

SEI SIGMA & QUALITÀ

ORGANO DELL'AISS - ACCADEMIA ITALIANA DEL SEI SIGMA

ISSN: 2039-2583

Volume 2 Numero 1
Gennaio, Febbraio, Marzo 2011

RCEMULTIMEDIA
COMMUNICATION COMPANY

OE

SEI SIGMA E PROGETTAZIONE: UN CASO REALE

Alessandro Celegato

*PSV Project Service and Value Srl, Via Vigonovese, 50/D – 35127 Padova
alessandro.celegato@psvnet.com*

Riassunto

Il lavoro riassume le fasi principali di un progetto Sei Sigma, sviluppato con lo scopo di identificare i parametri di progetto di un circuito elettronico, in grado di assicurare ad un dispositivo già funzionante correttamente, prestazioni decisamente superiori. Dopo una breve descrizione del dispositivo, viene presentato il percorso di studio, che attraverso rilievi numerici, analisi dei dati e sperimentazione, evidenzia, una volta in più il ruolo insostituibile dei metodi quantitativi, per comprendere realmente un fenomeno e poter individuare e realizzare azioni concrete di miglioramento.

1. INTRODUZIONE

L'Azienda *PSV Project Service and Value Srl*, nell'ambito della quale è stato realizzato questo lavoro, si occupa del progetto, dell'assicurazione qualità, della produzione, del collaudo e della commercializzazione di dispositivi elettronici.

Il prodotto preso in considerazione è uno dei prodotti destinati ad applicazioni domestiche. Il dispositivo è realizzato in due modelli, *mod.01* e *mod.02*, che, pur utilizzando soluzioni ingegneristiche simili, presentano capacità diverse di servizio nei riguardi delle utenze alle quali è destinato.

La risposta presa in considerazione è un segnale elettrico, che indica, con la sua presenza, il corretto funzionamento dell'intero apparato; attualmente è l'unico controllo previsto.

Avendo intenzione, in un prossimo futuro, di migliorare le prestazioni del dispositivo, abbiamo individuato, proprio nel valore numerico di questo segnale un punto chiave per diversificare le prestazioni di due dispositivi simili. Utilizzando, quindi, dispositivi esistenti, siamo partiti dalla misura di questo segnale, che costituirà in futuro il controllo di qualità del dispositivo.

Faremo vedere come il progetto Sei Sigma associato ci abbia permesso

di comprendere a fondo la fisica del fenomeno e di identificare i parametri chiave del progetto.

Il dispositivo studiato sarà identificato in seguito come *Controller*.

2. DESCRIZIONE DEL CONTROLLER

Il *Controller* è sostanzialmente un circuito, che confrontando la misura della tensione elettrica di rete con un segnale generato internamente, genera un segnale in uscita. Il segnale in uscita dal Controller, denominato in gergo SIGNAL verrà misurato ed elaborato da altri circuiti all'interno dello stesso apparato elettronico.

Tra i componenti del Controller vi sono due diodi Zener, che giocano un ruolo fondamentale, come vedremo, sul segnale di uscita SIGNAL.

Nella figura 1 è indicato uno schema a blocchi del circuito, sufficiente ai non addetti ai lavori per seguire la matematica del lavoro proposto.

Sono visibili i componenti e le funzioni fondamentali: *Misura della tensione di rete, trasduttore del segnale, due diodi Zener, un amplificatore operazionale, un segnale interno* ed infine la *risposta SIGNAL*.

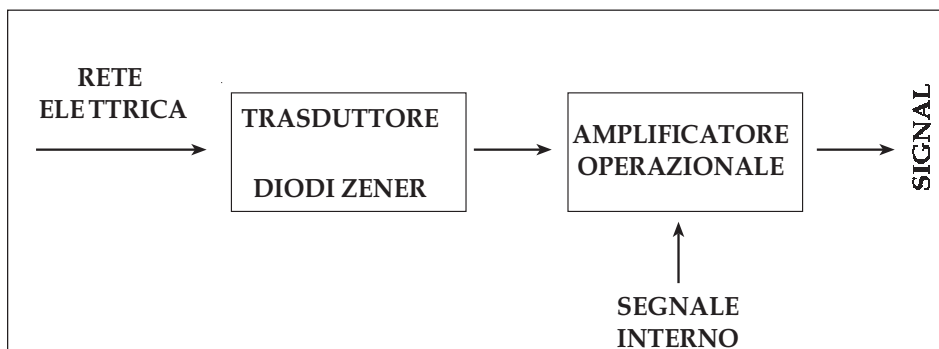


Fig. 1: Schema a blocchi del Controller.

I diodi Zener utilizzati (ce ne sono due) sono dispositivi per tensioni elettriche elevate e richiedono particolare attenzione in fase di progetto, per minimizzare eventuali effetti indesiderati, dovuti a elementi parassiti intrinseci.

Nella figura 2 è riportata una fotografia del circuito.

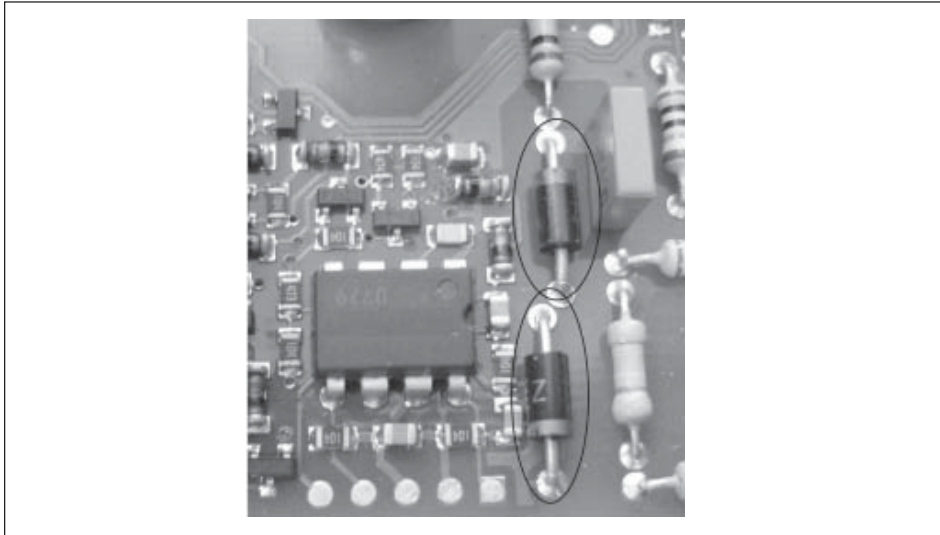


Fig. 2: Circuito Controller contenuto all'interno dell'apparato elettronico. In evidenza i diodi Zener che costituiscono l'oggetto fondamentale dello studio.

3. LA CARATTERISTICA DA MIGLIORARE

Attualmente, ai fini del corretto funzionamento dell'apparato, è sufficiente accertarsi della sola esistenza del segnale di uscita, indipendentemente dal valore assunto. Da una analisi di mercato eravamo giunti alla conclusione che il prodotto avrebbe potuto ampliare i settori di utilizzo se il segnale fosse stato analizzato e trattato in modo diverso, cioè se si fosse passati da una misura digitale (Si, No) ad una analogica, per variabili.

Pertanto decidemmo di avviarne un'analisi statistica per valutare il punto di partenza.

Per eseguire questa analisi, abbiamo utilizzato le registrazioni del collaudo di entrambi i modelli relativi ad un lotto di recente produzione. L'attività di collaudo è stata progettata per simulare le condizioni operative nelle quali il dispositivo si verrebbe a trovare nelle applicazioni reali. Nel corso di questa simulazione l'attrezzatura di collaudo è stata predisposta per registrare tutti i parametri di funzionamento dell'intero apparato elettronico.

Abbiamo anche sviluppato un software specifico per il trattamento statistico dei dati raccolti.

Ritenendo di aver fornito un minimo di informazioni necessarie per seguire il progetto Sei Sigma sviluppato, passiamo alla descrizione dei dati e delle loro elaborazioni.

4. DETERMINAZIONE ED ANALISI DELLA BASELINE

Ci riferiremo, a partire da questo momento, al segnale indicato nella figura 1 come *SIGNAL*.

La prima operazione è consistita nella individuazione tecnica dei limiti di specifica funzionali. La seconda nel rilievo della linea di base dell'apparato così com'è e nella valutazione del suo posizionamento nei confronti di questi limiti di specifica.

Abbiamo considerato i dati relativi ad entrambe le modalità in cui oggi sono costruiti gli apparati, indicati nella introduzione come *mod.1* e *mod.2*.

Nello spirito del sistema Sei Sigma, intenderemo come linea di base o baseline dei dati, i risultati di elaborazioni statistiche, atte a fornirci informazioni precise ed esaustive. In questo caso queste elaborazioni sono consistite nella stima della distribuzione di probabilità del segnale, mediante istogramma completi.

Nelle figure 3 e 4 sono riportati i risultati ottenuti per i due modelli.

Alcune osservazioni immediate sono la plurimodalità di entrambe e la identità degli indici statistici quali la *media* e *deviazione standard*.

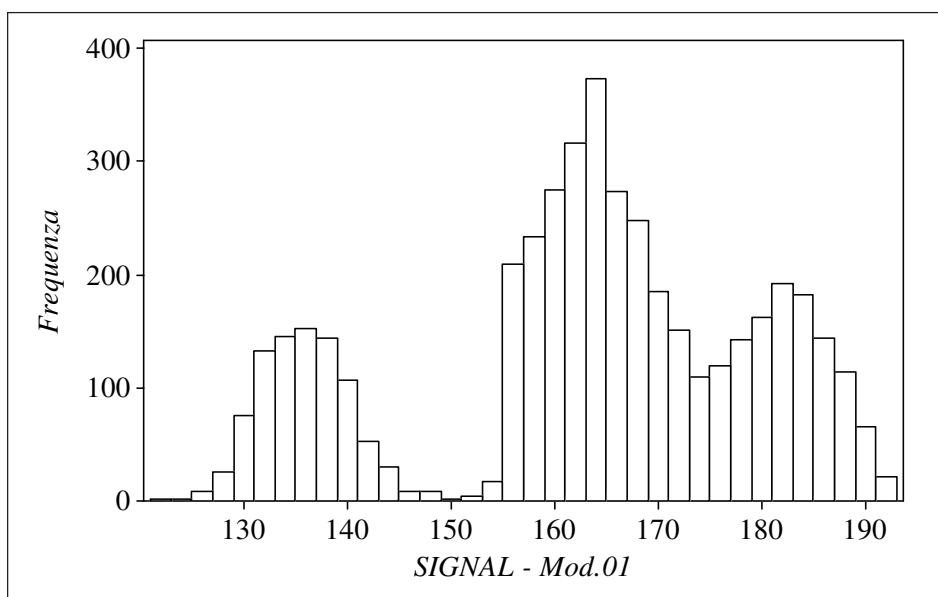


Fig. 3: Distribuzione del segnale relativo al *mod.01*. *Media:* 162,61; *Deviazione standard:* 16,45.

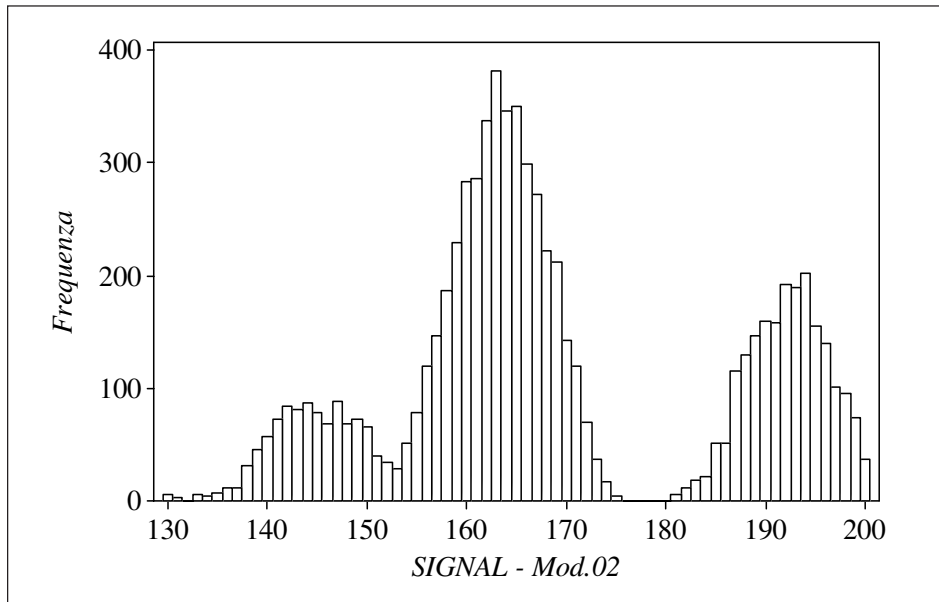


Fig. 4: Distribuzione del segnale relativo al *mod.02*. *Media: 168,87; Deviazione standard: 16,47.*

Per valutare la differenza tra distribuzioni complete sono state elaborate le figura 5 e 6, che riportano gli stessi dati in forma cumulata.

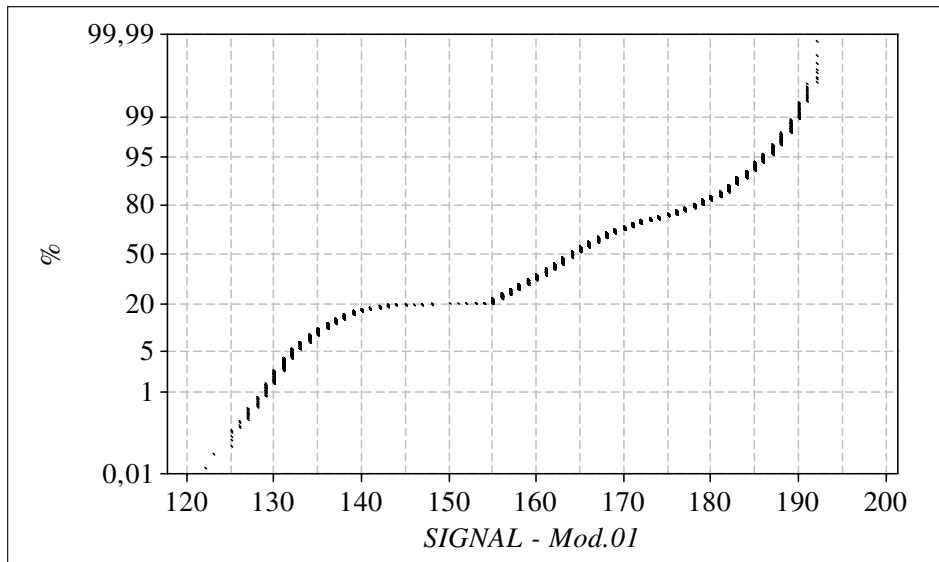


Fig. 5: Distribuzione di frequenza del segnale relativo al *mod.01*.

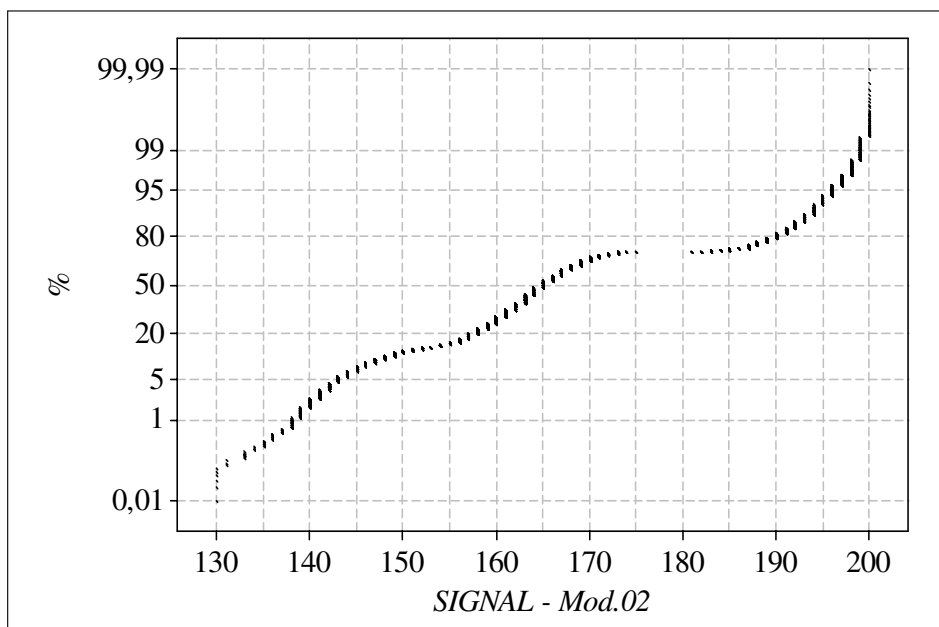


Fig. 6: Distribuzione di frequenza del segnale relativo al mod. 02.

La distribuzioni, in generale simili, presentano, tuttavia, alcuni punti di diversità, come, ad esempio, nell'intervallo 140, 155, oppure in quello terminale, compreso tra 175e 200.

Queste indicazioni sono state molto utili per maturare il know-how finale. Le abbiamo riportate per richiamare l'attenzione su questo tipo di valutazioni, generalmente non considerate nella giusta luce.

Dalle figura precedenti è emerso, in ogni caso, una disomogeneità di distribuzioni, che abbiamo ritenuto importante investigare ulteriormente. Per questo scopo sono stati riportati i dati nella seuquenza in cui sono stati ottenuti; ciò è riportato nelle figure 7 e 8.

Le successioni temporali chiariscono immediatamente sia le plurimodalità delle distribuzioni, sia le piccole differenze riscontrate tra i due modelli oltre ad indicare chiaramente la varibilità che scaturisce dal fatto che, come si ricorda, il segnale, attualmente è misurato soltanto nelle modalità *presenza, assenza*. Questo tipo di controllo, evidentemente, non è in grado di valutare variazioni, dovute a qualsiasi causa intervenga nel corso della lavorazione.

Si segnala l'importanza concettuale di questo fatto, nel senso che, talvolta sarebbe utile effettuare dei rilievi non direttamente collegati alla

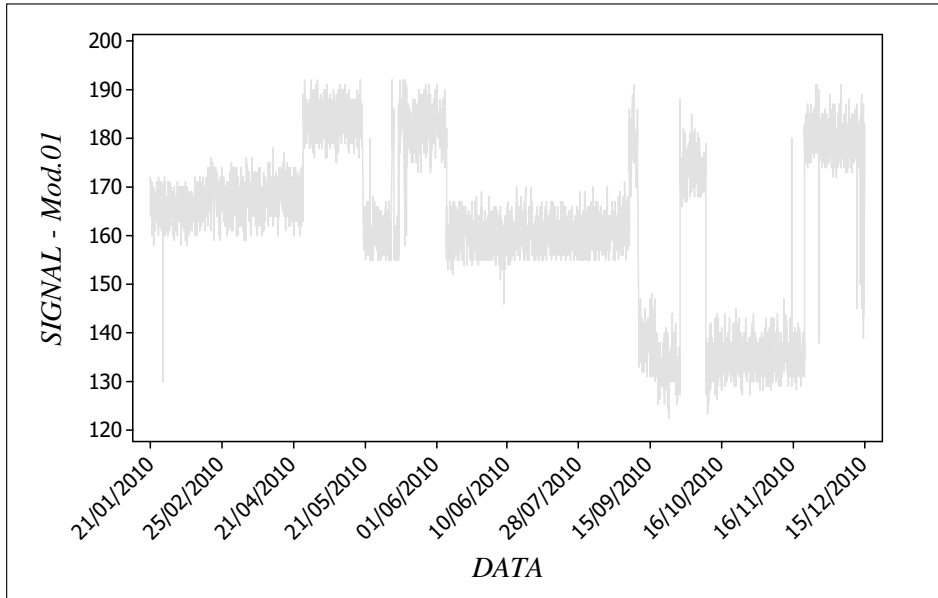


Fig. 7: Successione dei valori del segnale nel tempo per il *mod. 1.*

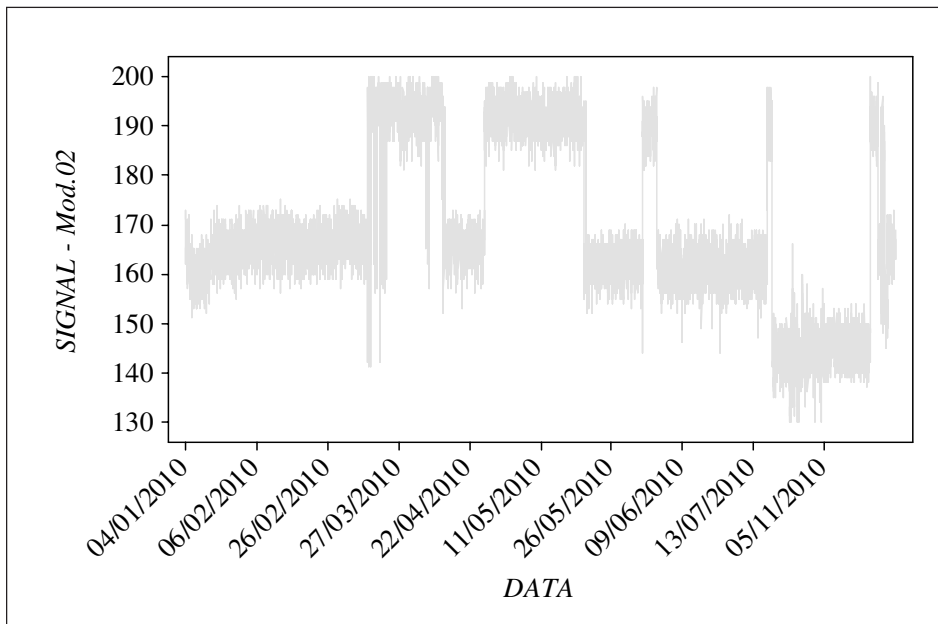


Fig. 8: Successione dei valori del segnale nel tempo per il *mod.2.*

funzionalità del prodotto ma estremamente utili alla verifica della stabilità del processo.

Avendo stabilito che esiste una marcata instabilità del processo, avendo osservato una significativa, seppur lieve differenza tra i due modelli, la linea di base è stata completata confrontando prestazioni a limiti di specifica.

Il confronto, eseguito per immediatezza di valutazione, ancora in modo grafico, è riportato nelle figure 9 e 10. Dal confronto tra distribuzioni di probabilità dei segnali, che per completezza, diciamo che sono misurati in [V], e i limiti di specifica necessari per ottenere le nuove prestazioni dei dispositivi, appare chiaro che i dispositivi costruiti utilizzando il progetto attuale sarebbero inadeguati.

Sono, quindi, necessarie azioni di miglioramento. Ma, per questo scopo è necessario capire quali siano state le cause delle variabilità osservate dagli istogrammi e dalle successioni temporali dei dati.

Si è, allora, iniziato con la stesura del diagramma delle possibili cause, indicato nella figura 11.

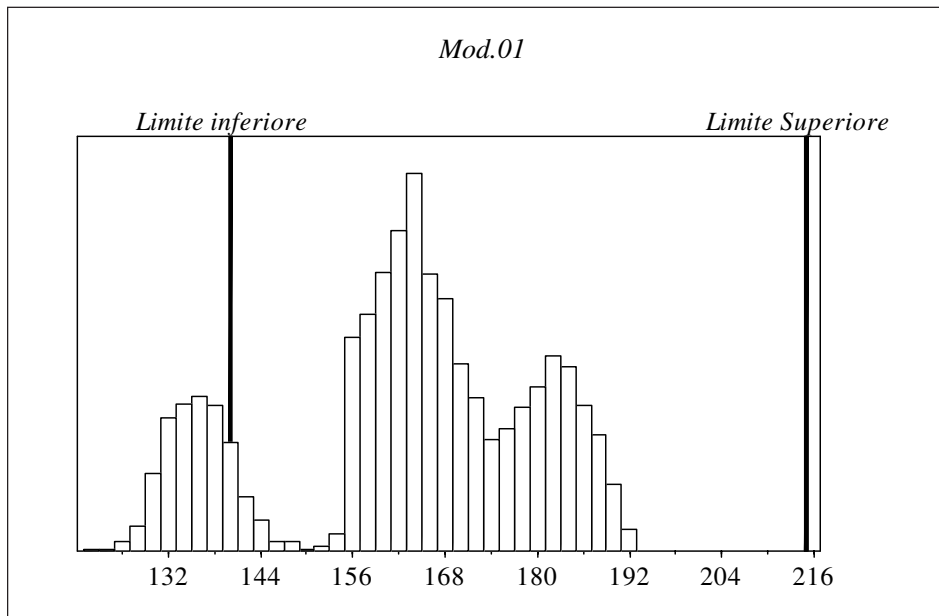


Fig. 9: Inadeguatezza del progetto attuale per il *mod. 1*. Limiti di specifica 140 - 215.

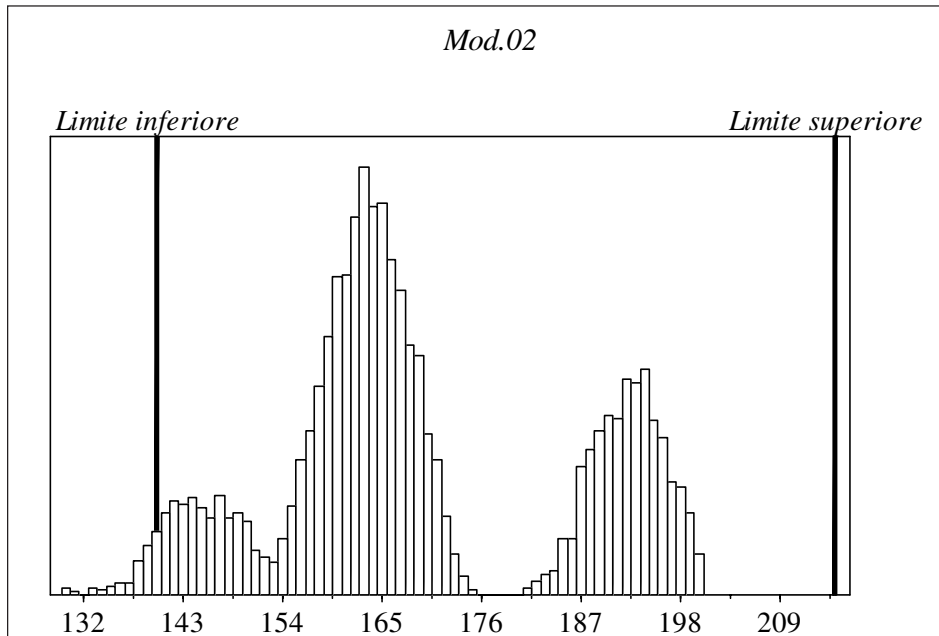


Fig. 10: Inadeguatezza del progetto attuale per il *mod. 02*. Limiti di specifica 140- 215.

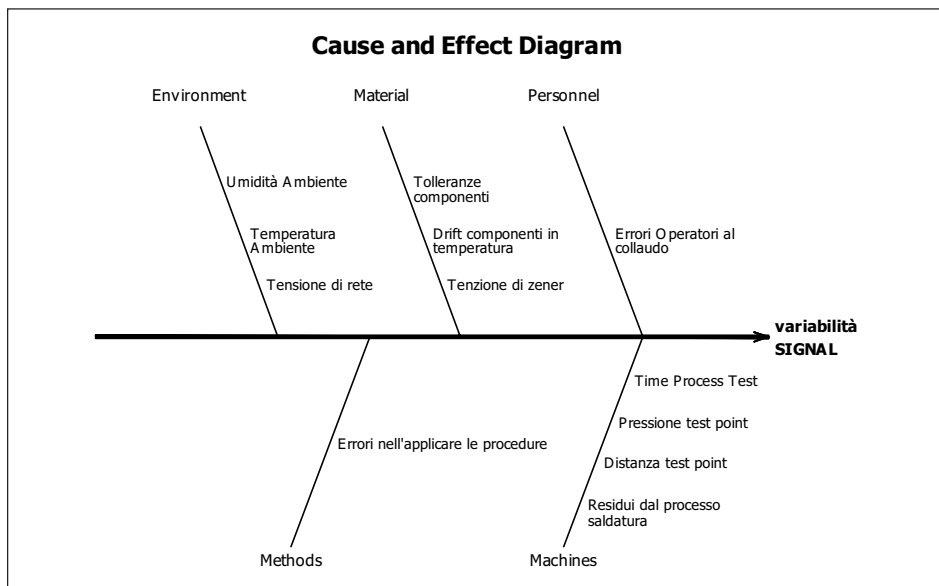


Fig. 11: Diagramma di causa ed effetto per giustificare le forti variabilità di segnale osservate nelle distribuzioni di probabilità e nelle sequenze temporali.

4. DEFINIZIONE DI POSSIBILI CAUSE DELLE VARIAZIONI OSSERVATE

Il diagramma della figura 11 è stato costruito da un gruppo di lavoro del quale ha fatto parte il progettista, oltre che la funzione Qualità e Sei Sigma e le cui idee sono state guidate da osservazioni scaturite dai grafici delle figure precedenti, che, come si può notare, contengono tutti i riferimenti precisi per poter sistemare eventi noti in tempi precisi.

Attraverso il diagramma di Pareto della figura 13, costruito successivamente, in una sessione di lavoro C&E Matrix, sulla base della figura 11, con i pesi indicati nella figura 12, sono state isolate le cause più probabili da testare successivamente in modo quantitativo.

Come si può notare, alcune cause sono interne al circuito e riconducibili ai suoi componenti:

tensione di zener e tolleranze dei vari componenti. Una sembra riconducibile all'ambiente esterno ed è costituita dalla *tensione di rete*.

Input	Peso
Tolleranze componenti	30
Drift componenti in temperatura	10
Umidità Ambiente	0
Temperatura Ambiente	0
Residui dal processo saldatura	0
Tensione rete elettrica	90
Tensione di zener	90
Distanza test point - pad test	0
Pressione Test point	0
Time Process Test	0
Errori Operatori al collaudo	10
Errori nell'applicare le procedure	10

Fig. 12: Pesi di importanza assegnati alle possibili cause indicate nella figura 11.

5. INDAGINE QUANTITATIVA SULLA SIGNIFICATIVITÀ DELLE CAUSE PRINCIPALI

Si è stabilito, a questo punto, di verificare statisticamente l'effettiva significatività delle due variabili risultate più importanti.

Il metodo migliore, non disponendo di dati storici, è risultato quello di un progetto sperimentale.

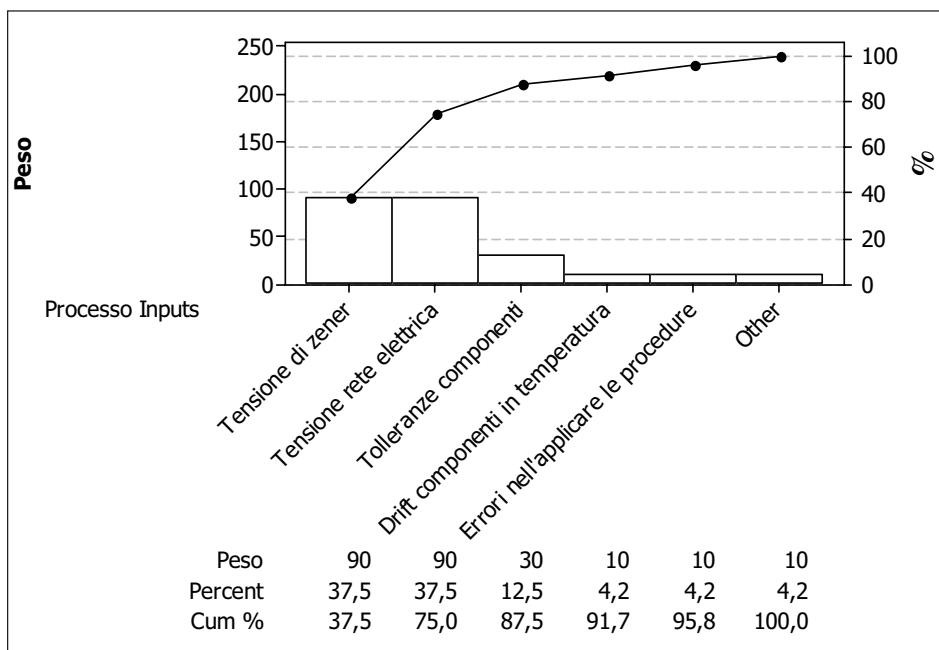


Fig. 13: Diagramma di Pareto riassuntivo delle cause in ordine di importanza.

Essendo interessati alla verifica di queste variabili e disponendo di due modelli dello stesso dispositivo, si è deciso di progettare un esperimento 22 con due repliche in due blocchi, il blocco essendo costituito dal tipo di dispositivo.

Nella figura 14 è riprodotto il piano fattoriale utilizzato e i risultati ottenuti.

Tipo di Modello	Tensione di rete [Vac]	Tensione di zener [Vdc]	Y Signal [V]
1	253	140	174,5
1	195	100	130,5
1	195	140	165,0
1	253	100	136,0
2	195	100	131,0
2	253	100	136,5
2	195	140	165,0
2	253	140	175,0

Fig. 14: Piano fattoriale e risultati dell'esperimento.

L'analisi statistica dei risultati, riassunta nella figura 15, che costituisce direttamente l'output del software utilizzato, ha permesso di ottenere importanti informazioni sul funzionamento del circuito elettrico.

Estimated Effects and Coefficients for Y Signal (coded units)						
Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P	
Constant		151,688	0,06250	2427,00	0,000	
Block		-0,187	0,06250	-3,00	0,058	
Tensione di rete	7,625	3,813	0,06250	61,00	0,000	
Tensione di zener	36,375	18,187	0,06250	291,00	0,000	
Tensione di rete*Tensione di zener	2,125	1,063	0,06250	17,00	0,000	

S = 0,176777 PRESS = 0,666667
R-Sq = 100,00% R-Sq(pred) = 99,98% R-Sq(adj) = 99,99%

Analysis of Variance for Y Signal (coded units)						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Blocks	1	0,28	0,28	0,28	9,00	0,058
Main Effects	2	2762,56	2762,56	1381,28	44201,00	0,000
2-Way Interactions	1	9,03	9,03	9,03	289,00	0,000
Residual Error	3	0,09	0,09	0,03		
Total	7	2771,97				

Estimated Coefficients for Y Signal using data in uncoded units	
Term	Coef
Constant	62,3556
Block	-0,187500
Tensione di rete	-0,0883621
Tensione di zener	0,499030
Tensione di rete*Tensione di zener	0,00183190

Fig. 15: Analisi statistica dei risultati dell'esperimento.

Le variabili considerate risultano entrambe significative; non vi sono, viceversa, sufficienti evidenze sulla influenza dell'effetto blocco.

L'equazione riassuntiva del fenomeno è la seguente:

$$\begin{aligned}
 \text{SIGNAL} = & 62,3556 + (-0,0883621 * \text{Tensione Rete}) + \\
 & (0,499030 * \text{Tensione Zener}) + \\
 & +(0,00183190 * \text{Tensione Rete} * \text{Tensione Zener}
 \end{aligned}$$

che è riassunta graficamente nelle figure 16 e 17.

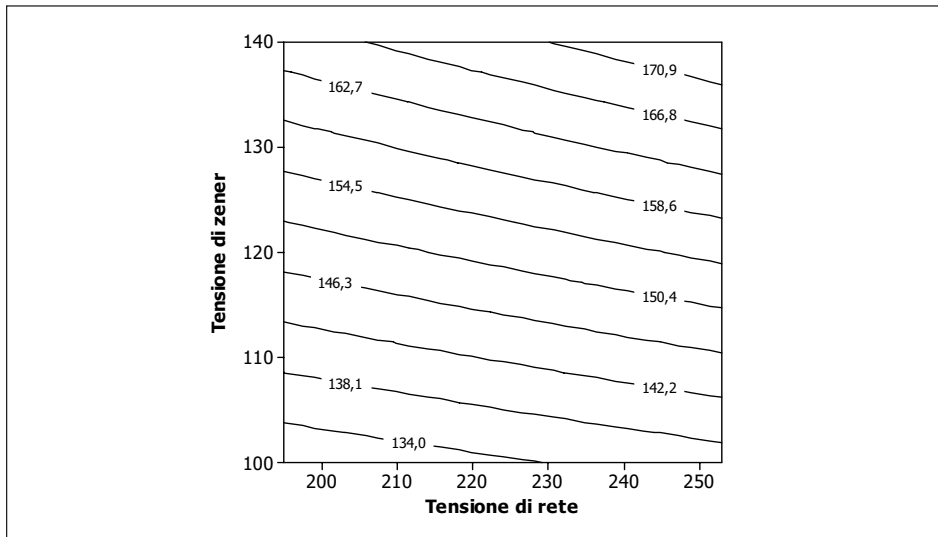


Fig. 16: Superfici di livello della relazione descrittiva del fenomeno.

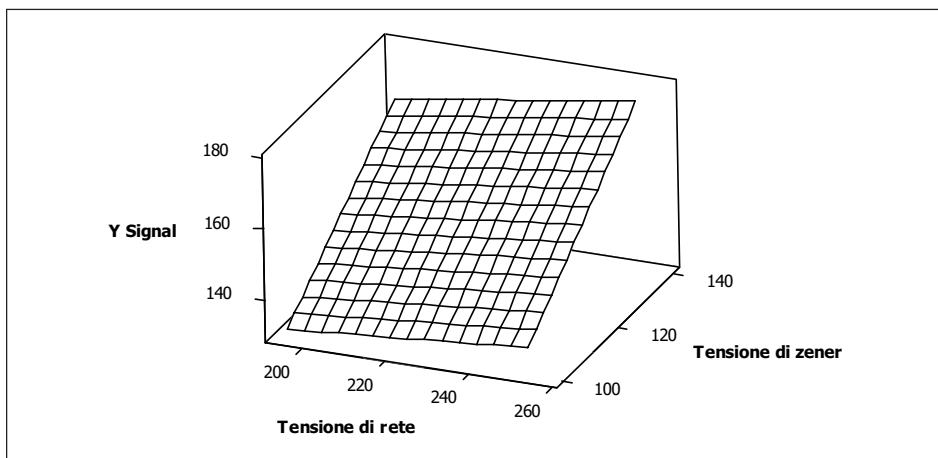


Fig. 17: Rappresentazione tridimensionale della relazione descrittiva del fenomeno.

La superficie di risposta delle figure 16 e 17, oltre a sintetizzare i risultati ottenuti dall'esperimento, evidenziano un dato progettuale importante.

Come si può notare, infatti, la risposta di SIGNAL migliora all'aumentare della tensione del diodo zener, che assicura le prestazioni di categoria diversa al circuito.

In termini tecnici questo significa orientarsi su un componente del tutto diverso da quello utilizzato fino a questo momento. Ciò porta la caratteristica all'interno dei limiti di specifica (fig. 9, 10) e consente, in definitiva, la soluzione per ottimizzare il circuito.

6. CONCLUSIONI

Nel lavoro sono stati descritti i risultati e i metodi fondamentali utilizzati in un progetto Sei Sigma, sviluppato con l'obiettivo di identificare le caratteristiche dei componenti di un circuito elettronico, per variarne, in modo significativo, la risposta.

Al di là delle proposte per ottimizzare le performance del circuito, l'impiego dei metodi statistici ha avuto un effetto aggiuntivo e molto importante, consistente nell'azzeramento del *time to market* di un nuovo prodotto, che avrebbe richiesto, secondo la metodologia standard di introduzione di un nuovo prodotto, una lunga serie di tentativi empirici e di prove.

APPENDICE

ELABORAZIONE DEI DATI UTILIZZATI PER ESEGUIRE LE ANALISI STATISTICHE DESCRITTE NEL TESTO

Gli apparati elettronici vengono sottoposti ad un collaudo funzionale in grado di simulare accuratamente le condizioni e le sollecitazioni di esercizio.

I dati del collaudo sono normalmente registrati insieme alle condizioni impiegate.

Per ogni scheda collaudata è generato un file che rappresenta, in formato elettronico, il certificato di collaudo.

I file vengono archiviati all'interno di un server e possono per essere consultati in qualsiasi momento.

Per consentire questa operazione è stato realizzato un software specifico per leggere i certificati di collaudo e generare un file di dati, come è mostrato, a titolo di esempio numerico, nella figura 18 e per seguire la logica utilizzata, nella figura 19.

```
151;217,393;12/11/2010;18.48.49;op34
151;215,286;12/11/2010;18.50.27;op34
150;214,711;12/11/2010;18.30.59;op34
152;228,426;12/11/2010;18.47.43;op34
150;214,485;12/11/2010;19.15.24;op34
150;214,401;12/11/2010;18.28.43;op34
152;228,502;12/11/2010;18.38.08;op34
150;214,547;12/11/2010;18.40.37;op34
152;229,433;12/11/2010;18.35.34;op34
151;222,475;12/11/2010;18.29.53;op34
```

Fig. 18: Un estratto dei dati presenti nel server.

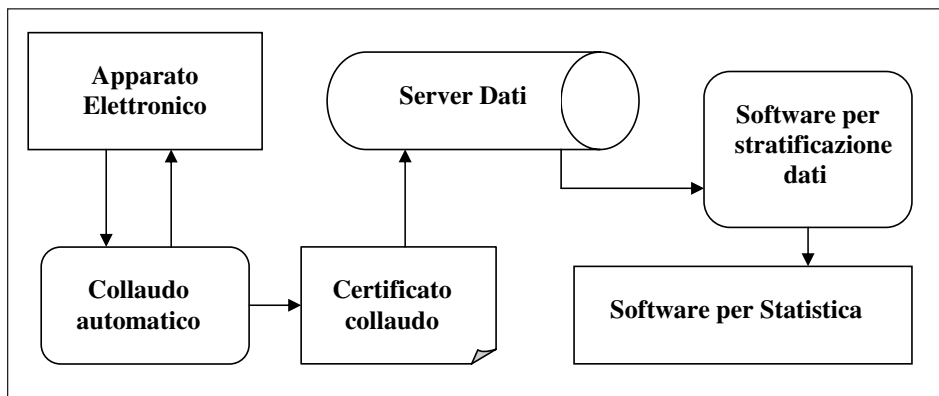


Fig. 19: Rappresentazione grafica della logica utilizzata.

Riferimenti Bibliografici

- Abraham Pressman, Keith Billings, and Taylor Morey** (2009) *Switching Power Supply Design*, McGraw-Hill, New York.
- Data sheet ZPY1...ZPY200**, Diotec Semiconductor (2002), Heitersheim, Germany
- Cascini E.** (2009) *Sei Sigma per Docenti in 14 Capitoli*, RCE Multimedia Communication Company, Napoli.
- PSV Project Service and Value** (2005-2010) *Documentazione di progetto relativa all'apparato elettrico in cui è contenuto il circuito Controller*, Padova.
- Software MINITAB** (2008) Release 15.
- G.E.P.Box, W. Hunter J. S.Hunter** (1978) *Statistics for Experimenters: An Introduction to Design, Data Analysis, and Model Building*, John Wiley & Sons, New Jersey.
- Hald A.** (1967) *Statistical Theory with Engineering Applications*, John Wiley, New York.
- Cascini E.** (2009) *Corso per Master in Metodi Statistici Avanzati*, AICQ CN, Milano.
- Vianello M.** (2011) *Corso per Black Belt*, AISS, Firenze.

DESIGNING AND SIX SIGMA SYSTEM: A CASE STUDY

Summary

The work summarizes the main points of a Six Sigma project, aimed at identifying optimum design parameters of an electronic circuit. The circuit is already existing and properly functioning, but it was decided to investigate the possibility to use it for enhanced applications. A statistical data analysis showed that this was not the case; hence a proper Six Sigma project was designed to investigate the means to improve the performance of the circuit. The work describes developed activities.

Ringraziamenti

Si ringraziano

PSV Project Service And Value Srl e l'ing. Lorenzo Bicego, per il permesso a pubblicare e i consigli durante lo svolgimento del lavoro, i progettisti **Nicola Trevisanato, Franco Giaccon e Matteo Rizzo** e l'ing. **Egidio Cascini**, per il contributo metodologico e i consigli sulla struttura della presentazione.