



Ricerca di Sistema elettrico

Analisi di affidabilità e analisi dei guasti e delle criticità (FMECA) del sistema smart street

Fabio Leccese, Enrico Petritoli

ANALISI DI AFFIDABILITÀ E ANALISI DEI GUASTI E DELLE CRITICITÀ (FMECA) DEL SISTEMA SMART STREET

F. Leccese, E. Petritoli (Università degli Studi "Roma Tre")

Settembre 2017

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2016

Area: Efficienza energetica e risparmio di energia negli usi finali elettrici e interazione con altri vettori energetici

Progetto: D6 Sviluppo di un modello integrato di Smart District urbano

Obiettivo: c. Controllo e valutazione delle infrastrutture pubbliche energivore

Responsabile del Progetto: Claudia Meloni, ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione "Analisi supporto logistico di un sistema Smart Street"

Responsabile scientifico ENEA: Francesco Pieroni

Responsabile scientifico Università degli Studi "Roma Tre": prof. Fabio Leccese

Indice

1	INTRODUZIONE	4
2	DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ	5
2.1	DEFINIZIONE DI LOGISTICA INTEGRATA.....	5
2.2	ANALISI DI SUPPORTO LOGISTICO	5
2.2.1	<i>Analisi di Affidabilità</i>	6
2.2.2	<i>Analisi dei Guasti e di Criticità (FMECA)</i>	7
3	DESCRIZIONE ARCHITETTURALE.....	8
3.1	INTRODUZIONE	8
3.2	ARCHITETTURA ELETTRICA/ELETTRONICA	8
3.2.1	<i>Concentratore PLC</i>	8
3.2.1.1	<i>Orthogonal Frequency-Division Multiplexing (OFDM)</i>	10
3.2.2	<i>Nodo IP</i>	12
3.2.3	<i>LED Driver</i>	13
3.2.4	<i>Lampada A Matrice Di LED</i>	15
3.2.5	<i>Media Converter (lato Concentratore e lato Multiswitch)</i>	15
3.2.6	<i>Multiswitch e Utilizzatore Finale</i>	17
4	ANALISI DI AFFIDABILITÀ.....	18
4.1	GENERALITÀ.....	18
4.1.1	<i>Obiettivi Dello Studio Affidabilistico</i>	18
4.1.2	<i>Stress del Componente</i>	19
4.1.3	<i>Terminologia</i>	19
4.1.4	<i>Il MIL-HDBK-217F</i>	21
4.1.5	<i>Parts Count Reliability Prediction</i>	21
4.2	ANALISI DEL SISTEMA.....	23
5	ANALISI DEI GUASTI E DI CRITICITÀ (FMECA)	24
5.1	CRITERI	24
5.2	ASSUNZIONI	24
5.3	FORMATO DELLE TABELLE.....	25
5.4	TABELLE FMECA	26
6	CONCLUSIONI.....	45
7	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	46
7.1	DOCUMENTI APPLICABILI	46
7.2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	46
8	ABBREVIAZIONI ED ACRONIMI.....	47

1 Introduzione

Questo documento illustra l'Analisi di Supporto Logistico applicata al sito pilota del sistema "Smart Street" collocato presso il centro ENEA della Casaccia (Roma). Dapprima è stata effettuata l'analisi di affidabilità attesa del sistema "Smart Street" a cui ha fatto seguito l'identificazione delle azioni necessarie per ridurre o mitigare gli effetti dei guasti al fine di preservare o aumentare il tempo di missione ovvero il tempo di funzionamento in condizioni ottimali. Inoltre l'identificazione di componenti critici (al livello di sottosistema o di componente) permette di poter dapprima di apporzionare le eventuali scorte di magazzino e in successivamente di valutare lo sforzo di costo in termini di tempo e di ore/uomo legate alla manutenzione.

L'analisi applicabile al sistema "Smart Street" è di due tipi, il primo prettamente affidabilistico, il secondo di tipo logico/funzionale. La prima detta "analisi di affidabilità" mira a stabilire non solo la figura di affidabilità del sistema (*in nuce* l'intervallo tra due guasti) ma ad individuare quale siano i componenti o sottosistemi più prone al guasto. La seconda analisi chiamata FMECA (*Failure Mode, Effects, and Criticality Analysis* - Analisi dei modi, degli effetti e della criticità dei guasti) mira a stabilire, tramite successioni logiche di funzionamento, l'effetto di un eventuale guasto al livello di sottosistema o di componente al fine di mitigarne la gravità.

La sintesi delle due analisi precedenti ci fornisce una sorta di "radiografia" del sistema evidenziandone gli anelli deboli: tutti questi dati sono utilissimi per poter valutare i costi logistici in termini di scorte di magazzino, tempi di intervento ed eventuali costi di manutenzione (quest'ultima parte non è oggetto di questo studio).

2 Descrizione delle attività

2.1 Definizione di Logistica Integrata

L'Analisi di Supporto Logistico (LSA) è un processo che fa parte del concetto molto più ampio di logistica integrata vale a dire il processo gestionale che governa l'intero flusso di materiali e informazioni, dal loro punto di origine al consumatore/utilizzo finale.

Se tradizionalmente si ragionava in termini di unità organizzative separate affidando ad ogni comparto tecnico la gestione di una ben definita attività, ad esempio suddividendo in maniera inequivocabile i settori adibiti all'approvvigionamento da quelli per l'elaborazione degli ordini o lo stoccaggio dai trasporti, oggi una visione così nettamente ripartita è superata in favore di un approccio trasversale e complessivo.

Non più distinta nelle sue singole funzioni, con il concetto di *logistica integrata* si intende un processo articolato dove tutte le attività gestionali risultano interdipendenti e fra loro correlate.

2.2 Analisi di Supporto Logistico

L'Analisi di Supporto Logistico, applicata in particolare al sistema "Smart Street", ha i seguenti compiti:

- La caratterizzazione del sistema e del suo *environment*.
- Influenzare lo sviluppo ulteriore (feedback) del sistema per realizzare e garantire le caratteristiche necessarie del sistema (nel nostro caso una fornitura di servizi multipli)
- Determinare il personale necessario ed ottimizzare le risorse (logistiche, tecniche, di budget).

Gli Input per l'LSA sono:

- Documentazione tecnica (Data package), come ad esempio i documenti di ingegneria meccanica ed elettrica (diagrammi circuitali, PCB, cablaggi interno e schemi di montaggio).
- Dati inerenti i Materiali e Processi: informazioni sulle parti sia d'acquisto che costruite, tempi e modalità di procurement delle parti.
- I prezzi di tutte le parti e i costi di tutti i servizi (ed eventuali rilavorazioni).
- Se necessario, aggiuntivi richiedibili sono relativi a utensili speciali per la produzione, strumentazioni e fasi di test, risoluzione dei problemi e per la riparazione, informazioni sullo smontaggio ed il montaggio.
- In ultimo (ma non per importanza) le risultanze dalle seguenti

- Analisi di affidabilità (MTBF)
- Analisi dei guasti e di criticità (FMECA).

2.2.1 Analisi di Affidabilità

Per “affidabilità” si intende quella parte della statistica che studia le leggi di guasto di componenti, macchine e sistemi. L’analisi dell’affidabilità del sistema “Smart Street” è necessaria al fine di stimare od ottimizzare:

- La durata di vita (del componente o del sottosistema) tramite il calcolo del tasso di guasto
- La disponibilità operativa del sistema
- Il costo del ciclo di vita

Per tasso di guasto (failure rate λ) si intende la probabilità che il componente o sistema, che abbia funzionato fino ad un istante prefissato, si guasti nel periodo di tempo (ora, giorno) immediatamente successivo.

Il tasso di guasto, di fatto, è una misura del rischio immediato di guasto di un componente o sistema che ha già ‘vissuto’ per un determinato tempo. Da questo si trae il tempo medio di funzionamento tra due guasti successivi:

MTBF (Mean Time Between Failures)

Poiché il sistema “Smart Street” di fatto deve assicurare un servizio (o una serie di servizi) al cittadino, è necessario che sia garantita quindi la massima Disponibilità del servizio stesso.

La Disponibilità (Availability) si definisce come rapporto tra il tempo per cui il componente o sistema può funzionare e il tempo totale per cui è richiesto il servizio:

$$Availability = \frac{UpTime}{UpTime + DownTime}$$

- Nel caso in cui sia prevalente o richiesto il costo del guasto “in sé” (sostituzione di componenti, danni, ecc.) è più significativa l'affidabilità

- Nel caso in cui sia prevalente o richiesto il costo “connesso” col guasto (mancata produzione, mancato servizio, ...) è più significativa la disponibilità

2.2.2 Analisi dei Guasti e di Criticità (FMECA)

L'analisi FMECA (acronimo dell'inglese Failure Mode, Effects, and Criticality Analysis - Analisi dei modi, degli effetti e della criticità dei guasti) è una estensione della FMEA (Failure Mode and Effects Analysis), in aggiunta alla quale include un'analisi di criticità usata per valutare, mediante opportuni diagrammi, la gravità delle conseguenze di un guasto correlata con la probabilità del suo verificarsi.

Ha i seguenti obiettivi:

- a) Individuare le aree critiche del sistema (componenti o sottosistemi);
- b) Individuare i componenti critici il cui guasto può avere conseguenze gravi (danneggiamenti, sicurezza, funzionalità);
- c) Fornire indicazioni per sviluppare programmi di manutenzione preventiva.

Si attua in accordo a questi passi:

- i. Scomposizione del sistema nelle sue parti funzionali e preparazione di una griglia di valutazione della criticità
- ii. Identificazione ed analisi dei modi tipici di guasto di ogni singola parte
- iii. Valutazione della gravità degli effetti del guasto e della frequenza
- iv. Ricerca delle cause e dei sintomi premonitori (segnale precursore) dei guasti
- v. Formulazione di un piano di intervento preventivo o migliorativo

3 Descrizione Architetture

3.1 Introduzione

Il sistema chiamato “smart street” è una linea di illuminazione stradale pubblica gestita in modo sia automatico (programmabile) che manuale: in figura1 è riportata la sua architettura generale, mentre per la sua descrizione e per il suo funzionamento completo si rimanda alla descrizione di dettaglio.

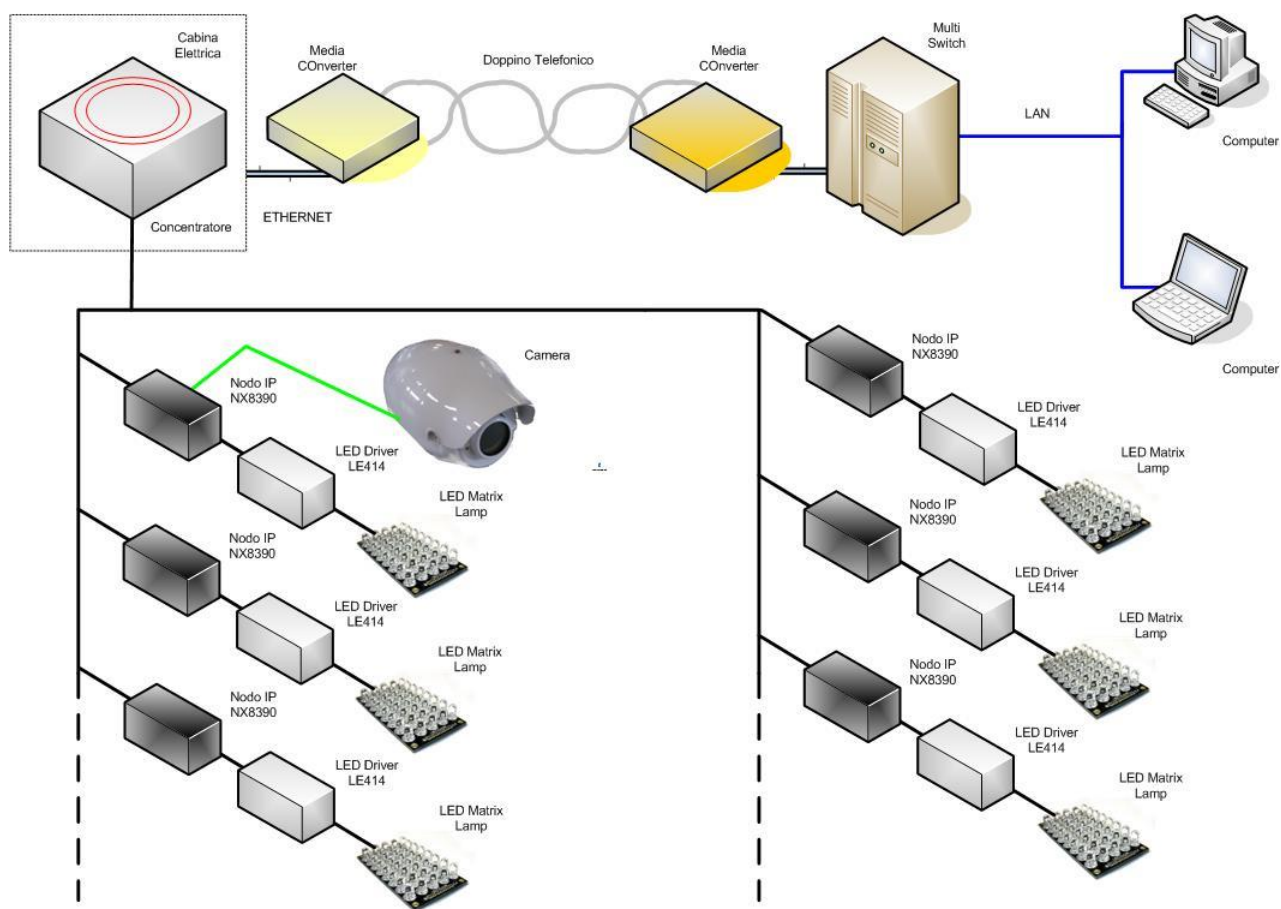


Figura 1- Architettura generale

3.2 Architettura Elettrica/Elettronica

3.2.1 Concentratore PLC

Il Concentratore è composto da tre parti principali:

- a) Un modem PLC
- b) Un sistema operativo Linux completo
- c) Un alimentatore interno.

Il Modem PLC (Power Line Communication) è un dispositivo che permette la trasmissione e la ricezione di dati attraverso la rete elettrica di bassa tensione utilizzando la tecnologia di modulazione multiportante OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing). Il Concentratore comunica con i Nodi situati sui corpi illuminanti.

Si utilizza un'ampiezza di banda di 10MHz (2-12 MHz) e la sua programmazione permette la gestione di MAC (Medium Access Control) multi punto con capacità di auto ripetizione, in modo che qualsiasi nodo può estendere la rete; allo stesso tempo, inoltre, il sistema permette l'autorigenerazione e l'adattività della rete in risposta ai cambiamenti che avvengono sul mezzo fisico (risposta adattiva alle variazioni dell'SNR - Signal to Noise Ratio).

Il dispositivo dispone di un sistema di correzione degli errori che garantisce la massima robustezza e affidabilità in qualsiasi ambiente della rete elettrica e il sistema di criptazione dei dati (DES, 3DES e AES) garantisce la totale sicurezza nella trasmissione delle informazioni.

Il Concentratore è l'elemento che gestisce l'efficienza energetica del sistema. È accessibile attraverso varie interfacce, sia cablate sia wireless.

È possibile gestirlo in maniera autonoma, attraverso un'interfaccia Web, o mediante un Software di controllo centralizzato CMS, lo Smart FireFly® UVAX o qualunque CMS (Central Management Software) tramite API REST.

Il Concentratore utilizza una fonte di alimentazione interna con raddrizzatore trifasico, che assicura il suo funzionamento sia in quadri monofase sia in trifase, anche nel caso in cui si perda l'alimentazione da parte di una delle fasi.

Si installa all'interno di un quadro elettrico, da dove si alimentano elettricamente tutti i circuiti dei lampioni e delle lanterne. Il concentratore infatti gestisce e crea la rete a banda larga mediante i nodi, posizionati in ogni lampione, e attraverso un MR4850 o un MR4859 può controllare contattori per accensione e spegnimento delle linee elettriche, ingressi e uscite analogiche e digitali.

Il concentratore dispone di un sistema operativo Linux (è un vero e proprio Server Linux) completo e funzionante su un sistema a microprocessore. Il sistema permette di aggiornare il Software remotamente.

Ha a disposizione anche un sistema di allarmi per SMS/Posta elettronica, per comunicare eventuali guasti.

Il concentratore ha anche la funzione di misurazione dei parametri elettrici a livello di quadro elettrico (tensione, corrente, potenza e fattore di potenza, energia) per ogni singola fase, naturalmente nei modelli su cui è implementata tale funzione. Il consumo medio viene immagazzinato nella memoria ed è possibile consultarlo da remoto.

3.2.1.1 Orthogonal Frequency-Division Multiplexing (OFDM)

L'*Orthogonal Frequency-Division Multiplexing* (OFDM) è una tecnica di trasmissione consistente in un tipo di modulazione a multi-portante, che utilizza cioè un numero elevato di sottoportanti tra loro ortogonali.

Ciascuna di queste portanti è modulata attraverso una modulazione di tipo convenzionale (ad esempio una modulazione di ampiezza in quadratura) con un basso *symbol rate*.

Nella trasmissione parallela di dati, la banda di frequenza disponibile è suddivisa in diversi canali ovvero la modulazione avviene tra le varie portanti in modo indipendente e, poiché i vari canali occupano bande relativamente piccole, sono meno sensibili agli effetti della distorsione dei canali selettivi in frequenza e con rumore impulsivo.

Allo scopo di eliminare l'interferenza intercanale, gli spettri dei sottocanali non devono sovrapporsi: questo però non consente un utilizzo efficiente della banda disponibile quindi la sovrapposizione spettrale può essere permessa a patto di sfruttare relazioni di ortogonalità tra i canali.

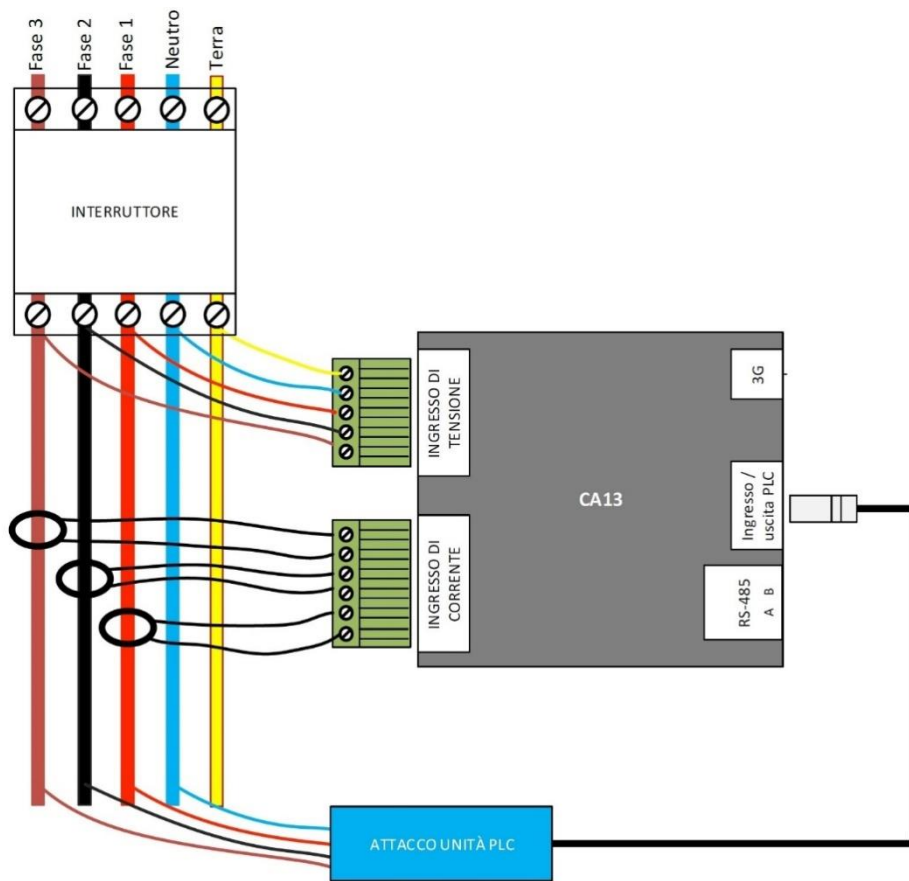


Figura 2- Concentratore: Collegamenti

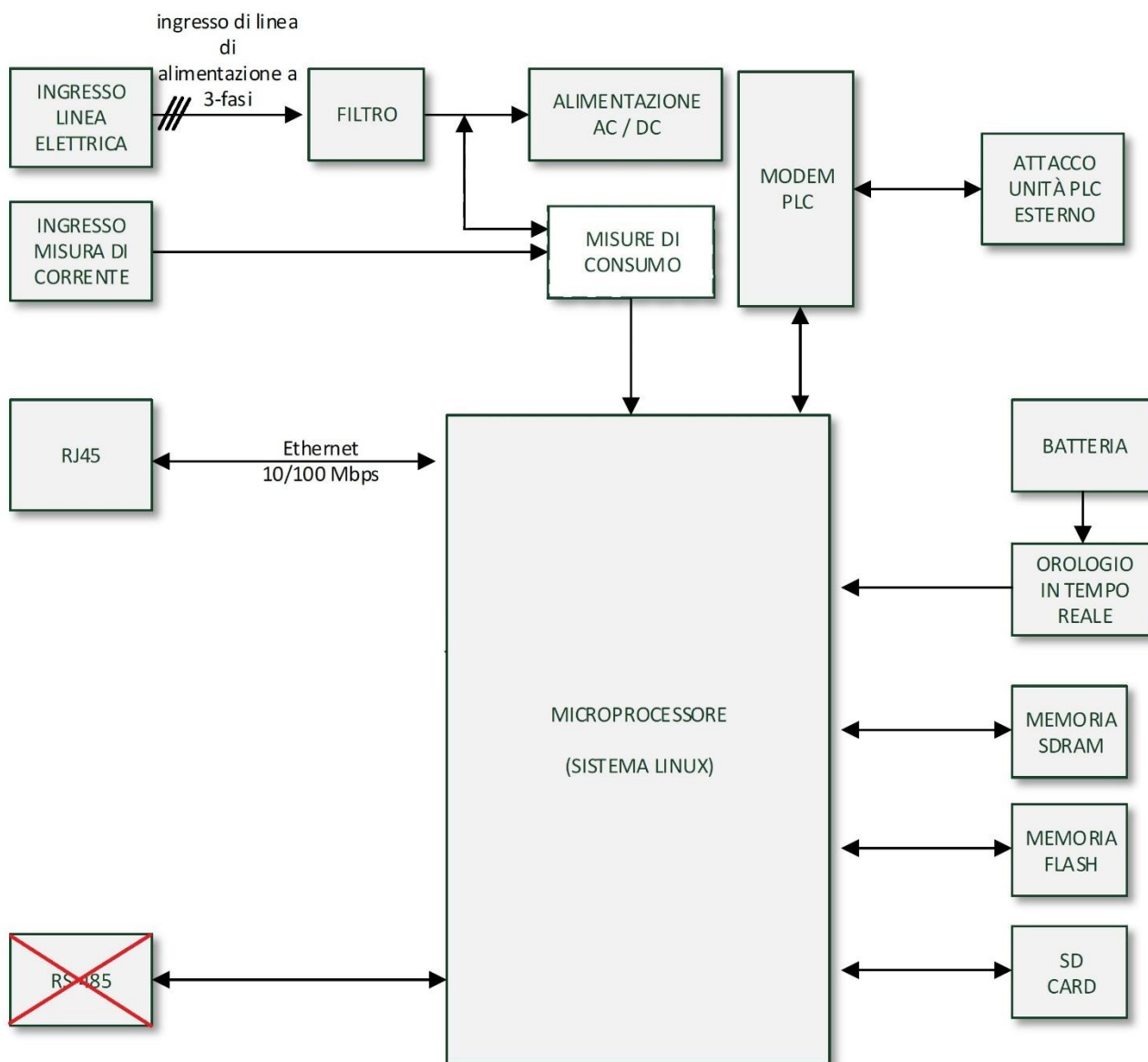


Figura 3 - Concentratore: Schema a Blocchi Funzionale

3.2.2 Nodo IP

Il Nodo PLC (Power Line Communication) è un dispositivo che permette la trasmissione e ricezione di dati a banda larga attraverso la rete elettrica di bassa tensione utilizzando la tecnologia di modulazione a multiportante OFDM, comunica quindi con un concentratore e/o ad altri nodi. Si utilizza un'ampiezza di banda di 10 MHz (2-12 MHz) e la sua programmazione permette la gestione di MACs (Medium Access Control) multipunto con capacità di auto ripetizione, in modo che qualsiasi nodo possa estendere la rete, allo stesso tempo, il sistema permette

l'autorigenerazione e l'adattività della rete in risposta ai cambiamenti che avvengono sul mezzo fisico (risposta adattiva alle variazioni dell'SNR).

Il dispositivo dispone inoltre di un sistema di correzione degli errori che garantisce la massima robustezza e affidabilità in qualsiasi ambiente della rete elettrica e il sistema di criptazione dei dati (DES,3DES e AES) garantisce la totale sicurezza nella trasmissione delle informazioni.

I Nodi utilizzano un protocollo di selezione di percorso (routing) ottimizzata. I dispositivi cercano e utilizzano la miglior linea in termini di attenuazione e di numero di ripetitori per connettersi al Concentratore.

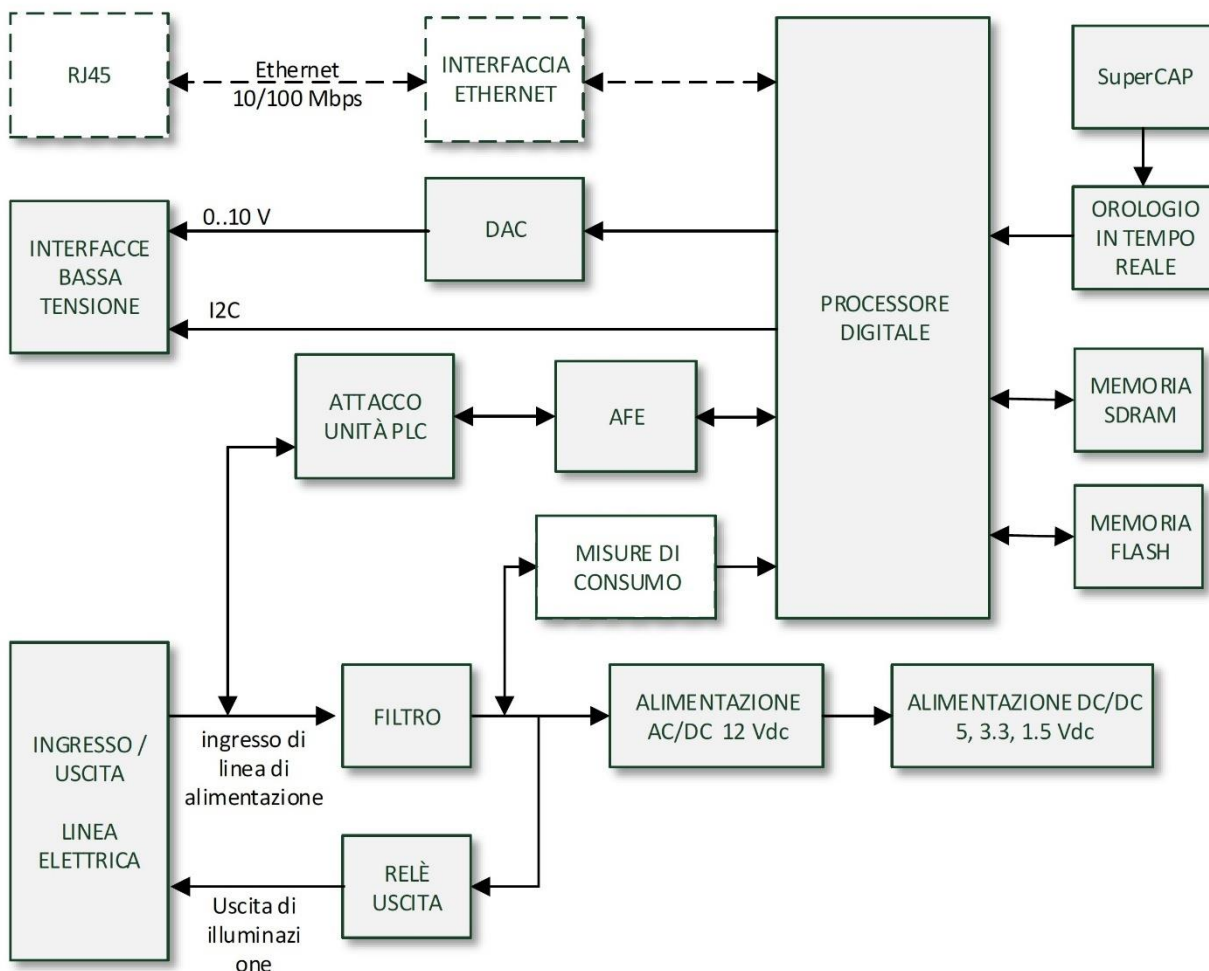


Figura 4 - NODO IP: Schema a Blocchi Funzionale

3.2.3 LED Driver

Il LED driver è un dispositivo che regola la potenza di un LED o una stringa (o stringhe) di LED e risponde alle mutevoli esigenze del circuito LED fornendo una quantità di potenza costante quando le proprietà elettriche cambiano con la temperatura.



Figura 5 Innotek LED Driver

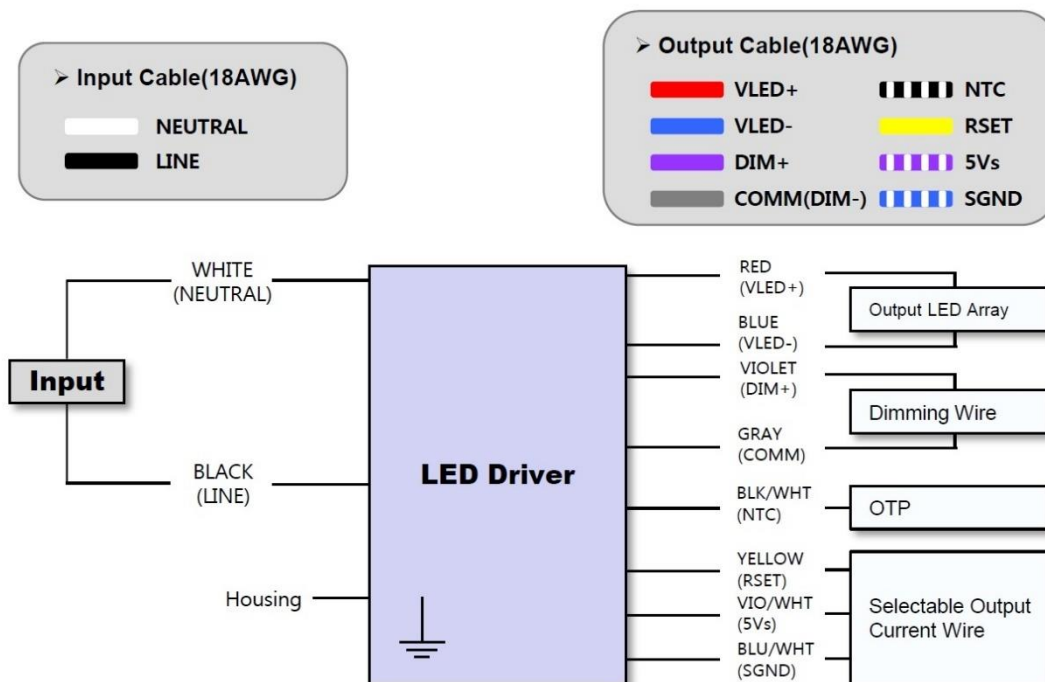


Figura 6 LED Driver: schema a Blocchi

Di fatto è un alimentatore che ha uscite che corrispondono alle caratteristiche elettriche del tipo di LED che poi andremo a pilotare. Il dispositivo può offrire, come nel nostro caso, la “dimmerizzazione” (controllo

variabile) del flusso luminoso tramite circuiti di modulazione di larghezza dell'impulso (PWM – Pulse Width Modulation) inoltre si possono avere più canali per il controllo separato di diversi LED o array di LED.

Il livello di potenza del LED è mantenuto costante dal driver LED, in quanto le proprietà elettriche cambiano durante l'aumento e diminuzione della temperatura rilevati: senza il corretto driver, il LED può diventare troppo caldo e instabile, causando quindi scarse prestazioni o guasti.

3.2.4 Lampada A Matrice Di LED

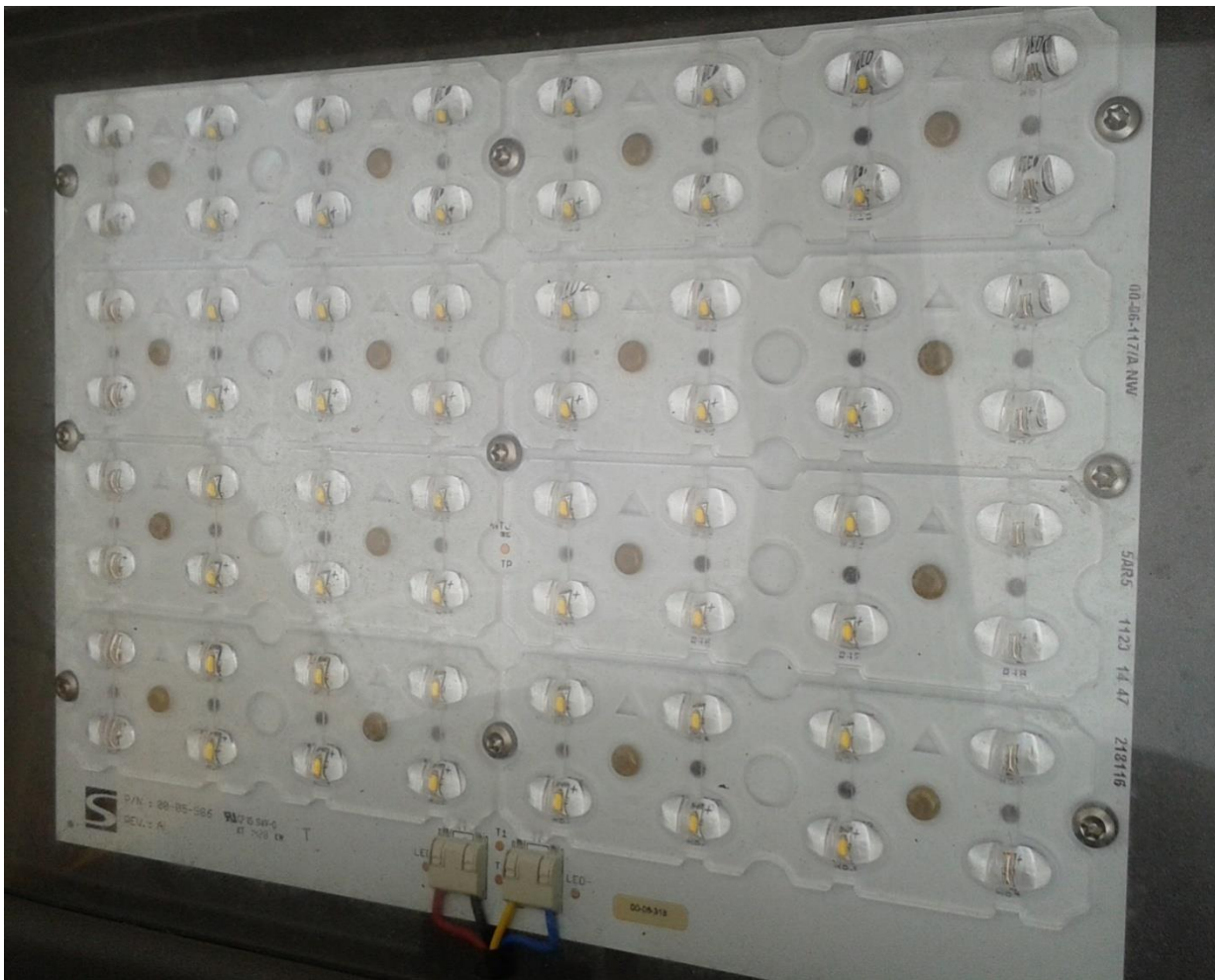


Figura 7- Lampada a matrice di LED

La lampada a matrice di LED contiene 64 led singoli, posti su un pannello rettangolare. La loro intensità può essere regolata permettendo di modulare l'output di luce da zero (spento) al 100 %. La funzionalità generale non è compromessa anche se viene a mancare una quota parte di LED della matrice ovvero la lampada continua ad erogare luce anche se non con l'intensità massima attesa.

3.2.5 Media Converter (lato Concentratore e lato Multiswitch)

Il Yocto net è un network gateway che consente l'accesso simultaneo da più postazioni (tramite rete Ethernet e linea RS232) a strumenti e dispositivi Electrex (Yocto I-O, Deca sensor, ecc.) connessi su linea RS485.

Svolge le funzioni di server Modbus/TCP, server WEB e server FTP. Yocto net log è un network gateway che aggiunge la funzione di data-logging (registrazione dell'andamento nel tempo) dei parametri acquisiti dai dispositivi connessi in sottorete RS485.

Yocto net master gestisce le pagine web personalizzate di supervisione e gli allarmi via email (e SMS se collegato ad uno Yocto gate master) rilevati da tutti gli strumenti collegati alla rete Ethernet tramite due o più Yocto net e/o Yocto net log.



Figura 8- Media Converter (lato Concentratore e Multiswitch)

3.2.6 Multiswitch e Utilizzatore Finale

Alla fine, un normale Multiswitch incanalerà il flusso dati che poi viene fruito dall'utilizzatore connesso in rete: questa parte, essendo una sezione della rete che svolge un ruolo di interfaccia di comunicazione verso e dal nostro sistema non è trattata nella nostra analisi.

4 Analisi di affidabilità

4.1 Generalità

La domanda che viene spesso rivolta agli “affidabilisti” è: "cos'è che rende un sistema affidabile e come fai a sapere quanto sia affidabile?" La risposta è spesso piuttosto complessa: non un solo aspetto del processo di sviluppo rende un prodotto affidabile, ma una vasta combinazione di elementi come: un buon design del prodotto, la metodologia di approccio adottata, un buon sviluppo ed un buon controllo dei processi e la qualità costante nella produzione.

4.1.1 Obiettivi Dello Studio Affidabilistico

Gli obiettivi di affidabilità nell'industria dei componenti elettronici sono caratterizzati con la curva tradizionale della “vasca da bagno” mostrata nella figura sotto. Questa curva mostra il tasso di guasto dei prodotti rispetto al tempo ed è composta a sua volta da tre curve individuali relative alla frequenza di guasto costante, mortalità infantile ed invecchiamento

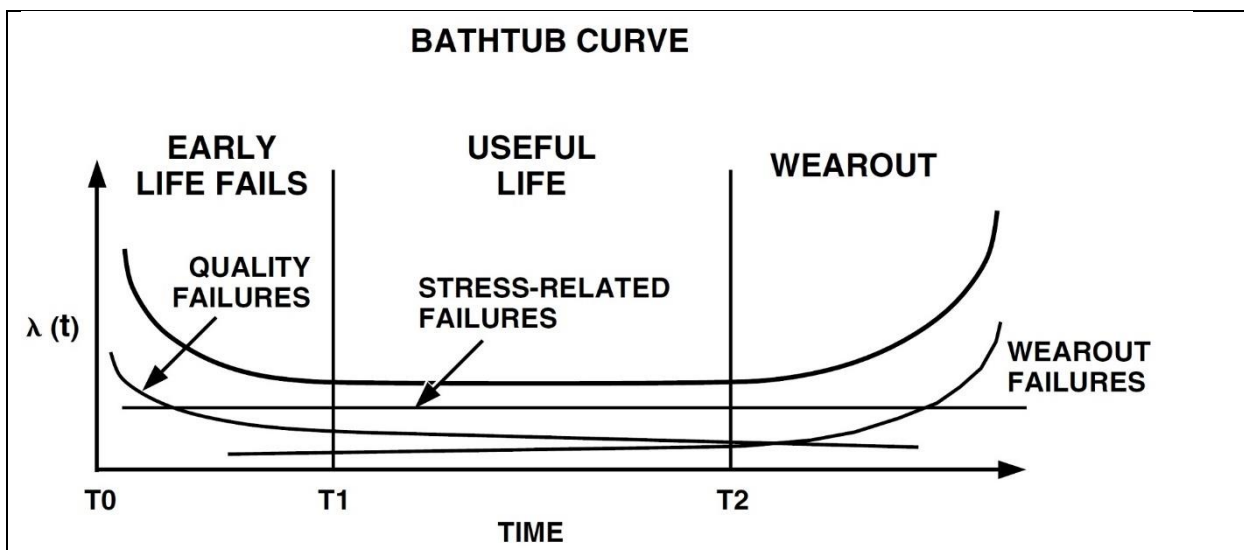


Figura 9 - Curva a Vasca da Bagno

La figura sopra mostra appunto che la curva segue una forma classica di vasca (anche se questa è una generalizzazione). La curva è composta da tre regioni distinte: la vita precoce, la vita utile e l'usura. Ogni regione è caratterizzata separatamente con potenziali guasti classificati come guasti di qualità, fallimenti casuali e guasti di usura rispettivamente. I guasti precoci di vita possono essere correlati al processo, come ad esempio i difetti indotti, e sarebbero caratterizzati da una diminuzione del tasso di fallimento.

I guasti all'usura, d'altra parte, sono limitazioni di processo intrinseche e generalmente ben caratterizzate prima della liberazione del processo. Questi fallimenti sarebbero dovuti all'usura dell'ossido, all'elettro

migrazione e agli effetti di elettroni caldi, tutti che limitano la durata del prodotto. In genere hanno un tasso di fallimento crescente.

I guasti casuali si verificano per una serie di motivi e di solito rappresentano solo un numero molto ridotto di guasti. Sono caratterizzati da un tasso di rottura costante. La forma ideale alla curva è avere un periodo di vita utile molto lungo e una scarsa quantità di difetti di qualità.

4.1.2 Stress del Componente

Un componente elettronico può subire una serie di sollecitazioni durante la sua vita, per cui i test di stress per l'affidabilità sono stati progettati per valutare gli effetti di questi stress nel tempo.

Un componente elettronico verrà assemblato su una scheda a circuito stampato utilizzando sollecitazioni termiche e messo in un sistema per l'utilizzo in ambienti militari o commerciali dove sarà completata la sua vita utile. Durante la sua vita, il dispositivo sopporta temperature, umidità e sollecitazioni elettriche. Pertanto, i test di affidabilità devono comprendere i tipi di affidabilità che sottolineano il funzionamento del dispositivo in modo che il test sia significativo e di valutare la capacità del prodotto di resistere a tali sollecitazioni.

A causa dei diversi tipi di guasti che possono verificarsi, molti test possono essere applicati ad un prodotto. Generalmente, sono separati in prove elettriche, termiche ed ambientali, che sono state sviluppate e raffinate per un periodo di tempo. Per determinare i tassi di guasto dei prodotti, è importante capire come questi test siano correlati alle condizioni operative standard in condizioni di prova accelerate.

4.1.3 Terminologia

I termini di base dell'affidabilità sono:

Inaffidabilità (*Unreliability*) $F(t)$: esprime la percentuale di una popolazione che è soggetta a guasto nel tempo (t)

$$F(t) = r/n$$

dove r è il numero di elementi in errore ed n è la popolazione totale.

Affidabilità (*Reliability*) $R(t)$: esprime la percentuale di una popolazione che sarà buona durante il tempo (t)

$$R(t) = (n-r)/n$$

Failure Density $f(t)$: esprime la percentuale di una popolazione che avrà fallito per unità di tempo nel tempo (t).

$$f(t, t + \Delta t) = \Delta r/n$$

Tasso di guasto (Failure Rate) $\lambda(t)$: esprime la percentuale di una popolazione che è stata buona fino al tempo t e fallirà durante l'unità di tempo successiva.

$$\lambda(t, t + \Delta t) = \Delta r / (n-r)$$

Altri termini includono il tempo medio di guasto (MTTF o MTBF) e la vita utile.

MTTF è il periodo di tempo in cui una parte significativa della popolazione avrà fallito. Nel caso di una distribuzione esponenziale con un tasso di rottura costante, circa il 63% della popolazione avrà fallito dal

$$MTTF = 1 / \lambda$$

La distribuzione esponenziale viene applicata ad un tasso di rottura costante e viene determinata dal solo λ , dove λ è il tasso di guasto.

Matematicamente è semplice affrontare ed esprimere il periodo di vita utile della curva di vasca con un tasso di rottura costante. Di conseguenza, viene utilizzato per la distribuzione della frequenza di guasto nei test di campionamento della frequenza di fallimento. Quella esponenziale è anche la distribuzione più importante nel campo dell'affidabilità. Per essa possiamo riportare le seguenti, mostrate graficamente nella figura 10 presente nella pagina successiva:

Funzione di distribuzione della probabilità (*Probability Distribution Function*):

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \text{ (con } 0 \leq t < \infty)$$

Funzione di distribuzione cumulativa (*Cumulative Distribution Function*):

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$$

Tasso di guasto (*Failure Rate*):

$$\lambda(t) = \lambda$$

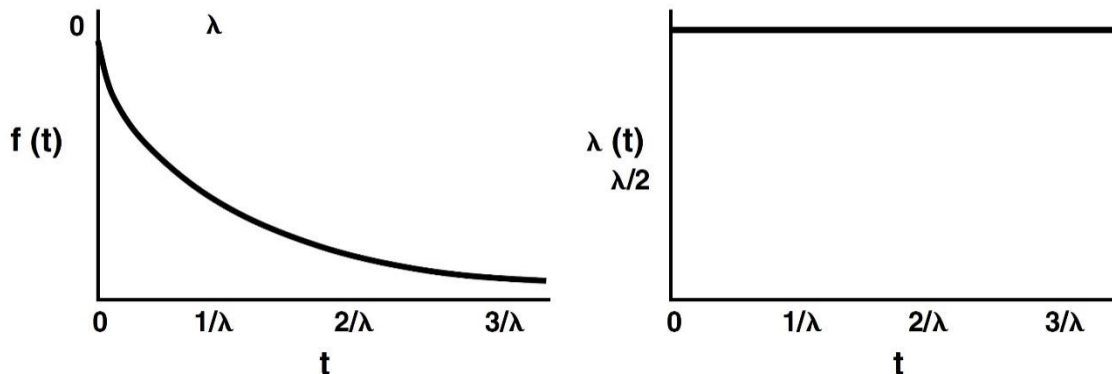


Figura 10 - Distribuzione del Failure rate

4.1.4 Il MIL-HDBK-217F

Il documento MIL-HDBK-217F contiene i modelli ed i coefficienti necessari per il calcolo del tasso di guasto $\lambda(t)$.

Ci sono fondamentalmente due metodi per calcolare il tasso di guasto. Il primo, detto "Part Stress Analysis", permette di calcolare il λ conoscendo i parametri di stress del singolo componente come, ad esempio, la tensione di lavoro, la temperatura, la potenza dissipata, il tipo di elemento considerato (qualificato o commerciale), ecc. Per ottenere l'affidabilità di un circuito intero si esegue la somma delle singole affidabilità non dimenticando di considerare anche l'affidabilità del circuito stampato (oppure dell'ibrido), delle saldature e dei connettori.

Il secondo metodo, detto "Parts Count", consiste nell'assegnare dei tassi di guasto medi a tutti i componenti di uno stesso tipo (resistenze, condensatori, transistor, ecc.). Anche in questo caso, per un circuito intero si usa una somma).

Nella trattazione successiva tratteremo il secondo metodo.

4.1.5 Parts Count Reliability Prediction

Questo metodo è utilizzabile durante la prima fase del progetto oppure per l'integrazione di preventivi. La limitazione è dovuta al fatto che per questo tipo di analisi non è richiesta la conoscenza dettagliata delle condizioni di lavoro dei singoli componenti. Le informazioni richieste per questo tipo di analisi sono:

1. Tipi generici di componenti utilizzati e quantità (resistenze, condensatori, ecc.);
2. Livello di qualifica dei componenti (Classe S, 883, COTS, ecc.);
3. Ambiente in cui deve lavorare l'apparecchio.

La relazione che permette di calcolare il tasso di guasto dell'apparecchiatura è la seguente:

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

dove:

- λ_{equip} = Tasso di guasto totale dell'apparecchiatura;
- λ_g = Tasso di guasto del generico i-esimo componente;
- π_Q = Fattore di qualità del generico i-esimo componente;
- N_i = Quantità della generica i-esima parte;
- n = numero delle categorie di parti generiche all'interno dell'apparecchiatura.

L'equazione è valida se l'apparecchiatura è tutta utilizzata nello stesso ambiente. Se parti diverse dello stesso apparecchio sono utilizzate in ambienti diversi, occorre ricavare dei distinti λ_{equip} (uno per ciascuna parte nei diversi ambienti) e poi farne la somma.

I parametri utilizzati per la "Parts Count" (PC) possono anche differire da quelli forniti per la "Part Stress Analysis" (PSA).

Per alcuni componenti (ad es. i microcircuiti) vengono aggiunti ulteriori coefficienti non indicati nella equazione di sopra. Nelle tabelle fornite mancano alcuni elementi (tipo i microcircuiti ibridi) perché non è possibile fornire un parametro medio essendo elementi totalmente dipendenti dall'effettiva realizzazione. Per questo tipo di elementi è necessario fare un'indagine più approfondita e fornire tutti i parametri richiesti dalla "Part Stress Analysis". I tassi di guasto dati dalle tabelle semplificate fanno uso di valori medi; nel caso che questi valori si discostino troppo dai valori veri o presunti, è possibile sostituire il $\lambda_{generico}$ con quello più approfondito della PSA.

Le tabelle per la "Parts Count" sono tratte dal documento MIL-HDBK-217F / Rev2.

4.2 Analisi Del Sistema

Per il sistema (dotato di 4 pali normali + uno con la telecamera), abbiamo la seguente tabella dei risultati:

Descrizione	λ_p Singolo (F/10 ⁶ hrs)	Quantità	λ_p TOTALE (F/10 ⁶ hrs)	MTBF (hours)	Incidenza (%)
Ethernet (lato Multiswitch)	0,08	1	0,08	12.048.192,8	0,01%
Media converter (Lato Multiswitch)	4,78	1	4,78	209.205,0	0,43%
Doppino Telefonico	0,07	1	0,07	15.384.615,4	0,01%
Media converter (Lato Concentratore)	4,78	1	4,78	209.205,0	0,43%
Ethernet (Lato Concentratore)	0,08	1	0,08	12.048.192,8	0,01%
Concentratore	11,60	1	11,60	86.206,9	1,05%
Camera	232,55	1	232,55	4.300,2	20,95%
Nodo IP NX8390	5,41	5	27,05	36.968,6	2,44%
LED Driver LE414	108,75	5	543,77	1.839,0	49,00%
Lampada A Matrice Di LED	57,00	5	285,00	3.508,8	25,68%
λ Totale =			1109,77		

$$\text{MTBF (R}_{\text{Totale}}) = 901,09 \text{ Ore}$$

Nella prima colonna abbiamo il valore affidabilistico del singolo componente o sottosistema, nella seconda la quantità e nella terza, in ottemperanza al metodo del part count, il contributo complessivo dato da quella tipologia in funzione della quantità. Di seguito c'è l'MTBF complessivo relativo ordinatamente alla colonna alla sua destra. L'ultima colonna ci dà il senso percentuale di quanto incida complessivamente sulla figura di affidabilità totale.

5 Analisi dei Guasti e di Criticità (FMECA)

5.1 Criteri

Nell'analisi FMECA l'intero sistema viene esaminato a livello funzionale e vengono determinati gli effetti dei guasti e dei malfunzionamenti sulle prestazioni dell'apparecchiatura.

I circuiti di interfaccia delle varie unità, invece, vengono analizzati a livello di componente.

Per ogni modalità di guasto, viene studiato:

- il suo effetto;
- la sua causa;
- i modi per ovviare al guasto, con particolare attenzione alle eventuali raccomandazioni per la modifica del progetto o ai metodi di prevenzione, se possibile;
- la frequenza con la quale viene osservata la modalità di guasto.

Questi risultati vengono utilizzati per:

- identificare i guasti "singolari"
- individuare elementi critici;
- identificare gli errori e le sottovalutazioni del progetto;
- verificare, per quanto possibile, che tutte le modalità di guasto critico possano essere completamente testate a livello di sottosistema in sede di assemblaggio.

5.2 Assunzioni

Nella successiva analisi F.M.E.A. vengono fatte le seguenti ipotesi:

- si presume il totale guasto della funzione esaminata;
- viene considerata una sola modalità di guasto per volta (ovvero non sono presi in considerazione guasti correlati, se non come raccomandazione);
- l'analisi F.M.E.A. viene eseguita a livello di funzione e di unità, ad eccezione dei circuiti I/F che sono analizzati a livello dei componenti (ove mai sia possibile ed opportuno);

- non vengono considerate le probabilità di guasto, oggetto di analisi apposite;

Il modo di guasto presunto riportato nelle tabelle FMEA è segnalato in funzione del guasto peggiore, cioè la perdita della funzione dell'unità principale.

La categoria di criticità viene sempre assegnata prima di segnalare i modi di compensazione e, per ciascuna modalità di errore, le categorie di criticità vengono assegnate come segue:

TABELLA DELLE CATEGORIE DI CRITICITA'	
Cat.	Descrizione
1	La modalità di guasto presunta provoca presumibilmente distruzione o degrado delle funzioni di altri apparati.
2	La modalità di guasto presunta provoca il guasto totale ed irreversibile degli apparati in esame.
3	La modalità di guasto presunta provoca il degrado grave delle funzioni degli apparati in esame.
4	La modalità di guasto presunta provoca il degrado lieve delle funzioni degli apparati in esame.
5	La modalità di guasto presunta provoca il degrado minimo o trascurabile delle funzioni degli apparati in esame.

N.B.: nessun sistema interno o sottosistema è ridonato.

5.3 Formato delle tabelle

Le seguenti informazioni sono riportate nelle colonne della tabella:

Nome	Descrizione
Numero Colonna	Numero progressivo riferito alla funzione in esame.
Item	Blocco funzionale principale nell'ambito dell'analisi, riferito allo schema a blocchi funzionali.
Descrizione e funzionamento	Descrizione del funzionamento blocco funzionale in esame.
Modalità di Guasto	Modalità di guasto presunta della funzione in esame.
Sintomi Osservabili	L'effetto osservabile (dall'esterno del sistema) della modalità di guasto.
Metodi di Prevenzione o Compensazione	Operazioni anche preventive da intraprendere per mitigare gli effetti del guasto.
Criticità	La categoria di criticità secondo la tabella di cui al punto precedente.
Raccomandazioni e commenti	Raccomandazioni per mitigare gli effetti del guasto e commenti <i>a latere</i> .

Seguono le tabelle di FMECA

5.4 Tabelle FMECA

Sistema: Smart Street							
n°	Item/ Sub-item	Descrizione e funzionamento	Modalità di Guasto	Sintomi Osservabili	Metodi di Prevenzione o Compensazione	Criticità	Raccomandazioni e commenti
1	Concentratore	Trasmette e riceve dati attraverso la rete elettrica di bassa tensione utilizzando la tecnologia di modulazione OFDM					
1.1	Filtro d'ingresso	Filtra la rete ed elimina il <i>ripple</i>					
1.1.1			Degradazione delle prestazioni	Alimentazione rumorosa	Controllo periodico dell'apparato	3	
1.1.2			Guasto grave	Concentratore spento	Nessuno	2	
1.2	Alimentazione AC/DC	Fornisce alimentazione al concentratore tramite conversione dall'alternata alla continua					

Sistema: Smart Street							
n°	Item/ Sub-item	Descrizione e funzionamento	Modalità di Guasto	Sintomi Osservabili	Metodi di Prevenzione o Compensazione	Criticità	Raccomandazioni e commenti
1.2.1			Degradazione delle prestazioni	Funzionamento discontinuo	Controllo periodico dell'apparato	3	
1.2.2			Guasto grave (s/c)	Concentratore spento. Il guasto si propaga anche alle altre parti del concentratore	Nessuno	1	Il guasto si potrebbe diffondere anche alle unità adiacenti
1.2.3			Guasto grave (o/c)	Concentratore spento	Nessuno	2	
1.3	Sistema di misura di consumo	Dà la misura dell'assorbimento istantaneo					
1.3.1			Degradazione delle prestazioni	Funzionamento discontinuo	Controllo periodico dell'apparato	4	
1.3.2			Guasto grave	Il concentratore non fornisce le misure di consumo	Nessuno	3	Perdita della funzionalità
1.4	Modem PLC	Interfaccia con l'unità PLC					

Sistema: Smart Street							
n°	Item/ Sub-item	Descrizione e funzionamento	Modalità di Guasto	Sintomi Osservabili	Metodi di Prevenzione o Compensazione	Criticità	Raccomandazioni e commenti
1.4.1			Degradazione delle prestazioni	collegamento col concentratore discontinuo	Nessuno	3	
1.4.2			Guasto grave	Perdita del collegamento col concentratore		2	Perdita della funzionalità
1.5	Microprocessore	Sovrintende alla gestione di tutti i trasduttori dell'apparato					
1.5.1			Degradazione lieve delle prestazioni	Rilevazione di anomalie	Controllo periodico dell'apparato	4	
1.5.2			Degradazione grave delle prestazioni	Funzionamento discontinuo	Nessuno	3	
1.5.3			Guasto grave	Concentratore spento	Nessuno	2	

Sistema: Smart Street							
n°	Item/ Sub-item	Descrizione e funzionamento	Modalità di Guasto	Sintomi Osservabili	Metodi di Prevenzione o Compensazione	Criticità	Raccomandazioni e commenti
1.6	Orologio in tempo reale	Fornisce il tag temporale dei dati e la base dei tempi del sistema					
1.6.1			Degradazione delle prestazioni	Perdita del tag temporale del dato	Nessuno	4	
1.6.2			Guasto grave	Perdita del riferimento temporale. Se in modo automatico, causa la failure del sistema	Nessuno	2	
1.7	Memoria SDRAM	Storage dei dati di funzionamento					
1.7.1			Guasto grave	Perdita dei dati di funzionamento	Nessuno	4	
1.8	Memoria Flash	Storage dei dati di funzionamento					
1.8.1			Guasto grave	Perdita dei dati di funzionamento	Nessuno	4	
1.9	Memoria su SD card	Storage dei dati di funzionamento					

Sistema: Smart Street							
n°	Item/ Sub-item	Descrizione e funzionamento	Modalità di Guasto	Sintomi Osservabili	Metodi di Prevenzione o Compensazione	Criticità	Raccomandazioni e commenti
1.9.1			Guasto grave	Perdita dei dati di funzionamento	Nessuno	4	
2	Ethernet (Lato Concentratore - Media Converter)	Connessione dati					
2.1			Guasto grave	Impossibile accedere in remoto alle funzionalità di programmazione		3	
3	Media Converter (lato concentratore)	Interfaccia Ethernet/Doppino telefonico					
3.1			Guasto grave	Impossibile accedere in remoto alle funzionalità di programmazione		3	
4	Doppino Telefonico	Cavo per comunicazioni					

Sistema: Smart Street							
n°	Item/ Sub-item	Descrizione e funzionamento	Modalità di Guasto	Sintomi Osservabili	Metodi di Prevenzione o Compensazione	Criticità	Raccomandazioni e commenti
4.1			Guasto grave	Impossibile accedere in remoto alle funzionalità di programmazione		3	
5	Media Converter (lato Multiswitch)	Interfaccia Ethernet/Doppino telefonico					
5.1			Guasto grave	Impossibile accedere in remoto alle funzionalità di programmazione		3	
6	Nodo IP NX83900 (con camera)						
6.1	Processore digitale	gestione delle funzionalità dell'apparato					
6.1.1			Degradazione lieve delle prestazioni	Rilevazione di anomalie	Controllo periodico dell'apparato	5	

Sistema: Smart Street							
n°	Item/ Sub-item	Descrizione e funzionamento	Modalità di Guasto	Sintomi Osservabili	Metodi di Prevenzione o Compensazione	Criticità	Raccomandazioni e commenti
6.1.3			Degradazione grave delle prestazioni	Funzionamento discontinuo	Nessuno	4	
6.1.3			Guasto grave	Nodo spento	Nessuno	3	
6.2	DAC	Convertitore digitale-analogico					
6.2.1			Degradazione delle prestazioni	collegamento col l'I/F a bassa tensione discontinuo Flusso dati discontinuo	Nessuno	3	
6.2.2			Guasto grave	collegamento col l'I/F a bassa tensione interrotto Flusso dati assente		2	Perdita della funzionalità
6.3	Interfaccia Bassa tensione	Interfaccia dati					

Sistema: Smart Street							
n°	Item/ Sub-item	Descrizione e funzionamento	Modalità di Guasto	Sintomi Osservabili	Metodi di Prevenzione o Compensazione	Criticità	Raccomandazioni e commenti
6.3.1			Degradazione delle prestazioni	collegamento col DAC a bassa tensione discontinuo Flusso dati discontinuo	Controllo periodico dell'apparato	3	
6.3.2			Guasto grave	collegamento col DAC a bassa tensione interrotto Flusso dati assente	Nessuno	2	Perdita della funzionalità
6.4	AFE	Advanced front-end					
6.4.1			Degradazione delle prestazioni	Collegamento discontinuo col l'unità PLC	Controllo periodico dell'apparato	5	
6.4.2			Guasto grave	Collegamento assente col l'unità PLC	Nessuno	4	
6.5	Filtro Linea Elettrica	Filtra la rete ed elimina il <i>ripple</i>					
6.5.1			Degradazione delle prestazioni	Alimentazione rumorosa	Controllo periodico dell'apparato	3	

Sistema: Smart Street							
n°	Item/ Sub-item	Descrizione e funzionamento	Modalità di Guasto	Sintomi Osservabili	Metodi di Prevenzione o Compensazione	Criticità	Raccomandazioni e commenti
6.5.2			Guasto grave	Nodo spento	Nessuno	2	
6.6	Relay Uscita	Controllo e sezionamento linea in uscita					
6.6.1			Degradazione delle prestazioni	Il relè non scatta sempre o dopo diversi tentativi di scatto	Controllo periodico dell'apparato	4	Sostituzione del relè ai primi sintomi
6.6.2			Relè bloccato in posizione intermedia	Impossibile attivare la linea elettrica malgrado sia inviato il comando	Nessuno	2	
6.6.3			Relè bloccato in posizione e chiusa	Impossibile disattivare la linea elettrica malgrado sia inviato il comando	Nessuno	3	
6.6.4			Relè bloccato in posizione e Aperta	Impossibile attivare la linea elettrica malgrado sia inviato il comando	Nessuno	2	

Sistema: Smart Street							
n°	Item/ Sub-item	Descrizione e funzionamento	Modalità di Guasto	Sintomi Osservabili	Metodi di Prevenzione o Compensazione	Criticità	Raccomandazioni e commenti
6.7	Alimentazione AC/DC 12 V	Primo stadio alimentazione apparato che alimenta anche l' <i>Alimentazione DC/DC 5, 3.3, 1.5 V</i>					
6.7.1			Degradazione delle prestazioni	Malfunzionamenti casuali dell'apparato e dell' <i>Alimentazione DC/DC 5, 3.3, 1.5 V</i>	Controllo periodico dell'apparato	3	Sostituire quando le prestazioni divengono marginali
6.7.2			Guasto grave	Nodo spento	Nessuno	2	Perdita della funzionalità
6.8	Alimentazione DC/DC 5, 3.3, 1.5 V	Secondo stadio alimentazione apparato					
6.8.1			Degradazione delle prestazioni	Malfunzionamenti casuali dell'apparato	Controllo periodico dell'apparato	3	Sostituire quando le prestazioni divengono marginali
6.8.1			Guasto grave	Nodo spento	Nessuno	2	Perdita della funzionalità
6.9	Sistema di misura di consumo	Dà la misura dell'assorbimento istantaneo					

Sistema: Smart Street							
n°	Item/ Sub-item	Descrizione e funzionamento	Modalità di Guasto	Sintomi Osservabili	Metodi di Prevenzione o Compensazione	Criticità	Raccomandazioni e commenti
6.9.1			Degradazione delle prestazioni	Funzionamento discontinuo	Controllo periodico dell'apparato	5	Sostituire quando le prestazioni divengono marginali
6.9.2			Guasto grave	Il nodo non fornisce le misure di consumo	Nessuno	4	Perdita della funzionalità
6.10	Orologio in tempo reale	Fornisce il tag temporale dei dati e la base dei tempi del sistema					
6.10.1			Degradazione delle prestazioni	Perdita del tag temporale del dato	Nessuno	4	
6.10.2			Guasto grave	Perdita del riferimento temporale. Del nodo	Nessuno	3	
6.11	Memoria SDRAM	Storage dei dati di funzionamento					
6.11.1			Guasto grave	Perdita dei dati di funzionamento	Nessuno	4	
6.12	Memoria Flash	Storage dei dati di funzionamento					

Sistema: Smart Street							
n°	Item/ Sub-item	Descrizione e funzionamento	Modalità di Guasto	Sintomi Osservabili	Metodi di Prevenzione o Compensazione	Criticità	Raccomandazioni e commenti
6.12.2			Guasto grave	Perdita dei dati di funzionamento	Nessuno	4	
7	Nodo IP NX83900						
7.1	Processore digitale	gestione delle funzionalità dell'apparato					
7.1.1			Degradazione lieve delle prestazioni	Rilevazione di anomalie	Controllo periodico dell'apparato	5	
7.1.3			Degradazione grave delle prestazioni	Funzionamento discontinuo	Nessuno	4	
7.1.3			Guasto grave	Nodo spento	Nessuno	3	
7.2	DAC	Convertitore digitale-analogico					

Sistema: Smart Street							
n°	Item/ Sub-item	Descrizione e funzionamento	Modalità di Guasto	Sintomi Osservabili	Metodi di Prevenzione o Compensazione	Criticità	Raccomandazioni e commenti
7.2.1			Degradazione delle prestazioni	collegamento col l'I/F a bassa tensione discontinuo Flusso dati discontinuo	Nessuno	3	
7.2.2			Guasto grave	collegamento col l'I/F a bassa tensione interrotto Flusso dati assente		2	Perdita della funzionalità
7.3	Interfaccia Bassa tensione	Interfaccia dati					
7.3.1			Degradazione delle prestazioni	collegamento col DAC a bassa tensione discontinuo Flusso dati discontinuo	Controllo periodico dell'apparato	3	
7.3.2			Guasto grave	collegamento col DAC a bassa tensione interrotto Flusso dati assente	Nessuno	2	Perdita della funzionalità
7.4	AFE	Advanced front-end					

Sistema: Smart Street							
n°	Item/ Sub-item	Descrizione e funzionamento	Modalità di Guasto	Sintomi Osservabili	Metodi di Prevenzione o Compensazione	Criticità	Raccomandazioni e commenti
7.4.1			Degradazione delle prestazioni	Collegamento discontinuo col l'unità PLC	Controllo periodico dell'apparato	5	
7.4.2			Guasto grave	Collegamento assente col l'unità PLC	Nessuno	4	
7.5	Filtro Linea Elettrica	Filtra la rete ed elimina il <i>ripple</i>					
7.5.1			Degradazione delle prestazioni	Alimentazione rumorosa	Controllo periodico dell'apparato	3	
7.5.2			Guasto grave	Nodo spento	Nessuno	2	
7.6	Relay Uscita	Controllo e sezionamento linea in uscita					
7.6.1			Degradazione delle prestazioni	Il relè non scatta sempre o dopo diversi tentativi di scatto	Controllo periodico dell'apparato	4	Sostituzione del relè ai primi sintomi

Sistema: Smart Street							
n°	Item/ Sub-item	Descrizione e funzionamento	Modalità di Guasto	Sintomi Osservabili	Metodi di Prevenzione o Compensazione	Criticità	Raccomandazioni e commenti
7.6.2			Relè bloccato in posizione intermedia	Impossibile attivare la linea elettrica malgrado sia inviato il comando	Nessuno	2	
7.6.3			Relè bloccato in posizione e chiusa	Impossibile disattivare la linea elettrica malgrado sia inviato il comando	Nessuno	3	
7.6.4			Relè bloccato in posizione e Aperta	Impossibile attivare la linea elettrica malgrado sia inviato il comando	Nessuno	2	
7.7	Alimentazione AC/DC 12 V	Primo stadio alimentazione apparato che alimenta anche l' <i>Alimentazione DC/DC 5, 3.3, 1.5 V</i>					

Sistema: Smart Street							
n°	Item/ Sub-item	Descrizione e funzionamento	Modalità di Guasto	Sintomi Osservabili	Metodi di Prevenzione o Compensazione	Criticità	Raccomandazioni e commenti
7.7.1			Degradazione delle prestazioni	Malfunzionamenti casuali dell'apparato e dell'"Alimentazione DC/DC 5, 3.3, 1.5 V"	Controllo periodico dell'apparato	3	Sostituire quando le prestazioni divengono marginali
7.7.2			Guasto grave	Nodo spento	Nessuno	2	Perdita della funzionalità
7.8	Alimentazione DC/DC 5, 3.3, 1.5 V	Secondo stadio alimentazione apparato					
7.8.1			Degradazione delle prestazioni	Malfunzionamenti casuali dell'apparato	Controllo periodico dell'apparato	3	Sostituire quando le prestazioni divengono marginali
7.8.2			Guasto grave	Nodo spento	Nessuno	2	Perdita della funzionalità
7.9	Sistema di misura di consumo	Dà la misura dell'assorbimento istantaneo					
7.9.1			Degradazione delle prestazioni	Funzionamento discontinuo	Controllo periodico dell'apparato	4	Sostituire quando le prestazioni divengono marginali

Sistema: Smart Street							
n°	Item/ Sub-item	Descrizione e funzionamento	Modalità di Guasto	Sintomi Osservabili	Metodi di Prevenzione o Compensazione	Criticità	Raccomandazioni e commenti
7.9.2			Guasto grave	Il nodo non fornisce le misure di consumo	Nessuno	3	Perdita della funzionalità
7.10	Orologio in tempo reale	Fornisce il tag temporale dei dati e la base dei tempi del sistema					
7.10.1			Degradazione delle prestazioni	Perdita del tag temporale del dato	Nessuno	4	
7.10.2			Guasto grave	Perdita del riferimento temporale. Del nodo	Nessuno	3	
7.11	Memoria SDRAM	Storage dei dati di funzionamento					
7.11.1			Guasto grave	Perdita dei dati di funzionamento	Nessuno	4	
7.12	Memoria Flash	Storage dei dati di funzionamento					
7.12.1			Guasto grave	Perdita dei dati di funzionamento	Nessuno	4	

Sistema: Smart Street							
n°	Item/ Sub-item	Descrizione e funzionamento	Modalità di Guasto	Sintomi Osservabili	Metodi di Prevenzione o Compensazione	Criticità	Raccomandazioni e commenti
8	LED Driver LE414	Regola l'alimentazione e il dimming della lampada a LED					
8.1			Degradazione lieve delle prestazioni	Impossibile controllare il dimmer	Nessuno	5	Sostituire
8.2			Degradazione grave delle prestazioni	Lampada mostra bassa intensità	Nessuno	4	Sostituire
8.3			Guasto grave	Lampada spenta	Nessuno	3	
9	LED Matrix Lamp						
9.1			Degradazione lieve delle prestazioni	Un numero basso di LED sono spenti	Nessuno	5	Sostituire quando le prestazioni divengono marginali

Sistema: Smart Street							
n°	Item/ Sub-item	Descrizione e funzionamento	Modalità di Guasto	Sintomi Osservabili	Metodi di Prevenzione o Compensazione	Criticità	Raccomandazioni e commenti
9.2			Degradazione grave delle prestazioni	Un numero elevato di LED sono spenti	Nessuno	4	Sostituire
9.3			Guasto grave	Lampada spenta	Nessuno	3	
10	Camera	Sovrintende al controllo attivo del sistema					
10.1			Degradazione delle prestazioni	Funzionamento discontinuo, degradazione della qualità dell'immagine	Controllo periodico dell'apparato	4	Sostituire quando le prestazioni divengono marginali
10.2			Guasto grave	Il nodo non fornisce le misure di consumo	Nessuno	3	Perdita della funzionalità

6 Conclusioni

È stato esaminato il Sistema smart street in forma di Sistema pilota con un numero di lampioni ridotto a 5 di cui uno dotato di telecamera: l'eventuale aumento o diminuzione dei lampioni senza telecamera non incide in modo significativo sulla filosofia di approccio allo studio affidabilistico del sistema complessivo.

Si noti che nessuna parte del sistema è ridondata benché è doveroso dire che il sistema in sé è abbastanza resiliente, poco "damage sensitive": infatti, non solo può sopportare l'abbassamento dell'intensità luminosa ma la perdita di funzionamento di più di un LED od una striscia o perfino un lampione intero, è sopportata senza arrivare ad un minimo critico di luminosità.

A scanso di equivoci, non si può considerare il sistema delle paline come un sistema di affidabilità in parallelo in quanto ai singoli pali, pur essendo tutti rigorosamente uguali (tranne quello con la camera) e avendo tutti lo stesso funzionamento, è demandata l'illuminazione di un tratto di strada diversa cosa che, di fatto, li rende unici sotto il profilo dello studio affidabilistico.

L'analisi del tasso di guasto del sistema complessivo ha restituito un $MTBF_{TOT}$ del singolo palo del sistema (senza camera) pari a 5.483 ore il che equivale a circa 20 mesi di funzionamento (palo attivo 10 ore al giorno). Da qui si evince che la differenza di impegno per quanto riguarda le ore/uomo di manutenzione, è quasi trascurabile rispetto alla situazione "classica".

Il componente più critico è il Led Driver che, da solo fornisce poco meno del 50% di tutti i FIT del sistema risultando il più soggetto a guasto e quindi il candidato più probabile ad un'opportuna scorta di magazzino. Per quanto riguarda la telecamera, l'analisi effettuata restituisce un valore di $MTBF_{CAMERA}$ pari a 4.300 ore equivalenti a circa 6 mesi di funzionamento ininterrotto. Questo valore apparentemente basso è dovuto al fatto che la telecamera è ancora prototipale e su di essa vengono costantemente effettuati aggiornamenti sia software che hardware.

Un componente critico è sicuramente il concentratore che, a fronte di un confortante $MTBF_{CONC}$ di 86.200 ore, qualora dovesse venir meno, provocherebbe una "failure" grave cioè il completo spegnimento senza appello di tutta quella sezione di rete elettrica da esso gestita.

7 Riferimenti Bibliografici

7.1 Documenti Applicabili

#	Numero Documento	Rev.	Titolo
AD01	S3000L-B6865-03000-00	1.1	International Procedure specification for Logistic Support Analysis
AD02	MIL-STD-1388-1A	1A/4	Logistic Support Analysis
AD03	MIL-STD-1388-2B	2B/1	DOD Requirements for a Logistic Support Analysis Record

7.2 Documenti Di Riferimento

#	Numero Documento	Rev.	Titolo
RD01	MIL-STD-1629	A	Procedures For Performing A Failure Mode, Effects, And Criticality Analysis
RD02	MIL-HDBK-217	F2	Reliability Prediction of Electronic Equipment
RD03	AD-A179 008	15/03/1985	Logistic Support Analysis Techniques Guide
RD04	Siemens White Paper	N/A	LSAR – The missing link for performance-based logistics
RD05	S3000L-B6865-03000-00	1.0	International Procedure specification for Logistic Support Analysis
RD06	ECSS-Q-30-02° ESA	1998	ESA: Failure Modes, Effects and Criticality Analysis (FMECA)
RD07	JPL. PD-AD-130 NASA	13/02201	Failure Modes, Effects, and Criticality Analysis (FMECA)
RD08	BS 5760-5 British Standards Institute	1991	Reliability of Systems, Equipment and Components Part 5: Guide to Failure Modes, Effects and Criticality Analysis (FMEA and FMECA)

8 Abbreviazioni ed Acronimi

AD	Applicable Document
CMS	Central Management Software
ENEA	Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile
Fit	Failure in time
FMECA	Failure Mode, Effects, and Criticality Analysis
ID	Internal Document
I/F	Interface
LED	Light Emitting Diode
LSA	Logistic Support Analysis
MAC	Medium Access Control
MTBF	Mean Time Between Failures
N/A	Not Applicable
o/c	Open Circuit
ODFM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
PCB	Printed Circuit Board
PELL	Progetto Public Energy Living Lab
PLC	Power Line Communication
RD	Reference Document
SNR	Signal Noise Ratio
s/c	Short Circuit
TBC	To Be Confirmed
TBD	To Be Defined
TBI	To Be Issued
TLM	Telemetry
TWT	Travelling Wave Tube

CV breve del responsabile scientifico del cobeneficiario, Prof. Fabio Leccese

Ha conseguito la LAUREA IN INGEGNERIA ELETTRONICA (specializzazione in Misure e Strumentazione) presso L'Università degli Studi di Roma "ROMA TRE" il 21/12/2000 con il voto di 110/110.

In data 6 febbraio 2002 ha superato l'Esame di Stato per l'esercizio della professione di ingegnere e per l'iscrizione all'Albo (settori A-B-C) degli Ingegneri e dal 27 Febbraio 2006 è iscritto all'Albo degli Ingegneri della Provincia di Roma.

Ha conseguito il DOTTORATO DI RICERCA IN INGEGNERIA ELETTRONICA XVI CICLO presso l'Università degli Studi di Roma "ROMA TRE" il 19/11/2004.

Il 4 e 5 Luglio 2006 partecipa con successo alla "Procedura di valutazione comparativa per la copertura di n.1 posto di ricercatore universitario presso la Facoltà di Ingegneria settore scientifico disciplinare ING-INF/07 Misure Elettriche ed Elettroniche" indetta dall'Università degli Studi "Roma Tre".

Il 1° Ottobre 2006 prende servizio come Ricercatore del settore ING-INF/07 nella Facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi "Roma Tre" ed il 1° Ottobre 2009 riceve la Conferma in Ruolo.

Il 17 Febbraio 2010 riceve il titolo di Professore Aggregato dall'Università degli Studi "Roma Tre", titolo confermato l'anno successivo in data 20 Febbraio 2011 e ripreso poi il 01/10/2014.

Dal Aprile 2017 è abilitato a svolgere le funzioni di Professore Associato in Misure Elettriche ed Elettroniche.

L'attività di ricerca svolta dall'Ing. Fabio Leccese si inserisce nell'ambito di importanti temi di ricerca delle Misure Elettriche ed Elettroniche, quali qualità dell'energia (power quality – dal 2004), illuminazione pubblica e Smart Cities (dal 2012); analisi informativa dei segnali (dal 2002).

L'attività ha portato alla stesura di oltre 110 articoli scientifici pubblicati su rivista scientifica o in convegni nazionali ed internazionali nei quali il proprio lavoro è stato presentato nella lingua ufficiale del congresso. In molti di questi ha anche svolto attività di presidente o co-presidente di sessione. Ha poi svolto anche il ruolo di co-organizzatore di diversi Congressi Scientifici.

In base all'attività scientifica è revisore per riviste scientifiche di settore nonché di importanti congressi e di progetti di rilevanza nazionale come i FIRB.

Corposa è anche l'attività didattica dell'Ing. Leccese che dal 2004, ininterrottamente, ha insegnato sia a Roma Tre (Dipartimenti di Ingegneria e Scienze) sia a Sapienza (Dipartimento di Ingegneria) materie del proprio settore scientifico disciplinare. E' stato altresì Membro del Collegio della Scuola Dottorale Internazionale EDEMOM - DALLE NANOSTRUTTURE AI SISTEMI - EDEMOM (EUROPEAN DOCTORATE IN ELECTRONIC MATERIALS, OPTOELECTRONICS AND MICROSYSTEMS)" (periodo 2010-2017) e relatore di tre tesi di Dottorato. Dal 2016 è membro del Collegio di Dottorato "Scienze della Materia, Nanotecnologie e Sistemi Complessi" del Dipartimento di Scienze di Roma Tre.

E' stato ed è responsabile scientifico di numerosi progetti di ricerca nazionali ed internazionali ed è titolare di un brevetto internazionale.