



**UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE
FACOLTÀ DI INGEGNERIA**

**Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile
Management e Sicurezza delle Costruzioni**

**UN APPROCCIO SISTEMICO AL FACILITY MANAGEMENT:
MODELLAZIONE DEI SISTEMI DI ALLARME E SPEGNIMENTO
DEGLI INCENDI**

**A SYSTEMIC APPROACH TO FACILITY MANAGEMENT:
MODELLING FIRE ALARM AND EXTINGUISHING SYSTEM**

Relatore: Chiar.mo

Prof. Ing. Alberto Giretti

Tesi di laurea di:

Martina Fabretti

Correlatori:

Chiar.mo Prof. Ing. Alessandro Carbonari

Prof. Ing. Massimiliano Pirani

A.A 2021 / 2022

Indice

INTRODUZIONE	1
1. IL FACILITY MANAGEMENT	4
1.1 IL RUOLO DEL FACILITY MANAGER.....	5
1.2 EMERGENCY MANAGEMENT	9
2. COMPLESSITÀ NELL'EDILIZIA	16
2.1 SISTEMI COMPLESSI.....	16
2.1.1 SISTEMI OLONICI	19
2.2 INGEGNERIA DEI SISTEMI.....	23
2.3 STATO DELL'ARTE.....	25
2.3.1 LA NASCITA DEL SYSTEM ENGINEERING	25
2.3.2 ESEMPIO DI APPLICAZIONE DELL'INGEGNERIA DEI SISTEMI.....	26
3. FIRE SAFETY ENGINEERING.....	30
3.1 SISTEMA DI ALLARME INCENDIO.....	35
3.2 SISTEMA DI ESTINZIONE INCENDIO	36
4. TECNICHE DI MODELLAZIONE PER IL FIRE SAFETY EMERGENCY MANAGEMENT.....	37
4.1 LINGUAGGI E TECNICHE.....	37
4.1.1 FUNCTIONAL BREAKDOWN STRUCTURE (FBS)	39
4.1.2 SysML	44
4.1.3 FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS (FMEA).....	47
4.2 MODELLAZIONE DEL SISTEMA DI RILEVAZIONE INCENDI.....	50
4.2.1 STRUTTURA E COMPORTAMENTO DEL SISTEMA DI RILEVAZIONE 51	
4.2.2 PRESTAZIONI DEL SISTEMA E LOGICA DI CONTROLLO	56

4.3	MODELLAZIONE DEL SISTEMA DI ESTINZIONE INCENDI	65
4.3.1	STRUTTURA E COMPORTAMENTO DEL SISTEMA DI ESTINZIONE 65	
4.3.2	PRESTAZIONI DEL SISTEMA E LOGICA DI CONTROLLO	70
5.	RISULTATI.....	82
5.1	SISTEMA DI RILEVAZIONE INCENDI	83
5.2	SISTEMA DI ESTINZIONE INCENDI	91
5.3	ANALISI DELLE MODALITÀ DI GUASTO	99
6.	CONCLUSIONE	101
7.	BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA	103

Indice delle figure

Figura 1 – Schema di lavoro del FM	9
Figura 2 - Schema dell'organizzazione del personale all'interno della facility	13
Figura 3 – Componenti di un sistema	24
Figura 4 - Definizione grafica di ASET ed RSET	33
Figura 5 - Andamento dell'incendio	34
Figura 6 - Schema FBS.....	40
Figura 7 - FBS del sistema di sicurezza e allarme antincendio	41
Figura 8 - FBS relativa agli utenti	41
Figura 9 - FBS relativa alle squadre di soccorso	42
Figura 10 - FBS relativa alla struttura	42
Figura 11 - FBS relativo all'impianto di ventilazione	43
Figura 12 - FBS relativo all'impianto elettrico	43
Figura 13 - FBS relativo all'attività di manutenzione.....	44
Figura 14 - Diagrammi della tassonomia SysML.....	46
Figura 15 - Flusso tipico di un'analisi FMEA	50
Figura 16 - Esempio di rivelatore fisso	51
Figura 17 - Pulsante di segnalazione incendio	52
Figura 18 - Cartello di segnalazione del pulsante di allarme	52
Figura 19 - Centrale di rivelazione incendi	53
Figura 20 - Alimentazione della sorgente di riserva (batteria)	54
Figura 21 - Sirene antincendio.....	54
Figura 22 - Targa luminosa antincendio.....	55
Figura 23 - Schema grafico degli elementi del sistema antincendio	56
Figura 24 - Naspo antincendio.....	66
Figura 25 - Idrante antincendio	67
Figura 26 - Schema di impianto sprinkler a secco.....	68
Figura 27 - Foto di impianto sprinkler a secco	68
Figura 28 - Valvola sprinkler, erogatore a soffitto	69
Figura 29 - Tipologie di estintori.....	70
Figura 30 - Tabella I.....	80

Figura 31 - Modello dei componenti	84
Figura 32 - Modello dei tipi.....	86
Figura 33 - Modello dei requisiti	88
Figura 34 - Modello funzionale	90
Figura 35 - Modello dei componenti	92
Figura 36 - Modello dei tipi.....	94
Figura 37 - Modello dei requisiti	96
Figura 38 - Modello funzionale	98
Figura 39 - Tabella Fmea relativa alla figura degli occupanti nel caso di rilevazione incendio	100

INTRODUZIONE

Il costante sviluppo, nonostante l'introduzione della tecnologia nel processo edilizio, ha messo in evidenza le difficoltà di gestione della facility e dato sempre maggiore importanza alla figura del Facility Manager. La gestione delle emergenze è definita dal D. Lgs 81/08 contenente le linee guida del testo unico in materia di salute e sicurezza sul lavoro. Il piano di emergenza è proprio quell'insieme di misure straordinarie, procedure e azioni da attuare per poter affrontare e ridurre danni che possono derivare da eventi pericolosi e poco frequenti. Il ruolo del Facility Manager diventa strategico nell'ottica in cui è necessario preparare la struttura e il personale ad un evento straordinario. Tale gestione dell'emergenza può essere semplice nel caso di piccole strutture ma può rivelarsi complessa nella gestione di grandi facility. Per questo motivo è necessaria una figura esperta e preparata come quella del FM che faccia la differenza sulla progettazione, costruzione, manutenzione e che sia in grado di elaborare un piano delle emergenze, stabilire la formazione del personale, organizzare simulazioni ed elaborare una pianificazione post-emergenza. Solo grazie all'introduzione della tecnologia è possibile questo processo di gestione avanzata di un sistema complesso come quello edilizio.

Il processo di digitalizzazione delle informazioni si è reso necessario con l'introduzione della serie UNI 11337 in quanto la filiera delle costruzioni è caratterizzata da una intensa produzione di dati e informazioni interconnessi ma riguardanti una pluralità di prassi, discipline e saperi differenti. Questa eterogenea quantità di dati è diventata gestibile solo grazie ad un passaggio alla digitalizzazione dei processi informativi. La metodologia BIM (Building Information Modeling) rappresenta l'elemento centrale di questa rivoluzione, convertendo in un flusso di lavoro model-based ciò che da sempre si è basato su documenti (document-based). Il BIM non è un semplice software ma una metodologia di lavoro attraverso cui è possibile simulare la realtà, modellare i parametri, trasferire e collezionare informazioni sull'intero processo al fine di ridurre tempi, costi e rischi. Attraverso tale strumento si è inoltre in grado di monitorare nel tempo l'andamento di selezionati parametri del cespite immobile e quindi fare simulazioni.

Una rappresentazione digitale aggiornata di un asset fisico in esercizio è chiamata digital twin. Questo tipo di concetto presuppone tre componenti: oggetto fisico, oggetto virtuale e

l'insieme dei flussi di dati dall'uno all'altro che mantengono aggiornato il modello virtuale rispetto alla realtà. Il digital twin non è solo simulazione ma un alter ego virtuale di un oggetto reale basato anche su formule e algoritmi derivanti dal corrispondente fenomeno reale che si ha modo di rilevare e riportare nel virtuale. Tale studio porta a perfezionare iterativamente il modello di funzionamento simulato rendendo nel tempo la previsione di comportamento più attendibile. Il digital twin nasce per analizzare e comprendere il comportamento di un componente, un sistema o insieme di sistemi complessi al fine di decidere se e come intervenire ottimizzando il progetto, i prodotti o i processi sottesi all'entità analizzata. È uno strumento che, in mano ad un FM, fornisce importanti informazioni per poter ottimizzare la gestione e lo sviluppo di una facility.

Il sistema edilizio è un sistema complesso e di difficile gestione a causa delle dimensioni e della quantità di informazioni prodotte, da immagazzinare ed elaborare. Questa complessità deve essere spaccettata per poter essere catalogata e letta. La normativa UNI fornisce le indicazioni da dover rispettare nella progettazione e manutenzione. Tuttavia, è complicato gestire tanti aspetti che sono rintracciabili in una moltitudine di documenti diversi e che devono essere interpretati come requisiti. A questa prima difficoltà va aggiunta anche quella della gestione nel tempo, in quanto una facility muta le sue caratteristiche.

Per trovare una soluzione ottimale ad un problema specifico senza far intervenire una persona esperta sul tema, oggi si ricorre all'aiuto di sistemi esperti che siano in grado di mettere in atto autonomamente procedure di interferenza adeguate alla risoluzione di problemi. I sistemi esperti rientrano nel mondo dell'intelligenza artificiale in quanto riescono a dedurre nuovi fatti a partire da una serie di informazioni e regole note.

Con il presente lavoro di tesi si intende definire una procedura per l'analisi della normativa in riferimento ai sistemi di allarme e di estinzione incendio, che sono parte del sistema complesso di una facility, che possa essere utilizzata per lo sviluppo di sistemi esperti come ausilio nella gestione delle emergenze nel Facility Management.

La metodologia utilizzata si è basata su una prima fase di analisi concettuale dell'emergenza incendio attraverso uno studio delle funzioni e l'individuazione delle componenti che ha portato alla creazione di FBS (Functional Breakdown Structure); un secondo step ha visto la trasposizione delle conoscenze in SysML (System Modeling Language) con l'ausilio del

software Modelio 5.1 grazie al quale è stata possibile l'implementazione delle informazioni relative a ciascun componente del sistema studiato; infine, una volta note le funzioni si è voluto analizzare le modalità di guasto del processo utilizzando la metodologia FMEA (Failure Mode and Effect Analysis).

Sono stati sviluppati molteplici schemi FBS a partire dallo scenario di incendio in cui sono state individuate le componenti coinvolte nel caso di studio.

Successivamente si è scelto di modellare in SysML i due sistemi di rilevazione ed estinzione incendio per ciascuno dei quali sono stati prodotti modelli relativi ai componenti, alle tipologie di componenti, ai requisiti e alle funzioni.

Infine, è stata analizzata l'interazione tra gli occupanti e il sistema di rilevazione incendi per creare una tabella FMEA che valutasse le modalità di fallimento del sistema.

La ricerca svolta ha sottolineato un vantaggio nella facilità e velocità di reperire le informazioni appartenenti ad un elemento del sistema grazie alla modellazione, cosa che oggi risulta ancora lenta in quanto fondata su un approccio document-based.

1. IL FACILITY MANAGEMENT

Il facility management ha lo scopo di organizzare le risorse, gli asset e le persone che fanno parte di un determinato business al fine di ottimizzarne il risultato. Più discipline assicurano la funzionalità dell'edificio attraverso la connessione tra persone, luoghi, processi e tecnologia.

Le principali funzioni del facility management sono:

- Pianificazione
- Organizzazione
- Gestione del personale
- Gestione delle procedure
- Controllo
- Valutazioni

Tutte queste funzioni guardano molteplici aspetti di un business, infatti, per poter avere un risultato ottimale possono essere applicate a diversi ambiti tra cui:

- Amministrazione dei locali in affitto o outsourcing
- Pianificazione dello spazio necessario
- Pianificazione dell'ampliamento e della gestione delle strutture
- Gestione degli spazi di lavoro
- Gestione del budget e dei costi
- Acquisizioni
- Sostenibilità
- Gestione del progetto di costruzione
- Spostamento, aggiunta, cambio della gestione
- Gestione delle operazioni, manutenzione e riparazioni

- Gestione delle tecnologie (come far entrare la tecnologia nella gestione dei processi)
- Gestione delle emergenze
- Gestione della sicurezza e salvaguardia della vita
- Servizi di amministrazione generale

Tutto questo si può riassumere in una accurata pianificazione del lavoro e degli eventi che tenga conto di ogni dettaglio. Perché? Questo ha un grande impatto a livello di costi: quando parliamo di costi si fa riferimento ad ogni fase del processo:

- Prima: la pianificazione ha un proprio costo;
- Durante: mettere in atto ciò che si è pianificato ha un costo sia a livello di preparazione e adeguamento delle attrezzature e del personale, per esempio attraverso delle esercitazioni e prove periodiche;
- Dopo: costi di recupero per poter tornare ad un livello “normale”;

Il facility management è tutto ciò che riguarda la connessione tra l’edificio e le persone, si trasforma in gestione ottimizzata di tutto ciò che è racchiuso dall’involucro (e non solo) al fine di far uscire da esso il miglior risultato possibile. La figura del facility manager è quella di colui che attraverso la conoscenza, la ricerca, lo studio e la preparazione riesce ad organizzare, gestire, mettere in comunicazione tutti gli aspetti del business.

1.1 IL RUOLO DEL FACILITY MANAGER

Elemento critico è capire il ruolo chiave del facility manager: se prima era visto come un tecnico esperto in grado di parlare un linguaggio da “facility manager” e questo era ritenuto sufficiente, oggi deve essere visto come un leader d’affari che aiuta la compagnia ad avere una visione strategica della struttura e i suoi impatti sulla produttività. Le caratteristiche della figura tipo saranno le seguenti:

- Leader d’affari
- Pianificatore strategico del business ed esecutore

- Raccoglitore di risorse
- Manager finanziario
- Portavoce e avvocato
- Agile acquirente, locatore e appaltatore con una grande attenzione per l'etica
- Responsabile delle informazioni
- Ambientalista
- Networker
- Mentore
- Innovatore
- Amante del rischio
- Un sopravvissuto

Nel tempo è stata sviluppata una filosofia della gestione della facility che dovrebbe essere nota al FM per capire a pieno il suo ruolo. Al centro di tutto c'è l'importanza del core business di un'azienda e il FM, che ha il compito di gestire l'organizzazione, ha molta importanza nel prendere decisioni che avranno quindi impatti forti sotto vari punti di vista: sicurezza delle persone e dei lavoratori, costi, servizi. Tutto questo a cascata produce delle responsabilità: il FM deve essere in grado di delegare le sue funzioni ma solo dopo averle propriamente insegnate. È per questo che il FM deve possedere un grande NOAU e una visione generale così da poter suddividere i vari compiti e delineare le figure responsabili e di riferimento.

Ci deve essere una consapevolezza dei costi in riferimento a tutto.

Bisogna saper riconoscere delle buone idee e metterle in pratica; allo stesso tempo se una cosa non funziona bisogna avere il coraggio di cambiarla. Va ricordato sempre se che una proposta ragionevole e immediata è meglio di un'attesa in previsione di un'analisi per poter prendere la decisione più giusta (quindi va bene pianificare ed essere prudenti, ma se una decisione è buona è sempre meglio che rimanere fermi).

Altro punto importante sono le relazioni: il FM deve saper coltivare relazioni a lungo termine sia internamente al suo business che al di fuori di esso e saper costruire il lavoro di squadra.

Bisogna sapere sempre individuare le esigenze del cliente finale perché alla fine sono solo quelle che detteranno i termini del servizio da offrire.

Al fine di agire meglio e più consapevolmente il FM dovrebbe far riferimento ai GRANDI 12: dei punti chiave da seguire che potranno essere la tabella di marcia del suo lavoro:

- 1) Mandare avanti e aggiornare regolarmente le valutazioni sia delle strutture fisiche che delle operazioni in svolgimento;
- 2) Misurare! Misurare! Misurare!
- 3) Sviluppare un piano di gestione delle strutture da cui partire con tutta la pianificazione semestrale ed annuale. Nell'ambito del piano generale, prevedere un piano di ricapitalizzazione che ricopra almeno i successivi 10 anni;
- 4) Fare in modo che l'organizzazione sia corretta. Non confondere il personale con l'organizzazione;
- 5) In tutti i casi tranne quelli speciali, il personale sarà una miscela di personale, appaltatori e consulenti per ridurre al minimo i costi e massimizzare la flessibilità;
- 6) Istituire un programma di qualità basato sul cliente che preveda l'uso di diversi mezzi al fine di ottenere le richieste del cliente;
- 7) Individuare le informazioni di cui si ha bisogno per la gestione e poi sviluppare un sistema automatico che la trovi la soluzione. Il suo sistema di informazioni per la gestione della struttura dovrebbe essere basato sul budget;
- 8) Creare un piano di business della struttura che possa alimentare il piano di business della compagnia anche se inizialmente sarà respinto dai manager aziendali. Utilizzare i criteri e il sistema aziendali per prendere decisioni finanziarie;
- 9) Mostrare i risultati! Le aziende non pagano per buone intenzioni e piani. Visualizzare la propria sezione come un business della compagnia;

10) Utilizzare contratti innovativi. Per situazioni diverse da quelle contrattuali, la contrattazione per l'offerta più bassa comporterà risultati insoddisfacenti. Collaborare con gli appaltatori e consulenti ma richiedere che svolgano il lavoro solo se hanno intenzione di continuare a lavorare con l'azienda;

11) Avere un piano annuale per le relazioni pubbliche che sia rivolto ad ognuno dei sostenitori individuati;

12) Ottenere l'impegno della direzione per una buona gestione delle strutture. Tu, e solo tu (FM), puoi ottenerlo. Ne vale la pena.

Il facility manager è un ruolo chiave del business che ha impatto non solo nei guadagni e costi, ma anche nella produzione, nella qualità della vita degli impiegati, nella salute e sicurezza dei lavoratori, nell'ambiente di lavoro e sempre di più nella scelta del personale e nella loro intenzione a rimanere.

I temi principali del facility management sono:

- Il costo delle proprietà
- Il costo del ciclo di vita
- Integrazione di servizi
- Progettazione delle azioni, manutenzioni e sostenibilità
- Delega delle responsabilità
- Efficacia delle spese
- Miglioramento dell'efficienza
- Qualità della vita
- Integrazione di elementi
- Ridondanza e flessibilità
- Strutture come risorse
- Facility manager come parte del business

- FM come un lavoro continuo, un flusso
- Servizi
- Contratti

Il modo di operare del FM dovrebbe seguire il seguente schema:

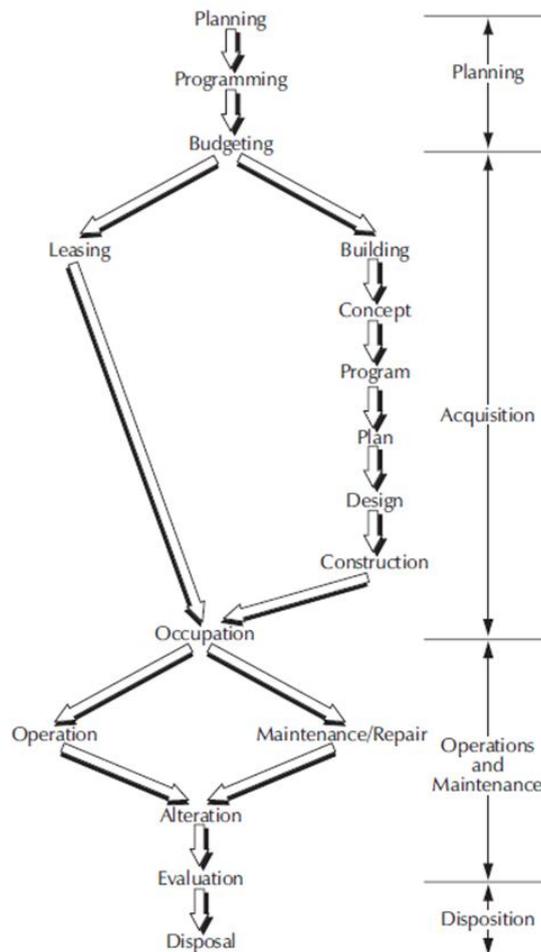


Figura 1 – Schema di lavoro del FM

1.2 EMERGENCY MANAGEMENT

In alcune aziende, in generale in quelle con una organizzazione più piccola, la persona individuata come facility manager è anche l'emergency manager.

L'emergency manager è la figura che ha il compito di saper gestire un'emergenza di qualsiasi tipo. Saper gestire l'emergenza significa non solo essere in grado di prendere decisioni esatte

nel momento in cui l'emergenza si verifica ma soprattutto aver previsto il verificarsi di un determinato scenario e aver adeguatamente preparato le persone ad agire consapevolmente e con coscienza durante un momento di emergenza.

La definizione che viene data dell'EM è la seguente: "La gestione delle emergenze è la funzione manageriale incaricata di creare il quadro entro il quale le comunità riducono la vulnerabilità ai rischi e affrontano i disastri".

I punti principali che riguardano l'emergency management sono:

- Pensare al di fuori degli schemi per sviluppare soluzioni alle sfide;
- La priorità è la salvaguardia della vita umana;
- Essere informati sulle ultime tecniche di preparazione in caso di emergenza;
- Condividere il piano di gestione delle emergenze;
- Essere sempre preparati allo scenario peggiore;
- Aspettarsi l'imprevedibile;
- Prevedere una gestione della comunicazione in caso di emergenze.

Cosa viene effettivamente considerato emergenza? Esempi comuni di ciò che può essere classificato come un'emergenza sono uragani, tsunami, nevicate e tempeste di neve, alluvioni, sparatorie, epidemie, incendi o terremoti.

Le cause possono essere attribuite all'intervento dell'uomo (violenze, terrorismo, bombe, attacchi chimici, ecc.), a cause naturali (condizioni climatiche o ambientali) o ad emergenze di natura tecnologica (interruzioni delle comunicazioni e degli impianti).

La mentalità diffusa è quella del "non succederà mai qui". Invece queste sono situazioni già avvenute, imprevedibili e che possono sempre accadere.

Un buon piano dovrebbe essere completo, attentamente preparato, esercitato e simulato. Rilevante importanza ha l'esercitazione così da allenare le persone a rispondere adeguatamente in caso di pericolo. Diversi enti (NOAA e BSC) hanno sviluppato dei modelli su cui basarsi per stabilire l'entità dell'emergenza. Tale piano può essere modificato a

seconda delle situazioni e del tipo di emergenze che si prendono in considerazione. Ad ogni modo un buon piano dovrebbe essere pensato in 2 step:

- 1) Pensare in termini di prevenzione e attraverso quello mitigare i possibili effetti di un evento;
- 2) Preparare un piano adeguato all'emergenza da affrontare e stabilire un'adeguata linea da seguire nelle fasi di recupero.

Il modo in cui procedere prevede l'individuazione delle potenziali emergenze, in seguito si passa alla valutazione basata sulla probabilità di accadimento dell'evento, l'effetto sulle persone, l'impatto sulla proprietà, l'impatto sul business, la valutazione di quali sono le risorse coinvolte (interne/esterne) e attribuendo una valutazione ad ognuna di queste voci è possibile andare a determinare una rilevanza delle emergenze.

Stabilire un piano per le emergenze è un procedimento continuo che ha bisogno di costanti aggiornamenti in base alle esigenze che cambiano. Un buon piano prevede una metodologia di risposta a qualsiasi emergenza e deve essere composto da una MISSIONE, delle ASSUNZIONI assodate, da RISORSE, una ORGANIZZAZIONE ben delineata, lo schema di DECENTRALIZZAZIONE delle responsabilità, SEMPLICITÀ che serve a rendere il piano chiaro ed evitare errori, FLESSIBILITÀ e COORDINAZIONE.

Il piano deve essere stabilito in accordo con l'organizzazione del business. Un buon piano non si misura nella sua grandezza ma nella sua qualità delle informazioni contenute. Gli step sono i seguenti:

- 1) Individuare il responsabile della gestione del team delle emergenze
- 2) Organizzazione del team
- 3) Definire lo scopo del piano e il risultato finale
- 4) Definire le aree e le funzioni di interesse del piano
- 5) Stabilire le procedure attraverso l'utilizzo delle milestone così da capire a che punto dell'emergenza collocarsi
- 6) Identificare i servizi essenziali del business per metterli al primo posto nel piano

- 7) Effettuare una revisione del piano esistente ed integrarlo con le nuove conoscenze
- 8) Condurre una valutazione del rischio
- 9) Identificare le risorse che dovranno essere reperite esternamente
- 10) Stabilire le risorse finanziarie ed un budget
- 11) Stabilire una adeguata assicurazione
- 12) Modificare il piano secondo le necessità

In caso di emergenza la preparazione di tutte le persone coinvolte renderà gli effetti meno impattanti. Questo è il motivo per il quale tutti i lavoratori, e quindi il personale, è bene che sia adeguatamente informato e possibilmente preparato alla reazione alle emergenze.

Questo implica comandi, controllo e comunicazione da parte del team di facility management. È necessario costruire un piano attraverso una documentazione: la produzione di materiale che possa rimanere interno all'azienda e fruibile dai dipendenti è un investimento nel futuro. Questo sicuramente è un grande dispendio di energie e costo ma rimarrà un asset dell'azienda che potrà essere solamente aggiornato a seconda dei nuovi sviluppi e delle necessità. La mancanza di documentazione e istruzioni precise potrebbe generare il caos.

La gerarchia delle autorità in caso di emergenza dovrà essere prestabilita per avere una determinata successione delle responsabilità. Chiunque sia al comando verrà definito come il responsabile del successo o dell'insuccesso dell'organizzazione. In questa catena del comando il facility manager è a capo in sede fino a che, in genere, non interviene un'autorità governativa locale.

In caso di emergenza questo dovrebbe essere lo schema che definisce come opera l'organizzazione:

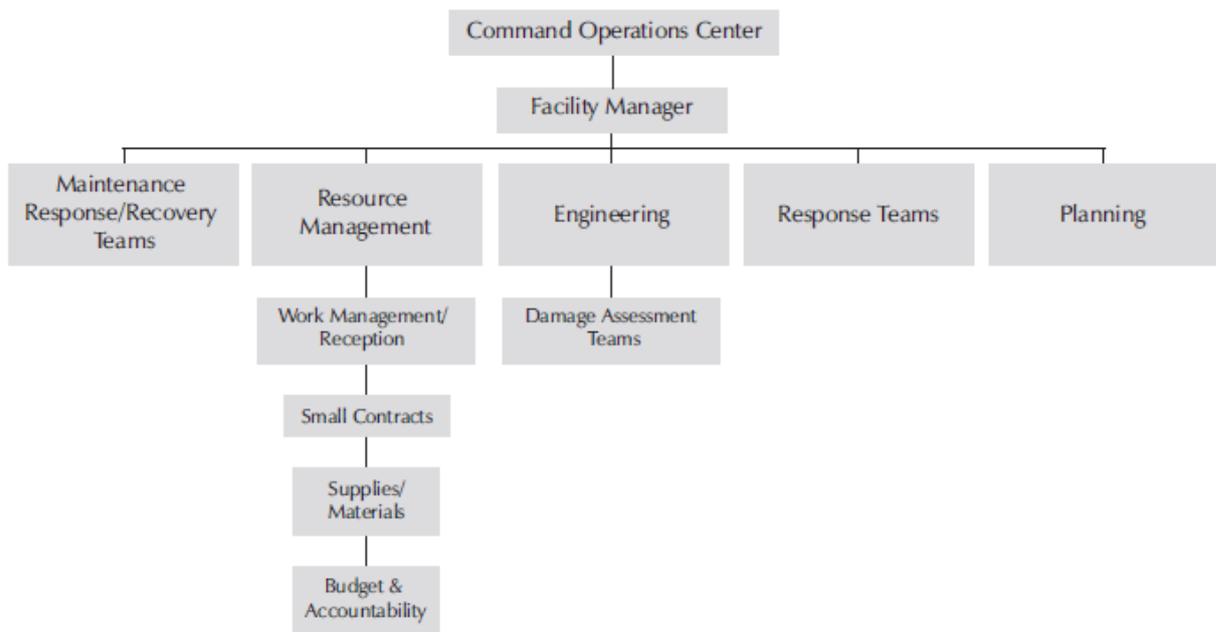


Figura 2 - Schema dell'organizzazione del personale all'interno della facility

Per creare questa struttura ci sono degli strumenti e delle informazioni necessarie:

- Almeno due postazioni di lavoro con dei computer collegati al server centrale
- Luci di emergenza;
- Copie del piano di emergenza precedentemente creato;
- Piante dell'edificio, in particolare quelle dell'esecutivo;
- Attrezzatura per la comunicazione: telefoni, radio, cellulari, e-mail;
- Sala conferenze con una mappa dell'edificio, tv via cavo, lavagne.

Per realizzare questo piano delle emergenze c'è bisogno di stimare un budget ed è possibile già determinare un costo minimo grazie alla FEMA che dichiara che il costo minimo per sviluppare questo sistema è di circa 10 euro/mq.

Il ruolo dell'emergency manager è dunque centrale: è suo il compito di creare una squadra efficiente e generare una fiducia generale per far sì che ognuno confidi nei propri colleghi. Per costruire questa fiducia c'è bisogno di mettere alla prova il personale e formarlo. Sono necessarie, per esempio, delle riunioni annuali cosicché le persone inizino a capire

l'importanza della comunicazione e del lavoro di squadra e che potrebbero diventare poi più assidue. C'è bisogno di preparare una procedura dell'emergenza così da poterla divulgare ai membri del team, coordinare le informazioni necessarie e informare il personale con dei briefing. Inoltre, va gestita anche l'organizzazione esterna come l'intervento di associazioni o enti esterni. Vanno indentificati i servizi critici e le operazioni che sono necessarie in caso si verifichi una situazione di emergenza e immediatamente terminata quest'ultima. Vanno analizzate quali sono le risorse interne che in caso di emergenza possono essere sfruttate. Vanno create delle check list in riferimento ai sistemi elettrici, meccanici e strutturali di ogni struttura che dovranno essere controllate in caso di pericolo. In caso di emergenza potrebbero esserci interruzioni di energia e ci sarebbe la necessità di riadattarsi attraverso una nuova fornitura che dovrebbe essere già stabilita dal piano delle emergenze.

Il piano delle emergenze andrebbe sempre aggiornato e per questo è importante il reparto del facility management.

Altro aspetto molto importante in caso di emergenza è quello della comunicazione. Anche tale aspetto andrebbe gestito a priori. Al giorno d'oggi siamo tutti abituati a comunicare istantaneamente grazie all'uso della tecnologia e tale strumento dovrebbe essere utile anche in casi specifici come quello delle emergenze. Per questo è importante creare un piano di gestione della comunicazione:

- Da una parte c'è la comunicazione verso l'esterno che è bene sia gestita da personale autorizzato a parlare per conto dell'organizzazione; questo è necessario sia nei confronti dei fornitori, appaltatori, clienti ma anche nei confronti dei media;
- Bisogna anche far riferimento alla comunicazione interna in quanto il personale deve essere aggiornato su cosa sta succedendo all'interno dell'azienda

È sempre ruolo dell'emergency manager riuscire a preparare il personale in caso emergenza e questo è possibile con degli allenamenti e delle simulazioni che sviluppino una confidenza in caso di particolari condizioni. Il piano si basa sulla qualità delle procedure e non sulla quantità di azioni da attuare. È alta la probabilità che non venga letto tutto il piano dallo staff e che ci si trovi impreparati. Avere un buon piano non è abbastanza, il FM deve fare in modo che il team ne sia a conoscenza, lo metta in pratica e in questo modo possono anche essere valutate eventuali lacune. Solo in questo modo si arriverà al successo. La preparazione è

un'assicurazione in caso di emergenza in quanto bisogna basarsi sulle vulnerabilità per poter preparare un buon piano di azione. Tale piano deve basarsi in primis sulla probabilità di accadimento di un determinato scenario e in secondo luogo sull'impatto di tale situazione a livello economico. Non avrebbe senso, infatti, investire grandi somme sulla prevenzione di un evento che ha poche probabilità di accadimento. Pertanto, gli step che dovrebbero essere seguiti per costituire un buon piano sono i seguenti:

- Determinare le circostanze in cui c'è necessità del piano tenendo conto delle persone coinvolte, le strutture, la normativa e la continuità del core business;
- Valutazione dei requisiti e della loro rilevanza;
- Preparare un piano suddividendo la parte preliminare di preparazione alle emergenze, la fase dell'emergenza stessa e infine la parte di recupero nel post-emergenza;
- Analizzare e modificare il piano esaminandolo dettagliatamente anche con l'aiuto di agenzie esterne;
- Mettere in atto il piano pubblicandolo; è bene stampare il piano per poter avere più copie ma soprattutto per poter confrontare le successive modifiche del piano e capire come e perché è stato modificato;
- Provare il piano con delle simulazioni alla fine delle quali sarà importante capire cosa è stato svolto correttamente e cosa no quindi cosa deve essere modificato.

Anche attraverso il piano delle emergenze si attua il compito del FM nella riduzione del rischio. Non tutti i rischi possono essere mitigati e ridotti, una certa parte del rischio andrà comunque accettata.

2. COMPLESSITÀ NELL'EDILIZIA

L'edilizia viene oggi definita come l'attività volta alla costruzione e alla manutenzione di edifici. Dietro a questa semplice definizione si nasconde però un concetto molto più articolato in quanto è possibile considerare l'edilizia come un sistema composto da tanti sottosistemi più piccoli. In parte i professionisti del settore cercano di andare a creare un confine a questo grande sistema edile attraverso l'introduzione di normative per la corretta esecuzione di ogni pratica. Tuttavia, l'edilizia è composta da asset fisici, da processi, da funzioni correlate ai sottosistemi che compongono tutto il complesso edilizio e da persone ed ognuno di questi elementi interferisce l'uno con l'altro. Questo può essere sicuramente definito un *sistema complesso* in cui ogni sottosistema ha le sue caratteristiche e le sue funzioni ma allo stesso tempo assume significato e il giusto impiego solo quando prende parte all'insieme. Per cercare di semplificare e gestire tale sistema occorre interpretare il processo edilizio come sistema complesso ma unitario che deve per questo essere analizzato ed approfondito in ognuno dei suoi aspetti costitutivi per poter arrivare alla formulazione di linee guida di facile applicabilità e diffusione. In questa di logica di “problema dentro al problema” è utile studiare, identificar e mappare l'intero sistema attraverso l'ingegneria dei sistemi così da andare ad indentificare in maniera migliore ogni parte che compone il sistema edilizio e capire dove possono sorgere criticità.

2.1 SISTEMI COMPLESSI

“Un Sistema Complesso Adattivo (SCA) è un sistema aperto, formato da numerosi elementi che interagiscono tra loro in modo non lineare e che costituiscono una entità unica, organizzata e dinamica, capace di evolversi e adattarsi all'ambiente”. [8]

Un sistema complesso può essere definito come un sistema dinamico multicomponenti e quindi composto da più sottoinsiemi che interagiscono tra loro in modo non lineare. Maggiore è la quantità dei componenti e delle funzioni di ciascuna di esse e maggiore sarà la complessità del sistema globale. Pertanto, la complessità di un sistema non è una sua proprietà intrinseca, ma si riferisce sempre ad una sua descrizione; dipende, quindi, sia dal modello utilizzato nella descrizione sia dalle variabili prese in considerazione. La teoria della

complessità, che studia i sistemi complessi, si prefigge lo scopo di conoscere i comportamenti dei sistemi complessi e la natura delle relazioni tra le componenti. Tuttavia, è chiaro che il problema per essere risolto deve essere anche ben formulato. Ciò implica che se non sussiste tale condizione necessaria esso è mal posto e potrebbe non avere soluzione o quest'ultima essere addirittura sbagliata. Problemi semplici, di norma, hanno soluzioni semplici, problemi complessi, soluzioni complesse. In numerosi scritti filosofici G. W. Friedrich Hegel (1770 - 1831), utilizza il termine "sistema" le cui caratteristiche sono quelle di essere un intero integrato in cui:

- l'intero è più della somma delle sue parti;
- l'intero definisce la natura delle parti;
- le parti non possono essere comprese studiando l'intero;
- le parti sono interconnesse dinamicamente e interdipendenti. [9]

Pochi concetti che ben descrivono un sistema complesso nella sua interezza e difficoltà di comprensione.

Una delle caratteristiche riscontrate dei sistemi complessi è l'auto-organizzazione cioè la capacità manifestata da alcuni sistemi, formati da molteplici elementi che interagiscono tra loro, di sviluppare strutture ordinate da situazioni caotiche. Questi sistemi sono capaci di creare organizzazione e strutturazione facendo crescere la complessità interna anche quando i singoli elementi del sistema si muovono in modo autonomo ed in base a regole puramente locali. Secondo una definizione data da Klir: "un sistema auto-organizzante è un sistema che tende a migliorare le sue capacità nel corso del tempo organizzando meglio i suoi elementi per raggiungere l'obiettivo". Si tratta di sistemi orientati all'obiettivo, capaci di migliorare le loro prestazioni, senza un aiuto esterno. [10] In questa ottica di evoluzione e auto-organizzazione derivata dall'unione dell'insieme c'è un'interazione tra i singoli componenti che determina il comportamento globale del sistema e che di per sé può non appartenere ad alcuno degli elementi nello specifico: questo atteggiamento è chiamato comportamento emergente. Esalta come sia importante la visione contemporanea dettagliata e complessiva dell'intero sistema che solo così assume un significato completo.

La teoria dei Sistemi Complessi, oggi, si sta facendo largo con forza come campo interdisciplinare crossborder capace di offrire un tool per analizzare sistemi eterogenei anche

non strettamente fisici. La stessa globalizzazione ha prodotto un mondo fortemente interrelato dove i confini tra fisico e virtuale non sono più chiari. La forte interconnessione e la comunicazione informativa realtime rendono il mondo estremamente dinamico e soggetto a comportamenti non lineari.

Per meglio comprendere la difficoltà che può essere riscontrata nello studio di sistemi complessi si può fare riferimento ai concetti di razionalità assoluta e razionalità limitata. La prima fa riferimento ad un modello di razionalità che suppone che l'individuo, nel prendere decisioni, sia in grado di prevedere e controllare, in maniera lineare ed esaustiva, tutte le possibili variabili incidenti nel processo. La seconda, la razionalità limitata è quella che interessa nel caso di sistemi complessi: un modello che suppone che l'individuo, nel prendere decisioni, non sia in grado di prevedere e controllare, in maniera lineare ed esaustiva, tutte le possibili variabili incidenti nel processo. L'esistenza di questi due modelli richiede all'operatore del processo decisionale, che in questo caso è possibile individuare nella figura del facility manager, di ragionare in termini di produttività ed efficienza o di qualità ed efficacia. Il FM sarà per istinto guidato da un criterio di ottimizzazione alla ricerca della soluzione migliore in assoluto nel caso di razionalità assoluta, mentre seguirà il criterio della soddisfazione ricercando la soluzione migliore possibile nel caso di razionalità limitata. L'idea di razionalità limitata fa riferimento a un modello di essere umano non idealizzato, bensì ancorato al proprio contesto. Egli è dotato di una mente limitata, incapace di prevedere tutto, orientata a trovare soluzioni ottimali, accettabili e adeguate alle situazioni. La mente umana, a causa di proprie oggettive limitazioni che rendono impossibile completezza informativa e capacità di esattezza previsionale, non è in grado di trovare soluzioni ottimali ai problemi; per cui le scelte sono effettuate in base a criteri della specifica razionalità, locale e contingente, che è propria dell'operatore in un momento e in un contesto determinato e che lo induce ad adottare non la soluzione migliore in assoluto, ma quella soluzione che per lui, in quel momento e in quel contesto, si mostrerà la più soddisfacente [12]. L'ipotesi è che il discorso sulla razionalità si colleghi a quello sulla progettazione sia nei termini di una relazione fondante, che spieghi i motivi di un modo di agire progettuale facendo riferimento all'uno o all'altro modello di razionalità, sia in quanto dimensione applicativa del progetto che, in base alla razionalità a cui fa riferimento, assume caratteristiche specifiche. Il concetto di razionalità costituisce il nucleo centrale di ogni discorso sul progetto e di ogni possibile

metodologia della progettazione. Parlare quindi di progettazione e/o di metodo progettuale significa fundamentalmente parlare di razionalità. Il confronto con ambiti complessi, in cui non sia possibile non tenere conto degli imprevisti e quindi della dimensione dell'incertezza, pone il progettista di fronte alla necessità di orientare idee, azioni e risorse secondo un modello di razionalità limitata, al fine di tenere in effettiva considerazione non solo il contesto, ma anche gli individui, le loro interazioni e i possibili cambiamenti che essi possono determinare. [11]

2.1.1 SISTEMI OLONICI

La progettazione delle odierne organizzazioni, come quella dell'edilizia, nell'attuale contesto storico caratterizzato da rapidi progressi tecnologici ed informatici, globalizzazione, affermazione della conoscenza e della informazione come risorsa critica, con crescenti aspettative professionali dei lavoratori e più elevate esigenze di risposta dei clienti, richiedono l'allontanamento da schemi rigidi e gerarchici verso forme più flessibili e collaborative. La percezione di un ambiente prevedibile e ordinato in cui si doveva solo mantenere la stabilità ha funzionato bene nell'era industriale; al giorno d'oggi la stabilità non è l'ordinario ed il mondo è pervaso da incertezza, sorpresa, rapidi cambiamenti e confusione. Non è più possibile per nessun manager prevedere o controllare con i metodi tradizionali gli eventi interni ed esterni alle organizzazioni. Per questo molte strutture si stanno modificando verso flessibilità, decentralizzazione, collaborazione orizzontale e diffusa condivisione dell'informazione. Sempre di più i confini fra le organizzazioni diventano labili nella necessità di compartecipare al sapere attraverso organizzazioni virtuali o modulari. L'evoluzione va verso la creazione di nuove strutture denominate "organizzazioni che apprendono" (learning organizations), che sviluppano pratiche volte a promuovere la comunicazione in modo da generare conoscenze in grado di assicurare all'organizzazione stessa una migliore capacità di adattamento e di risposta al caos dell'ambiente esterno. Per questo un'organizzazione deve riuscire a realizzare modelli e conoscenze condivise, predisponendosi ad utilizzare nuove conoscenze apprendendo dalle esperienze passate e dagli altri, al fine di trarre beneficio dagli errori e dai successi perseguiti, allargando così gli spazi di apprendimento all'ambiente esterno; infine diffondendo con

tempestività ed efficacia i risultati dell'apprendimento, per una loro condivisione con quanti operano nella organizzazione. Apprendere non significa solo assimilare concetti ed accrescere le proprie conoscenze, ma anche mettere in moto un processo di esplorazione e sperimentazione di nuovi comportamenti, di ricombinazione del proprio patrimonio conoscitivo, attivare nuove esperienze con il valore essenziale della capacità di risolvere i problemi, mentre l'organizzazione tradizionale è progettata solo per operare in modo efficiente. In molti casi questo modo di operare si può raggiungere solo attraverso il rapporto fra imprese e quindi fra organizzazioni soprattutto quando imprese diverse si trovano obbligate ad operare sulla stessa catena del valore. Di conseguenza cooperazione e fiducia fra organizzazioni sono i nuovi cardini della impresa virtuale e delle learning organization. L'apprendimento organizzativo è proprio quel processo di crescita delle conoscenze e delle competenze di una organizzazione, che consente di creare delle situazioni di sinergia tra le diverse parti della struttura organizzativa tali che il valore del sistema deve essere maggiore della somma delle singole parti. Gli obiettivi presentati si possono ottenere attraverso nuovi modelli costituiti da reticoli di persone motivate, capaci di perseguire obiettivi precisi, dotate di forte autonomia operativa che provengono da articolazioni o da organizzazioni lavorative diverse. La tipologia di sistema organizzativo che più di ogni altro potrebbe essere in grado di soddisfare gli obiettivi sopra fissati è costituita dal sistema olonico. Come indica l'etimologia greca del termine olon (ολον), cioè "tutto", il sistema olonico è, infatti, un sistema organizzativo che abbraccia tutto mediante la cooperazione di unità autonome ad esso correlate. Quindi una rete integrata e organizzata di imprese e di individui capaci di cooperare tra loro mantenendo la propria autonomia in vista di finalità comuni e risultati condivisi. Un sistema organizzativo capace di accumulare molta conoscenza e capace di saperla sfruttare in modo rapido quindi capace di organizzare il disordine. La sfida della complessità si vince allora con la massima condivisione del sapere, al fine di espandere la conoscenza disponibile attraverso l'interazione con altre organizzazioni e l'impiego della conoscenza acquisita per sfruttare in modo puntuale, rapido e locale quanto disponibile. Il termine "rete" sottolinea il fatto che le imprese agiscono come nodi di un sistema e stabiliscono un insieme di relazioni per scambiarsi informazioni, materiali, componenti e prodotti. In una rete di imprese le relazioni tra i vari nodi possono essere di diverso tipo. In generale una Rete di Imprese rimane una pura forma di accordo finché un ordine del cliente la "mette in funzione": la Rete di Imprese genera allora un'Impresa Virtuale. Le singole parti,

pur muovendosi in totale autonomia, sono tenute insieme da un sistema organizzato di infrastrutture che consente loro di agire come fossero un'unica impresa. Le imprese sono tenute insieme da un complesso di legami che governa di fatto i rapporti tra esse in uno spirito di partnership globale. Come un organismo vivente, il sistema olonico non è una semplice aggregazione di imprese, di parti di esse o di processi elementari, quanto piuttosto una gerarchia integrata di sottosistemi autonomi costituiti a loro volta da sottosistemi e così via. Ciascun sottosistema persegue un proprio obiettivo autonomo ma è in grado di allinearsi con tutti gli altri nel perseguire un obiettivo comune. Due i principi che sono alle fondamenta di un sistema olonico:

1. la doppia cittadinanza;
2. la sussidiarietà.

Il primo principio è quello della "doppia cittadinanza": ogni persona appartiene a un'organizzazione "locale", sia essa un'impresa o un gruppo sociale e, contemporaneamente, a un sistema più complesso, sia esso una federazione di gruppi e organizzazioni oppure un sistema di business. Di qui l'importanza che assume il senso di appartenenza nel rapporto tra individuo e organizzazione. Esso infonde sicurezza, stabilità e motivazioni ma, soprattutto, è in grado di orientare in modo significativo, i comportamenti e l'assunzione di responsabilità di una persona all'interno dell'organizzazione. Il sistema olonico, quindi, induce nelle persone la diffusione del senso di doppia appartenenza sia a un sistema locale sia a un sistema più complesso che lo avvolge.

Il secondo principio fondamentale è la sussidiarietà: le parti delegano al centro alcuni poteri e funzioni e il centro si mette al servizio delle parti per aiutarle a essere all'altezza delle loro responsabilità e a sfruttare nel miglior modo possibile la grande autonomia decisionale a esse concessa. Accentrare alcune attività non significa tuttavia concentrare potere quanto piuttosto costituire centri di servizio interni al sistema che sappiano liberare le economie di scala irraggiungibili dal singolo e quindi supportare, in modo più efficace ed efficiente, l'azione operativa delle parti. Il sistema olonico è caratterizzato da:

- un sistema di valori condivisi;
- una gerarchia autonoma distribuita;

- un sistema informativo a rete autonoma distribuita.

Cultura diffusa del miglioramento continuo, trasparenza informativa, propensione al lavoro di gruppo, etica del business e fiducia reciproca sono alcuni tra i valori più importanti che devono permeare la vita all'interno di un sistema olonico. Il sistema di valori condiviso costituisce una sorta di metalivello di comunicazione e di scambio di informazioni che consente alle parti di prendere le decisioni nell'interesse del sistema anche se tra esse non si attiva alcuno scambio di comunicazione (formale o informale). Il secondo sottosistema caratteristico è costituito dalla gerarchia autonoma distribuita. In un sistema olonico non esiste un unico centro decisionale, quanto piuttosto una pluralità di potenziali centri decisionali. Ciascun centro potenziale è in grado di assumere la leadership in qualsiasi momento in base alle diverse sollecitazioni (interne/esterne) che generano "cambiamenti" nello scenario in cui opera il sistema olonico. Rispetto ad altri sistemi a rete il sistema olonico offre, nell'insieme e a chi opera al suo interno, alcuni vantaggi di notevole importanza di cui si citano i più rilevanti:

- Rapidità di risposta: il sistema olonico è il presupposto più adatto per rispondere rapidamente a segnali di cambiamento, più o meno deboli, provenienti da fonti diverse (interno/esterno) e a trasformarli in attività. Infatti, ogni "olone" (unità del sistema) rappresenta una "antenna" del sistema e comunica "in tempo reale" con tutto il sistema cui appartiene. La conoscenza si produce, si accumula e si condivide a livello sistemico ma viene impiegata a livello periferico.
- Capacità di adattamento: l'apertura verso l'esterno e la circolazione delle informazioni all'interno mantengono costantemente attivo il sistema olonico. Quanto più un sistema è lontano dall'equilibrio statico, che è invece caratterizzato da rigidità organizzativa, burocrazia, scarsa circolazione delle informazioni, tanto più aumentano le possibilità di auto-organizzazione e di evoluzione.

2.2 INGEGNERIA DEI SISTEMI

“Il Systems Engineering (SE) è un approccio interdisciplinare e un insieme di metodi per consentire la realizzazione di Sistemi di alta qualità e affidabilità, nel rispetto dei tempi e costi prestabiliti, lungo tutto il ciclo di vita” [5].

Il Systems Engineering permette lo sviluppo di sistemi realizzati con successo e secondo lo scopo prefissato:

- in relazione allo sviluppo e distribuzione di beni e servizi;
- con l'intento di produrre benefici reali per fornitori, clienti e la società;
- assicurando un supporto a tutti i domini in ambito tecnico e a tutte le funzioni di business.

La pratica del Systems Engineering avviene bilanciando aspetti sistemici e sistematici che assumono il seguente significato:

- Sistemico – si intende il sistema nella sua interezza, al suo contesto e agli stakeholder coinvolti;
- Sistematico – si ottiene seguendo un approccio strutturato durante la realizzazione del sistema.

Il Systems Engineering è quindi una disciplina ingegneristica che ha il compito di organizzare ed eseguire un processo interdisciplinare per garantire che le esigenze dei clienti e degli stakeholder siano soddisfatte, considerando l'efficacia, l'efficienza e la qualità del sistema durante tutto il suo ciclo di vita [4]. Infatti, uno degli aspetti chiave è capire quali sono gli interessi dello stakeholder per andarne a definire su quale sistema porre attenzione. Tale disciplina è un processo Top-Down iterativo di sintesi, sviluppo, gestione di un sistema che soddisfi tutti i requisiti del cliente. [6]

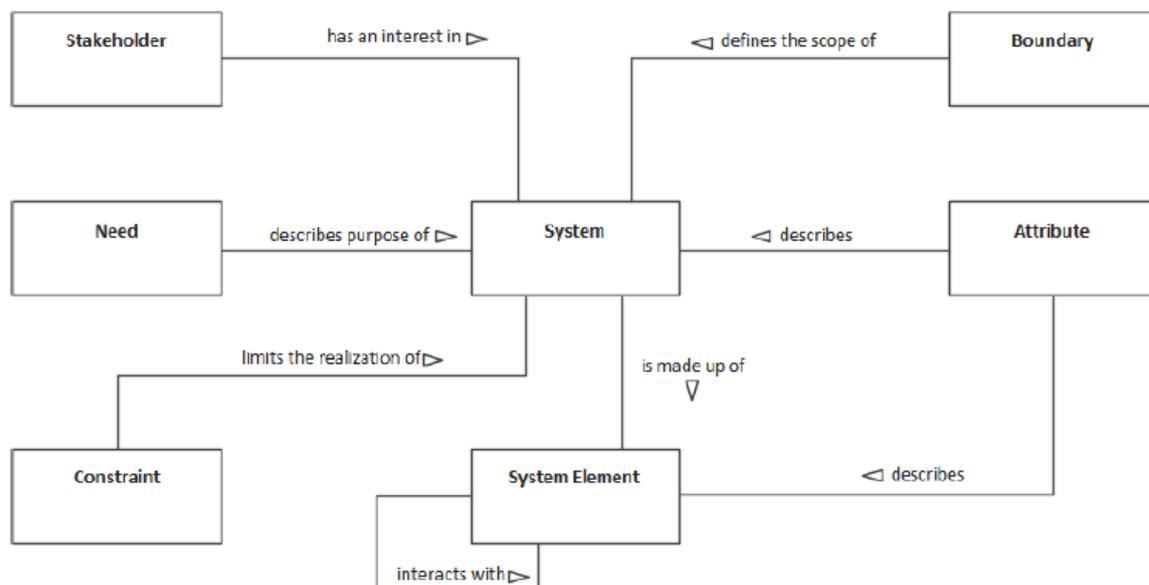


Figura 3 – Componenti di un sistema

L'ingegneria dei sistemi è utile in quanto è uno strumento utile a capire i rapporti tra più soggetti e ingenerale è molto più facile che le cose vadano male piuttosto che bene ed è importante capirne il perché. Fondamentalmente sono tre le ragioni principali di questo andamento e sono le seguenti:

- la complessità, in quanto se le cose non sono ben identificate allora non riescono ad essere gestite;
- la comunicazione, quando non avviene o non è chiara;
- la comprensione, quando non sono tenuti in considerazione punti di vista differenti e si fanno ipotesi.

Ed ecco allora che si cerca di fare chiarezza nella complessità dei sistemi e nella gestione delle infinite variabili da prendere in esame.

2.3 STATO DELL'ARTE

2.3.1 LA NASCITA DEL SYSTEM ENGINEERING

Ripercorrendo la storia del System Engineering si può dire che la necessità di tracciare pratiche e procedure nacque durante la Seconda guerra mondiale a causa dell'aumento della complessità dei sistemi.

Fino a quella data, architetti e ingegneri si erano sempre trovati ad affrontare lo sviluppo dei sistemi senza un approccio metodologico come quello del Systems Engineering, applicando inconsciamente e in maniera frammentaria i processi tipici del Systems Engineering.

Il termine Systems Engineering venne coniato alla fine degli anni '40 dalla Bell Telephone Laboratories.

Alla fine degli anni '40 il dipartimento della difesa entrò nel mondo dell'ingegneria dei sistemi in concomitanza con l'inizio dello sviluppo di missili e di sistemi di difesa missilistica. Nel 1946 venne fondata dalla United States Air Force la RAND Corporation che creò l'analisi dei sistemi, aspetto fondamentale del Systems Engineering. Alla fine degli anni 40 e nei primi anni '50 Paul Fitts legò per la prima volta le funzioni del sistema agli elementi fisici.

Hall, nel 1962, affermò che il primo tentativo di insegnare il Systems Engineering fu fatto al MIT nel 1950 da Mr. Gilman, direttore del Systems Engineering in Bell Telephone. Hall definì inoltre il Systems Engineering come una funzione composta da 5 fasi:

1. studio del sistema o pianificazione del programma di sviluppo;
2. pianificazione esplorativa composta da: definizione del problema, selezione degli obiettivi, sintesi dei sistemi, scelta del miglior sistema e comunicazione dei risultati;
3. pianificazione dello sviluppo che riprende la fase 2 ad un livello maggiore di dettaglio;
4. studi durante lo sviluppo che includono lo sviluppo di parti del sistema e la loro integrazione e test;
5. fase in cui il sistema è operativo e viene perfezionato.

Nel 1978 Fagen definì i concetti dell'ingegneria dei sistemi applicati nei laboratori della Bell Telephone dai primi anni del '900 e descrisse le principali applicazioni del Systems Engineering durante la Seconda guerra mondiale. [7]

Nel 1990 venne fondato l'NCOSE (Council on Systems Engineering), una società composta da rappresentanti di multinazionali americane, al fine di ottimizzare le pratiche di Systems Engineering e di definire i concetti teorici per una chiara comprensione da parte di chi si avvicina a questo mondo.

Nel 1995 il nome dell'organizzazione si trasformò in INCOSE (International Council of Systems Engineering) per evidenziare il carattere internazionale che aveva assunto grazie all'interesse non solo negli Stati Uniti, ma di tutto il mondo.

Attualmente l'altissimo livello di complessità dei sistemi e il continuo miglioramento dei metodi e degli strumenti di Systems Engineering ha portato questa disciplina ad essere considerata indispensabile per chi vuole sviluppare sistemi solidi ed efficaci.

2.3.2 ESEMPIO DI APPLICAZIONE DELL'INGEGNERIA DEI SISTEMI

Un'applicazione dell'ingegneria dei sistemi, tratta dall'articolo "SysML Executable Model of an Energy-Efficient House and Trade-Off Analysis", è il caso di studio relativo ad un edificio ad alta efficienza energetica e in particolar modo la schematizzazione del sistema di due stanze all'interno dell'abitazione delle quali si vuole tenere sotto controllo vari dati grazie all'uso del linguaggio Sysml. Tale ricerca è stata compiuta tenendo conto che le tecnologie avanzano velocemente e utilizzano domini differenti di parametri; la necessità di analizzare il sistema scaturisce dalla mancanza di un modo per tener traccia di tutto con un unico linguaggio, il quale possa tenere in considerazione molteplici aspetti contemporaneamente. Il lavoro è stato affrontato con l'ingegneria dei sistemi e quindi con l'impiego di diversi software. Nello specifico, si è cercato di tener conto del costo dell'isolamento termico utilizzato nella costruzione della casa in base al carico termico necessario alla pompa di calore per mantenere la temperatura dell'aria interna costante.

La necessità di un sistema basato su modelli (MBSE) si fa sentire quando è richiesta una comunicazione chiara tra i progettisti e le varie parti interessate durante il ciclo di vita dello

sviluppo dei sistemi così da chiarire e catalogare le interazioni. Il sistema basato su modelli è anche utile per acquisire definitivamente, catalogare e gestire le proprietà intellettuali, per esempio, di un'azienda in relazione a progetti, processi e strutture. Tali modelli sono utili anche nel trovare con facilità gli errori così da prevenirli o risolverli all'inizio dello sviluppo. L'approccio MBSE è in grado di migliorare il sistema prestazionale.

Il motivo principale per seguire questo approccio si basa sul ragionamento che integra i modelli al fine di ridurre le incoerenze, agevolare l'automazione e la prevenzione mediante una continua analisi in tempo reale.

Per creare un modello appropriato questa ricerca ha utilizzato quattro tipi differenti di software:

- Il primo è Cameo system modeler, molto usato nel mondo dell'ingegneria dei sistemi per il suo linguaggio facile, intuitivo e di impatto per definire, tracciare e visualizzare tutti gli aspetti del sistema. Le regole in esso definite danno un significato inequivocabile agli elementi del modello e alle relazioni. Con esso è stato possibile andare ad identificare i vari sistemi e le relazioni tra essi;
- Il secondo è Dymola che viene impiegato per risolvere rapidamente problemi complessi di analisi e modellazione di sistemi multidisciplinari grazie alla tecnologia di simulazione e di Modelica che fornisce una libreria di modelli ormai standardizzati come quello utilizzato nel caso in esame per sistemi HVAC;
- È stato usato poi un FMI (functional mockup interface) che consente di generare tramite un qualsiasi strumento di modellazione codice c o binari che rappresentano un modello di sistema dinamico che potrà essere integrato in un altro ambiente di modellazione e simulazione;
- L'ultimo è Simulink o Matlab che hanno la funzione di simulare un modello. In questo specifico caso è stato utilizzato uno dei software solo come interfaccia per importare il modello da un software all'altro.

L'approccio iniziale si basa sulla creazione di un modello in cui vengono definiti i diagrammi relativi a struttura, comportamento, parametri e requisiti. Questo passaggio implica l'uso combinato del linguaggio sysml e modelica; tuttavia, nel passare da un

software all'altro si è notato come moltissimi dati necessari vanno perduti e quindi tutto perde di significato.

Inoltre, ai fini delle simulazioni, si è riscontrato che l'importazione della FMU (functional mockup unit) in Cameo non consente la modifica dei parametri di input che si trovano nel blocco FMU, e questo lo rende praticamente inutile al fine dell'analisi sullo scambio dati.

Cameo system modeler è utilizzato per creare la struttura del problema delle due stanze in linguaggio sysml. Dymola viene impiegato per creare un modello Modelica, in riferimento allo stesso problema in esame, che contiene tutte le equazioni e i vincoli che lo governano. In questo modo è anche possibile esportare il modello Modelica in FMU. Successivamente questa FMU può essere importata da Simulink che agisce semplicemente come interfaccia.

La struttura del modello risulta composta dal sistema, gli utenti e l'ambiente; all'interno del pacchetto del sistema è compreso il sistema di riscaldamento, l'ambiente interno e la struttura dell'edificio; a sua volta l'ambiente si divide in sistema domestico di fornitura dell'acqua fredda, ambiente esterno e fornitura di energia elettrica; in un blocco a parte ci sono gli utenti.

È necessario creare anche un diagramma che tenga conto dei parametri in gioco e quindi vanno definite le unità di misura necessarie. In questo caso i parametri valutati necessari sono stati la variazione della temperatura dell'aria interna, il consumo energetico della pompa di calore e il costo dell'isolamento termico.

Si è tenuto conto solo di alcuni fattori che possono influenzare il cambiamento di temperatura interna e sono stati riportati in una tabella quelli ritenuti più importanti.

A questo sono stati creati dei vincoli interni tra i parametri, i requisiti, la struttura e il comportamento dell'interno sistema nel programma Cameo System Modeler.

Il modello della casa ad alta efficienza energetica relativo alle due stanze viene riportato in Dymola e quindi contiene tutte le equazioni, i vincoli e le relazioni stabilite in precedenza. A questo punto, per integrare il modello Dymola con Cameo è necessario l'utilizzo del software Simulink per poter passare da un programma all'altro mantenendo invariati tutti i dati. A questo punto sono stati elaborati i dati di un arco temporale, in questo caso si è

considerato un anno di tempo. Attraverso la rivalutazione dei dati inseriti con simulink la rispettiva simulazione viene restituita da Matlab.

Il principale ostacolo è quello di riuscire ad inserire correttamente i parametri durante la simulazione per soddisfare l'obiettivo riuscendo a tener conto dei vincoli che devono essere rispettati e i parametri iniziali da mantenere. Pertanto, sono stati scelti dei valori discreti grazie ai quali è stato possibile ridurre di molto i valori da inserire al fine di ottenere un risultato attendibile dalla simulazione.

In conclusione, si è riscontrato efficace l'utilizzo del sysml per la riduzione delle incoerenze e per l'automazione dei processi, tuttavia c'è ancora molto da migliorare per poter rendere più snello ed efficiente tutto il procedimento. L'utilizzo di così tanti software, l'utilizzo di valori discreti e la capacità di poter cambiare un parametro alla volta ha reso tutto questo procedimento macchinoso. Ci sono ampie possibilità di miglioramento del risultato qualora si riuscisse a creare un modello capace di comunicare con il software in tempo reale e che permetta di inserire i dati agevolmente senza dover ricorrere ad altri linguaggi di programmazione.

3. FIRE SAFETY ENGINEERING

La progettazione della sicurezza antincendio nelle attività soggette alle visite e controlli dei vigili del fuoco e nei luoghi di lavoro è sancita dal DPR 1° agosto 2011 n. 151 per le attività elencate nel documento, mentre nei luoghi di lavoro è prescritta dall'articolo 17 del decreto legislativo 9 aprile 2008, numero 81. Queste misure si basano sulla preliminare valutazione del rischio di incendio e possono essere individuate a partire da un approccio progettuale di tipo prescrittivo o di tipo prestazionale. In questo caso si intende privilegiare l'approccio prestazionale in grado di garantire standard di sicurezza antincendio elevati mediante un insieme di soluzioni progettuali conformi ed alternative. Il codice rappresenta uno strumento finalizzato all'ottenimento degli obiettivi di sicurezza antincendio, caratterizzato da un linguaggio allineato con gli standard internazionali. Un'indagine condotta ha rivelato che è presente un notevole interesse verso le nuove potenzialità introdotte dal codice ma allo stesso tempo, un utilizzo non diffuso di questo: oltre il 62% dei progettisti italiani presi a campione non ha provato ad utilizzarlo oppure ha rinunciato dopo un tentativo; di quelli che lo hanno adottato, pochi hanno fatto ricorso alle cosiddette soluzioni alternative. Tale testo va utilizzato come strumento di supporto nella progettazione e gestione della sicurezza antincendio nei luoghi di lavoro e come spunto di riflessione per i professionisti antincendio.

Il testo dell'INAIL "*Metodi ingegneria Antincendio*" contiene la metodologia del caso studio che si ritiene possa favorire l'apprendimento dei metodi e degli strumenti offerti dal codice illustrandone l'applicazione pratica in contesti reali. Il caso studio consiste nella descrizione di una situazione realistica a partire dalla quale si intende sviluppare nel lettore le capacità analitiche necessarie per affrontare, in maniera sistematica, una situazione reale nella sua effettiva complessità. [2]

Obiettivo della pubblicazione è quello di illustrare che la vera novità del codice è rappresentata dalle soluzioni alternative. Si resta convinti che pensare al codice solamente in termini di soluzioni conformi, che pur costituiscono un valido supporto al progettista antincendio, ma di tipo prescrittivo guidato, non aiuta a cogliere la reale potenza dello strumento normativo.

La sezione M del codice descrive la metodologia di progettazione dell'ingegneria della sicurezza antincendio. Lo scopo è definire soluzioni idonee al raggiungimento di obiettivi

progettuali mediante analisi di tipo quantitativo. La sezione M risulta divisa in tre sotto capitoli che riportano le procedure suggerite.

M1 - Metodologia per l'ingegneria della sicurezza antincendio

Le fasi della metodologia in esame sono così composte:

- Prima fase - analisi preliminare:

Sono formalizzati i passaggi che conducono ad individuare le condizioni più rappresentative del rischio al quale l'attività è esposta e quali sono le soglie di prestazione cui riferirsi in relazione agli obiettivi di sicurezza da perseguire. I passaggi possono essere così schematizzati:

- definizione del progetto;
- identificazione degli obiettivi di sicurezza antincendio;
- definizione delle soglie di prestazione;
- individuazione degli scenari di incendio di progetto;

- Seconda fase - analisi quantitativa:

La fase di analisi quantitativa si compone di alcune sottofasi necessarie per effettuare le verifiche di sicurezza degli scenari individuati nella fase preliminare:

- elaborazione delle soluzioni progettuali;
- valutazione delle soluzioni progettuali;
- selezione delle soluzioni progettuali idonee.

Nelle rispettive fasi la documentazione di progetto richiesta è la seguente:

- analisi preliminare: sommario tecnico dove è sintetizzato il processo seguito per individuare gli scenari di incendio di progetto e le soglie di prestazione;
- analisi quantitativa: relazione tecnica ove siano evidenziati i risultati dell'analisi ed il percorso progettuale seguito e i requisiti aggiuntivi per la gestione della sicurezza antincendio.

M2 - scenari di incendio per la progettazione prestazionale

Questa sezione descrive la procedura di identificazione, selezione e quantificazione degli scenari di incendio di progetto che sono impiegati nell'analisi quantitativa da parte del professionista antincendio. Gli scenari di incendio rappresentano la descrizione dettagliata degli eventi che possono ragionevolmente verificarsi in relazione a tre aspetti fondamentali:

- caratteristiche dell'incendio;
- caratteristiche dell'attività;
- caratteristiche degli occupanti.

La procedura consiste nei seguenti passi:

- identificazione dei possibili scenari di incendio che possono svilupparsi nell'attività;
- selezione degli scenari di incendio di progetto;
- descrizione quantitativa degli scenari di incendio di progetto (in base alle attività, agli occupanti, al tipo di incendio);
- durata degli scenari di incendio di progetto;
- stima della curva HRR;
- focolare predefinito.

M3 - salvaguardia della vita con la progettazione prestazionale

Nell'applicazione del metodo prestazionale alla sicurezza antincendio per la salvaguardia della vita gli obiettivi del professionista antincendio sono:

- la dimostrazione della possibilità da parte di tutti gli occupanti di raggiungere e poter rimanere in un luogo sicuro;
- la dimostrazione che i soccorritori possono operare in sicurezza.

La progettazione ideale di un sistema di esodo dovrebbe assicurare agli occupanti la possibilità di raggiungere un luogo protetto in sicurezza. Qualora non fosse possibile applicare il criterio ideale, la norma introduce il criterio $ASET > RSET$. La progettazione

prestazionale del sistema di vie di esodo consiste sostanzialmente nel calcolo e nel confronto tra due intervalli di tempo così definiti:

- ASET: tempo disponibile per l'esodo (available safe escape time). Si basa su metodi di calcolo avanzato basati su dei modelli;
- RSET: tempo richiesto per l'esodo (required safe escape time). È l'insieme del tempo di rilevazione, del tempo di allarme generale, il tempo di evacuazione che a sua volta tiene conto del tempo di attività di pre-movimento e del tempo di movimento; a sua volta il tempo di attività di pre-movimento è composto dal tempo di riconoscimento e da quello di risposta.

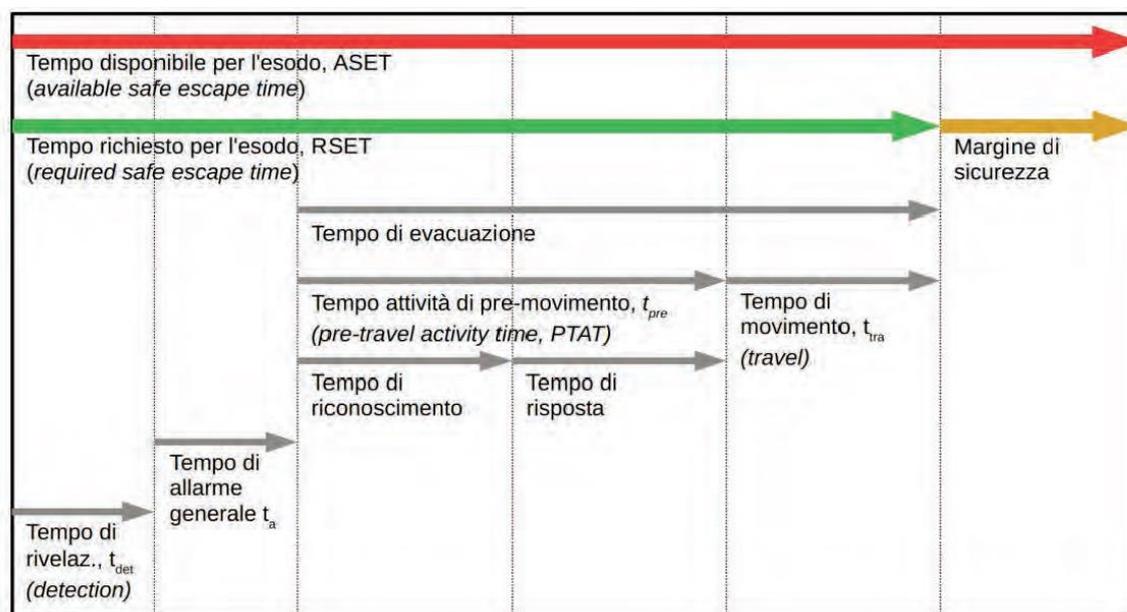


Figura 4 - Definizione grafica di ASET ed RSET

Riassumendo, il progettista definisce lo scopo della progettazione, quindi specifica gli obiettivi di sicurezza antincendio che intende garantire e li traduce in soglie di prestazioni quantitative. Successivamente identifica gli scenari di incendio di progetto, i più eventi che possono ragionevolmente verificarsi nell'attività. Descrive o calcola gli effetti degli scenari di incendio di progetto in relazione alla soluzione progettuale ipotizzata per l'attività. Se gli effetti così calcolati conservano un adeguato margine di sicurezza rispetto alle soglie di prestazione precedentemente stabilite, allora la soluzione progettuale analizzata è considerata accettabile. [2]

La fire safety engineering è definita come applicazione di principi ingegneristici finalizzati alla tutela della vita umana e alla protezione di beni e dell'ambiente. La valutazione quantitativa del livello di sicurezza antincendio, consentita nell'approccio di tipo prestazionale ma non in quello prescrittivo, permette di valutare e quantificare gli effetti dell'incendio, ed il livello di sicurezza antincendio, rispetto a soglie prestazionali stabilite secondo un approccio performance based, con riferimento ad ipotizzati scenari di incendio ritenuti ragionevolmente credibili.

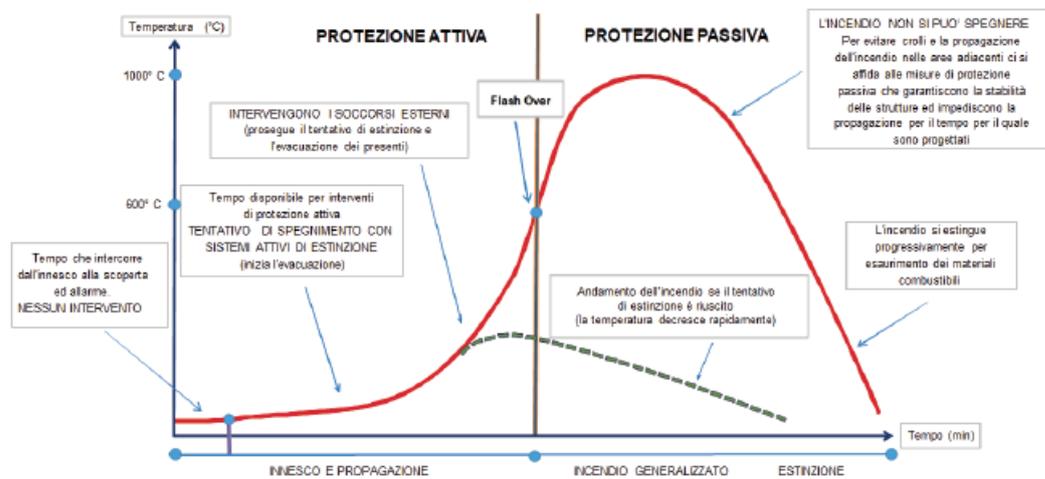


Figura 5 - Andamento dell'incendio

L'applicazione dei metodi della FSE può essere orientata o alla life safety, ovvero alla salvaguardia della vita umana, o alla structural safety che riguarda invece l'analisi dell'incendio dopo la fase di flash over e lo studio del livello di sicurezza delle opere da costruzione.

Nel primo caso, quello relativo alla salvaguardia della vita umana, il problema centrale è il pre-flash over che dipende essenzialmente dal movimento di fumi e calore nell'edificio ed è legato all'heat release rate e dalla quantità del focolare.

Nel secondo caso invece, quello correlato alla sicurezza della struttura il focus è sul post flash over che dipende dall'energia prodotta dall'incendio e dalle condizioni di ventilazione.

Nei paragrafi successivi, per lo sviluppo di questa tesi, è stato approfondito il funzionamento di due sistemi fondamentali per la gestione e prevenzione dell'incendio: il sistema di allarme e quello di estinzione.

3.1 SISTEMA DI ALLARME INCENDIO

Un impianto di rivelazione incendio ha la funzione di rivelare, tramite appositi rivelatori, un principio di incendio così da renderlo noto nel minore tempo possibile. Gli impianti di allarme antincendio possono essere di tipo automatico oppure manuale, in ogni caso, secondo quanto specificato nella norma UNI EN 54-1: 2021, il segnale di allarme incendio deve arrivare tempestivamente alla centrale di gestione e controllo cosicché da essa possa essere trasmesso a tutte le componenti di segnalazione. Una volta presa coscienza dell'esistenza di un incendio è fondamentale informare gli utenti finali di cui fanno parte gli occupanti, il personale e le squadre di soccorso attraverso allarmi di tipo acustico e ottico. L'impianto ha lo scopo di segnalare in tempo il pericolo così da rendere possibile l'evacuazione dei locali da parte di persone ed animali ma anche la salvaguardia dei beni, dando inoltre modo al personale incaricato di attivare i piani di intervento previsti.

Nell'installazione dell'impianto e nella scelta dei rivelatori devono essere tenuti in considerazione diversi aspetti, tra cui il luogo in cui l'impianto sarà installato e quindi le relative condizioni ambientali e la geometria dello spazio in cui lo stesso rivelatore opera al fine di scegliere il rivelatore più efficace. A tal proposito ogni rivelatore deve essere installato in modo che possa individuare agevolmente e a partire dall'innesco ogni tipo di incendio nell'area sorvegliata. Altro aspetto importante è la determinazione del numero di rivelatori che varierà in base al tipo di rivelatori scelti, alla superficie e all'altezza del locale, alla forma e all'inclinazione del soffitto e alle condizioni di aerazione o ventilazione presenti nel locale.

Una volta che il rivelatore percepisce l'innesco di un nuovo incendio, attraverso un sistema riservato all'impianto di rivelazione, il segnale arriverà ad una centrale di controllo e segnalazione da cui sarà possibile determinare in quale preciso punto dell'edificio si trova l'incendio. Inoltre, è possibile predisporre dei componenti con tecnologia wireless al fine di comunicare velocemente l'emergenza in corso. Una volta presa coscienza dell'esistenza dell'incendio, il sistema metterà in funzione degli allarmi di tipo acustico e luminoso. Questo rapido scambio di informazioni è possibile grazie ad un'unica linea di distribuzione e una rete di collegamento (cavo bus) separata da quella degli altri sistemi e resistente al fuoco.

3.2 SISTEMA DI ESTINZIONE INCENDIO

Il sistema di estinzione dell'incendio è chiamato ad entrare in azione, una volta individuato il focolare, per spegnere le fiamme nel minore tempo possibile e con tutti i mezzi idonei a farlo in base alle necessità specifiche della zona in cui si intende agire. Esso necessita di un'attenta progettazione dell'intero impianto che è composto da numerose componenti che possono essere classificate in protezione passiva, che comprende i vari elementi di divisione e compartimentazione per la limitazione dell'espandersi delle fiamme, e protezione attiva composta dall'insieme degli estintori, dalla rete idrica e gli impianti automatici per l'erogazione degli agenti estinguenti. Come nel caso del sistema di rilevazione, quello di estinzione ha come obiettivo la salvaguardia della vita umana e la tutela di beni mobili, immobili e dell'ambiente. Per conseguire l'obiettivo è fondamentale un'attenta progettazione: in primo luogo è necessaria una valutazione del rischio di incendio che sarà determinata dalla tipologia di ambiente in questione, dalle attività svolte all'interno di esso, da quali sono i beni esposti all'ipotetico pericolo, la tipologia di occupanti dell'edificio e le potenziali conseguenze dell'incendio. Sulla base di questi fattori viene determinata una strategia adeguata di cui fa parte un ben dimensionato impianto di estinzione. Questo dimensionamento dell'impianto deve garantire il livello di prestazione che si vuole raggiungere seguendo quanto riportato nel Codice di Prevenzione Incendi o quanto previsto dal progettista purché di sicurezza non inferiore di quanto richiesto dalla normativa. Nei successivi paragrafi si farà riferimento in particolare alla protezione attiva e quindi a tutti quei dispositivi che, in caso di incendio, svolgono un ruolo attivo nel processo di estinzione. L'intervento di tale tecnologia può avvenire con o senza l'intervento dell'operatore: estintori e impianto ad idranti presuppongono l'intervento dell'uomo, mentre l'attivazione di un impianto automatico, come quello sprinkler, avviene per mezzo di un segnale interno al sistema e quindi non necessita dell'intervento dell'uomo. In ogni caso gli utenti e il personale addetto sono di fondamentale importanza: è per questo motivo che le squadre di soccorso seguono corsi appostiti per l'utilizzo delle apparecchiature o l'intero personale svolge simulazioni di emergenza.

4. TECNICHE DI MODELLAZIONE PER IL FIRE SAFETY EMERGENCY MANAGEMENT

Per questo lavoro di tesi sono state cercate modalità differenti per affrontare il problema della modellazione dei sistemi complessi come nel caso della gestione di un'opera edile. Inizialmente il problema inquadrato è stato quello della gestione delle emergenze in generale. Proseguendo nel nostro lavoro di ricerca si è pensato di fare focus sulla gestione dell'emergenza nel caso specifico dell'incendio. La prima parte dello studio è stata affrontata con il metodo delle FBS per poter inquadrare tutti gli aspetti legati all'incendio e connessi ad esso. Questo metodo è molto utile nell'inquadramento generale e per capire quali fossero tutti i punti da dover tenere in considerazione. Scelto così di voler approfondire solamente determinati aspetti per quanto riguarda questo lavoro di ricerca, sono stati analizzati successivamente due componenti con l'utilizzo del linguaggio SysML: quello legato al sistema di rilevazione incendi e quello legato all'estinzione. In questo modo si è riusciti a scomporre, grazie all'utilizzo di determinati grafici, il sistema nelle sue componenti fisiche, le caratteristiche intrinseche ad ogni elemento, i requisiti necessari in base alle normative di riferimento; a questo punto si è andati ad analizzare le varie funzioni attribuite a ciascun elemento e in seguito, in base proprio a questi legami chiaramente determinati, si è studiata la modalità di guasto appartenente a ciascuna delle funzioni individuate in precedenza. Questa ultima fase di studio è stata gestita con l'utilizzo delle tabelle FMEA.

4.1 LINGUAGGIE TECNICHE

Il mondo dell'ingegneria dei sistemi sta cambiando metodologia passando da un approccio basato su documentazione ad uno basato su modelli. Generalmente progetti complessi e grandi hanno avuto un approccio basato su documenti, caratterizzato dalla produzione di indicazioni testuali, documenti di progetto che vengono proposti in copia cartacea o formato digitale da scambiare tra clienti, utenti, sviluppatori e testers. I requisiti del sistema e le informazioni sulla progettazione sono espressi tramite questi documenti e disegni. In questo modo il progetto si basa sull'affidabilità del materiale prodotto e sulla coerenza del contenuto di ogni parte del progetto che così suddiviso risulta di difficile comprensione e gestione. Sono molteplici le figure professionali che devono essere impiegate al fine di ottenere i

documenti richiesti e nella forma corretta. Il metodo basato sulla documentazione può essere efficiente ma ha sicuramente delle limitazioni come la completezza e la coerenza, inoltre, ci sono aspetti di difficile valutazione poiché contenuti in una serie di molteplici documenti come le relazioni tra i requisiti del sistema, il progetto e l'analisi ingegneristica. Tutto questo rende difficile isolare un singolo aspetto per capirne l'effettivo funzionamento ed efficacia. Un differente approccio che sta prendendo campo, già di largo impiego nella progettazione elettronica e meccanica, è quello basato sulla creazione di modelli. L'ingegneria dei sistemi basata su modelli (MBSE) è l'applicazione formale della modellazione a supporto dei requisiti di sistema, dell'attività di progettazione, dell'analisi, verifica e validazione a partire dalla fase di progettazione concettuale e durante lo sviluppo e le fasi successive del ciclo di vita. MBSE ha lo scopo di facilitare le attività di ingegneria dei sistemi che sono state tradizionalmente eseguite utilizzando l'approccio basato su documenti e si traduce in una progettazione migliorata, nel riutilizzo di specifiche del sistema e passaggi per la progettazione e comunicazioni tra il team di sviluppo. L'output di questo metodo ingegneristico è un modello coerente del sistema, dove l'attenzione è posta sull'evoluzione e il perfezionamento del modello utilizzando metodi basati su modelli esistenti. Questi modelli rappresentano requisiti, progetti, casi di prova e le relazioni tra tutti questi aspetti che possono in qualche modo essere standardizzati e contenuti all'interno di una libreria che contiene un modello per ogni casistica già nota. In questa libreria sono contenuti modelli riguardanti la struttura, il comportamento, i requisiti e i parametri. Un modello è una rappresentazione di uno o più concetti che possono essere realizzati nel mondo fisico; possono essere rappresentazioni matematiche e logiche ma anche più concrete come i prototipi. Esso generalmente descrive un dominio di interesse generale che può e deve essere ampliato a seconda del caso specifico in esame così da diventare personalizzato per un determinato progetto. Un metodo, in riferimento all'ingegneria dei sistemi, basato su modelli è un metodo che implementa tutto o parte del processo e produce un modello di sistema da poter mettere in "libreria". Aspetti fondamentali di questo approccio è definire chiaramente l'obiettivo da ottenere, capire quali sono gli stakeholder che andranno a beneficiare del risultato ottenuto e come il risultato ottenuto può essere utilizzato. Gli strumenti utilizzati per la modellazione nel caso di studio di questa tesi sono specificati nei paragrafi che seguono.

4.1.1 FUNCTIONAL BREAKDOWN STRUCTURE (FBS)

Alle origini della scienza dell'ingegneria dei sistemi c'è lo studio della complessità del sistema stesso al fine di comprenderne e studiarne al meglio ogni componente, le svariate funzioni, i comportamenti e gli ipotetici meccanismi di fallimento. Aumentando sempre di più la complessità dei sistemi si è cercato come analizzare questa complessità al fine di poter risolvere problemi semplici. Una prima scomposizione del sistema può essere fatta attraverso una destrutturazione che ne mostri funzioni e componenti e questo è ottenibile con l'utilizzo delle FBS. La Functional Breakdown Structure (FBS) è una suddivisione strutturale e modulare di ogni funzione che viene specificata per svolgere un'attività generica. È utilizzabile anche per descrivere qualsiasi sottoinsieme della mansione principale. A differenza di una Work Breakdown Structure (WBS), l'FBS è una struttura ad albero orientata sulle funzioni, non orientata al prodotto. L'FBS non è caratterizzata da nessuna architettura in particolare in quanto è un elenco delle funzioni necessarie e non degli elementi. L'FBS per i sistemi edili fornisce una gerarchia universale di funzioni richieste, ognuna delle quali può essere successivamente scomposta in FBS più specifiche per ogni funzione. Facendo riferimento all'ingegneria dei sistemi, è utile fare focus alla vista funzionale piuttosto che alla vista dell'elemento o dell'hardware in sé. Questo è un nuovo approccio in grado di fornire piena consapevolezza di tutte le funzioni necessarie per svolgere le azioni pianificate. Il diagramma FBS viene utilizzato come una grande e generica check list che, dando una visione generale del sistema, fa prendere coscienza che nessuna informazione venga omessa, specialmente nella fase della prima progettazione. Una caratteristica significativa di un FBS è che se le varie funzioni vengono confrontate utilizzando questo approccio, verranno identificati eventuali elementi mancanti o ridondanti di ciascuna opzione. Una volta che un'architettura è stata definita e scelta tra le varie possibili quella che risulta più funzionale, l'FBS fungerà da guida nello sviluppo della struttura di scomposizione del lavoro, fornirà visibilità di quelle tecnologie che devono essere ulteriormente sviluppate per svolgere le funzioni richieste e aiuterà ad identificare le competenze del personale necessario per sviluppare e gestire il sistema. Inoltre, fornisce un quadro generale che aiuterà a prevenire l'eccesso o la mancanza di prestazioni perché tutte le funzioni sono identificate e tutti gli elementi sono allineati alle funzioni. Nel caso di studio

relativo alla gestione dell'emergenza legata all'incendio è stato prodotto il seguente schema per capire quali fossero effettivamente tutti gli aspetti da tenere in considerazione:

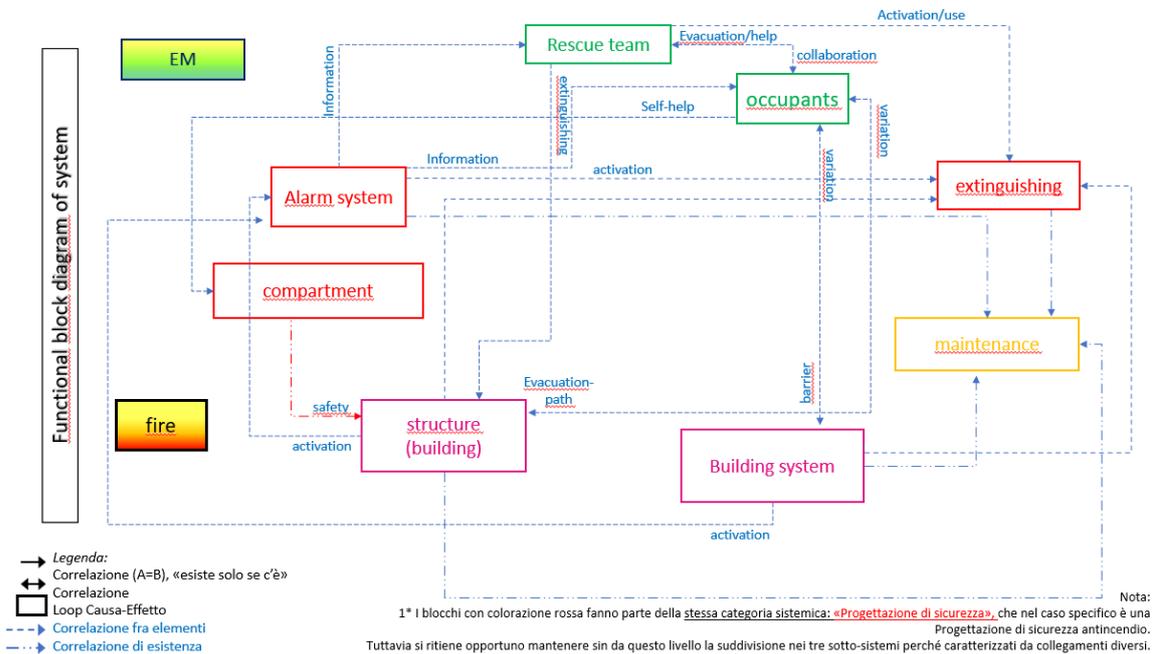


Figura 6 - Schema FBS

Questo schema a blocchi scompone l'emergenza legata all'incendio in compartimenti che a loro volta racchiudono funzioni. Tali blocchi possono fare riferimento a componenti fisiche del sistema che sono pensate con uno scopo ben preciso come nel caso della compartimentazione antincendio, del sistema di allarme e quello di estinzione; componenti fisiche che hanno una relazione forte con il caso dell'incendio in sé come la struttura dell'edificio e tutti gli impianti all'interno di essa o con essa collegati; le persone coinvolte nella situazione in esame tra cui gli occupanti dell'edificio e la squadra di salvataggio; infine, il ruolo chiave della manutenzione. I vari blocchi sono stati uniti tra loro in base alle correlazioni presenti. Si è tenuto conto di come un sistema possa interferire con un altro usando delle frecce in cui viene specificata la relazione che c'è tra due blocchi che può quindi essere uno scambio o una condizione o semplicemente una relazione di esistenza. Un esempio particolare è quello della voce maintenance che vede collegata a sé diversi sistemi: il collegamento è da intendersi come il fatto che la manutenzione esiste ed è necessaria dal momento che un altro sistema esiste ed è per questo che è stata chiamata correlazione di esistenza. Per ognuno dei sistemi è stata creata la relativa FBS che esprime una

scomposizione delle funzioni al fine di andare ad individuare elementi di criticità del sistema nella particolare condizione dell'incendio:

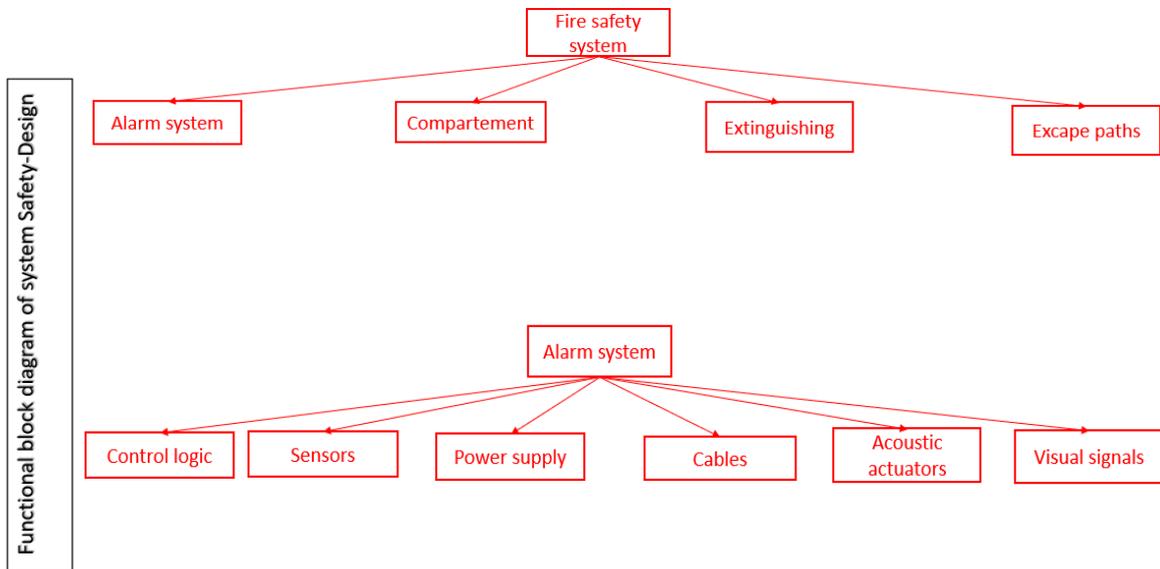


Figura 7 - FBS del sistema di sicurezza e allarme antincendio

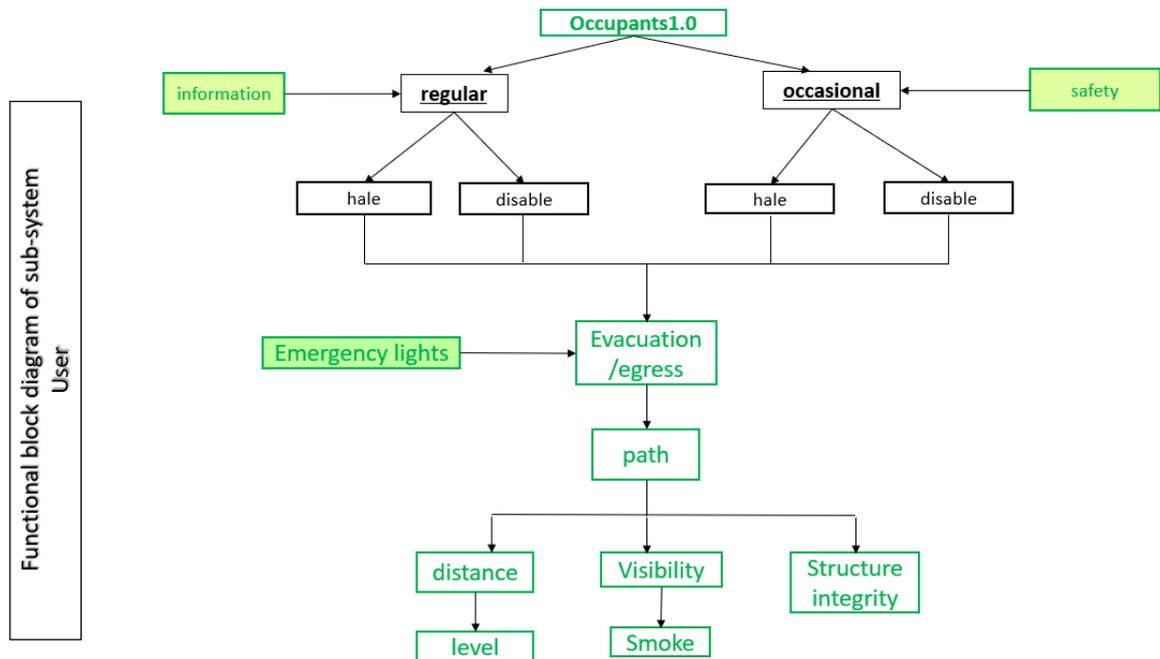


Figura 8 - FBS relativa agli utenti

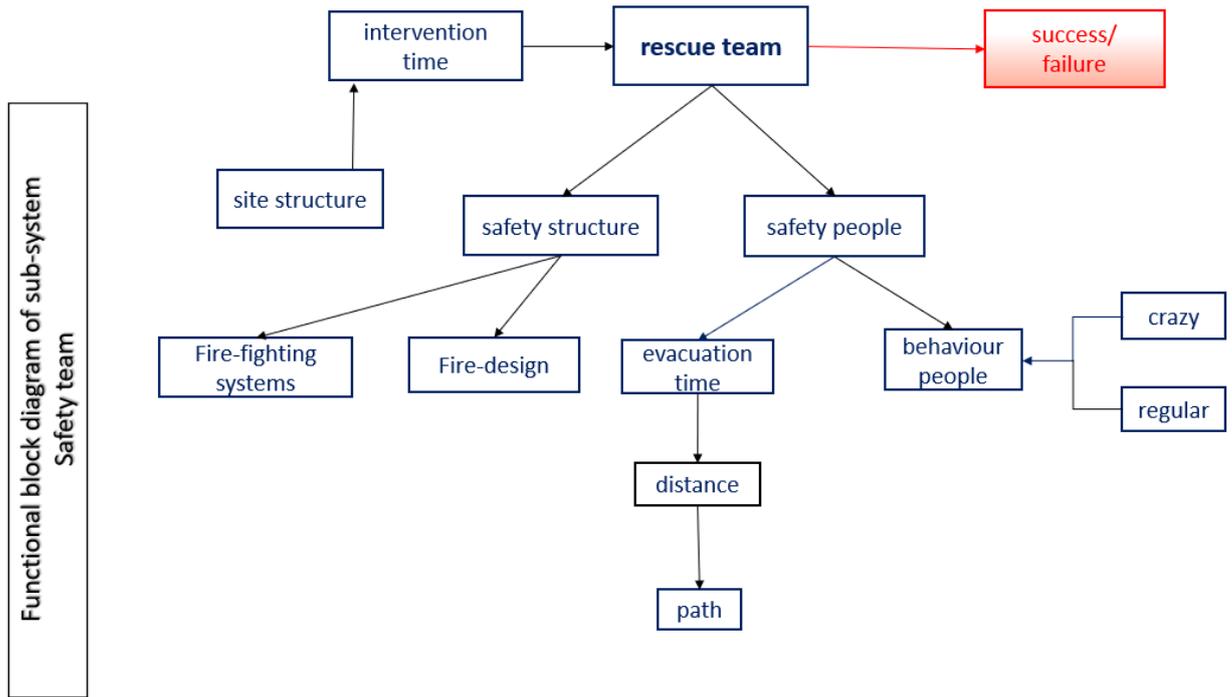


Figura 9 - FBS relativa alle squadre di soccorso

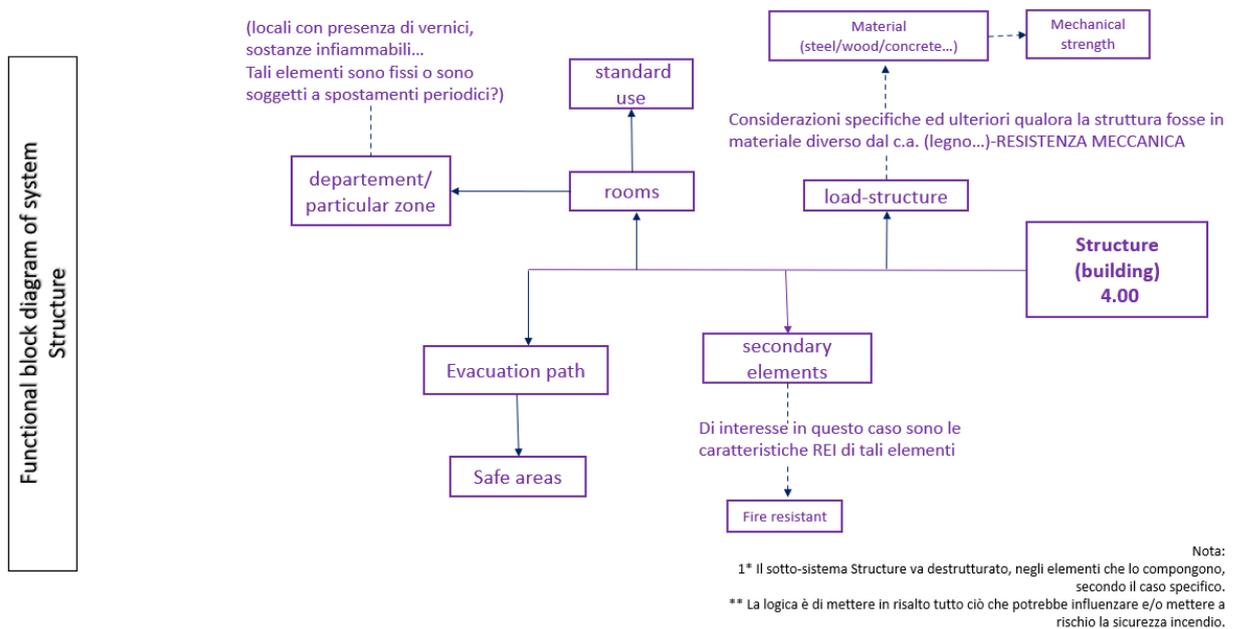


Fig. 1.4 La figura mostra le interrelazioni e le interdipendenze del sotto-sistema Structure

Figura 10 - FBS relativa alla struttura

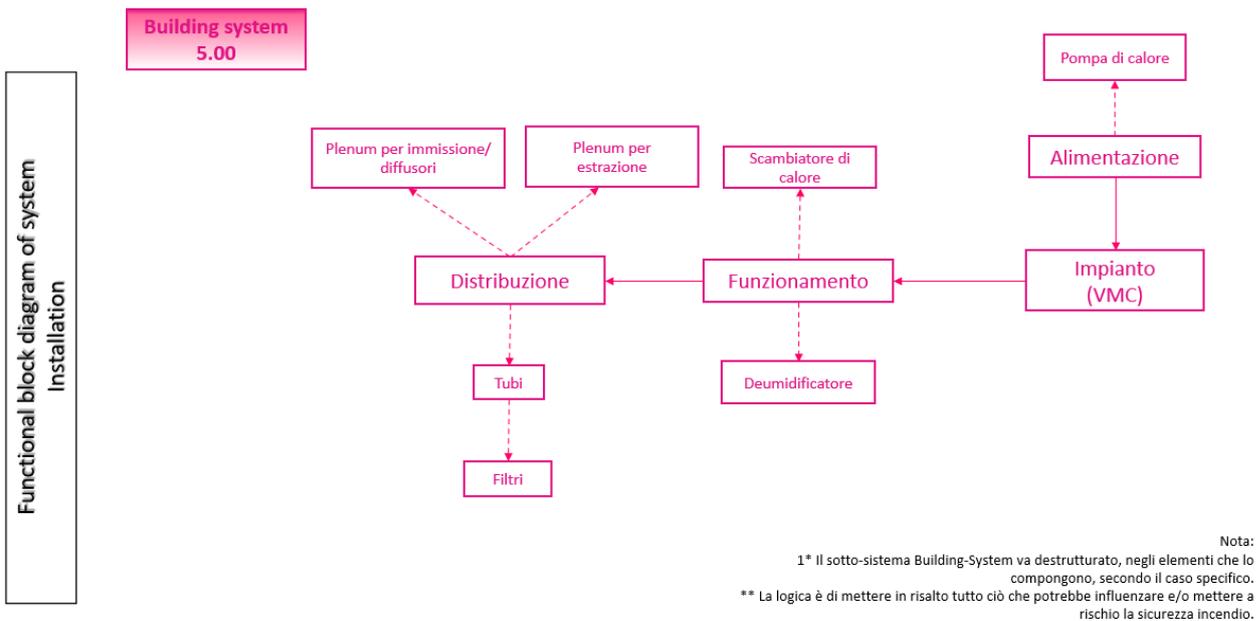


Figura 11 - FBS relativo all'impianto di ventilazione

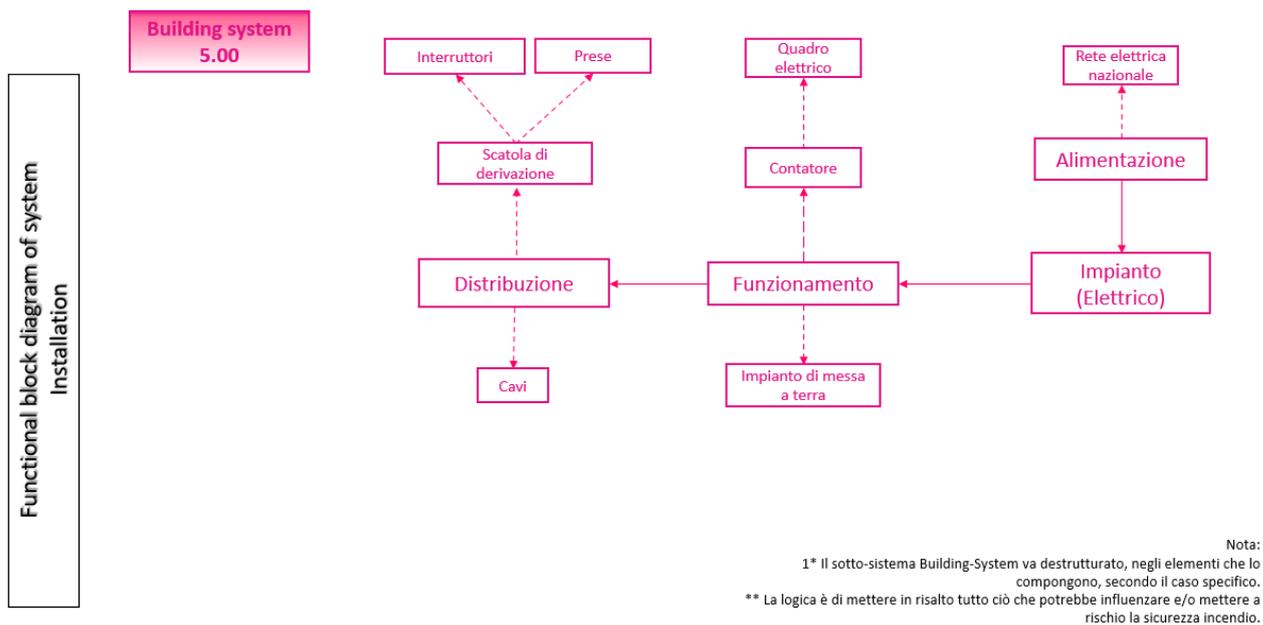


Figura 12 - FBS relativo all'impianto elettrico

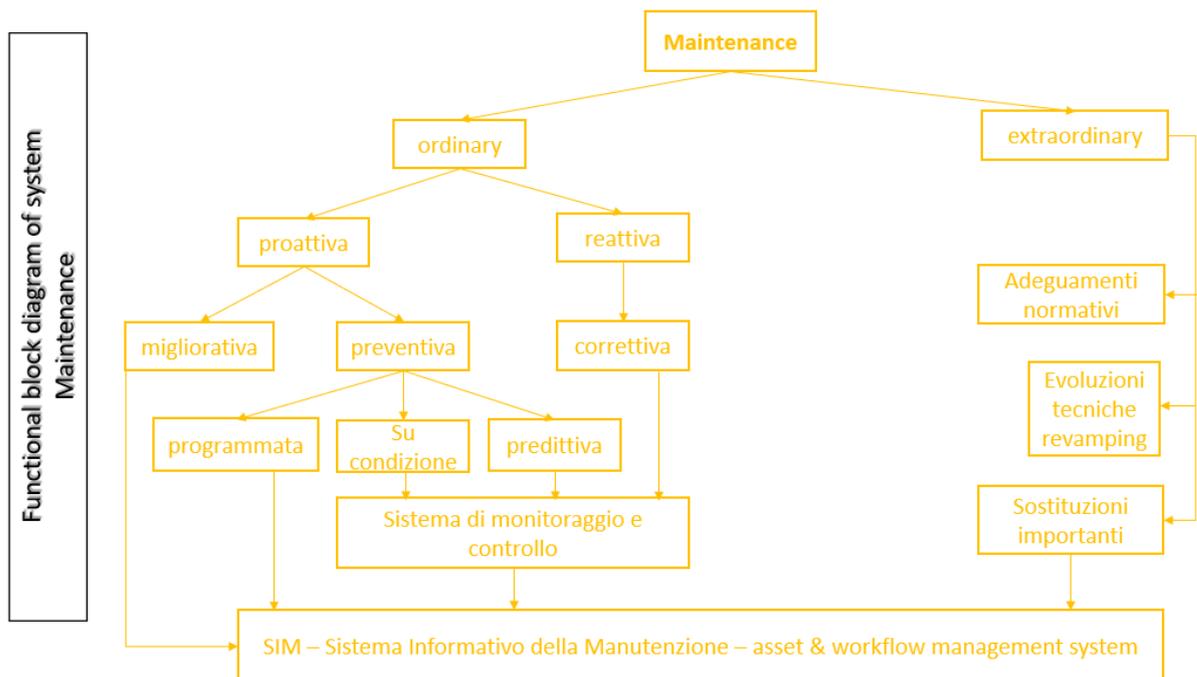


Figura 13 - FBS relativo all'attività di manutenzione

Lo sviluppo di tali diagrammi, benché all'apparenza banali e semplici, è stato di grande aiuto nella prima fase di analisi e comprensione dell'intero sistema, che altrimenti sarebbe risultato troppo complesso e sicuramente sarebbero state trascurate componenti e legami con significativo valore. Sono state perciò identificate le funzioni e quindi le componenti di ciascun sottosistema e a seguire si è proceduto con lo sviluppo più dettagliato con l'utilizzo del linguaggio SysML.

4.1.2 SysML

SysML è un linguaggio di modellazione grafica generico che supporta l'analisi, la progettazione, la verifica e validazione di sistemi complessi. Questi sistemi possono includere hardware, software, dati, personale, procedure, strutture e altri elementi dei sistemi naturali e artificiali. Prima del 1997, quando fu rilasciata la prima versione di UML, esistevano numerose notazioni e metodologie di modellazione che venivano utilizzate per i software di ingegneria. In effetti, erano disponibili oltre 150 diversi approcci riconosciuti. Tenendo presente che uno degli obiettivi di una notazione di modellazione è fornire una base uguale per tutti al fine di una chiara comunicazione, ce n'erano semplicemente troppi

disponibili e hanno reso la scelta della notazione difficile. A metà degli anni '90, dunque, l'industria del software ha deciso collettivamente che erano presenti troppi linguaggi e che questo avrebbe dovuto essere un linguaggio unico, standardizzato e comune che tutti potessero usare. Era importante che il linguaggio non fosse di proprietà di qualcuno e, quindi, si decise che l'Object Management Group (OMG), che è un ente di standardizzazione internazionale che possiede, gestisce e configura gli standard relativi alla tecnologia degli oggetti, sarebbe divenuto il proprietario del nuovo linguaggio. Nel 1997, UML è stato ufficialmente rilasciato al mondo dell'ingegneria dei software. Il linguaggio ha lo scopo di aiutare a specificare e architettare i sistemi e indicare i loro componenti che possono quindi essere progettati utilizzando altri linguaggi specifici del dominio come UML per la progettazione di software e VHDL e modellazione geometrica tridimensionale per la progettazione hardware. UML è stato adottato così ampiamente che nel 2004 è stato deciso da INCOSE di produrre una variazione di UML da applicare specificamente ai sistemi del mondo dell'ingegneria, da qui è nato SysML. SysML ha lo scopo di facilitare l'applicazione di un approccio MBSE per creare un modello coeso e coerente del sistema così da sfruttarlo nel migliore dei modi.

SysML può rappresentare i seguenti aspetti di sistemi, componenti e altre entità:

- composizione strutturale, interconnessione e classificazione;
- comportamento basato su funzioni, messaggi e stato;
- vincoli sulle proprietà fisiche e prestazionali;
- schematizzazione tra comportamento, struttura e vincoli;
- requisiti e loro relazione con altri requisiti, elementi di progettazione e casi di test.

SysML è puramente una notazione e non ha un processo intrinseco. Questo è un punto molto importante da capire e comprendere. SysML è solo una, anche se essenziale, parte di una soluzione MBSE complessiva; non è MBSE.

Il linguaggio SysML si compone di nove tipologie di diagrammi ognuno dei quali rappresenta un determinato aspetto del sistema e all'interno di esso sono contenute delle rappresentazioni appartenenti a quella determinata tipologia di diagramma. Schematicamente possono essere così rappresentati:

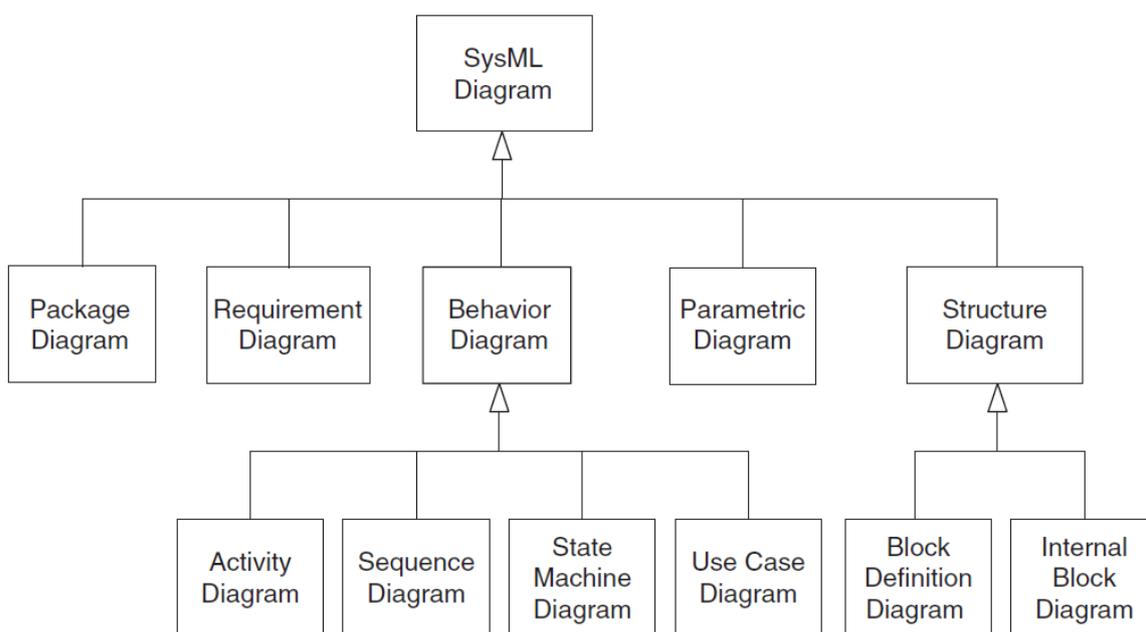


Figura 14 - Diagrammi della tassonomia SysML

- Il *package diagram (pd)* rappresenta l'organizzazione di un modello in termini di pacchetti che contengono la struttura del modello;
- Il *requirement diagram (rd)* è composto da schemi a blocchi con speciali elementi di notazione che possono specificare requisiti basati su testo, normativa, proprietà intrinseche e la loro relazione con gli altri requisiti o elementi;
- L'*activity diagram (ad)* permette di modellare e rappresentare il comportamento basato sull'ordine in cui le azioni vengono eseguite in base a risorse di input, output e controllo e come le azioni trasformano gli input in output
- Il *sequence diagram (sd)* rappresenta e consente di modellare il comportamento in termini di sequenza di messaggi scambiati tra sistemi o tra parti di sistemi;
- Lo *state machine diagram (smd)* si concentra sul comportamento all'interno di ogni singolo blocco e alle sue richieste, rappresenta il comportamento di un blocco in termini di cambiamento dettato da un evento scatenante;
- Lo *use case diagram (uc)* rappresenta la funzionalità in termini di come un sistema viene utilizzato da entità esterne (ad es. attori) per raggiungere una serie di obiettivi;
- Il *block definition diagram (bdd)* rappresenta gli elementi strutturali chiamati blocchi, la loro composizione e classificazione;

- L'*internal block diagram (ibd)* rappresenta l'interconnessione e le interfacce tra le parti di un blocco, nonché la struttura interna al blocco stesso;
- Il *parametric diagram (par)* rappresenta i vincoli sulle proprietà dei valori, come ad esempio le equazioni; rappresenta il collegamento tra la rappresentazione grafica del MBSE e quella governata da leggi matematiche.

4.1.3 FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS (FMEA)

Nello sviluppo delle fasi di un processo edilizio, accade troppo spesso che le migliori aspettative che accompagnano l'ideazione e la gestione di un edificio, subiscano poi un ridimensionamento dell'efficacia dei risultati a causa del manifestarsi di una serie di errori, difetti e mancanze di varia natura. Ciò si concretizza sostanzialmente con sintomi di degrado, con guasti imprevisti, situazioni inaspettate riconducibili direttamente ad errori od omissioni durante la fase di progetto, errori di esecuzione o scostamenti immotivati dal progetto durante la fase esecutiva, errori in fase di gestione o manutenzione. Ne derivano deficit prestazionali dell'edificio e/o delle sue parti, a volte prima ancora di iniziare ad assolvere alle proprie funzioni. Una delle metodologie che possono essere impiegate al fine di verificare l'adeguatezza di un componente alle sue specifiche prestazionali, e di prevenire i rischi conseguenti ad errori riconducibili alle fasi di progetto/processo è rappresentata dalla FMEA (Failure Modes and Effects Analysis), acronimo inglese traducibile come "analisi dei modi potenziali di guasto" o "analisi dei modi e degli effetti dei guasti". Si tratta di un modello previsionale incentrato sulla stima del rischio di non funzionamento dell'organismo edilizio o di un suo componente, ed è indirizzato alla individuazione di tutti i possibili guasti che potrebbero manifestarsi durante la sua vita utile a causa di errori progettuali e/o esecutivi, al fine di prevenirli o comunque di mitigarne gli effetti. La metodologia FMEA ha lo scopo di analizzare preliminarmente un processo, prodotto o sistema, dal punto di vista delle prestazioni che questo sia in grado di garantire, al fine di identificarne le potenziali modalità di guasto, analizzarne gli effetti e identificare le soluzioni per evitarne il riprodursi. La FMEA consente quindi di individuare le cause fondamentali di tutti i possibili guasti e di intervenire preventivamente con azioni correttive, in funzione della probabilità che si

verifichi o meno il guasto, della gravità dei suoi effetti ed anche della diagnosticabilità di questi. Gli obiettivi principali dell'analisi sono riassumibili come segue:

1. identificare le potenziali modalità di guasto durante il ciclo di vita;
2. definire gli approfondimenti e le verifiche da effettuare;
3. fissare le priorità degli interventi;
4. individuare le azioni correttive e gli interventi con le relative responsabilità;
5. documentare le scelte eseguite.

Il processo si basa principalmente sulla possibilità di scomporre il sistema complesso in sistemi semplici (componenti) e legami (interazioni) esistenti tra essi; ed ancora di ricomporre il quadro operativo di azioni correttive come somma di tutte le soluzioni definite dall'analisi eseguita sugli elementi singoli. In questi termini, viene avvalorata la definizione secondo cui l'affidabilità di un sistema risulta essere la somma dell'affidabilità delle parti che lo compongono e delle interazioni che queste si scambiano reciprocamente fra di loro o con gli elementi esterni al sistema stesso. L'esecuzione dell'analisi FMEA viene condotta attraverso le seguenti fasi:

- **Analisi Qualitativa:** è l'analisi di tutti i potenziali modi di guasto, associati alle loro cause ed effetti.
- **Analisi Quantitativa:** in questa fase i tre elementi analizzati (modo di guasto, causa ed effetto) vengono presi in considerazione associandovi un giudizio di valore su criteri predefiniti, su una scala di valori da 1 a 5, utilizzando lo standard della norma militare americana MILD - STD - 1629A e della normativa SAE JI 739 (Potential Failure and Effects Analysis for Design) che permette di calcolare un indice di priorità del rischio (RPN), come prodotto dei seguenti fattori:
 - **Occurrence:** frequenza con cui una determinata causa di guasto si manifesterà;
 - **Severity:** gravità della peggiore conseguenza potenziale;
 - **Detection:** facilità con cui un guasto può essere rilevato.

Tale indice, con valori compresi tra 1 e 125, esprime la criticità complessiva di una “failure” alla luce della gravità del suo effetto, della probabilità che ha di verificarsi e della facilità con cui si riesce a diagnosticarla. In altri termini, il RPN stabilisce quanto possa essere pericoloso un potenziale evento.

- Fase correttiva: Dopo aver opportunamente ordinato le modalità di guasto secondo il RPN, è necessario che vengano decise le azioni correttive al fine di permettere un maggiore controllo e investigazione delle cause in esame. La metodologia FMEA permette quindi di acquisire una visione generale ed esaustiva di tutti gli scenari a cui potrebbe essere soggetta l'opera edilizia durante la sua vita utile. Attraverso un'analisi sistematica dell'organismo edilizio ripartito nelle sue componenti fondamentali, permette dunque di ricavare informazioni indispensabili per una programmazione della manutenzione, fornendo un quadro completo dei potenziali scenari di degrado che potrebbero portare l'organismo edilizio ad uno stato di non funzionamento; quest'ultimo può essere riconducibile alle diverse fasi del processo edilizio, ovvero:

- fase decisionale
- fase esecutiva
- fase gestionale

Il modello FMEA può essere così riassunto nei suoi passaggi fondamentali:

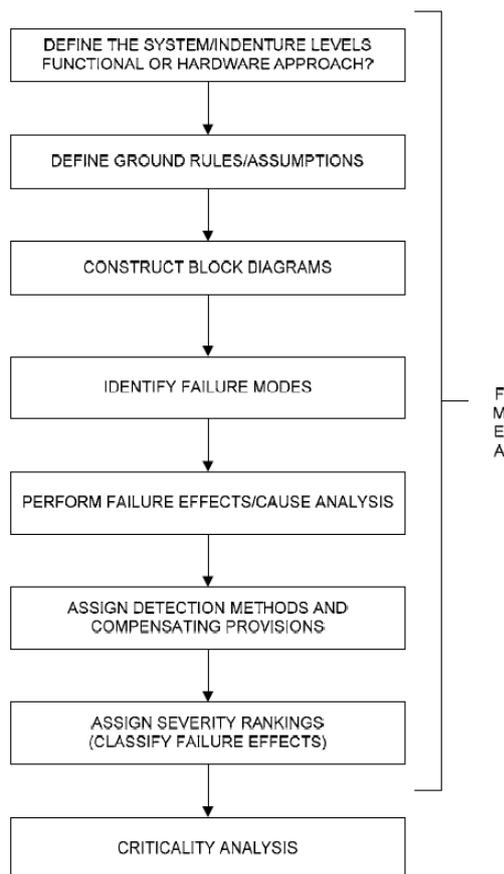


Figura 15 - Flusso tipico di un'analisi FMEA

4.2 MODELLAZIONE DEL SISTEMA DI RILEVAZIONE INCENDI

Della funzione del sistema di rivelazione incendi si è già parlato nel paragrafo 5.1, ora si passa ad analizzare più nel dettaglio la funzione di ogni singola componente e di come questa abbia a sua volta delle funzioni che la collegano ad un'altra componente del sistema. Per effettuare il lavoro della modellazione si è proceduto infatti in questo modo, partendo da un quadro generale e andando ad analizzare successivamente i dettagli. Per fare questo lavoro di scomposizione sono stati utilizzati differenti software e per comprendere a pieno il meccanismo di funzionamento dell'impianto e le prestazioni attese si è fatto riferimento alle normative UNI e al Codice di Prevenzione Incendi.

4.2.1 STRUTTURA E COMPORTAMENTO DEL SISTEMA DI RILEVAZIONE

Il sistema di rivelazione degli incendi è un tipo di impianto di sicurezza e prevenzione di cui fanno parte molteplici componenti per poter svolgere il suo compito in maniera efficace. Esso può infatti essere definito sistema complesso in quanto le sue componenti sono molteplici e svolgono differenti funzioni. Stando a quanto riportato nella normativa esso deve sicuramente comprendere le seguenti componenti:

- Rivelatori automatici di incendio che possono essere sensibili a diversi fattori. Esistono infatti rivelatori sensibili al calore, al fumo, alle fiamme o ottici lineari. La scelta di tali elementi deve essere effettuata dal progettista che deve tenere conto delle condizioni ambientali del luogo in cui verranno installati i sensori, della funzione che deve svolgere il sensore in quello specifico luogo, della geometria dell'ambiente e quindi una corretta collocazione degli elementi tenendo conto della presenza di eventuali barriere o elementi di disturbo, per evitare di provocare falsi allarmi e di ridurre la credibilità dell'apparecchio e ottenere un'efficace segnalazione repentina.



Figura 16 - Esempio di rivelatore fisso

- Punti di segnalazione manuale. Sono dei pulsanti, posizionati in punti strategici definiti dalla normativa e segnalati con appositi cartelli di segnalazione, che richiedono l'intervento dell'operatore per poter essere premuti e quindi mandare un segnale alla centrale di controllo.



Figura 17 - Pulsante di segnalazione incendio



Figura 18 - Cartello di segnalazione del pulsante di allarme

- Centrale di controllo e rivelazione. Tale elemento ha il compito di ricevere il segnale di attivazione e quindi di allarme da parte di una delle componenti di rivelazione, sia automatica che manuale, ed è quindi in grado di comunicare agli operatori quale dei locali è interessato dall'innesco di un incendio. Oltre a ricevere il segnale dai rivelatori, la CIE ha il compito di determinare se detti segnali indicano effettivamente un incendio, indicare il locale interessato e attivare i dispositivi di allarme.



Figura 19 - Centrale di rivelazione incendi

- Apparecchiatura di alimentazione. Ha il compito di alimentare l'intero sistema, sia nel caso del normale funzionamento dell'impianto che nel caso di emergenza; deve erogare in continuazione corrente ricaricando contemporaneamente la batteria di riserva e deve consentire di limitare o interrompere il ricaricamento della batteria quando il sistema sta erogando una corrente maggiore di quella necessaria al funzionamento. Secondo quanto riportato nella norma UNI EN 54-4 tale componente deve essere provvisto di due sorgenti di alimentazione, una delle quali composta da una batteria ricaricabile e quindi da un carica batteria, in quanto il sistema deve essere sempre funzionante. Qualora sia prevista la possibilità che l'impianto non funzioni in maniera continua a causa di qualche malfunzionamento, il fabbricante dovrà rendere noto il tempo di non funzionamento dell'apparecchiatura. Tale tempo è quello necessario per il passaggio da un modo di alimentazione all'altro.



Figura 20 - Alimentazione della sorgente di riserva (batteria)

- Dispositivi di allarme antincendio. Questi dispositivi possono emettere allarme di tipo acustico o luminoso al fine di fornire un avvertimento all'utente che ha così la possibilità di prendere misure appropriate rispetto ad un piano di evacuazione predeterminato. Al fine di garantire un'efficiente segnalazione è necessario che l'allarme raggiunga una prestazione acustica minima, così come le insegne luminose dovranno accendersi in modo da segnalare il pericolo; tuttavia, in quest'ultimo caso si deve tener conto di una minore visibilità dovuta alla presenza di fumo e quindi è chiaro che risulta necessaria la presenza contemporanea di entrambi gli apparecchi di segnalazione incendio. Tali indicatori vanno collocati in posizioni strategiche in modo tale da risultare efficaci nella segnalazione del pericolo.



Figura 21 - Sirene antincendio



Figura 22 - Targa luminosa antincendio

Tutte le componenti del sistema antincendio devono comunicare tra loro in modo da segnalare tempestivamente il pericolo, acquisire l'informazione e attivare il segnale di allarme che avvisa gli utenti o il personale addetto all'emergenza. Tale collegamento è possibile grazie al cavo bus, elemento fondamentale che permette all'informazione di viaggiare all'interno di tutto il sistema. Attraverso una codifica software è possibile trasmettere alle apparecchiature determinate istruzioni specifiche che attivano un'esecuzione automatica da parte dei dispositivi. Inoltre, attraverso la centrale di rivelazione è possibile anche attivare sistemi wireless in grado di ricevere il segnale di pericolo anche a distanza. Di seguito si riporta uno schema grafico di come le varie apparecchiature sono connesse tra loro e a loro volta all'incendio.

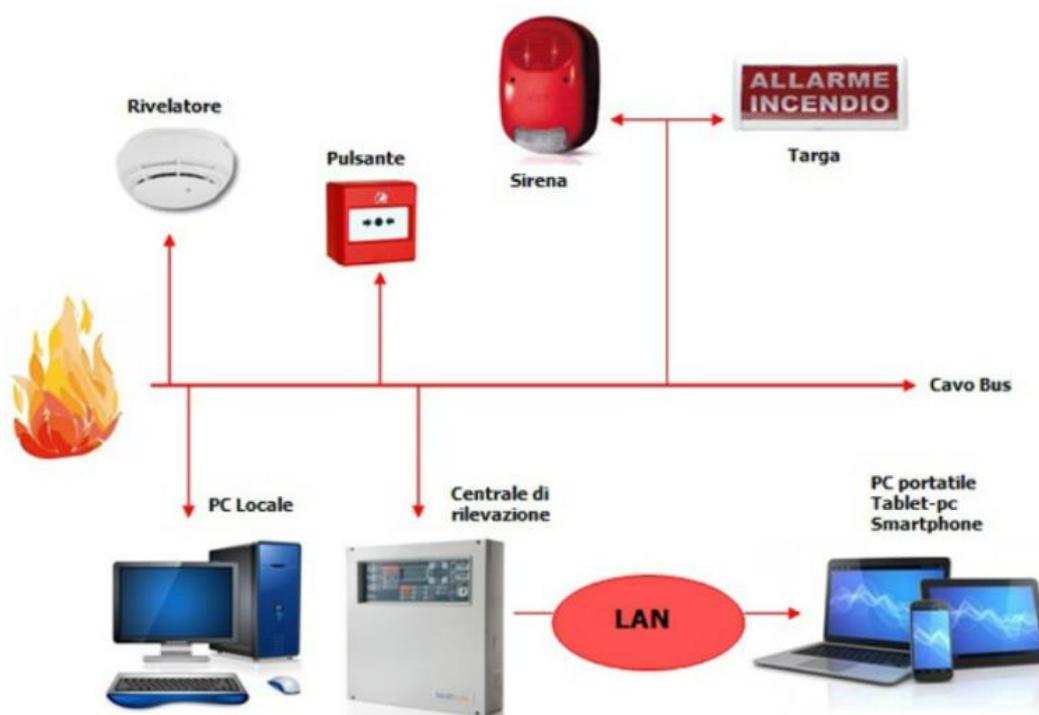


Figura 23 - Schema grafico degli elementi del sistema antincendio

4.2.2 PRESTAZIONI DEL SISTEMA E LOGICA DI CONTROLLO

Come visto nei paragrafi precedenti, ogni componente svolge un ruolo fondamentale e preciso ma per poter ottenere un ottimo risultato finale e quindi la massima efficienza del sistema, tutte le componenti devono poter rispondere a criteri ben precisi che in questo caso sono stati trovati nella normativa di riferimento per ciascun componente. Per poter quindi scomporre ulteriormente il sistema nelle sue componenti utili al fine di averne un maggior controllo nel monitoraggio e gestione, si è entrati all'interno della normativa che è un riferimento per un progettista benché egli possa decidere di utilizzare soluzioni alternative e innovative ma pur rispettando lo standard previsto dalla norma. Pertanto, di seguito si riportano gli aspetti della normativa a cui si è fatto riferimento, negli schemi successivamente realizzati, per ciascun componente.

- Per i rivelatori di incendio si è fatto riferimento alla UNI EN 54-7: 2018 per i rivelatori di fumo, alla UNI EN 54-5:2018 per i rivelatori di calore, alla UNI EN 54-10:2006 per i rivelatori di fiamma, alla UNI EN 54-12:2015 per i rivelatori che

utilizzano un raggio ottico e per la corretta installazione alla UNI 9795: 2021. Nella norma sono riportati i requisiti che sono stati utilizzati per la successiva modellazione in SysML tra i quali:

- la conformità dell'elemento che deve soddisfare i requisiti tramite esame visivo, valutazioni tecniche o prove come descritto al punto 5 della stessa normativa;
- l'affidabilità del funzionamento che comprende a sua volta l'indicazione di un allarme individuale con apposita segnalazione mediante accensione di una luce rossa, il collegamento a dispositivi ausiliari che prevenga eventuali interruzioni di funzionamento del rivelatore, il controllo di rivelatori rimovibili, le regolazioni del fabbricante che possono essere condotte solo ed esclusivamente con appositi mezzi, la regolazione in loco del comportamento di risposta, la protezione contro l'ingresso di corpi estranei, la risposta agli incendi a sviluppo lento e il funzionamento quando si parla di rilevatori a controllo software;
- le condizioni nominali di attivazione/sensibilità che comprendono la ripetibilità e quindi la capacità di avere un comportamento stabile anche dopo un certo numero di condizioni di allarme, la dipendenza direzionale che implica che il rivelatore non deve essere eccessivamente sensibile alla direzione del flusso d'aria intorno ad esso, la riproducibilità;
- il tempo di risposta che sarà influenzato dalle correnti d'aria, dall'abbagliamento, dalla variazione di tensione di alimentazione, dalla sensibilità al fuoco;
- la durabilità delle condizioni nominali di attivazione/sensibilità comprendente la resistenza alla temperatura (per il corretto funzionamento a basse ed elevate temperature ambientali), la resistenza all'umidità (resistenza a clima caldo umido sia per quanto riguarda la funzionalità che nella lunga durata), la resistenza alla corrosione, la resistenza alle vibrazioni, la stabilità elettrica;
- la superficie di pavimento di ciascuna zona sorvegliata non può essere maggiore di 1600 m² (UNI 9795 punto 5.2.4);

- in ciascuna zona sorvegliata individuata deve essere installato almeno un rivelatore di incendio (UNI 9795 punto 5.4.1.2);
- la distanza tra i rivelatori e le pareti del locale sorvegliato non deve essere minore di 0,5 m, a meno che siano installati in corridoi, cunicoli, condotti tecnici o comunque ambienti aventi larghezza minore di 1 m (5.4.2.5);
- ogni tipologia di rivelatore può essere collocata ad una altezza massima per essere efficiente e rivelare in maniera corretta l'incendio in base al suo raggio di copertura, di conseguenza così si determina il numero di rivelatori necessari:

Distribuzione dei rivelatori puntiformi di calore

	Altezza (h) dei locali (m)			
	$h \leq 6^{1)}$	$6 < h \leq 7,5$	$7,5 < h \leq 12$	$12 < h \leq 16$
Tecnologia di rivelazione	Raggio di copertura ^{a)} (m)			
Rivelatori puntiformi di calore (UNI EN 54-5)	4,5	4,5	NU ^{b)}	NU ^{b)}
a)	Vedere punto 3.11 e figura 4.			
b)	NU = Non Utilizzabile.			
1)	L'altezza massima di 7,5 m vale solo per i rivelatori classi A1; 6 m per i rivelatori classe A2; per le altre classi solo protezione ad oggetto.			

Posizionamento rivelatori puntiformi di fumo su soffitti piani o con inclinazione rispetto all'orizzontale $\alpha \leq 20^\circ$ e senza elementi sporgenti

	Altezza (h) dei locali (m)			
	$h \leq 6$	$6 < h \leq 8$	$8 < h \leq 12$	$h > 12$
Tecnologia di rivelazione	Raggio di copertura ^{a)} (m)			
Rivelatori puntiformi di fumo (UNI EN 54-7)	6,5	6,5	6,5	NU
a)	Vedere punto 3.11 e figura 11.			
NU	Non utilizzabile.			

Tecnologia Rivelatori lineari di fumo (UNI EN 54-12)			
Altezza dei locali h	$h \leq 12$	$h \leq 12$	$12 < h < 16$
Tipo di copertura	Soffitti piani e volte a botte	Shed, coperture a falde e elementi sporgenti	Per tutte le coperture
Altezza di installazione	Entro 10% dal colmo	Entro 15% dal colmo	Consigliato doppio livello con rispetto dei parametri di altezza.
Variante di installazione	Possibile entro 25% dal colmo con aumento del 50% dei rivelatori previsti	Possibile entro 25% dal colmo con aumento del 50% dei rivelatori previsti	
Note - Distanza minima consentita dalle coperture 30 cm. - Per installazione ad altezze maggiori di 12 m vedere punto 5.4.5.5 e figura 19. - Per installazioni in calotte emisferiche o cupole vedere punto 5.4.5.10.			

- per i rivelatori di tipo ottico sono previste limitazioni nella larghezza dell'area coperta che non deve superare i 15 m (UNI 9795 punto 5.4.5.3);
- la corretta installazione dei rivelatori dipende in larga parte dalla tipologia del soffitto sul quale gli elementi vengono installati: piano, con travi a vista, a cassettoni. Nel caso di travi a vista, in direzione parallela a queste, la distanza massima tra due rivelatori deve essere pari a 6 m, mentre in direzione perpendicolare si fa riferimento alla seguente tabella:

Posizionamento rivelatori di calore in direzione perpendicolare alle travi

$DI (H-h)$	Distribuzione rivelatori di calore con travi parallele
$DI (H-h) \geq 0,6$	1 rivelatore in ogni interspazio ^{*)}
$0,3 \leq DI (H-h) < 0,6$	1 rivelatore ogni 2 interspazio ^{*)}
$0,15 \leq DI (H-h) < 0,3$	1 rivelatore ogni 4 interspazio ^{*)}
$DI (H-h) < 0,15$	$S_1 \leq 3 \text{ m}$
*) interspazio: superficie delimitata dalle due travi parallele. Legenda: vedere figura 6.	

Invece, nel caso di soffitti con travi intersecanti o a cassettoni si fa riferimento alla tabella seguente:

Distribuzione rivelatori di calore nei riquadri creati da travi intersecanti

$D_1 / (H-h)$	Distribuzione rivelatori di calore nei riquadri creati da travi intersecanti	
Se $D_1 / (H-h) \geq 0,6$	Un rivelatore per ogni riquadro ^{*)}	
Se $D_1 / (H-h) < 0,6$	$H \leq 4$	$4 < H < 7,5$
	Distanze massime tra 2 rivelatori: $S_1 \leq 3 \text{ m} - S_2 \leq 4,5 \text{ m}$	Distanze massime tra 2 rivelatori ^{*)} $S_1 \leq 4,5 \text{ m} - S_2 \leq 4,5 \text{ m}$
*) E' consigliabile l'impiego di un rivelatore con intervento basato anche su gradiente di temperatura Legenda: vedere figura 7.		

- Per i punti di segnalazione manuale si è fatto riferimento alla normativa UNI EN 54-11:2006 e per la corretta installazione alla norma UNI 9795: 2021 delle quali sono stati presi in considerazione i seguenti requisiti:
 - o la conformità dell'elemento che deve soddisfare i requisiti tramite esame visivo, valutazioni tecniche o prove come descritto al punto 5 della stessa normativa;
 - o rispettare la marcatura che accompagna il singolo prodotto con tutti i dati utili per risalire al fabbricante o al fornitore e presentare i dati tecnici di installazione, manutenzione e funzionamento;
 - o deve essere un elemento frangibile e deve essere distinguibile la normale condizione da quella di allarme;
 - o devono esserci indicatori della condizione di allarme (come delle spie LED);
 - o è prevista una funzione di ripristino, in quanto elemento frangibile, deve poter essere ristabilita la sua condizione normale di esercizio;
 - o deve essere provvisto di una funzione di prova in quanto è un elemento necessario alle simulazioni e deve poter essere attivato, in tale situazione, senza dover essere rotto;
 - o aspetti relativi alla costruzione e progettazione come la sicurezza nell'azionamento in quanto l'operatore non deve ferirsi, l'elemento deve presentarsi di forma quadrata o rettangolare, con dimensioni prestabilite dalla norma al paragrafo 4.7.2.2 (prospetto 1) e di colore rosso con diciture in bianco.

I simboli e le diciture devono trovarsi in maniera appropriata secondo quanto prestabilito al punto 4.7.3 per quanto riguarda simboli e diciture sul lato anteriore (4.7.3.2) e lato di funzionamento (4.7.3.3).

Deve essere prevista una protezione trasparente contro l'azionamento accidentale.

- in ciascuna zona deve essere installato un numero di pulsanti di segnalazione manuale tale che almeno uno di essi possa essere raggiunto da ogni parte della zona stessa con un percorso non maggiore di 30 m per attività con rischio di incendio basso e medio e di 15 m nel caso di ambienti a rischio di incendio elevato (6.1.2);
 - i punti di segnalazione manuale devono essere installati in posizione chiaramente visibile e facilmente accessibile ad un'altezza compresa fra 1 m e 1,6 m (6.1.3).
- La centrale di controllo e segnalazione (CIE) viene descritta dalla normativa UNI EN 54-2: 2007 e riporta i seguenti requisiti generali per le segnalazioni e requisiti costruttivi presi in considerazione per la creazione dei modelli:
- la c.c.s. deve essere in grado di segnalare in modo inequivocabile le condizioni funzionali di riposo, di allarme incendio, di guasto, di fuori servizio e di test;
 - tutte le segnalazioni devono poter essere visualizzate sul display con caratteri alfanumerici;
 - l'elemento deve essere conforme ai requisiti costruttivi indicati al punto 12 della detta normativa; tale conformità può essere verificata mediante prove o verifica del progetto e della documentazione;
 - l'involucro deve essere robusto e deve possedere almeno il grado di protezione IP 30 della EN 60529: 1991 con livello di accesso 2;
 - le segnalazioni luminose obbligatorie devono essere visibili con luminosità ambientale sino a 500 Lux, da ogni angolazione sino a 22,5° rispetto alla perpendicolare alla sua superficie di montaggio passante attraverso il dispositivo di segnalazione:
 - . a 3 m di distanza per segnalazione di condizioni generali;

- . a 3 m di distanza per la segnalazione di presenza alimentazione;
 - . a 0,8 0,8 m di distanza per le altre segnalazioni.
- Se si utilizzano segnalazioni lampeggianti, sia il periodo di accensione sia il periodo di spegnimento devono essere maggiori o uguali a 0,25 secondi e le frequenze di lampeggio non devono essere minori di 1 Hz per segnalazioni di allarme incendio, 0,2 Hz per segnalazioni di guasto;
- per le segnalazioni sul display alfanumerico, un campo deve essere in grado di contenere almeno:
 - . 16 caratteri quando la visualizzazione di un allarme incendio adotta un riferimento incrociato ad altre informazioni per identificare la provenienza;
 - . 40 caratteri quando la visualizzazione include una completa informazione sulla provenienza di un allarme incendio.
- Inoltre, le segnalazioni devono essere leggibili sul display per almeno un'ora dalla visualizzazione di una nuova segnalazione di incendio o guasto ad una distanza di 0,8 m e con un'intensità luminosa ambientale compresa tra 5 Lux 500 Lux da ogni angolazione;
- le segnalazioni prevedono colori differenti in particolare il rosso segnala un allarme incendio, il giallo segnala un guasto, un fuori servizio, uno stato di test, il verde segnala la presenza di alimentazione;
 - il minimo livello sonoro, misurato in condizioni anecoiche alla distanza di 1 m e con ogni portello di accesso chiuso, deve essere di 60 decibel per le segnalazioni di allarme acustico e 50 decibel per le segnalazioni di guasto.
- I dispositivi di allarme antincendio sono di tipo sonoro, quelli descritti dalla normativa UNI EN 54-3, e di tipo ottico, descritti dalle normative UNI EN 54-23 e UNI 9795:2021. Di seguito si riportano i requisiti prestazionali presi in considerazione per la creazione dei modelli in riferimento a dispositivi di tipo sonoro:
- l'elemento deve essere conforme ai requisiti costruttivi indicati al punto 4 della detta normativa; tale conformità può essere verificata mediante prove o verifica del progetto e della documentazione come richiesto al punto 5 (metodo di prova);
 - la durata minima del funzionamento deve essere almeno pari a 100 h;

- il dispositivo deve produrre livelli di pressione acustica ponderata di almeno 65 decibel in una direzione;
- la sequenza e la temporizzazione del segnale di allarme devono rispettare i seguenti valori:

Fasi della sequenza	Durata
a) segnale di allerta	Da 2 a 10 s
b) silenzio	Da 0,25 a 2 s
c) messaggio vocale	≤ 30 s
d) silenzio	Da 0,25 a 2 s

il tempo che intercorre tra l'inizio di un ciclo e quello successivo non deve eccedere i 30 secondi;

- il dispositivo deve resistere e funzionare a temperature particolarmente elevate o basse, ad ambienti con elevata umidità.

Per quanto riguarda invece i dispositivi di allarme di tipo ottico i requisiti presi in considerazione per la modellazione sono stati i seguenti:

- l'elemento deve essere conforme ai requisiti costruttivi indicati al punto 4 della detta normativa; tale conformità può essere verificata mediante prove o verifica del progetto e della documentazione come richiesto al punto 5 (metodo di prova);
- la durata minima del funzionamento deve essere almeno pari a 100 h;
- l'intensità luminosa effettiva deve essere di 1 cd per il 70% dei punti di misurazione e in ogni caso mai maggio di 500 cd; la variazione dell'intensità luminosa non può superare il 25% nell'arco di 30 minuti;
- i colori previsti per la segnalazione sono luce bianca o rossa lampeggiante;
- la frequenza del lampeggiamento deve essere compresa tra 0,5 Hz e 2 Hz;
- il dispositivo deve resistere e funzionare a temperature particolarmente elevate o basse, ad ambienti con elevata umidità;
- l'altezza minima di installazione dei soli avvisatori ottici è di 2,4 m dal pavimento finito ad esclusione di locali aventi altezze inferiori, inoltre,

l'installazione deve essere superiore a quella di ogni anta apribile o comunque non deve da questa essere ostruito.

- L'apparecchiatura di alimentazione è descritta dalla normativa UNI EN 54-4:2007 e di seguito si riportano i requisiti prestazionali presi in considerazione per la creazione dei modelli in riferimento:
 - l'elemento deve essere conforme ai requisiti costruttivi indicati ai punti 4,5,6,7 e 8 di detta normativa; tale conformità può essere verificata mediante prove o verifica del progetto e della documentazione come richiesto al punto 9 (metodo di prova);
 - devono essere previste almeno 2 sorgenti di alimentazione: una principale e una di riserva (4.2.1). Quella principale deve essere progettata per operare utilizzando la rete di alimentazione pubblica o metodo ad essa equivalente (4.2.2), quella di riserva deve essere costituita da una batteria ricaricabile (4.2.3);
 - deve essere in grado di erogare corrente in maniera continua per il corretto funzionamento e per la carica costante della batteria di riserva (5.1);
 - deve essere assicurato un grado di protezione dell'involucro pari ad IP30 della EN 60529:1991.

- L'apparecchiatura di collegamento e trasmissione del sistema è trattata nella normativa UNI EN 54-21: 2006 e nella UNI 9795: 2021 e ai fini della modellazione sono stati tenuti in considerazione i seguenti requisiti:
 - l'apparecchiatura deve essere conforme ai requisiti costruttivi indicati al punto 4 di detta normativa; tale conformità può essere verificata mediante prove o verifica del progetto e della documentazione come richiesto al punto 5 (metodo di prova) (4.2);
 - l'apparecchiatura deve essere in grado di (5.1):
 - . ricevere segnali di allarme dalla CIE;
 - . trasmettere segnali di guasto e avvertimento alla CIE;
 - . ricevere segnali di guasto e avvertimento dalla rete di trasmissione;
 - . trasmettere il segnale di allarme incendio alla centrale di ricevimento della segnalazione d'allarme incendio;

- . ricevere il segnale di riscontro dalla centrale di ricevimento della segnalazione;
- . trasmissione del riscontro alla CIE.
- per il collegamento di apparati aventi tensioni di esercizio uguali o minori di 100 volt vengono utilizzati cavi con conduttori flessibili e con sezione minima di 0,5 mm²;
- il requisito minimo di resistenza al fuoco è pari a PH 30 ma nell'ipotesi di esistenza di distinte zone o distinti compartimenti, il valore di resistenza al fuoco richiesto potrà essere superiore (PH 120).

4.3 MODELLAZIONE DEL SISTEMA DI ESTINZIONE INCENDI

A proposito del sistema di estinzione incendi si è già parlato nel paragrafo 5.2, in cui è stato definito il ruolo e lo scopo del sistema di estinzione; ora si passa ad analizzare più nel dettaglio la funzione di ogni singola componente che costituisce il sistema e di come questa abbia a sua volta delle funzioni che la collegano ad un'altra componente. Per effettuare il lavoro della modellazione si è proceduto infatti in questo modo, partendo da un quadro generale e andando ad analizzare successivamente in dettaglio le singole funzioni di ciascun componente e le rispettive caratteristiche. Per fare questo lavoro di scomposizione sono stati utilizzati differenti software e per comprendere a pieno il meccanismo di funzionamento dell'impianto e le prestazioni attese si è fatto riferimento alle normative UNI e al Codice di Prevenzione Incendi.

4.3.1 STRUTTURA E COMPORTAMENTO DEL SISTEMA DI ESTINZIONE

Il sistema di estinzione incendi entra in gioco una volta avvenuto l'innesco dell'incendio e proprio per limitare i danni è bene che esso si attivi il prima possibile, facendo riferimento a sistemi automatici di spegnimento quale lo sprinkler, o che esso sia progettato in modo tale che l'utilizzo dei componenti sia di facile impiego, nel caso di sistemi portatili. In entrambi i casi in questo lavoro di tesi si è fatto riferimento a sistemi di protezione attiva e che quindi si attivano e vengono utilizzati una volta che l'incendio si è creato. Al fine di modellare

correttamente tutti gli elementi necessari per un impianto di estinzione si è analizzata nel dettaglio la struttura dell'impianto nelle sue componenti e può essere suddivisa come riportato in seguito:

SISTEMI FISSI: in questa categoria ricadono le seguenti tecnologie che possono essere complementari e contemporaneamente presenti:

- Sistemi manuali di cui fanno parte reti di naspi e idranti perennemente in pressione alimentati da un sistema autonomo; possono essere previsti tali sistemi in luoghi con determinate condizioni ambientali e in posizione strategica; le tubazioni di tale sistema, inoltre, devono essere sufficientemente flessibili da non subire danni in caso di spostamenti dovuti al sisma e quindi devono essere in grado di resistere in condizioni straordinarie. Più dettagliatamente sono stati presi in considerazione i seguenti elementi del sistema fisso manuale:
 - I naspi che sono tubazioni semirigide avvolte su una bobina già collegata sia alla rete idrica che alla lancia erogatrice. Si trovano all'interno di una cassetta antincendio, incassata nel muro o appesa alla parete, con anta apribile almeno a 170° e bobina che permette di srotolare la tubazione orientabile. il naspo antincendio è più pratico e più semplice da utilizzare rispetto alla manichetta dell'idrante, può essere srotolato per quella distanza che serve e non totalmente, ma ha una portata idrica ovviamente inferiore.



Figura 24 - Naspo antincendio

- Gli idranti che sono apparecchi di erogazione dell'acqua, costituiti da una tubazione appiattibile di diversi diametri, una lancia per l'erogazione dell'acqua con possibilità di frazionare o intercettare il getto e una cassetta dove riporre l'attrezzatura quando non viene utilizzata. Hanno una maggiore portata rispetto ai naspi e necessitano di una pressione maggiore, il loro utilizzo risulta quindi più complesso.



Figura 25 - Idrante antincendio

- Sistemi automatici o a comando remoto che si attivano automaticamente dopo aver ricevuto il segnale dalla centralina di controllo e segnalazione oppure possono essere attivati su comando da postazione remota:
 - Il sistema sprinkler è classificato tra i sistemi di estinzione a pioggia ed ha il compito di estinguere l'incendio quando questo è allo stadio iniziale. Tale sistema comprende un'alimentazione idrica e un impianto pressurizzato in grado, attraverso una serie di tubazioni, di far fuoriuscire l'acqua dagli erogatori posti a soffitto. Tale tipologia di impianto può essere a umido, quando l'impianto prevede che l'acqua sia costantemente in circolo nel sistema, o a secco, nel caso in cui a causa di temperature particolarmente basse ci sia il rischio di congelamento dell'acqua all'interno delle tubature; nel secondo caso si avranno dei tempi ritardati di azione del sistema. Nel complesso un impianto a secco può essere così schematizzato:

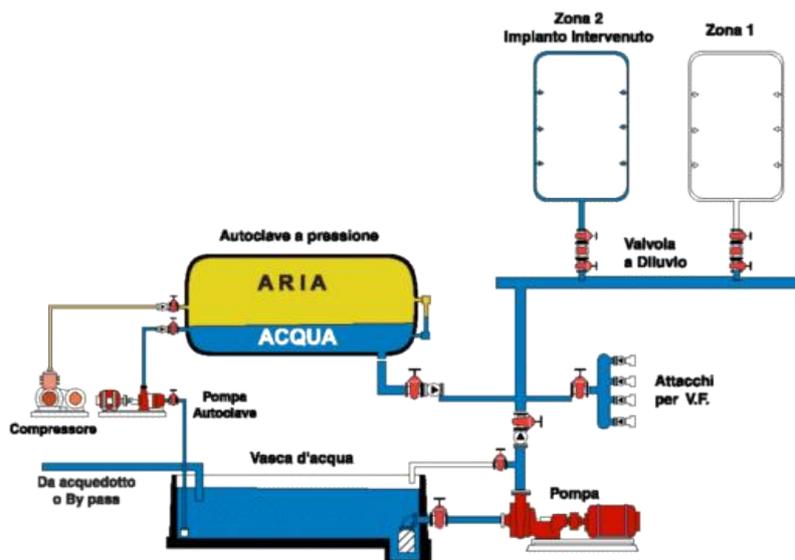


Figura 26 - Schema di impianto sprinkler a secco



Figura 27 - Foto di impianto sprinkler a secco

Gli elementi che fanno parte di un impianto spinkler sono:

- il sistema ad acqua, di cui fanno parte una vasca di accumulo dell'acqua o un serbatoio, una pompa elettrica o a diesel e infine un sistema di tubature in grado di distribuire l'acqua;

- Il sistema di pressurizzazione e quindi un compressore e un'autoclave che devono essere sempre in collegamento attraverso un sistema di tubature e valvole;
- Il sistema di erogazione sprinkler a soffitto in grado di distribuire l'agente estinguente all'interno del locale come fosse una pioggia più o meno consistente in base alla classificazione prestabilita del locale in cui si intende agire.



Figura 28 - Valvola sprinkler, erogatore a soffitto

SISTEMI PORTATILI: di questa categoria fanno parte tutti quei sistemi che hanno bisogno dell'intervento dell'utente per essere azionati ed utilizzati:

- o Gli estintori, che possono essere estintori a mano o estintori carrellati, sono dispositivi di primo intervento con massa limitata per consentire di essere manovrati facilmente e durata di funzionamento prestabilita. Gli estintori possono essere suddivisi in base al tipo di agente estinguente (polvere, anidride carbonica, idrico, schiuma, clean agent e halon) che svolge un'azione specifica nei confronti dell'incendio, infatti, si può agire per soffocamento, raffreddamento o per reazione chimica in base al tipo di sostanza presente all'interno dell'estintore. La scelta dell'agente estinguente è di fondamentale importanza in quanto si deve tener conto del possibile rischio di incendio, delle sostanze e i beni presenti nel locale interessato al fine di limitare i danni. In ogni caso gli estintori entrano in funzione per mezzo di una pressione che si crea al loro interno; esistono estintori pressurizzati, detti a pressione permanente, e da pressurizzare, chiamati a pressione ausiliaria.



Figura 29 - Tipologie di estintori

4.3.2 PRESTAZIONI DEL SISTEMA E LOGICA DI CONTROLLO

Come visto nei paragrafi precedenti, ogni componente svolge un ruolo fondamentale e preciso ma per poter ottenere un ottimo risultato finale e quindi la massima efficienza del sistema, tutte le componenti devono poter rispondere a criteri ben definiti che in questo caso sono stati trovati nella normativa di riferimento per ciascun componente. Solo seguendo le regole dettate dalla normativa o comunque un'attenta progettazione si può realizzare un sistema utile durante l'emergenza e inoltre sarà possibile fare uno zoom nelle sue funzioni per poterne valutare efficienze e carenze. Per poter quindi scomporre ulteriormente il sistema nelle sue componenti utili al fine di averne un maggior controllo nel monitoraggio e gestione, si è entrati all'interno della normativa che è un riferimento per un progettista benché egli possa decidere di utilizzare soluzioni alternative e innovative ma pur rispettando lo standard previsto dalla norma. Pertanto, di seguito si riportano gli aspetti della normativa a cui si è fatto riferimento, nei modelli successivamente realizzati, per ciascun componente.

- Il sistema dei naspi viene definito dalle normative UNI 10779:2021 e UNI EN 671-1: 2012 e ai fini della modellazione in SysML sono stati presi in considerazione i seguenti requisiti e limitazioni:
 - o i naspi all'interno dei fabbricati devono essere ubicati in modo che ogni punto dell'area protetta disti al massimo 20 m (distanza geometrica) dall'idrante a

muro e, nei fabbricati a più piani, ove occorra l'impianto di idranti, devono essere installati naspi a tutti i piani;

- per i naspi si può installare una tubazione semirigida di lunghezza massima pari a 30 m;
- i naspi devono essere installati ad una distanza tra loro massima di 60 m;
- le gittate effettive dei getti alla pressione di 0,2 Mpa non devono risultare minori dei seguenti valori:
 - getto pieno: 10 m;
 - getto frazionato a velo diffuso: 6 m;
 - getto frazionato a forma di cono: 3 m;
- le lance erogatrici nella posizione a getto frazionato devono avere i seguenti angoli di apertura:
 - getto frazionato a velo diffuso: $90^\circ \pm 5^\circ$;
 - getto frazionato a forma di cono: non minore di 45° ;
- la tubazione deve essere dotata all'estremità di una lancia erogatrice che permetta le seguenti regolazioni del getto:
 - chiusura getto;
 - getto frazionato;
 - getto pieno.

È consigliabile che la sequenza sia come sopra indicata con il getto frazionato tra le posizioni di chiusura getto e di getto pieno. Ogni getto frazionato deve essere a forma di cono o a velo diffuso;

- il colore della bobina deve essere rosso;
- la cassetta di un naspo antincendio deve essere munita di portello. Il portello della cassetta deve poter aprirsi almeno di 170° per permettere lo srotolamento della tubazione in ogni direzione. La cassetta deve essere priva di spigoli taglienti che possano danneggiare l'attrezzatura o lesionare gli utilizzatori;
- la coppia di manovra necessaria ad effettuare le differenti regolazioni del getto della lancia erogatrice (cioè apertura, getto frazionato, getto pieno o controllo di portata) alla massima pressione di esercizio non deve essere

maggiore di 4 Nm per le tubazioni di 19 mm e 25 mm di diametro e 7 Nm per le tubazioni di 33 mm di diametro;

- Il sistema degli idranti viene definito dalle normative UNI 10779:2021, UNI EN 671-2: 2012 e DM 10 marzo 1988 e ai fini della modellazione in SysML sono stati presi in considerazione i seguenti requisiti e limitazioni:
 - la pressione nominale dei componenti del sistema non deve essere minore della massima pressione di esercizio che il sistema può raggiungere in ogni condizione di funzionamento e, comunque, non minore di 1,2 Mpa;
 - le tubazioni metalliche in acciaio non legato devono avere uno spessore minimo come riportato nel seguente prospetto:

Spessori minimi per tubazioni UNI EN 10224

Diametro nominale	Spessore minimo (mm)
125	4,0
150	4,5
200	5,0
250	5,6
300	6,3

- gli idranti all'interno dei fabbricati devono essere ubicati in modo che ogni punto dell'area protetta disti al massimo 20 m (distanza geometrica) dall'idrante a muro e, nei fabbricati a più piani, ove occorra l'impianto di idranti, devono essere installati idranti a muro a tutti i piani;
- si può installare per gli idranti a muro una tubazione flessibile di lunghezza massima pari a 25 m;
- gli idranti devono essere installati ad una distanza tra loro massima di 60 m;
- l'assicurazione della continuità per gli acquedotti va intesa durante la normale erogazione del servizio. Un'indisponibilità per manutenzione dell'ordine di 60 ore/anno, relativamente all'area interessata dall'impianto, attestabile mediante dati statistici relativi agli anni precedenti, è considerata accettabile almeno per le aree di livello di pericolosità 1 e 2;
- in base al livello di pericolosità precedentemente determinato vengono stabiliti il numero di idranti necessari e il tempo di durata di ciascuno in base alla seguente tabella:

prospetto B.1 **Dimensionamento degli impianti - reti idranti ordinarie**

Livello di pericolosità	Tipologie di protezione ed apparecchi considerati contemporaneamente operativi		
	Protezione interna ^{3) 4)}	Protezione esterna ^{4) 5)}	Durata
1	2 idranti a muro ¹⁾ con 120 l/min cadauno e pressione residua non minore di 0,2 MPa oppure 4 naspi ¹⁾ con 35 l/min cadauno e pressione residua non minore di 0,2 MPa	Generalmente non prevista	≥ 30 min
2	3 idranti a muro ¹⁾ con 120 l/min cadauno e pressione residua non minore di 0,2 MPa oppure 4 naspi ¹⁾ con 60 l/min cadauno e pressione residua non minore di 0,3 MPa	4 attacchi di uscita ^{1) 2)} DN 70 con 300 l/min cadauno e pressione residua non minore di 0,3 MPa	≥ 60 min
3	4 idranti a muro ¹⁾ con 120 l/min cadauno e pressione residua non minore di 0,2 MPa oppure 6 naspi ¹⁾ con 60 l/min cadauno e pressione residua non minore di 0,3 MPa	6 attacchi di uscita ^{1) 2)} DN 70 con 300 l/min cadauno e pressione residua non minore di 0,4 MPa	≥ 120 min ²⁾
<p>1) Oppure tutti gli apparecchi installati nel compartimento antincendio, o gli attacchi previsti per la protezione esterna, se minori al numero indicato.</p> <p>2) In presenza di impianti automatici di spegnimento il numero di attacchi di uscita DN 70 può essere limitato a 4 e la durata a 90 min.</p> <p>3) Per compartimenti antincendio maggiori di 4 000 m² ed in assenza di protezione esterna, il numero di idranti o naspi contemporaneamente operativi deve essere doppio rispetto a quello indicato,</p> <p>4) Le prestazioni idrauliche richieste si riferiscono a ciascun apparecchio in funzionamento contemporaneo con il numero di apparecchi previsti nel prospetto. Si deve considerare il contemporaneo funzionamento solo di una tipologia di protezione (interna o esterna).</p> <p>5) Nelle attività con livello di pericolosità 2 e 3, per le quali non sia prevista la realizzazione della protezione esterna, si deve comunque installare, in posizione accessibile e sicura, almeno un idrante sopra suolo o sottosuolo, conforme rispettivamente alle norme UNI EN 14384 e UNI EN 14339, atto al rifornimento dei mezzi di soccorso dei vigili del fuoco. Ciascun idrante deve assicurare un'erogazione minima di 300 l/min per almeno 60 minuti e deve essere collegato alla rete (acquedotto) pubblica o privata o, in subordine, derivato dalla stessa rete idranti, prevedendo il contemporaneo funzionamento con la protezione interna.</p>			

- il dislivello tra lo sprinkler più alto e quello più basso in un impianto non deve essere maggiore di 45 m;
- il diametro interno della tubazione deve essere al massimo di 52 mm;
- i valori di portata sia nella posizione a getto pieno sia nella posizione a getto frazionato devono essere secondo il seguente prospetto:

Portate minime e coefficiente K minimo in funzione della pressione

Diametro dell'ugello o diametro equivalente mm	Portata minima Q l/min			Coefficiente K ^{a)}
	P = 0,2 MPa	P = 0,4 MPa	P = 0,6 MPa	
9	65	92	113	46
10	78	110	135	55
11	96	136	167	68
12	102	144	176	72
13	120	170	208	85

a) La portata Q alla pressione P è definita dall'equazione $Q = K \cdot \sqrt{10P}$, con Q espresso in l/min e P in MPa.

- le gittate effettive dei getti alla pressione di 0,2 Mpa non devono risultare minori dei seguenti valori:
 - getto pieno: 10 m;
 - getto frazionato a velo diffuso: 6 m;
 - getto frazionato a forma di cono: 3 m;
- le lance erogatrici nella posizione a getto frazionato devono avere i seguenti angoli di apertura:
 - getto frazionato a velo diffuso: $90^\circ \pm 5^\circ$;
 - getto frazionato a forma di cono: non minore di 45° ;
- la tubazione deve essere dotata all'estremità di una lancia erogatrice che permetta le seguenti regolazioni del getto:
 - chiusura getto;
 - getto frazionato;
 - getto pieno.

È consigliabile che la sequenza sia come sopra indicata con il getto frazionato tra le posizioni di chiusura getto e di getto pieno. Ogni getto frazionato deve essere a forma di cono o a velo diffuso;

- la coppia di manovra necessaria ad effettuare le differenti regolazioni del getto della lancia erogatrice (cioè apertura, getto frazionato, getto pieno o controllo di portata) alla massima pressione di esercizio non deve essere maggiore di 7 Nm;
- le tubazioni complete di raccordi devono essere progettate per le pressioni seguenti:
 - pressione di esercizio massima: 1,2 Mpa;
 - pressione di prova: 2,4 Mpa;
 - pressione di scoppio minima: 4,2 Mpa;
- il colore del supporto deve essere rosso;
- la cassetta di un idrante a muro deve essere munita di portello. Il portello della cassetta deve poter aprirsi almeno di 170° per permettere lo srotolamento della tubazione in ogni direzione. La cassetta deve essere priva di spigoli taglienti che possano danneggiare l'attrezzatura o lesionare gli utilizzatori;

- gli idranti e i naspi antincendio devono essere ubicati in punti visibili ed accessibili lungo le vie di uscita, con esclusione delle scale. La loro distribuzione deve consentire di raggiungere ogni punto della superficie protetta almeno con il getto di una lancia. In ogni caso, l'installazione di mezzi di spegnimento di tipo manuale deve essere evidenziata con apposita segnaletica;
- Il sistema sprinkler viene definito dalla normativa UNI EN 12845: 2020 e ai fini della modellazione in SysML sono stati presi in considerazione i seguenti requisiti e limitazioni:
 - Il dislivello tra lo sprinkler più alto e quello più basso in un impianto non deve essere maggiore di 45 m;
 - ogni alimentazione idrica dell'impianto deve possedere una capacità sufficiente per le seguenti durate minime:
 - LH (pericolo lieve): 30 min
 - OH (pericolo ordinario): 60 min
 - HHP (pericolo alto – processo): 90 min
 - HHS (pericolo alto – deposito): 90 min
 - la tubazione di alimentazione e la stazione di controllo devono essere mantenute ad una temperatura minima di 4 °C;
 - ad eccezione del momento delle prove, la pressione dell'acqua non deve essere maggiore di 12 bar nelle connessioni delle apparecchiature;
 - nessuna tubazione deve avere un diametro nominale minore di 25 mm;
 - i sostegni delle tubazioni devono essere direttamente fissati all'edificio o ai macchinari, alle scaffalature o ad altre strutture. Non devono essere utilizzati per sostenere qualsiasi altro impianto. Devono essere di tipo adeguato al fine di assicurare la capacità portante. I supporti devono completamente avvolgere la tubazione e non devono essere saldati alle tubazioni o ai raccordi. I sostegni devono essere posti ad una spaziatura non maggiore di 4 m sulle tubazioni di acciaio e di 2 m sulle tubazioni di rame, ad eccezione delle tubazioni con diametro maggiore di 50 mm, nel qual caso queste distanze possono essere aumentate del 50%;

- Vasche e serbatoi per la riserva idrica da usare come agente estinguente nei sistemi automatici in caso di incendio sono definite dalla normativa UNI EN 12845: 2020 e ai fini della modellazione in SysML sono stati presi in considerazione i seguenti requisiti e limitazioni:
 - o Per ogni impianto è specificato un volume minimo di acqua riservato unicamente per l'uso dell'impianto sprinkler:

Volume minimo di acqua per i sistemi precalcolati LH e OH

Gruppo	Differenza di altezza h tra lo sprinkler più alto e quello più basso (vedere NOTA) m	Volume minimo d'acqua m ³
LH - ad umido o preazione	$h \leq 15$	9
	$15 < h \leq 30$	10
	$30 < h \leq 45$	11
OH1 – ad umido o preazione	$h \leq 15$	55
	$15 < h \leq 30$	70
	$30 < h \leq 45$	80
OH1 – a secco o alternativo OH2 – ad umido o preazione	$h \leq 15$	105
	$15 < h \leq 30$	125
	$30 < h \leq 45$	140
OH2 – a secco o alternativo OH3 – ad umido o preazione	$h \leq 15$	135
	$15 < h \leq 30$	160
	$30 < h \leq 45$	185
OH3 – a secco o alternativo OH4 – ad umido o preazione	$h \leq 15$	160
	$15 < h \leq 30$	185
	$30 < h \leq 45$	200
OH4 – a secco o alternativo	Utilizzare la protezione HH	
NOTE Escludendo gli sprinkler nel locale della stazione di controllo.		

Volume minimo di acqua per i sistemi precalcolati HHP e HHS

Densità di progetto non maggiore di mm/min	Volume minimo d'acqua m ³	
	Sistemi ad umido	Sistemi a secco
7,5	225	280
10,0	275	345
12,5	350	440
15,0	425	530
17,5	450	560
20,0	575	720
22,5	650	815
25,0	725	905
27,5	800	1000
30,0	875	1090

- Il volume minimo effettivo deve essere calcolato moltiplicando la portata massima richiesta per la durata specificata al punto precedente;
- la tubazione di mandata deve essere posizionata almeno a 0,05 m sopra la parte inferiore del serbatoio;
 - il serbatoio a pressione e il suo alloggiamento devono essere mantenuti ad una temperatura di almeno 4 °C;
- Il sistema di pompe per aria e acqua viene definito dalla normativa UNI EN 12845: 2020 e ai fini della modellazione in SysML sono stati presi in considerazione i seguenti requisiti e limitazioni:
- i gruppi di pompaggio devono essere installati in locali aventi una resistenza al fuoco non minore di 60 minuti, utilizzati unicamente per la protezione incendio;
 - il locale pompe deve essere mantenuto alla temperatura minima di 4 °C per le pompe azionate da motore elettrico, 10 °C per le pompe azionate da motore diesel;
 - nei casi in cui le pompe prelevano acqua da un serbatoio di accumulo le caratteristiche dei sistemi, in termini di pressione e portata minima, devono essere conformi al seguente prospetto:

prospetto 16 **Caratteristiche minime della pompa per LH e OH (sistemi precalcolati)**

Classe di pericolo	Altezza h dello sprinkler al di sopra della/e stazione/i di controllo m	Dati nominali		Caratteristica			
		Pressione bar	Portata l/min	Pressione bar	Portata l/min	Pressione bar	Portata l/min
LH (ad umido o preazione)	$h \leq 15$	1,5	300	3,7	225	—	—
	$15 < h \leq 30$	1,8	340	5,2	225	—	—
	$30 < h \leq 45$	2,3	375	6,7	225	—	—
OH1 ad umido o preazione	$h \leq 15$	1,2	900	2,2	540	2,5	375
	$15 < h \leq 30$	1,9	1 150	3,7	540	4,0	375
	$30 < h \leq 45$	2,7	1 360	5,2	540	5,5	375
OH1 a secco o alternativo OH2 ad umido o preazione	$h \leq 15$	1,4	1 750	2,5	1 000	2,9	725
	$15 < h \leq 30$	2,0	2 050	4,0	1 000	4,4	725
	$30 < h \leq 45$	2,6	2 350	5,5	1 000	5,9	725
OH2 a secco o alternativo	$h \leq 15$	1,4	2 250	2,9	1 350	3,2	1 100
OH3 ad umido o preazione	$15 < h \leq 30$	2,0	2 700	4,4	1 350	4,7	1 100
	$30 < h \leq 45$	2,5	3 100	5,9	1 350	6,2	1 100
OH3 a secco o alternativo OH4 ad umido o preazione	$h \leq 15$	1,9	2 650	3,0	2 100	3,5	1 800
	$15 < h \leq 30$	2,4	3 050	4,5	2 100	5,0	1 800
	$30 < h \leq 45$	3,0	3 350	6,0	2 100	6,5	1 800

NOTA 1 Le pressioni indicate sono quelle misurate alla/e stazione/i di controllo.
 NOTA 2 In caso di edifici che superano le altezze indicate, dovrebbe essere dimostrato che le caratteristiche della pompa sono adeguate a fornire le portate e le pressioni specificate nel punto 7.3.1.

- Il sistema di valvole sprinkler viene definito dalla normativa UNI EN 12845: 2020 e ai fini della modellazione in SysML sono stati presi in considerazione i seguenti requisiti e limitazioni:
 - può essere installato un numero massimo di elementi in funzione del numero delle appendici e delle stazioni di controllo;
 - al di sotto del deflettore dello sprinkler installato a soffitto si deve mantenere uno spazio libero di almeno:
 - per LH e OH:
 - 0,3 m per gli sprinkler spray a getto piatto;
 - 0,5 m in tutti gli altri casi.
 - per HHP e HHS:
 - 1,0 m.
 - gli sprinkler non devono essere installati ad intervalli minori di 2 m ad eccezione dei seguenti casi:
 - sono state previste misure per evitare che gli sprinkler adiacenti si bagnino vicendevolmente. Ciò sarebbe possibile utilizzando schermi di circa 200 mm x 150 mm, oppure tramite interventi sulla costruzione;
 - sprinkler intermedi negli scaffali;
 - scale mobili e vani scala.
 - la distanza massima tra sprinkler e pareti divisorie deve essere il minor valore appropriato tra i seguenti:
 - 2,0 metri con disposizione regolare;
 - 2,3 m con disposizione sfalsata;
 - 1,5 m con strutture reticolari o con travetti a vista;
 - 1,5 m dal perimetro esterno di edifici aperti;
 - 1,5 m dove le pareti esterne sono di materiale combustibile;
 - 1,5 m dove le pareti esterne sono di metallo, con o senza rivestimenti combustibili o materiali isolante;

- gli sprinkler devono essere installati non oltre 0,3 m al di sotto della parte inferiore dei soffitti combustibili o 0,45 m al di sotto di tetti o soffitti di euroclasse A1 o A2;
- la portata d'acqua dell'erogatore sprinkler deve essere calcolata con la seguente equazione:

$$Q = K * \sqrt{P}$$

dove:

Q è la portata in litri per minuto;

K è la costante indicata nel prospetto 37a;

P è la pressione in bar.

- la distanza da un sostegno a un qualsiasi sprinkler terminale non deve essere maggiore di:
 - 0,9 m perturbazioni aventi un diametro di 25 mm;
 - 1,2 m perturbazioni aventi un diametro maggiore di 25 mm.

La distanza da ogni sprinkler rivolto verso l'alto al sostegno non deve essere minore di 0,15 m.

- L'insieme degli estintori viene definito dalla normativa UNI EN 9994-1: 2013 e al DM 10 marzo 1988 e ai fini della modellazione in SysML sono stati presi in considerazione i seguenti requisiti e limitazioni:
 - il numero e la capacità estinguente degli estintori portatili devono rispondere ai valori indicati nella tabella I, per quanto attiene gli incendi di classe A e B ed ai criteri di seguito indicati:
 - il numero dei piani (non meno di un estintore a piano);
 - la superficie in pianta;
 - lo specifico pericolo di incendio (classe di incendio);
 - la distanza che una persona deve percorrere per utilizzare un estintore (non superiore a 30 m);

Tipo di estintore	Superficie protetta da un estintore		
	Rischio basso	Rischio medio	Rischio elevato
13 A – 89 B	100 m ²	--	--
21 A – 113 B	150 m ²	100 m ²	--
34 A – 144 B	200 m ²	150 m ²	100 m ²
55 A – 233 B	250 m ²	200 m ²	200 m ²

Figura 30 - Tabella I

- gli estintori portatili devono essere ubicati preferibilmente lungo le vie di uscita, in prossimità delle uscite e fissati a muro. In ogni caso, l'installazione di mezzi di spegnimento di tipo manuale deve essere evidenziata con apposita segnaletica;
- per consentire a tutti gli occupanti di impiegare gli estintori per rispondere immediatamente ad un principio di incendio, le impugnature dei presidi manuali dovrebbero essere collocate ad una quota pari a circa 110 cm dal piano di calpestio;
- l'estintore d'incendio portatile è progettato per essere trasportato e azionato a mano e quindi di massa non maggiore di 20 kg in condizioni operative;
- l'estintore d'incendio carrellato è progettato per essere trasportato e azionato a mano e con una massa maggiore di 20 kg;
- tutti gli estintori d'incendio per i quali non è consentita la manutenzione devono essere immediatamente messi fuori servizio e dismessi secondo la legislazione vigente. Gli estintori seguenti sono da considerarsi fuori servizio:
 - di tipo non approvato ad esclusione degli estintori di sola classe D;
 - che presentino segni di corrosione;
 - che presentino ammaccature sul serbatoio;
 - sprovvisti delle marcature previste dalla legislazione vigente e dalle normative applicabili;
 - le cui parti di ricambio e gli agenti estinguenti non sono più disponibili;
 - con marcature ed iscrizioni illeggibili e non sostituibili;
 - che devono essere ritirati dal mercato in conformità a specifiche disposizioni legislative nazionali vigenti;

- per cui non è disponibile il libretto di uso e manutenzione rilasciato dal produttore e non più reperibile sul mercato;
- che abbiano superato i 18 anni di vita.

5. RISULTATI

In questo paragrafo vengono riportati i risultati ottenuti dalla modellazione eseguita con le modalità precedentemente descritte. Dopo aver eseguito una scrupolosa analisi concettuale utilizzando il metodo delle FBS in cui si è prodotto un esplosivo dell'emergenza legata all'incendio andando a determinare tutti i sistemi coinvolti e quindi le loro funzioni, sono stati sviluppati dei modelli più avanzati in riferimento al sistema di rilevazione incendi e a quello di estinzione. I modelli sono stati realizzati con il software Modelio 5.1 che utilizza un linguaggio in SysML. Si è scelto di utilizzare il block diagram per realizzare tutti i modelli. Sono state sviluppate 4 tipologie di modelli per ciascun sistema:

- il modello dei componenti: in questo modello grafico è stato riportato il sistema trattato e scomposto in più sottosistemi in base alle principali funzioni svolte. A sua volta il sottosistema è stato ulteriormente scomposto nelle componenti fisiche, ognuna delle quali rappresentata da un block, che portano il sistema a compiere la funzione di partenza. Leggendolo al contrario, quindi partendo dal livello più basso, tale modello fornisce le informazioni riguardanti quali sono le parti fisiche che compongono l'intero sistema. Sono state inoltre riportate all'interno del software le descrizioni e le caratteristiche principali appartenenti a ciascun componente sotto forma di attributo;
- il modello dei tipi: sulla base delle componenti individuate si è andati a specificare quali sono le varie tipologie di ciascun componente. Ogni tipo è rappresentato da un elemento block che contiene la descrizione di ciascun tipo di elemento. Tale modello è utile per comprendere che lo stesso sistema, composto dai suoi elementi caratteristici riportati nel diagramma dei componenti, può differenziarsi a causa della tipologia differente di elemento che a sua volta comporterà la presenza di caratteristiche specifiche del caso in esame;
- il modello dei requisiti: sono stati creati dei blocchi ognuno dei quali, associato al singolo elemento fisico creato in precedenza, ne specifica i requisiti. I requisiti sono stati estrapolati dalla normativa di riferimento per ciascun componente. L'utilità di questo modello è evidente: riporta al suo interno le limitazioni della normativa in maniera esplicita e non più criptica, inoltre permette di non andare più a cercare i

requisiti che spesso si trovano in testi differenti ma sono tutti riportati chiaramente e schematicamente in riferimento all'elemento che si prende in considerazione. all'interno di ogni singolo blocco vengono inoltre riportate le parole della normativa o il singolo riferimento, il range o la caratteristica richiesta;

- il modello funzionale: in questo modello è stato preso in considerazione il funzionamento dell'intero sistema, sono stati esplicitati i collegamenti tra i componenti, individuati gli scambi di informazione e materia e valutate le funzioni di ciascun componente. Sono stati utilizzati degli elementi grafici come i block, le porte che permettono di esplicitare lo scambio di materia tra un componente e l'altro e collegamento come link e allocate per andare a definire il tipo di relazione. Da questo tipo di modello si definiscono le funzioni del sistema e quindi è da qui che si può procedere all'analisi delle modalità di guasto dei componenti e capire come influiscono sul sistema.

5.1 SISTEMA DI RILEVAZIONE INCENDI

Il primo dei modelli creati è quello che definisce le componenti del sistema di rivelazione incendi. In questo specifico caso il sistema di rilevazione antincendio è stato scomposto nei sottosistemi che hanno il compito di rilevazione, controllo e gestione, l'insieme del materiale per la distribuzione di energia e il sistema di allarme. Ognuno di questi quattro sistemi a sua volta comprende gli specifici elementi come riportato nello schema seguente [Figura 31]. Dal modello si evince come il sistema di rivelazione sia composto dai dispositivi di rivelazione incendio quali: rilevatore di fiamme, rilevatore di calore, rilevatore di fumo, rilevatore ottico e pulsante per attivazione manuale del sistema. La logica di controllo si compone dell'unità di controllo e segnalazione, del "local PC" e del "bus cable". Gli accessori del sistema di controllo si suddividono tra il sistema di alimentazione e quello di distribuzione di energia. Infine, il sistema di allarme è composto da dispositivi ottici quali targhe luminose, e acustici come le sirene. Attraverso il software è stato possibile inserire la descrizione di ogni singolo elemento all'interno del blocco riportando la definizione data dalla normativa, la normativa di riferimento e lo specifico paragrafo.

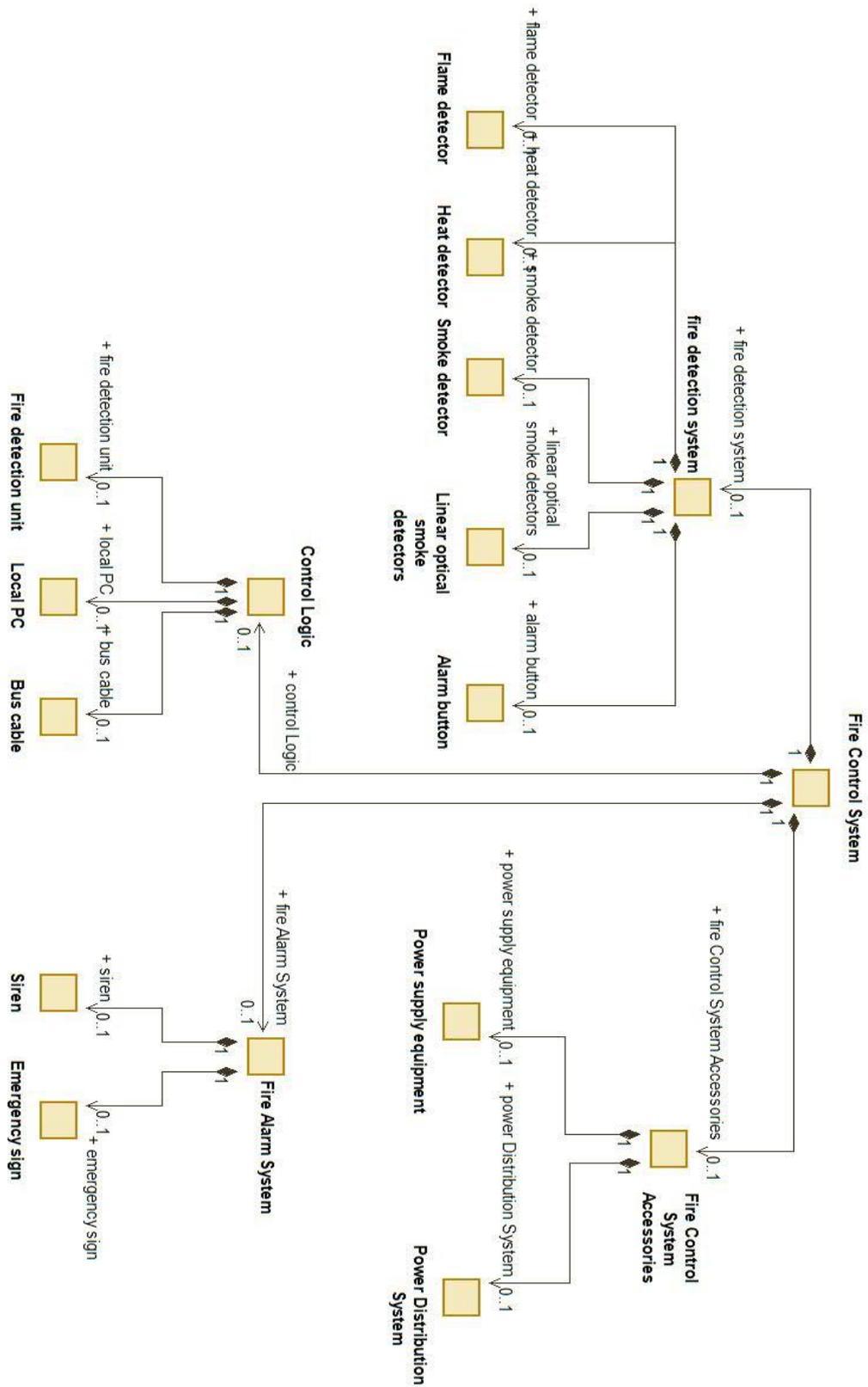


Figura 31 - Modello dei componenti

Nel secondo schema, rappresentante il modello dei tipi, sono state specificate le tipologie di rilevatori incendio e antincendio delle quali fanno parte diverse tecnologie di rilevazione e per ognuna delle quali sono state specificate le caratteristiche internamente al blocco stesso, sono state elencate le tipologie di connessione via cavo e definita la colorazione in base a ciascuna funzione svolta, infine, sono state esplicitate le tipologie di segnalazione allarme con le quali è possibile avvisare dell'imminente pericolo gli utenti interessati. Da normativa, infatti, risultano obbligatorie segnalazioni di tipo acustico e ottico, tuttavia, anche il PC ricade all'interno delle tecnologie di segnalazione in quanto è attraverso di esso che è possibile individuare quale locale è interessato dall'incendio e quindi è possibile gestire una squadra di soccorso da inviare.

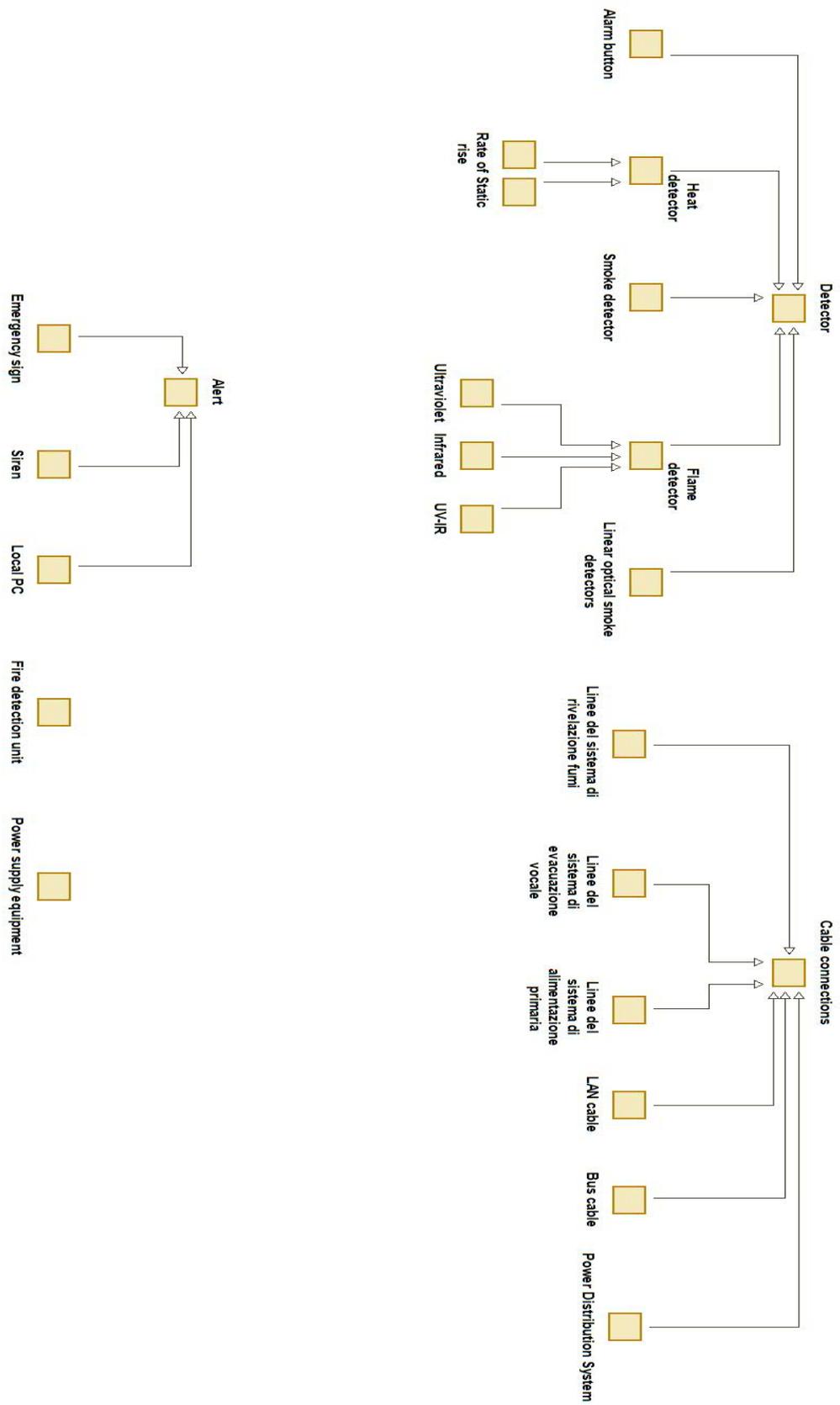


Figura 32 - Modello dei tipi

Il modello dei requisiti si compone di blocchi: da una parte i blocchi descrittivi dei componenti creati in precedenza, dall'altra il blocco dei requisiti relativo a ciascun componente. I requisiti sono collegati tramite una freccia che indica collegamento ma che allo stesso tempo trasmette le proprietà da un blocco all'altro come eredità. I requisiti sono stati esplicitati nel linguaggio SysML come attributi. Come specificato nel paragrafo 5.2.2 i requisiti sono la parte fondamentale di questa modellazione. Si è cercato di compattare il linguaggio della normativa e scriverlo sottoforma di requisito. Il vantaggio notevole di questo modello è che raggruppa le richieste che il progettista e quindi il sistema deve rispettare per poter essere definito in regola

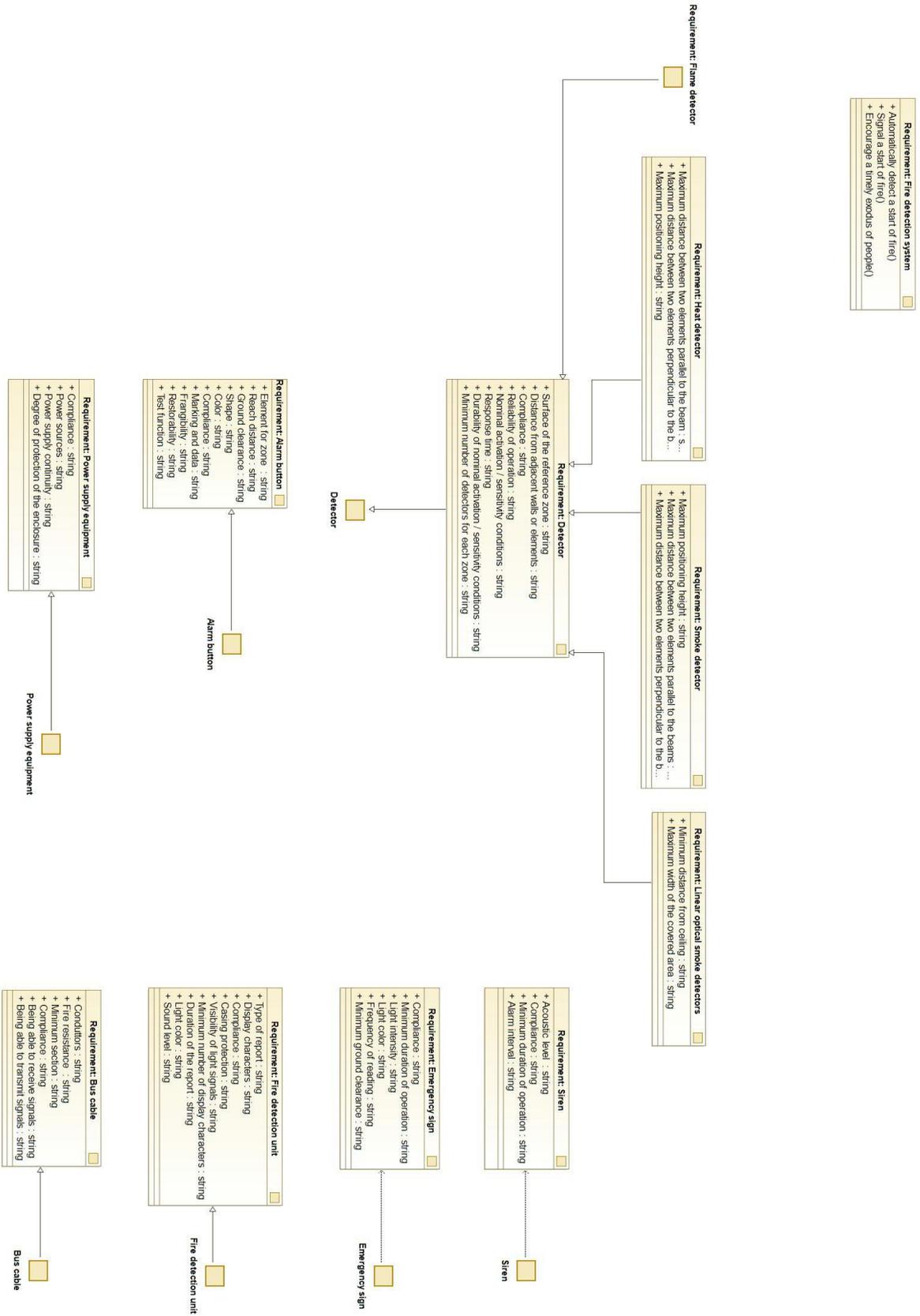


Figura 33 - Modello dei requisiti

Il modello funzionale esplicita la funzione di ciascun componente nei confronti di quelli a cui è collegato. Nel caso del sistema di rilevamento si parte dai dispositivi rilevazione automatica, quali i rilevatori, e manuale, cioè i pulsanti, rappresentati da blocchi che vengono collegati tramite un link di tipo information flow in quanto sono elementi fisici che scambiano un flusso di informazioni con e attraverso altri elementi. I dispositivi di rivelazione emettono un segnale di allarme che viene esteso alle altre componenti del sistema attraverso un cavo di collegamento detto bus cable che a sua volta comunica con la centrale di segnalazione, la quale determina quali saranno i dispositivi di segnalazione ottici e acustici da attivare nello specifico scenario di incendio. Infatti, ancora una volta attraverso il bus cable, i dispositivi di segnalazione ricevono il comando di accensione o l'informazione, nel caso del PC locale, in riferimento a dove si sta sviluppando l'incendio. Tali dispositivi consentono la conoscenza di uno stato di allarme da parte del personale: in un caso le squadre di soccorso prendono conoscenza dell'esistenza di un incendio e della sua posizione così da poter intervenire tempestivamente; dall'altra parte gli occupanti che ricevono il segnale hanno la possibilità di mettere in atto il protocollo di emergenza ed evacuare i locali non sicuri.

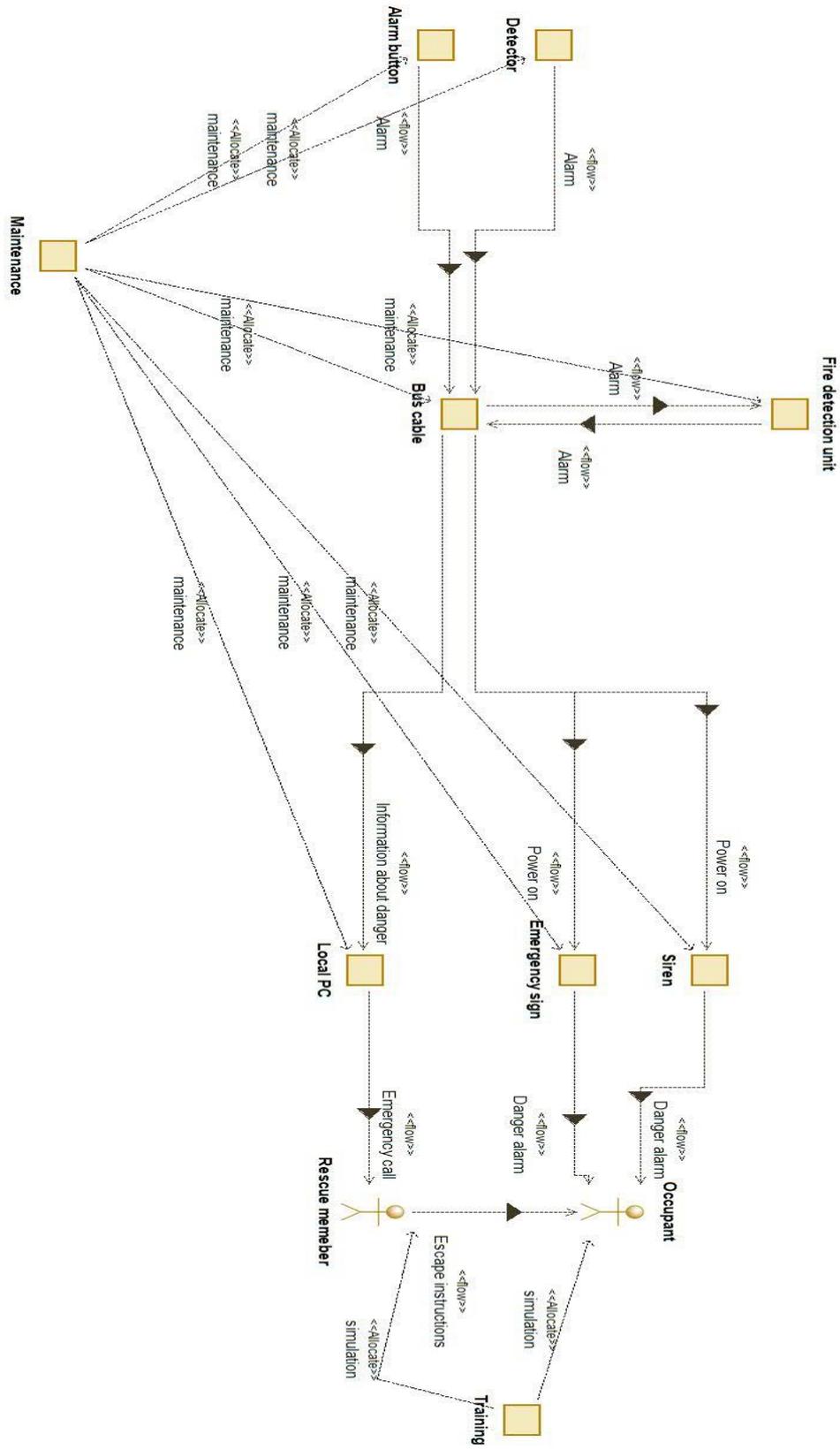


Figura 34 - Modello funzionale

5.2 SISTEMA DI ESTINZIONE INCENDI

Nella modellazione del sistema di estinzione incendi il primo grafico creato è quello descrittivo dei singoli componenti. Partendo dal blocco che definisce il sistema di estinzione, si scende nel dettaglio separando il sistema ad acqua, il sistema di pressurizzazione e gli elementi destinati all'estinzione. Per ciascuna categoria si è successivamente proceduto alla scomposizione nei suoi elementi necessari alla creazione dell'intero impianto secondo la normativa di riferimento. All'interno di ciascun blocco viene riportata la definizione di ogni singolo componente specificando la normativa di riferimento da cui è stata tratta. Si è inoltre deciso di aggiungere a tale schema degli elementi, rappresentati da blocchi distinti, utilizzati successivamente per fornire informazioni sul materiale che scambiano tra loro i componenti. Di questo ultimo gruppo fanno parte i componenti acqua, acqua pressurizzata e aria pressurizzata per i quali non è stata fornita alcuna definizione perché dal chiaro significato.

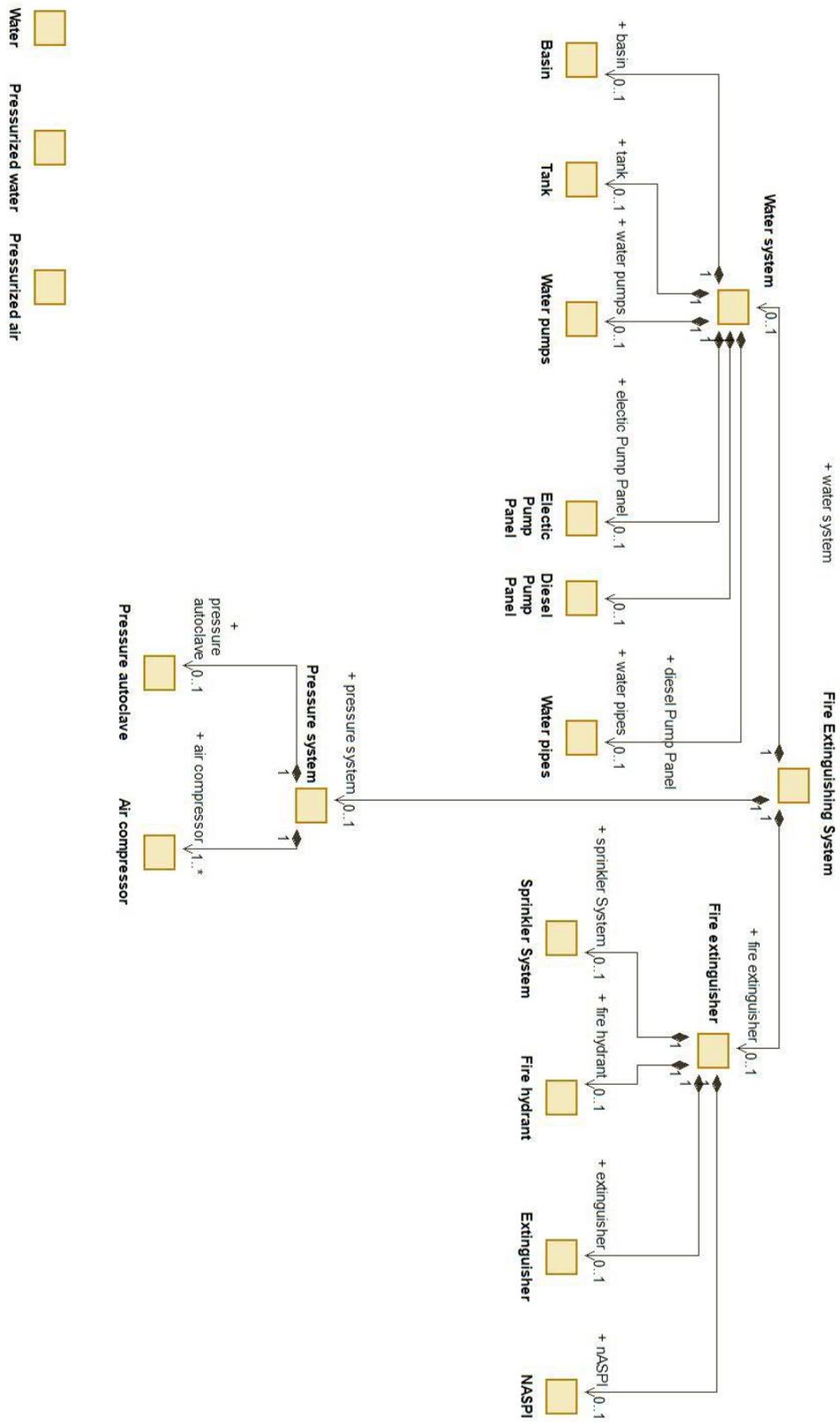


Figura 35 - Modello dei componenti

Il modello dei tipi in riferimento al sistema di estinzione incendio vede l'esplicitazione delle tipologie di elementi in riferimento a diversi elementi tra i quali:

- “fire extinguisher” è caratterizzato da due tipologie di sistemi cioè quello mobile composto dagli estintori a mano da una parte, e quello fisso composto dal sistema sprinkler, che a sua volta può essere di tipo umido o a secco, e dal sistema di idranti di cui fanno parte naspi e idranti fissi con manichette;
- “water tank” cioè i sistemi di accumulo di acqua che possono essere vasche o serbatoi a seconda della necessità specifica e ognuno dei quali fa riferimento alla specifica normativa già precedentemente esplicitata nel paragrafo 5.3.2;
- “control unit of water pump” che presenta due tipologie di pannelli di alimentazione: quello elettrico e quello diesel, entrambi obbligatori in quanto, essendo quello di estinzione un sistema di emergenza, non si può prevedere un unico modo di attivazione del sistema di pompe per il sistema fisso di sprinkler ma deve essere contemplato un modo ausiliario in caso di fallimento di attivazione da parte di uno dei due sistemi;
- le “activity” per il sistema di estinzione si suddividono tra la manutenzione dei componenti e le normali attività per il regolare funzionamento del sistema;
- “water containers” inteso come elementi che prevedono interazione con il sistema ad acqua come agente estinguente e in cui questa è contenuta. Si fa riferimento perciò alle tubature dell'acqua, all'autoclave contenete acqua pressurizzata pronta all'utilizzo e la pompa dell'acqua.

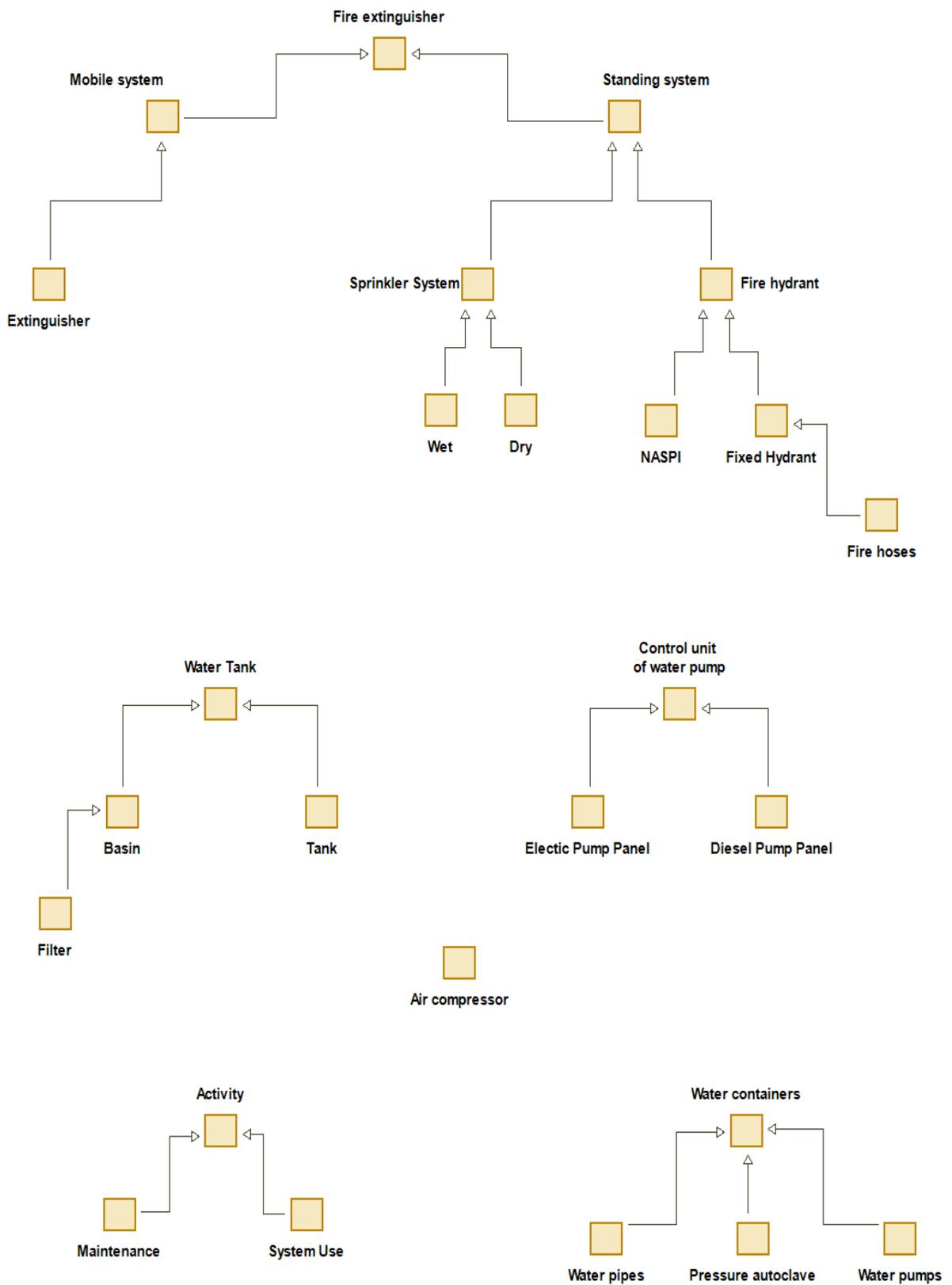


Figura 36 - Modello dei tipi

Il modello dei requisiti del sistema di estinzione è stato configurato a partire dalle norme UNI EN di riferimento precedentemente riportate nel capitolo 5.3.2. come per il sistema di rivelazione incendi, sono stati riportati i blocchi dei componenti di riferimento e, attraverso un collegamento di tipo link in grado di trasferire da un blocco all'altro le proprietà come eredità del blocco, sono stati collegati a nuovi blocchi chiamati "requirements" i quali al loro interno contengono degli attributi dell'elemento. Questa è la parte più complessa del lavoro svolto in quanto si è ricercato di trasformare le parole della norma in requisiti di facile e immediata comprensione. Sono stato pertanto raggruppati requisiti appartenenti allo stesso elemento ma contenute in normative differenti. Questo lavoro strategico consente di reperire istantaneamente le limitazioni in riferimento all'elemento interessato grazie al fatto che sono tutte collezionate all'interno di un unico blocco che è direttamente collegato all'elemento fisico.

Il modello funzionale di seguito riportato è stato realizzato pensando al funzionamento dell'intero sistema di estinzione incendi di tipo fisso e come questo entri in funzione. Leggendolo dall'inizio si può vedere come tutto parta dal blocco "water pump" che, con un collegamento che sta ad indicare uno scambio di materiale tra i componenti, invia l'elemento "water" al blocco "pressure autoclave". Allo stesso tempo il blocco "air compressor" scambia un elemento prodotto che va a finire in "pressure autoclave" per ottenere un prodotto in uscita e quindi un altro componente di scambio rappresentato dal collegamento "pressurized water". Il blocco successivo è uno di quelli precedentemente creati nel modello dei componenti, quindi, già descritto e catalogato per quanto riguarda le sue proprietà. Si tratta del blocco "water pipes" che è funzionalmente collegato sia al sistema sprinkler che a quello di idranti fissi. Nel primo caso gli sprinkler ancora una volta scambiano materiale con l'ambiente esterno attraverso il sistema di valvole, nel secondo caso, attraverso l'intervento delle squadre di soccorso, possono essere utilizzate le manichette dell'acqua per estinguere l'incendio. In questo caso compaiono due voci molto importanti che possono essere interpretate come funzioni all'interno del sistema e sono la voce "maintenance", collegata a tutti i componenti che necessitano di manutenzione come stabilito dalla FBS elaborata e riportata al paragrafo 5.1.1 (figura 13), e la voce "training" che è riferita alla preparazione del personale in caso di emergenza attraverso l'esecuzione di simulazioni e prove.

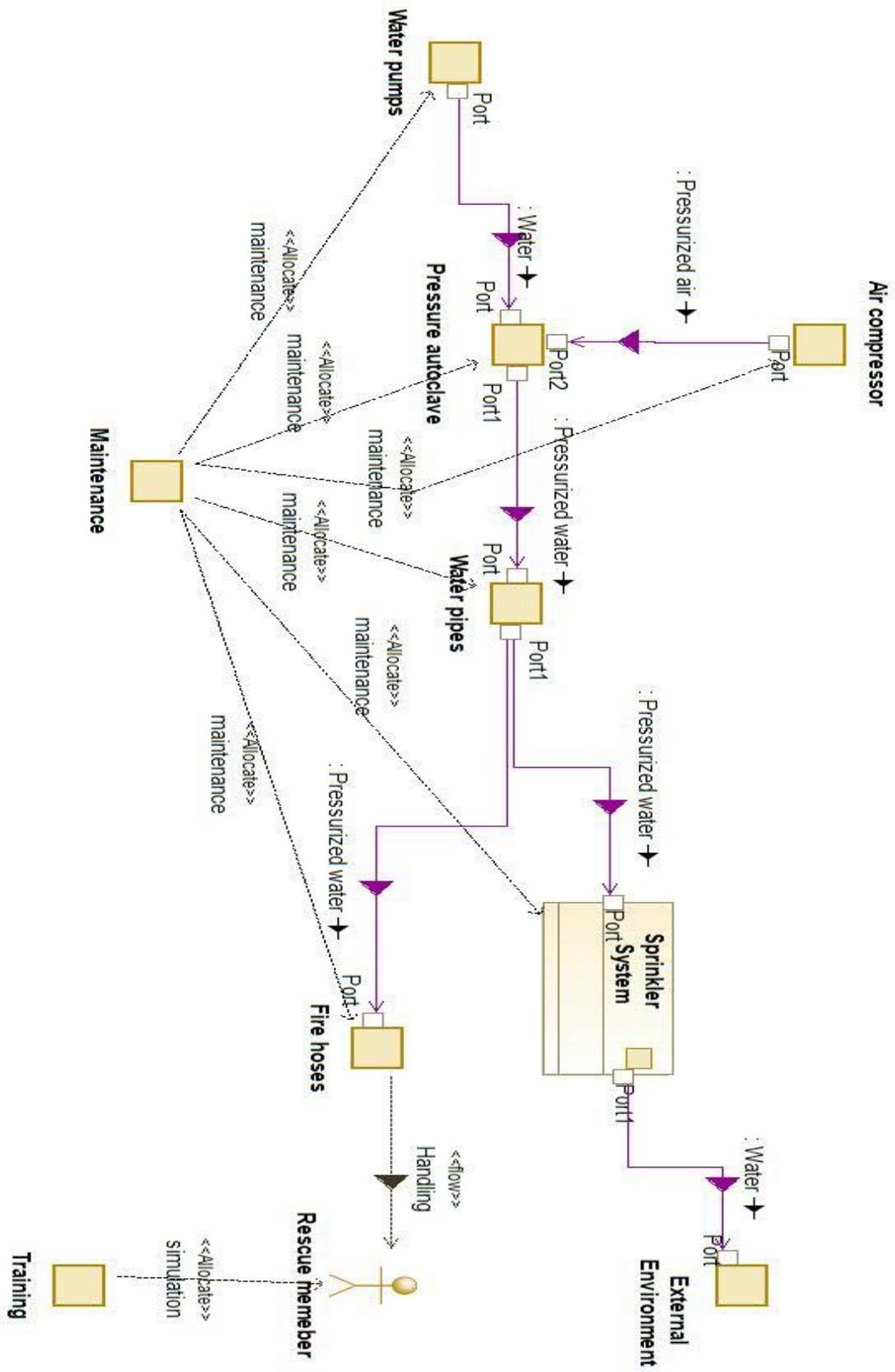


Figura 38 - Modello funzionale

5.3 ANALISI DELLE MODALITÀ DI GUASTO

Successivamente alla creazione dei modelli prodotti grazie al software Modelio 5.1 e mostrati nel paragrafo precedente, si è voluto analizzare una delle modalità di fallimento del sistema. Si è scelto di prendere come riferimento per questo studio e quindi per la creazione di una tabella FMEA il modello funzionale relativo al sistema di rilevazione incendio. In particolare, è stato analizzato il ruolo degli “occupant” in relazione ai legami con gli elementi individuati. Nello specifico l’elemento “occupant” risulta collegato sotto il profilo funzionale agli elementi “siren”, “emergency sign”, “rescue team” e “training”. I collegamenti tra gli “occupant” e i vari componenti indicano l’elemento di scambio in questione e nello specifico:

- L’elemento “siren” fornisce un segnale di pericolo;
- L’elemento “emergency sign” fornisce un segnale di pericolo;
- L’elemento “rescue team” fornisce istruzioni sull’evacuazione;
- L’elemento “training” consente la simulazione dell’emergenza.

Per l’analisi delle possibili modalità di fallimento del componente si sono valutate diverse ipotesi di fallimento del sistema, sono stati indicati i possibili effetti, la modalità di rilevazione del problema in questione, le modalità di prevenzione del problema, la gravità dello scenario e le relative considerazioni. Nella colonna “FUNCTIONAL ID” è indicato l’elemento che è causa del fallimento del sistema e da cui scaturisce uno scenario e una serie di possibili conseguenze. Vengono poi presentati i “FAILURE EFFECTS” suddivisi in tre step disposti in ordine di accadimento: l’effetto locale che scaturisce dal fallimento, la sua ripercussione e le conseguenze. Per ciascun componente è indicato un “DETECTION METHOD” che indica la modalità in cui è possibile rilevare anticipatamente il fallimento del sistema al fine di poterlo evitare e quindi l’elemento da inserire in un protocollo di gestione e manutenzione che è riportato nella colonna contenente il “COMPENSATING PROVISION”. A seconda dello scenario ipotizzato viene attribuita una classe di gravità e quindi una rilevanza del guasto al fine di poter agire in maniera consapevole nella gestione delle emergenze. Nel caso si verificassero contemporaneamente più guasti, il FM deve essere in grado di riconoscere quello più pericoloso immediatamente. Questa previsione serve al fine di creare simulazioni idonee e realizzare possibili scenari attinenti alla realtà in cui il

personale interessato si trova di fronte ad una reale simulazione dell'emergenza. Solo così si può preparare in anticipo un piano delle emergenze coerente e possa essere messo in pratica con efficacia di fronte all'evenienza.

Nell'ultima colonna della tabella vengono riportate delle osservazioni inerenti agli effetti, e quindi il riscontro atteso, o a possibili soluzioni alternative.

Di seguito si riporta l'esempio di tabella realizzata utilizzando la logica esposta.

FMEA of sub-system «Occupant», cod. 1.00
<i>Mission: predict to controll Occupant behavior</i>

ID	FUNCTIONAL ID	POTENTIAL FAILURE MODES	FAILURE EFFECTS			DETECTION METHOD	COMPENSATING PROVISION	SEVERITY CLASS	REMARKS
			LOCAL EFFECTS	NEXT HIGHER LEVEL	END EFFECTS				
1.01.a	Emergency sign	Malfunzionamento apparecchio	Gli utenti non riconoscono le vie di fuga	Gli utenti sbagliano	Gli utenti non riescono ad evacuare	Prove di funzionamento secondo norma UNI	Prove iniziali + manutenzione + segnalazione guasto	7	Ritardo nel tempo di evacuazione stimato
1.01.b		Presenza di fumi	Gli utenti non vedono le insegne luminose	Gli utenti non riconoscono le vie di fuga	Gli utenti non riescono ad evacuare	Simulazione virtuale	Progettazione con maggiore segnaletica ottica	8	Possibile uso di segnaletica interattiva
1.02.	Bus cable	Interruzione cavi	Non si attivano i dispositivi di allarme	Gli utenti non riconoscono le vie di fuga	Gli utenti non riescono ad evacuare	Manutenzione, prove di funzionamento, protocolli di segnalazione guasti	Doppio circuito di sicurezza + Segnalazione guasto del macchinario	9	Pericolo per la sicurezza, potrebbe non essere segnalato l'incendio
1.03.a	Siren	Malfunzionamento	Gli utenti non rilevano pericolo	Gli utenti non evacuano l'edificio	Gli utenti non riescono ad evacuare	Prove di funzionamento secondo norma UNI	Prove iniziali + manutenzione + segnalazione guasto	9	Ritardo nel tempo di evacuazione stimato
1.04.	Gli utenti non rispettano le indicazioni di evacuazione	Attacco di panico	Gli utenti disorientano altri utenti	Condizionamento della massa	Minor numero di persone evacuate	Simulazione di evacuazione	Esercitazioni + informazione protocollo di evacuazione	8	Possibile difficoltà per le squadre di soccorso

Figura 39 - Tabella Fmea relativa alla figura degli occupanti nel caso di rilevazione incendio

6. CONCLUSIONE

Partendo dall'ipotesi che siamo in un momento di forte evoluzione e che è necessario uscire dagli schemi per poter gestire in maniera efficiente i cambiamenti che sono sempre più rapidi, il mondo dell'edilizia ha sempre più bisogno di figure manageriali come quella del FM. La persona designata ha bisogno di strumenti che siano contemporanei ed efficaci nella gestione di un processo o di un'intera facility.

Dato per consolidato che oramai siamo entrati nell'era dell'internet delle cose, del metaverso, della realtà aumentata è chiaro che vogliamo proiettare il nostro progetto in una visione contemporanea.

Ciò che si è cercato di creare è uno strumento in grado di assistere quella che oggi è la figura del risk o emergency manager e che sia in grado di prevenire un'emergenza o di minimizzarne gli effetti, ma soprattutto di aprire la strada verso una sempre maggiore indipendenza dalla figura del risk manager, incentrando la gestione sul sistema stesso e non sull'essere umano e la sua potenziale invasività.

C'è la necessità di trovare uno strumento di facile utilizzo, in grado di riassumere al suo interno tutte le caratteristiche, le limitazioni, i requisiti e le funzioni di un sistema e che sia in grado di controllarne l'idoneità. Un modello basato su conoscenze già note, come quelle racchiuse nella normativa, ma che siano immediatamente disponibili all'occorrenza e non da ricercare ogni volta.

In questo lavoro di tesi è stata analizzata la normativa UNI e sono stati cercati documenti inerenti alla progettazione dei sistemi di rilevazione ed estinzione incendio, come il Codice di Prevenzione Incendi o i DM, per poter prima capire la struttura dei sistemi, analizzarne le funzioni e poi reinterpretare i testi come requisiti necessari a ciascun componente.

Sicuramente importante e imprescindibile per lo sviluppo di un sistema è la catalogazione degli elementi della facility che effettivamente oggi esiste e si tratta del BIM, ma non può rimanere fine a sé stessa, risulterebbe solo una rappresentazione statica della realtà.

Questa ricerca mira a muovere i primi passi verso la modellazione di sistemi dapprima con la creazione di FBS che hanno consentito di concentrarsi sull'effettiva composizione dei

sistemi, poi si è passati alla trasposizione delle conoscenze acquisite nel linguaggio di modellazione come quello del SysML per concludere con un'analisi degli scenari e modalità di fallimento delle funzioni dei singoli componenti con l'utilizzo della metodologia FMEA.

Lo studio condotto ha sottolineato l'importanza di una struttura basata su modelli in quanto è stato possibile descrivere il sistema e riportarlo nei modelli solo studiando i documenti e riscrivendo le parti necessarie come fosse la composizione di un puzzle; pertanto, è risultata un'operazione complessa e laboriosa che non è conveniente compiere per ogni nuova gestione. Al contrario i modelli creati forniscono un'informazione immediata inerente all'elemento in questione e riporta al suo interno indicazioni sulla fonte del parametro.

In aggiunta, lo studio delle modalità di guasto per ciascun elemento consente di capire subito come è possibile gestire la situazione e, di conseguenza, come intervenire. Grazie al modello funzionale, di facile interpretazione, è chiaro come tutti gli elementi siano collegati gli uni agli altri e un problema si ripercuote in tutto il sistema. Solo capendo a che punto della catena di collegamento si trova è possibile interrompere la successione di eventi che si scatenerrebbe. L'emergenza è come un fiume in piena e il risk manager deve capire quali tasti premere per poter attivare la diga che ferma il flusso di eventi che si susseguirebbero coinvolgendo tutto e tutti. Tale procedimento è visibile a primo impatto dal modello funzionale ma viene approfondito con la tabella FMEA che consente di avere un quadro più ampio sulle ripercussioni sia sugli elementi contigui che sull'intero processo.

Questo primo step, che riporta lo studio di un sistema, è utile per capire che le informazioni devono e possono essere raggruppate attraverso un unico strumento che consenta di reperire tutto quello che c'è da sapere su un componente e la sua progettazione all'interno di un sistema. Da qui si può aprire una strada verso la creazione di modelli informatici e cibernetici che siano in grado di "fotografare" la realtà e restituirne l'idoneità o meno a seconda dei requisiti, leggi e limitazioni inseriti da professionisti del settore.

Un ambizioso obiettivo che vede il suo compimento quando saranno "le cose" e la materia che indicheranno cosa è conveniente fare in una precisa situazione, semplificando notevolmente la gestione e il lavoro di un Facility Manager.

7. BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

- [1] David G. Cotts PE CFM, Kathy O. Roper CFM LEED AP, Richard P. Payant CFM CPE
- *The Facility Management Handbook, 3rd Edition (2009)*
- [2] INAIL - *Metodi ingegneria Antincendio*
- [3] <https://aise-incose-italia.it/systems-engineering/systems-engineering-1/>
- [4] INCOSE *International Council on Systems Engineering*
- [5] INCOSE *Systems Engineering Handbook*
- [6] H. Eisner – *Essentials of Project and Systems Engineering Management*
- [7] <https://www.incose.org/about-systems-engineering/history-of-systems-engineering>
- [8] Gandolfi A. (1999). *Formicai, imperi, cervelli: introduzione alla scienza della complessità*. Edizioni Casagrande
- [9] *I Sistemi Complessi come Sistemi di Sistemi* - Enrico De Santis
- [10] M. Annunziato ENEA, Dipartimento Energia - *caos, complessità ed autorganizzazione. Una provocazione al confine tra scienza, tecnologia e cultura*
- [11] Maddalena Sottocorno - *Razionalità assoluta e razionalità limitata*
- [12] Lipari D. (1987), *Idee e modelli di progettazione nei processi formativi*, Edizioni Lavoro, Roma
- [13] Jon Holt - *Systems Engineering Demystified (2021)*
- [14] Sanford Friedenthal, Alan Moore, Rick Steiner - *A Practical Guide to SysML- The system modelling language, second edition*
- [15] Headquarters, department of the army - *Failure modes, effects and criticality analysis (FMECA) for command, control, communications, computer, intelligence, surveillance, and reconnaissance facilities*
- [16] <https://www.ingenio-web.it/articoli/digital-twin-il-mondo-delle-copie-virtuali-nelle-costruzioni/>
- [17] *UNI EN 54-2: 2007 – Sistemi di rivelazione e di segnalazione d’incendio – Centrale di controllo e di segnalazione*
- [18] *UNI EN 54-3: 2020 - Sistemi di rivelazione e di segnalazione d’incendio – Dispositivi sonori di allarme incendio*
- [19] *UNI EN 54-4: 2007 - Sistemi di rivelazione e di segnalazione d’incendio – Apparecchiatura di alimentazione*

- [20] *UNI EN 54-5: 2018 - Sistemi di rivelazione e di segnalazione d'incendio – Rivelatori di calore – Rivelatori di calore puntiformi*
- [21] *UNI EN 54-7: 2018 - Sistemi di rivelazione e di segnalazione d'incendio – Rivelatori di fumo – Rivelatori puntiformi di fumo funzionanti secondo il principio della diffusione della luce, della trasmissione della luce o della ionizzazione*
- [22] *UNI EN 54-10: 2006 - Sistemi di rivelazione e di segnalazione d'incendio – Rivelatori di fiamma – Rivelatori puntiformi*
- [23] *UNI EN 54-11: 2006 – Sistemi di rivelazione e di segnalazione d'incendio – Puntelli di allarme manuali*
- [24] *UNI EN 54-12: 2015 - Sistemi di rivelazione e di segnalazione d'incendio – Rivelatori di fumo – Rivelatori lineari che utilizzano un raggio ottico*
- [25] *UNI EN 54-21: 2006 – Sistemi di rivelazione e di segnalazione d'incendio – Apparecchiature di trasmissione allarme e di segnalazione remota di guasto e avvertimento*
- [26] *UNI EN 54-23: 2010 - Sistemi di rivelazione e di segnalazione d'incendio – Dispositivi visuali di allarme incendio*
- [27] *UNI 9795: 2021 – Sistemi fissi automatici di rivelazione e di segnalazione allarme d'incendio – Progettazione, installazione ed esercizio*
- [28] *UNI 10779: 2021 – Impianti di estinzione incendi – Reti di idranti – Progettazione, installazione ed esercizio*
- [29] *UNI EN 671-1: 2012 – Sistemi fissi di estinzione incendi – Sistemi equipaggiati con tubazioni – Naspi antincendio con tubazioni semirigide*
- [30] *UNI EN 671-2: 2012 - Sistemi fissi di estinzione incendi – Sistemi equipaggiati con tubazioni – Idranti a muro con tubazioni flessibili*
- [31] *UNI EN 12845: 2020 – Installazioni fisse antincendio – Sistemi automatici a sprinkler – Progettazione, installazione e manutenzione*
- [32] *UNI 9994-1: 2013 – Apparecchiature per estinzione incendi – Estintori di incendio – Controllo iniziale e manutenzione*
- [33] *DM 10 marzo 1998 – Criteri generali di sicurezza antincendio e per la gestione dell'emergenza nei luoghi di lavoro*