



Ricerca di Sistema elettrico

Studio affidabilistico preliminare dei componenti fondamentali del sistema di termoregolazione dell'edificio F-40 ENEA (Casaccia): vantaggi e criticità

Fabio Leccese, Enrico Petritoli

STUDIO AFFIDABILISTICO PRELIMINARE DEI COMPONENTI FONDAMENTALI DEL SISTEMA DI TERMOREGOLAZIONE DELL'EDIFICIO F-40 ENEA (CASACCIA): VANTAGGI E CRITICITÀ

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

Dicembre 2018

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2018

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

Progetto: D.7 Sviluppo di un modello integrato di smart district urbano

Obiettivo: C. Controllo e valutazione delle infrastrutture pubbliche energivore. Sotto obiettivo c.4 "Sistema di smart service integrato nell'ambiente urbano" del progetto "Sviluppo di un modello integrato di Smart District Urbano"

Responsabile del Progetto: Claudia Meloni, ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione "Studio affidabilistico preliminare dei componenti fondamentali del sistema di termoregolazione dell'edificio F-40 ENEA (Casaccia): vantaggi e criticità"

Responsabile scientifico ENEA: Francesco Pieroni

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

Indice

1	SOMMARIO	4
2	DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ	5
2.1	LSA: ATTIVITÀ E PRESTAZIONI	6
2.2	GLI OBIETTIVI DELLA GESTIONE LOGISTICA	6
2.2.1	<i>Obiettivi di gestione logistica</i>	6
3	LSA OPERATIVA	8
3.1	ANALISI DI SUPPORTO LOGISTICO	8
3.1.1	<i>Analisi di Affidabilità</i>	8
3.1.2	<i>Disponibilità</i>	9
3.1.3	<i>Analisi dei Guasti e di Criticità (FMECA)</i>	9
4	DESCRIZIONE ARCHITETTURALE	11
4.1	DESCRIZIONE EDIFICIO F40	11
4.1.1	<i>Descrizione</i>	12
4.1.2	<i>Aree funzionali</i>	12
4.2	DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO	14
4.2.1	<i>Impianto termico</i>	15
4.3	DESCRIZIONE DEL SISTEMA DI CONTROLLO TERMICO	17
5	ANALISI DI AFFIDABILITÀ DEL SISTEMA	18
6	DISPONIBILITÀ (AVAILABILITY) DEL SISTEMA	19
6.1	INTRODUZIONE	19
6.2	DEFINIZIONE DI DISPONIBILITÀ	19
6.2.1	<i>Disponibilità a regime</i>	19
6.3	COMPOSIZIONE DEL DOWN TIME	20
6.4	IL PROBLEMA DEI FALSI POSITIVI	25
6.4.1	<i>Come sono stati trattati i falsi positivi</i>	25
6.5	DATI DI DISPONIBILITÀ	26
6.6	DISPONIBILITÀ: ENERGIA ASSORBITA	27
6.7	ROBUSTEZZA DEL SISTEMA	27
7	ANALISI DEI GUASTI E DI CRITICITÀ (FMECA)	28
7.1	CRITERI	28
7.2	ASSUNZIONI	28
7.3	FORMATO DELLE TABELLE	29
7.4	TABELLE FMECA	31
8	CONCLUSIONI	43
8.1	AFFIDABILITÀ	43
8.2	DISPONIBILITÀ	43
8.3	FMECA	43
9	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	44
9.1	DOCUMENTI APPLICABILI	44
9.2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	44
9.3	BIBLIOGRAFIA	44
10	ABBREVIAZIONI ED ACRONIMI	46

1 Sommario

Questo documento illustra l'Analisi di Supporto Logistico preliminare applicata sistema di termoregolazione dell'edificio F-40 ENEA (Casaccia).

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

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.

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 tutto il ciclo di vita previsto.

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

Le principali discipline infatti sono:

- Interfaccia di progettazione
- Fornire supporto logistico
- Apparatì 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 di disponibilità (*Availability*) del sistema e definire dettagliatamente 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 e aggiornare 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

2.1 LSA: Attività e prestazioni

Il processo LSA 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 fondamentale si basa 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 aiutare 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

2.2 Gli Obiettivi della gestione logistica

2.2.1 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.

3 LSA Operativa

3.1 Analisi di Supporto Logistico

L'Analisi di Supporto Logistico, applicata in particolare al sistema, 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.

3.1.2 Disponibilità

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

3.1.3 Analisi dei Guasti e di Criticità (FMECA)

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

Ha i seguenti obiettivi:

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

Si attua in accordo a questi passi:

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

4 Descrizione Architettuale

4.1 Descrizione Edificio F40



Figura 1 - Edificio F40 veduta aerea.

4.1.1 Descrizione

L'edificio F40 si presenta come un fabbricato a stecca con tre piani fuori terra ed uno seminterrato, connesso, dal lato maggiore, ad un secondo fabbricato più basso. A livello architettonico l'edificio si caratterizza per un'unica stratigrafia di involucro opaco verticale ed una sola tipologia di infissi vetrati. Mentre l'edificio principale ospita uffici, CED e laboratori, il secondo fabbricato è prettamente occupato da laboratori (vedi Fig. 1).

L'edificio si struttura su 3 piani fuori terra più un seminterrato. Lo studio tiene in considerazione i soli piani fuori terra. La distribuzione, come indicato in Fig.2, vede la maggior parte della superficie al piano terra occupata da laboratori, circa la metà della superficie al primo piano occupata da uffici e il secondo piano dedicato completamente ad uso ufficio. In tutti i piani le aree distributive coprono più del 25% della superficie utile.

4.1.2 Aree funzionali

Nella tabella seguente sono sintetizzati i dati geometrici dell'edificio:

Piano	Superficie utile riscaldata [m ²]	Altezza interna [m]	Volume utileriscaldato [m ³]
<i>PT</i>	570	3,2	1824,0
<i>P1</i>	774	3,2	2476,8
<i>P2</i>	765	3,2	2448,0
Totale	2109		6748,8

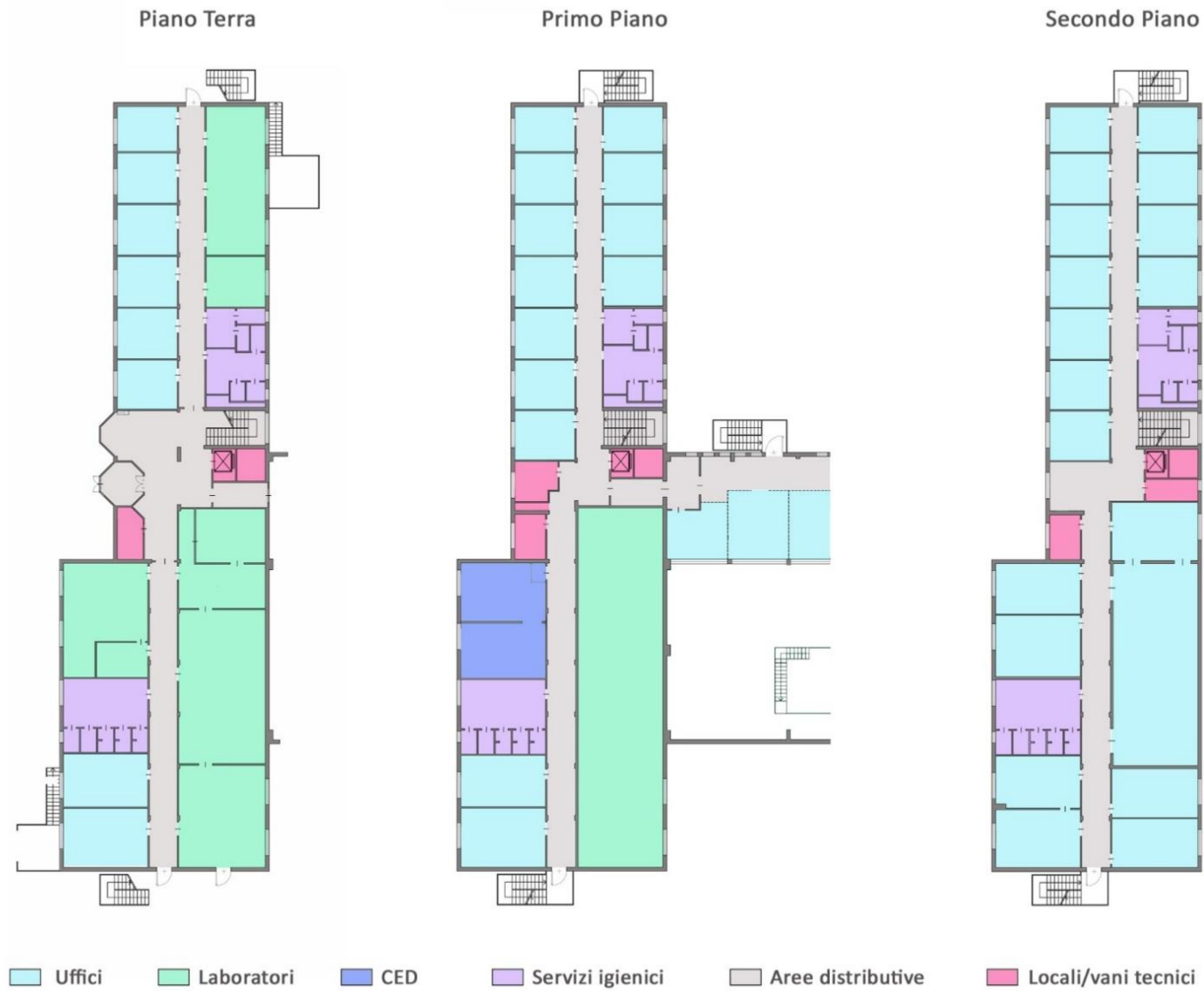


Figura 2 - Distribuzione delle funzioni all'interno dell'edificio.

4.2 Descrizione dell’Impianto

La tipologia di impianto che serve l’edificio F40 è di tipo misto, con terminali (convettivi e radiativi) e aria primaria. Le unità terminali in ambiente si dividono in: fancoil negli uffici, aerotermi nei laboratori, radiatori nei bagni e batterie di scambio termico nell’unità di trattamento dell’aria (UTA). La Fig. 3 riporta lo schema dei vettori energetici presenti nella centrale termica dell’edificio F40. All’interno di tale schema si possono inoltre verificare le disposizioni dei componenti impiantistici a servizio dell’edificio: scambiatore di calore, gruppo frigo, elettropompe di circolazione, unità di trattamento aria e quadro elettrico.

Il fluido termovettore caldo è ottenuto per mezzo dello scambio termico con fluido proveniente dalla centrale termica remota di ENEA (teleriscaldamento), attraverso uno scambiatore di calore con una potenza nominale pari a 430000 kcal/h. La portata nominale di fluido vettore che alimenta il circuito dei fancoil è pari a 11,5 m³/h, mentre la portata veicolata alle batterie dell’UTA, agli aerotermi e alle piastre radianti è complessivamente pari a 16 m³/h.

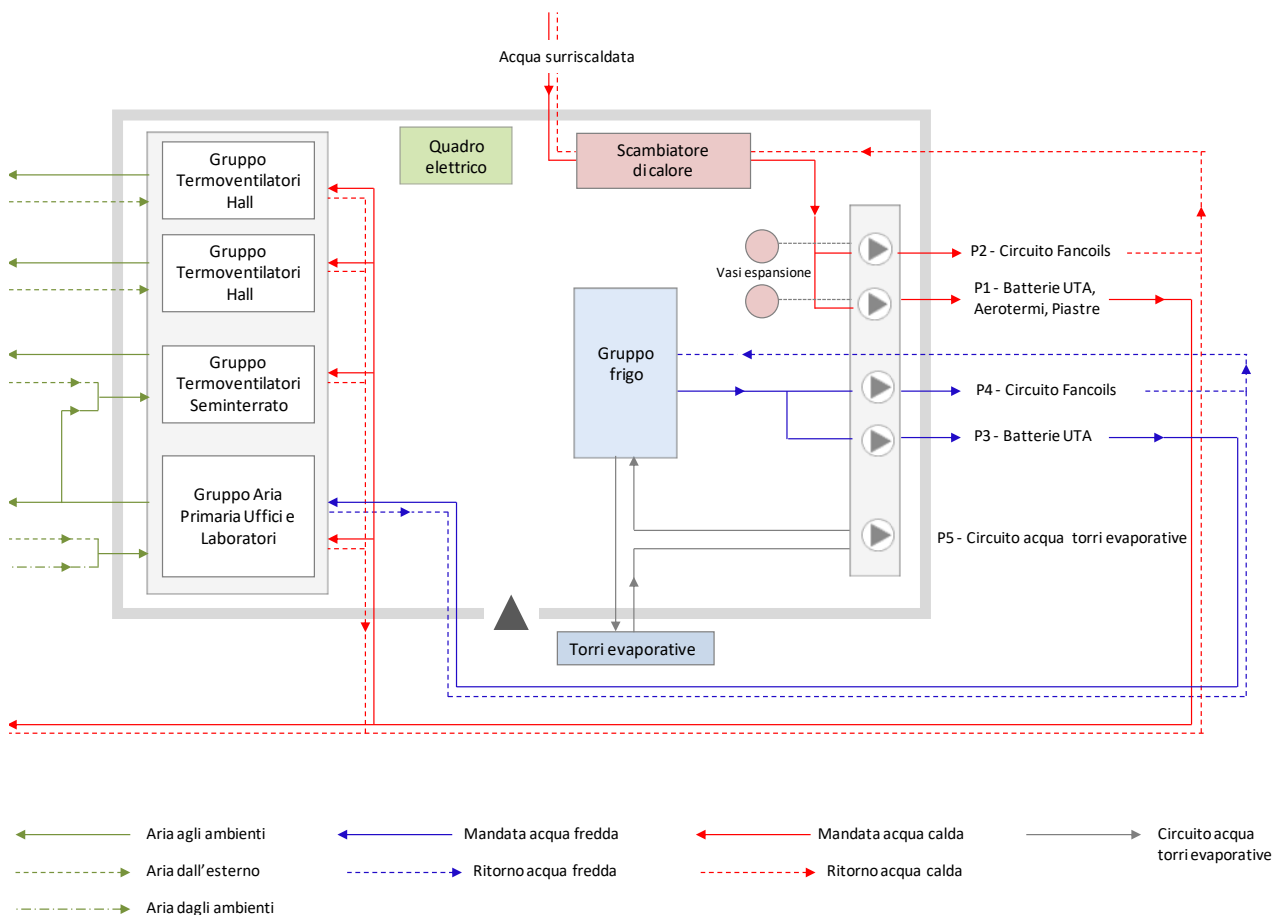


Figura 3 - Schema dei vettori energetici in centrale termica dell’edificio F40.

Il fluido termovettore freddo, che alimenta i fancoil e le batterie di scambio termico dell'UTA, è invece prodotto da un gruppo refrigeratore con una potenza nominale pari a 180000 frig/h, collegato ad una torre evaporativa all'esterno dell'edificio F40.

4.2.1 Impianto termico

Il Centro Ricerche Casaccia è servito da un sistema di teleriscaldamento alimentato da una centrale termica composta da tre caldaie di potenza termica di 6.000 MCal/h ciascuna alimentate a Gas naturale. Il fluido surriscaldato a 120°C viene poi mandato alle 66 sotto centrali termiche, ognuna delle quali serve uno o più edifici dei 166 edifici insistenti nel Centro. Questo impianto consta di una rete di tipo a poligonale chiusa di tubazioni di vari diametri, da 35 mm a 254 mm e con una estensione di circa 15.000m tra il circuito di mandata e quello di ritorno.

L'edificio F40 è allacciato alla rete di teleriscaldamento descritta sopra, è infatti climatizzato da una centrale termica locale posta nel piano interrato dell'edificio stesso dove lo scambiatore termico acqua-acqua, con una potenza nominale pari a 430000 kcal/h, che assicura nel periodo invernale l'alimentazione termica dell'intero edificio.

La tipologia di impianto che serve l'edificio F40 è di tipo misto, con terminali (convettivi e radiativi) e aria primaria. Le unità terminali in ambiente si dividono in: fancoils negli uffici, aerotermini nei laboratori, radiatori nei bagni e batterie di scambio termico nell'unità di trattamento dell'aria (UTA).

La figura 3 riporta lo schema dei vettori energetici presenti nella centrale termica dell'edificio F40. All'interno di tale schema si possono inoltre verificare le disposizioni dei componenti impiantistici a servizio dell'edificio: scambiatore di calore, gruppo frigo, elettropompe di circolazione, unità di trattamento aria e quadro elettrico.

La portata nominale di fluido vettore che alimenta il circuito dei fancoils è pari a 11,5 m³/h, mentre la portata veicolata alle batterie dell'UTA, agli aerotermini e alle piastre radianti è complessivamente pari a 16 m³/h. Il fluido termovettore freddo, che alimenta i fancoils e le batterie di scambio termico dell'UTA, è invece prodotto da un gruppo refrigeratore con una potenza nominale pari a 180000 frig/h, collegato ad una torre evaporativa all'esterno dell'edificio F40.

L'acqua surriscaldata alimenta il circuito primario dello scambiatore di calore locale mentre nel periodo estivo, per il raffrescamento, vengono usati tre compressori da 30 kW ciascuno installati nella stessa sala. L'impianto dell'edificio F40 è composto da due circuiti idraulici separati, uno per il riscaldamento e uno per

il raffrescamento, per cui alle singole utenze, fan coil, arrivano due circuiti separati che alimentano gli scambiatori acqua-aria. La climatizzazione è completata delle unità UTA che mandano aria climatizzata e filtrata nelle stanze, laboratori e hall tecnologica (vedi Fig. 4).

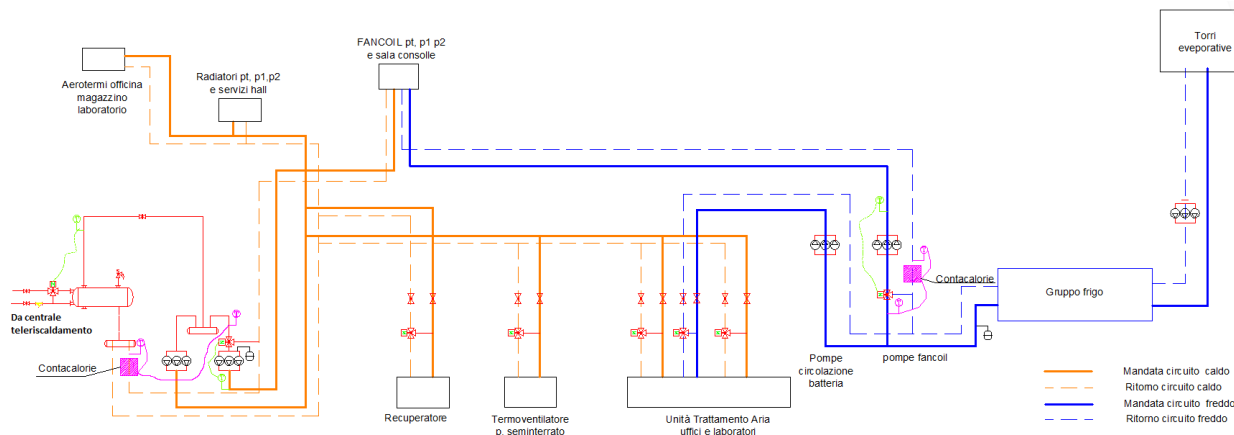


Figura 4 - Schema impianto termico F40.

Nel periodo invernale il fluido termovettore proveniente dalla centrale di teleriscaldamento arriva al circuito primario dello scambiatore di edificio a circa 120°C. All’uscita del primario dello scambiatore abbiamo circa 105-110 °C quindi un delta T di 10-15 °C.

Il secondario dello scambiatore alimenta l’intero edificio con una temperatura di mandata 70°C e temperatura di ritorno di 60°C per un ΔT di 10°C.

Per quanto riguarda il circuito dei fan coil abbiamo una T di mandata di 65°C e una T di ritorno di 60°C.

4.3 Descrizione del sistema di controllo termico

Il sistema chiamato di controllo termico è un sistema a feedback estremamente essenziale: quello da noi esaminato è basato sul controllo del parametro di temperatura che viene controllato in remoto tramite la gestione della mandata di opportuno flusso ai fancoil (vedi Fig. 5).

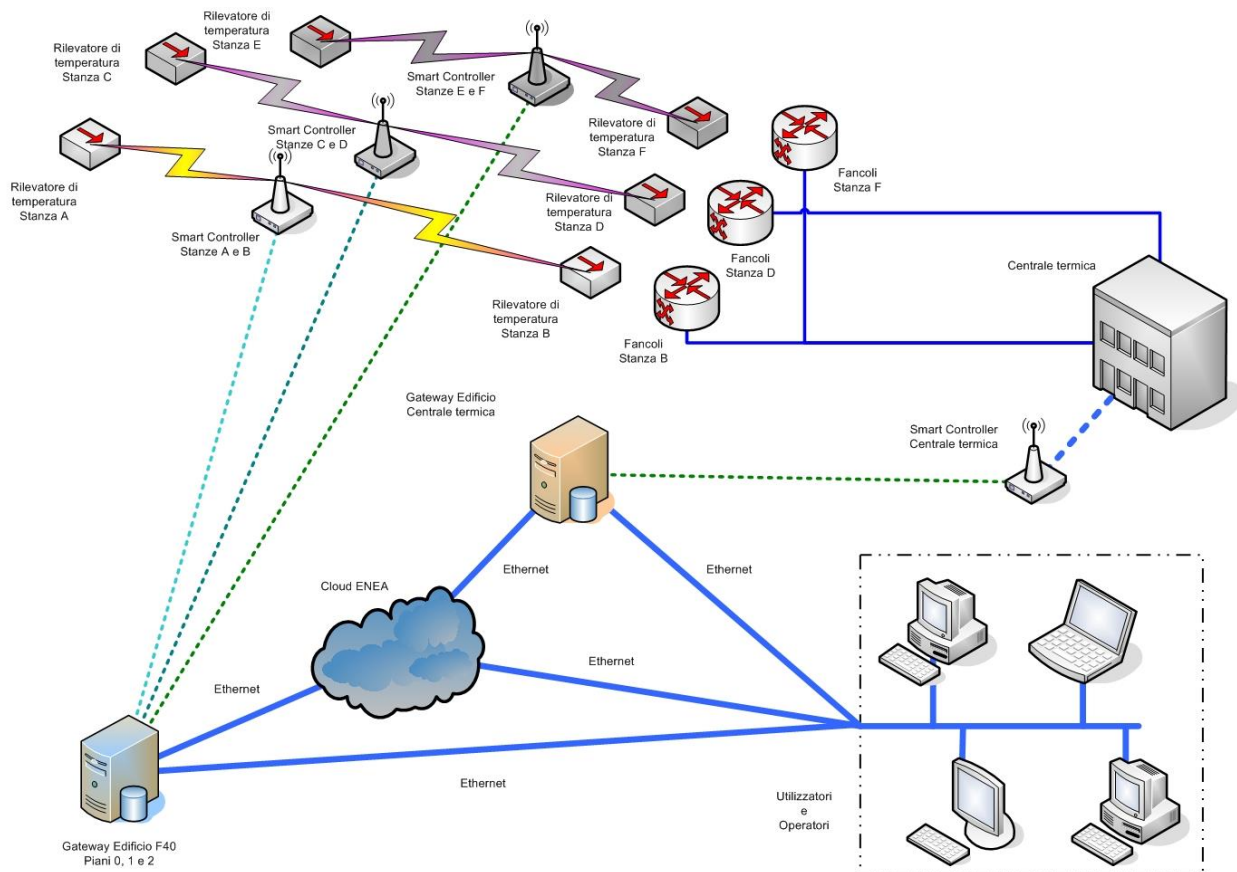


Figura5- Architettura generale

L'informazione "temperatura impostata" da parte dell'utente viene confrontata con la temperatura rilevata dal sensore di temperatura presente nella stanza: se risulta una differenza, viene messa in moto una catena di retroazione. L'informazione risale attraverso lo smart controller (che gestisce in genere una o due stanze, a seconda della necessità logistica e della geometria) passa attraverso il gateway di Edificio F40, il Cloud e si trasforma, tramite software in un'azione che risale verso le ventole dei fancoil. Il Gateway della centrale termica invece, gestisce il collegamento che passa attraverso lo smart controller alla centrale termica che, a sua volta, modificherà i flussi al fancoil a seconda della stagione. Il Cloud, per via della sua architettura peculiare e diffusa, è escluso dall'analisi.

5 Analisi di affidabilità Del Sistema

Per il sistema), abbiamo la seguente tabella dei risultati:

Analisi preliminare di affidabilità di sistema di termoregolazione dell'edificio F-40					
Descrizione	λ_p Singolo (F/10 ⁶ hrs)	Quantità	λ_p TOTALE (F/10 ⁶ hrs)	MTBF (hrs)	Incidenza (%)
Smart Controller Stanza	1.39	22	30.58	32,701.1	9.64%
Smart Controller Centrale Termica	1.39	1	1.39	719,424.5	0.44%
Rilevatore di temperatura	0.27	27	7.29	137,174.2	2.30%
Gateway Edificio F40	48.25	1	48.25	20,725.4	15.21%
Ethernet (gateway F40 - cloud)	0.08	1	0.08	12,048,192.8	0.03%
Gateway Edificio Centrale termica	48.25	1	48.25	20,725.4	15.21%
Ethernet (gateway Centrale termica - cloud)	0.08	1	0.08	12,048,192.8	0.03%
Fancoil (solo parte elettrotecnica)	6.71	27	181.17	5,519.7	57.12%
Ethernet (lato utilizzatori)	0.08	1	0.08	12,048,192.8	0.03%
λ TOTALE =			317.18		

MTBF (R_{Total}) =	3,152.79	Ore
	131.37	Giorni
	4.69	Mesi

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

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 di manutenzione atti a riportare il sistema in condizioni di buon funzionamento.

Apparecchiature e sistemi riparabili quindi nella loro vita compiono numerosi cicli; i parametri di affidabilità sono ancora calcolabili, sebbene con maggiori difficoltà matematiche, tuttavia in questo caso assume maggiore importanza un altro parametro, nel quale confluiscono due termini, che tengono conto l'uno della frequenza dei guasti e l'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 duplice significato: essa infatti da una parte rappresenta la percentuale di tempo di buon funzionamento del sistema produttivo, calcolata su un lungo periodo di tempo; essa è quindi 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 di funzionamento rispetto al tempo globale. In termini analitici la disponibilità è quindi data da:

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

ove:

- UT (up-time) rappresenta il tempo in cui il sistema é 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 é la risultante di numerosi fattori concorrenti.

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:

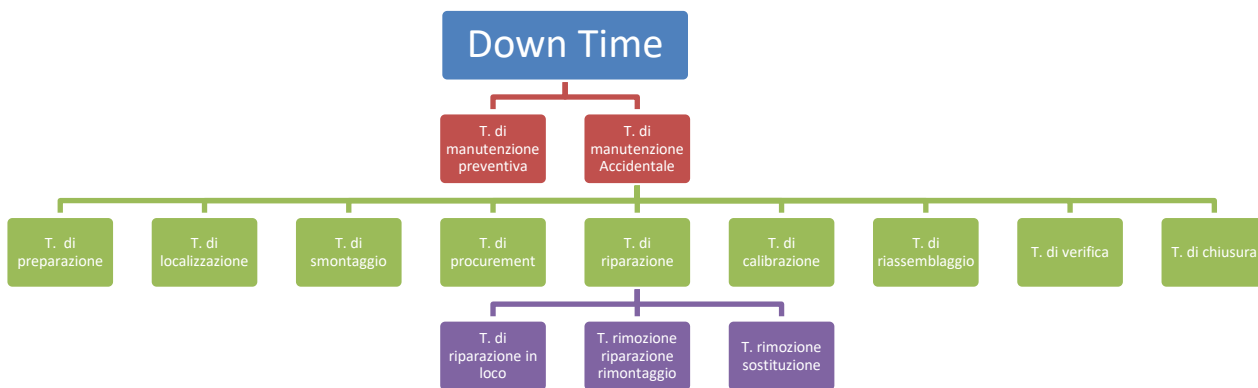


Figura 6- Composizione del Down time

- **Il tempo di preparazione:** tempo di manutenzione necessario per ottenere le apparecchiature, gli strumenti per i controlli, i manuali di manutenzione e per la fornitura degli strumenti necessari per iniziare l'operazione di localizzazione del guasto.
- **Il tempo di localizzazione:** tempo durante il quale il guasto deve essere individuato; si fanno test ed analisi sulla macchina, al fine di isolare la causa del 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 la 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 la quale l'arrottura è riparata o mediante riparazione in loco, oppure con rimozione, riparazione non in loco e ricollocazione, oppure ancora mediante rimozione e sostituzione con pezzo di ricambio.
- **Il tempo di aggiustaggio e calibrazione:** parte del tempo di manutenzione durante la quale vengono effettuate le operazioni di aggiustaggio e calibrazione del componente riparato.
- **Il tempo di riassetto** è quello necessario per rimontare la macchina.
- **Il tempo di verifica:** parte del tempo di manutenzione durante la quale ci si accerta che l'apparecchiatura riparata funzioni correttamente.
- **Il tempo di pulizia e chiusura** è quella parte di tempo di manutenzione necessario per assegnare la macchina all'esercizio, in cui cioè la squadra di manutenzione allontana materiali 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'abilità 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

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

La funzione cumulata $F(t_r)$ è detta *manutenibilità* ed esprime il valore della probabilità che la riparazione venga portata a termine entro un certo tempo

$$F(t_r) = \int_0^{t_r} f(t_r) \cdot dt_r$$

In particolare allora il tempo medio di riparazione MTTR è allora dato da

$$MTTR = \int_0^{\infty} t_r \cdot f(t_r) \cdot dt_r = \int_0^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma \cdot t_r} \cdot e^{-\frac{(\ln t_r - m)^2}{2 \cdot \sigma^2}} \cdot dt_r$$

Per la valutazione pratica della disponibilità dell'impianto, a causa dell'estrema aleatorietà del tempo di riparazione e del tempo di funzionamento, è necessario assumere un tempo di riferimento sufficientemente ampio. Si valutano a questo punto i tempi di funzionamento, ciascuno di durata T_i , ed i tempi di riparazione, ciascuno con durata t_i .

Il tempo complessivo di funzionamento UT è dato da:

$$UT = \sum_{i=1}^N T_i$$

Mentre il tempo complessivo di fermata per cause tecniche DT (guasto o manutenzione preventiva) sarà dato da

$$DT = \sum_{i=1}^N t_i$$

le sommatorie sono estese agli N intervalli di Up time – Down time considerati La disponibilità vale

$$A = \frac{UT}{UT + DT} = \frac{\sum_{i=1}^N T_i}{\sum_{i=1}^N T_i + \sum_{i=1}^N t_i}$$

$$A = \frac{\frac{\sum_{i=1}^N T_i}{N}}{\frac{\sum_{i=1}^N T_i}{N} + \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{N}}$$

$$A = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR}$$

Nel caso di un apparecchiatura complessa, il valore del MTTR può essere espresso come segue: Se si immagina che l'apparecchiatura sia costituita da n tipologie di componenti e che l'apparecchiatura venga riparata nel momento in cui uno dei componenti si guasta (caso a cui ci si può quasi sempre ricondurre, suddividendo opportunamente i componenti l'apparecchiatura), detti C_i il numero di componenti di tipo i-simo, con tempo di riparazione medio per il componente di tipo i-simo pari a t_i , e detto λ_i il rateo di guasto del componente di tipo i-simo, si ha che il MTTR in caso di solo guasto vale:

$$MTTR = \frac{\sum_{i=1}^n C_i \cdot \lambda_i \cdot t_i}{\sum_{i=1}^n C_i \cdot \lambda_i}$$

dove il termine a denominatore rappresenta il numero di guasti per i componenti di tipo isimo. Considerando anche k_p fermate per manutenzione preventiva di durata media t_p , si ottiene infine

$$MTTR = \frac{\sum_{i=1}^n C_i \cdot \lambda_i \cdot t_i + k_p \cdot t_p}{\sum_{i=1}^n C_i \cdot \lambda_i + k_p}$$

6.4 *Il problema dei falsi positivi*

Il sistema Smart Building F40, testato nel periodo campione che va dall'1/07 al 31/07/2018 non ha manifestato nessun problema reale: i sottosistemi di feedback hanno mostrato solo ed esclusivamente una serie di falsi positivi. Un falso positivo è un avviso di guasto che, nella realtà non è tale, ma frutto di tarature incorrette di limite del sistema stesso. In ogni caso deve essere comunque controllato.

6.4.1 *Come sono stati trattati i falsi positivi*

Il sistema rileva i falsi positivi come se fossero dei veri e propri guasti: poiché durante la detezione (detection) è impegnato fisiologicamente nella sua registrazione e quindi lo possiamo considerare a ragione, fuori linea.

6.5 Dati di disponibilità

Di seguito la tabella che riporta il numero di falsi positivi medi nel periodo campione che va dall'1/07 al 31/07/2018.

	Qty	Rilevamento	Localizzazione	riconoscimento	calibrazione	Verifica	Return on line	Tot singolo	Tot tipo
Active Energy	21	0.1	0.2	0.3	0.2	0.2	0.1	1.1	23.1
Fancoil Setpoint	86	0.1	0.2	0.3	0.2	0.2	0.1	1.1	94.6
Inlet Water Temperature	8	0.6	0.2	0.3	0.2	0.1	0.1	1.5	12
NotdeFined	97	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.6	58.2
Outlet Water Temperature	2	0.1	0.2	0.3	0.2	0.1	0.1	1	2
Power Factor Phase1	1	0.3	0.2	0.3	0.2	0.1	0.1	1.2	1.2
Power Factor Phase2	1	0.3	0.2	0.3	0.2	0.1	0.1	1.2	1.2
Power Factor Phase3	1	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	1.1	1.1
Thermostat Temperature	105	0.1	0.3	0.3	0.2	0.1	0.1	1.1	115.5
Total Active Power	25	0.1	0.2	0.3	0.2	0.1	0.1	1	25
Valve Opening	4	0.1	0.4	0.3	0.1	0.1	0.1	1.1	4.4
Water Volume	2	0.1	0.4	0.3	0.1	0.1	0.1	1.1	2.2
Other	1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.6	0.6

Downtime Totale 341.1 Sec

6.6 Disponibilità: Energia assorbita

Il sistema Smart Building F40 è stato testato nel periodo campione che va dall'1/07 al 31/07/2018. Durante i test ne è stata esaminata la robustezza attraverso la continuità del servizio (disponibilità), l'efficacia dei telecomandi inviati ai diversi sottosistemi e la consistenza ed il ritardo delle telemetrie (dati di ritorno dei sottosistemi sotto telecomando) e dei vari dati degli assorbimenti di potenza. È stata inoltre verificata la coerenza temporale dei dati sperimentali con l'evento reale e le tarature di trasduttori.

Lo Smart Building F40 ha funzionato correttamente nel periodo indicato e la sua robustezza come sistema è massima. Non sono stati evidenziati guasti che causano disservizi o distacchi parziali di sottosistemi o elementi. Sono stati rilevati solo dei "falsi positivi" dovuti a non corretta caratterizzazione del feedback dei sensori che comunque non inficiano la funzionalità del sistema.

Per ciò che concerne l'energia assorbita, nel periodo considerato abbiamo considerato il funzionamento a regime di sei sottosistemi elettrici ovvero:

	Energia mensile Tot [kW]	Energia quartoraria media [kW]	σ
Fancoil Piano Terra	353.58	0.12	0.05728
Fancoil 1° Piano	331.52	0.11	0.08015
Fancoil 2° Piano	595.05	0.20	0.06739
Luci Piano Terra	1,415.16	0.48	0.56069
Luci 1° Piano	4,967.51	1.67	4.01047
Luci 2° Piano	1,727.35	0.58	0.34634

I parametri di assorbimento sono assolutamente in linea ed entro le norme previste in sede di progetto

6.7 Robustezza del sistema

Abbiamo definito la robustezza di un sistema attraverso la sua disponibilità (*Availability*) "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 di funzionamento (uptime UT) rispetto al tempo globale dato anche dal tempo di disservizio (downtime DT). In termini analitici la disponibilità è quindi data da:

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

7 Analisi dei Guasti e di Criticità (FMECA)

7.1 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.

7.2 Assunzioni

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

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

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

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

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

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

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

7.3 Formato delle tabelle

Le seguenti informazioni sono riportate nelle colonne della tabella:

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

Seguono le tabelle di FMECA

7.4 Tabelle FMECA

Sistema: Impianto termicoF40							
N°	Item/ Sub-item	Descrizione e funzionamento	Modalità di Guasto	Sintomi Osservabili	Metodi di Prevenzione o Compensazione	Criticità	Raccomandazioni e commenti
1	Smart Controller Stanza	Trasmette e riceve i dati di temperatura provenienti dai sensori di stanza al gateway attraverso data link wireless					
1.1	I/F di collegamento col gateway	Fornisce il collegamento il locale tra Gateway e lo smart controller					
1.1.1			Degradazione delle prestazioni	Collegamento col Gateway discontinuo Flusso dati discontinuo	Nessuno	5	Controllo periodico dell'apparato

Sistema: Impianto termicoF40							
N°	Item/ Sub-item	Descrizione e funzionamento	Modalità di Guasto	Sintomi Osservabili	Metodi di Prevenzione o Compensazione	Criticità	Raccomandazioni e commenti
1.1.2			Guasto grave	Collegamento col Gateway interrotto. Flusso dati assente. Nessuna informazione dai due sensori di temperatura	Nessuno	3	Controllo periodico dell'apparato
1.2	Processore di gestione apparato	Gestione delle funzionalità dello smart controller					
1.2.1			Degradazione lieve delle prestazioni	Rilevazione di anomalie casuali nel flusso dati di entrambi i sensori	Nessuno	5	Controllo periodico dell'apparato
1.2.2			Degradazione grave delle prestazioni	Funzionamento discontinuo.	Nessuno	4	
1.2.3			Guasto grave	Smart Controller spento Nessuna informazione da entrambi i sensori	Nessuno	3	Controllo periodico dell'apparato

Sistema: Impianto termicoF40							
N°	Item/ Sub-item	Descrizione e funzionamento	Modalità di Guasto	Sintomi Osservabili	Metodi di Prevenzione o Compensazione	Criticità	Raccomandazioni e commenti
1.3	I/F di collegamento con i sensori di temperatura	Fornisce il collegamento il locale tra lo smart controller e i sensori di temperatura					
1.3.1			Degradazione delle prestazioni	Status positivo dell'apparato Flusso dati di temperatura discontinuo	Nessuno	5	Controllo periodico dell'apparato
1.3.2			Guasto grave	Status positivo dell'apparato Collegamento col e i sensori di temperatura interrotto. Flusso dati assente. Nessuna informazione dai due sensori di temperatura	Nessuno	4	Controllo periodico dell'apparato
1.4	Filtro Linea Elettrica	Filtra la rete ed elimina il <i>ripple</i>					

Sistema: Impianto termicoF40							
N°	Item/ Sub-item	Descrizione e funzionamento	Modalità di Guasto	Sintomi Osservabili	Metodi di Prevenzione o Compensazione	Criticità	Raccomandazioni e commenti
1.4.1			Degradazione delle prestazioni	Alimentazione rumorosa	Nessuno	3	Controllo periodico dell'apparato
1.4.2			Guasto grave	Smart Controller spento Nessuna informazione da entrambi i sensori	Nessuno	3	
2	Smart Controller Centrale Termica	Trasmette e riceve i dati di temperatura provenienti dalla centrale termica al gateway attraverso data link wireless					
2.1	I/F di collegamento col Centrale Termica	Fornisce il collegamento il locale tra Gateway e la Centrale Termica					
2.1.1			Degradazione delle prestazioni	Collegamento col Gateway discontinuo Flusso dati discontinuo	Nessuno	5	Controllo periodico dell'apparato

Sistema: Impianto termicoF40							
N°	Item/ Sub-item	Descrizione e funzionamento	Modalità di Guasto	Sintomi Osservabili	Metodi di Prevenzione o Compensazione	Criticità	Raccomandazioni e commenti
2.1.2			Guasto grave	Collegamento col Gateway interrotto. Flusso dati assente.	Nessuno	3	Controllo periodico dell'apparato
2.2	Processore di gestione apparato	Gestione delle funzionalità dello smart controller					
2.2.1			Degradazione lieve delle prestazioni	Rilevazione di anomalie casuali nel flusso dati di entrambi i sensori	Nessuno	5	Controllo periodico dell'apparato
2.2.2			Degradazione grave delle prestazioni	Funzionamento discontinuo.	Nessuno	4	Controllo periodico dell'apparato
2.2.3			Guasto grave	Smart Controller spento	Nessuno	3	Controllo periodico dell'apparato
2.3	I/F di collegamento con i sensori di temperatura	Fornisce il collegamento il locale tra lo smart controller e la Centrale Termica					

Sistema: Impianto termicoF40							
N°	Item/ Sub-item	Descrizione e funzionamento	Modalità di Guasto	Sintomi Osservabili	Metodi di Prevenzione o Compensazione	Criticità	Raccomandazioni e commenti
2.3.1			Degradazione delle prestazioni	Status positivo dell'apparato Flusso dati discontinuo	Nessuno	5	Controllo periodico dell'apparato
2.3.2			Guasto grave	Status positivo dell'apparato Collegamento col e i sensori di temperatura interrotto. Flusso dati assente.	Nessuno	4	Controllo periodico dell'apparato
2.4	Filtro Linea Elettrica	Filtra la rete ed elimina il <i>ripple</i>					
2.4.1			Degradazione delle prestazioni	Alimentazione rumorosa	Nessuno	3	Controllo periodico dell'apparato
2.4.2			Guasto grave	Smart Controller spento Nessuna informazione	Nessuno	3	
3	Rilevatore di temperatura	Dà la misura della temperatura istantanea					

Sistema: Impianto termicoF40							
N°	Item/ Sub-item	Descrizione e funzionamento	Modalità di Guasto	Sintomi Osservabili	Metodi di Prevenzione o Compensazione	Criticità	Raccomandazioni e commenti
3.1			Degradazione delle prestazioni	Funzionamento discontinuo	Sostituire quando le prestazioni divengono marginali	5	Controllo periodico dell'apparato
3.2			Guasto grave	Il Rilevatore di temperatura non fornisce le misure. Assenza di dati temperatura di una stanza	Nessuno	4	Controllo periodico dell'apparato
4	Gateway (Edificio F-40)	Assicura il flusso e la corretta gestione dei dati tra gli smart controller e il Cloud					
4.1			Degradazione lieve delle prestazioni	Rilevazione di discontinuità casuali nel flusso dati.	Nessuno	5	Controllo periodico dell'apparato
4.2			Degradazione grave delle prestazioni	Rilevazione di discontinuità sistematiche nel flusso dati.	Nessuno	4	Controllo periodico dell'apparato
4.3			Guasto grave	Gateway off-line. Nessun dato.	Nessuno	3	Controllo periodico dell'apparato

Sistema: Impianto termicoF40							
N°	Item/ Sub-item	Descrizione e funzionamento	Modalità di Guasto	Sintomi Osservabili	Metodi di Prevenzione o Compensazione	Criticità	Raccomandazioni e commenti
5	Ethernet (Lato Gateway F40 - Cloud)	Assicura il collegamento tra il Gateway F40 e il Cloud					
5.1			Degradazione delle prestazioni	Collegamento Gateway F40 e il Cloud discontinuo Flusso dati discontinuo	Sostituire quando le prestazioni divengono marginali	3	
5.2			Guasto grave	Collegamento Gateway F40 e il Cloud interrotto Flusso dati assente	Perdita della funzionalità	2	
6	Gateway (Centrale Termica)	Assicura il flusso e la corretta gestione dei dati tra la Centrale Termica e il Cloud					
6.1			Degradazione lieve delle prestazioni	Rilevazione di discontinuità casuali nel flusso dati.	Nessuno	4	Controllo periodico dell'apparato

Sistema: Impianto termicoF40							
N°	Item/ Sub-item	Descrizione e funzionamento	Modalità di Guasto	Sintomi Osservabili	Metodi di Prevenzione o Compensazione	Criticità	Raccomandazioni e commenti
6.2			Degradazione grave delle prestazioni	Rilevazione di discontinuità sistematiche nel flusso dati.	Nessuno	3	Controllo periodico dell'apparato
6.3			Guasto grave	Gateway off-line. Nessun dato. Impossibilità di inviare telecomandi	Nessuno	2	Controllo periodico dell'apparato
7	Ethernet (Lato Gateway Centrale termica - Cloud)	Assicura il collegamento tra il Gateway Centrale termica e il Cloud					
7.1			Degradazione delle prestazioni	Collegamento Gateway termica e il Cloud discontinuo Flusso dati discontinuo	Sostituire quando le prestazioni divengono marginali	3	
7.2			Guasto grave	Collegamento Gateway termica e il Cloud interrotto Flusso dati assente	Perdita della funzionalità	2	

Sistema: Impianto termicoF40							
N°	Item/ Sub-item	Descrizione e funzionamento	Modalità di Guasto	Sintomi Osservabili	Metodi di Prevenzione o Compensazione	Criticità	Raccomandazioni e commenti
8	Fancoil System (Solo parte ELç- e EM)	Assicura il riscaldamento o il raffrescamento della stanza					
8.1			Degradazione lieve delle prestazioni	Il riscaldamento o il raffrescamento della stanza avviene con ritardo.	Nessuno	5	Controllo periodico dell'apparato
8.2			Degradazione grave delle prestazioni	riscaldamento o il raffrescamento della stanza lento o impreciso	Nessuno	4	Controllo periodico dell'apparato
8.3			Guasto grave	Fancoil off-line Impossibilità di riscaldamento o il raffrescamento della stanza	Nessuno	3	
9	Ethernet (Cloud-utilizzatori)	Assicura il collegamento tra utilizzatori e il Cloud					

Sistema: Impianto termicoF40							
N°	Item/ Sub-item	Descrizione e funzionamento	Modalità di Guasto	Sintomi Osservabili	Metodi di Prevenzione o Compensazione	Criticità	Raccomandazioni e commenti
9.1			Degradazione delle prestazioni	Collegamento utilizzatori e il Cloud discontinuo Flusso dati discontinuo	Nessuno	3	
9.2			Guasto grave	Collegamento utilizzatori e il Cloud interrotto Flusso dati assente	Nessuno	2	
10	Ethernet (Gateway F-40 - utilizzatori)	Assicura il collegamento tra utilizzatori e il Gateway F-40					
10.1			Degradazione delle prestazioni	Collegamento utilizzatori e il Gateway F-40 discontinuo Flusso dati discontinuo	Sostituire quando le prestazioni divengono marginali	3	
10.2			Guasto grave	Collegamento utilizzatori e il Gateway F-40 interrotto Flusso dati assente	Perdita della funzionalità	2	

Sistema: Impianto termicoF40							
N°	Item/ Sub-item	Descrizione e funzionamento	Modalità di Guasto	Sintomi Osservabili	Metodi di Prevenzione o Compensazione	Criticità	Raccomandazioni e commenti
11	Ethernet (Gateway centrale termica - utilizzatori)	Assicura il collegamento tra utilizzatori e il Gateway centrale termica					
11.1			Degradazione delle prestazioni	Collegamento utilizzatori e il Gateway centrale termica discontinuo Flusso dati discontinuo	Sostituire quando le prestazioni divengono marginali	3	
11.2			Guasto grave	Collegamento utilizzatori e il Gateway centrale termica interrotto Flusso dati assente	Perdita della funzionalità	2	

8 Conclusioni

È stata effettuata l'Analisi di Supporto Logistico (LSA) preliminare dei componenti fondamentali del sistema di termoregolazione dell'edificio F-40 ENEA (Casaccia) mettendo a frutto i dati ed i risultati di un progetto già 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” (si veda il paragrafo “robustezza”): infatti, non solo può sopportare l’abbassamento dell’efficacia del riscaldamento/raffrescamento di una camera, ma addirittura la perdita di capacità di più stanze di riscaldamento/raffrescamento è sopportata senza arrivare ad un minimo critico di condizionamento del sistema. Ovviamente nel calcolo dell’affidabilità non ne è stato tenuto conto.

8.1 Affidabilità

L’analisi del tasso di guasto del sistema complessivo ha restituito un $MTBF_{TOT}$ del sistema pari a 3.152,79 ore il che equivale a circa 4.5 mesi di funzionamento. Da qui si evince che l’impegno per quanto riguarda le ore/uomo di manutenzione, è notevole in quanto, vista la complessità del sistema, se ne suggerisce una rigorosa manutenzione preventiva (periodica).

Il componente più critico è il Fancoil (in tutte le sue sottoparti) che, da solo fornisce poco meno del 57% di tutti i FIT del sistema risultando il più soggetto a guasto e quindi il candidato più probabile ad un’opportuna scorta di magazzino.

8.2 Disponibilità

Nel nostro caso, non essendosi verificati disservizi reali, sono stati valutati solo i tempi di controllo e negazione dei “falsi positivi” che, ribadisco, non hanno incidenza sulla fruizione del servizio ma assorbono comunque risorse per la verifica; è stata quindi stabilita una **disponibilità A= 0.99606** (corrispondente a meno di 6 minuti complessivi nell’arco di una giornata).

8.3 FMECA

Il FMECA individua come principale componente critico entrambi i Gateway che, a fronte di un confortante MTBF di 12.000 ore, qualora dovesse venir meno, provocherebbe una “failure” piuttosto grave al sistema.

9 Riferimenti Bibliografici

9.1 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/4	Logistic Support Analysis
AD03	MIL-STD-1388	2B/1	DOD Requirements for a Logistic Support Analysis Record
RD02	MIL-HDBK-217	F2	Reliability Prediction of Electronic Equipment

9.2 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)

9.3 Bibliografia

- [1] 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
- [2] 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.
- [3] A framework for Cloud-based Smart Home, rivista Computer Science and Network Technology (ICCSNT), 2011 International Conference on (Volume:2) Date of Conference: 24-26 Dec. 2011,pp: 894 - 897

- [4] 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”.
- [5] IEC 62746-2 TR : Systems interface between customer energy management system and the power management system –Part 2: Use cases and requirements
- [6] www.energy-home.it-Energy@home Use Cases-v3.
- [7] 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.

10 Abbreviazioni ed Acronimi

AD	Applicable Document
AOR	Annual Operating Rate
BE	Breakdown Element
BEI	Breakdown Element Identifier
BER	Breakdown Element Revision
BIT	Built in Test
BITE	Built in Test Equipment
CDR	Critical Design Review
CMS	Central Management Software
COTS	Commercial Off The Shelf
CRD	Customer Requirements Document
DEL	Data Element List
DLM	Depot Level Maintenance
DR	Demand Response
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	Internal Document
I/F	Interface
ILS	Integrated Logistic Support
ISO	International Standards Organization
IT	Information Technology
IUA	Item Under Analysis
LAN	Local Area Network
LED	Light Emitting Diode
LORA	Level of Repair Analysis
LRU	Line Replaceable Unit
LSA	Logistic Support Analysis
MAC	Medium Access Control

MC	Maintenance Concept
MDT	Maintenance Down Time
MET	Mean Elapsed Time
MIL-STD	Military Standard (US DoD)
ML	Maintenance Level
MRO	Maintenance, Repair & Overhaul
MTA	Maintenance Task Analysis
MTBF	Mean Time Between Failures
MTBM	Mean Time Between Maintenance
MTTR	Mean Time to Repair
N/A	Not Applicable
o/c	Open Circuit
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	Part Number
PNR	
RD	Reference Document
s/c	Short Circuit
SHN	Smart Homes Network
SI	Structural Item
SMA	Scheduled Maintenance Analysis
SOW	Statement of Work
SW	Software
TBC	To Be Confirmed
TBD	To Be Defined
TBI	To Be Issued
TLM	Telemetry
TSO	Trasmission System Operator – Gestore della rete
TWT	Travelling Wave Tube
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 Svevia 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_petricoli@libero.it
Luogo e data di nascita	Roma, 31/08/1965

ESPERIENZA LAVORATIVA

Periodo	2011 - Oggi
Posizione	Senior Research & Development Manager
Principali attività	<ul style="list-style-type: none"> - 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	<i>Settore: Aerospazio e Difesa</i>
Periodo	2004 – 2011
Posizione	QA and Radiation Manager
Principali attività	<ul style="list-style-type: none"> - 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 <i>radiation analysis</i> e valutazione dell'<i>environment</i> 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	<i>Settore: Aerospazio</i>
Periodo	2000 – 2004
Posizione	System Engineer
Principali attività	<ul style="list-style-type: none"> - Responsabile di attività di RAMS in diversi programmi satellitari tra i 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	<i>Settore: Aerospazio</i>

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 (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