

Report Tecnico: Analisi di Guasto

Convertitore DC/DC

Progetto:	Sistema di Alimentazione Veicolo Elettrico (EV-PSU)
Titolo Report:	Analisi Causa Radice (RCA) Guasto Convertitore DC/DC Buck-Boost
ID Report:	TR-2025-09-25-001
Componente (P/N):	78B-445
Data:	25/09/2025
Autore:	Ing. M. Rossi, Dipartimento R&D Elettronico

1.0 Scopo del Documento

Il presente documento ha lo scopo di identificare la causa radice del guasto catastrofico occorso al convertitore DC/DC (P/N: 78B-445) durante le prove di stress termico e di carico massimo. L'obiettivo è analizzare le evidenze, formulare un'ipotesi validata da dati strumentali e definire le azioni correttive necessarie per la revisione del progetto.

2.0 Sintesi dei Risultati (Executive Summary)

L'analisi ha concluso che il guasto del componente è stato innescato da un fenomeno di **thermal runaway** (fuga termica) del MOSFET di commutazione principale (Q1). Questo è stato causato da una combinazione di due fattori critici:

- Dissipazione Termica Inadeguata:** Il layout del PCB non garantiva un'adeguata dispersione del calore generato dal componente in condizioni di massimo carico.
- Perdite di Commutazione Eccessive:** La presenza di oscillazioni parassite (ringing) sul nodo di commutazione, dovute a induttanze parassite del layout, ha aumentato le perdite e la generazione di calore, esacerbando il problema termico.

Si raccomanda una revisione immediata del layout del PCB e l'aggiunta di un circuito di smorzamento (snubber).

3.0 Descrizione del Sistema Sotto Esame (SUE)

Il dispositivo analizzato è un convertitore DC/DC sincrono non isolato con topologia buck-boost, progettato per stabilizzare la tensione di alimentazione per l'elettronica di bordo.

di un veicolo.

- **Tensione di Ingresso (Vin):** 9V - 36V (da batteria veicolo 24V nominale)
- **Tensione di Uscita (Vout):** 12V stabilizzata
- **Corrente di Uscita Massima (Iout):** 10A
- **Frequenza di Commutazione:** 400 kHz
- **Componenti Chiave:** Controller PWM (U1), MOSFETs (Q1, Q2), Induttore (L1)

4.0 Metodologia di Analisi

L'indagine è stata condotta seguendo i seguenti passaggi:

1. **Ispezione Visiva:** Analisi al microscopio della scheda guasta per identificare i punti di cedimento.
2. **Analisi Termica Comparativa:** Utilizzo di una termocamera su un'unità funzionante per mappare la distribuzione del calore sotto carico.
3. **Misure Elettriche:** Acquisizione con oscilloscopio dei segnali critici (gate drive, nodo di commutazione V_SW) su un'unità funzionante per caratterizzare il comportamento dinamico.
4. **Simulazione SPICE:** Modellazione del circuito di potenza per replicare e analizzare le oscillazioni parassite osservate.

5.0 Dati e Analisi Dettagliata

5.1 Ispezione Visiva

L'esame al microscopio della scheda guasta ha rivelato segni di bruciatura e carbonizzazione del PCB nell'area circostante il MOSFET Q1. Il package del componente stesso risulta danneggiato con una micro-frattura visibile.

5.2 Analisi Termica

La termocamera ha mostrato un hot-spot critico su Q1 in condizioni di massimo carico (36V in, 10A out).

Componente	Temp. Nominale (5A out)	Temp. Sotto Stress (10A out)	Limite da Datasheet	Esito
Q1 (MOSFET)	65 °C	145 °C (picco prima del guasto)	125 °C (Tj max)	FALLITO
L1 (Induttore)	70 °C	95 °C	110 °C	OK
U1	55 °C	68 °C	85 °C	OK

(Controller)				
--------------	--	--	--	--

La temperatura di giunzione (T_j) di Q1 ha superato di gran lunga il limite massimo consentito.

5.3 Analisi Elettrica

Le misure sul nodo di commutazione (SW) hanno evidenziato un **ringing (sovraelongazione) significativo** durante la fase di spegnimento (turn-off) del MOSFET. I picchi di tensione hanno raggiunto i 45V, superando la tensione massima Drain-Source ($V_{ds_max} = 40V$) specificata nel datasheet del componente. Questo fenomeno, oltre a stressare elettricamente il componente, causa un aumento delle perdite di commutazione.

6.0 Conclusioni Tecniche

Il guasto è attribuibile a un errore di progettazione a livello di sistema, non a un difetto del singolo componente. L'inefficienza del layout termico ha impedito al MOSFET Q1 di smaltire il calore generato. Le perdite di commutazione, amplificate dal ringing, hanno accelerato l'aumento della temperatura fino a raggiungere un punto di instabilità termica (thermal runaway), che ha portato alla distruzione del componente.

7.0 Azioni Correttive e Raccomandazioni

Si definiscono le seguenti azioni correttive obbligatorie per la prossima revisione hardware (Rev 1.1).

1. Modifica Layout PCB:

- Aumentare del 50% l'area del piano di massa connesso al pad termico di Q1.
- Aggiungere un minimo di 12 via termici sotto il pad del componente per trasferire il calore al piano di massa sul lato opposto del PCB.

2. Aggiunta Circuito Snubber:

- Implementare un circuito snubber R-C in parallelo al MOSFET Q1 (tra Drain e Source) per smorzare le oscillazioni. Valori iniziali calcolati: **$R = 4.7 \Omega$, $C = 330 \text{ pF}$** . Questi valori dovranno essere ottimizzati sperimentalmente.

3. Rivalidazione Completa:

- Eseguire nuovamente il ciclo completo di test termici e di carico sulla nuova revisione (Rev 1.1) per validare l'efficacia delle modifiche.