Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile

MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO

Studio affidabilistico dei componenti di una linea di illuminazione "smart" stradale pubblica operativa in contesto urbano: vantaggi e criticità

Fabio Leccese, Enrico Petritoli

ROMA TRE
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI

Report RdS/PAR2017/060

STUDIO AFFIDABILISTICO DEI COMPONENTI DI UNA LINEA DI ILLUMINAZIONE "SMART" STRADALE PUBBLICA OPERATIVA IN CONTESTO URBANO: VANTAGGI E CRITICITÀ

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

Settembre 2018

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA
Piano Annuale di Realizzazione 2017
Area: Efficienza energetica e risparmio di energia negli usi finali elettrici e interazione con altri vettori energetici
Progetto: Sviluppo di un modello integrato di Smart District urbano
Obiettivo: 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 “*Studio affidabilistico dei componenti di una linea di illuminazione "smart" stradale pubblica operativa in contesto urbano: vantaggi e criticità*"
Responsabile scientifico ENEA: Francesco Pieroni
Responsabile scientifico Università degli Studi “Roma Tre”: prof.re Fabio Leccese

Indice

1 INTRODUZIONE 5

2 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ 6

2.1 DEFINIZIONE DI LOGISTICA INTEGRATA 6
2.1.1 Il Programma Di Supporto Logistico 9
2.1.2 LSA: Attività e prestazioni 10
2.1.3 Sviluppo di una strategia iniziale LSA 11
2.2 PRINCIPI DI GESTIONE 11
2.2.1 Gestione integrata del supporto logistico 11
2.2.2 Strutture organizzative della logistica operativa 12
2.2.3 Organizzazioni logistiche formali 12
2.3 OBIETTIVI E POLITICHE DI GESTIONE LOGISTICA 13
2.3.1 Obiettivi di gestione logistica 13
2.3.2 Politiche di gestione logistica 13
2.4 PIANO DI PROGRAMMA LSA 14
2.4.1 Requisiti organizzativi 14
2.4.2 Requisiti generali 16
2.4.3 Identificazione dei requisiti funzionali 17
2.4.4 Requisiti funzionali particolari 18
2.4.5 Organizzazione del programma LSA 18

3 LSA OPERATIVA 20

3.1 ANALISI DI SUPPORTO LOGISTICO 20
3.1.1 Analisi di Affidabilità 20
3.1.2 Analisi dei Guasti e di Criticità (FMECA) 21

4 DESCRIZIONE 23

4.1 INTRODUZIONE 23
4.2 CONCENTRATORE 24
4.2.1 Funzionalità del Concentratore 25
4.3 CORPO ILLUMINANTE 28
4.3.1 Nodo PLC 29
4.3.2 LED Driver 31
4.3.3 Lampada a Matrice di LED 32
4.3.4 Filtro di rete 32

5 ANALISI DI AFFIDABILITÀ 34

5.1 GENERALITÀ 34
5.1.1 Obiettivi Dello Studio Affidabilistico 34
5.1.2 Stress del Componente 35
5.1.3 Terminologia 35
5.1.4 Tipi di guasti 37
5.1.5 Il MIL-HDBK-217F 37
5.1.6 Parts Count Reliability Prediction 38
5.2 AFFIDABILITÀ DEI SISTEMI 39
5.2.1 Affidabilità del sistema in serie 41
5.2.2 Affidabilità dei sistemi in Parallelo (A Funzionamento Permanente) 42
5.2.3 Sistemi Parallelo a Funzionamento Sequenziale 44
5.3 ANALISI DI AFFIDABILITÀ DEL SISTEMA: RISULTATI 48

6 DISPONIBILITÀ (*AVAILABILITY*) DEL SISTEMA 50
6.1 INTRODUZIONE 50
6.2 DEFINIZIONE DI DISPONIBILITÀ 50
6.2.1 Disponibilità a regime 50
6.3 COMPOSIZIONE DEL DOWN TIME 51
6.4 ANALISI DI DISPONIBILITÀ DEL SISTEMA: RISULTATI 54
8 ANALISI DEI GUASTI E DI CRITICITÀ (FMECA) 56
8.1 CRITERI 56
8.2 ASSUNZIONI 56
8.3 FORMATO DELLE TABELLE 57
8.4 TABELLE FMECA 58
8.5 FAILURE ANALYSIS: RISULTATI 77
9 CONCLUSIONI 78
9.1 AFFIDABILITÀ 78
9.2 DISPONIBILITÀ 78
9.3 FMECA 79
10 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI 80
10.1 DOCUMENTI APPLICABILI 80
10.2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO 80
10.3 BIBLIOGRAFIA 80
11 GLOSSARIO 84
12 ABBREVIAZIONI ED ACRONIMI 88

1 Introduzione

Questo documento illustra l'Analisi di Supporto Logistico (LSA) di una linea di illuminazione "smart" stradale pubblica già operativa nel contesto urbano del comune di Potenza mettendo a frutto i dati ed i risultati di un progetto operante in un ambiente (environment) reale e sottoposto a cicli e problematiche reali e concrete.

Il processo dell'analisi del supporto logistico consiste in un'analisi sistematica e completa che viene condotta, in maniera iterativa, attraverso tutte le fasi del ciclo di vita del sistema in modo da soddisfare gli obiettivi di supportabilità.

In prima battuta viene effettuata l'analisi di affidabilità attesa del sistema a cui fa 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.

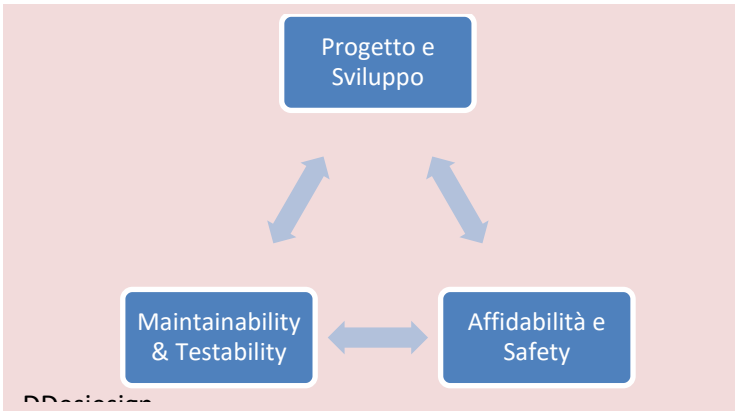
La seconda analisi è quella della disponibilità del sistema ovvero quanto è in grado di lavorare con continuità. Inoltre, l'identificazione di componenti critici (al livello di sottosistema o di unità) permette di poter dapprima apporzionare le eventuali scorte di magazzino e successivamente di valutare lo sforzo di costo in termini di tempo e di ore/uomo legate alla manutenzione.

La terza analisi chiamata FMECA (Failure Mode, Effects, and Criticality Analysis - Analisi dei modi, degli effetti e della criticità dei guasti) serve 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 tre 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 (suggerite), tempi di intervento e di manutenzione.

2 Descrizione delle attività

2.1 Definizione di Logistica Integrata



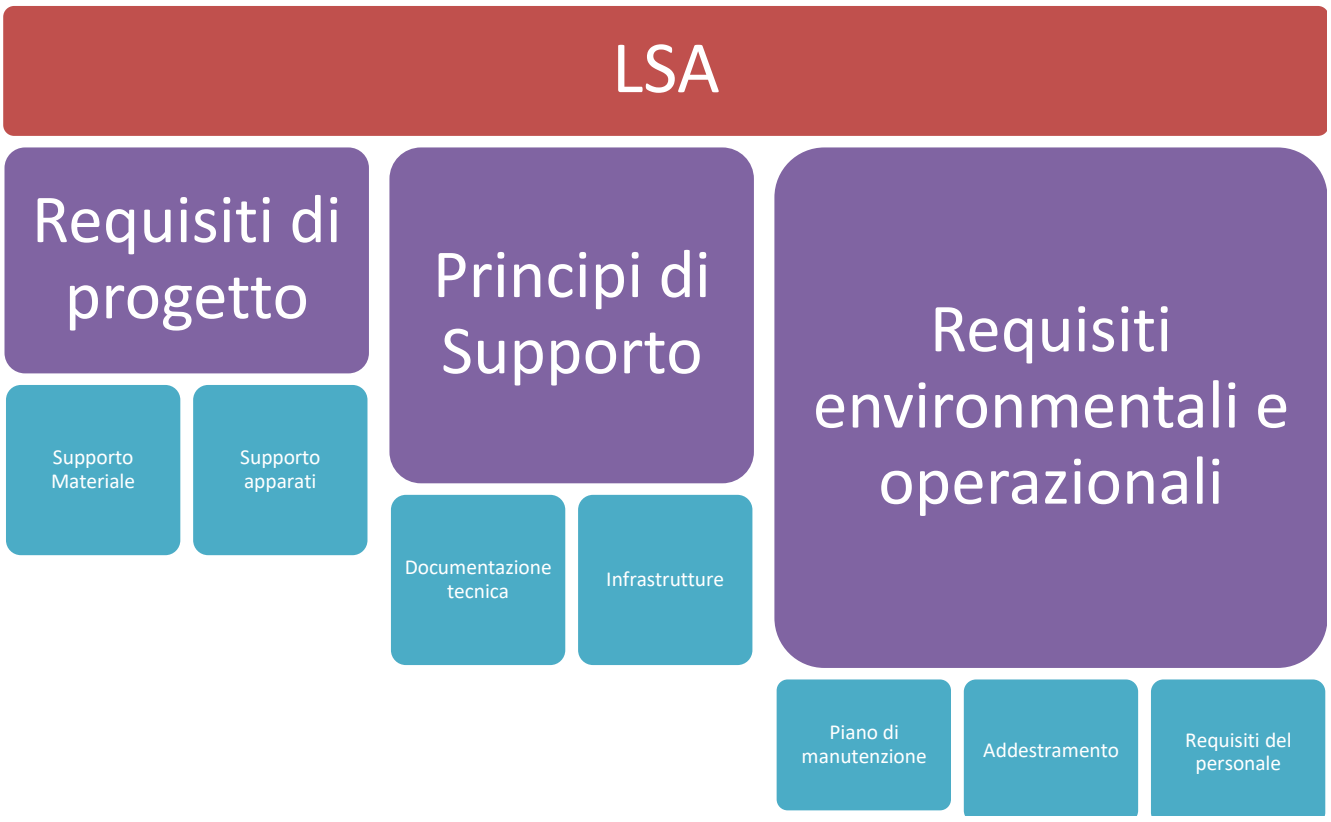


Figura 1 – ILS: elementi funzionali

L'Analisi di Supporto Logistico 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.

Figura 2 – Definizione di logistica integrata

Come detto, l'LSA (*Logistic Support Analysis*) è considerata formalmente un sottoinsieme dell'ILS(*Integrated Logistic Support*): quest'ultima appunto ha la responsabilità dello sviluppo delle informazioni tecniche e dell'ambiente di supporto che verrà utilizzato poi per supportare un prodotto (o sistema) nel corso di tuttoil ciclo di vita previsto.

Le diverse discipline presenti nella branca delsupporto logistico (per es.: produzione e gestione della documentazione tecnica, gestione dei pezzi di ricambio, delleattrezzature di supporto, addestramento del personale) richiedono una forte integrazione ed armonizzazione.

Le principali discipline infatti sono:

- Interfaccia di progettazione
- Fornire supporto logistico
- Apparati di test e controllo
- Gestione dei dati tecnici e/o documentazione tecnica
- Gestione personale e manodopera
- Supporto IT / software
- *Facilities*
- Pianificazione della manutenzione e/o manutenzione programmata
- Imballaggio, trattamento, stoccaggio e trasporto (PHST - *Packing Handling Storage &Transporting*)
- Addestramento e sistemi di addestramento

Il programma LSA è la principale fonte di dati tecnici per la pianificazione e la gestione dell'ILS. In particolare l'LSA viene quindi utilizzato per:

- Collegare il design del prodotto e i requisiti ILS ai livelli richiesti didisponibilità (*Availability*) del sistema e definiredettagliatamente i requisiti degli elementi di supporto logistico.
- Durante tutto il ciclo di acquisizione dati è utilizzato per valutare e modificare la progettazione del prodotto e stabilire eaggiornare i requisiti degli elementi del supporto logistico
- E' fonte importante di dati relativi alla progettazione per determinare e integrare tutti i requisiti di supporto logistico, è necessario per analizzare concetti di progettazione, operativi e di supporto alternativi e per condurre *trade-off* tra progettazione e vari elementi di supporto logistico e per la pianificazione e le decisioni sulle risorse dell'ILS

I risultati delle attività di analisi logistica e i dati delle risorse di supporto verranno archiviati nel database LSA per fornire a tutti gli elementi del programma l'accesso a un'origine dati comune per valutare la sostenibilità di alternative e obiettivi di progettazione. Le attività integrate dei vari team di prodotto garantiranno l'interazione tempestiva tra le attività e i dati forniti dall'LSA durante tutte le fasi del processo di progettazione.

L'ILS supportato da un buona analisi LSA garantisce uno scambio aperto di informazioni tra le discipline logistiche e la progettazione. Persegue due obiettivi contemporaneamente:

- Progetta *per* supporto logistico: è focalizzata su progetti che riducono al minimo la manutenzione, la formazione del personale, le attività di supporto e i costi del ciclo di vita ottimizzando al contempo la disponibilità operativa (*Availability*).
- Progetta *il* supporto logistico: è focalizzata su sviluppo, finanziamento, test e acquisizione di tutte le risorse di supporto necessarie per garantire prestazioni e prontezza ottimali del prodotto nell'ambiente operativo e nei profili di missione previsti.

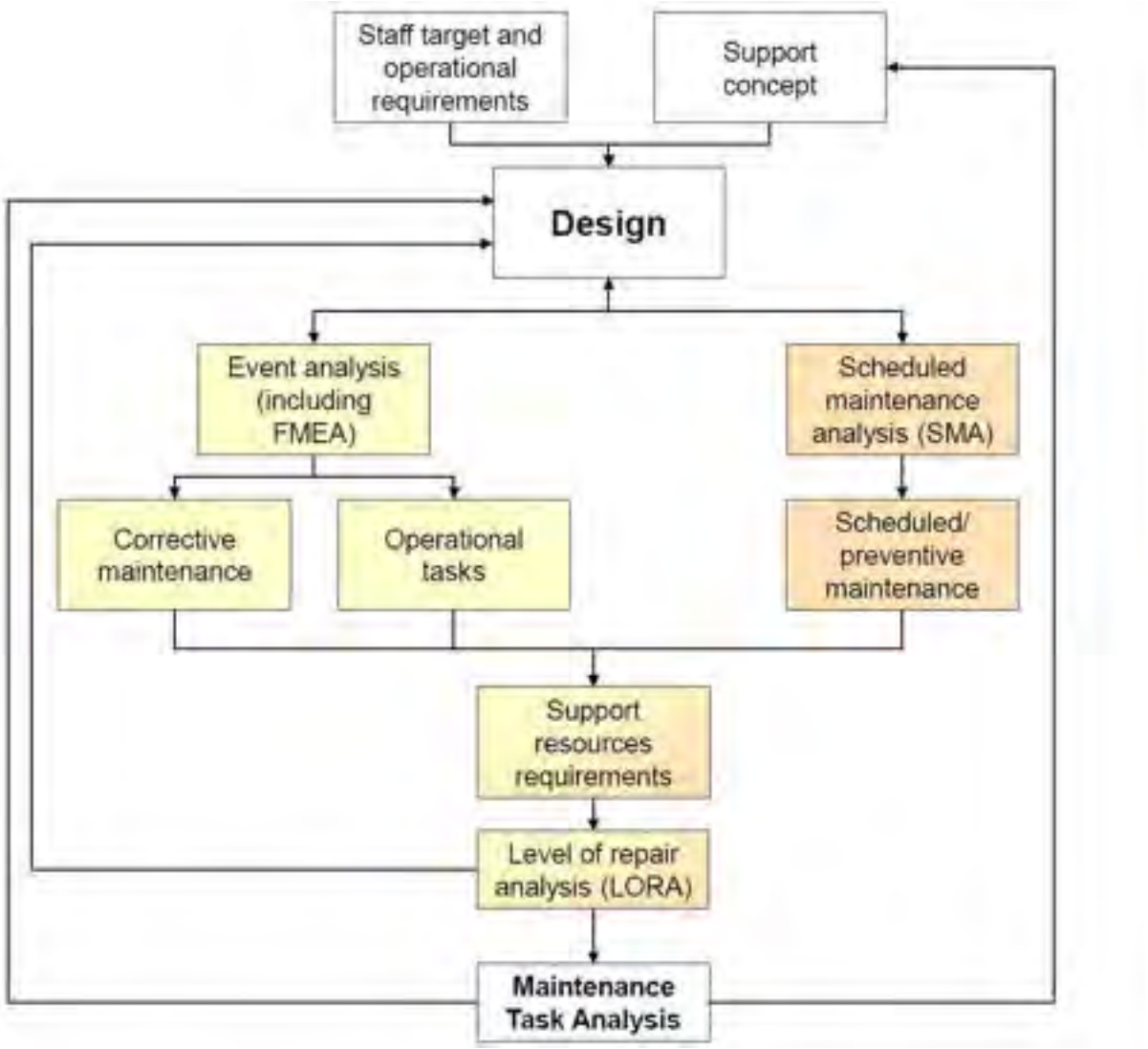


Figura 3 – Il processo dell'LSA (versione semplificata)

2.1.1 Il Programma Di Supporto Logistico

L'LSA risulta quindi essere un processo iterativo sistematico che integra la progettazione del prodotto e i requisiti del sistema di supporto e valuta i requisiti di sostenibilità relativi al raggiungimento dei requisiti specifici di sostenibilità e disponibilità del sistema/componente/parte isolata. Il processo di documentazione delle analisi è ottimizzato utilizzando un database elettronico. Le informazioni rilevanti per la logistica comprendono l'identificazione, l'ottimizzazione e la tracciabilità delle risorse ILS (ad es.: parti di ricambio, manodopera, personale tecnico, attrezzature di addestramento e supporto, attrezzature di addestramento alla formazione, *facilities*, PHST e documentazione tecnica).

Durante tutto il programma di sviluppo vengono condotte revisioni del progetto e riunioni di informazione tecnica. E' necessario quindi esaminare le revisioni dei progetti e condurre revisioni interne per garantire che gli obiettivi del programma di progettazione siano stati raggiunti nei tempi e modi opportuni. Gli analisti LSA e il personale di supporto ai prodotti integrati devono sempre essere a conoscenza dei problemi di progettazione legati al supporto logistico attraverso la partecipazione diretta alle revisioni dei progetti e/o ricevendo tutti i verbali delle riunioni di revisione.

Tutte le problematiche che coinvolgono la progettazione delle apparecchiature durante le riunioni o durante tutto il processo di progettazione generale, saranno portate all'attenzione degli ingegneri di prodotto: tutti i problemi relativi alla progettazione saranno documentati, incluso lo stato (ovvero una fotografia tecnica che congeli lo stato del progetto). Tutto questo è necessario per garantire l'ottenimento di una soluzione tempestiva e appropriata. Le revisioni della LSA sono condotte in concomitanza con le revisioni programmate del design (CDR, PDR, ecc.).

2.1.2 LSA: Attività e prestazioni

Il processo LSA (vedi Fig.3) include l'applicazione di metodi quantitativi per:

- la determinazione iniziale e la definizione dei criteri logistici come input alla progettazione del sistema
- la valutazione di varie alternative di progettazione
- l'identificazione e la fornitura di elementi di supporto logistico
- la valutazione finale della capacità di supporto del sistema durante l'esercizio operativo

Il programma LSA si basa fondamentalmente sul concetto di definizione del prodotto integrato e può essere basato sui seguenti elementi principali:

- Un piano del programma LSA che identifica tutte le attività LSA richieste che, a loro volta, devono essere eseguite al fine di influenzare la progettazione per la supportabilità e determina le risorse logistiche appropriate
- Una pianificazione che identifichi i tempi dei requisiti LSA. I programmi LSA sono definiti in base alle esigenze della fase del progetto per essere reciprocamente vantaggiosi e di aiutoad altri requisiti del progetto
- L'assegnazione delle responsabilità per l'esecuzione delle attività LSA alla progettazione, supportabilità e personale ILS qualificato per l'attività
- La gestione efficace di una vasta gamma di discipline ILS, di progettazione e di supportabilità

2.1.3 Sviluppo di una strategia iniziale LSA

È necessario sviluppare una strategia LSA proposta da eseguire all'inizio del programma di acquisizione. Questa strategia identificherà l'ambito degli obiettivi di sostenibilità proposti per il sistema/apparecchiatura e l'analisi qualitativa che verrà eseguita per fornire il miglior vantaggio in termini di costi per il programma di acquisizione. I requisiti della LSA saranno analizzati al fine di stabilire un programma LSA completo, compresi i requisiti quantitativi, qualitativi e di test LSA per i sistemi, i sottosistemi e i componenti che comprendono il Prodotto generale. Il programma LSA risultante è un programma su misura economicamente vantaggioso che soddisfa ogni procedura richiesta dal cliente e fornisce un sistema che soddisfa o supera i requisiti LSA di ciascun cliente.

2.2 Principi di Gestione

Il Gruppo di lavoro logistico è responsabile per lo sviluppo di tutto il sistema di supporto. Questo team è in realtà un sottoinsieme del team più vasto di prodotto integrato, responsabile della progettazione, sviluppo, produzione, operazioni e del supporto di prodotto.

2.2.1 Gestione integrata del supporto logistico

Il manager ILS è responsabile della fornitura di competenze e risorse logistiche e di supportabilità ai team del programma. Nel processo di sviluppo del prodotto, ciascun responsabile del team di prodotto integrato controlla il budget ed è ritenuto responsabile per lo sviluppo dei prodotti di quel team. Di conseguenza, la maggior parte della logistica e il personale di supporto sono assegnati e lavorano con i team di prodotto integrati.

Le risorse logistiche e di supporto sono fornite ai team di prodotto integrati per:

- Integrare la supportabilità nella progettazione del sistema supporto fornendo affidabilità, manutenibilità, testabilità, ingegneria, diagnostica integrata e risorse di idoneità ambientale
- Sviluppare il sistema di supporto e il sistema di formazione e pianificare le risorse logistiche fornendo supporto di fornitura, attrezzature di supporto, dati tecnici, strutture, PHST, personale operativo e personale addetto all'addestramento e alla formazione
- Soddisfare i requisiti di ingegneria logistica nell'ambito dell'ingegneria dei sistemi, dello sviluppo del prodotto e nel processo di progettazione
- Fornire LSA, standardizzazione, intercambiabilità e interoperabilità

2.2.2 Strutture organizzative della logistica operativa

La struttura organizzativa per un programma di supporto deve essere allineata con la *Work Breakdown Structure* (WBS). Le caratteristiche gerarchiche della WBS possono essere utilizzate per stabilire linee di responsabilità, autorità, e catene di reporting dal membro di livello più basso fino al responsabile del programma.
L'integrazione della logistica nell'organizzazione rappresentata è progettata per:

- Riflettere ogni elemento logistico e di supporto individuato dalla WBS e dalle specifiche del sistema
- Fornire interfacce efficaci per le funzioni di progettazione relative alla logistica più importanti per lo sviluppo del sistema di supporto e per raggiungere gli obiettivi di preparazione

Ogni manager ILS è investito della totale responsabilità per tutti gli aspetti dei prodotti di quel team. I team leader di prodotto a livello organizzativo combinano le responsabilità di tutti i team di prodotto subordinati. Questa catena di responsabilità e reporting continua fino al livello per cui il responsabile del programma, come leader del team di prodotto integrato, è responsabile per tutti i prodotti. Una caratteristica significativa di questa organizzazione è che ogni prodotto ha un unico punto di responsabilità, autorità nell'organizzazione.

2.2.3 Organizzazioni logistiche formali

Leader (come i responsabili del supporto dei prodotti, della produzione e dell'ingegneria) sono membri del team del prodotto e forniscono supporto al responsabile del programma.
In tale veste, questi leader mettono a disposizione competenze e risorse funzionali per assistere nell'esecuzione del programma e assicurare assegnazioni uniformi e tempestive delle competenze

necessarie ai team di prodotto per assicurare assegnazioni uniformi e tempestive di competenze aggiuntive ai team di prodotto integrati.

2.3 Obiettivi e politiche di gestione logistica

2.3.1 Obiettivi di gestione logistica

L'integrazione della logistica e della supportabilità nell'organizzazione del programma di sviluppo prodotto integrato assicura che:

- Il design rifletta la valutazione dei dati di test, valuta le alternative di supportabilità e le valutazioni di compromesso
- Requisiti siano dettagliati nelle specifiche
- La pianificazione delle risorse logistiche che venga regolata secondo necessità
- Siano soddisfatte le soglie di disponibilità e prontezza operativa
- L'articolo sia supportato nell'ambiente operativo previsto
- Gli ambienti operativi siano accuratamente valutati
- Il sistema di supporto raggiunga le prestazioni previste

Un obiettivo del programma logistico è appunto identificare e risolvere i problemi di rischio tecnico di supportabilità in anticipo, prima di iniziare la produzione e l'implementazione del prodotto.

2.3.2 Politiche di gestione logistica

Per raggiungere gli obiettivi di gestione della logistica, è necessario stabilire un'organizzazione adeguata per la progettazione per la sostenibilità attraverso l'integrazione della progettazione e lo sviluppo del sistema di supporto e del sistema di formazione.
Questo sarà raggiunto tramite:

- Strutturazione di un'organizzazione integrata per lo sviluppo del prodotto che preveda una partecipazione logistica attiva e un'influenza sul design
- Strutturazione del processo ILS affinché sia continuamente interattivo, a livello operativo, con l'ingegneria del design attraverso il processo di ingegneria del sistema
- Pianificazione per lavorare a stretto contatto con clienti e fornitori per lo sviluppo del prodotto

Inoltre, è necessario stabilire un processo LSA che:

- Fornisca le procedure di analisi logistica per integrare i requisiti di supportabilità nella progettazione di base
- Richieda che la configurazione del sistema di supporto corrisponda alla configurazione del design del prodotto
- Fornisca la pianificazione dettagliata della manutenzione e l'identificazione bottom-up dei requisiti di risorse logistiche totali

Come mezzo di controllo, è necessario stabilire uno stato e un sistema di reporting di gestione del programma ILS che documenterà opportunamente la progettazione, lo sviluppo, la verifica e la valutazione del programma e le realizzazioni di transizione affinché soddisfino o superino le priorità logistiche e sviluppino i requisiti di supporto.

2.4 Piano di programma LSA

2.4.1 Requisiti organizzativi

Il Piano di Programma LSA (LSA PP) descrive la strategia per lo sviluppo delle attività LSA durante la fase di sviluppo ingegneristico e di produzione del programma completo. Identifica e integra le attività LSA, identifica le responsabilità e le attività di gestione e stabilisce l'approccio per svolgere le attività di analisi.

Questo piano fornisce una tabella di marcia su ciò che verrà eseguito LSA e come verrà realizzato. Inoltre, fornisce una base per misurare i progressi nelle varie fasi del programma. Il processo LSA è di natura iterativa e dinamica, pertanto verrà aggiornato per riflettere lo stato attuale del programma e le modifiche pianificate.

Il PP LSA descrive il processo LSA e la struttura di gestione stabilita per eseguire questo processo. Descrive in dettaglio come verrà eseguito il processo LSA per soddisfare i requisiti. Anche l'LSA è un processo iterativo che di solito continua per tutto il tempo in cui l'elemento in analisi è in uso continuo. Una volta che l'elemento è stato ritirato, i dati LSA possono essere utilizzati come dati di confronto di riferimento per gli articoli supportati in futuro.

Il PP LSA descrive la gestione, le organizzazioni e le procedure richieste per soddisfare i requisiti del programma ed include:

- Descrizione, interrelazioni e calendario delle procedure che devono essere eseguite da ciascun elemento organizzativo interessato a supporto del programma LSA
- Dichiarazione dei requisiti per i partecipanti al programma LSA (ad esempio subappaltatori, fornitori, aziende partner, agenzie)
- Identificazione dei punti di monitoraggio del programma LSA
- Disseminazione dei requisiti LSA per la progettazione e la descrizione delle tecniche da impiegare per garantire che l'LSA desiderata sia inerente alla progettazione del prodotto
- Descrizione dell'approccio pianificato alle attività LSA e metodi e fonti specifici da utilizzare per soddisfare l'analisi qualitativa della supportabilità e risolvere i problemi di progettazione
- Descrizione del database LSA, WBS, sistema di numerazione dell'identificativo dell'elemento Breakdown e gestione delle informazioni fornite dal governo
- Descrizione di come i problemi saranno identificati, controllati e segnalati
- Descrizione delle disposizioni per l'aggiornamento del piano

La pianificazione e il coordinamento di LSA è responsabilità della gestione dell'ingegneria logistica. I manager della LSA forniscono una guida tecnica nella conduzione dell'LSA. Le procedure devono garantire che i requisiti di sostenibilità siano identificati come parte integrante dell'ingegneria e della progettazione dei sistemi.
Le linee di base della progettazione della capacità di supporto identificano:

- Requisiti di analisi comparativa dell'affidabilità e della manutenibilità quantificati, come:
    - Ore di manodopera per ora di funzionamento
    - Mean Time Between Failure (MTBF)
    - Tempo medio di riparazione (MTTR)
- Il concetto di manutenzione che include:
    - Giustificazione per eventuali attività di supporto (eventi e requisiti operativi)
    - Attività di manutenzione preventiva e correttiva
    - Attività di supporto operativo
    - Livello di manutenzione e informazioni sulla posizione di manutenzione
- Miglioramenti e stato di supportabilità del campo / flotta
- Lezioni apprese e stato
- Supporta i driver
- Nuovi requisiti tecnologici

In generale, il PP LSA può far parte di un piano di gestione ILS globale o di ILS PP. Per progetti più complessi è consigliabile avere un documento separato. Molti aspetti da coprire sono anche armonizzati e concordati tra cliente e contraente nell'ambito di una LSA Guidance Conference (GC).

2.4.2 Requisiti generali

Il PP LSA include i seguenti elementi di informazione:

- Una descrizione di come verrà condotto il programma LSA per soddisfare il sistema ei requisiti logistici definiti nei documenti di progetto applicabili
- Una descrizione della struttura di gestione e delle autorità applicabili agli LSA. Ciò include l'interrelazione tra la linea, il servizio, il personale e le organizzazioni politiche.
- Identificazione di ciascun compito LSA che verrà svolto e di come ciascuno sarà eseguito
- Una pianificazione con punti di inizio e completamento stimati per ciascuna attività o attività del programma LSA. È necessario identificare le relazioni di pianificazione con altri requisiti del programma ILS e le attività di ingegneria di sistema associate.
- Una descrizione di come le attività ei dati dell'LSA si interfacciano con altri ILS, attività e dati orientati al sistema. Questa descrizione includerà l'analisi e le interfacce dati con i seguenti programmi, a seconda dei casi:
    - Progettazione dell'attrezzatura
    - Manutenzione della strumentazione
    - Affidabilità dell'attrezzatura
    - Testabilità delle apparecchiature
    - Strutture/infrastruttura
    - Integrazione dei fattori umani
    - *Provisioning* iniziale
    - PHST
    - Controllo delle parti
    - Standardizzazione
    - Supporto e test delle attrezzature
    - Sopravvivenza
    - Sicurezza del sistema
    - Documentazione tecnica
    - Test e valutazione
    - Attrezzature di allenamento e allenamento

- Identificazione della struttura di ripartizione degli articoli su cui verrà eseguita e documentata la LSA, compresi gli elementi software. Identificazione di un elenco di elementi candidati (LCA) dell'LSA e dei criteri di selezione degli elementi candidati LSA. L'elenco deve includere tutti gli articoli consigliati per l'analisi, gli articoli non raccomandati e le motivazioni appropriate per la selezione o la mancata selezione.
- Spiegazione del sistema di numerazione degli elementi di guasto da utilizzare
- Il metodo con cui i requisiti di progettazione relativi alla supportabilità ed il concetto di supportabilità sono diffusi ai progettisti e al personale associato
- Il metodo con cui i requisiti di progettazione relativi alla supportabilità ed il concetto di supportabilità sono diffusi ai subappaltatori e ai controlli imposti in tali circostanze.
- Dati governativi da fornire al contraente
- Procedure per l'aggiornamento e la convalida dei dati LSA per includere le procedure di controllo della configurazione per i dati LSA
- Requisiti LSA relativi a materiale fornito dal governo/materiale fornito da imprese e subappaltatori/fornitori, inclusi gli articoli finali di apparecchiature di supporto
- Le procedure per valutare lo stato e il controllo di ciascuna attività e l'identificazione dell'unità organizzativa con l'autorità e la responsabilità per l'esecuzione di ciascuna attività
- Procedure, metodi e controlli per identificare e registrare problemi o carenze di progettazione che incidono sulla supportabilità, azioni correttive richieste e stato delle azioni intraprese per risolvere i problemi
- Descrizione del sistema di raccolta dei dati da utilizzare

2.4.3 Identificazione dei requisiti funzionali

In questa attività vengono indentificate le operazioni richieste e le funzioni di supporto per il prodotto. Gli input primari sono i risultati dei fattori di progettazione legati alla supportabilità, nonché i risultati dei programmi e delle analisi di affidabilità e manutenibilità.

I risultati di questa attività costituiscono la base per le alternative del sistema di supporto. Attraverso il coordinamento e l'interazione con l'ingegneria del design, la manutenibilità, l'ingegneria umana ei manuali tecnici, il personale dell'LSA revisionerà gli schemi di blocchi funzionali applicabili identificando le modifiche dei componenti del sottosistema con i componenti del sottosistema associati. Il personale dell'LSA valuterà e identificherà le operazioni e le funzioni di manutenzione necessarie per implementare il concetto di manutenzione e operativo per i candidati LSA.

I requisiti funzionali inerenti alla manutenzione e al funzionamento del Prodotto comprendono requisiti quali:

- Ispezioni
- Manutenzione
- Test
- Operativo
- Riparazione
- Configurazione per uso specifico

2.4.4 Requisiti funzionali particolari

Lo stesso processo utilizzato per identificare le operazioni e le funzioni di manutenzione identificherà eventuali requisiti funzionali particolari. Questi sono generalmente associati alle nuove tecnologie e alle apparecchiature incorporate nel sistema o nel suo sistema di supporto. Verranno inoltre presi in considerazione materiali pericolosi, rifiuti pericolosi e inquinanti ambientali.

Sebbene vengano utilizzate le stesse tecniche di analisi per identificare e valutare queste funzioni uniche, verrà data loro un'attenzione particolare perché hanno la tendenza ad esibire rischi più elevati. L'organizzazione LSA garantirà che le modifiche alla configurazione siano tracciate e che il loro impatto sui requisiti funzionali unici identificati sia identificato e valutato.

2.4.5 Organizzazione del programma LSA

Il Program Manager è l'autorità finale per effettuare l'implementazione dell'organizzazione integrata di sviluppo del prodotto del programma LSA: inoltre è un elemento integrante dell'impegno del team di prodotto integrato nel fornire prodotti e servizi della massima qualità al minor costo possibile.
È responsabile della definizione dell'analisi dei requisiti per il programma LSA ovvero di:

- Esecuzione dell'analisi funzionale e dell'assegnazione e fornitura ai team di prodotto integrati
- Fornire soluzioni di prodotto e di processo che soddisfino i requisiti di supportabilità
- Fornire analisi di sistema e attività di controllo attraverso il processo di ingegnerizzazione del sistema

È inoltre responsabile del monitoraggio delle attività LSA su tutti i team, garantendo la condivisione in tutto il programma e la consegna delle richieste di dati LSA (se necessario). Ha l'autorizzazione finale per tutte le

funzioni del programma ed è un membro attivo dei team di prodotto integrati. L'obiettivo di questi team è quello di sviluppare una guida nella progettazione del sistema che soddisfi i requisiti di prestazioni, producibilità e supportabilità e consegua un basso LCC.

3 LSA Operativa

3.1 Analisi di Supporto Logistico

L'Analisi di Supporto Logistico, applicata in particolare aduna linea di illuminazione "smart" stradale pubblica operativa in contesto urbano 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).

3.1.1 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

3.1.2 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 obbiettivi:

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

4 Descrizione

4.1 Introduzione

Il sistema “smart street” che stiamo esaminando è una linea di illuminazione stradale pubblica gestita in modo sia automatico (programmabile) che manuale: L’impianto è sito a Potenza, lungo il Viale Unicef (compresa tra le due rotatorie laterali nella Fig. 4)

Figura 1–linea di illuminazione stradale pubblica:vista panoramica di Viale Unicef (Potenza)

Il sistema è composto da 100 corpi illuminanti, quattro di questi sono dotati di telecamera Smart Eye per il rilevamento del traffico ed altri datienviromentali. In ogni corpo illuminante è presente un filtro di rete, un nodo IP ed un led driver, oltre alla lampada multiled.

Figura 2 – Palo con i due corpi illuminanti e una delle telecamere Smart Eye

Figura 3 – Arrangiamento della nuova cabina elettrica: in basso è visibile il concentratore

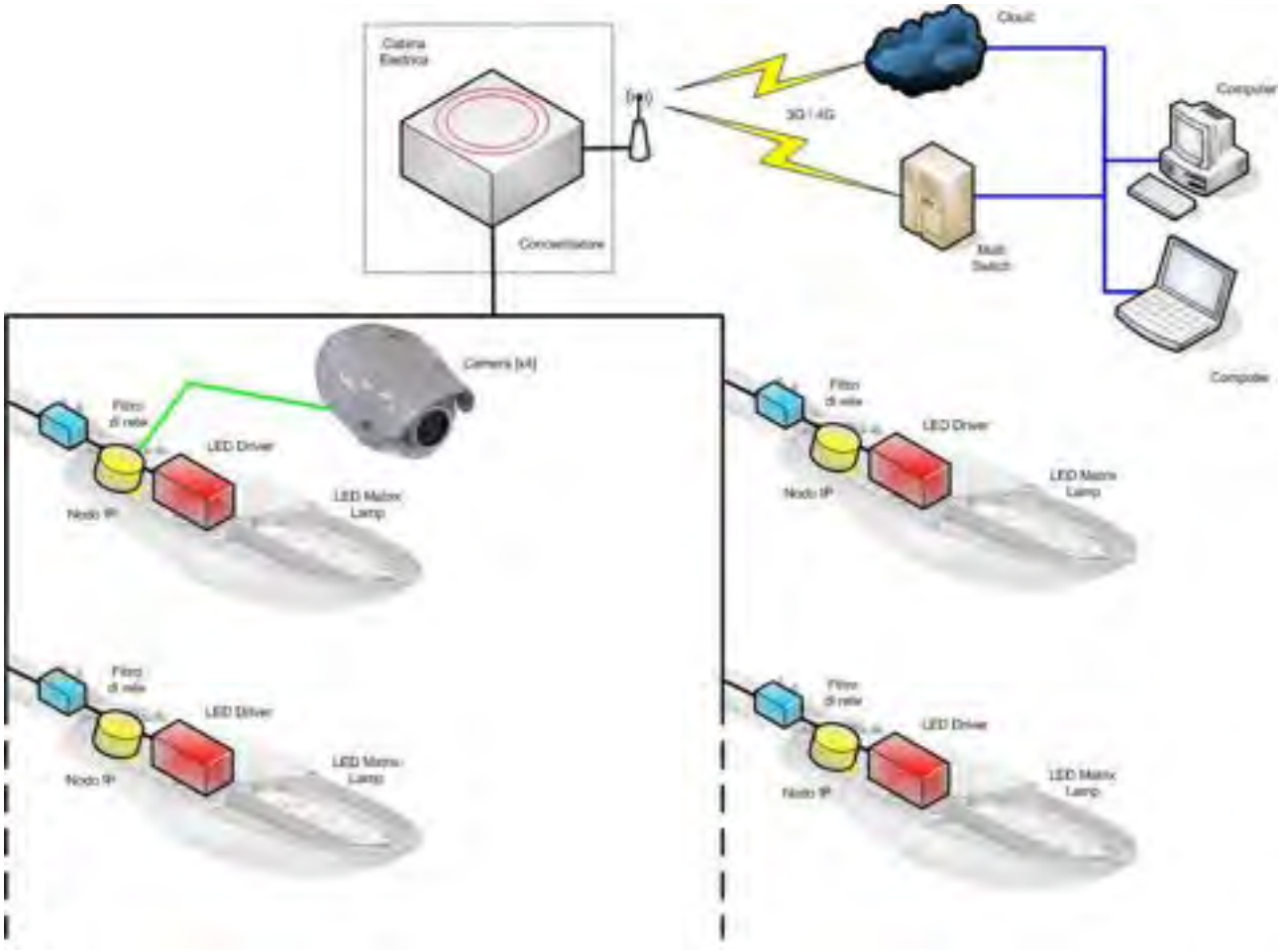


Figura 4- Architettura generale

4.2 Concentratore

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 10 MHz (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.

4.2.1 Funzionalità del Concentratore

La Serie CA10 è un concentratore PLC che include diverse interfacce e funzionalità. Questa serie è formata da tre dispositivi che offrono funzionalità comuni e altre opzionali che includono:

- Comunicazione PLC a banda larga.
- Porta di comunicazione RS-485.
- Porta Ethernet 10/100 Mbps Full-Duplex e funzione di Auto MDI/MDIX con connettore RJ45 per connessione con dispositivi IP come Computer,
- Telecamere, sistemi audio, etc.
- Orologio Astronomico
- Orologio in Tempo Reale (RTC), che assicura la precisione della data e ora di accensione anche in caso in qui l'apparecchio sia disconnesso.
- Misurazione del Consumo Elettrico (Trifase/Monofase) totale del quadro elettrico dove viene installata. Questa funzione permette di avere un'analisi completa dell'andamento della rete.
- Modem di comunicazione 3G/GPRS, che permette la comunicazione con il sistema da remoto e WIFI.

Il concentratore si alimenta in Trifase (230V), in questo modo può funzionare anche in caso di perdita di alimentazione di una o due fasi. La tensione è filtrata e passa per una fonte di alimentazione AC/DC e un convertitore DC/DC per generare la tensione elettrica richiesta dai circuiti.

Il Concentratore ha inoltre una batteria tampone della durata di 4 ore.

Inoltre è installato un connettore per la connessione dei 3 trasformatori di corrente (TA) (in dotazione) che misurano l'intensità di corrente delle tre fasi, installati naturalmente all'esterno del concentratore. Con questi parametri, si calcola la potenza elettrica fornita dal quadro.

Il modem PLC si connette alla rete elettrica mediante un'unità di accoppiamento esterna: quest'ultima potrà essere monofase o Trifase.

Il microprocessore gestisce tutto il sistema e dispone di una memoria di tipo SDRAM e Flash. Inoltre ha un *real time clock* (RTC) che permette allo stesso di sapere la data e l'ora in qualsiasi momento, compreso in caso di mancanza di alimentazione prolungata, grazie ad una batteria di back-up, permettendo così al sistema di salvare tutti i dati presenti in memoria prima di spegnersi, in modo da non corromperli.

In più dispone di comunicazione wireless di tipo 3G ed è equipaggiato con un'antenna esterna; per funzionare è necessario avere una scheda SIM dati accessibile dall'esterno e/o Wifi.

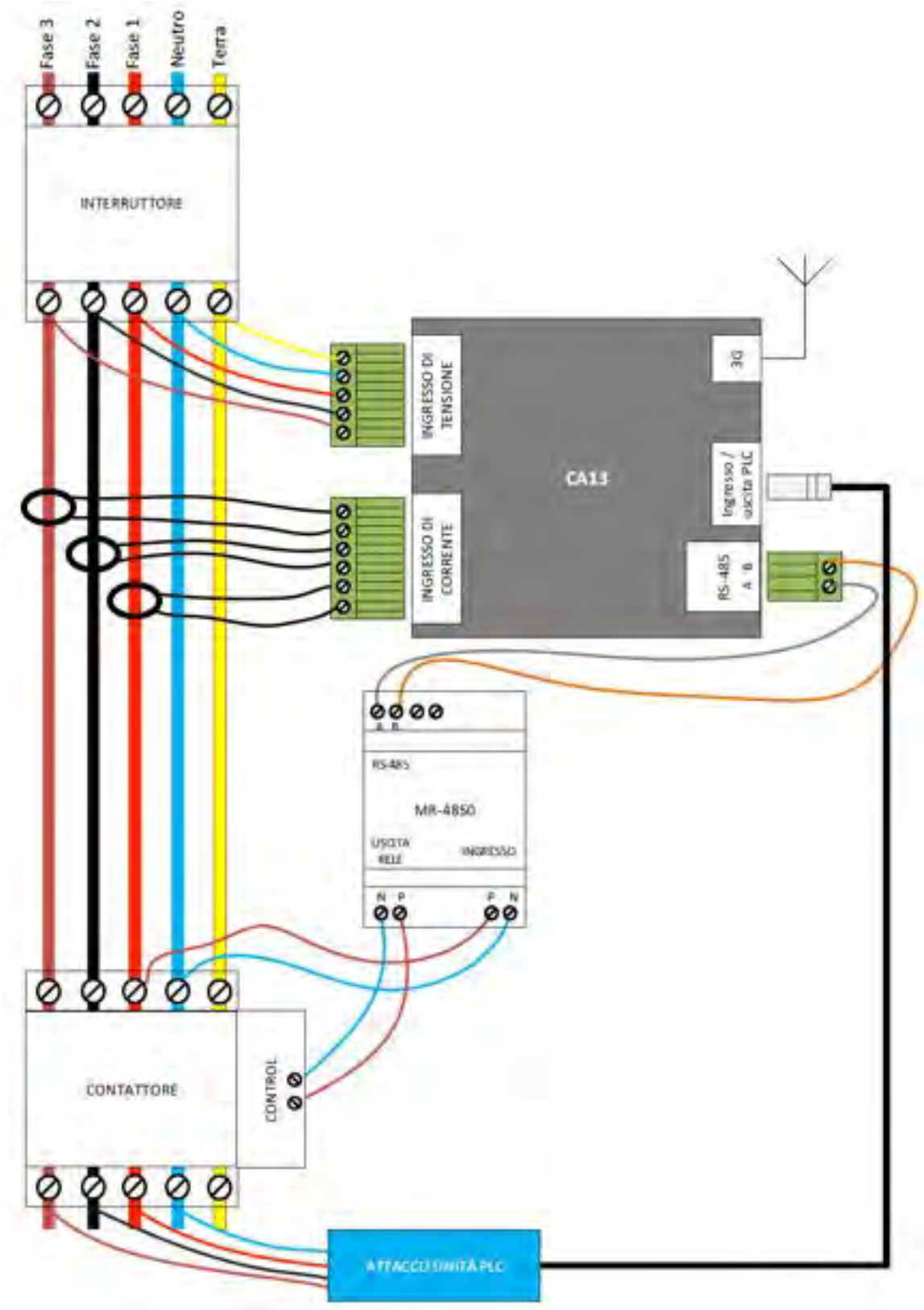


Figura 5 - Concentratore: Possibili Collegamenti

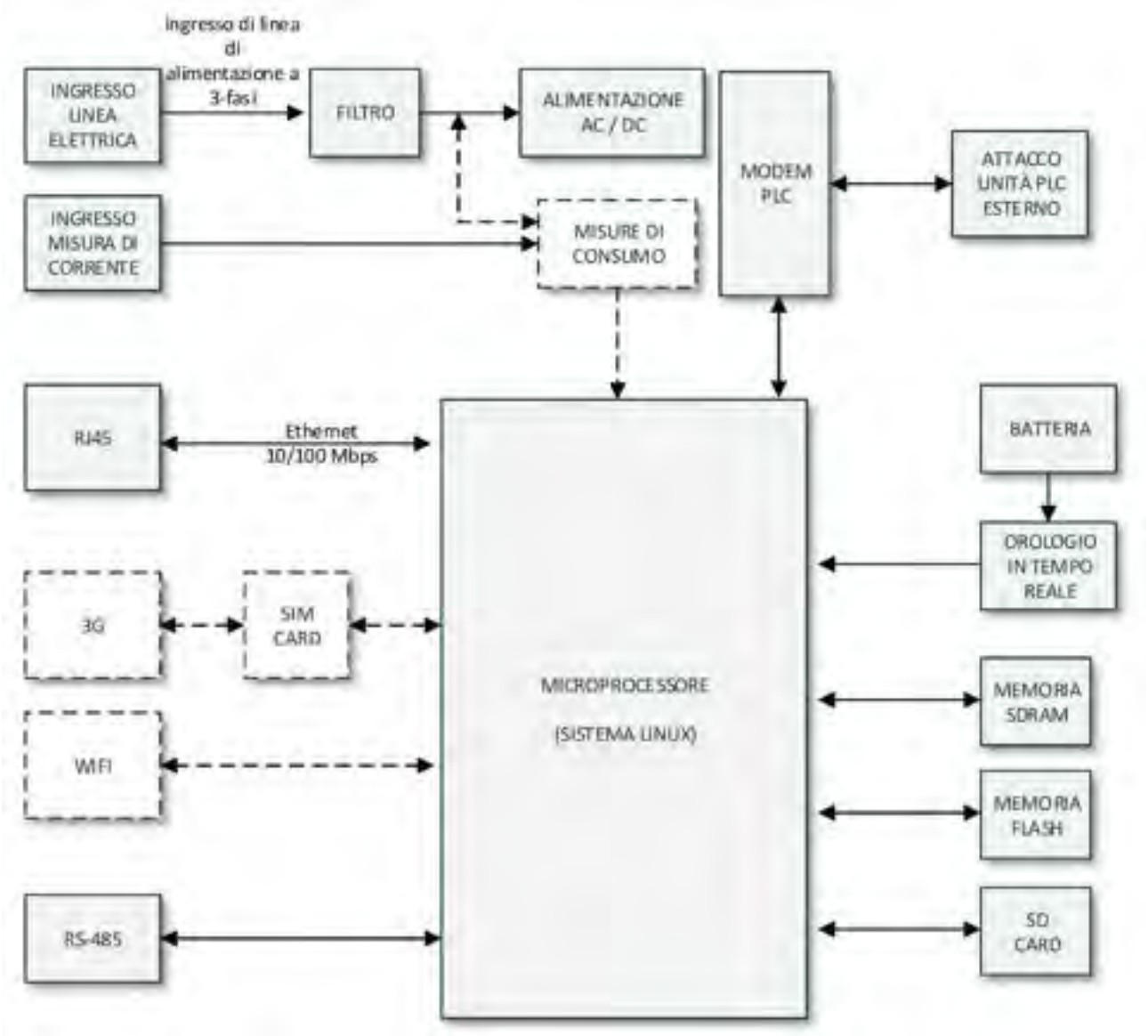


Figura 6 - Concentratore: Schema a Blocchi Funzionale

4.3 Corpo illuminante

Figura 7 – Corpo illuminante completo

Figura 8 – Corpo illuminante (vista dall'alto) è visibile l'istallazione del nodo IP

Il corpo illuminante è composto da tre unità funzionali ovvero un filtro di rete, un nodo PLC, un LED driver e una lampada a matrice di LED, tutti e tre inseriti in un robusto *chassis* di alluminio.

Nella parte superiore è situato il connettore stagno a baionetta per l'unità PLC mentre il corpo è accessibile tramite pannello di ispezione fermato da due galletti: all'interno trovano alloggio il filtro di rete, LED Driver, i relativi connettori e cablaggi.

Figura 9 – corpo illuminante aperto: sono visibili: filtro di rete e LED driver

4.3.1 Nodo PLC

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, e comunica quindi con un concentratore e/o 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).

Figura 10 – Nodo PLC

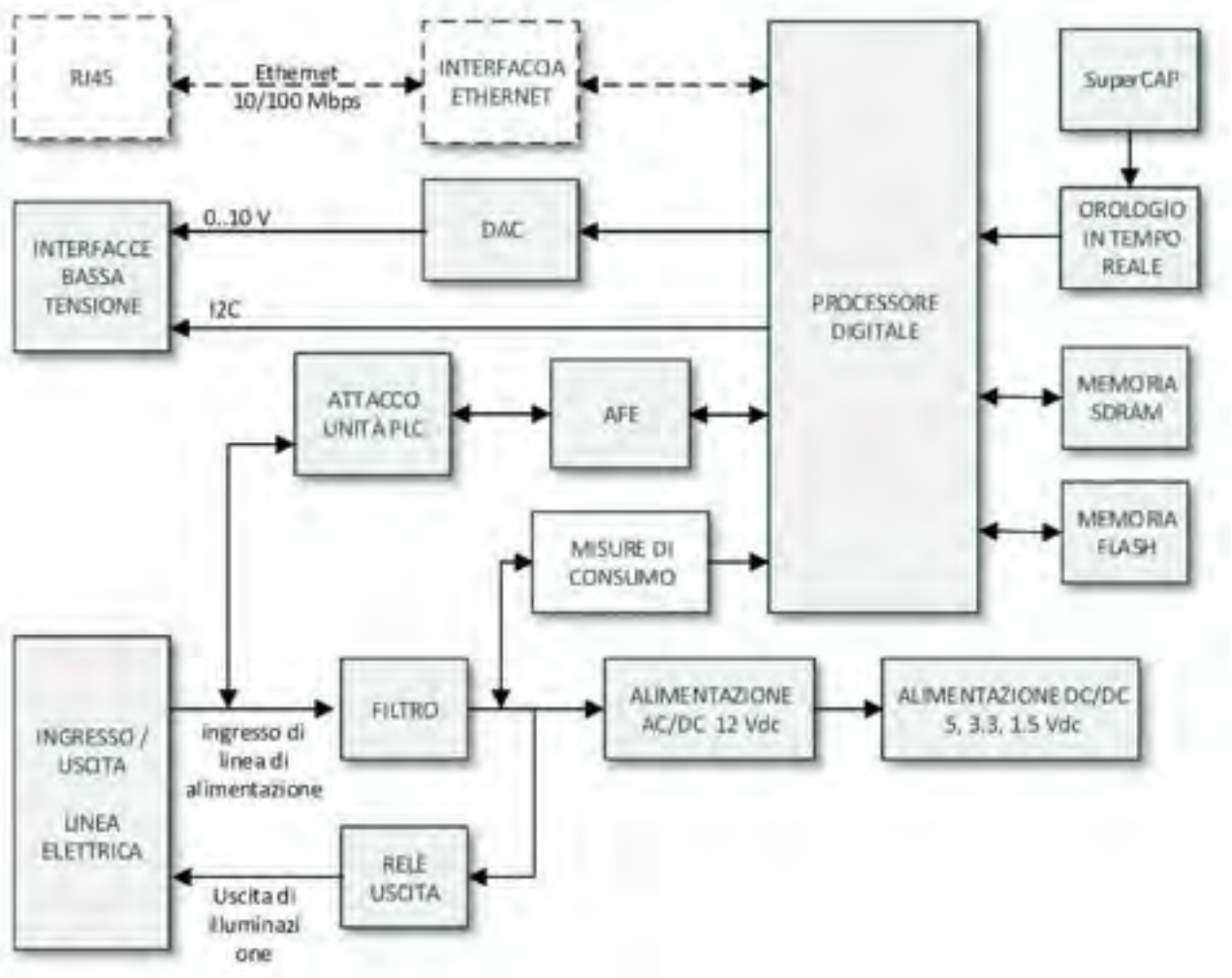


Figura11 - NODO IP: Schema a Blocchi Funzionale

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.

4.3.2 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.

Figura12- Philips Xanthium LED Driver

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 – PulseWidthModulation) inoltre si possono avere più canali per il controllo separato di diversi LED o array di LED.

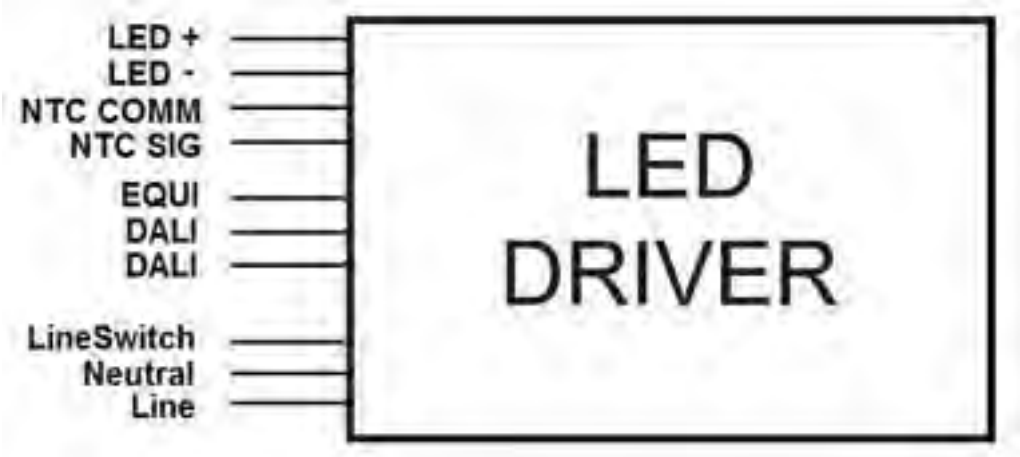


Figura13- LED Driver: Collegamenti esterni

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

4.3.3 Lampada a Matrice di LED

La lampada a matrice di LED contiene 5 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.

4.3.4 Filtro di rete

Il Filtro di rete (EMI) è un filtro passivo presente nel nostro apparato e nella gran parte delle apparecchiature elettroniche, che permette ai dispositivi di rispondere alle normative della compatibilità elettromagnetica, in particolare a quelle riguardanti le emissioni condotte. In sostanza, il filtro EMI è un filtro passa basso che viene collegato come ultimo stadio tra l'apparecchiatura e la rete di alimentazione, in modo da attenuare le componenti di disturbo che ogni dispositivo elettronico tenderebbe ad emettere. Ovviamente, il filtro deve risultare trasparente alla frequenza di alimentazione (50-60 Hz) per permettere il corretto funzionamento del dispositivo.

Figura14–Filtro di rete

5 Analisi di affidabilità

5.1 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.

5.1.1 Obiettivi Dello Studio Affidabilistico

Gli obiettivi di affidabilità nell'industria dei componenti 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

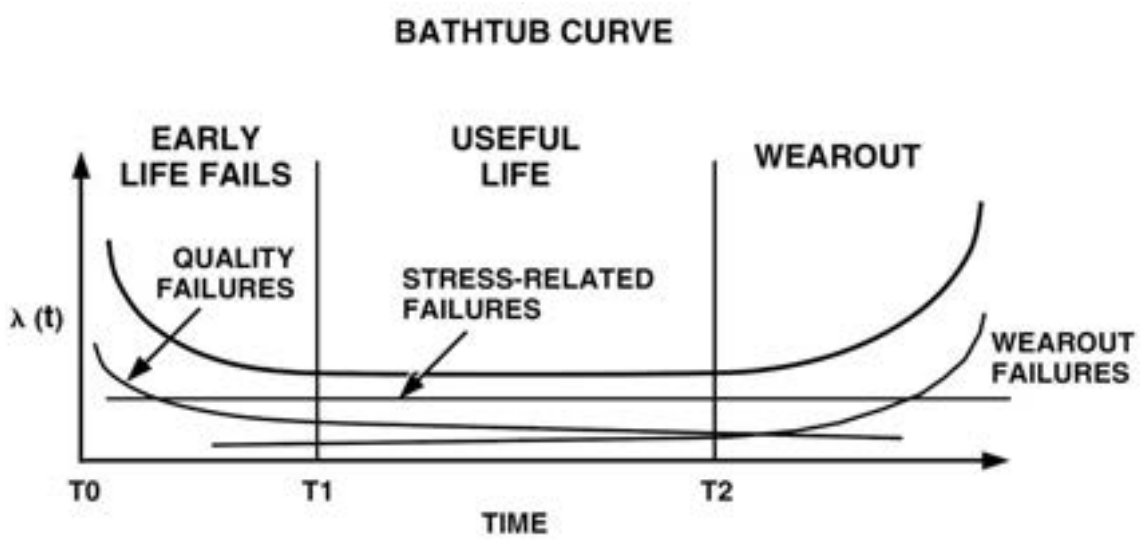


Figura15 - Curva a Vasca da Bagno (Bathtub Curve)

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 guasti sarebbero dovuti all'usura dell'ossido, all'elettromigrazione 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.

5.1.2 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.

5.1.3 Terminologia

I termini di base dell'affidabilità sono:

Inaffidabilità (*Unrealiability*) $F(t)$: 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)

$$R(t)\ (t) = (n\text{-}r) / n$$

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) λ(t): esprime la percentuale di una popolazione che è stata buona fino al tempo t e fallirà durante l'unità di tempo successiva.

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

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

MTBF 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

$$MTBF = 1 / \lambda$$

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*):

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

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

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

Tasso di guasto (*Failure Rate*):

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

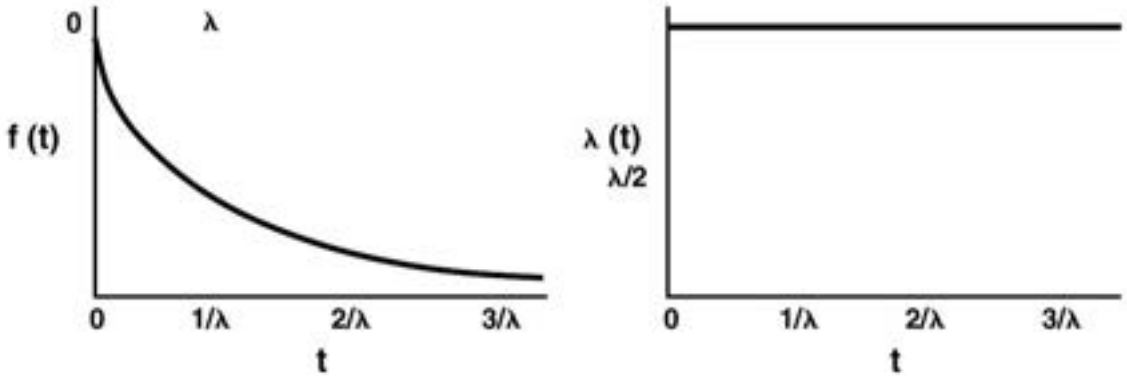


Figura 16 - Distribuzione del Failure rate

5.1.4 Tipi di guasti

Durante il funzionamento si possono verificare guasti didue tipi:

a) Guasti permanenti: dovuti ad esempio allamanifestazione di difetti presenti in fase di produzione oanche dovute a invecchiamento (esempioelettromigrazione) o radiazioni che corrompono il reticolocristallino o altri fenomeni ad effetto permanente

b) Guasti transitori: ad esempio SEU (*Single EventUpset*nelle memorie) dovuti all'effetto di radiazioni ovveroalla iniezione di cariche nelsubstrato che possono causare l'inversione del valorememorizzato su elementi di memorie. Effetti temporaneipossono anche causare metastabilità.

I guasti transitori possono essere riparati se rilevati anche automaticamente: in generale, per le memorie si preferisce ricorrere a tecniche di ripristino come lo scrubbing o il semplice refresh.

5.1.5 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.

5.1.6 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:

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

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 "PartsCount" (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 λgenerico con quello più approfondito della PSA.

5.2 Affidabilità dei sistemi

Finora si è parlato dell'affidabilità di un elemento senza preoccuparsi della sua complessità. Analizzeremo ora le relazioni tra l'affidabilità di un sistema complesso e quella dei singoli componenti. Detto in termini matematici si esprimere con:

$$R_{sys} = f[R_1(t), R_2(t), R_3(t), R_4(t), R_5(t), \dots R_N(t),]$$

DoveR_s, rappresenta l'affidabilità del sistema e $R_j$con j=1,..,n quella dei singoli componenti.La conoscenza delle leggi con cui le affidabilità dei singoli elementi componenticoncorrono a formare quelle dei sistemi, é importante per:

- Dedurre le caratteristiche di sicurezza di funzionamento di un insieme, sulla scortadei dati storici di guasto delle parti che lo compongono;
- Trarre indicazioni utili per impostare una politica di manutenzione preventivaattraverso la conoscenza dell'effetto prodotto dall'intervento su di un certoelemento, sulle caratteristiche del sistema nel suo complesso;
- Analizzare le cause di mal funzionamento di un elemento e prevedere le azionicorrettive più efficaci;
- Progettare un sistema con caratteristiche ottimali di affidabilità, medianteduplicazioni di alcune funzioni (v. sistemi ridondanti).

Ora l'affidabilità di un sistema non è altro che la probabilità di ricorrenza dell'evento"non guasto", che a sua volta risulta dalla combinazione di più eventi semplici.Pertanto le regole di combinazione delle affidabilità coincidono con le regole generalidi combinazione delle probabilità di eventi qualsiasi.

Le parti componenti di un sistema possono comportarsi, dal punto di vista affidabilistico,in maniera indipendente o meno, ossia il verificarsi di un guasto di una partecostituisce un evento casuale statisticamente indipendente (o meno) dal verificarsi diun guasto in un'altra parte; cioè il verificarsi di un guasto in una parte non altera laprobabilità di occorrenza di guasto in un'altra parte. Nel caso in cui le parti

di un sistemasi comportino in modo indipendente, la loro affidabilità può venire definitaanaliticamente a partire da quella dei singoli componenti. Ciò non è possibile quando ilguasto di un singolo componente può influenzare la probabilità di accadimento del guastosu un altro componente costituente il sistema.
D'altra parte è sempre possibilesoddisfare questa ipotesi, pur di non spingere oltre un certo limite la suddivisione delsistema nei componenti che la costituiscono, in modo da considerare il sistema costituitoda blocchi tra loro indipendenti.

Il funzionamento di un sistema dal punto di vista dell'affidabilità viene graficamenterappresentato mediante schemi a blocchi opportunamente interconnessi, in cui ogniblocco rappresenta un sottosistema o un componente. Questi schemi non trovano ingenerale corrispondenza nello schema funzionale di un impianto: infatti essirappresentano graficamente la dipendenza logica dell'evento "guasto del sistema"dall'evento "guasto di un certo componente", il che non è in generale incorrispondenza con la dislocazione fisica e la funzione svolta dai singoli componenti.

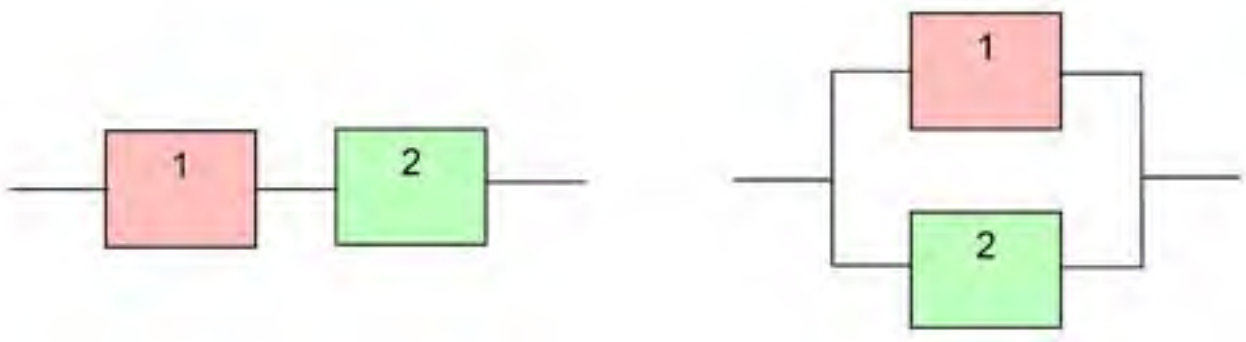


Figura17 - schema logico "serie" e schema "Parallelo" per uno stesso sistema fisico

In definitiva si potrà dire che, se un elemento di impianto risulta rappresentato "in parallelo" nello schema logico, un suo guasto non provoca il fuori servizio dell'intero sistema; mentre l'opposto accade nel caso della rappresentazione "in serie", in cui invece il guasto del singolo componente comporta il guasto dell'intero sistema. La rappresentazione serie o parallelo, che è una rappresentazione puramente logica delsistema e non coincide generalmente con lo schema funzionale, varia per un medesimosistema in funzione del guasto considerato.

I due schemi logici rappresentati, serie e parallelo, costituiscono gli schemi fondamentali tramite i quali analizzare i sistemi complessi; un sistema complesso puòessere infatti ricondotto ad una combinazione di sottosistemi elementari serie oparallelo, ed è su questi che verrà quindi focalizzata nel seguito l'attenzione.

5.2.1 Affidabilità del sistema in serie

In un sistema “serie” ovvero un sistema che non è ridondato e situa tutte le sue sub unità in sequenza sia logica che funzionale, tutte le componenti devono funzionare affinché il sistema completo funzioni ovvero un sistema di n componenti viene considerato serie rispetto ad un determinato evento guasto, quando l’evento guasto si verifica nel momento in cui almeno un componente del sistema è guasto. La schematizzazione logica di un sistema siffatto viene riportata

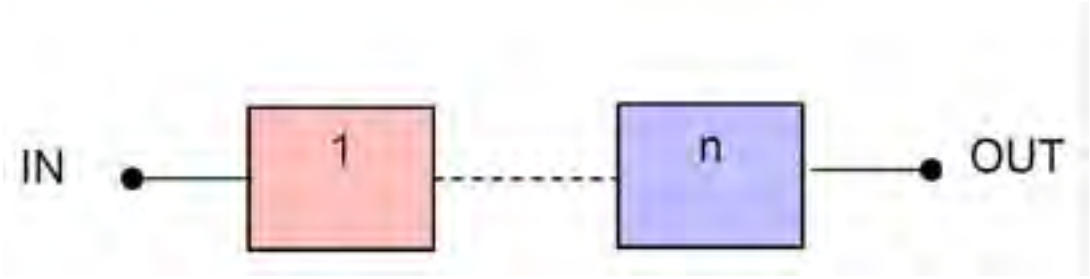


Figura18- schematizzazione del sistema serie

Dal momento che l’affidabilità del sistema esprime la probabilità che il sistema sia in condizioni di buon funzionamento al generico istante, se si suppongono i guasti dei singoli componenti tra loro indipendenti, l’affidabilità del sistema di n componenti in serie è data dal prodotto delle affidabilità dei singoli componenti, ossia

$$R_{sys} = \prod_{i=1}^{N} R_i = \prod_{i=1}^{N} e^{-\int_0^t \lambda_i(t)dt} = e^{-\sum_{i=1}^{N}\int_0^t \lambda_i(t)dt} = e^{-\int_0^t \sum_{i=1}^{N} \lambda_i(t)dt} = e^{-\int_0^t \lambda_{sys}(t)dt}$$

da cui si ha che il rateo di guasto del sistema è uguale alla somma dei ratei di guastodei singoli componenti

$$\lambda_{sys}(t) = \sum_{i=1}^{N} \lambda_i(t)$$

Se si suppone che tutti i componenti del sistema si trovino nel periodo di vita utile e chedunque siano caratterizzati da un rateo di guasto costante, anche il rateo di guasto delsistema sarà costante

$$\lambda_{sys}(t) = \sum_{i=1}^{N} \lambda_i(t) = cost$$

e quindi sostituendo nell’espressione appena ricavata si ottiene

$$R_{sys} = e^{-\int_0^t \lambda_{sys}(t)dt} = e^{-\lambda_{sys}(t)} = e^{-\sum_{i=1}^{N} \lambda_i(t)}$$

che rappresenta l'espressione dell'affidabilità per un sistema serie di n componenti nel periodo di vita utile.

Per quanto riguarda l'espressione del MTBF si ha:

$$MTBF_i = \frac{1}{\lambda_i}$$

Si ha quindi:

$$MTBF_{sys} = \frac{1}{\lambda_{sys}} = \frac{1}{\sum_{i=1}^{N} \lambda_i} = \frac{1}{\sum_{i=1}^{N} \frac{1}{MTBF_i}}$$

5.2.2 Affidabilità dei sistemi in Parallelo (A Funzionamento Permanente)

Un sistema di n componenti viene considerato parallelo a funzionamento permanente rispetto ad un determinato evento guasto, quando l'evento guasto si verifica nel momento in cui tutti i componenti o un certo numero di componenti del sistema sono guasti, posto che tutti i componenti sono in funzione contemporaneamente. La schematizzazione logica di un sistema siffatto viene riportata in Figura sotto

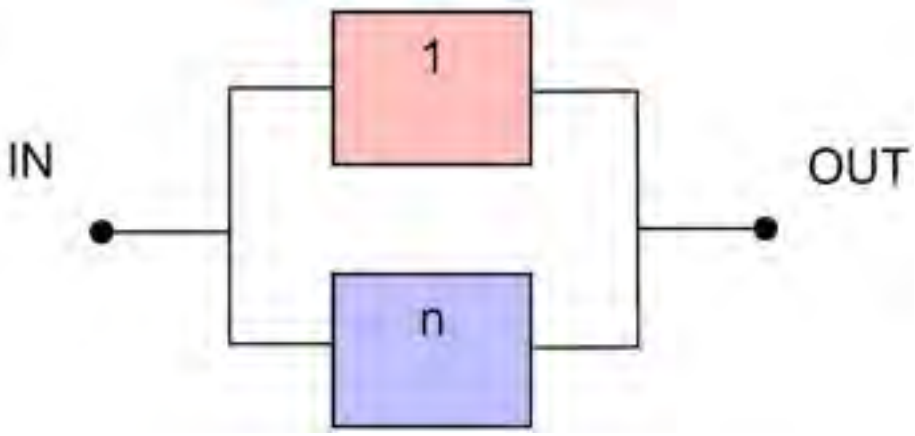


Figura 19 - schematizzazione di un sistema in parallelo a funzionamento permanente

Il sistema si dice in ridondanza semplice nel caso in cui il sistema è guasto nel momento in cui tutti i componenti sono guasti, mentre è in ridondanza multipla quando il funzionamento del sistema è garantito dal funzionamento di almeno due componenti

Nel caso di un sistema parallelo a funzionamento permanente in ridondanza semplice, il calcolo dell'affidabilità viene effettuato partendo dalla *guastabilità$F_{sys}(t)$*del sistema, ed osservando che il sistema è guasto al generico istante se tutti i componenti del sistema sono guasti a quell'istante.

Quindi

$$F_{sys}(t) = \prod_{i=1}^{N} F_i(t) = \prod_{i=1}^{N} (1 - R_i(t)) = \prod_{i=1}^{N} \left(1 - e^{-\int_0^t \lambda_i(t)dt}\right)$$

Da cui

$$R_{sys}(t) = 1 - F_{sys}(t) = 1 - \prod_{i=1}^{N} \left(1 - e^{-\int_0^t \lambda_i(t)dt}\right)$$

Se si suppone che tutti i componenti si trovino nel periodo di vita utile e che i ratei di guasto siano tra loro tutti uguali, ossia:

$$\lambda_1(t) = \lambda_2(t) = \lambda_3(t) =, \dots, = \lambda_N(t) = cost$$

SI ottiene

$$R_{sys}(t) = 1 - \left(1 - e^{-\lambda t}\right)^N$$

Sviluppando col binomio di Newton

$$R_{sys}(t) = 1 - \left(1 - \binom{N}{1} e^{-\lambda t} + \binom{N}{2} e^{-2\lambda t} - \binom{N}{3} e^{-3\lambda t} + \cdots\right)$$

Ovvero

$$R_{sys}(t) = N\, e^{-\lambda t} - \frac{N(N-1)}{2!} e^{-2\lambda t} + \frac{N(N-1)(N-2)}{3!} e^{-3\lambda t} - \cdots$$

Per quanto riguarda l'MTBF

$$MTBF_{sys} = \int_0^\infty R_{sys}(t)\, dt = \int_0^\infty \left(N\, e^{-\lambda t} - \frac{N(N-1)}{2!} e^{-2\lambda t} + \frac{N(N-1)(N-2)}{3!} e^{-3\lambda t} - \cdots\right) dt =$$

$$MTBF_{sys} = \left[-\frac{N}{\lambda}\, e^{-\lambda_{sys}t}\right]_0^{\infty} - \left[-\frac{N(N-1)}{2!}\frac{1}{2\lambda}\, e^{-2\lambda t}\right]_0^{\infty} + \left[-\frac{N(N-1)(N-2)}{3!}\frac{1}{3\lambda}\, e^{-3\lambda t}\right]_0^{\infty} - \cdots =$$

$$MTBF_{sys} = \frac{N}{\lambda} - \frac{N(N-1)}{2!}\frac{1}{2\lambda} + \frac{N(N-1)(N-2)}{3!}\frac{1}{3\lambda} - \cdots$$

Che rappresenta l'espressione generale per il MTBF nel caso di n componenti in parallelo in ridondanza semplice.

Nel caso ad esempio di un sistema costituito da due soli componenti

$$MTBF_2 = \frac{2}{\lambda} - \frac{2(2-1)}{2!}\frac{1}{2\lambda} = \frac{3}{2}\frac{1}{\lambda}$$

Ossia superiore del 50% rispetto al componente preso singolarmente

5.2.3 Sistemi Parallelo a Funzionamento Sequenziale

I sistemi in parallelo a funzionamento sequenziale si differenziano rispetto al caso visto precedentemente dal momento che, mentre nel caso di sistemi a funzionamento permanente gli n componenti funzionano tutti contemporaneamente, nel caso di funzionamento sequenziale funziona sempre un solo componente alla volta; nel momento in cui si verifica un guasto sul componente in funzione in quel momento, un commutatore permette di mettere in funzionamento un componente che si trovava precedentemente in condizioni di stand by.
Lo schema logico del sistema, nel caso di due componenti, viene riportato in Figura 23.

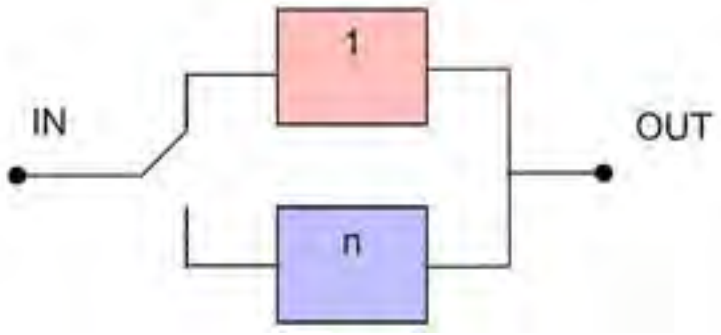


Figura20- Schema logico di un sistema in parallelo di due componenti a funzionamento sequenziale

Il calcolo dell'affidabilità viene inizialmente fatto per il sistema a due componenti, estendendo quindi il discorso al caso generale di sistema ad n componenti. In entrambi i casi si ritiene l'affidabilità del commutatore unitaria.

Nel caso di due soli componenti, il sistema funziona all'istante generico t, se funziona il componente 1, oppure, noto che si sia guastato il componente 1 all'istante generico t, con $0 < \tau < t$, il componente 2, che è entrato in funzione all'istante τ, funziona all'istante t. Quindi:

$$R_{sys}(t) = R_1(t) + \int_0^t F_1(\tau) \cdot R_1(t-\tau) \cdot d\tau$$

$$R_{sys}(t) = e^{-\lambda t} + \int_0^t \lambda \cdot e^{-\lambda t} \cdot e^{-\lambda(t-\tau)} \cdot d\tau$$

$$R_{sys}(t) = e^{-\lambda t} + \lambda \cdot \int_0^t e^{(-\lambda\tau+\lambda t+\lambda\tau)} \cdot d\tau$$

$$R_{sys}(t) = e^{-\lambda t} + \lambda \cdot \int_0^t e^{\lambda t} d\tau$$

Dove si sono supposti i ratei di guasto costanti ed uguali tra di loro.

Dal momento che t è fisso mentre la variabile è τ, la quantità all'interno dell'integrale è costante e quindi si ottiene

$$R_{sys}(t) = e^{-\lambda t} + \lambda \cdot e^{-\lambda t} \cdot t$$

$$R_{sys}(t) = e^{-\lambda t} + (1 + \lambda t)$$

che rappresenta l'espressione dell'affidabilità per un sistema di due elementi in parallelo a funzionamento sequenziale.

Allo stesso risultato si poteva arrivare attraverso la seguente osservazione: il sistema in questione, per le ipotesi fatte, funziona all'istante t se nell'intervallo [0,…,t] non si sono verificati guasti o, al massimo si è verificato un solo guasto. Ritenendo la probabilità di guasto di un componente distribuita *poissonianamente* per le ipotesi di costanza del rateo di guasto, si ha allora:

$$R_{sys}(t) = P(0) + P(1)$$

$$R_{sys}(t) = \frac{(\lambda t)^0}{0!} \cdot e^{-\lambda t} + \frac{(\lambda t)^1}{1!} \cdot e^{-\lambda t}$$

$$R_{sys}(t) = e^{-\lambda t} \cdot (1 + \lambda t)$$

L'espressione dell'affidabilità per un sistema ad n componenti in parallelo a funzionamento sequenziale può essere allora semplicemente ricavata come probabilità di avere al massimo n-1 guasti nell'intervallo [0,…,t], ossia

$$R_{sys}(t) = P(0) + P(1) + \cdots + P(N-1)$$

$$R_{sys}(t) = \frac{(\lambda t)^0}{0!} \cdot e^{-\lambda t} + \frac{(\lambda t)^1}{1!} \cdot e^{-\lambda t} + \cdots + + \frac{(\lambda t)^{N-1}}{(N-1)!} \cdot e^{-\lambda t}$$

$$R_{sys}(t) = e^{-\lambda t} \cdot \left(1 + \lambda t + \frac{(\lambda t)^2}{2!} + \cdots + \frac{(\lambda t)^{N-1}}{(N-1)!}\right)$$

Se il numero di componenti tende all'infinito, la serie:

$$\left(1 + \lambda t + \frac{(\lambda t)^2}{2!} + \cdots + \frac{(\lambda t)^{N-1}}{(N-1)!}\right)$$

Tende a $e^{-\lambda t}$e quindi l'affidabilità del sistema, all'aumentare del numero dei componenti,tende all'unità. Per quanto riguarda infine il valore del MTBF si ha

$$MTBF_{sys_N} = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} \cdot \left(1 + \lambda t + \frac{(\lambda t)^2}{2!} + \cdots + \frac{(\lambda t)^{N-1}}{(N-1)!}\right) dt$$

$$MTBF_{sys_N} = \left[-\frac{1}{\lambda} \cdot e^{-\lambda t} \cdot \sum_{k=0}^{N-1} \frac{(\lambda t)^k}{k!}\right]_0^{\infty} - \int_0^{\infty} \left[-\frac{1}{\lambda} \cdot e^{-\lambda t} \cdot \left(\sum_{k=0}^{N-1} \frac{(\lambda t)^k}{k!} \cdot k\lambda\right)\right] dt$$

$$MTBF_{sys_N} = \frac{1}{\lambda} - \int_0^{\infty} \left[-\frac{1}{\lambda} \cdot e^{-\lambda t} \cdot \left(\sum_{k=0}^{N-1} \frac{(\lambda t)^k}{k!} \cdot k\lambda \right) \right] dt$$

$$MTBF_{sys_N} = \frac{1}{\lambda} + \int_0^{\infty} \left[e^{-\lambda t} \cdot \left(\sum_{k=0}^{N-1} \frac{(\lambda t)^{k-1}}{(k-1)!} \right) \right] dt$$

$$MTBF_{sys_N} = \frac{1}{\lambda} + \int_0^{\infty} \left[e^{-\lambda t} \cdot \left(\frac{(\lambda t)^{-1}}{(-1)!} + \sum_{k=1}^{N-1} \frac{(\lambda t)^{k-1}}{(k-1)!} \right) \right] dt$$

$$MTBF_{sys_N} = \frac{1}{\lambda} + \int_0^{\infty} \left[e^{-\lambda t} \cdot \left(\sum_{k=0}^{N-2} \frac{(\lambda t)^k}{(k)!} \right) \right] dt$$

Ci si è quindi ricondotti all'integrale di partenza che viene nuovamente risolto per parti ottenendo il valore 1/λ ed abbassando di grado la sommatoria. In definitiva si ottiene

$$MTBF_{sys_N} = \frac{1}{\lambda} + \cdots + \frac{1}{\lambda} + \int_0^{\infty} [e^{-\lambda t}] dt = \frac{N}{\lambda}$$

Quindi ad esempio, nel caso di due componenti in parallelo a funzionamento sequenziale raddoppia, mentre si era visto che nel caso di funzionamento permanente si aveva un incremento del 50%

5.3 Analisi Di Affidabilità Del Sistema: Risultati

Per il sistema descritto abbiamo la seguente tabella dei risultati:

Analisi Affidabilità del Sistema Completo					
Descrizione	**λ_PSingolo (F/10^6hrs)**	**Quantità**	**λ_PTOTALE (F/10^6hrs)**	**MTBF (hours)**	**Incidenza (%)**
Concentratore	11,60	1	11,60	86.206,9	0,38%
Camera	232,55	4	930,20	1.075,0	30,22%
Nodo IP	5,41	100	541,00	1.848,4	17,58%
LED Driver	7,00	100	700,00	1.428,6	22,74%
Filtro di rete	0,95	100	95,00	10.526,3	3,09%
Lampada A Matrice Di LED	8,00	100	800,00	1.250,0	25,99%
		λ TOTALE =	**3077,80**		
		MTBF (R_{Total}) =	**324,91**	**Ore**	**724,54**
			13,54	**Giorni**	**30,19**
			0,48	**Mesi**	**1,08**

Analisi Affidabilità dei soli Corpi Illuminanti					
Descrizione	**λ_PSingolo (F/10^6hrs)**	**Quantità**	**λ_PTOTALE (F/10^6hrs)**	**MTBF (hours)**	**Incidenza (%)**
Nodo IP	5,41	100	541,00	1.848,4	25,33%
LED Driver	7,00	100	700,00	1.428,6	32,77%
Filtro di rete	0,95	100	95,00	10.526,3	4,45%
Lampada A Matrice Di LED	8,00	100	800,00	1.250,0	37,45%
		λ TOTALE =	**2136,00**		
		MTBF (R_{Total}) =	**468,16**	**Ore**	**1.044,01**
			19,51	**Giorni**	**43,50**
			0,70	**Mesi**	**1,55**

Analisi Affidabilità di un singolo Corpo Illuminante					
Descrizione	**λ_PSingolo (F/10^6hrs)**	**Quantità**	**λ_PTOTALE (F/10^6hrs)**	**MTBF (hours)**	**Incidenza (%)**
Nodo IP	5,41	1	5,41	184.842,9	25,33%
LED Driver	7,00	1	7,00	142.857,1	32,77%
Filtro di rete	0,95	1	0,95	1.052.631,6	4,45%
Lampada A Matrice Di LED	8,00	1	8,00	125.000,0	37,45%
		λ TOTALE =	**21,36**		
		MTBF (R_{Total}) =	**46.816,48**	**Ore**	**104.400,75**
			1.950,69	**Giorni**	**4.350,03**
			69,67	**Mesi**	**155,36**

Abbiamo affrontato l'analisi affidabilistica del sistema e, come si vedrà in seguito, abbiamo logicamente aggiunto i due sottoinsiemi ovvero i soli corpi illuminanti che, per la manutenzione, necessitano di uno

sforzo organizzativo e logistico non indifferente in quanto il loro accesso è reso difficile per via dell'altezza: questo prevede quindi l'uso di mezzi aerei (scale, cestelli, ecc.) che richiedono tempo per essere messi in giusta sicurezza prima di operare fisicamente sul copro illuminante vero e proprio. Inoltre risultano intrinsecamente costosi poiché, in generale, sono in affitto dall'ente che si occupa della manutenzione e devono essere eserciti solo da personale opportunamente qualificato e debitamente addestrato al sistema in oggetto.
La ragione di questa scelta si vedrà meglio dalle risultanze dell'analisi di disponibilità, trattati in seguito.

Quindi abbiamo diviso l'analisi in:

- Analisi del Sistema Completo
- Analisi dei soli Corpi Illuminanti
- Analisi di un singolo Corpo Illuminante

Nella prima colonna abbiamo la descrizione del componente o sottosistema in oggetto, 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'MBTF 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 del sistema considerato.

Nelle somme totali viene considerato l'MTBF in ore, giorni e mesi, ma viene affiancato ad un altro valore mediato da un *duty cycle* (D.C.) ragionevole per le nostre latitudini più ottimista ma più aderente alla realtà dei tempi crepuscolari.

Il raggruppare e considerare il corpo illuminante come un unico sottosistema deriva dal fatto che, visto i tempi lunghi e la difficoltà di accesso, è evidente che non verrà fatta in loco nessun tipo di diagnosi ma si procederà semplicemente alla sostituzione di tutto il Corpo, demandando (eventualmente) ad un secondo momento la diagnosi puntuale, qualora lo si voglia recuperare e ricondizionare per poi metterlo a novero del magazzino ricambi. L'occorrenza di guasto di un mese e mezzo circa rende assolutamente ragionevole una simile strategia.

6 Disponibilità (*Availability*) Del Sistema

6.1 Introduzione

I calcoli di affidabilità visti precedentemente sono particolarmente significativi per i componenti ed i sistemi non riparabili, ossia per quei casi in cui l'accadimento del guasto comporta la sostituzione del componente o del sistema: un caso classico di applicazione non riparabile è appunto un sistema satellitare, in quanto è posto in un environment che ne impedisce questo tipo di operazione.
Nella maggior parte dei casi impiantistici di terra però si ha a che fare con sistemi e componenti riparabili, ossia componenti sui quali, al momento del verificarsi del guasto, possono essere apportati interventi dimanutenzione atti a riportare il sistema in condizioni di buon funzionamento.
Apparecchiature e sistemi riparabili quindi nella loro vita compiono numerosi cicli; iparametri di affidabilità sono ancora calcolabili, sebbene con maggiori difficoltàmatematiche, tuttavia in questo caso assume maggiore importanza un altro parametro, nelquale confluiscono due termini, che tengono conto l'uno della frequenza dei guasti el'altro dei tempi di riparazione: questo parametro è detto disponibilità, (*Availability*).

6.2 Definizione di Disponibilità

La disponibilità è direttamente correlata con la capacità di utilizzazione degli impianti, vista sotto l'aspetto tecnico, escludendo cioè cause di fermata di natura organizzativa generale o di politica aziendale. Alla disponibilità può essere attribuito un duplicesignificato: essa infatti da una parte rappresenta la percentuale di tempo di buonfunzionamento del sistema produttivo, calcolata su un lungo periodo di tempo; essa èquindi espressa dal rapporto tra il tempo produttivo lordo e il tempo di utilizzo netto.

$$A = \frac{T_{UN} - T_{gm}}{T_{UN}} = \frac{T_{PL}}{T_{UN}}$$

Dall'altra parte può essere interpretata come probabilità, e precisamente come la probabilità che, in un istante di tempo generico il sistema (riparabile) sia funzionante. Tale probabilità è in generale funzione del tempo trascorso a partire dal momento in cui il sistema è "nuovo"; il calcolo di tale funzione è possibile anche se complicato analiticamente.

6.2.1 Disponibilità a regime

In genere è però sufficiente riferirsi ad un valore "a regime" cioè quando è trascorso un certo tempo dall'istante iniziale della vita. In questo caso il valore della disponibilità è costante nel tempo ed ha lo stesso

valore del rapporto percentuale del tempo difunzionamento rispetto al tempo globale. In termini analitici la disponibilità è quindi datada:

$$A = \frac{UT}{UT + DT}$$

ove:

- UT (up-time) rappresenta il tempo in cui il sistema è realmente disponibile per il funzionamento, cioè il tempo in cui il sistema potrebbe essere in esercizio, (indipendentemente dal fatto che si decida di farlo funzionare o meno), somma dei tempi di effettivo funzionamento e dei tempi di attesa;
- DT (down-time) rappresenta il tempo di fuori servizio imputabile a cause tecniche, quali guasti e manutenzioni, in cui quindi non vengono conteggiate le fermate per politiche organizzative del lavoro. Il tempo di fuori servizio DT di un impianto dovuto ai guasti è la risultante di numerosi fattori concorrenti, come riportato in Figura 24.

6.3 Composizione del Down Time

In una prima classificazione, è possibile suddividere il tempo di fuori servizio imputabile a cause tecniche distinguendo tempi di manutenzione preventiva ed i tempi per manutenzione in seguito a guasto. In particolare, mentre nel caso di manutenzione preventiva non è possibile identificare dei tempi standard di riferimento, dal momento che le operazioni di manutenzione preventiva dipendono fortemente dall'impianto considerato; nel caso di manutenzione in seguito a guasto invece è possibile identificare una serie di tempi componenti, la cui somma fornisce il valore complessivo del tempo di fermata in seguito a guasto. Questi tempi sono:

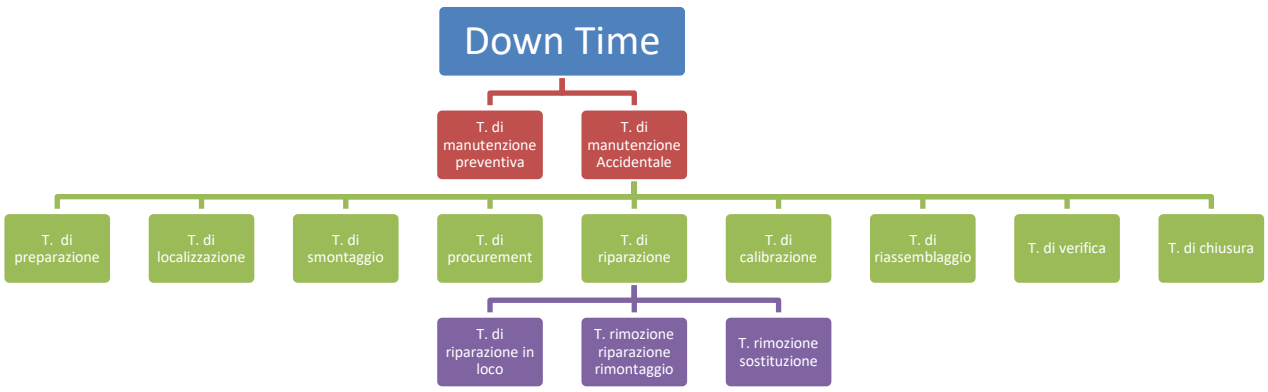


Figura21- Composizione del Down time

- **Il tempo di preparazione**: tempo di manutenzione necessario perottenere le apparecchiature, gli strumenti per i controlli, i manuali dimanutenzione e per la fornitura degli strumenti necessari per iniziare l'operazione dilocalizzazione del guasto.
- **Il tempo di localizzazione**: tempo durante il quale il guasto deveessere individuato; si fanno test ed analisi sulla macchina, al fine di isolare la causadel guasto.
- **Il tempo di smontaggio:** tempo necessario per accedere alle parti guaste e decidere il da farsi (riparazione o sostituzione).
- **Il tempo di procurement**: parte di tempo di manutenzione durante il quale i pezzi di ricambio per i componenti da sostituire sono ordinati al magazzino, e da questo vengono forniti.
- **Il tempo di riparazione**: parte di tempo di manutenzione durante il quale larottura è riparata o mediante riparazione in loco, oppure con rimozione, riparazionenon in loco e ricollocazione, oppure ancora mediante rimozione e sostituzione conpezzo di ricambio.
- **Il tempo di aggiustaggio e calibrazione**: parte del tempo di manutenzionedurante il quale vengono effettuate le operazioni di aggiustaggio e calibrazione delcomponente riparato.
- **Il tempo di riassemblaggio** è quello necessario per rimontare la macchina.
- **Il tempo di verifica:** parte del tempo di manutenzione durante il quale ci siaccerta che l'apparecchiatura riparata funzioni correttamente.
- **Il tempo di pulizia e chiusura**è quella parte di tempo di manutenzione necessario ariassegnare la macchina all'esercizio, in cui cioè la squadra di manutenzione allontanamateriali estranei, compie operazioni di pulizia, ecc.

Ovviamente esistono numerosi fattori che influenzano la durata totale della riparazione: alcuni sono fattori di progetto, altri di natura organizzativa, altri connessi alla pratica operativa.

Tra i fattori di progetto si possono elencare:

- la complessità del macchinario;
- la configurazione dei componenti;
- il peso dei componenti;
- la modularizzazione dei componenti;
- la miniaturizzazione dei componenti;
- la visibilità dei componenti;
- l’accessibilità dei componenti;

- la standardizzazione dei componenti;
- l'intercambiabilità dei componenti;
- la facilità di smontaggio dei componenti;
- la facilità di rimontaggio dei componenti.

Tra i fattori di natura organizzativa:

- l'addestramento della manodopera;
- la direzione della manodopera;
- la disponibilità (dimensionamento) delle squadre;
- l'efficienza del magazzino ricambi;
- la logistica degli impianti e dei servizi ed il grado di decentramento del servizio manutenzione;
- la disponibilità di documentazione (schede macchina, disegni ecc.).

Tra i fattori operativi infine si possono citare:

- l'abilita della manodopera;
- gli attrezzi in dotazione;
- gli strumenti di misura in dotazione;
- le procedure per la preparazione del lavoro o per interventi di emergenza.

Nel caso più generale quindi, il tempo di fuori servizio di un sistema in un certo periodo risulta dalla somma del tempo dovuto agli interventi di manutenzione, preventiva o periodica, e del tempo dovuto alle operazioni di manutenzione accidentale.

Se allora si indica con:

N_g il numero delle operazioni di manutenzione accidentale nel periodo esaminato.

N_p il numero delle operazioni di manutenzione preventiva, nello stesso periodo.

$MTTR_g$ il tempo medio di riparazione correttiva.

$MTTR_p$ il tempo medio per le operazioni di manutenzione preventiva.

Il tempo totale di fermata è dato allora da:

$$MTTR_g \cdot N_g + MTTR_p \cdot N_p$$

I tempi di riparazione in seguito a guasto sulla stessa apparecchiatura presentano una grande variabilità in relazione alle componenti appena elencate che intervengono. Si parlerà quindi, come per i tempi di guasto, di una distribuzione di probabilità dei tempi di riparazione t_r.

La funzione di densità di probabilità che più generalmente viene usata per la descrizione del fenomeno, è di tipo lognormale. L'utilizzo di tale distribuzione non ha alcun fondamento teorico, ma si vede come nella maggior parte dei casi permetta di ben fittare l'andamento dei tempi di riparazione rilevato sperimentalmente.
La funzione di densità di probabilità dei tempi di riparazione viene espressa dalla seguente relazione:

$$f(t_r) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma \cdot t_r} \cdot e^{-\frac{(\ln t_r - m)^2}{2 \cdot \sigma^2}}$$

Dove m è la media dei logaritmi dei tempi di riparazione:

$$m = \frac{\sum_i \ln t_{ri}}{N}.$$

e la relativa varianza è:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_i (\ln t_{ri} - m)^2}{N - 1}.$$

6.4 Analisi Di Disponibilità Del Sistema: Risultati

Per il sistema descritto abbiamo la seguente tabella dei risultati:

Attività	tempi (hrs)
Preparazione	0,1
Localizzazione	0,05
Smontaggio	0,05
Procurement	0
Riparazione	0
Aggiustaggio e Calibrazione	0,05
Riassemblaggio	0,05
Verifica	0,1

Pulizia e Chiusura	0,2

Come accennato nel capitolo precedente, il tempo di accesso (manutenzione completa) della singola parte dei corpi illuminanti o del corpo intero è sempre lo stesso quindi, per non aggravare la manutenzione del tempo di diagnostica, si è optato direttamente per la sostituzione completa del corpo illuminante.

Questo ci dà una disponibilità del sistema completo pari a:

$$A_{Sistema\ Completo} = 0{,}999173$$

Mentre la disponibilità del singolo corpo illuminante è:

$$A_{Corpo\ Illuminante\ Singolo} = 0{,}999426$$

8 Analisi dei Guasti e di Criticità (FMECA)

8.1 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.

8.2 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 apposita;

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 *failure*, 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 ridondato.

8.3 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 *a latere*.

Seguono le tabelle di FMECA

8.4 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 e li ritrasmette tramite 3G					
1.1	Filtro d'ingresso	Filtra la rete ed elimina il *ripple*					
1.1.1			Degradazione lieve delle prestazioni	Alimentazione talvolta affetta da rumore	Nessuno	**4**	
1.1.2			Degradazione grave delle prestazioni	Alimentazione rumorosa	Controllo periodico dell'apparato	**3**	
1.1.3			Guasto grave (O/C)	Concentratore spento. Impossibilità di accedere ai singoli nodi	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
1.1.4			Guasto grave (S/C)	Concentratore spento e sicurezze di linea elettrica ingaggiate. Impossibilità di accedere ai singoli nodi	Nessuno	**1**	Il guasto si potrebbe diffondere sulla linea anche alle unità adiacenti
1.2	Alimentazione AC/DC	Fornisce alimentazione al concentratore tramite conversione dall'alternata alla continua					
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. Sicurezze di linea elettrica ingaggiate. Impossibilità di accedere ai singoli nodi	Nessuno	**1**	Il guasto si potrebbe diffondere sulla linea anche alle unità adiacenti

Sistema: Smart Street							
n°	Item/ Sub-item	Descrizione e funzionamento	Modalità di Guasto	Sintomi Osservabili	Metodi di Prevenzione o Compensazione	Criticità	Raccomandazioni e commenti
1.2.3			Guasto grave (o/c)	Concentratore spento. Impossibilità di accedere ai singoli nodi	Nessuno	**2**	
1.3	Sistema di misura di consumo	Dà la misura dell'assorbimento istantaneo					
1.3.1			Degradazione delle prestazioni	Misure di consumo non corrette	Controllo periodico delsistema di misura	**4**	
1.3.2				Misure di consumo discontinue	Controllo periodico dell'apparato	**3**	
1.3.3			Guasto grave	Il concentratore non fornisce le misure di consumo	Nessuno	**2**	Perdita della funzionalità
1.4	Modem PLC	Interfaccia con l'unità PLC					
1.4.1			Degradazione delle prestazioni	Misure di consumo non corrette	Controllo periodico dell'unità PLC	**4**	
1.4.2				Collegamento col concentratore discontinuo	Nessuno	**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
1.4.3			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 (autocheck)	**4**	
1.5.2				Funzionamento discontinuo	Nessuno	**3**	
1.5.3			Guasto grave	Concentratore spento. Impossibilità di accedere ai singoli nodi	Nessuno	**2**	
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 associato al dato	Nessuno	**4**	
1.6.2			Guasto grave	Perdita del riferimento temporale.	Nessuno	**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
1.6.3				Se in modo automatico, causa la failure del sistema		**2**	
1.6.4	Orologio in tempo reale: Batteria		Tensione della batteria sotto il livello minimo di soglia	Perdita del riferimento temporale.	Nessuno	**3**	Controllare periodicamente la carica (tensione) della batteria. Schedulare sostituzione periodica
1.6.5				Se in modo automatico, causa la failure del sistema		**2**	Controllare periodicamente la carica (tensione) della batteria. Schedulare sostituzione periodica
1.7	Memoria SDRAM	Storage dei dati di funzionamento					
1.7.1			Discontinuità in scrittura	Perdita parziale dei dati di funzionamento	La memoria SDRAM non ritiene alcuni dati	**4**	Schedulare sostituzione periodica
1.7.2			Guasto grave	Perdita dei dati di funzionamento	La memoria SDRAM non ritiene i dati	**3**	Schedulare sostituzione periodica
1.8	Memoria Flash	Storage dei dati di funzionamento					
1.8.1			Discontinuità in scrittura	Perdita parziale dei dati di funzionamento	La memoria Flash non ritiene alcuni dati	**4**	Schedulare sostituzione periodica

Sistema: Smart Street							
n°	Item/ Sub-item	Descrizione e funzionamento	Modalità di Guasto	Sintomi Osservabili	Metodi di Prevenzione o Compensazione	Criticità	Raccomandazioni e commenti
1.8.2			Guasto grave	Perdita dei dati di funzionamento	La memoria Flash non ritiene i dati	**3**	Schedulare sostituzione periodica
1.9	Memoria su SD card	Storage dei dati di funzionamento					
1.9.1			Discontinuità in scrittura	Perdita parziale dei dati di funzionamento	La memoria SD card non ritiene alcuni dati	**4**	Schedulare sostituzione periodica
1.9.2			Guasto grave	Perdita dei dati di funzionamento	La memoria SD card non ritiene i dati	**3**	Schedulare sostituzione periodica
1.10	Collegamento 3G/4G	Collegamento il locale tra PC e il concentratore					
1.10.1			Guasto grave	Perdita della capacità di connessione in locale col concentratore	Impossibilità di connessione in locale col concentratore	**2**	
1.11	I/F collegamento Wi-Fi	Collegamento il locale tra PC e il concentratore					
1.11.1			Guasto grave	Perdita della capacità di connessione in locale col concentratore	Impossibilità di connessione in locale col concentratore	**2**	
1.12	RS-485	NON USATA					
1.13	RJ-45 I/F Ethernet	Connessione 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
1.13.1			Guasto grave	Impossibile accedere in remoto alle funzionalità di programmazione		**3**	
2	Nodo IP NX-92 (Corpo illuminante con telecameraSmartEye [x4])						
2.1	Processore digitale	Gestione delle funzionalità dell'apparato					
2.1.1			Degradazione lieve delle prestazioni	Rilevazione di anomalie	Controllo periodico dell'apparato	**5**	
2.1.3			Degradazione grave delle prestazioni	Funzionamento discontinuo	Nessuno	**4**	
2.1.3			Guasto grave	Nodo spento Nessuna informazione dalla telecamera	Nessuno	**3**	
2.2	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
2.2.1			Degradazione delle prestazioni	Collegamento col l'I/F a bassa tensione discontinuo Flusso dati discontinuo	Nessuno	**3**	
2.2.2			Guasto grave	Collegamento col l'I/F a bassa tensione interrotto Flusso dati assente Nessuna informazione dalla telecamera		**2**	
2.3	Interfaccia Bassa tensione	Interfaccia dati					
2.3.1			Degradazione delle prestazioni	Collegamento col DAC a bassa tensione discontinuo Flusso dati discontinuo	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
2.3.2			Guasto grave	Collegamento col DAC a bassa tensione interrotto. Flusso dati assente. Nessuna informazione dalla telecamera	Nessuno	**2**	
2.4	AFE	Advanced front-end					
2.4.1			Degradazione delle prestazioni	Collegamento discontinuo col l'unità PLC	Controllo periodico dell'apparato	**5**	
2.4.2			Guasto grave	Collegamento assente col l'unità PLC	Nessuno	**4**	
2.5	Filtro Linea Elettrica	Filtra la rete ed elimina il ripple					
2.5.1			Degradazione delle prestazioni	Alimentazione rumorosa	Controllo periodico dell'apparato	**3**	
2.5.2			Guasto grave	Nodo spento Nessuna informazione dalla telecamera	Nessuno	**2**	
2.6	Relay Uscita	Controllo e sezionamento linea in uscita					

Sistema: Smart Street							
n°	Item/ Sub-item	Descrizione e funzionamento	Modalità di Guasto	Sintomi Osservabili	Metodi di Prevenzione o Compensazione	Criticità	Raccomandazioni e commenti
2.6.1			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
2.6.2			Relè bloccato in posizione intermedia	Impossibile attivare la linea elettrica malgrado sia inviato il comando Nessuna informazione dalla telecamera	Nessuno	**2**	
2.6.3			Relè bloccato in posizione chiusa	Impossibile disattivare la linea elettrica malgrado sia inviato il comando	Nessuno	**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
2.6.4			Relè bloccato in posizione Aperta	Impossibile attivare la linea elettrica malgrado sia inviato il comando Nessuna informazione dalla telecamera	Nessuno	**2**	
2.7	Alimentazione AC/DC 12 V	Primo stadio alimentazione apparato,fornisce anche l'alimentazione DC/DC 5, 3.3, 1.5 V"					
2.7.1			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
2.7.2			Guasto grave	Nodo spento Nessuna informazione dalla telecamera	Nessuno	**2**	Perdita della funzionalità
2.8	Alimentazione DC/DC 5, 3.3, 1.5 V	Secondo stadio alimentazione apparato					

Sistema: Smart Street							
n°	Item/ Sub-item	Descrizione e funzionamento	Modalità di Guasto	Sintomi Osservabili	Metodi di Prevenzione o Compensazione	Criticità	Raccomandazioni e commenti
2.8.1			Degradazione delle prestazioni	Malfunzionamenti casuali dell'apparato	Controllo periodico dell'apparato	**3**	Sostituire quando le prestazioni divengono marginali
2.8.1			Guasto grave	Nodo spento Nessuna informazione dalla telecamera	Nessuno	**2**	Perdita della funzionalità
2.9	Sistema di misura di consumo	Dà la misura dell'assorbimento istantaneo					
2.9.1			Degradazione delle prestazioni	Funzionamento discontinuo	Controllo periodico dell'apparato	**5**	Sostituire quando le prestazioni divengono marginali
2.9.2			Guasto grave	Il nodo non fornisce le misure di consumo	Nessuno	**4**	Perdita della funzionalità
2.10	Orologio in tempo reale	Fornisce il tag temporale dei dati e la base dei tempi del sistema					
2.10.1			Degradazione delle prestazioni	Perdita del tag temporale del dato	Nessuno	**4**	
2.10.2			Guasto grave	Perdita del riferimento temporale. Del nodo	Nessuno	**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
2.11	Memoria SDRAM	Storage dei dati di funzionamento					
2.11.1			Guasto grave	Perdita dei dati di funzionamento	Nessuno	**4**	
2.12	Memoria Flash	Storage dei dati di funzionamento					
2.12.2			Guasto grave	Perdita dei dati di funzionamento	Nessuno	**4**	
3	Nodo IP NX-92						
3.1	Processore digitale	Gestione delle funzionalità dell'apparato					
3.1.1			Degradazione lieve delle prestazioni	Rilevazione di anomalie	Controllo periodico dell'apparato	**5**	
3.1.3			Degradazione grave delle prestazioni	Funzionamento discontinuo	Nessuno	**4**	
3.1.3			Guasto grave	Nodo spento	Nessuno	**3**	
3.2	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
3.2.1			Degradazione delle prestazioni	Collegamento col l'I/F a bassa tensione discontinuo Flusso dati discontinuo	Nessuno	**3**	
3.2.2			Guasto grave	Collegamento col l'I/F a bassa tensione interrotto Flusso dati assente		**2**	Perdita della funzionalità
3.3	Interfaccia Bassa tensione	Interfaccia dati					
3.3.1			Degradazione delle prestazioni	Collegamento col DAC a bassa tensione discontinuo Flusso dati discontinuo	Controllo periodico dell'apparato	**3**	
3.3.2			Guasto grave	Collegamento col DAC a bassa tensione interrotto Flusso dati assente	Nessuno	**2**	Perdita della funzionalità
3.4	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
3.4.1			Degradazione delle prestazioni	Collegamento discontinuo col l'unità PLC	Controllo periodico dell'apparato	**5**	
3.4.2			Guasto grave	Collegamento assente col l'unità PLC	Nessuno	**4**	
3.5	Filtro Linea Elettrica	Filtra la rete ed elimina il ripple					
3.5.1			Degradazione delle prestazioni	Alimentazione rumorosa	Controllo periodico dell'apparato	**3**	
3.5.2			Guasto grave	Nodo spento	Nessuno	**2**	
3.6	Relay Uscita	Controllo e sezionamento linea in uscita					
3.6.1			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
3.6.2			Relè bloccato in posizione intermedia	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
3.6.3			Relè bloccato in posizione chiusa	Impossibile disattivare la linea elettrica malgrado sia inviato il comando	Nessuno	**3**	
3.6.4			Relè bloccato in posizione Aperta	Impossibile attivare la linea elettrica malgrado sia inviato il comando	Nessuno	**2**	
3.7	Alimentazione AC/DC 12 V	Primo stadio alimentazione apparato, fornisce anche l'alimentazione DC/DC 5, 3.3, 1.5 V"					
3.7.1			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
3.7.2			Guasto grave	Nodo spento	Nessuno	**2**	
3.8	Alimentazione DC/DC 5, 3.3, 1.5 V	Secondo stadio alimentazione apparato					

Sistema: Smart Street							
n°	Item/ Sub-item	Descrizione e funzionamento	Modalità di Guasto	Sintomi Osservabili	Metodi di Prevenzione o Compensazione	Criticità	Raccomandazioni e commenti
3.8.1			Degradazione delle prestazioni	Malfunzionamenti casuali dell'apparato	Controllo periodico dell'apparato	**3**	Sostituire quando le prestazioni divengono marginali
3.8.2			Guasto grave	Nodo spento	Nessuno	**2**	Perdita della funzionalità
3.9	Sistema di misura di consumo	Dà la misura dell'assorbimento istantaneo					
3.9.1			Degradazione delle prestazioni	Funzionamento discontinuo	Controllo periodico dell'apparato	**4**	
3.9.2			Guasto grave	Il nodo non fornisce le misure di consumo	Nessuno	**3**	
3.10	Orologio in tempo reale	Fornisce il tag temporale dei dati e la base dei tempi del sistema					
3.10.1			Degradazione delle prestazioni	Perdita del tag temporale del dato	Nessuno	**4**	
3.10.2			Guasto grave	Perdita del riferimento temporale. Del nodo	Nessuno	**3**	
3.11	Memoria SDRAM	Storage dei dati di funzionamento					
3.11.1			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
3.12	Memoria Flash	Storage dei dati di funzionamento					
3.12.1			Guasto grave	Perdita dei dati di funzionamento	Nessuno	**4**	
4	Philips Xanthium LED Driver	Regola l'alimentazione e il dimming della lampada a LED					
4.1			Degradazione lieve delle prestazioni	Impossibile controllare il dimmer	Nessuno	**5**	Sostituire
4.2			Degradazione grave delle prestazioni	Lampada mostra bassa intensità	Nessuno	**4**	Sostituire
4.3			Guasto grave	Lampada spenta	Nessuno	**3**	
5	LED Matrix Lamp						
5.1			Degradazione lieve delle prestazioni	Un numero basso di LED sono spenti	Nessuno	**5**	Sostituire quando le prestazioni divengono marginali
5.2			Degradazione grave delle prestazioni	Un numero elevato di LED sono spenti	Nessuno	**4**	Sostituire
5.3			Guasto grave	Lampada spenta	Nessuno	**3**	
6	Filtro di rete	Filtra la rete ed elimina il ripple					

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			Degradazione lieve delle prestazioni	Alimentazione rumorosa	Nessuno	**5**	Sostituire quando le prestazioni divengono marginali
6.2			Degradazione grave delle prestazioni	Alimentazione rumorosa	Nessuno	**4**	Sostituire
6.3			Guasto grave	Lampada spenta	Nessuno	**3**	
7	Camera	Sovrintende al controllo attivo del sistema					
7.1			Degradazione delle prestazioni	Funzionamento discontinuo, degradazione della qualità dell'immagine	Controllo periodico dell'apparato	**4**	Sostituire quando le prestazioni divengono marginali
7.2			Guasto grave	Il nodo non fornisce le misure ditraffico	Nessuno	**3**	Perdita della funzionalità

8.5 Failure Analysis: Risultati

Sono riportate di seguito le uniche occorrenze di guasto con criticità di livello “1” che comportano guasto grave:

Sistema: Smart Street – Criticità livello “1”							
n°	Item/ Sub-item	Descrizione e funzionamento	Modalità di Guasto	Sintomi Osservabili	Metodi di Prevenzione o Compensazione	Criticità	Raccomandazioni e commenti
1.1.4	Concentratore		Guasto grave (S/C)	Concentratore spento e sicurezze di linea elettrica ingaggiate. Impossibilità di accedere ai singoli nodi	Nessuno	**1**	Il guasto si potrebbe diffondere sulla linea anche alle unità adiacenti
1.2.2	Concentratore		Guasto grave (s/c)	Concentratore spento. Il guasto si propaga anche alle altre parti del concentratore. Sicurezze di linea elettrica ingaggiate. Impossibilità di accedere ai singoli nodi	Nessuno	**1**	Il guasto si potrebbe diffondere sulla linea anche alle unità adiacenti

Entrambe interessano il concentratore ed entrambe portano ad una possibile diffusione del guasto.

9 Conclusioni

È stata effettuata l'Analisi di Supporto Logistico (LSA) di una linea di illuminazione "smart" stradale pubblica già operativa nel contesto urbano di Potenza mettendo a frutto i dati ed i risultati di un progetto operante in un environment reale.

Si noti bene che nessuna parte del sistema è ridondata benché sia doveroso dire che il sistema in sé è abbastanza resiliente, poco "damage sensitive": infatti, non solo può sopportare l'abbassamento dell'intensità luminosa, ma addirittura la perdita di funzionamento di più di un LED o perfino di un lampione intero è sopportata senza arrivare ad un minimo critico di luminosità. Ovviamente nel calcolo dell'affidabilità non ne è stato tenuto conto.

9.1 Affidabilità

A rigore non si potrebbe considerare il sistema delle paline come un sistema di affidabilità in parallelo in quanto ai singoli pali, pur essendo tutti rigorosamente uguali (tranne quelli con la cameraSmartEye) 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 $MTBF_{TOTsys}$del sistema completo pari a 724 ore il che equivale a poco più di un mese di funzionamento ininterrotto (con il corpo illuminante attivo 10 ore al giorno – *duty cycle*). Se si escludono dal computo il concentratore e le telecamere arriviamo ad un $MTBF_{TOTparziale}$ pari a 1045 ore che equivale ad un mese e mezzo abbondante. Per il singolo corpo illuminante abbiamo un $MTBF_{TOTcorpoilluminante}$ pari a 140.400 ore equivalenti a 155 mesi.

9.2 Disponibilità

Il tempo di accesso (manutenzione completa) della singola parte dei corpi illuminanti o del copro intero è sempre lo stesso quindi, per non aggravare la manutenzione del tempo di diagnostica, si è optato direttamente per la sostituzione completa del corpo illuminante.
Questo ci dà una disponibilità del sistema completo pari a:

$$A_{Sistema\ Completo} = 0{,}999173$$

Mentre la disponibilità del singolo corpo illuminante è:

$$A_{Corpo\ Illuminante\ Singolo} = 0{,}999426$$

9.3 FMECA

Il componente più critico è 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.

Il Led Driver che, da solo fornisce poco meno del 33% di tutti i FIT il corpo illuminante risultando il più soggetto a guasto e quindi il candidato più probabile ad un'opportuna scorta di magazzino ove si pensi di riparare in laboratorio, a tempo differito, i corpi illuminanti non funzionanti che sono stati rimossi in sede di manutenzione.

Per quanto riguarda la telecamera, l'analisi effettuata restituisce un valore di $MTBF_{CAMERA}$ pari a 1.375 ore equivalenti a circa un mese e mezzo di funzionamento ininterrotto. Questo valore apparentemente molto conservativo è stato mediato dai valori di affidabilità di "ritorno dal campo".

10 Riferimenti Bibliografici

10.1 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
AD03	MIL-HDBK-217	F2	Reliability Prediction of Electronic Equipment

10.2 Documenti Di Riferimento

#	Numero Documento	Rev.	Titolo
RD01	MIL-STD-1629	A	Procedures For Performing A Failure Mode, Effects, And Criticality Analysis
RD02	AD-A179 008	15/03/1985	Logistic Support Analysis Techniques Guide
RD03	Siemens White Paper	N/A	LSAR – The missing link for performance-based logistics
RD04	S3000L-B6865-03000-00	1.0	International Procedure specification for Logistic Support Analysis
RD05	ECSS–Q–30–02 ESA	1998	ESA: Failure Modes, Effects and Criticality Analysis (FMECA)
RD06	JPL. PD–AD–130 NASA	13/02201	Failure Modes, Effects, and Criticality Analysis (FMECA)
RD07	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)

10.3 Bibliografia

[1] F. Marino, F. Leccese, S. Pizzuti, "Adaptive Street Lighting Predictive Control", Energy Procedia, Volume 111, 2017, Pages 790-799, ISSN 1876-6102

[2] S. Pizzuti, M. Annunziato, F. Bucci, F. Moretti, “Illuminazione pubblica adattiva: modellistica dei sistemi intelligenti”, Report RdS/2011/324

[3] M. Annunziato, F. Bucci, C. Meloni, F. Moretti, S. Pizzuti “Sviluppo sistemi intelligenti per la gestione della Smart Street”, Report RdS/2011/198

[4] M. Annunziato, P. Clerici Maestosi. S. Pizzuti, "Città sostenibili e smart cities: partecipazione a network nazionali ed internazionali", Report RdS/2012/284

[5] M. Annunziato, C. Honorati Consonni, F. De Lia, S. Fumagalli, G. Giuliani, N. Gozo, G.Leonardi, C. Meloni, D. Santino, A. Scognamiglio, V. Albonico, G.Bianchi, F. Bucci, F. Peverelli, G. Secco, N. Sperotto, C. Birtolo, E. Corti, R. Lanciano, S.Mascia, C. Ferrari, A. Pascucci , G. Maraviglia, C. Banchetti, S. Conti, S. Aprea, B. Rizzuti, M.R. Longo, R. Clementoni, A. Rocchi, V. Menghini , M.R. Nuzzo, A. Pizzuti, C. Antonaci, A. Battistini, L. Cellucci, L. Monti, F. Gugliermetti, F. Bisegna, A. Di Gregorio, R. Chierici, C. Gallerini, V. Vangelista, P. Giannarelli, G. Belardi, F. Ciabatti, D.Poli, L. Perni, "LINEE GUIDA: I fondamentali per una gestione efficiente degli impianti di pubblica illuminazione", Report RdS/2012/278 Rev.1

[6] S. Aman, Y. Simmhan, V. K. Prasanna, University of Southern California, "Energy Management Systems: State of the Art and Emerging Trends", rivista IEEE Communications Magazine – (s.l.) IEEE, January 2013 -1: vol 51, pp: 114-119

[7] L.Liu, Y. liu, L. Wang, A.Zomaya, S.Hu, "Economical and Balanced Energy Usage in the Smart Home Infrastructure: A Tutorial and New Results", IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing (Volume:3, Issue: 4) pp: 556 – 570.

[8] A framework for Cloud-based Smart Home, rivistaComputer Science and Network Technology (ICCSNT), 2011 International Conference on (Volume:2) Date of Conference: 24-26 Dec. 2011,pp: 894 - 897

[9] www.rse-web.it. D. Moneta, G. Mauri, L. Ferrarini, S. Radaelli "Analisi e progettazione di un sistema integrato di gestione dell'energia per applicazioni domotiche".

[10] IEC 62746-2 TR : Systems interface between customer energy management system and the power management system –Part 2: Use cases and requirements

[11] www.energy-home.it-Energy@home Use Cases-v3.

[12] www.gse.it – Rapporto statistico – Energia da fonti rinnovabili – Anno 2014;Direttiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 25/10/2012 sull'efficienza energetica, che modifica le direttive 2009/125/CE e 2010/30/UE e abroga le direttive 2004/8/CE e 2006/32/CE.

[13] L. Anthopoulos, P. Fitsilis, "Understanding Smart City Business Models: A comparison", 16th International Conference on Advanced Communications Technology (ICACT2014), IEEE, 2014.

[14] C. T. Barba, M. Á. Mateos, P. R. Soto, A. M. Mezher and M. A. Igartua, "Smart city for VANETs using warning messages, traffic statistics and intelligent traffic lights," 2012 IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Alcala de Henares, 2012, pp. 902-907.

[15] J. Bélissent, "Getting Clever About Smart Cities: New Opportunities Require New Business Model", Forrester Research, Inc., November 2, 2010

[16] M. Castro, A. J. Jara and A. F. G. Skarmeta, "Smart Lighting Solutions for Smart Cities", 27th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops, Barcelona, 2013, pp. 1374-1379.

[17] X. Chen, E. Santos-Neto, M. Ripeau, "Crousourcing for on-street smart parking", Energy Procedia, Volume 111, 2017, Pages 790-799.

[18] CRIET and ENEA, "Rapporto di ricerca per l'identificazione e valutazione di business models implementabili negli interventi di riqualificazione degli impianti di illuminazione pubblica", Report RdS/PAR2015/003

[19] R. Díaz-Díaz, L. Muñoz, D. Pérez-González, "Business model analysis of public services operating in the smart city ecosystem: The case of SmartSantander", Future Generation Computer Systems, Volume 76, 2017, Pages 198-214.

[20] S. Djahel, R. Doolan, G. M. Muntean and J. Murphy, "A Communications-Oriented Perspective on Traffic Management Systems for Smart Cities: Challenges and Innovative Approaches," in IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 17, no. 1, pp. 125-151, Firstquarter 2015

[21] P. Elejoste, I. Angulo, A. Perallos, A. Chertudi, I.J.G. Zuazola, A. Moreno, L. Azpilicueta, J.J. Astrain, F. Falcone and J. Villadangos, "An Easy to Deploy Street Light Control System Based on Wireless Communication and LED Technology", Sensors. 2013; 13(5):6492-6523.

[22] G. S. Khekare and A. V. Sakhare, "A smart city framework for intelligent traffic system using VANET," 2013 International Mutli-Conference on Automation, Computing, Communication, Control and Compressed Sensing (iMac4s), Kottayam, 2013, pp. 302-305.

[23] V. Kostakos, T. Ojala and T. Juntunen, "Traffic in the Smart City: Exploring City-Wide Sensing for Traffic Control Center Augmentation," in IEEE Internet Computing, vol. 17, no. 6, pp. 22-29, Nov.-Dec. 2013.

[24] M.G. Messina, G. Valenti, F. Carapellucci, G. Fusco, C. Colombaroni, A. Gemma, G. Ciccarelli, S. Lo Sardo, "Sistema di monitoraggio e previsione della mobilità veicolare per l'integrazione tra la rete della illuminazione pubblica e la rete della mobilità", Report RdS/2011/330

[25] F. Moretti, M. Annunziato, S. Panzieri "Sviluppo di un sistema di controllo integrato ed adattivo per l'illuminazione pubblica", Report RdS/2010/248

[26] R. Müllner and A. Riener, "An energy efficient pedestrian aware Smart Street Lighting system", International Journal of Pervasive Computing and Communications, Vol. 7 Issue: 2, 2011, pp.147-161,

[27] T. Novak, K. Pollhammer, H. Zeilinger and S. Schaat, "Intelligent streetlight management in a smart city", Proceedings of the 2014 IEEE Emerging Technology and Factory Automation (ETFA), Barcelona, 2014, pp. 1-8.

[28] P. Rizwan, K. Suresh and M. R. Babu, "Real-time smart traffic management system for smart cities by using Internet of Things and big data," 2016 International Conference on Emerging Technological Trends (ICETT), Kollam, 2016, pp. 1-7.

[29] G. Shahzad, H. Yang, A. W. Ahmad and C. Lee, "Energy-Efficient Intelligent Street Lighting System Using Traffic-Adaptive Control", in IEEE Sensors Journal, vol. 16, no. 13, pp. 5397-5405, July1, 2016.

[30] UNI 11248:2016 “Illuminazione stradale - Selezione delle categorie illuminotecniche”

[31] N. Walravens and P. Ballon, "Platform business models for smart cities: from control and value to governance and public value," in IEEE Communications Magazine, vol. 51, no. 6, pp. 72-79, June 2013.

[32] N. Walravens, "Qualitative indicators for smart city business models: The case of mobile services and applications, Telecommunications Policy", Volume 39, Issue 3, 2015, Pages 218-240.

[33] A. Zanella, N. Bui, A. Castellani, L. Vangelista and M. Zorzi, "Internet of Things for Smart Cities," in IEEE Internet of Things Journal, vol. 1, no. 1, pp. 22-32, Feb. 2014.

11 Glossario

Termine	Definizione
Analisi di Malfunzionamento (malfunctionanalysis)	L'analisi di Malfunzionamento mira a definire le azioni da intraprendere in caso di guasto. Può coprire due tipi di azioni correttive: • azioni che devono essere intraprese dal personale operativo quando si verifica un guasto durante il funzionamento • azioni da intraprendere come parte della manutenzione correttiva Solo il secondo tipo di azioni rientra nell'ambito di questa definizione.
Analisi funzionale (functionalityanalysis)	Analisi funzionale descrive le funzioni eseguite dal prodotto, sistema, sottosistema e sottosistema secondario. Ogni funzione del sistema può essere caratterizzata da flussi o parametri: gli output forniti dalla caratterizzazione giustificano l'inclusione degli elementi nel design. I risultati dell'analisi funzionale vengono utilizzati per identificare l'impatto del guasto di un componente o unità su altre funzioni associate. I risultati indicano anche le azioni correttive necessarie per prevenire il guasto e assicurarne la continuità e / o il ripristino dei componenti destinati alla funzionalità.
Apparato specifico di test (specific test equipment)	Ogni volta che BIT non è in grado di rilevare o localizzare guasti, è possibile richiedere alcune apparecchiature di prova specifiche. Questa apparecchiatura di prova specifica può includere: • misure esterne o elementi di test • mezzi esterni utilizzati per simulare una funzione del sistema
Availability (Disponibilità)	La disponibilità (Availability) è la misura del grado in cui un oggetto è in uno stato operativo e pronto all'uso o all'inizio di una missione oppure quando la missione è richiesta in un momento sconosciuto. Questo è talvolta chiamato prontezza operativa.
catena di approvvigionamento (supplychain)	Una catena di approvvigionamento è costituita da tutte le organizzazioni coinvolte, direttamente o indirettamente, nell'adempimento dei requisiti di supporto.
Commercial Off-The-Shelf (COTS)	Software o hardware (o prodotti tecnologici in generale), che sono già pronti e disponibili per la vendita, il leasing o in licenza per grande pubblico.
CustomerRequirementsDocument (CRD)	Il CRD (CustomerRequirementsDocument) contiene tutti i requisiti logistici del cliente.
Danno (failure)	Una perdita o riduzione della funzionalità, escluso il fallimento intrinseco (affidabilità intrinseca). Normalmente sarà richiesto un intervento di manutenzione. I danni possono essere raggruppati in "famiglie di danni" (ad esempio, riguardo alle strutture, i danni tipici possono essere identificati come graffi, ammaccature o crepe). Queste famiglie di danni sono tipiche candidati per una procedura di riparazione standard.

Termine	Definizione
Difetto	Qualsiasi non conformità di un articolo con i suoi requisiti specificati è un difetto. Si noti che un difetto non comporta necessariamente un errore dell'elemento.
Guasto (Failure)	Riduzione inaccettabile della funzionalità di un componente (o unità) in cui il componente (o unità) per cui non se ne può continuare l'uso. Il guasto si verifica durante l'uso corretto del componente.
Modo di Guasto	È un processo fisico, meccanico, termico o altro previsto o osservato che porta a un guasto. Il risultato di questo processo è indicato in relazione alle condizioni operative al momento dell'errore.
FMEA Failure Modes and Effects Analysis	L'analisi FMEA (Failure Modes and Effects Analysis) è una procedura per l'analisi delle potenziali modalità di guasto all'interno di un sistema per la classificazione in base alla severità o alla determinazione dell'effetto dei guasti sul sistema.
FMECA Failure Mode, Effects, and Criticality Analysis	FMECA (Failure Mode, Effects and Criticality Analysis) è un'estensione dell'analisi FMEA). Oltre al FMEA di base, include un'analisi di criticità, che viene utilizzata per tracciare la probabilità delle modalità di guasto rispetto alla gravità delle loro conseguenze. Viene calcolata la probabilità di occorrenza della modalità di guasto. La gravità delle conseguenze di questo guasto determina l'azione correttiva richiesta per correggere l'errore e restituire l'articolo al normale funzionamento.
Field Loadable Software (FLS)	Software che può essere installato su una o più apparati senza necessità di rimuovere l'apparato stesso dal luogo di installazione.
Firmware	Software che può essere caricato in una Line Replaceable Unit (LRU) o in una SRU ma richiede che il supporto venga disinstallato dalla sua installazione sul sistema e comunque richiede la sostituzione di un componente.
FFF (Fit Form and Function)	L'interfaccia fisica, i parametri fisici che caratterizzano in modo univoco o la funzione di un Prodotto / apparecchiatura rimangono invariati.
Localizzazione	Operazione di isolamento del guasto atta a trovare il componente o un gruppo di componenti che sono andati incontro ad un guasto. Questo isolamento è solitamente associato a un rilevamento del guasto.
Logistic Support Analysis (LSA)	Un approccio strutturato per aumentare l'efficienza della manutenzione e ridurre i costi di fornitura del supporto pianificando tutti gli aspetti del supporto logistico integrato.
Manutenibilità (Maintainability)	La misura della capacità di un componente di essere conservato o ripristinato in una condizione specifica, quando la manutenzione viene eseguita da personale con livelli di competenza specifici, utilizzando procedure e risorse prescritte, a ciascun livello di manutenzione prescritto.
Manutenzione preventiva (preventivemaintenance)	Attività di manutenzione atta a prevenire il verificarsi di guasti o danni critici in combinazione con aspetti di sicurezza, economici o ecologici. La manutenzione preventiva include anche attività dopo eventi speciali che non possono essere definiti.

Termine	Definizione
Manutenzione Programmata (scheduledmaintenance)	Attività di manutenzione per prevenire il verificarsi di guasti o danni critici in combinazione con aspetti di sicurezza, economici o ecologici. Queste attività di manutenzione sono definite con un intervallo o una soglia corrispondente (ad es. Dopo un certo tempo, cicli, distanza). La manutenzione programmata è un sottoinsieme della manutenzione preventiva.
Mean Time BetweenFailures	Mean Time BetweenFailures (MTBF) è il tempo previsto tra i guasti intrinseci di un sistema durante il funzionamento. L'MTBF può essere calcolato come il tempo medio (medio) aritmetico tra i guasti di un sistema. L'MTBF è tipicamente parte di un modello che presuppone che il sistema guasto sia immediatamente riparato (tempo trascorso zero) come parte di un processo. Ciò è in contrasto con il Mean Time To Failure (MTTF), che misura il tempo medio tra i guasti con l'ipotesi secondo cui il sistema guasto non viene riparato.
Reliability (Affidabilità)	La probabilità la probabilità che un componente / unità possa svolgere la sua funzione prevista per un intervallo specificato nelle condizioni indicate
Supporto logistico integrato (IntegratedLogistics Support ILS)	IntegratedLogistics Support (ILS) è un processo integrato e iterativo per lo sviluppo di una strategia di supporto che ottimizzi il supporto funzionale, sfrutti le risorse esistenti e guidi il processo di ingegneria del sistema per quantificare e ridurre i costi del ciclo di vita e ridurre l'impronta logistica (domanda per la logistica), rendendo il sistema più facile da supportare.
Testability (Testabilità)	Le prestazioni di BIT sviluppate su alcuni elementi del sistema vengono spesso valutate utilizzando termini e risultati FMEA, ma ciò non è obbligatorio, in particolare quando l'articolo è stato precedentemente sviluppato per un altro programma. Il BIT può essere caratterizzato da: • un elenco di funzioni o funzioni secondarie che vengono testate • un tasso di rilevamento che fornisce la percentuale di funzioni o articoli il cui errore è rilevato • una frequenza di localizzazione o isolamento che fornisce la percentuale di guasti rilevati associati senza ambiguità al guasto di un elemento o componente identificato ‘èìQueste analisi e la loro giustificazione sono utilizzate per analisi di malfunzionamento e per FMEA di LSA, soprattutto perché forniscono un elenco di segnalazioni di errore (da BIT) che forniscono codici di errore o qualsiasi altro messaggio che indica quale articolo o gruppo di articoli è soggetto ad errore, quindi limitare notevolmente il numero di articoli da esaminare nell'ambito della risoluzione dei problemi. Gli avvertimenti vengono inviati al personale operativo o al team di manutenzione per indicare guasti rilevati.

Termine	Definizione
troubleshooting	Il troubleshooting consiste nel localizzare unità sostituibili guaste quando il loro guasto non è banale o precedentemente rilevato con altri mezzi (ad es. test integrato)

12 Abbreviazioni ed Acronimi

AD	ApplicableDocument Accidental Damage
AOR	Annual Operating Rate
BE	Breakdown Element
BEI	Breakdown ElementIdentifier
BER	Breakdown ElementRevision
BIT	Built in Test
BITE	Built in Test Equipment
CDR	Critical Design Review
CMS	Central Management Software
COTS	Commercial Off The Shelf
CRD	CustomerRequirementsDocument
DEL	Data Element List
DLM	Depot Level Maintenance
DR	DemandResponse
DSM	Demand side Management
DSO	Distribution System Operator
EB	Energy Box
EE	Efficienza Energetica
ENEA	Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile
FC	Failure Cause
Fit	Failure in time
FFF	Fit Form and Function
FMA	Failure Mode Analysis
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis
FMECA	Failure Mode, Effects, and Criticality Analysis
FMR	Failure Mode Ratio
FTA	Fault Tree Analysis
GVI	General Visual Inspection
HMI	Human-Machine Interface
ID	InternalDocument
I/F	Interface
ILS	Integrated Logistic Support
ISO	International Standards Organization
IT	Information Technology

IUA	Item Under Analysis
LAN	Local Area Network
LED	Light EmittingDiode
LORA	Level of Repair Analysis
LRU	Line Replaceable Unit
LSA	Logistic Support Analysis
MAC	Medium Access Control
MC	MaintenanceConcept
MDT	Maintenance Down Time
MET	MeanElapsed Time
MIL-STD	Military Standard (US DoD)
ML	Maintenance Level
MRO	Maintenance, Repair&Overhaul
MTA	Maintenance Task Analysis
MTBF	Mean Time BetweenFailures
MTBM	Mean Time BetweenMaintenance
MTTR	Mean Time to Repair
N/A	NotApplicable
o/c	Open Circuit
ODFM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OEM	OriginalEquipmentManufacturer
PBS	Product Breakdown Structure
PCB	Printed Circuit Board
PDR	Preliminary Design Review
PDM	Product Data Management
PELL	Progetto Public Energy Living Lab
PHST	Packaging, Handling, Storage and Transportation
PLC	Power Line Communication
P/N PN PNR	Part Number
RD	Reference Document
s/c	Short Circuit
SHN	Smart Homes Network
SI	Structural Item
SMA	ScheduledMaintenance Analysis
SOW	Statement of Work
SNR	SIgnal Noise Ratio

SSA	Software Support Analysis
SSI	StructuralSignificant Item
SUA	System Under Analysis
SW	Software
TBC	To Be Confirmed
TBD	To Be Defined
TBI	To Be Issued
TLM	Telemetry
TSO	Trasmission System Operator – Gestore della rete
WAN	Wide Area Network
WBS	Work Breakdown Structure

Curriculum scientifico Prof. Fabio Leccese

Stato civile: coniugato dal 4 Ottobre 2009.
Nazionalità: italiana. Data di nascita: 24 Novembre 1974. Luogo di nascita: Marino (Roma).
Residenza: via Svezia n.1 00041 Albano Laziale (Roma).
Cell.: +39 3473135997 E-mail: leccese@uniroma3.it

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 consessi 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.

CURRICULUM VITAE

INFORMAZIONI PERSONALI

Nome	**ENRICO PETRITOLI**
Indirizzo	**PIAZZA DELLE FIAMME GIALLE, 8 - 00122 ROMA**
Telefono	**Mobile: (+39) 338 166 31 08**
E-mail	**e_petritoli@libero.it**
Luogo e data di nascita	**Roma, 31/08/1965**

ESPERIENZA LAVORATIVA

Periodo	2011 - Oggi
Posizione	Senior Research & Development Manager
Principali attività	- Responsabile della Qualità Aziendale - Responsabile di lavorazioni e processi - Responsabile della documentazione tecnica e della manualistica - Coordinatore delle attività tecniche della Società (interim) - Responsabile della formazione dei nuovi collaboratori (interim)
Società	*Settore: Aerospazio e Difesa*
Periodo	2004 – 2011
Posizione	QA and Radiation Manager
Principali attività	- Responsabile delle attività di QA con particolare attenzione alle attività RAMS - Responsabile della documentazione tecnica e della manualistica - Coordinatore dei test RVT di irraggiamento dei componenti. - Consulente per ELV, responsabile della *radiation analysis* e valutazione dell'*environment* radiativo del vettore VEGA. - Responsabile Hazard Analysis di Soyuz Guyana (per Vitrociset) - Team Manager per lo sviluppo e coordinazione per l'upscreening di componenti elettronici - Responsabile del Parts Engineering e della valutazione di Radiation Hardness di componenti elettronici.
Società	*Settore: Aerospazio*
Periodo	2000 – 2004
Posizione	System Engineer
Principali attività	- Responsabile di attività di RAMS in diversi programmi satellitari trai quali: "Satelcom", "Amos2, "Egnos CCF" , Koreasat" (per Thales Alenia Space). - Attività di Parts Engineering per la preparazione di database di componenti elettronici (per Contraves); responsabile della creazione d'infrastrutture software di supporto - Responsabile della documentazione tecnica e della manualistica
Società	*Settore: Aerospazio*

ISTRUZIONE E FORMAZIONE

Aprile 2000	Laurea quinquennale (V.O.) in Ingegneria Aerospaziale (indirizzo Avionico) presso l'Università di Roma "La Sapienza"

PUBBLICAZIONI

Dal 2000 al 2005: Seminari su “Affidabilità dei componenti elettronici” presso l’Università “La Sapienza” nell’ambito del corso di “Misure Elettriche” tenuto dal Prof. Fernando Blasi.

E.Petritoli, “Integrazione tra ricevitori Navstar GPS e sistemi di navigazione inerziale (INS) nell'ambiente aeronautico” – Rivista Italiana di navigazione (RIN) – Febbraio 2001

E.Petritoli, T.Giagnacovo: “Rad-Hard, In Flight, Reprogrammable FPGA Architecture For Satellite Computers” - 2013 AIDAA Conference – Naples, Italy

E.Petritoli, M.Vona, T.Giagnacovo: “Test Parametrici E Funzionali Su Memorie SDRAM Video” - NI Days 2014, Roma.

E.Petritoli, T.Giagnacovo: “Lightweight GNSS/IRS Integrated Navigation System for UAV Vehicles” 1st IEEE International Workshop on Metrology for Aerospace Aerospace (MetroAeroSpace 2014) – Benevento, Italy

E.Petritoli, F.Leccese: “Improvement of Altitude Precision in Indoor and Urban Canyon Navigation for Small Flying Vehicles” 2nd IEEE International Workshop on Metrology for Aerospace (MetroAeroSpace 2015) – Benevento, Italy

E.Petritoli, F.Leccese: “Reliability and SEE Mitigation in Memories for Space Applications” 3rd IEEE International Workshop on Metrology for Aerospace (MetroAeroSpace 2016) – Florence, Italy

E.Petritoli, L.Ciani, F.Leccese “Reliability Assessment of UAV Systems” 4th IEEE International Workshop on Metrology for Aerospace (MetroAeroSpace 2017) – Padua, Italy

E.Petritoli, E.De Francesco, R. De Francesco, “Obsolescence of the MIL-HDBK-217: A Critical Review” 4th IEEE International Workshop on Metrology for Aerospace (MetroAeroSpace 2017) – Padua, Italy

E.Petritoli, et al. “A New Reliability Approach for Additive Layers manufactured components: a preliminary investigation” 4th IEEE International Workshop on Metrology for Aerospace (MetroAeroSpace 2017) – Padua, Italy

E.Petritoli, et al. “Electronic Nose for Pesticides Detection: a First Realization” 4th IEEE International Workshop on Metrology for Aerospace (MetroAeroSpace 2017) – Padua, Italy

E.Petritoli, F.Leccese “A High Accuracy Attitude System for a Tailless Underwater Glider” IMEKO International Conference on Metrology for The Sea Naples, Italy, October 11-13, 2017

E.Petritoli, F.Leccese “A High Accuracy Navigation System for a Tailless Underwater Glider” IMEKO International Conference on Metrology for The Sea Naples, Italy, October 11-13, 2017

Petritoli, E., Leccese, F. “High accuracy attitude and navigation system for an autonomous underwater vehicle (AUV) ” 2018 Acta IMEKO

E.Petritoli, et al. “A New Reliability Approach for Additive Layers Manufactured Components: an Improvement” 5th IEEE International Workshop on Metrology for Aerospace (MetroAeroSpace 2018) – Rome, Italy

E.Petritoli, et al. “Electronic Nose: a First Sensors Array Optimization for Pesticides Detection based on Wilks’ Λ-statistic” 5th IEEE International Workshop on Metrology for Aerospace (MetroAeroSpace 2018) – Rome

E.Petritoli, L.Ciani, F.Leccese “Reliability Degradation, Preventive and Corrective Maintenance of UAV Systems” 5th IEEE International Workshop on Metrology for Aerospace (MetroAeroSpace 2018) – Rome, Italy

Petritoli, E., Leccese, F., Ciani, L.” Reliability and maintenance analysis of unmanned aerial vehicles ” 2018 Sensors (Switzerland)

Petritoli, E., Leccese: “A High Accuracy Buoyancy System Control for an Underwater Glider” 2nd IMEKO International Conference on Metrology for The Sea Bari, Italy, October, 2018

Petritoli, E., Leccese, M.Cagnetti “A Simple Takagi-Sugeno Fuzzy Modelling Case Study for an Underwater Glider Control System” 2nd IMEKO International Conference on Metrology for The Sea Bari, Italy, October, 2018