013910502	0,00099	2,4	1	1,037	1	1	20	0,04927824
C37	1000000	0.2	0,000824739	1,874061577	1	9	0,013910502	0,00099	2,4	1	1,037	1	1	20	0,04927824
C38	100000	0.2	0,000824739	1,454734896	1	9	0,010797987	0,00099	2,4	0,812830516	1,037	1	1	20	0,040054857
C39	1000000	0.2	0,000824739	1,874061577	1	9	0,013910502	0,00099	2,4	1	1,037	1	1	20	0,04927824
C42	100000	0.2	0,000824739	1,454734896	1	9	0,010797987	0,00099	2,4	0,812830516	1,037	1	1	20	0,040054857
C43	10000000	0.2	0,000824739	2,414258987	1	9	0,017920197	0,00099	2,4	1,230268771	1,037	1	1	20	0,06062548

Tabella 7 - Part Stress Condensatori

INDUTTORI:

➤ Analisi da MIL_HDBK_F: considerati di classe C (sottoposti a gradienti di temperatura GM). La previsione di affidabilità è data da:

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_C \pi_Q \pi_E \text{ [Guasti}/10^6 \text{ ore]}$$

Dove:

- λ_b : fattore di stress (dovuto alla temperatura) calcolato tramite la formula:

$$\lambda_b = 0,00035 e^{((T_{hs}+273)/409)^{10}}$$

con $\Delta T = 35^\circ C$ (approssimato secondo le specifiche MIL-C-39010/4C, 6C)

$$T_{hs} = T_a + 1,1(\Delta T) = 45 + 3,85 * 35 = 48,85$$

$$\rightarrow \lambda_b = 0,00035 e^{((48,85+273)/409)^{10}} = 0,000383365.$$

- π_C : fattore di costruzione (fisso e non variabile) $\rightarrow 1,0$
- π_Q : fattore di qualità (ipotizzata M) $\rightarrow 1,0$
- π_E : fattore ambientale (GM) $\rightarrow 12,0$

❖ Analisi da MIL_HDBK_217_F_NOTICE_2: la previsione di affidabilità vale

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_T \pi_Q \pi_E$$

Dove:

- λ_b : caratterizza il tipo di induttore (statico) $\rightarrow 0,00003$
- π_T : fattore di temperatura (ipotizzata 50°C) $\rightarrow 1,4$

- π_Q : fattore di qualità (ipotizzata M) $\rightarrow 1,0$
- π_E : fattore ambientale (GM) $\rightarrow 12,0$

INDUTTORI	λ_b	π_C	π_Q	π_E	λ_P HDBK_F	λ_b	π_T	π_Q	π_E	λ_P NOTICE_2
L5	0,000383365	1	1	12	0,0046	0,00003	1,4	1	12	0,000504
L6	0,000383365	1	1	12	0,0046	0,00003	1,4	1	12	0,000504
L7	0,000383365	1	1	12	0,0046	0,00003	1,4	1	12	0,000504
L8	0,000383365	1	1	12	0,0046	0,00003	1,4	1	12	0,000504

Tabella 8 - Part Stress Induttori

INTEGRATO ISO3082DW:

➤ Analisi da MIL_HDBK_F: classifichiamo l'integrato come dispositivo digitale. La previsione di affidabilità è data da:

$$\lambda_P = (C_1 \pi_T \pi_A + C_2 \pi_E) \pi_Q \pi_L \text{ [Guasti/10}^6 \text{ ore]}$$

Dove:

- C_1 : parametro relativo al numero componenti interni (ipotizzato da 100 a 1000) $\rightarrow 25$
- π_A : fattore di applicazione (ipotizzata di driver, come suggerito dal manuale) $\rightarrow 3,0$
- π_T : fattore di temperatura (temperatura interna ipotizzata 50°C) $\rightarrow 0,0000068$
- C_2 : parametro relativo al numero e alla tipologia di pin del dispositivo $\rightarrow 0,0072$
- π_E : fattore ambientale (GM) $\rightarrow 4,0$
- π_Q : fattore di qualità, in questo caso relativo alla tipologia di circuito (ipotizzato ibrido) $\rightarrow 1,0$
- π_L : fattore di apprendimento, relativo al numero di anni da quando il dispositivo è in produzione (> 2 anni) $\rightarrow 1,0$

INTEGRATO	π_T	π_A	π_E	π_Q	π_L	C_1	C_2	λ_P HDBK_F
U7	0,0000068	3	4	1	1	25	0,0072	0,02931

Tabella 9 - Part Stress ISO3082DW

INTEGRATO DCH010505S (convertitore DC/DC):

non siamo riusciti a trovare dati riguardanti l'affidabilità né sulle MIL_HDBK né sul datasheet. L'unico modo per trovare il suo tasso totale è quindi quello di calcolare il λ_g e il π_Q di ogni singolo componente del dispositivo.

Questo è costituito da:

- 2 DIODI. Dalla MIL_HDBK_F la previsione di affidabilità è data da:

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_T \pi_S \pi_C \pi_Q \pi_E \text{ [Guasti/10}^6 \text{ ore]}$$

Dove:

- λ_b : parametro relativo al tipo di diodo (General Purpose Analog) $\rightarrow 0,0038$
- π_T : fattore di temperatura (ipotizzata di giunzione a 50°C perché sullo stadio di alimentazione) $\rightarrow 2,2$
- π_S : fattore di stress (ipotizzato non conoscendo il carico di lavoro $V_s < 0,3$) $\rightarrow 0,054$
- π_C : parametro relativo alla tipologia di costruzione del contatto (ipotizzato metallico) $\rightarrow 1$
- π_Q : fattore di qualità (JANTX) $\rightarrow 1,0$
- π_E : fattore ambientale (GM) $\rightarrow 9,0$

- 2 CONDENSATORI. Dalla **MIL_HDBK_F_NOTICE_2** la previsione di affidabilità è data da:

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_T \pi_C \pi_V \pi_{SR} \pi_Q \pi_E \text{ [Guasti/10}^6 \text{ ore]}$$

Dove:

- λ_b : (specifica MIL-11015) $\rightarrow 0,00099$
 - π_T : interpolato dalla 2^a tabella nella sezione dei condensatori $\rightarrow 2,4$
 - π_C : dalla 1^a tabella nella sezione dei condensatori, con formula $\pi_C = C^{0,09}$ (ipotizzato dato che non è possibile conoscerne i valori) $\rightarrow 1,0$
 - π_V : dalla 1^a tabella nella sezione dei condensatori, con formula $\pi_V = (S/0,6)^3 + 1 = (0,2/0,6)^3 + 1 \rightarrow 1,037$
 - π_{SR} : dalla 1^a tabella nella sezione dei condensatori, che tiene conto della resistenza e della tensione (ipotizzato) $\rightarrow 1,0$
 - π_Q : fattore di qualità (ipotizzata M) $\rightarrow 1,0$
 - π_E : fattore ambientale (GM) $\rightarrow 20$
- Un TRASFORMATORE. Dalla **MIL_HDBK_F_NOTICE_2** la previsione di affidabilità è data da:

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_T \pi_Q \pi_E \text{ [Guasti/10}^6 \text{ ore]}$$

Dove:

- λ_b : fattore di utilizzo (secondo la specifica T-21038, bassa potenza) $\rightarrow 0,022$
 - π_T : fattore di temperatura (trovandosi sull'alimentazione, ipotizziamo $T_{HS} = 50^\circ\text{C}$) $\rightarrow 1,400$
 - π_Q : fattore di qualità (MIL-SPEC) $\rightarrow 1,000$
 - π_E : fattore di utilizzo (GM) $\rightarrow 12$
- Un POWER CONTROLLER la cui componentistica è già stata descritta precedentemente (cfr. pag. 5)

Dalla **MIL_HDBK_F** e **NOTICE_1**, e dalle altre che sono invariate, la previsione di affidabilità è data da:

$$\lambda_P = (C_1 \pi_T \pi_A + C_2 \pi_E) \pi_L \pi_Q \text{ [Guasti/10}^6 \text{ ore]}$$

Dove:

- C_1 : parametro associato al numero di componenti (da 1 a 1000 digitali) $\rightarrow 25,0$
- π_A : fattore di applicazione (nel nostro caso per dispositivi digitali) $\rightarrow 1,0$
- π_T : fattore di temperatura (ipotizzata interna a 50°C per drogaggio GaAs) $\rightarrow 6,8 \times 10^{-7}$
- π_E : fattore ambientale (GM) $\rightarrow 4,0$
- C_2 : parametro associato al numero di pin e al package (16 pin e package SMT) $\rightarrow 0,0056$
- π_Q : fattore di qualità $\rightarrow 1,0$
- π_L : fattore di apprendimento (> 2 anni) $\rightarrow 1,0$

INTEGRATO U5A								
POWER CONTROLLER	π_T	π_A	π_E	π_Q	π_L	C_1	C_2	λ_P HDBK_F
1	0,00000068	1	4	1	1	25	0,0056	0,022417
CONDENSATORI	λ_b	π_T	π_C	π_V	π_{SR}	π_Q	π_E	λ_P NOTICE_2
2	0,00099	2,4	1	1,037	1	1	20	0,098556
DIODI	λ_b	π_T	π_S	π_C	π_Q	π_E	λ_P HDBK_F	
2	0,0038	2,2	0,054	1	1	9	0,0081259	
TRASFORMATORE	λ_b	π_T	π_Q	π_E	λ_P NOTICE_2			
1	0,022	1,4	1	12	0,3696			
TRASFORMATORE	λ_b	π_Q	π_E	λ_P HDBK_F				
1	0,0023	1,5	12	0,0414				

Tabella 10 - Part Stress DCH010505S

CONCLUSIONI

COMPONENTE	HDBK_F	NOTICE_1, 2	TIPOLOGIA
U5A	0,022417	0,022417	POWER CONTROLLER
	0,09855648	0,09855648	CONDENSATORI
	0,0081259	0,0081259	DIODI
	0,0414	0,3696	TRASFORMATORE
Q6	0,000374871	0,000374871	TRANSISTOR
Q7	0,000374871	0,000374871	
D13	0,003864	0,003864	DIODI LED
D14	0,003864	0,003864	
D23	0,003864	0,003864	
U7	0,02931	0,02931	ISO3082
C34	0,010797987	0,040054857	CONDENSATORI
C35	0,013910502	0,04927824	
C36	0,013910502	0,04927824	
C37	0,013910502	0,04927824	
C38	0,010797987	0,040054857	
C39	0,013910502	0,04927824	
C42	0,010797987	0,040054857	
C43	0,017920197	0,06062548	
L5	0,0046	0,000504	INDUTTORI
L6	0,0046	0,000504	
L7	0,0046	0,000504	
L8	0,0046	0,000504	
R25	0,006625	0,0045516	RESISTORI
R30	0,006625	0,0045516	
R46	0,007328	0,012477301	
R47	0,008274	0,018656847	
R49	0,006651	0,005148233	
R52	0,006651	0,005148233	
R56	0,007328	0,012477301	
R57	0,006651	0,005148233	
R67	0,006651	0,005148233	
λ_P TOT	0,399291288	0,993577714	[Guasti/10 ⁶ ore]
MTBF	289,8654296	116,4888656	[anni/guasto]

Dai risultati ottenuti possiamo osservare che la previsione dell'MTBF effettuata con "Relex" è più ottimistica rispetto a quella ottenuta con le MIL_HDBK. Il divario tra le due stime è riconducibile indubbiamente alla distanza temporale fra le banche dati, che si traduce in una significativa differenza dei background tecnologici.

Ad aumentare il distacco fra le due stime contribuisce anche la frequente carenza di dati nella NOTICE_2, alla quale si è dovuto sopperire con le antiquate risorse della HDBK_F.

Si tenga presente che nella NOTICE_2 viene dato maggior peso alle condizioni di utilizzo; è quindi plausibile che in un più favorevole contesto operativo avremmo un miglioramento della vita utile del circuito.

A questo proposito si noti che il tasso di guasto del trasformatore del dispositivo U5A, se calcolato dalla NOTICE_2, risulta il più elevato fra tutti, mentre se calcolato dalla HDBK_F rientra nella media di valori ottenuti in generale.

Come si può notare, l'MTBF ottenuto dal Part Stress risulta assai maggiore rispetto a quello ottenuto dal Part Count. Questo è ovviamente dovuto al fatto che nel Part Count si suppone uno stress massimo su tutti i componenti dando meno importanza alle temperature di utilizzo; ciò provoca una riduzione significativa della loro vita utile.

Tabella 11 – Part Stress Totale

RISULTATI “RELEX”

PART COUNT	
Value	Result
Failure Rate, Predicted (guasti/10 ⁶ ore)	1,195746
MTBF, Predicted (10 ⁶ ore/guasto)	836297,9238
Reliability, Predicted	0,99988

PART STRESS	
Value	Result
Failure Rate, Predicted (guasti/10 ⁶ ore)	0,792197
MTBF, Predicted (ore) (10 ⁶ ore/guasto)	1,26E+06
Reliability, Predicted	0,999921