



**UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE**  
**FACOLTA' DI INGEGNERIA**

---

Corso di laurea magistrale in Ingegneria Edile  
Management e Sicurezza delle Costruzioni

**UN APPROCCIO SISTEMICO AL FACILITY MANAGEMENT:  
MODELLAZIONE DEI SISTEMI DI COMPARTIMENTAZIONE  
AGLI INCENDI**

**A SYSTEMIC APPROACH TO FACILITY MANAGEMENT:  
MODELLING FIRE COMPARTMENTS IN BUILDINGS**

Relatore: Chiar.mo

Prof. Ing. **Alberto Giretti**

Tesi di laurea di:

**Alessia Rossi**

Correlatori:

Chiar.mo Prof. Ing. **Alessandro Carbonari**

Prof. Ing. **Massimiliano Pirani**

A.A. 2021/2022



## INDICE

<b>1. INTRODUZIONE.....</b>	<b>7</b>
1.1. STRUTTURA DELLA TESI.....	9
<b>2. FACILITY MANAGEMENT.....</b>	<b>10</b>
2.1. IL RUOLO DEL FACILITY MANAGER.....	13
2.2. EMERGENCY MANAGEMENT.....	15
<b>3. COMPLESSITA' NELL'EDILIZIA .....</b>	<b>20</b>
3.1. SISTEMI COMPLESSI .....	21
3.2. INGEGNERIA DEI SISTEMI.....	23
3.3. MODEL-BASED SYSTEMS ENGINEERING (MBSE) .....	26
3.4. STATO DELL'ARTE.....	27
3.5. CONTROLLARE UN SISTEMA COMPLESSO.....	29
<b>4. FIRE SAFETY EMERGENCY MANAGEMENT .....</b>	<b>32</b>
4.1. CODICE PREVENZIONE INCENDI E GESTIONE DELLE SICUREZZA ANTINCENDIO .....	32
4.2. FIRE SAFETY ENGINEERING.....	42
4.3. VINCOLI E LIMITI DEI RIFERIMENTI NORMATIVI.....	47
<b>5. TECNICHE DI MODELLAZIONE PER IL FIRE SAFETY EMERGENCY     MANAGEMENT .....</b>	<b>50</b>
5.1. LINGUAGGI E TECNICHE .....	51
5.1.1 FUNCTIONAL BREAKDOWN STRUCTURE (FBS) .....	53
5.1.2. SysML .....	62
5.1.2.1. MODELIO .....	65
5.1.3. FAILURE MODE EFFECTS AND ANALISYS .....	66
5.2. MODELLAZIONE DEL SISTEMA DI COMPARTIMENTAZIONE .....	69
5.2.1. STRUTTURA E COMPORTAMENTO DEL SISTEMA COMPARTIMENTAZIONE.....	70
5.2.2. PRESTAZIONI DEL SISTEMA E LOGICA DI CONTROLLO .....	92

5.2.3	MODELLAZIONE DELLE MODALITÀ DI GUASTO (FMEA) .....	102
<b>6.</b>	<b>RISULTATI .....</b>	<b>103</b>
6.1	COMPARTIMENTAZIONE .....	103
6.2	ANALISI DELLE MODALITÀ DI GUASTO .....	117
<b>7.</b>	<b>CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI .....</b>	<b>120</b>
<b>8.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA .....</b>	<b>124</b>

## INDICE DELLE FIGURE

Figura 1, Plan - Do - Check - Act .....	11
Figura 2, Facility Management life cycle, fonte "The Facility Management HandBook" .....	13
Figura 3, Emergency Management cycle .....	17
Figura 4, Centro Operativo di Emergenza di una Struttura (FEOC), fonte "The Facility Management HandBook".....	19
Figura 5, Summary of the key concepts associated with a system, fonte "System Engineering Demystified" .....	23
Figura 6, Simplified systems engineering technical processes, fonte "A pratical Guide to SysML" .....	25
Figura 7, MBSE is a type of system engineering, fonte "System Engineering Demystified.....	26
Figura 8, Applicazione delle soluzioni del C.P.I. ....	35
Figura 9, La progettazione antincendio secondo il Codice, fonte INAIL.....	38
Figura 10, Rapporto fra GSA in esercizio e GSA in emergenza, fonte INAIL .....	41
Figura 11, Diagramma di flusso "Project Scope" .....	44
Figura 12, Andamento incendio, fonte INAIL .....	46
Figura 13, Controllare un sistema complesso.....	30
Figura 14, Diagramma funzionale del sistema "Fire Safety Emergency Management" .....	55
Figura 15, FBS "User" .....	57
Figura 16, FBS "Safety System".....	58
Figura 17, FBS "Structure" .....	59
Figura 18, FBS "Installation", Esempio VMC.....	60
Figura 19, FBS "Installation", Esempio di Impianto elettrico .....	60
Figura 20, FBS "Maintenance" .....	61
Figura 21, FBS "Safety - Design" .....	62
Figura 22, SysML diagram Taxonomy, fonte "A Pratical Guide to SysML" .....	65
Figura 23, Fasi FMEA, Schema tradotto e adattato da Wang (2003).....	68
Figura 24, Sistemi di Compartimentazione .....	70

Figura 25, Filtro .....	85
Figura 26, Esempi di soluzioni per filtri a prova di fumo.....	87
Figura 27, Esempi di soluzioni per lo Spazio Scoperto .....	88
Figura 28, Segnaletica per porte tagliafuoco .....	89
Figura 29, Struttura di un Block Diagram, fonte Manuale "OMG SysML" .....	93
Figura 30, Relazione di Associazione/Composizione, fonte Manuale "OMG SysML" .....	94
Figura 31, Relazione di Generalizzazione, fonte Manuale "OMG SysML" .....	95
Figura 32, Relazione di Allocazione, fonte Manuale "OMG SysML" .....	96
Figura 33, Relazione di Dipendenza, fonte Manuale "OMG SysML" .....	96
Figura 34, ControlFlow, fonte Manuale "OMG SysML" .....	97
Figura 35, Simbolo Inizio Attività, fonte Manuale "SysML" .....	97
Figura 36, Simbolo Fine Attività, fonte Manuale "OMG SysML" .....	97
Figura 37, Simbolo Attori, fonte Manuale "OMG SysML" .....	98
Figura 38, Compartmentalization Types .....	104
Figura 39, Compartmentalization Components .....	108
Figura 40, Compartmentalization Requirements .....	111
Figura 41, Compartmentalization Functions .....	113
Figura 42, Activity Diagram: "LIMIT SPREAD OF FIRE" .....	115
Figura 43, Maintenance Plan of Fire Door .....	116
Figura 44, FMEA "Fire Door" .....	118

# 1. INTRODUZIONE

In campo edilizio spesso accade che le pianificazioni di gestione, manutenzione ed i piani di risposta alle emergenze di una struttura elaborati in fase progettuale non siano concretamente applicabili in fase di esercizio.

Infatti, non è raro che negli anni le strutture siano sottoposte a modifiche: variazioni di grande entità come quelle strutturali o di piccola entità come variazioni di destinazione d'uso, degli spazi interni o afflusso ed uso degli utenti differente dal progetto iniziale.

Le modifiche apportate generano un gap fra il progetto e la realtà.

Lo scostamento che si viene a creare da un lato complica le attività di gestione della struttura, dall'altro il più delle volte inficia negativamente sulla portata dei danni registrati a seguito di un evento fortuito, come la storia edilizia dimostra.

Pertanto, il ruolo del Facility Manager, il “gestore moderno” di una struttura, è divenuto sempre più arduo. Egli è chiamato a garantire la gestione ottimale della facility e dei servizi da essa erogati, tenendo conto della realtà evolutiva della struttura e del fatto che questa è un'entità dinamica.

Le facilities, quindi, possono essere considerate sistemi complessi a tutti gli effetti, di cui l'uomo è una delle componenti del sistema al pari dell'involucro, degli impianti, dei servizi e delle attività di manutenzione.

Il problema aperto è il tentativo del Facility Manager di garantire il mantenimento delle prestazioni di questi sistemi, la cui complessità deve tener conto anche della variabile umana.

Uno degli aspetti più delicati nel facility management è la gestione delle emergenze ed in questo lavoro di tesi tratteremo nello specifico l'emergenza fuoco: la Fire Safety Emergency Management.

Mentre la conoscenza dei meccanismi di sviluppo di un incendio e le sue fasi evolutive, internamente ad una struttura, sono noti e più “facilmente” gestibili, altrettanto non avviene per l'influenza che l'uomo ha su di essa, il cui comportamento è imprevedibile e gli effetti in termini di variazione dei livelli di sicurezza possono essere enormi.

L'obiettivo del presente studio di tesi è quello di sviluppare un metodo di supporto al Facility Manager con cui poter controllare una facility. Quindi uno strumento che ne faciliti la gestione, la prevenzione all' emergenza incendio, le attività di verifica, quelle di supporto decisionale e di riduzione dei rischi.

Poiché ogni tipo di valutazione e progettazione antincendio deve innanzitutto attenersi al quadro normativo presente, il Codice Prevenzione Incendio (C.P.I.), il metodo sviluppato propone una lettura razionale della norma attraverso un approccio sistemico.

Il metodo proposto si compone di tre steps.

Il primo è la scomposizione funzionale della facility attraverso le rappresentazioni FBS (Functional Breakdown Structure).

Successivamente, con le tecniche di modellazioni digitali MBSE (Model-Based System Engineering) verrà razionalizzato il dominio di studio: il Codice Prevenzione Incendi.

L'idea di questo lavoro è di trattare gli aspetti relativi alla gestione della sicurezza antincendio delle facilities attraverso l'estensione dei modelli MBSE a SysML, che sarà il linguaggio rappresentativo utilizzato.

Il quadro normativo, letto in chiave ingegneristica, sarà scomposto in Functions, Behaviors e Structure. Tale scomposizione, tipica dei sistemi complessi, renderà possibile l'implementazione del Codice su software informatici e la loro modellazione. Infine, attraverso le tabelle FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) verrà effettuata l'analisi dei guasti.

Razionalizzare la norma è l'evoluzione con cui il Facility Manager può eseguire analisi automatizzate della sicurezza ed ottenere feedback correttivi sulla progettazione, sulla prevenzione e di aiuto nell'attività decisionale.

L'automazione dei processi edilizi è la chiave con cui poter gestire e controllare una facility e ridurre e/o eliminare la probabilità di incidenti e piuttosto accrescere quella di salvaguardia della vita umana e a seguire dei beni.

La produzione di tabelle FMEA, ultimo passo del metodo proposto, renderà possibile l'analisi diagnostica dei rischi e sarà strumento di indagine delle potenziali cause volto al miglioramento progressivo delle prestazioni del sistema.



Il metodo di modellazione proposto rappresenta un database di tutte le informazioni del Sistema di Compartimentazione che include tutte le viste di interesse del Facility Manager e di tutti gli stakeholders della facility.

Il metodo ha la capacità di essere flessibile ed aggiornabile nel tempo, senza perdere traccia di nessuno dei dati in esso contenuti e supportando la gestione ottimale del dominio di interesse, seppur dinamico ed evolvibile.

Altresì è uno strumento trasversale: adattabile ad ogni valutazione ingegneristica, supportando l'approccio prestazionale tipico della Fire Safety Engineering.

## **1.1. STRUTTURA DELLA TESI**

La tesi è divisa in due blocchi: la prima parte è interamente dedicata alla descrizione dell'ambito di studio.

Il Capitolo 2 illustra il campo ingegneristico entro il quale si opera, ovvero il Facility Management, illustrando la figura del Facility Manager e le insidie nel ruolo che egli è chiamato a svolgere nel settore edilizio.

Il Capitolo 3 chiarisce il concetto di sistema complesso e dà spiegazione di quale sia l'attuale approccio dell'ingegneria dei sistemi per la conoscenza ed il controllo di questi, i modelli MBSE. Verranno messe in luce le complessità nell'edilizia.

Il Capitolo 4 definisce l'ambito specifico della tesi, la Fire Safety Emergency Management, tenendo conto dalle condizioni iniziali entro il quale si opera: ovvero il quadro normativo ed i rispettivi vincoli.

Nella seconda parte della tesi si prosegue con lo sviluppo della metodologia proposta a supporto del Facility Management.

Il Capitolo 5 descrive l'approccio e gli steps che hanno portato alla definizione del metodo vero e proprio. Quindi verranno presentati i modelli utilizzati e la logica di applicazione di questi.

Nel Capitolo 6 si riportano i risultati ottenuti, mostrando diagrammi e grafici derivanti dalle modellazioni fatte mediante software.

Nel capitolo 7 si annotano le conclusioni, nonché suggerimenti di sviluppi ulteriori.

## 2. FACILITY MANAGEMENT

La UNI EN ISO 41011:2018 definisce il Facility Management (FM) come: “funzione organizzativa che integra persone, luoghi e processi nell’ambiente edificato con lo scopo di migliorare la qualità della vita delle persone e la produttività dell’attività principale”.

La UNI EN ISO 41001:2018 cita: “il Facility Management (FM) integra molteplici discipline al fine di influenzare l’efficienza e la produttività delle economie di società, comunità e organizzazioni, così come il modo in cui gli individui interagiscono all’interno di tali organismi. Il FM influenza la salute, il benessere e la qualità della vita di gran parte delle società e della popolazione mondiale tramite i servizi che gestisce e fornisce”.

Quindi il Facility Management è: l’insieme di tutti i servizi orientati all’edificio, alla persona e allo spazio che permettono alle attività pubbliche e private di svolgere il proprio core business in un ambiente confortevole e ben attrezzato, assicurando la continuità dei processi produttivi e la compliance normativa in materia di sicurezza e ambiente, mantenendo un occhio vigile sui consumi. Questi servizi possono essere erogati da personale interno all’organizzazione, da fornitori esterni o in modo ibrido, usando l’apporto di entrambi.

Per facilities si intendono le infrastrutture, le strutture e i servizi a supporto dei processi del core business aziendale.

Il FM usa un approccio per processi al fine di produrre il risultato desiderato dagli obiettivi aziendali. Il vantaggio è il controllo continuo sul collegamento tra i singoli processi e sulla loro interazione [17].

Tale approccio è noto come “*Plan-Do-Check-Act*”, ovvero pianificare, fare, verificare e agire:

- *Plan*: stabilire gli obiettivi e i processi necessari per fornire risultati in conformità ai requisiti del cliente e alle politiche dell’organizzazione;
- *Do*: attuare i processi;

- *Check*: monitorare e misurare i processi ed i prodotti a fronte delle politiche, degli obiettivi e dei requisiti relativi ai prodotti, e riferire sui risultati;
- *Act*: intraprendere azioni per migliorare in modo continuo le prestazioni dei processi.



Figura 1, Plan - Do - Check - Act

(fonte: [http://fmj.ifma.org/publication/?i=665190&article\\_id=3707069&view=articleBrowser](http://fmj.ifma.org/publication/?i=665190&article_id=3707069&view=articleBrowser) )

Le norme sopra citate hanno lo scopo di istituire un insieme strutturato di processi, metodi, documenti e strategie che possano essere adattati in tutti gli ambiti delle organizzazioni, queste non sono vincolanti e stringenti, bensì sono l'insieme di definizioni e procedure, formando un linguaggio coniato di tipo internazionale.

L'ammontare dell'ampia tipologia di strutture, infrastrutture e di tutti i core-business perseguibili crea un campo di azione del FM vasto e diversificato, così da rendere difficile una catalogazione netta e omnicomprensiva di tutti i servizi di cui il FM si occupa. Per questo decliniamo il facility management in tre macro-famiglie di servizi:

- I servizi dell'edificio: hanno ad oggetto il mantenimento dell'immobile e di tutti i suoi impianti e strutture. Questi assicurano all'azienda continuità di funzionamento delle facilities nel rispetto delle normative in materia di igiene degli ambienti di lavoro, sicurezza e uso razionale dell'energia.
- I servizi dello spazio: hanno ad oggetto gli spazi di lavoro e facilitano la creazione del valore, comunicazione, socializzazione e circolazione della conoscenza.

- I servizi rivolti alle persone: hanno ad oggetto i cosiddetti “soft services” (ristorazione, gestione documentale, reception, igiene ambientale, fringe benefits, etc...) e impattano su produttività, benessere di chi lavora per l’azienda.

Il Facility Management è, dunque, la disciplina che integra i principi della gestione economica e finanziaria d’azienda, dell’architettura e delle scienze comportamentali. Quello del Facility Management è un approccio integrato che, attraverso la progettazione, pianificazione ed erogazione di servizi di supporto all’attività principale dell’azienda, mira ad aumentare l’efficacia dell’organizzazione e a renderla capace di adattarsi con facilità e rapidità ai cambiamenti del mercato.

I tre aspetti principali che caratterizzano la disciplina del Facility Management sono quello strategico, quello analitico e quello gestionale-operativo.

L’aspetto strategico riguarda ogni decisione relativa alla politica di gestione e di reperimento dei servizi, di distribuzione delle risorse da impiegare per supportare gli obiettivi del core business (predisposizione e gestione del budget, ripartizione dei costi, ecc.), gestione del personale, di scelta dei fornitori, ecc.

L’aspetto analitico è relativo alla comprensione delle necessità dei clienti interni, al controllo dei risultati della gestione e dell’efficienza nell’erogazione del servizio, all’individuazione di nuove tecniche e tecnologie che supportino il business aziendale.

L’aspetto gestionale-operativo concerne la gestione e il coordinamento di tutti i servizi.

Ogni una struttura viene occupata, gestita, mantenuta e riparata. Qualche ne volta viene modificata la destinazione d’uso per adattarsi ad un uso diverso rispetto a quello originale. Il riutilizzo adattivo è particolarmente diffuso, poiché consente il rilancio delle aree urbane dove, ad esempio vecchi magazzini sono trasformati e rivestiti di nuove funzioni.

Il ciclo di vita del Facility Management può essere riassunto come mostrato nella figura sottostante. Questo è estendibile a tutte le facilities, tenendo conto che le uniche variabili che differiscono sono lo spazio e la complessità. Dalla figura si noti che la fase “Operazioni e Manutenzione” è la fase più lunghe e complesse [7].

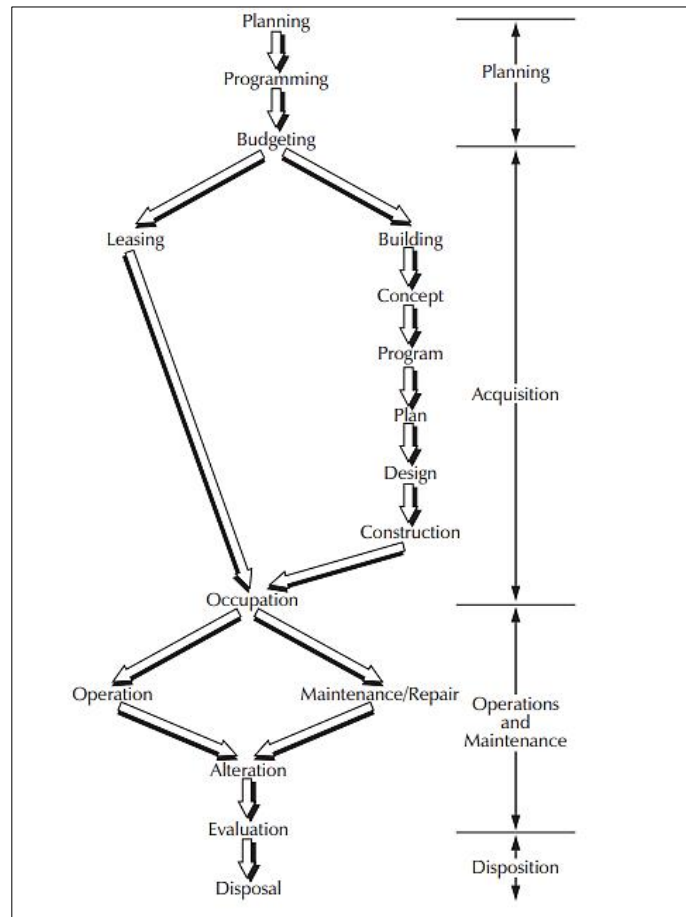


Figura 2, Facility Management life cycle, fonte "The Facility Management Handbook"

## 2.1. IL RUOLO DEL FACILITY MANAGER

Il Facility Manager svolge una professione che abbraccia più discipline per garantire la funzionalità dell'ambiente costruito integrando persone, luoghi, processi e tecnologia.

Storicamente, il ruolo del manager era visto come un “custode”. Egli era il responsabile del progetto e si occupava dell’efficienza dei dipendenti e del budget amministrativo.

Questi aspetti continuano ancora ad appartenere al Facility Manager, ma non sono più esaustivi. Infatti, il mondo degli affari e del governo è cambiato e le tendenze commerciali e culturali hanno modificato radicalmente il settore privato e pubblico. Sono emerse tendenze come: il potenziamento del valore e delle risorse della struttura, il miglioramento dell'informazione (in particolare nelle aree di progettazione architettonica e di direzione lavori), la preoccupazione per la sicurezza e la preparazione alle emergenze, l’importanza del luogo di lavoro, la preoccupazione per una migliore etica e una migliore amministrazione, la preoccupazione per il benessere degli utenti.

Queste tendenze hanno delineato un nuovo profilo di Facility Manager.

Il gestore della struttura passa dall’essere un semplice tecnico a rappresentare un manager e leader che aiuta l'azienda nell’individuare la strategia ottimale per la gestione delle strutture e di tutti i suoi servizi. Servizi legati alle strutture fisiche (hard services) come i sistemi impiantistici e tutto ciò che riguarda la manutenzione di strutture; sia servizi che rendono migliore il posto di lavoro (soft services) come i servizi di pulizia e di gestione dei rifiuti, il servizio di reception e portierato, di sicurezza, di posta e logistica interna, il servizio di mensa aziendale.

Quindi, le operazioni tipiche di un Facility Manager odierno riguardano sia le attività di progettazione, pianificazione ed erogazione di tutto ciò che è a supporto del core business dell’azienda, che di gestione di questi stessi. Egli tenta di migliorare costantemente il luogo e le condizioni di lavoro, di effettuare la valutazione dei rischi, di individuare soluzioni di mitigazione prima e piani di gestione delle emergenze poi, andando ad integrare le conoscenze di tutti gli specialisti che intervengono nel progetto.

Altresì, egli tenta di misurare regolarmente e migliorare sia l'efficacia che l’efficienza delle facilities e di effettuare ogni operazione strategica ottimizzando i costi.

Affinché un Facility Manager possa essere un buon leader, un buon business planner ed un buon responsabile finanziario nella pratica del suo lavoro, egli deve avere occhio:

1. Strategico: come e dove trovare e distribuire i servizi necessari all'azienda per raggiungere gli obiettivi di business, incluse decisioni sul budget e sui costi;
2. Analitico: ascoltare i lavoratori dell'azienda, per capire le loro necessità, cosa si può fare per migliorare l'operatività e la produttività dell'azienda;
3. Gestionale-operativo: la gestione dei vari servizi, e dell'operatività, cioè di quando e come distribuire ed erogare al meglio i servizi dell'azienda.

Ogni facility ha una propria missione. Raggiungere il core business significa adottare una strategia di gestione ottimale e specifica per ogni ognuna di esse.

Il Facility Manager deve elaborare la tattica più adatta e di volta in volta differente, tenendo conto che ogni struttura è un oggetto unico.

I fattori da esaminare non sono solo quelli legati al core business, ma vanno considerati anche gli aspetti inerenti al luogo: la normativa di riferimento, i fattori ambientali ed i fattori di rischio tipici (zone più esposte a rischio sismico piuttosto che ad uragani).

Tuttavia, le analisi in capo al Facility Manager non possono far riferimento soltanto agli eventi catastrofici facenti parte di archivi storici e database di raccolta dati.

Le pianificazioni di emergenza fatte sino a questo momento nella storia dell'ingegneria si basano su scenari ottimali, semplificativi della realtà e su previsioni probabilistiche. Pertanto, il Facility Manager non dovrebbe agire per "prassi e consuetudine", bensì dovrebbe sperimentare.

Egli deve pianificare, ma deve essere anche reattivo, flessibile ed innovativo.

L'analisi che il Manager è chiamato a fare è una valutazione che non incontra solo le problematiche tipicamente strategiche e di business aziendale, ma ancor prima analisi che contestualizzino la facility all'interno di un territorio e del quadro normativo edilizio vigente spesso vincolante nelle scelte politiche aziendali e strutturali.

## **2.2. EMERGENCY MANAGEMENT**

L'Emergency Management è la gestione delle emergenze che, nel manuale "The Facility Management HandBook", è definita come: "la funzione manageriale preposta

alla creazione di un quadro entro il quale le comunità riducono la vulnerabilità ai pericoli e con cui far fronte ai disastri” [7].

Le situazioni di emergenza possono essere classificate come:

- naturali: incendi, terremoti, tempeste, uragani, tornado, maremoti, inondazioni e siccità;
- tecnologiche: incidenti con materiali pericolosi, guasti alle telecomunicazioni e interruzioni di corrente elettrica;
- di origine umana: criminalità (aggressione, furto, rapina, disordini civili e atti vandalici), minacce di bombe, situazioni di ostaggio, crisi mediche e incidenti ambientali.

La gestione delle emergenze è composta da quattro fasi che sono mitigazione, preparazione, risposta e ripristino.

- *Mitigazione*: la progettazione delle strutture deve essere guidata da scelte e da operazioni volte a ridurre e prevenire il rischio di catastrofi, identificando i potenziali pericoli e il loro rapporto con le comunità e la pubblica sicurezza.

In questa fase si effettua la classificazione delle emergenze, la pianificazione delle responsabilità, la pianificazione della comunicazione e l'addestramento. La gestione delle emergenze inizia dall'elencazione di una lista delle potenziali emergenze, alle quali viene associata una probabilità di accadimento e successivamente verrà elaborato un piano di emergenza che darà priorità agli scenari di danno più gravosi danni sulla struttura e sui costi.

- *Preparazione*: si riferisce alle azioni intraprese quando gli sforzi di mitigazione sono falliti, come lo sviluppo di un piano operativo di emergenza che affronti i rischi identificati e riduca al minimo l'impatto dei disastri, il reclutamento e la formazione dei coordinatori e del personale della gestione delle emergenze, l'identificazione delle risorse di gestione delle emergenze e la designazione delle strutture di emergenza.

In questa fase sono importanti la pianificazione delle modalità di controllo e della comunicazione in tempo reale.

- *Risposta*: riguarda le attività immediatamente successive a un'emergenza in cui i fornitori di servizi di gestione delle emergenze si concentrano sulla riduzione delle



condizioni pericolose per la vita delle persone. Include attività di aiuto che forniscono sostegno ed arrestano ulteriori danni alle infrastrutture.

- *Recupero*: è la fase di recupero del ciclo di gestione dopo un'emergenza e contribuisce al processo di ricostruzione.

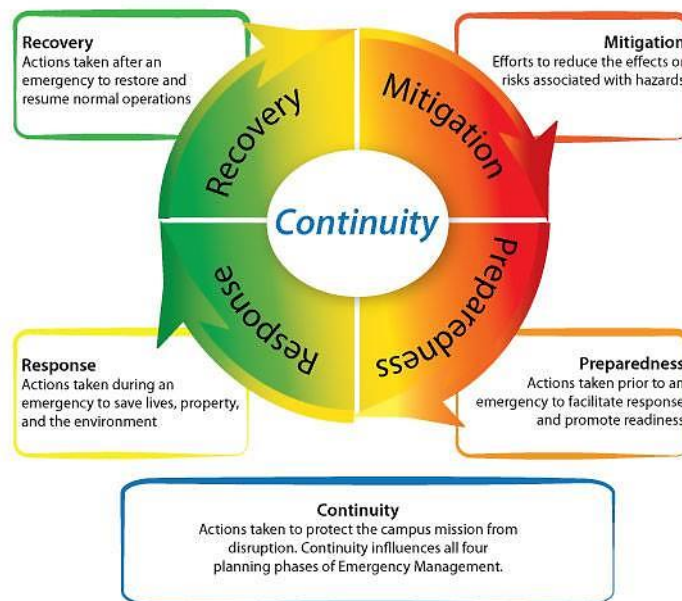


Figura 3, Emergency Management cycle

La gestione delle emergenze si tratta di un dettagliato e sistematico esame di tutti gli aspetti di un'emergenza. Infatti, sviluppare piani efficaci fornisce una metodologia per rispondere ottimamente a qualsiasi emergenza.

I piani sviluppati non sono statici, ma necessitano di essere modificati, perfezionati e aggiornati costantemente.

Il piano di gestione deve essere: completo, progressivo, orientato al rischio, integrato collaborativo (ovvero tutti sanno qual è il proprio ruolo, cosa fare, cosa fanno gli altri, come interagire fra di loro), di coordinamento e flessibile.

Questo stabilisce la struttura organizzativa con cui la facility risponde all'emergenza: quali sono i sistemi di comunicazione necessari per sostenere la missione, com'è organizzato il centro di controllo, i sistemi di raccolta delle informazioni, (registrazione, archiviazione e tracciabilità) e le risorse necessarie per supportare ed eseguire le varie operazioni.

Il Facility Manager ha la responsabilità di garantire che ogni struttura abbia un piano di risposta alle emergenze e che i dipendenti siano formati a rispondere alle situazioni di emergenza.

La comunicazione e la formazione del personale sono aspetti fondamentali per la risposta ottimale all'emergenza e di cui responsabile è il Facility Manager, il quale dovrà programmare riunioni e corsi appositi affinché tutti sappiano come comportarsi. Tuttavia, non è sufficiente fare affidamento alla sola formazione del personale.

Durante un'emergenza è necessario scongiurare l'interruzione dei sistemi di comunicazione ed assicurarsi che questi restino operativi (e spesso i sistemi di telefonia potrebbero non essere sufficienti). La comunicazione deve essere garantita costantemente e da qui si deduce come investire sui sistemi di comunicazioni sia un investimento prioritario.

La continuità dei flussi di informazione è fondamentale e resa possibile mediante software che collegano vari database, che sono in grado di monitorare il luogo e di informare gli utenti su cosa sta succedendo in tempo reale. Altresì la comunicazione deve essere strettamente supportata da un solido controllo e comando della e sulla situazione.

È necessario, infatti, strutturare in dettaglio un Centro Operativo di Emergenza, che definisca puntualmente chi registra cosa, chi lo supervisiona, come questa informazione viene rielaborata, come viene diffusa e quali sono le mansioni e le responsabilità. La figura sottostante descrive l'organizzazione interna e le operazioni svolte all'interno di un Centro Operativo di Emergenza.

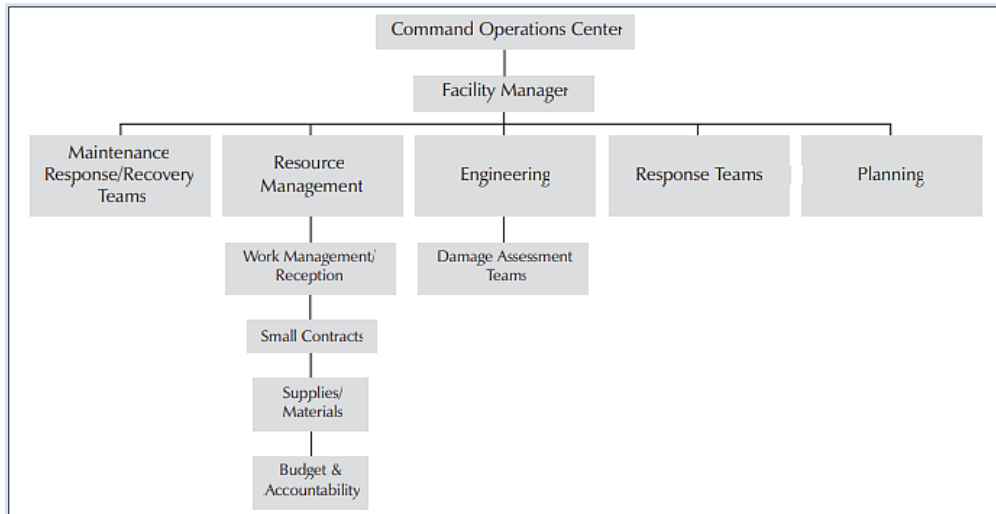


Figura 4, Centro Operativo di Emergenza di una Struttura (FEOC), fonte "The Facility Management Handbook"

La gestione delle emergenze si concentra su una forte e solida organizzazione. Gli obiettivi della preparazione alle emergenze e la pianificazione di annessi piani hanno la finalità di tutelare la sicurezza della vita umana e la protezione della proprietà. Senza pianificazione, direzione e controllo vigerebbe il caos.

Dunque, l'Emergency Management è una branca del Facility Management. Infatti, i manager sono sempre stati e saranno sempre coinvolti in caso di emergenze alle strutture. Quindi, il Facility Manager deve essere coinvolto sia nella pianificazione che nella reazione alle emergenze. Non è raro il caso in cui in alcune organizzazioni, il Facility Manager è anche il manager di emergenza.

### **3. COMPLESSITA' NELL'EDILIZIA**

Nell'edilizia, la gestione delle facilities è divenuta sempre più complessa e le regioni sono molteplici.

Da un lato le attuali strutture offrono un numero sempre maggiore di servizi, che avanzano parallelamente alle esigenze di mercato e ai quali sono richieste prestazioni sempre più sofisticate.

Dall'altro lato va considerato che le strutture subiscono costantemente modifiche durante il loro ciclo di vita, creandosi uno scostamento sempre maggiore fra lo stato di progetto e lo stato di fatto.

È il caso di operazioni di intervento per il recupero edilizio dei fabbricati esistenti, soprattutto nelle grandi città dove, zone un tempo considerate periferiche e destinate ad essere edifici industriali, oggi sono assorbite nel tessuto cittadino vero e proprio.

Le "scatole" esistenti fanno fatica a risultare conformi alle regole tecniche prescrittive odierne, soprattutto in materia antincendio, perché sono vincolate dalla loro struttura originaria o da normative comunali.

Sono scenari frequenti anche semplici variazioni di destinazione d'uso, variazioni di parti impiantistiche e tubazioni, variazioni e riorganizzazione generale degli spazi interni.

Perfino il quotidiano utilizzo della facility (quindi le operazioni di manutenzione o rifornimento dei servizi) altera temporaneamente le condizioni di progetto.

Includere nella gestione delle facilities la molteplicità dei servizi ed affrontare le continue variazioni non è semplice.

Queste possono essere considerate sistemi complessi a tutti gli effetti, in quanto sono sistemi in continua evoluzione e le cui componenti hanno influenza fra di loro e sul sistema globale stesso.

Il problema per il Facility Manager è come controllare la complessità del sistema edilizio che è dinamico e su cui ha un impatto notevole anche l'uomo, senza perdere di vista nessun aspetto e nessuna variazione sopra citate.

Egli deve gestire un sistema considerando:

- la sua complessità (un sistema fatto di tante fasi, componenti e in cui interagiscono più stakeholders);
- la possibilità di alterazione in corso d'opera dello stesso (quindi è un sistema dinamico);
- l'influenza che ha su questo l'uomo;
- la consapevolezza che potrebbero presentarsi situazioni di emergenza per le quali è necessario effettuare pianificazioni di prevenzione, di risposta, di manutenzione e di monitoraggio;
- tenere traccia di tutto il flusso informativo;
- ed averne controllo costante, nel rispetto dei vincoli normativi e perseguendo l'ottimale gestione di ogni facility.

### **3.1. SISTEMI COMPLESSI**

In termini generali, un sistema complesso è l'insieme di elementi variabili e fortemente interconnessi anche nella loro evoluzione temporale, sicché la conoscenza singola d'ognuno di essi non è sufficiente a stabilire l'evoluzione complessiva del sistema.

Gli ecosistemi, i mercati finanziari e il sistema nervoso sono esempi di sistemi complessi.

Benché non ne esista una definizione formale unanime, si può affermare che un sistema complesso ha alcune caratteristiche tipiche: è composto da un numero notevole di sottosistemi interagenti; presenta caratteristiche emergenti; è altamente strutturato; presenta meccanismi di retroazione (per cui una risposta in uscita diventa anche uno stimolo in entrata) ed è caratterizzato da una dinamica non lineare (caos).

Il fatto che sia caratterizzato da un gran numero di variabili e di cui i comportamenti si influenzano e relazionano tra loro fa sì che maggiore è la quantità e la varietà delle relazioni fra gli elementi di un sistema, maggiore è la sua complessità.

Pertanto, questi sono sistemi il cui comportamento non può essere compreso a partire dal comportamento dei singoli elementi che li compongono, piuttosto l'interazione tra i singoli elementi determina il comportamento globale dei sistemi e fornisce loro delle

proprietà che possono essere completamente estranee agli elementi singoli. Questa proprietà è chiamata comportamento emergente, nel senso che a partire dalle interazioni tra i singoli componenti del sistema emerge un "comportamento globale" non previsto dallo studio delle singole parti, cioè un comportamento complesso non prevedibile e non desumibile dalla semplice sommatoria degli elementi che compongono il sistema.

In un sistema complesso una piccola variazione può esercitare una grande trasformazione [12].

### **Caratteristiche di un Sistema Complesso**

Il primo aspetto da considerare quando si tratta un sistema sono gli stakeholders, ovvero i portatori di interesse che possono essere sia persone che organizzazioni. Considerare gli stakeholders è fondamentale, in quanto ognuno di questi osserva il sistema in maniera differente e questo può mettere in luce aspetti non immediatamente intuibili.

Altro tratto caratteristico dei sistemi complessi sono gli attributi. Per ogni elemento o parte del sistema devono essere individuati gli attributi, che caratterizzano le proprietà del sistema. Gli attributi servono per descrivere il sistema e possono assumere un valore non misurabile o possono essere descritti per mezzo di una unità di misura (dimensioni, peso, numero, etc.) o trattarsi di un insieme di requisiti.

Seguono i confini che servono a descrivere la portata del sistema e possono essere di qualsiasi tipo: confini di tipo fisico, confini di tipo concettuale, confini dati dagli stakeholder oppure, come nel nostro caso, confini normativi.

Le funzionalità rappresentano una esigenza di livello superiore del sistema che ne determina l'esistenza; pertanto, agli elementi di sistema corrisponde delle funzioni.

I vincoli limitano la realizzazione del sistema e tutti i sistemi sono in qualche modo limitati. Anche i vincoli possono essere di varia natura come vincoli di qualità, quantità, ambientali, di sicurezza, di implementazione (come un oggetto può essere assemblato), etc.

Tutti i concetti sopra esposti sono, dunque, concetti di cui ci serviamo per descrivere e conoscere un sistema.

Di seguito si riporta uno schema riassuntivo e sommario delle parti costituenti un sistema.

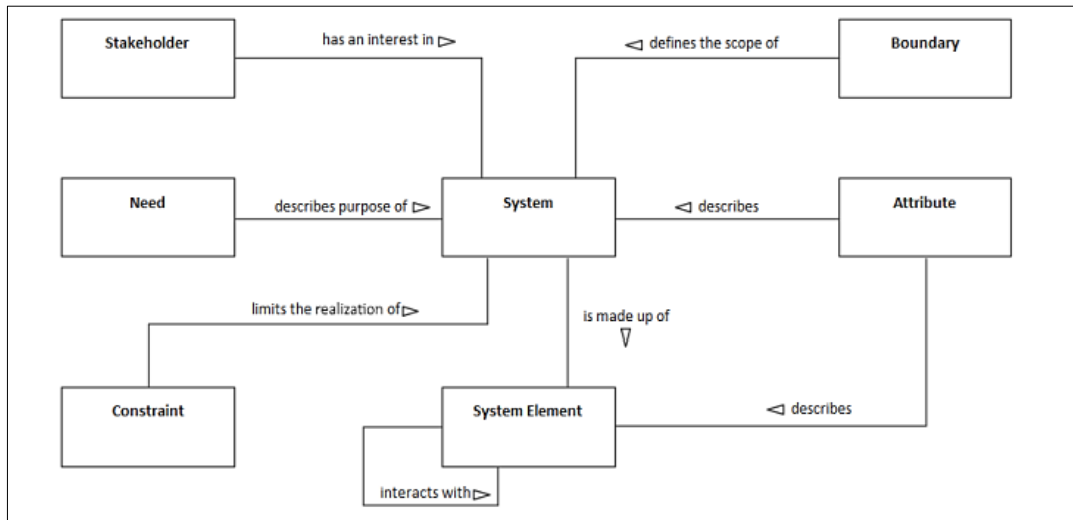


Figura 5, Summary of the key concepts associated with a system, fonte "System Engineering Demystified"

Proiettando questo concetto nell'ambito ingegneristico, il sistema complesso può essere un prodotto industriale, dell'elettrotecnica, dell'informatica, un processo gestionale, di supervisione e controllo o nel caso edilizio una struttura intesa come sistema al quale appartengono la fase costruttiva, di gestione e manutentiva e la componente umana.

La materia che si occupa di studiare e trattare queste realtà complesse è l'Ingegneria dei Sistemi.

### 3.2. INGEGNERIA DEI SISTEMI

Si può sostenere che l'Ingegneria dei Sistemi (Systems Engineering) è stata impiegata sin da quando l'umanità ha iniziato a costruire e sviluppare sistemi complessi, si potrebbe anche dire che le piramidi nell'antico Egitto sono esempi di sistemi complessi, così come sono tali il sistema astronomico o quello solare, il quale fu studiato per la prima volta dagli antichi greci che diedero una prima modellazione del movimento dei pianeti attraverso il modello geocentrico.

In tempi più recenti, risale alla Seconda guerra mondiale il primo tentativo di insegnare l'ingegneria di sistemi. Negli anni '60 venne formulato il campo di studio noto come "Teoria dei sistemi", che fu postulato per la prima volta da Ludwig von Bertalanffy (1968).

Il principio madre della teoria dei sistemi è che si tratta di una struttura concettuale basata sul principio che: le parti componenti di un sistema possono essere meglio comprese nel contesto delle relazioni tra loro e con altri sistemi, piuttosto che in isolamento (Wilkinson 2011). Questo è essenziale per tutta l'ingegneria dei sistemi in quanto significa che gli elementi in un sistema o i sistemi stessi, non sono mai considerati da soli ma in relazione ad altri elementi o sistemi.

Man mano che i sistemi diventavano negli anni più complessi, la necessità di un nuovo approccio allo sviluppo dei sistemi divenne un'esigenza. Durante l'ultima parte del XX secolo, questa esigenza è cresciuta fino a che, nel 1990, negli Stati Uniti è stata fondato il Consiglio Nazionale di Ingegneria dei Sistemi (NCOSE). Da allora, questa organizzazione si è evoluta nel International Council on Systems Engineering (INCOSE), nel 1995, che è la principale autorità nel mondo in materia di ingegneria dei sistemi.

Negli ultimi anni la complessità dei prodotti è aumentata esponenzialmente in tutti i campi dell'ingegneria, al fine di migliorare le caratteristiche e le funzioni di prodotti esistenti, per creare prodotti innovativi o nuovi sistemi di produzione e distribuzione di beni e servizi.

Se da un lato questa crescente evoluzione dei prodotti e dei sistemi di produzione ha migliorato notevolmente la qualità dei risultati, dall'altro ha aumentato la complessità di gestione e ogni tipo di analisi di questi. Non solo le competenze per la conoscenza approfondita di prodotti e sistemi non si esaurisce più con la giustapposizione di saperi, bensì è necessaria anche l'interazione di culture tecnico-scientifiche diverse in ambiti multidisciplinari.

Gli ingegneri, oggi, devono essere in grado di gestire sistemi organizzativi e produttivi complessi, di prendere decisioni in tempo breve e con impatto economico spesso dell'ordine di decine di migliaia di euro e fare valutazioni strategiche. C'è un crescente bisogno di approcci rigorosi e robusti e in grado di far fronte a questi elevati livelli di complessità.



L'ingegneria dei sistemi è la disciplina che studia questi sistemi e tratta le metodologie di gestione, con lo scopo di individuare metodi risolutivi di lettura del mondo.

Lo sviluppo di questo campo è nato quindi da una reale esigenza di conoscenza e controllo.

L'Ingegneria dei sistemi è una branca interdisciplinare dell'ingegneria che si occupa dello studio e dell'organizzazione di sistemi complessi. In essa si uniscono diverse discipline e specialità, raggruppate in uno sforzo congiunto, al fine di formare un processo di sviluppo strutturato che attraverso la concezione, la produzione e l'operatività sia in grado di dispiegare tali sistemi.

L'ingegneria dei sistemi si compone di una combinazione di competenze sia tecniche che di gestione del progetto, quali modellazione, simulazione, analisi dei requisiti e gestione del progetto. Questa, quindi, si caratterizza da un'ampia serie di prospettive e molteplici parti interessate e richiede comprensione dell'intero dominio.

Una vista semplificata dei processi tecnici di ingegneria dei sistemi è mostrata nella figura sottostante.

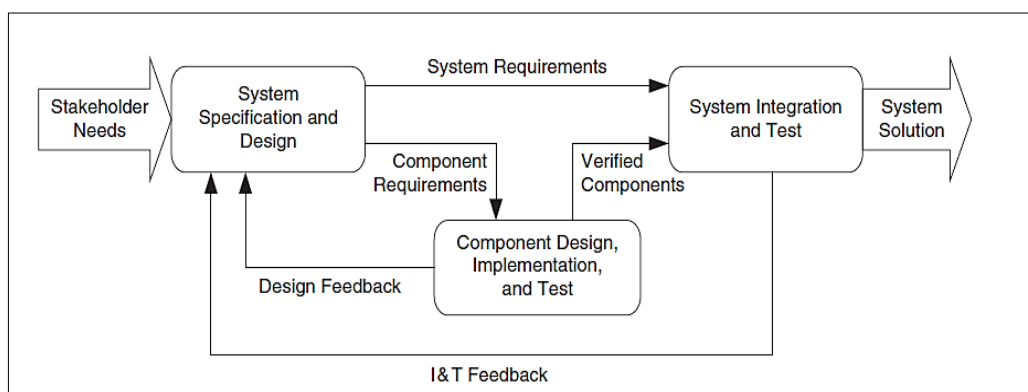


Figura 6, Simplified systems engineering technical processes, fonte "A practical Guide to SysML"

Il processo di specifica dei sistemi complessi richiede la definizione dei suoi requisiti, dei componenti di sistema e le loro allocazioni, le quali saranno sottoposte a verifica, col fine di soddisfare le esigenze degli stakeholders. Questi processi richiedono un feedback continuo tra le diverse fasi; quindi, mantenere la tracciabilità di ogni passaggio del sistema è indispensabile [13].

### 3.3. MODEL-BASED SYSTEMS ENGINEERING (MBSE)

MBSE è l'acronimo inglese di Ingegneria dei Sistemi Basati su Modelli.

La MBSE non è un sottoinsieme dell'ingegneria dei sistemi, ma è una modalità rigorosa con cui vengono trattati i sistemi complessi, quindi un approccio all'ingegneria dei sistemi, come mostra la figura sottostante [12].

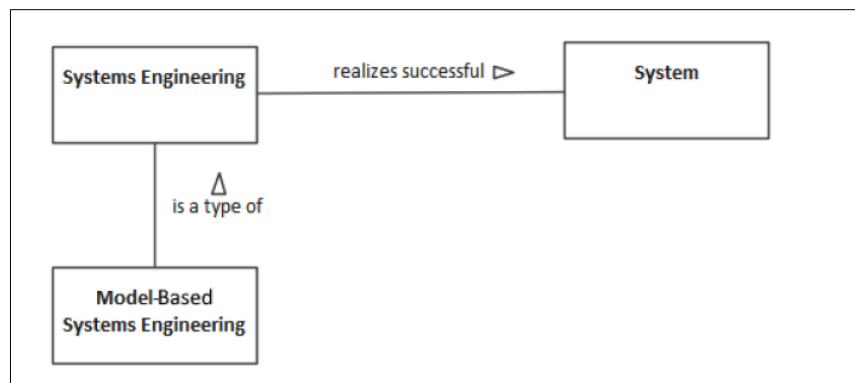


Figura 7, MBSE is a type of system engineering, fonte "System Engineering Demystified"

MBSE è un metodo di modellazione che astrae un sistema e consente di gestirne la complessità.

MBSE restituisce modelli per supportare il processo di progettazione e specifica di un sistema complesso, comprensivi dei suoi requisiti, delle attività, delle operazioni di analisi e verifica a partire dalla fase di progettazione sino alle fasi successive del ciclo di vita. L'output è un modello coerente col sistema originario e che contenga tutte le sue caratteristiche ed informazioni.

Fino ad ora la conoscenza e lo studio dei sistemi complessi è stata fatta attraverso diagrammi di vario tipo (di flusso, funzionali, strutturali), schemi e grafici. Rispetto a questa raccolta disparata di modelli individuali, la modellazione MBSE integra i molteplici aspetti che descrivono il sistema in modo coeso, fornendo un mezzo capace di acquisire ed integrare tutte le informazioni.

Questo approccio ingegneristico ha i seguenti vantaggi: consente la comprensione condivisa del sistema tra il team di sviluppo e le altre parti interessate, ha la capacità di integrare viste del sistema da più prospettive, consente il monitoraggio continuo dei requisiti e la verifica del progetto e quindi la migliore qualità dei processi.

I modelli MBSE sono chiari; in essi i dati sono tracciabili, verificabili, inequivocabili, accessibili a tutti gli attori e permettono analisi dei requisiti, modifiche progettuali, riduzione degli errori e del tempo e la generazione automatizzata dei documenti.

I modelli MBSE consentono la rappresentazione di un dominio di interesse, qualunque sia la natura del dominio: astratta (come rappresentazioni matematiche e logiche), piuttosto che prototipi fisici più concreti (quindi possono assumere la forma di simboli grafici, rappresentazioni geometriche o essere di testuali).

SysML, come vedremo più avanti, è un linguaggio di modellazione che si sposa bene con le caratteristiche dei modelli MBSE, in quanto permette di rappresentare gli elementi di sistema, il comportamento, la struttura, le proprietà, i vincoli, i requisiti del sistema e le varie relazioni, con una semantica di specifica e completo di tutte le informazioni.

Tuttavia, le modellazioni dell'ingegneria dei sistemi non precludono la necessità dell'intelligenza degli ingegneri, i quali non devono mai seguire ciecamente le istruzioni quanto piuttosto avere un approccio critico.

### **3.4. STATO DELL'ARTE**

La nozione di processo esiste dall'industrializzazione e nasce originariamente nell'ambito della produzione. Un processo è un insieme di attività, più o meno elementari, coordinate fra di loro secondo uno schema rivolto al conseguimento di un obiettivo globale, ed eseguite da differenti agenti, eventualmente anche in luoghi differenti. Inizialmente tutti i processi erano materiali, rivolti alla produzione di oggetti fisici, svolti dall'uomo che manipolava fisicamente gli oggetti. Con le richieste di mercato crescenti e sempre più complesse, sia in termini realizzative che di dettagli dei prodotti, i processi sono parzialmente o totalmente svolti dai sistemi informatici e sono per lo più realizzati industrialmente, spesso in aree differenti.

Ad oggi, possiamo individuare i processi sotto tre diverse categorie:

1. processi materiali
2. processi di informazione
3. processi aziendali (business processes)

Questi processi differiscono per lo scopo. Lo scopo dei processi materiali è di assemblare componenti fisicamente e produrre prodotti fisici, e riguardano compiti umani nel mondo fisico. I processi di informazione invece sono legati a tasks automatizzati, che creano, processano, gestiscono e forniscono in formazione e si svolgono nell'ambiente dei sistemi informatici. I processi aziendali sono descrizioni, basate sul mercato, delle attività di un'organizzazione, che possono essere implementati sia come processi materiali che come processi di informazione.

L'ingegnerizzazione dei processi prevede di riconsiderare e riprogettare il processo, qualunque sia la sua categoria, con la loro digitalizzazione su sistemi informatici.

Un aspetto essenziale per la digitalizzazione dei processi è la capacità di astrazione degli ingegneri di sistema, per descrivere e visualizzare tali processi, le attività connesse, gli attori, le risorse.

Recentemente, la gestione dei processi è diventata una risorsa preziosa e questa deve essere estesa anche al caso delle facilities.

Infatti, i metodi di pianificazione tradizionali, strumenti con i quali sino ad ora si è gestito l'esecuzione dei progetti di costruzione, spesso non riescono a fornire prospettive realistiche ed aggiornate del progetto e di tutti gli aspetti ad esso legati. dei costi e della produttività. Il fallimento dei metodi di pianificazione tradizionali è attribuito all'effetto causale che non catturano molte delle relazioni che esistono tra le variabili di progetto. Ciò che risulta dai modelli MBSE, invece, sono reti di pianificazione del progetto realistiche, che integrano tutti gli aspetti e permette il miglioramento dei risultati di processo.

La modellazione e la simulazione sono strumenti potenti per rappresentare un comportamento reale del sistema nel mondo virtuale, pertanto, questi possono essere estesi al caso nostro per testare e verificare le insidie presenti nei processi edilizi.

Il sistema edilizio è un sistema complesso, pertanto anch'esso necessita di una pianificazione delle attività proprie che sia dinamica, aggiornabile, incrementabile e modificabile nel tempo.

È in atto un profondo e rivoluzionario cambiamento, caratterizzato dall'implementazione del costruito, che impone un'inevitabile trasformazione sia organizzativa che culturale nella gestione dell'intero processo di realizzazione dell'opera e non unicamente nella fase progettuale.

La digitalizzazione e l'automatizzazione dei processi non dovrà essere limitata al solo progetto, ma coinvolgere anche le strutture di management, della committenza, delle imprese, normative, della parte produttiva e non da ultimo della sicurezza, al fine di ottenere effettivi vantaggi nell'arco del ciclo di vita e soprattutto nella fase di gestione del bene, modificando l'intero settore delle costruzioni.

L'aumento della complessità dei sistemi in generale si traduce in un aumento della complessità del compito di gestione dei responsabili e l'affermazione dell'ingegneria dei sistemi basata su modelli (MBSE) come nuovo paradigma dell'ingegneria dei sistemi si promuove a rendere possibile lo sviluppo di metodo di analisi automatizzati. Si deve tenere presente che l'innovazione e la digitalizzazione del settore delle costruzioni non coinvolgerà soltanto l'ingegneria edile, ma anche e soprattutto gli ambiti legati all'ingegneria gestionale, ambientale e informatica.

Sarà richiesta una maggiore collaborazione tra figure professionali diverse (anche tradizionalmente non comprese come gli ingegneri informatici), per una valorizzazione ottimale delle competenze individuali e di sistema, con un occhio rivolto al futuro ed uno rivolto all'esperienza, alla tradizione e alle buone prassi

### **3.5. CONTROLLARE UN SISTEMA COMPLESSO**

Il problema che l'ingegneria dei sistemi sta cercando di affrontare è come poter controllare un sistema complesso, ovvero un sistema costituito dall'insieme di elementi aventi origini diverse fra loro. Elementi che interagiscono, si influenzano vicendevolmente ed evolvono nel tempo, determinando il più delle volte relazioni di tipo non lineare.

Controllare un sistema complesso significa gestire la complessità del mondo reale, che per gli ingegneri di sistemi si concretizza nel tentativo destrutturarlo ai fini di implementarlo in un modello descrittivo, di analisi e simulativo dei suoi comportamenti. Quindi, attribuire alla complessità un linguaggio ingegneristico ed informatico, tenendo conto delle caratteristiche del sistema.

Infatti, per affrontare il problema della gestione di detti sistemi si deve considerare che le componenti del sistema non si possono scomporre e studiare singolarmente, perché

il comportamento di un sistema complesso non può essere compreso a partire dal comportamento del singolo elemento ed una piccola variazione in un sottosistema modifica il comportamento degli altri sottosistemi.

Per studiare il comportamento di un sistema complesso si deve seguire un approccio olistico e globale, secondo cui sistemi complessi sono oggetto della teoria della teoria del caos e sono di tipo non lineari. Quindi, il tutto è diverso dalla somma delle singole parti.

Un sistema complesso è sostanzialmente descrivibile attraverso tre macro - aree:

1. La struttura;
2. I comportamenti;
3. Le funzioni.

Tuttavia, non sempre è così facile dare una collocazione agli elementi del sistema in una delle tre aree.

La complessità di controllare un sistema complesso risiede per prima cosa nell'attribuire una definizione razionale ed ingegnerizzata agli oggetti del sistema, in special modo a quelli non misurabili o di tipo astratti. Successivamente, comprendere le interazioni fra gli oggetti stessi ed infine, codificare gli elementi ed i processi relazionali.

Quindi, controllare un sistema complesso implica razionalizzarne i processi ai fini dell'automazione degli stessi. Il processo di automazione è possibile solo dopo la procedura di conoscenza analitica e sistemica del sistema e la codifica dello stesso.

Con l'automazione sui vari software si concretizza la possibilità di gestione del sistema.



*Figura 8, Controllare un sistema complesso*

Rapportando quanto appena detto nel settore edilizio e civile, controllare una facility significa voler gestire un sistema fatto di:

1. Una struttura fisica. Questa è il risultato dell'assemblamento di un involucro edilizio e tutti gli elementi che la compongono, quali gli impianti che a sua volta sono fatti di sotto-parti ognuna delle quali ha parametri di misurazione differente;
2. Le persone, di cui non si può prevedere il reale comportamento e come queste interagiscono con la struttura (l'uso effettivo che ne fanno o modifiche in itinere non registrate).
3. Le funzioni, ovvero il core business per cui nasce la facility ed i relativi servizi.

Quindi, al Facility Manager è richiesto di operare dentro questo sistema fatto da tanti componenti differenti, fra cui la componente umana.

Il Facility Manager necessita di un modello di supporto che sia in grado di modellare la complessità della facility, tenendo conto di tutti gli oggetti di cui è composta. Altresì un metodo che gli consenta di capire ove risiede la causa del fallimento del sistema e che pertanto lo aiuti in un processo diagnostico, col fine di individuare i maggiori rischi, mitigarli e prevenirli.

La formulazione di suddetto metodo è quanto si propone di fare il seguente lavoro di tesi.

In special modo, si è trattata la materia di prevenzione agli incendi (la Fire Safety Engineering). In questo ambito, la volontà di controllo della facility e dell'emergenza incendio è finalizzata alla salvaguardia della vita umana e dei beni.

Se controllare un sistema implica razionalizzarlo, nel caso della gestione della sicurezza antincendio vuol dire conoscere non solo le cause e modalità di guasto dei vari elementi fisici che compongono la struttura, ma anche conoscere il corpo normativo che regola tale materia.

Come spiegheremo nel capitolo 5, il processo di: conoscenza analitica, razionalizzazione ed automazione è stato applicato al corpo normativo da cui nasce il sistema prevenzione incendi: il Codice di Prevenzione Incendi, C.P.I., in dettaglio si è analizzato il Sistema di Compartimentazione.

Il lavoro effettuato è stato quello di "mappare" la struttura normativa, tenendo conto di vincoli e limiti della stessa, esposti nel capitolo 4.

## 4. FIRE SAFETY EMERGENCY MANAGEMENT

Come da traduzione letterale, con Fire Safety Emergency Management si intende la Gestione delle Emergenze ai fini della Sicurezza al Fuoco. Per capire di cosa tratta la materia e cosa comprenda, in termini di applicabilità, possibilità ed orientamento, è necessario partire dal quadro normativo in vigore e qual è l'approccio alla gestione antincendio in Italia.

### 4.1. CODICE PREVENZIONE INCENDI E GESTIONE DELLE SICUREZZA ANTINCENDIO

#### *Premessa*

Il processo edilizio è definito dalla norma UNI 10838 come:

*“una sequenza organizzata di fasi operative che partono dal rilevamento di esigenze al loro soddisfacimento in termini di produzione edilizia” [16].*

Dunque, il processo edilizio è una sequenza operativa di fasi che cominciano con la definizione delle necessità del committente, fino alla realizzazione di un prodotto che soddisfi tali requisiti e prosegue con la gestione dell'opera per la durata del suo ciclo di vita. È di fondamentale importanza per il processo edilizio una buona capacità di programmazione e organizzazione delle diverse fasi di cui è composto, al fine di ottimizzare risorse, costi e tempi. Le fasi che compongono il processo edilizio sono:

- programmazione;
- progettazione;
- realizzazione;
- gestione;
- dismissione.



La seconda fase solitamente prevede la presenza di numerosi professionisti, tra cui architetti, ingegneri strutturali, ingegneri impiantistici, è proprio in questo quadro che si colloca il professionista antincendio o, eventualmente, il tecnico abilitato. Questi ultimi sono i soggetti responsabili della progettazione antincendio, coloro che devono attuare i provvedimenti di prevenzione e protezione in modo tale da ridurre la frequenza e l'entità dei danni in caso di incendio. La progettazione di un manufatto edilizio dovrebbe includere la totalità delle figure professionali fin dalle prime fasi in maniera integrata, ovvero la progettazione antincendio dovrebbe essere realizzata contestualmente a quella architettonica e portata avanti parallelamente.

Nel corso degli anni, l'attività di progettazione antincendio è diventata gradualmente il fulcro del processo edilizio. Infatti, la progettazione antincendio ne influenza il layout distributivo, dovendo rispettare i limiti normativi dei sistemi delle vie d'esodo, delle dimensioni dei compartimenti, etc.

Da quanto descritto emerge immediatamente l'importanza della progettazione antincendio all'interno del processo edilizio.

Da qui l'esigenza di formare un corpo normativo unico sul territorio nazionale che guidi i tecnici ed i progettisti nella fase di progettazione.

Le regole tecniche antincendio vigenti si basano su un complesso sistema di regole, norme, indirizzi, circolari che si è stratificato nel corso degli anni anche per allinearsi al continuo progresso tecnologico.

La maggior parte delle disposizioni normative emanate negli ultimi decenni ha una struttura prescrittiva che impone il rispetto integrale delle misure previste. Se da un lato la regola tecnica di tipo prescrittivo è d'immediata applicazione per la progettazione e apparentemente facilitante nella fase iniziale del processo edilizio, va detto, però, che essa non consente di individuare soluzioni diverse se non ricorrendo all'istituto della deroga. Pertanto, potrebbe risultare spesso restrittiva e limitante. Questo è ancor più vero se si trattano edifici già esistenti sui quali si intendono effettuare modifiche ed azioni di intervento negli anni.

Oggi, grazie al progresso della tecnologia e alla maggiore competenza antincendio dei progettisti, è stato possibile avviare un lavoro di revisione delle metodologie in uso nel paese per l'individuazione dei rischi di incendio e delle misure per prevenirli e limitarne le conseguenze, senza abbassare i livelli di sicurezza. Il risultato del processo

di revisione è una regola basata su un modello prestazionale, in cui la scelta di misure antincendio viene correlata ad un rischio effettivo e non ad uno standard convenzionale. Se la normativa relativa la sicurezza antincendio era dapprima principalmente il frutto delle esperienze derivanti dall'attività di soccorso dei Vigili del Fuoco, la nuova regola tecnica, invece, integra tale impostazione anche con il confronto con normative internazionali e con studi specifici di settore. Tale impostazione ha permesso l'emanazione del D.M 03/08/2015.

### ***Codice Prevenzione Incendi***

Il 18 novembre del 2015 entra in vigore il Testo Unico di Prevenzione Incendi, di cui al D.M. 3 agosto 2015, il cui scopo è quello di semplificare il corpo normativo relativo alla prevenzione incendi attraverso un unico testo organico e sistematico rivolto ad attività “soggette “ (soggette ai controlli di prevenzione incendi da parte dei VVF, definite nell’allegato I al DPR 151/2011<sup>[18]</sup>) e che promuove un nuovo approccio metodologico più aderente al progresso tecnologico e agli standard internazionali.

Questo porta il passaggio da un approccio prescrittivo ad un approccio prestazionale. L’obiettivo è quello di adattare le misure di protezione antincendio alle reali necessità, riducendo così anche i costi di interventi. La differenza fondamentale tra i due metodi descritti risiede nel fatto che il primo prevede il rispetto di requisiti minimi imposti dalla norma, mentre tramite il secondo si effettua una valutazione quantitativa ed ingegneristica e si assegnano soglie prestazionali prestabilite.

Il processo di semplificazione e ammodernamento ha condizionato in primis la struttura del Codice che codifica l’intera materia antincendio suddividendola in una Regola Tecnica Orizzontale (RTO) e in Regole Tecniche Verticali (RTV).

Le RTO sono le regole tecniche applicabili a tutte le attività sottoposte a controllo prevenzioni incendi di competenza dei VV.F., queste contengono il principio di generalità.

Le RTV sono applicabili ad attività specifiche e suggeriscono ulteriori indicazioni e restrizioni.

Il Decreto del Ministero dell'Interno del 12 aprile del 2019 contiene l'elenco aggiornato delle attività riportanti l'obbligatorietà di applicazione del Codice e quelle per cui rimane ancora la possibilità di scelta con le regole prescrittive.

Nella figura sottostante è schematizzata la situazione attuale di applicazione del nuovo metodo di progettazione proposto dal Codice.

<b>Attività soggette</b>	Senza RTV	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solo codice per progettazione di nuove attività</li> <li>• Per le attività esistenti Codice, qualora questo non sia compatibile allora è possibile applicare le regole tradizionali</li> </ul>
	Con RTV	In questo caso è prevista la scelta tra il Codice e le regole tradizionali, per qualunque tipologia di progettazione
<b>Attività non soggette</b>	Il Codice può essere usato come riferimento sia per attività di nuova progettazione sia per le attività esistenti	

*Figura 9, Applicazione delle soluzioni del C.P.I.*

L'insieme delle misure antincendio di prevenzione, di protezione e gestionali contenute nel Codice ha l'obiettivo di minimizzare il rischio incendio, entro i limiti considerati "accettabili". Questo si traduce in una progettazione della sicurezza, intesa come applicazione di principi ingegneristici basata sul giudizio esperto.

Il Testo Unico offre la possibilità di adottare diverse soluzioni per la progettazione antincendio.

Le possibilità sono le seguenti:

- soluzioni conformi, ovvero di immediata applicazione;
- soluzioni alternative;
- soluzioni in deroga.

Per ogni sezione di cui è composto il Codice, per ogni livello prestazionale vengono riportate le soluzioni conformi e l'eventuale possibilità di utilizzo di soluzioni alternative.

Il Codice è di fatto uno strumento progettuale “ibrido”: offre soluzioni prescrittive selezionate sulla base di livelli di prestazione che sono funzione della valutazione del rischio, lasciando spazio alla possibilità di ricorrere a soluzioni alternative, dimostrando il raggiungimento del livello di prestazione prestabilito.

Il Codice è suddiviso nei seguenti capitoli:

- sezione G - Generalità;
- sezione S - Strategia Antincendio;
- sezione V - Regole tecniche verticali;
- sezione M – Metodi.

La sezione G può essere applicata indistintamente a tutte le attività soggette; infatti, essa è quella più generica del Testo Unico, contiene i termini e le definizioni di necessaria conoscenza per la corretta applicazione delle misure di prevenzione, nonché le metodologie di progettazione della sicurezza antincendio. Nella sezione in questione è possibile trovare le indicazioni per la determinazione dei profili di rischio delle attività. Vengono definite tre diverse tipologie di rischio:

- Rvita, definito per il compartimento ed è relativo alla salvaguardia della vita umana. Determinato dalla combinazione delle caratteristiche prevalenti degli occupanti, in base al loro stato di veglia e di familiarità con l’ambiente, e alla velocità di crescita dell’incendio;
- Rbeni, definito per l’intera attività ed è relativo alla salvaguardia dei beni economici;
- Rambiente, definito per l’intera attività ed è relativo alla tutela dell’ambiente.

La sezione S è suddivisa in dieci capitoli, ognuno di questo è una misura antincendio e sono indicati i criteri per l’attribuzione dei livelli prestazionali e la scelta della soluzione progettuale. Infatti, la scelta dei livelli di prestazione e la determinazione della soluzione da adottare in un progetto costituiscono gli ultimi due step dell’iter di progettazione che ha inizio con la definizione del profilo di rischio.

Le 10 misure antincendio che compongono la sezione in argomento sono:

- S.1 reazione al fuoco;
- S.2 resistenza al fuoco;
- S.3 compartimentazione;
- S.4 esodo;
- S.5 G.S.A – gestione della sicurezza antincendio;
- S.6 controllo dell'incendio;
- S.7 rivelazione ed allarme;
- S.8 controllo di fumi e calore;
- S.9 operatività antincendio;
- S.10 sicurezza impianti.

La sezione V contiene le regole tecniche verticali, quindi tutte le indicazioni dedicate ad attività specifiche ed è costituita da 8 capitoli contenenti i seguenti argomenti:

- V.1 aree a rischio specifico;
- V.2 aree a rischio per atmosfere esplosive;
- V.3 vani degli ascensori;
- V.4 uffici;
- V.5 attività ricettive turistico-alberghiere;
- V.6 autorimesse;
- V.7 attività scolastiche;
- V.8 attività commerciali.

Queste prime tre sezioni riportano le soluzioni progettuali conformi che possono essere applicate durante la progettazione.

In sintesi, la strategia antincendio è una metodologia di prevenzione del rischio incendio basata su tre fasi fondamentali: l'attribuzione dei livelli di rischio, l'attribuzione dei livelli di prestazione e l'individuazione delle misure antincendio, così come riassunta nel seguente schema [2].



Figura 10, La progettazione antincendio secondo il Codice, fonte INAIL

L'ultima sezione del Codice, sezione M, contiene invece le pagine che descrivono le soluzioni alternative, ovvero una metodologia progettuale innovativa. Tale metodologia è definita: Fire Safety Engineering, FSE.

I tre capitoli della sezione M: metodologia, scenari di incendio e salvaguardia della vita, definiscono i concetti fondamentali di un approccio che permette di analizzare da un punto di vista scientifico il fenomeno dell'incendio, tenendo in considerazione anche il comportamento umano.

Il metodo descrive metodologie di progettazione antincendio volte alla risoluzione di problematiche specifiche, per poter giungere alla scelta progettuale che meglio risponde alle esigenze; si fa uso di modelli e codici di calcolo, i cui risultati quantitativi consentono di analizzare gli effetti provocati da un incendio su strutture, occupanti e ambiente.

Negli ultimi anni l'approccio ingegneristico che consente di effettuare una valutazione quantitativa specifica e prestazionale, si sta affermando sempre di più in quanto introduce una serie di benefici per la progettazione antincendio.

Uno di questi benefici è la flessibilità, quindi la possibilità di individuare più soluzioni per un solo problema. Le nuove regole tecniche sono state studiate anche per essere applicate al vasto patrimonio storico e alle attività esistenti, comprese quelle pregevoli per arte o storia, prevedendo, per esse, un percorso di adeguamento sostenibile, che consenta la possibilità di effettuare necessari lavori di adeguamento delle strutture esistenti.

## ***Gestione della Sicurezza Antincendio***

Come si è visto, lo scopo ultimo del normatore è quello di adottare tutte quelle misure costruttive tali da garantire la sicurezza all'emergenza fuoco. Pertanto, tutte le misure previste dal progetto antincendio richiedono una corretta gestione.

La definizione che proprio il C.P.I. dà alla Gestione della Sicurezza, (GSA), all'interno della sezione G (G.1.10) è:

*“misura finalizzata alla gestione di un'attività in condizioni di sicurezza, sia in fase di esercizio che in fase di emergenza, attraverso l'adozione di una organizzazione che prevede ruoli, compiti, responsabilità e procedure.” [1]*

La gestione della sicurezza antincendio (GSA) si applica sia in fase preventiva che di emergenza e rappresenta:

- a) una misura antincendio organizzativa e gestionale per garantire, nel tempo, un adeguato livello di sicurezza dell'attività in caso di incendio;
- b) un processo che si sviluppa per tutta la durata della vita dell'attività,

La prevenzione incendi si pone come fini: il contenimento del rischio di incendio, (inteso come riduzione della probabilità che si verifichi l'evento incendio) ed avere le conseguenze minime in caso di emergenza, questa seconda finalità è materia della gestione. L'adozione di adeguate misure di prevenzione e protezione deve, appunto, essere opportunamente integrata dall'impiego di idonee misure gestionali, sia in condizioni ordinarie sia in emergenza.

Alla G.S.A. è dedicata una sezione del Codice, Sezione S5, all'interno della quale si espone la metodologia per la progettazione della gestione della sicurezza.

La gestione della sicurezza si basa sulle seguenti attività:

- il permanente monitoraggio dei rischi di incendio e l'adozione delle azioni preventive tese ad eliminare o ridurre i medesimi;
- il permanente monitoraggio dell'efficienza delle misure di sicurezza antincendio, con particolare attenzione alla fruibilità delle vie di fuga;
- lo studio dell'eventuale evoluzione della tipologia di occupanti presenti nell'attività in relazione ai rischi presenti;

- l'elaborazione, l'aggiornamento continuo del piano di emergenza con particolare attenzione alla pianificazione dell'esodo;
- la formazione e l'addestramento del personale;
- la gestione dell'emergenza fino all'arrivo dei soccorritori.

-

La gestione della sicurezza parte, quindi, innanzitutto da una attenta progettazione dei piani di sicurezza e prosegue attraverso attività di monitoraggio ed infine comprendono le operazioni di manutenzioni e controllo. La preparazione all'emergenza si sostanzia nella formulazione di planimetrie e documenti che riportino le indicazioni e le informazioni necessarie per la gestione dell'emergenza, incluse le istruzioni o le procedure per l'esodo degli occupanti, ivi compresi quelli con specifiche necessità. Il codice prescrive l'esposizione, in prossimità degli accessi a ciascun piano, delle planimetrie con il sistema d'esodo e i presidi antincendio e delle istruzioni sul comportamento da parte degli occupanti in caso di emergenza [4].

Al paragrafo S.5.7. la norma tratta della gestione della sicurezza antincendio in "Esercizio", mentre al paragrafo S.5.8. tratta della gestione della sicurezza in "Emergenza".

La GSA in esercizio prevede: la riduzione della probabilità di insorgenza incendio, adottando le misure preventive; il controllo e la manutenzione degli impianti e delle attrezzature e la preparazione alla gestione dell'emergenza, tramite la pianificazione delle azioni da eseguire ed esercitazioni preparatorie periodiche.

I documenti tipici di questa fase sono: registro dei controlli, piani di manutenzione delle apparecchiature e piano di mantenimento del livello di sicurezze antincendio.

Il codice indica anche di predisporre di un Centro di Gestione delle Emergenze (possibile per la soluzione conforme con livello di prestazione II e prescritto per il livello di prestazione III).

Il centro di gestione delle emergenze è finalizzato al coordinamento delle operazioni in caso di emergenza ed è calibrato, dimensionato e commisurato in considerazione della complessità dell'attività. Il centro di gestione delle emergenze deve disporre delle informazioni necessarie alla gestione dell'emergenza nonché di una serie di strumenti ed impianti utili per comunicare con soccorritori, personale ed occupanti e per gestire i presidi di protezione attiva.



L'unità gestionale GSA, invece prevista per il livello III di prestazioni, ha il compito, in esercizio, di predisporre, monitorare ed aggiornare la documentazione della GSA; in emergenza; il coordinatore dell'unità gestionale GSA può anche decidere di sospendere le attività, fino al ripristino delle condizioni di sicurezza.

La gestione della sicurezza in emergenza, trattata al capitolo S.5.8, prevede l'attuazione delle misure concepite nella progettazione della gestione della sicurezza dell'attività in esercizio.

Nel caso di attività lavorative, si tratta di attivare e implementare il piano di emergenza; nel caso di attività non lavorative, si concretizza con l'attivazione dei soccorritori, con l'esodo degli occupanti e con la messa in sicurezza di apparecchiature ed impianti.

L'immagine sottostante schematizza le attività di un GSA e il rapporto tra GSA in esercizio e GSA in emergenza:



Figura 11, Rapporto fra GSA in esercizio e GSA in emergenza, fonte INAIL

Prendendo ancora a riferimento le considerazioni proposte nel documento Inail, questo si sofferma sulla revisione del 2019 del Codice, revisione che ha dato enfasi all'approccio 'olistico' per la progettazione della sicurezza antincendi di una attività. Come già sopra esposto, la GSA rappresenta una delle 10 misure di prevenzione incendi. Dunque l'approccio metodologico proposto dal Codice prevede che la Gestione della Sicurezza antincendio concorra parimenti con le altre misure al raggiungimento

di un livello di rischio accettabile. Sarà cura del professionista indicare le caratteristiche fondamentali della misura GSA dell'attività per la quale si sta sviluppando il progetto di sicurezza antincendio.

Alla luce di tutto ciò, è evidente che è in corso un processo di evoluzione normativo a carattere ingegneristico-gestionale che ha introdotto in Italia per la prima volta il cosiddetto “approccio ingegneristico prestazionale”. Con questo approccio, il legislatore delinea aspetti completamente nuovi rispetto al vecchio metodo di tipo prescrittivo, promuovendo il principio prestazionale per determinare gli aspetti procedurali, i criteri di valutazione del rischio e la progettazione delle conseguenti misure di sicurezza attive-passive-gestionali, atte a compensare il rischio valutato, mantenendone la costanza e l'efficacia-efficienza nel tempo.

Il nuovo metodo organizzativo-gestionale, finalizzato alla valorizzazione sistemica degli aspetti relativi alla sicurezza, responsabilizza il progettista tanto quanto il facility manager.

## **4.2. FIRE SAFETY ENGINEERING**

Dopo aver compreso l'approccio alla pianificazione e gestione antincendio del C.P.I., definiamo cosa si intende per Fire Safety Engineering.

La Fire Safety Engineering si sta progressivamente affermando in Italia, anche grazie, appunto, ai recenti sviluppi normativi ed alla commercializzazione di software ad essa dedicati, sempre più potenti e affidabili.

Si tratta di una branca della progettazione ingegneristica, applicata alle tematiche della sicurezza antincendio, che sia chiamata Ingegneria Antincendio o Metodo Prestazionale oppure Approccio Ingegneristico, comunque si tratta della Fire Safety Engineering.

Alla pari delle strutture e dei sistemi impiantistici, anche il fenomeno dell'incendio può essere analizzato in termini scientifici e non più esclusivamente di conformità normativa.

Sicuramente la pubblicazione del D.M. 3 agosto 2015, ovvero il Codice di Prevenzione incendi, e delle successive Regole Tecniche Verticali a sua integrazione, hanno notevolmente ampliato il ventaglio delle applicazioni possibili della F.S.E. Infatti, tale metodo può venir applicato per:

- Dimostrare l'efficacia delle strategie antincendio in deroga alle soluzioni prescrittive;
- Analizzare il livello di sicurezza equivalente delle soluzioni alternative;
- Quantificare le prestazioni delle misure corrispondenti alle soluzioni conformi (prescrittive) del Codice.

La F.S.E. è uno strumento potente ma richiede un alto livello di competenza sia al progettista che ai funzionari VVF, tempi di elaborazione più lunghi, uso di software costosi, integrazione tra diverse discipline specialistiche e coordinamento del team di progettazione.

La Fire Safety Engineering (FSE), definita dalla *"ISO 23932: Ingegneria della sicurezza contro l'incendio - Principi generali"*, è una disciplina basata su principi ingegneristici, regole e giudizi esperti per la valutazione del fenomeno della combustione e degli effetti dell'incendio e del comportamento umano, allo scopo di individuare le più adeguate soglie di prestazione per raggiungere gli obiettivi di sicurezza imposti.

La progettazione prestazionale definita nella FSE raccoglie aspetti quali:

- Salvaguardia della vita;
- Protezione dei beni;
- Continuità operativa e funzionale dell'opera;
- Protezione dell'ambiente;
- Salvaguardia del patrimonio culturale.

La valutazione ingegneristica della FSE, mediante la descrizione di scenari di incendio credibili, permette di fissare soglie di prestazione diverse sulla base degli obiettivi di sicurezza che si vogliono raggiungere.

La “ISO/TS 16733” propone un diagramma di flusso relativo alla procedura descritta nella “ISO 23932”, per richiamare sinteticamente le fasi del processo decisionale e progettuale, al fine di raggiungere gli scopi di progetto in accordo agli obiettivi di sicurezza imposti.

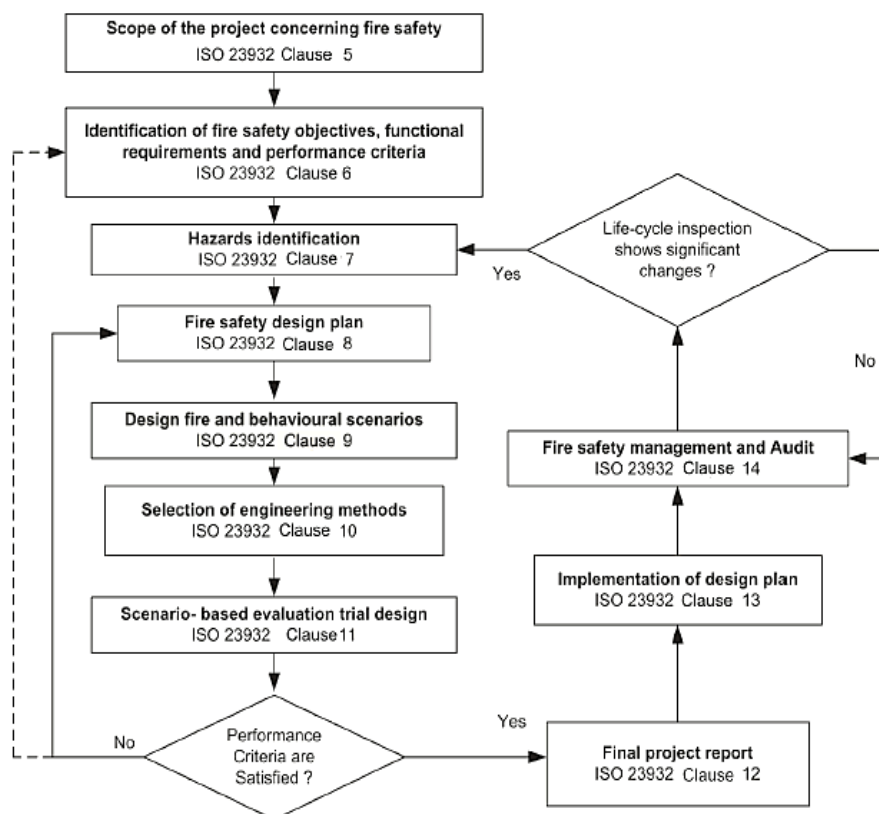


Figura 12, Diagramma di flusso "Project Scope"

La prima fase è l'individuazione dello scopo di progetto, in cui si definiscono le esigenze che hanno portato alla volontà di realizzare una nuova opera o alla variazione dello stato dell'arte per una costruzione esistente. Successivamente, si individuano quali obiettivi sono gli obiettivi preminenti per la sicurezza antincendio per la committenza (ad esempio la continuità funzionale in seguito ad un evento, obiettivo previsto per opere strategiche quali ospedali, costruzioni logistico-militari, oppure la salvaguardia dei beni in esso contenuti). Le fasi che seguono sono: l'individuazione di tutti i possibili pericoli di innesco incendio, la definizione di tutti i possibili scenari di incendio, proposte di soluzioni progettuali, l'analisi delle soluzioni proposte e la scelta della soluzione più idonea [17].

Il metodo illustrato nella “ISO/TS 16733” è stato adottato all’interno del capitolo M dello stesso Codice di Prevenzione Incendi.

Come accennato sopra, il capitolo M del Codice di Prevenzione Incendi descrive la “Progettazione Prestazionale” come nuovo approccio nella valutazione di soluzioni alternative o in deroga all’applicazione della progettazione prescrittiva.

La valutazione ingegneristica che il progettista è chiamato a fare parte dalla valutazione della dinamica evolutiva dell’incendio, cioè dalla valutazione scientifica del fenomeno di combustione, rappresentata dalla curva RHR.

Si possono individuare due aree di sicurezza: “Life Safety” e “Structural Safety” dove la condizione di *flashover* evidenzia la transizione fra le due sezioni. Un incendio si caratterizza dalle seguenti fasi: l’innescio, la successiva propagazione (con velocità variabile in funzione alle condizioni della costruzione e dei materiali), l’incendio generalizzato e in ultimo la fase di decadimento. Il passaggio tra la propagazione e l’incendio generalizzato definisce la soglia di *flashover*.

Il problema pre-*flashover* è legato con la Life Safety, dove la priorità è la salvaguardia della vita umana. Il focus è sul contenimento della propagazione di fumi e calore nella costruzione, la tipologia di combustibile, la geometria della costruzione e tutti i fattori determinanti per l’evoluzione dell’incendio.

Il problema del post-*flashover* è legato alla Structural Safety volto a ridurre e contenere i danni ai beni materiali (struttura, edificio, merci immagazzinate, macchinari, etc.) alla salvaguardia dell’operatività e alla salvaguardia dell’ambiente [6].

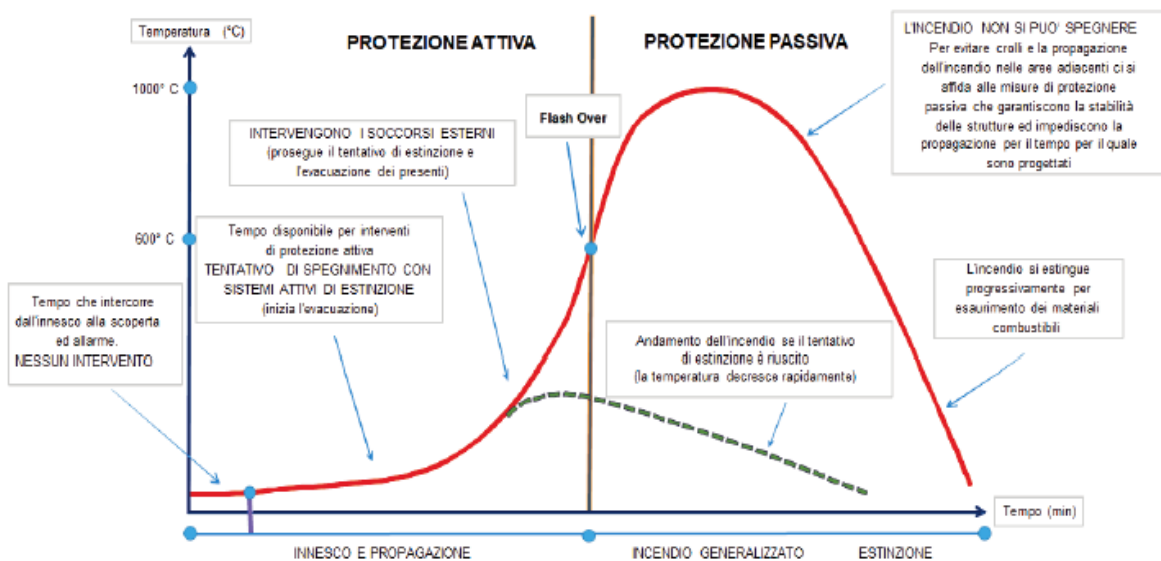


Figura 13, Andamento dell'incendio, fonte INAIL

Comprendere la dinamica evolutiva di un incendio è alla base della FSE per individuare le soluzioni progettuali efficaci e specifiche.

La Progettazione Prestazionale si articola secondo due fasi: l'analisi preliminare e quella quantitativa.

Nella prima si individuano le condizioni rappresentative del rischio a cui è esposta l'attività (valutazione fatta secondo le caratteristiche costruttive e geometriche), si identificano gli obiettivi di sicurezza (soglie di prestazione) da perseguire.

Nell'analisi quantitativa si costruiscono modelli per l'analisi quantitativa degli effetti dell'incendio in relazione agli obiettivi prefissati ed i risultati delle analisi vengono messi a confronto con le soglie di prestazione.

Il progettista traduce gli obiettivi di sicurezza in soglie di prestazione quantitative, stabilendo i due parametri ASET e RESET, ovvero parametri temporali che ruotano attorno al concetto di tempo di esodo dalla struttura.

ASET è il tempo disponibile agli occupanti per l'esodo.

RESET è il tempo richiesto per l'esodo.

La differenza fra i due parametri è un intervallo di tempo che rappresenta il margine di sicurezza della progettazione prestazionale. Ai fini della verifica, ASET deve essere maggiore di RESET.

Nel confronto fra le varie soluzioni progettuali, il progettista sceglie quella con un margine di sicurezza maggiore.

Nella progettazione prestazione, affinché il progetto possa superare la fase di approvazione da parte degli organi competenti (Corpo dei VVF), i modelli di calcolo usati devono essere avanzati e sofisticati. Questi possono essere analitici o numerici. I modelli analitici permettono stime accurate nella valutazione della dinamica evolutiva di un incendio.

I modelli numerici sono molteplici e si basano su principi differenti. I più usati sono:

- il modello a zone (modelli che individuano nel compartimento di primo innesco zone separate all'interno delle quali i parametri relativi a temperatura, densità, pressione ed energia interna del gas si possono considerare omogenei);
- i modelli di campo (questi forniscono la stima dell'evoluzione dell'incendio in un unico volume, risolvendo per via numerica le equazioni fondamentali del flusso dei fluidi risultante da un incendio);
- i modelli per la simulazione dell'esodo basati sulle teorie di fluidodinamica o viceversa che tengono conto degli aspetti comportamentali degli occupanti.

Le strategie antincendio e di gestione integrata della sicurezza, in una visione evoluta ed al passo con i tempi, non possono prescindere dall'utilizzo di "strumenti di governo" innovativi che riescano, anche virtualmente, a rendere fruibile sia la conoscenza dello spazio sia gli attributi, nonché gli scenari incidentali pre-analizzati.

### **4.3. VINCOLI E LIMITI DEI RIFERIMENTI NORMATIVI**

#### **Controllare un Sistema Complesso disciplinato dalla normativa**

Come spiegato nel paragrafo 3.5, controllare un sistema richiede razionalizzarlo.

Il riferimento normativo sottoposto al processo è il Codice Prevenzioni Incendi, nello specifico il capitolo S.3 "Compartimentazione".

La procedura di codifica del suddetto corpo normativo ha dovuto tenere conto di ostacoli, limiti e vincoli.

In generale il problema è stato: come raccontare cosa?

Infatti, automatizzare un sistema di protezione passiva significa avere a che fare con oggetti di cui la funzione non è sempre esplicitamente definita oppure non sono

univocamente definibili le loro possibilità funzionali, che piuttosto dipendono dalle scelte progettuali della Fire Safety Engineering.

Inoltre, i numerosi commi e note potrebbero lasciare spazio ad interpretazioni e per i quali spesso non c'è netta distinzione fra i ruoli degli oggetti.

Quel che si è voluto fare è stato definire un metodo che il Facility Manager può rendere adattabile alle specifiche scelte progettuali, a seconda della logica di progettazione (quindi a promozione dell'approccio ingegneristico alla materia antincendio).

La prima difficoltà è stata di tipo concettuale, ovvero convertire le prescrizioni della norma in oggetti e riscriverle tutte secondo uno stesso linguaggio, indipendentemente dalla loro natura. Infatti, la norma non è stata pensata per essere mappata, questo fa sì che ad entità spaziali (quali ad esempio "spazio scoperto") si debbano associare concetti più astratti (come quello di attività).

Altra difficoltà è stata capire, fra tutte le definizioni date dalla norma, quali fossero oggetti, quali funzioni, quali requisiti, quali attributi; ovvero poterle classificare al fine di allocarle correttamente nel software di modellazione (e in diagrammi specifici) e creare poi relazioni fra queste.

Questo è stato un vero e proprio passo di decifrazione.

Infatti, se la norma affronta la compartimentazione come la stesura di un elenco di voci in cui si susseguono senza ordine logico definizioni, caratteristiche e concetti; l'ingegnere è tenuto a riordinare tale elenco secondo una struttura organizzata e che abbia una logica di propedeuticità ed anche gerarchica.

La strutturazione sistemica delle voci del C.P.I. vuol dire capire come queste vadano codificate, ovvero classificate.

Si riporta un esempio: la norma impone che ci sia "continuità" fra i compartimenti, dove per continuità si intende che elementi come giunzioni, canalizzazioni etc... formino una barriera continua contro la propagazione dell'incendio; quindi, di fatto la norma intende "che ad essere continuo sia il sistema di barriera".

Pertanto, se "continuità" per la norma è un paragrafo tanto quanto lo è "compartimento", a seguito dell'analisi e della conversione fatta è stato codificato come attributo di altri elementi.



Lo step successivo, anche questo non così intuibile ed immediato, è stato dover introdurre i vincoli normativi.

I vincoli sono stati introdotti nel modello convertendoli in requisiti che un elemento deve avere al fine di essere idoneo a livello normativo e garantire la prestazione di capacità di compartimentazione richiesta.

Tutti gli oggetti, indipendentemente che siano caratteristiche di sistema, comportamenti o funzioni ed indipendentemente dalla loro natura, devono poter essere descritti e trattati allo stesso modo. Similmente, tutti i vincoli vanno rappresentati uniformemente.

Quindi, si apre qui un ulteriore problema: quello del linguaggio di rappresentazione. Infatti, gli oggetti che appaiono nello stesso modello devono avere tutti lo stesso linguaggio.

Dunque, controllare un sistema complesso significa gestirlo.

Gestirlo equivale a dire modellarlo; pertanto, le modellazioni sono il nostro tentativo di controllo.

Il controllo di un sistema complessa dunque richiede:

- a. Astrazione: astrarre la natura e le caratteristiche di un oggetto (individuare e classificare gli elementi);
- b. Incapsulamento: nascondere i dettagli del funzionamento, descrittivi o caratteristici di un oggetto (creare una gerarchia degli elementi e sotto-elementi);
- c. Ereditarietà: gli oggetti possono specializzare altri elementi del sistema, ereditando da essi e implementando solo la porzione di comportamento per cui differisce;
- d. Polimorfismo: invocare un comportamento diverso in reazione allo stesso a seconda di quale oggetto lo riceve.

*Non si controlla ciò che non si misura (Tom de Marco).*

*Non si controlla ciò che non si pianifica (Achibald) [10].*

## **5. TECNICHE DI MODELLAZIONE PER IL FIRE SAFETY EMERGENCY MANAGEMENT**

Negli ultimi dieci anni il mondo della prevenzione incendi ha subito un importante rinnovamento normativo, che ha portato al passaggio da un approccio prescrittivo ad un approccio prestazionale. Altresì è stata ridefinita anche la figura stessa che si occupa del progetto antincendio. Se prima l'incarico poteva essere affidato a qualsiasi tipo di tecnico, oggi esistono due soggetti con competenze diverse:

- tecnico abilitato, iscritto regolarmente al proprio albo professionale, che si occupa soltanto di attestare la conformità dei tradizionali requisiti prescritti dalla norma di prevenzioni incendi;
- professionista antincendio, ovvero colui che è iscritto regolarmente al proprio albo professionale ed è abilitato a praticare operazioni valutative e di analisi proprie della Fire Safety Engineering.

Affianco al progresso normativo, anche nel metodo di progettazione si è potuto assistere ad un importante sviluppo. Chiaramente la maggior parte dei professionisti si approccia alla progettazione antincendio tramite lo strumento, ad oggi maggiormente diffuso, ovvero il CAD. Quest'ultimo ha semplicemente riportato nel mondo digitale le rappresentazioni e i disegni tecnici realizzati su carta. Esso si focalizza sulla rappresentazione di elementi geometrici, ma che non contengono nessun tipo di informazione. Per differenziare le varie discipline che vengono trattate all'interno di un progetto da diversi professionisti, viene utilizzato il concetto di layer, quindi un'organizzazione su strati, senza avere una visione di progettazione e gestionale integrata che racchiuda tutte le attività proprie del Facility Management.

Il Fire Safety Engineering Management crea una rottura rispetto alle rappresentazioni del passato. FSEM rende possibile lo sviluppo di una progettazione ad un altro livello: creare dei modelli che siano in grado di codificare tutti gli aspetti della progettazione antincendio (regole di progettazione, di dimensionamento, di gestione e manutenzione), aggiungendo intelligenza agli oggetti contenuti in essi.

Trattare la materia della sicurezza agli incendi attraverso le tecniche di modellazione dell'ingegneria dei sistemi consente di ottenere modelli che sono veri centri di informazioni e non più una semplice rappresentazione grafica.

Questi modelli costituiscono un'unica base di dati capaci di contenere informazioni prestazionali, progettuali, costruttive, gestionali e quindi diventano il riferimento per Facility Manager, progettisti e responsabili della sicurezza.

Inoltre, tali modelli permettono la gestione dinamica degli stessi: l'informazione raccolta e codificata viene organizzata e classificata in un sistema che la rende accessibile e manipolabile quando necessaria, col vantaggio di poter essere aggiornata.

Il metodo qui proposto ha, dunque, l'obiettivo di realizzare l'implementazione su modelli MBSE della normativa antincendio al fine di rendere possibile l'automazione dei processi di gestione e controllo delle facilities e che, quindi, permette di garantire il raggiungimento dei livelli di prestazioni da queste attesi.

In generale, l'obiettivo della ricerca è sviluppare un modello completo che permetta una conoscenza sistemica delle facilities e che sia un insieme integrato di tutte le sue informazioni per guidare il Facility Manager nelle operazioni di gestione e controllo delle prestazioni, un FOM (Facility Operating Model).

## **5.1. LINGUAGGI E TECNICHE**

Il metodo di modellazione, attraverso il quale è stato possibile razionalizzare la norma di prevenzione agli incendi, si basa su tre steps:

1. tecniche di rappresentazione FBS;
2. modelli MBSE, attraverso i quali è stato possibile compiere il processo di codifica del C.P.I. (servendoci dei linguaggi di rappresentazione SysML);
3. tabelle FMEA, con cui si sono effettuate analisi dei guasti del sistema.

La modellazione parte dal generale per arrivare al particolare, dove in genere risiede la causa del rischio.

Le tecniche di modellazioni qui proposte includono:

- i punti di vista degli stakeholders (normatore, responsabile di progetto, Facility Manager, addetti alla gestione);
- supportano la gestione del sistema progettazione, del sistema di controllo qualità, delle strategie di verifica durante la fase di esercizio della facility.

Il modello è un'approssimazione non banale né semplificativa della realtà di una facility e ne descrive gli aspetti selezionati: la struttura, il comportamento, le operazioni e le caratteristiche del sistema.

Le modellazioni elaborate descrivono compiutamente il dominio di interesse (il compartimento antincendio) senza ambiguità ed offrono viste differenti per servire i diversi scopi delle parti interessate, mettendo in risalto ognuna le specifiche di quell'ambito.

La modellazione deve avere due caratteristiche:

1. Deve essere di “ampia portata”: ovvero astratta, generale, ma comprensiva di tutti gli elementi caratteristici del ciclo di vita di quel sistema. Quindi deve essere individuato un dominio specifico che comprenda tutti le componenti del sistema.
2. Deve restituire dei risultati che consentano un miglioramento in termini qualitativi, produttivi e gestionali e riduca i rischi di accadimenti di eventi disastrosi.

I linguaggi usati nelle varie modellazioni del sistema complesso devono essere specifici e al contempo in grado di descrivere compiutamente ogni vista rappresentata. Altresì questi devono poter essere estesi e adatti per la descrizione e caratterizzazione unanime di ognuno degli oggetti appartenenti al sistema indipendente dalla sua natura. Questi linguaggi devono essere:

- semi-formali perché descritti in linguaggio naturale e con l'uso di diagrammi, cercando di ridurre al minimo le ambiguità
- hanno regole sintattiche (come produrre modelli legali) e regole semantiche (come produrre modelli con un significato)

- Sono tutti linguaggi Object Oriented (OO): un paradigma che sposta l'enfasi della semplice programmazione all'integrazione e allo scambio di informazioni fra le entità su cui esso opera, gli oggetti.

### **5.1.1. FUNCTIONAL BREAKDOWN STRUCTURE (FBS)**

La traduzione di Functional Breakdown Structure (FBS) è “scomposizione funzionale della struttura”. Il fine per cui creare una FBS è, appunto, ottenere una scomposizione strutturata di ogni funzione indirizzata a svolgere una generica missione.

L'intento è “di dividere ogni difficoltà, in tante piccole parti, quanto sia possibile e necessario, per meglio risolverle”.

Scomporre un processo o un progetto nelle sue componenti, secondo una rappresentazione grafica, è un metodo consolidato nell'ambito del Project Management, per la gestione dei grandi progetti.

Esistono vari modi di scomporre un processo, le FBS sono rappresentazioni orientate alla funzione e, quindi, dettaglia le operazioni o le attività che dovrebbero essere eseguite per svolgere una missione.

Queste consentono la strutturazione analitica di un processo che si realizza mediante un grafico ad albero costituito da blocchi e frecce. Un diagramma a blocchi funzionale è un diagramma che rappresenta le entità funzionali del sistema.

Le FBS rappresentano il passo iniziale del processo di scomposizione del sistema complesso “facility”. Queste permettono di creare un primo livello di conoscenza, utile ad individuare tutte le parti del sistema.

Questo approccio fornisce la completa visione di tecnologie, elementi inerenti alla struttura ed attori che realizzano e garantiscono la missione pianificata: la sicurezza antincendio.

Pertanto, le FBS elaborate in questa ricerca trattano le questioni di carattere architettonico, gestionali, di manutenzione e comportamentali, ad ognuna delle quali è allocata una specifica funzione all'interno del processo o che ne influenza in modo sostanziale la risposta complessiva.

In primo luogo, è stato mappato uno schema generale di sistema atto ad individuare l'area perimetrale del dominio entro cui si svilupperanno le successive modellazioni: l'Emergency Management.

Lo schema, propedeutico alle FBS, si compone degli elementi funzionali alla gestione incendi; quindi, l'ottica è tipicamente quella del Facility Manager.

Lo schema è un diagramma a blocchi, ognuno di esso rappresenta un sotto-sistema sul quale saranno costruite specifiche FBS. Ogni blocco ha una missione nel dominio di riferimento (EM).



I blocchi in rosso sono gli elementi direttamente connessi alla prevenzione e gestione incendio e che influenzano il sistema da un punto di vista funzionale e prestazionale.

I blocchi in verde riguardano le entità che hanno influenza sul sistema a livello comportamentale, quelli in fucsia la struttura.

I blocchi sono messi in relazioni da frecce di “Correlazione fra elementi” che contengono le informazioni che questi si scambiano, cioè dicono come questi interagiscono, in input e output.

È il primo e più generale livello influenza fra gli elementi della facility.

*“Il sistema di allarme informa gli utenti della facility dell’innescò incendio”.*

*“La squadra di soccorso aiuta gli utenti ad evacuare.” / “Gli utenti collaborano con la squadra di soccorso”.*

Il grafico è stato pensato ponendo la facility in una condizione gravosa e problematica, la relazione impianti-utenti è giustificata così:

*“Gli utenti hanno apportato delle variazioni alla dislocazione/struttura degli impianti (in fase di esercizio) non coerenti con il progetto iniziale.” / “Gli impianti rappresentano una barriera per gli utenti in caso di evacuazione di emergenza.”*

Il blocco “Manutenzione” ha un colore a sé ed ha solo frecce in ingresso che sono “frecce di esistenza”.

*“La manutenzione esiste perché esiste/è stato messo un impianto di allarme”.*

Le informazioni scambiate lungo le frecce hanno lo scopo di mettere in risalto gli aspetti su cui il Facility Manager intenderà concentrare l’attenzione nelle valutazioni successive (orientato già alle FMEA), pertanto sono arbitrarie ed adattive.



Il metodo di confronto utilizzato in questo approccio si ritiene necessario e non banale, poiché mette in risalto eventuali elementi mancanti ed è un primo step per creare relazioni fra le parti costituenti il sistema complesso.

Seguiranno le FBS prodotte per ogni blocco.

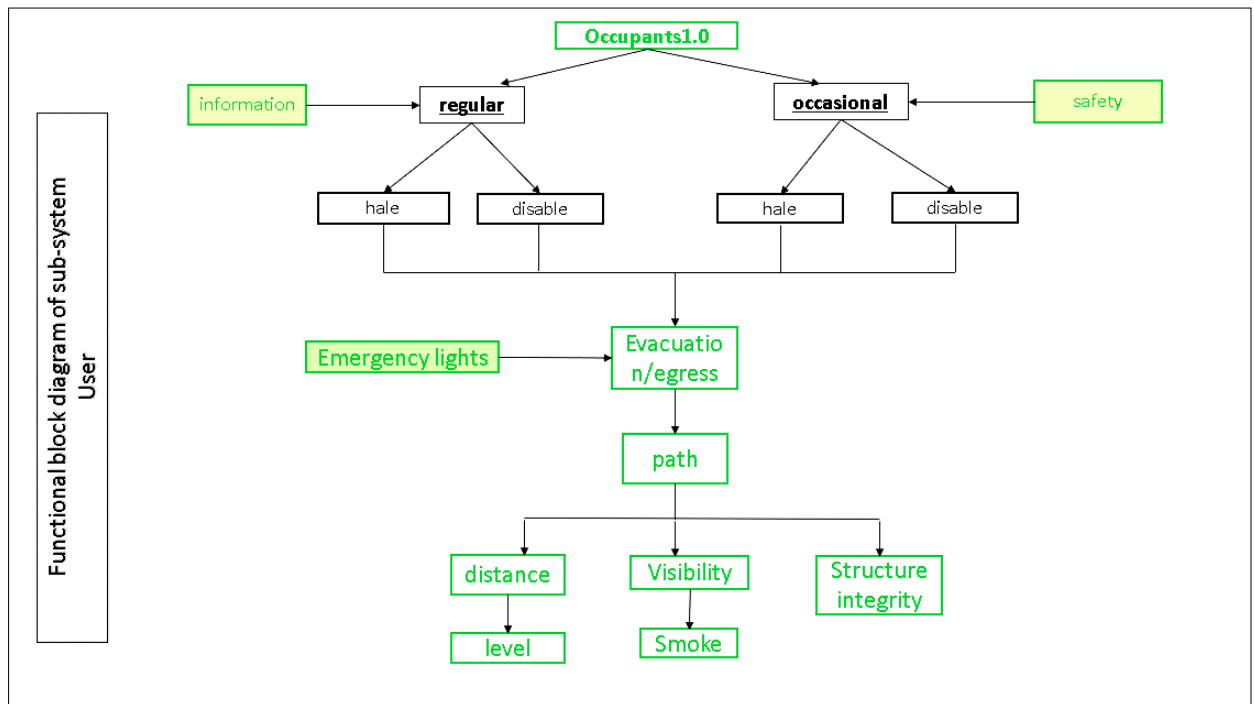


Figura 15, FBS "User"

Gli utenti sono di due tipologie:

- i *regular* sono coloro che solitamente sono stanziati nella facility (ad es. il personale e i lavoratori) e per i quali si presuppone ci sia informazione e formazione circa i piani di risposta alle emergenze;
- gli *occasional* sono coloro che ne usufruiscono occasionalmente e che in caso di emergenza fanno affidamento alle squadre di soccorso.

Ambedue le classi possono essere costituite da soggetti normodotati o con disabilità, che si ritiene essere un aspetto rilevante in caso di evacuazione.

Indistintamente, i percorsi di esodo sono segnalati dalle luci di emergenza. L'esito dell'evacuazione è, però, influenzato dal piano e dalla lunghezza dei percorsi, dalla visibilità compromessa e da crolli strutturali.

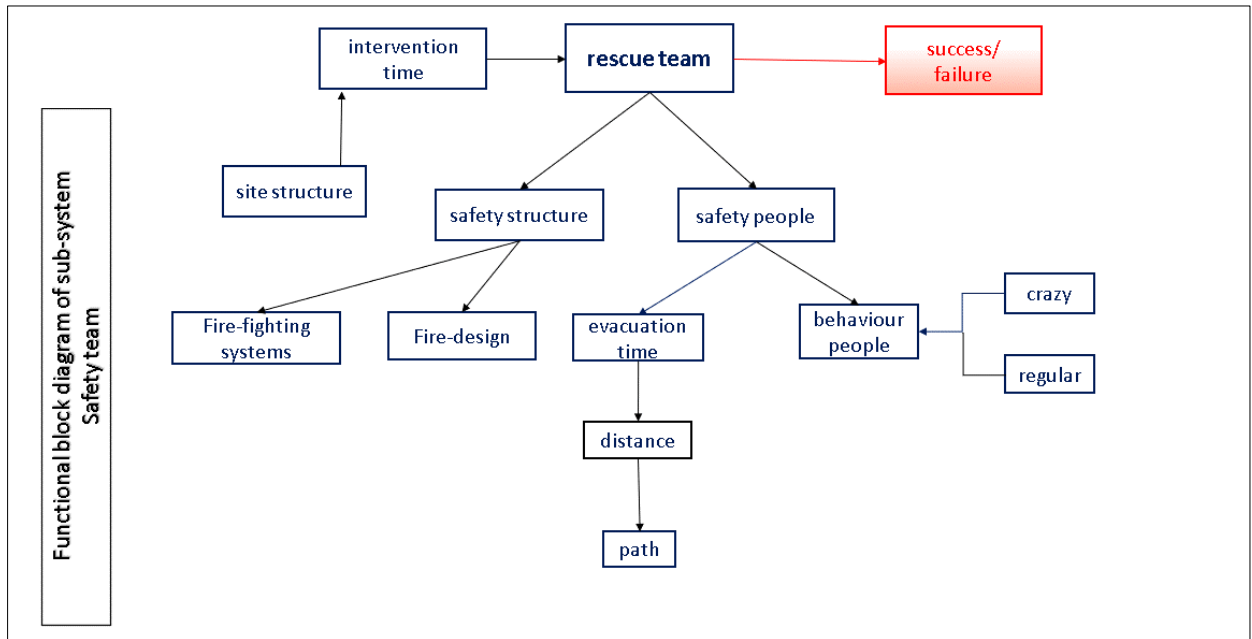


Figura 16, FBS "Safety System"

La *rescue team* ha lo scopo di mettere in salvezza gli utenti e di spegnere l'incendio. Nel primo caso ha un'influenza significativa il comportamento umano (collaborativo o meno), nel secondo caso il corretto funzionamento dei sistemi di prevenzione e sicurezza agli incendi.

La missione di soccorso può essere compromessa da un eccessivo tempo di intervento.

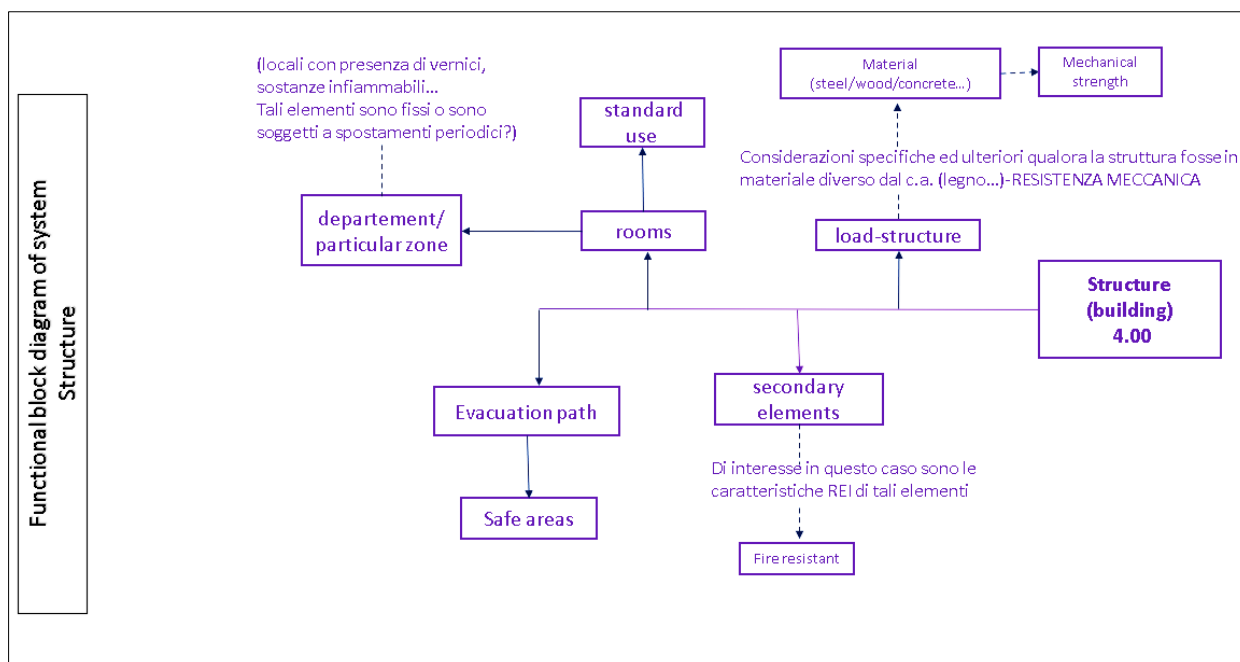


Figura 17, FBS "Structure"

La scomposizione funzionale dell'involucro strutturale ha lo scopo di mettere in risalto gli elementi ed i materiali che compongono la parte strutturale e non. Questi potrebbero ridurre significativamente gli effetti dell'incendio o, al contrario, essere peggiorativi dello scenario (gocciolamenti, superfici radianti, etc.).

Inoltre, l'interesse va posto sulla destinazione d'uso dei locali (in particolar modo quelli con elevato rischio incendio e/o ritenuti pericolosi) e sulla progettazione dei percorsi di esodo e dei luoghi sicuri.

Nel caso degli impianti sono riportati due schemi funzionali, ma il principio è lo stesso: destrutturare l'impianto secondo la specifica logica funzionale, mettendo in risalto le parti sensibili al fuoco e/o di cui assicurarne continuità di funzionamento (questo potrebbe essere un requisito importante per edifici strategici come gli ospedali).

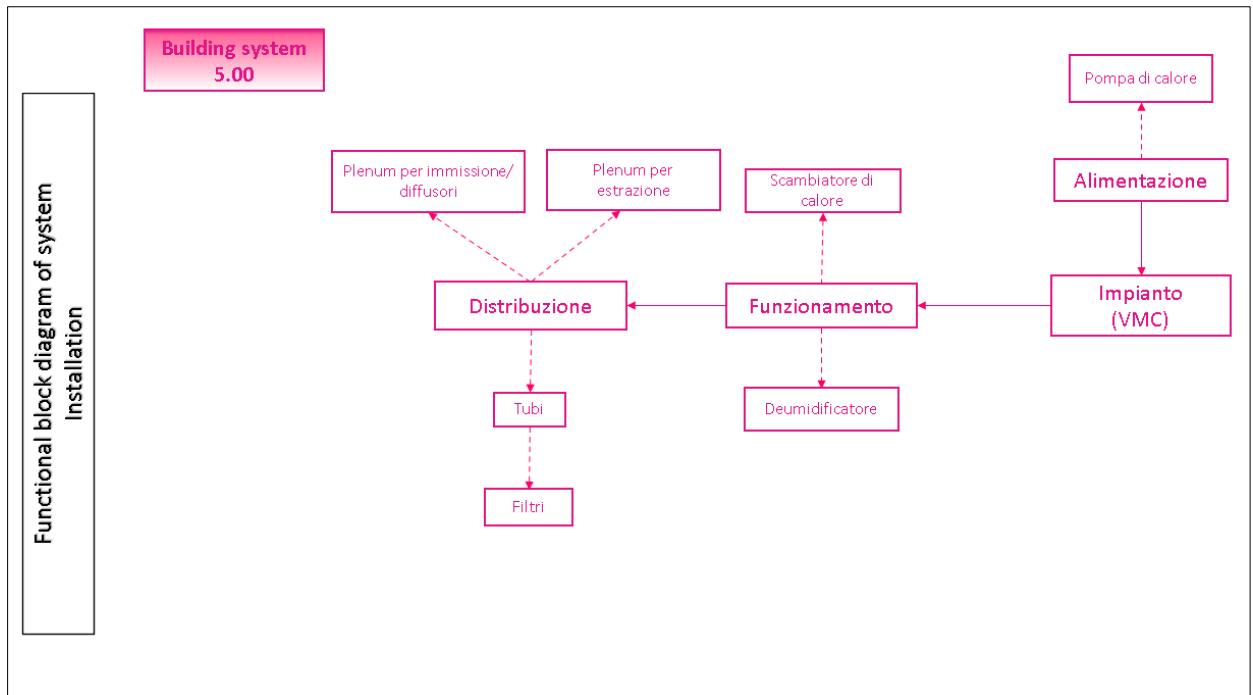


Figura 18, FBS "Installation", Esempio VMC

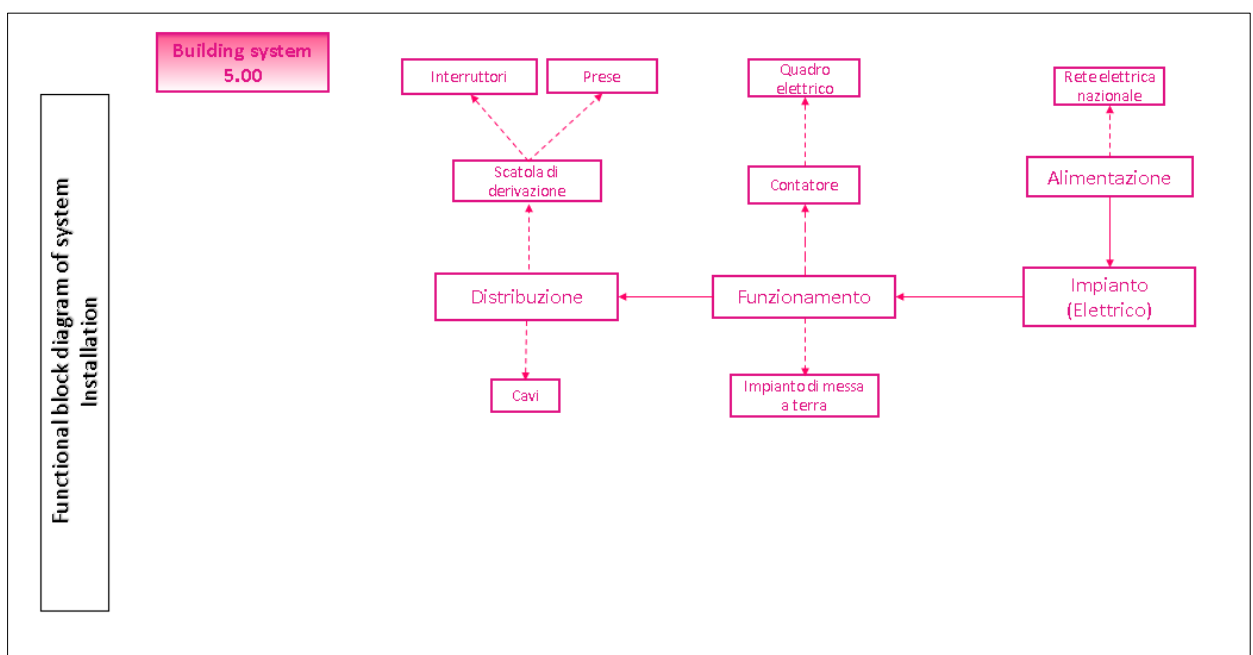


Figura 19, FBS "Installation", Esempio di Impianto elettrico

La FBS relativa alla manutenzione è la ramificazione delle tipologie e delle modalità con cui questa viene eseguita. Le funzioni del grafico sono molteplici: determinare le allocazioni di responsabilità; determinare un piano di controllo, di monitoraggio e di sorveglianza continui; effettuare operazioni di mitigazione e correttive.

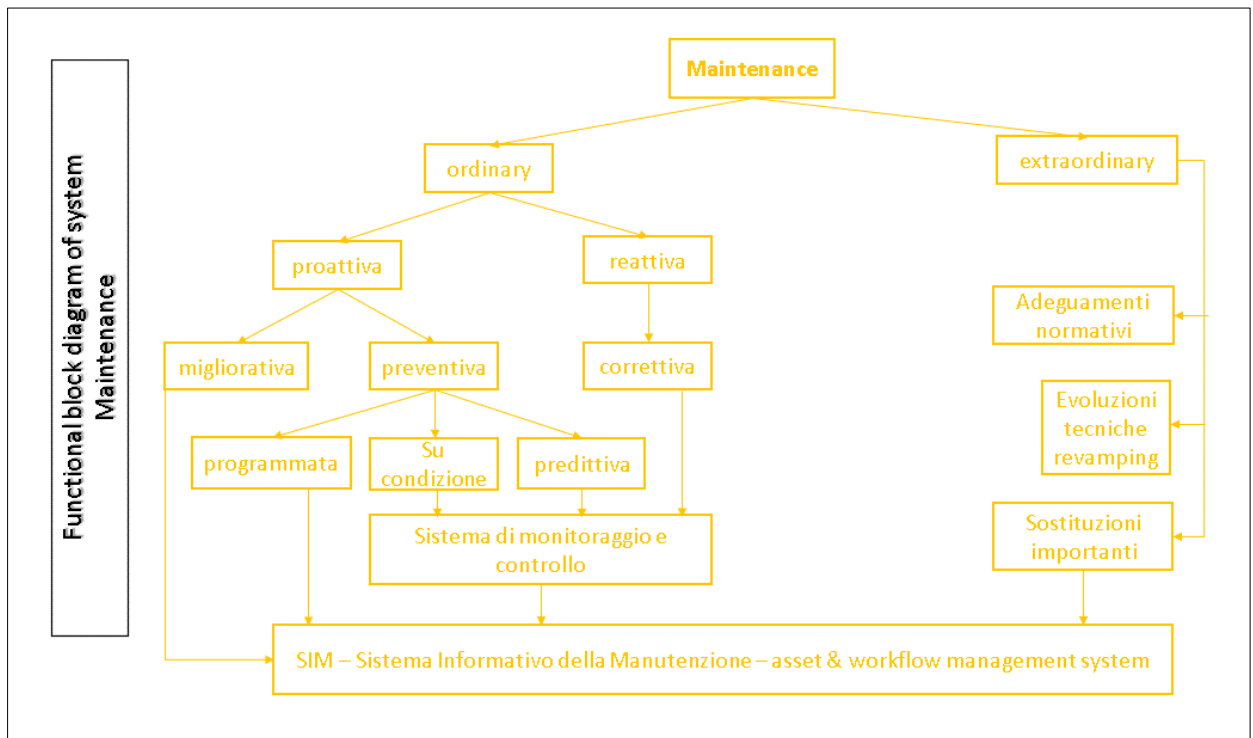


Figura 20, FBS "Maintenance"

Infine, la FBS della progettazione dei sistemi di sicurezza antincendio. Questa espone le misure di prevenzione e protezione attive e passive adottate.

Tale FBS è un primo livello di progettazione antincendio e descrive il secondo dominio di interesse delle modellazioni successive.

In questa trattazione ci occuperemo dei sistemi di compartimentazione.

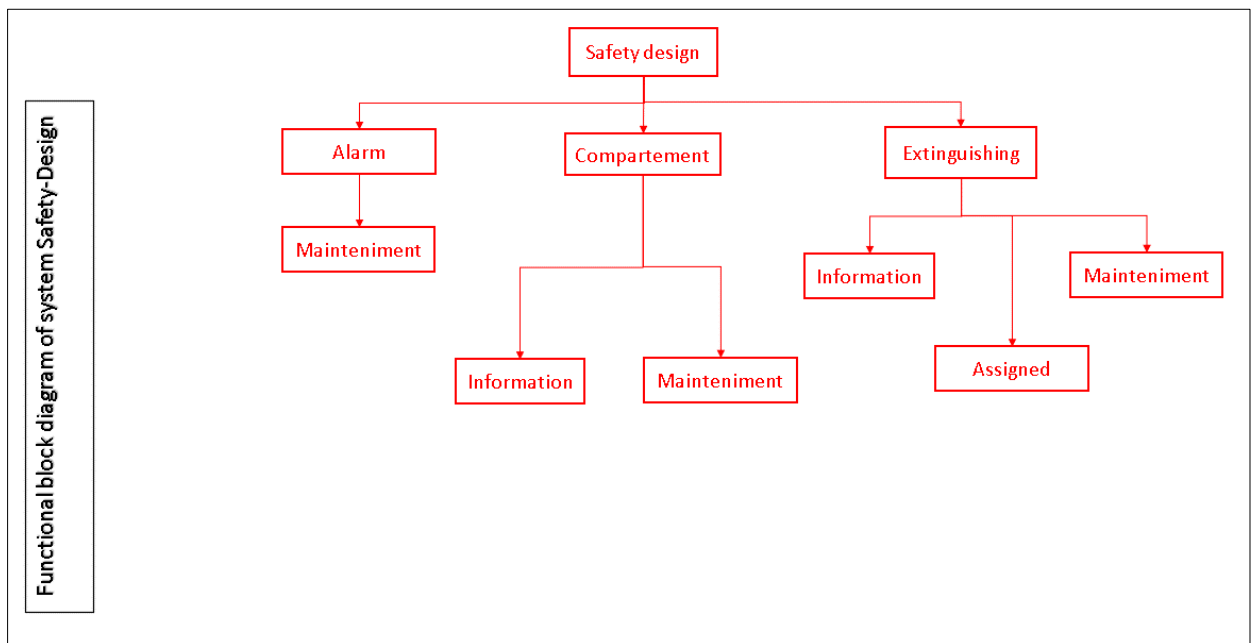


Figura 21, FBS "Safety - Design"

### 5.1.2. SysML

SysML, System Modeling Language, è un linguaggio standard di modellazione dell'architettura di sistemi proprio dell'ingegneria dei sistemi e attraverso il quale è possibile creare un modello operativo.

SysML supporta la specifica, l'analisi, la progettazione, la verifica e la convalida di un'ampia gamma di sistemi e sistemi di sistemi. Questi sistemi possono includere hardware, software, informazioni, processi, personale e strutture.

SysML è un prodotto dell'Object Management Group (OMG): un organismo che comprende alcune tra le maggiori realtà dei software internazionali. OMG è un consorzio dell'industria dei computers fondata nel 1989, che crea standard di modellazione per software utilizzati negli ambienti governativi e aziendali; che consentono l'interoperabilità delle informazioni e delle materie e creano ambienti di sviluppo comuni che incoraggiano l'adozione e l'evoluzione delle nuove tecnologie. Fra gli standard di modellazione di OMG c'è il linguaggio di modellazione unificato UML (Unified Modeling Language) di cui SysML è una estensione ufficiale per la rappresentazione dei sistemi complessi.

La prima versione SysML (1.0) è del 2007.

SysML è una tecnologia abilitante la modellazione dei modelli Model-Based Systems Engineering (MBSE) ed è un linguaggio standard con cui poter creare un modello coeso e coerente del sistema; ragione per cui è stato scelto da noi come linguaggio di riferimento per sviluppare modelli operativi delle facilities (FOM).

SysML permette di creare gerarchie, classi, flussi di informazioni e relazioni fra funzioni ed attività all'interno di un unico software. Quest'ultimo non è altro che la capacità di comunicazione fra tutti gli oggetti di un sistema complesso senza la perdita di dati, anzi permette l'implementazione del modello con ulteriori informazioni e verifiche della correttezza del progetto sviluppato.

La lingua di SysML, quindi, supporta la modellazione di; parametri; della composizione strutturale (classificazione, vincoli sulle proprietà fisiche); del comportamento (basato su funzioni, messaggi e stato); le interazioni e le allocazioni tra comportamenti - struttura – funzioni; di requisiti e casi di verifica. È una lingua in grado di fornire una descrizione solida di un sistema, dei suoi componenti e del suo ambiente.

Il linguaggio di SysML include nove diagrammi.

Essendo un profilo di UML, rispetto ad esso, SysML ha alcuni diagrammi in più (Requirements, Parametric), altri in meno, mentre altri diagrammi ancora hanno un nome diverso, pur mantenendo sostanzialmente la stessa notazione. Ogni diagramma restituisce una visione diversa del sistema modellato e gli elementi di un diagramma possono essere relazionati agli elementi di altri diagrammi, con trasmissione di informazioni. Con i diagrammi si acquisiscono le informazioni specifiche di ognuno

di essi e, seppur le prospettive di rappresentazione dei diagrammi sono diverse, questi garantiscono complessivamente un modello globalmente coerente che integra trasversalmente tutte quante le prospettive e fra cui crea flussi di informazioni. Ciò significa che ogni prospettiva descrive una complessità e questo rende possibile la modellazione di tutti gli aspetti di un sistema complesso pur mantenendo coerenza di informazioni. In altre parole, è una transizione dei modelli MBSE a SysML, resa possibile grazie alla molteplicità di modellazione dello stesso sistema sotto visioni diverse.

I nove diagrammi sono:

- Package diagram: rappresenta l'organizzazione di un modello in termini di pacchetti che contengono a loro volta elementi.
- Requirement diagram: il diagramma dei requisiti restituisce una rappresentazione a blocchi dei requisiti e le relazioni fra di essi.
- Activity diagram: il diagramma di attività rappresenta il comportamento in ordine temporale o causale, in cui le azioni vengono eseguite in base a degli inputs che conducono a degli outputs; danno rappresentazione di come le azioni si trasformino da input ad output e si trasferiscono le informazioni di controllo;
- Sequence diagram: il diagramma di sequenza rappresenta il comportamento in termini di sequenza di messaggi scambiati tra sistemi o tra parti di sistemi;
- State machine diagram: rappresenta il comportamento di un'entità in termini di transizioni tra stati e rappresenta gli eventi che inducono a tale transizione;
- Use case diagram: rappresenta la funzionalità di un sistema o sotto-sistema, descrive come il sistema viene utilizzato da entità esterne (ad es. attori) per raggiungere una serie di obiettivi;
- Block definition diagram: rappresenta gli elementi strutturali (chiamati blocchi), la loro composizione e classificazione;
- Internal block diagram: è la rappresentazione ad un livello gerarchico inferiore e di specifica dei singoli blocchi e descrive l'interconnessione e le interfacce tra le parti del blocco stesso;
- Parametric diagram: rappresenta i vincoli su valori e su proprietà del sistema e di come questi vincoli siano utilizzati per supportare l'analisi ingegneristica.



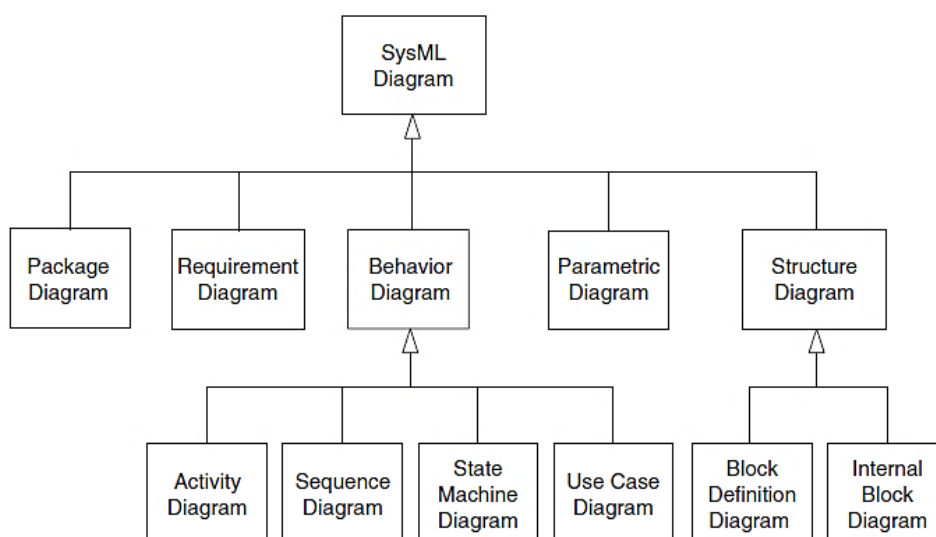


Figura 22, SysML diagramTaxonomy, fonte "A Practical Guide to SysML"

La figura mostra la tassonomia dei diagrammi SysML. Questa evidenzia come alcuni diagrammi siano in grado di descrivere un Behavior (sono diagrammi comportamentali), altri la Structure (diagrammi strutturali), mentre altri hanno caratteristiche che rappresentano le Functions. La rappresentazione sistemica di Funzioni – Componenti – Strutture descrivono compiutamente la facility.

Se il passo della scomposizione ad albero FBS aveva l'utilità di non far perdere di vista nessun oggetto emergente, con SysML è possibile descrivere e caratterizzare ognuno di essi in dettaglio, creando collegamenti e interfacce tra di loro. Non è solo la presenza dell'informazione a fare la differenza nel caso di un modello SysML, ma è come questa viene gestita nel corso del processo e nel tempo.

### 5.1.2.1. MODELIO

L'ambiente informatico entro cui realizzeremo i grafici è Modelio: un programma di modellazione dei diagrammi funzionali usato, in generale, per la modellazione dei processi aziendali.

Modelio è uno strumento di modellazione open source che consente di modellare i dati nel campo dell'ingegneria dei software e che supporta nativamente UML.

Questo, oltre ad essere un buon modellatore di UML, ha altresì altre funzionalità come: essere un buon generatore dei codici Java, consentire la pubblicazione dei modelli HTML, consentire l'importazione e l'esportazione XMI, etc.

Circoscritto al nostro interesse, Modelio è un programma usato da architetti di sistemi e da analisti e che permette di lavorare con il linguaggio di modellazione standard SysML.

### **5.1.3. FAILURE MODE EFFECTS AND ANALISYS**

L'ultima tecnica del metodo proposto è la produzione di tabelle FMEA. Con queste si chiude perfettamente il quadro di procedura di conoscenza analitica e controllo di un sistema complesso ai fini della prevenzione incendi e gestione delle emergenze.

L'acronimo inglese *FMEA* sta per *Failure Mode and Effects Analysis*, ovvero Analisi dei Modi e degli Effetti dei Guasti. Questa è una procedura consolidata in ambito industriale mediante il quale si possono effettuare analisi del rischio di tipo semi-quantitativo di prodotti, processi o sistemi ed individuare le cause dei guasti e le loro conseguenze.

Venne introdotta nel 1945 in alcune procedure militari statunitensi per condurre le analisi di affidabilità con lo scopo di valutare gli effetti dei malfunzionamenti dei componenti di sistemi. I guasti venivano classificati in base all'impatto che avrebbero avuto sul successo della missione e sulla sicurezza degli oggetti e delle persone. Negli anni '60, la NASA ne fece ampio uso per la messa a punto e realizzazione della missione spaziale Apollo.

Nelle analisi FMEA, processi e progettazioni lunghe ed elaborate vengono scomposte nei loro steps basilari e questi vengono analizzati singolarmente per individuare potenziali rischi o cause di guasto.

La tecnica FMEA ha tre principali obiettivi:

- riconoscere i potenziali difetti di un prodotto o processo e valutarne i relativi effetti (effetto del guasto);
- quantificare la probabilità di accadimento e l'entità dell'impatto sul successo finale del processo o del sistema (probabilità che il guasto si verifichi);

- identificare le azioni correttive che possano eliminare i potenziali guasti e ridurre la probabilità di accadimento di questo; individuare azioni che possano migliorare continuamente la qualità del processo o del prodotto (attività correttive e migliorative).

La FMEA fornisce un metodo per esaminare sistematicamente tutti i modi in cui un guasto può presentarsi. L'approccio è di tipo bottom-up, in cui si procede stilando un elenco delle potenziali modalità di guasto e le possibili cause e poi inizia l'analisi vera che passa per i seguenti steps:

1. si identifica l'elemento o l'item da analizzare;
2. si determinano le cause per ogni potenziale modo di guasto;
3. si identificano gli effetti di ogni potenziale modo di guasto, secondo tre livelli di gravità;
4. si identificano ed elencano i dispositivi e le misure di sicurezza già impiegati nel sistema per ogni modo di guasto;
5. si determinano le azioni e le raccomandazioni, sia preventive che correttive, più appropriate, basandosi sull'analisi dei rischi.

Dopo aver esaminato tutti gli elementi, si assegna ad ogni modalità di guasto un punteggio da 1 a 10 per ognuno dei seguenti fattori:

- Severity: ossia la gravità degli effetti del guasto basata sul peggior effetto possibile, dove 1 sta per nessun effetto e 10 per effetto molto pericoloso e senza preavviso;
- Occurrence: cioè la probabilità di accadimento del guasto, dove 1 indica una probabilità remota o un guasto improbabile e 10 una probabilità molto alta o un guasto quasi inevitabile;
- Detection: la capacità di rilevamento, cioè di identificare il guasto prima che raggiunga l'utente finale o il cliente, dove 1 sta per identificazione quasi certa e 10 per guasto impossibile da identificare.

Con questi tre fattori si determina il Risk Priority Number (numero di rischio prioritario), abbreviato RPN, nel seguente modo:

$$RPN = Severity \cdot Occurrence \cdot Detection$$

Essendo i fattori S, O, D espressi con valori compresi tra 1 e 10, RPN avrà un valore compreso tra 37 1 e 1000. L'RPN è una stima del rischio associato ad un guasto e

viene usato per dare priorità ai potenziali meccanismi di guasto per assegnare poi le risorse disponibili agli item con rischio più elevato.

Le tabelle FMEA mettono in evidenza i rapporti di causa – effetto che potrebbero verificarsi a seguito di un evento e le interdipendenze fra gli eventi stessi. Pertanto, le tabelle FMEA permettono di creare scenari di guasti.

La procedura di un'analisi FMEA si può riassumere nello schema sotto riportato.

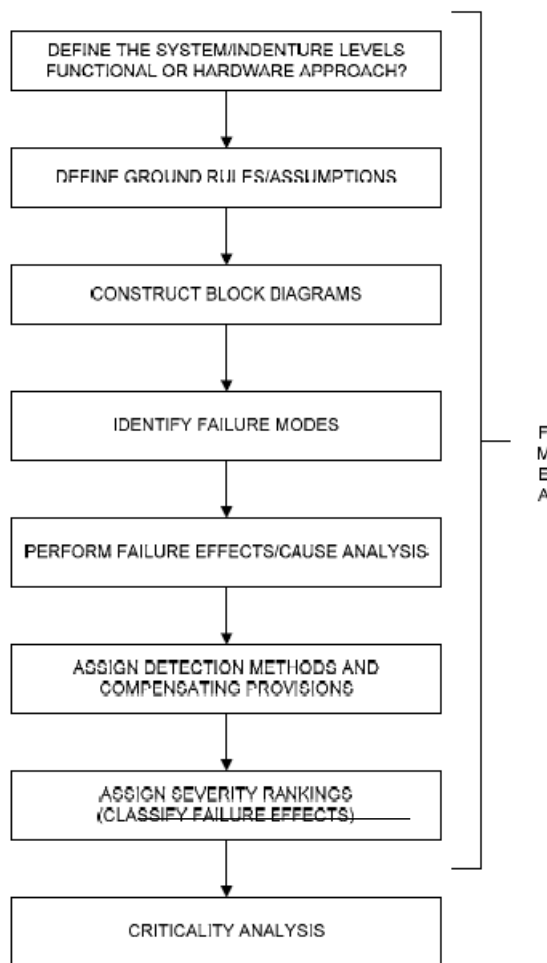


Figura 23, Fasi FMEA

(fonte: "Failure Modes, Effects and Criticality Analysis (FMECA) for Command, Control, Communications, Computer, Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance (C4ISR) Facilities")

L'analisi FMEA è già stata applicata all'ambito delle costruzioni, in particolare nelle fasi di progettazione e realizzazione per strutture ordinarie e grattacieli. Viene generalmente applicata alle fasi di costruzione di un edificio con l'intento di prevedere

problemi che possono sorgere in cantiere e fornire le informazioni necessarie per la gestione del processo stesso.

Un prerequisito necessario per l'uso efficace delle analisi FMEA è un livello di conoscenza approfondito del sistema a cui è applicata. Nel mondo delle costruzioni il tasto dolente è spesso la gestione delle informazioni fra le diverse fasi di una facility e fra gli attori che nelle varie procedure sono coinvolti, ma questa è solo la punta dell'iceberg. Altri aspetti che rendono complessa l'applicazione delle analisi FMEA agli edifici, diversamente dall'ambito industriale, sono rendere tracciabili fattori di guasto che non possono essere misurabili o che potrebbero non essere frequenti e ripetitivi e la non – linearità delle relazioni fra gli elementi.

Si faccia ancora riferimento alla variabile umana e alla imprevedibilità del suo comportamento o ai fattori di rischio ambientali.

In questa trattazione, l'analisi FMEA viene applicata per la determinazione degli "elementi - causa" fra cui cercare in caso di insuccesso del sistema, inteso come: propagazione dell'incendio.

## **5.2. MODELLAZIONE DEL SISTEMA DI COMPARTIMENTAZIONE**

“Compartimento antincendio (o compartimento): parte dell'opera da costruzione organizzata per rispondere alle esigenze della sicurezza in caso di incendio e delimitata da prodotti o elementi costruttivi idonei a garantire, sotto l'azione del fuoco e per un dato intervallo di tempo, la resistenza al fuoco. Qualora non sia prevista alcuna compartimentazione, si intende che il compartimento coincida con l'intera opera da costruzione.”

Codice Prevenzione Incendi, Sezione G, paragrafo G.1.8. [1]

Il compartimento è una delle dieci misure di prevenzione antincendio individuate dal C.P.I., ad esso il Codice riserva un intero capitolo: il capitolo S.3 (all'interno della sezione S, sezione contenente tutte le dieci strategie antincendio).

La compartimentazione è una strategia antincendio di tipo passiva, in quanto tale la sua funzione, all'interno di un fabbricato, è di contribuire alla prevenzione

all'emergenza incendio riducendone la probabilità di innesco e limitandone la propagazione (all'interno della stessa attività o verso altre attività). Nel capitolo ad esso riservato, la norma ne definisce le caratteristiche, i criteri progettuali e la procedura per la determinazione della classe minima di resistenza al fuoco.



*Figura 24, Sistemi di Compartimentazione*

### **5.2.1. STRUTTURA E COMPORTAMENTO DEL SISTEMA COMPARTIMENTAZIONE**

Il compartimento è una parte di struttura (o potrebbe corrispondere anche all'intera struttura stessa) al quale è affidata la capacità di compartimentazione in caso di incendio: "attitudine di un elemento costruttivo a conservare, sotto l'azione del fuoco, oltre alla propria stabilità, un sufficiente isolamento termico ed una sufficiente tenuta ai fumi e ai gas caldi della combustione, nonché tutte le altre prestazioni se richieste". Quando si parla di compartimento antincendio ci si riferisce a quella parte del fabbricato progettata con elementi costruttivi che, in caso d'incendio, garantiscono la sicurezza degli utenti per il tempo necessario a permettere agli stessi di raggiungere un luogo sicuro e alle squadre di soccorso di intervenire. La compartimentazione, quindi, si realizza studiando la resistenza al fuoco dei materiali che compongono le partizioni orizzontali e verticali del sistema edilizio e successivamente integrando anche le misure di protezione attiva finalizzate al controllo dell'incendio e alla sua completa estinzione.

Un edificio generalmente prevede più compartimenti e tanti saranno i compartimenti tanti saranno le progettazioni antincendio, se invece il compartimento coincide con l'intero edificio è sufficiente una unica progettazione antincendio.

Poiché la progettazione antincendio si compone dei seguenti steps:

1. Valutazione del rischio incendio;
2. Attribuzione del profilo di rischio;
3. Attribuzione dei livelli di prestazione;
4. Studio delle soluzioni (conformi o alternative),

va da sé che questa prassi deve essere svolta separatamente per ogni compartimento antincendio. Questo si giustifica col fatto che ogni progettazione antincendio di un compartimento dipende dal profilo di rischio, in particolare modo da  $R_{vita}$ .

Una volta individuato il profilo di rischio, per ogni livello di prestazione il Codice permette l'adozione di soluzioni conformi o alternative; per le prime il C.P.I. si pone come guida stessa per la progettazione.

Per le soluzioni conformi, per il compartimento è prevista l'adozione di una serie di sistemi di sicurezza. Questi sono misure di protezioni ausiliari o a completamento del compartimento, da impiegare per limitare la diffusione dell'incendio (lo spazio scoperto, il filtro, il filtro a prova di fumo, il compartimento a prova di fumo, l'utilizzo di segnaletiche specifiche).

Il Codice indica anche le regole generali di progettazione, definendo la superficie massima lorda possibile per un compartimento antincendio, le modalità con cui determinare la distanza di separazione tra gli edifici e i casi in cui è possibile adottare la compartimentazione multipiano.

Un altro parametro caratteristico del compartimento è la resistenza al fuoco. Anche in questo caso, in base al livello di prestazione che si vuole attribuire alle opere da costruzione, la normativa individua i criteri di attribuzione per ogni livello di prestazione e fissa la classe minima di resistenza al fuoco oppure indica come determinarla attraverso il calcolo di parametri specifici (il carico d'incendio specifico

di progetto e il limite di deformabilità dell'elemento nelle condizioni di carico termico)<sup>1</sup>.

Quindi, le modalità con cui effettuare una progettazione antincendio (profilo del rischio e livello di prestazioni), i sistemi di sicurezza per un compartimento, la classe di resistenza al fuoco minima e regole generali di progettazione sono gli aspetti che definiscono la struttura ed il comportamento di un compartimento.

Nei paragrafi a seguire entreremo nel dettaglio ed analizzeremo singolarmente ognuno di essi.

### **Progettazione di un compartimento**

Come già sopra accennato, la progettazione di uno spazio compartimentato si compone delle fasi: attribuzione dei profili di rischio; livelli di prestazione; criteri di attribuzione dei livelli di prestazione ed infine assegnazione di una delle soluzioni proposte dal normatore.

L'indicatore di sostanziale importanza per la progettazione di un compartimento è il profilo di rischio  $R_{vita}$ .

(Si ricorda che i livelli di rischio sono tre:  $-R_{vita}$  è il profilo di rischio relativo alla salvaguardia della vita umana;  $-R_{beni}$  è il profilo di rischio relativo alla salvaguardia dei beni economici;  $-R_{ambiente}$  volto alla salvaguardia dell'ambiente. dagli effetti dell'incendio).

$R_{vita}$  è espresso da una sigla composta da una lettera che va da A ed E, seguita da numeri che vanno da 1 a 4.

La lettera è determinata in base delle caratteristiche degli occupanti, funzione dell'attività svolta (Esempio1: in un hotel gli occupanti possono essere addormentati nelle camere, e non trovarsi nella hall. Esempio2: un locale parzialmente aperto al pubblico può avere uffici occupati da soli lavoratori, e front office con ospiti che possono non aver familiarità con l'edificio). Pertanto, il primo passo è considerare la condizione in cui si possono trovare gli occupanti all'interno di ogni compartimento.

---

<sup>1</sup>Nota: Per la determinazione della classe minima di resistenza al fuoco, la normativa rimanda alla sezione S2 del C.P.I.



I numeri, invece, si riferiscono alla caratteristica prevalente di crescita dell'incendio, funzione a sua volta del tempo ( $t_a$ ).

Il Codice mette a disposizione le tabelle con cui fare ognuna delle suddette classificazioni, che vengono sotto riportate (Tabelle della sezione G, capitolo G.3).

Caratteristiche prevalenti degli occupanti $\delta_{occ}$		Esempi
A	Gli occupanti sono in stato di veglia ed hanno familiarità con l'edificio	Ufficio non aperto al pubblico, scuola, autorimessa privata, centro sportivo privato, attività produttive in genere, depositi, capannoni industriali
B	Gli occupanti sono in stato di veglia e non hanno familiarità con l'edificio	Attività commerciale, autorimessa pubblica, attività espositiva e di pubblico spettacolo, centro congressi, ufficio aperto al pubblico, ristorante, studio medico, ambulatorio medico, centro sportivo pubblico
C	Gli occupanti possono essere addormentati: [1]	
Ci	<ul style="list-style-type: none"> <li>• in attività individuale di lunga durata</li> </ul>	Civile abitazione
Cii	<ul style="list-style-type: none"> <li>• in attività gestita di lunga durata</li> </ul>	Dormitorio, residence, studentato, residenza per persone autosufficienti
Ciii	<ul style="list-style-type: none"> <li>• in attività gestita di breve durata</li> </ul>	Albergo, rifugio alpino
D	Gli occupanti ricevono cure mediche	Degenza ospedaliera, terapia intensiva, sala operatoria, residenza per persone non autosufficienti e con assistenza sanitaria
E	Occupanti in transito	Stazione ferroviaria, aeroporto, stazione metropolitana
[1] Quando nel presente documento si usa C la relativa indicazione è valida per Ci, Cii, Ciii		

Tabella G.3-1: Caratteristiche prevalenti degli occupanti

$\delta_\alpha$	$t_\alpha$ [1]	Criteri
1	600 s lenta	Ambiti di attività con carico di incendio specifico $q_f \leq 200 \text{ MJ/m}^2$ , oppure ove siano presenti prevalentemente materiali o altri combustibili che contribuiscono in modo trascurabile all'incendio.
2	300 s media	Ambiti di attività ove siano presenti prevalentemente materiali o altri combustibili che contribuiscono in modo moderato all'incendio.
3	150 s rapida	Ambiti con presenza di significative quantità di materiali plastici impilati, prodotti tessili sintetici, apparecchiature elettriche e elettroniche, materiali combustibili non classificati per reazione al fuoco (capitolo S.1). Ambiti ove avvenga impilamento verticale di significative quantità di materiali combustibili con $3,0 \text{ m} < h \leq 5,0 \text{ m}$ [2]. Stoccaggi classificati HHS3 oppure attività classificate HHP1, secondo la norma UNI EN 12845. Ambiti con impianti tecnologici o di processo che impiegano significative quantità di materiali combustibili. Ambiti con contemporanea presenza di materiali combustibili e lavorazioni pericolose ai fini dell'incendio.
4	75 s ultra- rapida	Ambiti ove avvenga impilamento verticale di significative quantità di materiali combustibili con $h > 5,0 \text{ m}$ [2]. Stoccaggi classificati HHS4 oppure attività classificate HHP2, HHP3 o HHP4, secondo la norma UNI EN 12845. Ambiti ove siano presenti o in lavorazione significative quantità di sostanze o miscele pericolose ai fini dell'incendio, oppure materiali plastici cellulari/espansi o schiume combustibili non classificati per la reazione al fuoco.

A meno di valutazioni più approfondite da parte del progettista (es. dati di letteratura, misure dirette, ...), si ritengono *non significative* ai fini della presente classificazione almeno le quantità di materiali nei compartimenti con carico di incendio specifico  $q_f \leq 200 \text{ MJ/m}^2$ .

[1] Velocità caratteristica prevalente di crescita dell'incendio.  
[2] Con h altezza d'impilamento.

Tabella G.3-2: Velocità caratteristica prevalente di crescita dell'incendio

La combinazione dei due indici definisce il  $R_{vita}$ .

Caratteristiche prevalenti degli occupanti $\delta_{occ}$		Velocità caratteristica prevalente dell'incendio $\delta_\alpha$			
		1 lenta	2 media	3 rapida	4 ultra- rapida
A	Gli occupanti sono in stato di veglia ed hanno familiarità con l'edificio	A1	A2	A3	A4
B	Gli occupanti sono in stato di veglia e non hanno familiarità con l'edificio	B1	B2	B3	Non ammesso [1]
C	Gli occupanti possono essere addormentati: [2]	C1	C2	C3	Non ammesso [1]
Ci	• in attività individuale di lunga durata	Ci1	Ci2	Ci3	Non ammesso [1]
Cii	• in attività gestita di lunga durata	Cii1	Cii2	Cii3	Non ammesso [1]
Ciii	• in attività gestita di breve durata	Ciii1	Ciii2	Ciii3	Non ammesso [1]
D	Gli occupanti ricevono cure mediche	D1	D2	Non ammesso [1]	Non ammesso
E	Occupanti in transito	E1	E2	E3	Non ammesso [1]

[1] Per raggiungere un valore ammesso,  $\delta_\alpha$  può essere ridotto di un livello come specificato nel comma 3 del paragrafo G.3.2.1.  
[2] Quando nel presente documento si usa il valore C1 la relativa indicazione è valida per Ci1, Cii1 e Ciii1. Se si usa C2 l'indicazione è valida per Ci2, Cii2 e Ciii2. Se si usa C3 l'indicazione è valida per Ci3, Cii3 e Ciii3.

Tabella G.3-3: Determinazione di  $R_{vita}$

È possibile notare che alcune combinazioni non sono ammesse, questo perché la velocità di crescita dell'incendio risulterebbe troppo rapida per le capacità di sfollamento degli occupanti. In questa situazione, una possibile soluzione può essere quella di compartimentare i locali alternativamente. Si riportano alcuni esempi:

- Esempio1: si vuole realizzare un unico compartimento B4. I locali con velocità pari a 4 possono essere compartimentati e resi accessibili ai soli lavoratori. Si realizzano quindi un compartimento B3 ed uno A4, entrambi accettabili.
- Esempio2: si vuole realizzare un unico compartimento D3. I locali in cui si ha una velocità pari a 3 possono essere compartimentati e resi accessibili ai soli lavoratori. È possibile la realizzazione di un compartimento D2 ed uno A3, entrambi accettabili.

Tipologie di destinazione d'uso	R <sub>vita</sub>
Palestra scolastica	A1
Autorimessa privata	A2
Ufficio non aperto al pubblico, sala mensa, aula scolastica, sala riunioni aziendale, archivio, deposito librario, centro sportivo privato	A2-A3
Attività commerciale non aperta al pubblico (es. all'ingrosso, ...)	A2-A4
Laboratorio scolastico, sala server	A3
Attività produttive, attività artigianali, impianti di processo, laboratorio di ricerca, magazzino, officina meccanica	A1-A4
Depositi sostanze o miscele pericolose	A4
Galleria d'arte, sala d'attesa, ristorante, studio medico, ambulatorio medico	B1-B2
Autorimessa pubblica	B2
Ufficio aperto al pubblico, centro sportivo pubblico, sala conferenze aperta al pubblico, discoteca, museo, teatro, cinema, locale di trattenimento, area lettura di biblioteca, attività espositiva, autosalone	B2-B3
Attività commerciale aperta al pubblico (es. al dettaglio, ...)	B2-B4 [1]
Civile abitazione	Ci2-Ci3
Dormitorio, residence, studentato, residenza per persone autosufficienti	Cii2-Cii3
Camera d'albergo	Ciii2-Ciii3
Degenza ospedaliera, terapia intensiva, sala operatoria, residenza per persone non autosufficienti e con assistenza sanitaria	D2
Stazione ferroviaria, aeroporto, stazione metropolitana	E2
[1] Per raggiungere un valore ammesso fra quelli indicati alla tabella G.3-3, $\delta_v$ può essere ridotto di un livello come specificato nel comma 3 del paragrafo G.3.2.1.	

Tabella G.3-4: Profilo di rischio R<sub>vita</sub> per alcune tipologie di destinazione d'uso

Approfondire dettagliatamente l'attribuzione di  $R_{vita}$  è stato necessario perché questo influenza notevolmente il sistema di compartimentazione.

Infatti, nella sezione S, nella premessa del capitolo S3, la norma stabilisce che:

“la finalità della compartimentazione è quella di limitare la propagazione dell'incendio e dei suoi effetti verso altre attività o all'interno della stessa attività”. (Cap. S.3.1).

Dove per attività si intende: “Attività: complesso delle azioni organizzate svolte in un luogo delimitato, che può presentare pericolo d'incendio o esplosione”.

C.P.I., G.1.5.

Il fatto che il concetto di “attività” venga menzionato sin dalla premessa rende evidente come questo sia un fattore di influenza importante per la progettazione del compartimento.

Ad ogni attività corrisponde un  $R_{vita}$  specifico e la regola alla base della progettazione antincendio di un compartimento è che: ad ogni  $R_{vita}$  corrisponde un compartimento.

Va da sé che la suddivisione di un edificio in  $n$  compartimenti è funzione degli  $n$   $R_{vita}$ .

Quindi, è importante tenere presente che:  $R_{vita}$  è attribuito per ciascun compartimento dell'attività (capitolo G.3.2 del Codice),  $R_{beni}$  e  $R_{ambiente}$  invece sono attribuiti per l'intera attività (capitolo G.3.3 e G.3.4 del Codice).

Dopo aver determinato il profilo di rischio  $R_{vita}$ , il passo successivo è definire i requisiti del compartimento antincendio attraverso l'individuazione del livello di prestazione, il quale indica il comportamento minimo atteso e richiesto da questo.

Anche per l'attribuzione ad ogni compartimento del proprio livello di prestazione, la norma guida il progettista mediante una tabella, che viene di seguito riportata, (Tab. S.3-1, Cap S.3.2).

Livello di prestazione	Descrizione
I	Nessun requisito
II	È contrastata per un periodo congruo con la durata dell'incendio: <ul style="list-style-type: none"><li>• la propagazione dell'incendio verso altre attività;</li><li>• la propagazione dell'incendio all'interno della stessa attività.</li></ul>
III	È contrastata per un periodo congruo con la durata dell'incendio: <ul style="list-style-type: none"><li>• la propagazione dell'incendio verso altre attività;</li><li>• la propagazione dell'incendio e dei fumi freddi all'interno della stessa attività.</li></ul>

Tabella S.3-1: Livelli di prestazione

Tabella S.3- 1, Livelli di prestazione, fonte C.P.I.

L'ultimo passaggio è di attribuire alle varie attività livelli di prestazioni idonei. Anche i criteri di attribuzione dei livelli di prestazioni sono definiti su di una tabella (Tabella. S3-2, C.P.I., S.3). Si tratta di un punto estremamente importante perché da qui si definirà l'entità delle misure antincendio.

Di seguito la tabella di riferimento (Cap. S.3.3):

Livello di prestazione	Criteri di attribuzione
I	Non ammesso nelle attività soggette
II	Attività non ricomprese negli altri criteri di attribuzione
III	<p>In relazione alle risultanze della valutazione del rischio nell'ambito e in ambiti limitrofi della stessa attività (es. attività con elevato affollamento, attività con geometria complessa o piani interrati, elevato carico di incendio specifico <math>q_f</math>, presenza di sostanze o miscele pericolose in quantità significative, presenza di lavorazioni pericolose ai fini dell'incendio, ...).</p> <p>Si può applicare in particolare ove sono presenti compartimenti con profilo di rischio <math>R_{vita}</math> compreso in D1, D2, Cii2, Cii3, Ciii2, Ciii3, per proteggere gli occupanti che dormono o che ricevono cure mediche.</p>

*Tabella S.3-2: Criteri di attribuzione dei livelli di prestazione*

A questo punto la norma suggerisce specifiche di progettazione antincendio differenti sulla base del livello di prestazione (il livello di prestazione I non richiede l'applicazione di soluzioni progettuali per la seguente misura di prevenzione al fuoco) e a seconda che si applichino soluzioni conformi o alternative.

Nel seguente studio prenderemo a riferimento le soluzioni conformi.

Per la conformità al livello di prestazione II, la norma stabilisce che al fine limitare la propagazione incendio verso altre attività si possono adottare una delle seguenti soluzioni:

- a) inserire attività differenti sono in compartimenti distinti. Ogni compartimento deve essere progettato tenendo conto delle regole generali, delle misure di protezione tipiche di un compartimento (filtro, filtro a prova di fumo etc...) e della resistenza al fuoco dei singoli elementi strutturali e non,
- b) si deve interporre una distanza di separazione in uno spazio a cielo aperto fra le attività.

Se la propagazione deve essere limitata all'interno della stessa attività:

- a) la volumetria dell'opera deve essere ridotta secondo indicazioni precise,
- b) deve esserci una distanza di separazione in uno spazio a cielo aperto tra ambiti della stessa attività.

Le attività possono essere “comunicanti”, ma con opportune accortezze e per “l’ubicazione” di queste altrettanto.

Mentre, riguardo alle soluzioni conformi per il livello di prestazione III, è richiesto che vengano applicate le stesse soluzioni conformi per il livello di prestazione II, impiegando elementi a tenuta di fumo ( $S_a$ ) per la chiusura dei vani di comunicazione fra compartimenti.

Contemporaneamente alle condizioni imposte dalle diverse soluzioni normative, devono sempre essere soddisfatte delle regole generali, da applicare in qualunque situazione e per ogni compartimentazione.

Le regole generali, definite al paragrafo. S.3.6.1, prescrivono che devono appartenere a compartimenti distinti:

- Ciascun piano interrato e fuori terra di attività multipiano;
- Aree di attività con diverso profilo di rischio;
- Altre attività ospitate nella medesima opera.

Inoltre, vigono altre due limitazioni, la prima relativa alla superficie lorda del singolo compartimento che deve attenersi al di sotto di valori soglia definiti dalla norma, (Tab. S.3-6),

$R_{vita}$	Quota del compartimento								
	< -15 m	< -10 m	< -5 m	< -1 m	≤ 12 m	≤ 24 m	≤ 32 m	≤ 54 m	> 54 m
A1	2000	4000	8000	16000	[1]	32000	16000	8000	4000
A2	1000	2000	4000	8000	64000	16000	8000	4000	2000
A3	[na]	1000	2000	4000	32000	4000	2000	1000	[na]
A4	[na]	[na]	[na]	[na]	16000	[na]	[na]	[na]	[na]
B1	[na]	2000	8000	16000	64000	16000	8000	4000	2000
B2	[na]	1000	4000	8000	32000	8000	4000	2000	1000
B3	[na]	[na]	1000	2000	16000	4000	2000	1000	[na]
Cii1, Ciii1	[na]	[na]	[na]	2000	16000	8000	8000	8000	4000
Cii2, Ciii2	[na]	[na]	[na]	1000	8000	4000	4000	2000	2000
Cii3, Ciii3	[na]	[na]	[na]	[na]	4000	2000	2000	1000	1000
D1	[na]	[na]	[na]	1000	2000	2000	1000	1000	1000
D2	[na]	[na]	[na]	1000	2000	1000	1000	1000	[na]
E1	2000	4000	8000	16000	[1]	32000	16000	8000	4000
E2	1000	2000	4000	8000	[1]	16000	8000	4000	2000
E3	[na]	[na]	2000	4000	16000	4000	2000	[na]	[na]

La massima superficie lorda è ridotta del 50%. per i compartimenti con  $R_{ambiente}$  significativo.  
[na] Non ammesso  
[1] Senza limitazione

Tabella S.3-6: Massima superficie lorda dei compartimenti in  $m^2$

La seconda limitazione è riferita ai compartimenti multipiano, la cui realizzazione oltre a dover tener conto delle precedenti indicazioni e dei medesimi valori sogli di superfici lorda, ha restrizioni ulteriori in funzione del  $R_{vita}$  e delle caratteristiche geometriche (Tab. S.3-7).

$R_{vita}$	Compartimenti multipiano	Prescrizioni antincendio aggiuntive
A1, A2, A3, B1, B2, B3, E1, E2, Cii1, Cii2, Ciii1, Ciii2	I piani a quota > -1 m e ≤ 6 m possono essere inseriti in uno o più compartimenti multipiano	Nessuna
A1, A2	I piani a quota > -5 m e ≤ 12 m possono essere inseriti in uno o più compartimenti multipiano (Esempio in tabella S.3-8)	Nessuna
A3, B1, B2, Cii1, Cii2, Ciii1, Ciii2		[1], [2]
B3		[3]
A1, A2	I piani a quota > 12 m e ≤ 32 m possono essere inseriti in uno o più compartimenti multipiano, con massimo dislivello tra i piani inseriti ≤ 7 m (Esempio in tabella S.3-8)	[3]
B1, B2		[3], [4]
[1] Rivelazione ed allarme di livello di prestazione III (capitolo S.7) [2] Se $q_p < 600 \text{ MJ/m}^2$ , controllo dell'incendio di livello di prestazione III, altrimenti IV (capitolo S.6) [3] Rivelazione ed allarme di livello di prestazione IV (capitolo S.7) [4] Controllo dell'incendio di livello di prestazione IV (capitolo S.6).		

Tabella S.3-7: Condizioni per la realizzazione di compartimenti multipiano

Ogni compartimento antincendio, entro il quale si svolge una attività con uno specifico  $R_{vita}$ , necessita di una propria progettazione antincendio e deve essere in possesso di una struttura personalizzata, tale da ritardare la propagazione dell'incendio e delle fiamme, creando così una protezione per le principali vie di fuga.

### Resistenza al fuoco e compartimentazione

La progettazione architettonica e quella antincendio devono essere svolte parallelamente.

Per compartimento antincendio si intende parte della costruzione organizzata per rispondere alle esigenze della sicurezza in caso di incendio. Di fatto è uno spazio all'interno del fabbricato, delimitato da elementi costruttivi pensati e scelti al fine di rispondere tutti adeguatamente alle esigenze strutturali e, al contempo, idonei a garantire, sotto l'azione del fuoco e per un dato intervallo di tempo, la capacità di compartimentazione. Il che significa che ogni elemento costruttivo deve avere una adeguata resistenza al fuoco.

“La finalità della resistenza al fuoco è quella di garantire la capacità portante delle strutture in condizioni di incendio, nonché la capacità di compartimentazione, per un tempo minimo necessario al raggiungimento degli obiettivi di sicurezza di prevenzione incendi.”, (C.P.I. S.2) [1].

Va da sé che i capitoli S.3, dedicato alle misure di compartimentazione, ed il capitolo S.2, incentrato sulla reazione al fuoco (altra misura di protezione passiva che però esplica i suoi effetti nella fase iniziale dell'incendio e si riferisce al comportamento al fuoco dei singoli materiali nelle effettive condizioni d'uso finali, con riguardo al grado di partecipazione all'incendio), sono complementari.

La resistenza al fuoco e la compartimentazione sono quindi due misure di protezione passive.

La prima garantisce la capacità portante e compartimentante dell'edificio per un tempo determinato (per esempio il tempo necessario all'esodo degli occupanti e l'intervento in sicurezza delle squadre di soccorso).

La seconda assicura che l'incendio non si propaghi nelle aree adiacenti a quella di primo innesco. Il contenimento dei prodotti della combustione nel compartimento stesso è reso possibile adottando elementi che garantiscono la resistenza meccanica, la tenuta dei fumi e l'isolamento termico in caso d'incendio quali: partizioni orizzontali (solai), partizioni verticali (portanti e/o separanti), porte tagliafuoco ed elementi di protezione degli attraversamenti impiantistici.

Ogni compartimento antincendio ha la propria classe di resistenza al fuoco, ovvero un intervallo di tempo (in minuti) nel quale dovranno essere garantite la stabilità strutturale (R), la tenuta ai fumi e ai gas caldi (E) e l'isolamento termico (I) dell'edificio. La determinazione della classe di resistenza al fuoco deve seguire le procedure espresse nel capitolo S.2. Nel caso in di compartimenti adiacenti, afferenti a diversi responsabili di attività, gli elementi di separazione degli stessi devono avere caratteristiche di resistenza al fuoco non inferiori a EI 60 (C.P.I., S.3.7.2).

La normativa fornisce tutte le tabelle necessarie per la determinazione della classe di resistenza al fuoco, per tutti i prodotti da costruzione (elementi, strutturali e non, elementi impiantistici, etc.), classificandoli attraverso sigle composte da lettere dell'alfabeto e numeri. Ad ogni lettera corrisponde una diversa prestazione di resistenza al fuoco e un differente criterio d'impiego (si veda la tabella sottostante).



Ad una o più lettere viene poi associato un numero, compreso tra 15 e 360, che indica i minuti per cui quella determinata prestazione viene garantita.

Le prestazioni degli elementi di compartimentazione devono essere selezionate secondo i criteri di impegno elencati nella tabella sottostante (Tab. C.P.I. S.3-9):

Simbolo	Prestazione	Criterio di impiego
R	Capacità portante	Per prodotti ed elementi costruttivi portanti
E	Tenuta	Contenimento di fumi caldi, gas caldi e fiamme
I	Isolamento	Limitare la possibilità di propagazione dell'incendio per contatto tra materiale combustibile e faccia dell'elemento di compartimentazione non esposta all'incendio.
W	Irraggiamento	Limitare la possibilità di propagazione dell'incendio per irraggiamento dalla faccia dell'elemento di compartimentazione non esposta all'incendio verso materiale combustibile.
M	Azione meccanica	Limitare la possibilità di perdita di compartimentazione per effetto di azioni meccaniche accidentali.
S	Tenuta di fumo	Contenimento di fumi e gas freddi

*Tabella S.3-9: Criteri di scelta delle principali prestazioni degli elementi di compartimentazione*

Per i varchi di comunicazione tra compartimenti diversi è prescritto che questi debbano avere analoga classe di resistenza al fuoco ed essere munite di dispositivo di autochiusura (es. porte) o essere mantenute permanentemente chiuse (es. sportelli di cavedi impiantistici). Altresì i varchi tra compartimenti e le vie di esodo di una stessa attività dovrebbero avere stessa tenuta (E) e stessa tenuta ai fumi (Sa); infine le porte resistenti al fuoco dovrebbero essere munite di fermo elettromagnetico in apertura asservito ad IRAI

### **Caratteristiche generali della compartimentazione, misure di protezione.**

Dopo aver definito le regole generali di progettazione di ogni compartimento e dopo aver individuato il tipo di soluzione, il Codice descrive le caratteristiche dei sistemi di sicurezza adottabili nella compartimentazione. Le misure di protezioni tipiche di una compartimentazione sono:

- spazio scoperto;
- filtro;
- filtro a prova di fumo;

- compartimento a prova di fumo;
- superfici vulnerabili di chiusura esterna del compartimento;
- segnaletica.

Il filtro, il filtro a prova di fumo ed il compartimento a prova di fumo sono tipologie speciali di compartimenti, i quali devono garantire prestazioni ulteriori; le superfici vulnerabili sono invece parti del compartimento stesso (come facciate continue, ventilate, coperture, etc...) aventi differente tipologia costruttiva e per le quali è sottoscritto che non facciano decadere le prestazioni del compartimento al quale sono riferite. La segnaletica è una prescrizione rivolta alle porte tagliafuoco di chiusura degli spazi interni alla compartimentazione; la finalità della segnaletica è di descrivere il meccanismo di chiusura della porta e costituisce pertanto un'informazione per il corretto uso di questa da parte gli utenti. Infine, lo spazio scoperto non è un ambiente del compartimento, bensì un luogo sicuro esterno ad esso: "uno spazio avente caratteristiche tali da contrastare temporaneamente la propagazione dell'incendio tra le eventuali opere da costruzione o strutture che lo delimitano" (C.P.I., G.1.8).

## **Definizioni**

### *a) Compartimento a prova di fumo*

"Nel compartimento a prova di fumo è impedito l'ingresso di effluenti dell'incendio da compartimenti comunicanti" (C.P.I., G.1.8), dove per effluenti si intende fumo e sostanze gassose [1]. Per essere considerato a prova di fumo, nel caso in cui l'incendio si sviluppi in compartimenti comunicanti, deve essere dotato di una delle seguenti misure antincendio aggiuntive verso i compartimenti comunicanti dai quali si intende garantire la protezione dall'ingresso di fumo:

- a. il compartimento è dotato di un sistema di pressione differenziale progettato, installato e gestito secondo la regola dell'arte, in conformità alle norme adottate dall'ente di normazione nazionale;

- b. i compartimenti comunicanti da cui si intende garantire la protezione dall'ingresso di fumo sono dotati di SEFC (Sistemi per l'evacuazione di fumo e calore) che mantengono i fumi al di sopra dei varchi di comunicazione (Capitolo S.8)<sup>2</sup>;
- c. il compartimento è dotato di SEFC, i compartimenti comunicanti da cui si intende garantire la protezione dall'ingresso di fumo sono dotati di SEFC (Capitolo S.8)<sup>3</sup>;
- d. il compartimento è separato con spazio scoperto dai compartimenti comunicanti da cui si intende garantire la protezione dall'ingresso di fumo<sup>4</sup>;
- e. il compartimento è separato con filtro a prova di fumo dai compartimenti comunicanti da cui si intende garantire la protezione dall'ingresso di fumo<sup>5</sup>;
- f. il compartimento è separato con altri compartimenti a prova di fumo dai compartimenti comunicanti da cui si intende garantire la protezione dall'ingresso di fumo<sup>6</sup>.

---

<sup>2</sup> Nota: la prescrizione è rivolta ai compartimenti comunicanti verso cui si vuol impedire l'ingresso di fumo.

<sup>3</sup> Nota: tutti i compartimenti comunicanti sono dotati di SEFC; quindi, sono tutti a prova di fumo.

<sup>4</sup> Nota: la protezione al fumo è rivolta ai compartimenti comunicanti e garantita da uno spazio scoperto nell'inframezzo.

<sup>5</sup> Nota: la protezione dall'ingresso di fumo è rivolta al compartimento a prova di fumo stesso.

<sup>6</sup> Nota: la protezione al fumo è garantita dal fatto che tutti i compartimenti comunicanti sono a prova di fumo.

Il Codice propone una tabella con esempi di compartimenti a prova di fumo, realizzati con una o più delle possibilità sopra elencate (Tab. S.3-5, C.P.I., S.3).

<p>SEFC</p> <p>Sistema pressione differenziale</p> <p>Compartimento 1   Compartimento 2   Compartimento 3</p>	<p>Il compartimento 2 è a <i>prova di fumo</i> proveniente dai compartimenti 1 e 3.</p> <p>I compartimenti 1 e 3 non sono a <i>prova di fumo</i> proveniente dal compartimento 2.</p> <p>Il compartimento 1 è a <i>prova di fumo</i> proveniente dal compartimento 3 e viceversa.</p>
<p>SEFC</p> <p>SEFC</p> <p>Compartimento 1   Compartimento 2   Compartimento 3</p>	<p>Il compartimento 2 è a <i>prova di fumo</i> proveniente dai compartimenti 1 e 3.</p> <p>I compartimenti 1 e 3 non sono a <i>prova di fumo</i> proveniente dal compartimento 2.</p> <p>Il compartimento 1 è a <i>prova di fumo</i> proveniente dal compartimento 3 e viceversa.</p>
<p>SEFC</p> <p>SEFC</p> <p>SEFC</p> <p>Compartimento 1   Compartimento 2   Compartimento 3</p>	<p>Tutti i compartimenti sono a <i>prova di fumo</i> proveniente dagli altri compartimenti.</p>
<p>Compartimento 1   Compartimento 2   Compartimento 3</p> <p>Spazio scoperto   Spazio scoperto</p>	<p>Tutti i compartimenti sono a <i>prova di fumo</i> proveniente dagli altri compartimenti.</p>
<p>Compartimento 1   Compartimento 2   Compartimento 3</p> <p>Spazio scoperto</p>	<p>I compartimenti 1 e 2 sono a <i>prova di fumo</i> proveniente dal compartimento 3 e viceversa.</p> <p>Il compartimento 1 non è a <i>prova di fumo</i> proveniente dal compartimento 2 e viceversa.</p>
<p>Filtro a prova di fumo</p> <p>Filtro a prova di fumo</p> <p>SEFC</p> <p>Compartimento 1   Compartimento 2   Compartimento 3</p>	<p>Tutti i compartimenti sono a <i>prova di fumo</i> proveniente dagli altri compartimenti.</p>
<p>Filtro a prova di fumo</p> <p>SEFC</p> <p>Compartimento 1   Compartimento 2   Compartimento 3</p>	<p>I compartimenti 2 e 3 sono a <i>prova di fumo</i> proveniente dal compartimento 1 e viceversa.</p> <p>Il compartimento 2 non è a <i>prova di fumo</i> proveniente dal compartimento 3 e viceversa.</p>

Tabella S.3-5: Esempi di compartimenti a prova di fumo: viste in pianta e descrizione

b) *Filtro*

Il filtro è un particolare compartimento antincendio all'interno del quale si ritiene improbabile l'insorgere di incendio ed è limitata la propagazione di effluenti dell'incendio dai compartimenti comunicanti. Le caratteristiche, affinché un compartimento possa definirsi filtro sono: avere classe di resistenza al fuoco non inferiore a 30 minuti (ovvero la capacità dello spazio di mantenere per un tempo prefissato a 30 minuti caratteristiche di capacità portante e di compartimentazione in presenza di condizioni di incendio e temperatura elevata); essere munito di due o più porte almeno con E 30-Sa munite di congegni di autochiusura (la classificazione sta ad indicare che la porta tagliafuoco deve garantire una tenuta (E) agli effetti prodotti dall'incendio per almeno 30 minuti, Sa indica la capacità della medesima di tenere in fumi e le sostanze gassose all'interno della zona con incendio); deve avere un carico di incendio specifico  $q_f$  non superiore a  $50 \text{ MJ/m}^2$  (il carico di incendio è il potenziale termico che lo spazio ha sulla base dei materiali costituenti il filtro stesso, ovvero il suo contributo all'incendio).

Inoltre, in tale spazio non devono essere detenute o trattate sostanze pericolose, né è consentito effettuare lavorazioni pericolose ai fini dell'incendio.

Queste prescrizioni devono essere rispettate tutte affinché un filtro possa definirsi tale. Il concetto di filtro, a livello pratico, è di realizzare uno spazio più severamente protetto e schermato dall'azione del fuoco del compartimento adiacente, spesso anteposto alle vie di esodo del fabbricato, come ad esempio vani scala. Nei filtri è ammessa la presenza di locali come portinerie, receptions, sale di attesa, impianti tecnologici e di servizio ausiliari al funzionamento dell'attività...

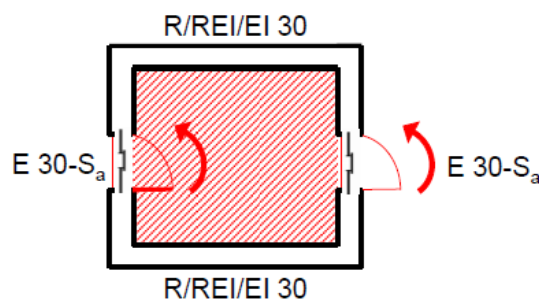


Figura 25, Filtro

c) *Filtro a prova di fumo*

Il filtro a prova di fumo è un filtro (quindi un compartimento) avente anche caratteristiche di compartimento a prova di fumo. Pertanto, in esso è improbabile l'innescò di incendio ed è impedito l'ingresso di effluenti dell'incendio.

Il filtro viene definito a prova di fumo se, oltre alle caratteristiche tipiche di un normale filtro, è dotato di una delle seguenti ulteriori caratteristiche:

- a. se è dotato di camino di ventilazione ai fini dello smaltimento dei fumi d'incendio, adeguatamente progettato e di sezione non inferiore a  $0,10 \text{ m}^2$ , sfociante al di sopra della copertura dell'opera da costruzione;
- b. se è mantenuto in sovrappressione, ad almeno 30 Pa in condizioni di emergenza, da specifico sistema progettato, realizzato e gestito secondo la regola dell'arte;
- c. se è areato direttamente verso l'esterno con aperture di superficie utile complessiva non inferiore a  $1 \text{ m}^2$ . Tali aperture devono essere permanentemente aperte o dotate di chiusura facilmente apribile in caso di incendio in modo automatico o manuale. È escluso l'impiego di condotti.

Inoltre, i filtri a prova di fumo devono avere varchi dotati di chiusure E30.

Il concetto alla base della normativa è semplice: mettendo in sovrappressione il locale di collegamento tra due compartimenti, si previene la possibilità che, in caso di incendio, fumi e gas di combustione provenienti da uno dei due compartimenti possano invadere il compartimento adiacente. Il locale che collega i compartimenti assume, quindi, il ruolo di filtro. Nella pratica, uno dei due compartimenti è frequentemente costituito dal vano scale che, in caso di incendio, costituisce una via di esodo privilegiata. Il locale filtro in sovrappressione previene la possibilità che il fumo possa invadere il vano scale.

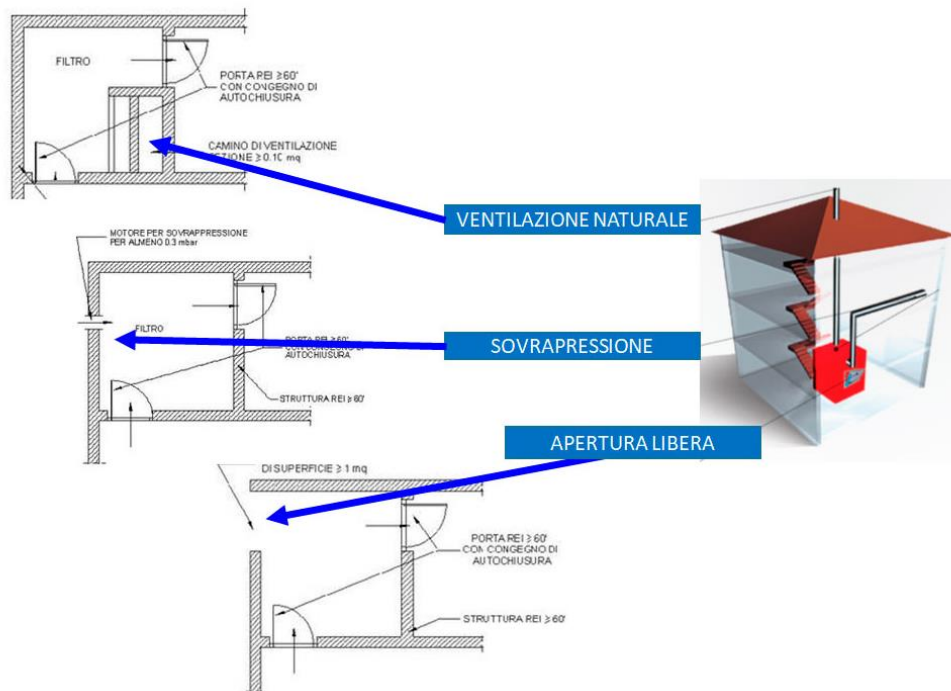


Figura 26, Esempi di soluzioni per filtri a prova di fumo

#### d) Spazio scoperto

Lo spazio scoperto non è un compartimento, ma appartiene al concetto di sistema di compartimentazione in quanto anche esso è finalizzato a limitare la propagazione dell'incendio e dei suoi effetti, quindi è un sistema di protezione. È uno spazio a cielo libero o superiormente grigliato, può essere esterno al fabbricato o interposto fra due o più compartimenti verso i quali si vuole garantire temporaneamente la propagazione dell'incendio.

Affinché lo spazio scoperto sia un luogo sicuro deve rispettare i vincoli geometrici di seguito riportati.

- 1) Se lo spazio è a cielo libero o superiormente grigliato, anche se delimitato su tutti i lati, deve avere una superficie minima in pianta ( $m^2$ ) non inferiore a quella calcolata moltiplicando per tre l'altezza in metri della parete più bassa che lo delimita e la distanza fra le strutture verticali che delimitano lo spazio scoperto deve essere non inferiore a 3,50 m.;
- 2) Se lo spazio scoperto è superiormente grigliato, il rapporto fra la superficie utile e quella lorda totale della griglia deve essere  $\geq 75\%$ ;

- 3) Se le pareti delimitanti lo spazio a cielo libero o grigliato hanno strutture che aggettano o rientrano, detto spazio è considerato «scoperto» se sono rispettate le condizioni del precedente comma e se il rapporto fra la sporgenza (o rientranza) e la relativa altezza di impostazione è non superiore ad 1/2;
- 4) Inoltre, la superficie minima libera deve risultare al netto delle superfici aggettanti.
- 5) La minima distanza di 3,50 m deve essere computata fra le pareti più vicine in caso di rientranze, fra parete e limite esterno della proiezione dell'aggetto in caso di sporgenza, fra i limiti esterni delle proiezioni di oggetti prospicienti.

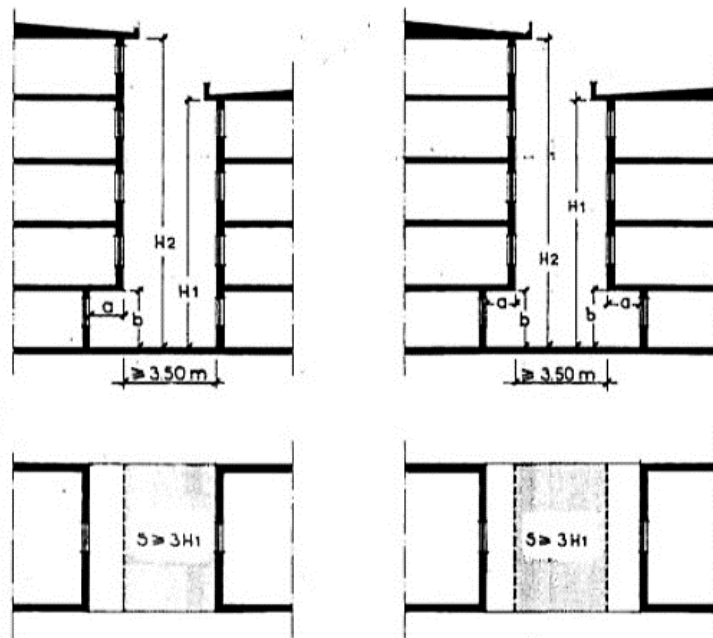


Figura 27, Esempi di soluzioni per lo Spazio Scoperto



e) Segnaletica

Al paragrafo S.3.5.7 il Codice parla di segnaletica. Questa è una prescrizione rivolta alle porte tagliafuoco appartenenti al compartimento. È prescritto che le chiusure siano contrassegnate su entrambi i lati con segnale UNI EN ISO 7010-F007, riportante la metodologia di chiusura: “porta tagliafuoco tenere chiusa” oppure “porta tagliafuoco a chiusura automatica” se munite di fermo elettromagnetico in apertura.



Figura 28, Segnaletica per porte tagliafuoco

Superfici vulnerabili di chiusura esterna del compartimento.

Se il compartimento è dotato di elementi strutturali aventi particolari tipologie costruttive (quali facciate continue, coperture, facciate ventilate, etc.), questi non devono inficiare la capacità di compartimentazione.

L'elenco di sopra sono spazi, elementi o oggetti che rappresentano sistemi di sicurezza tipici del sistema di compartimentazione, fra cui alcuni sono necessari (come i filtri e la segnaletica), altri sono arbitrari e dipendenti dalle scelte progettuali e costruttive (le superfici di chiusura esterna).

Continuando nella consultazione della norma, questa sempre al capitolo S.3 tratta anche altri concetti da cui il sistema di compartimentazione non può prescindere.

f) Continuità dei compartimenti

La continuità è una delle tante ambiguità della norma. Infatti, per continuità si intende “continuità del sistema di barriera”. Le chiusure verticali e orizzontali del compartimento devono formare necessariamente, ai fini di non costituire pregiudizio,

una barriera continua ed uniforme contro la propagazione degli effetti dell'incendio. Devono essere un ottimo sistema di barriera continua elementi come:

- le giunzioni tra gli elementi di compartimentazione;
- le parti dove avviene l'attraversamento degli impianti tecnologici o di processo, per le quali si adottano sistemi sigillanti resistenti al fuoco quando gli effetti dell'incendio possono attaccare l'integrità e la forma dell'impianto (es. tubazioni di PVC con collare, sacchetti penetranti nelle canaline portacavi, ...)oppure isolanti non combustibili su un tratto di tubazione oltre l'elemento di separazione quando gli effetti dell'incendio possono causare solo il riscaldamento dell'impianto (es. tubazioni metalliche rivestite, sul lato non esposto all'incendio dell'elemento di compartimentazione, con idonei materiali isolanti); -
- le canalizzazioni aerauliche, per mezzo dell'installazione di serrande tagliafuoco o impiegando canalizzazioni resistenti al fuoco per l'attraversamento dei compartimenti;
- i camini di esaustione o di estrazione fumi impiegando canalizzazioni resistenti al fuoco per l'attraversamento dei compartimenti;
- le facciate continue;
- gli ascensori o altri condotti verticali (es. cavedi per impianti, ...).

Nella premessa del capitolo S.3, il Codice dice:

“La compartimentazione è realizzata mediante:

- a) compartimenti antincendio, ubicati all'interno della stessa opera da costruzione;
- b) interposizione di distanze di separazione, tra opere da costruzione o altri bersagli combustibili, anche ubicati in spazio a cielo libero”, (C.P.I., S.3.1) [1].

La premessa introduce altri due concetti importanti caratterizzanti la compartimentazione.

g) *Distanza di separazione per limitare la propagazione dell'incendio*

L'innesco di un incendio comporta non solo il rischio di propagazione di fiamme e fumo, ma anche il rischio di propagazione per via del calore radiante sviluppato, per le correnti convettive e per trasporto di materiale solido incendiato. Al fine di evitare che, a causa di tali manifestazioni, un incendio si propaghi da un edificio all'altro,

viene interposta una distanza di sicurezza. La distanza di separazione non è, quindi, uno spazio del compartimento, ma è uno spazio in questo caso a cielo libero (cioè non delimitato superiormente) la cui finalità è di limitare la propagazione dell'incendio tra ambiti della stessa attività o attività differenti.<sup>7</sup> La distanza di separazione è una distanza di sicurezza minima misurata in pianta tra il perimetro di ciascun elemento pericoloso di un'attività ed il confine dell'area su cui sorge l'attività stessa.

Il Codice guida il progettista nella configurazione della distanza di separazione “d” per la soluzione conforme di livello II. La determinazione di questa può essere fatta attraverso un metodo tabellare oppure attraverso un metodo analitico per il quale impone un valore soglia di irraggiamento termico incidente sul bersaglio prodotto dall'incendio della sorgente considerata ( $E_{soglia} = 12,6 \text{ kW/m}^2$ ).

Inoltre, al progettista è richiesto di verificare almeno le seguenti tipologie di sorgenti e bersagli: opere da costruzione e depositi di materiali combustibili, anche ubicati in spazio a cielo libero.

L'ultima nota riferita alla distanza di separazione suggerisce che nel caso in cui il carico di incendio  $q_f$  nei compartimenti o nei depositi di materiali combustibili sia minore di  $600 \text{ MJ/m}^2$ , si considera comunque come soluzione progettuale conforme l'interposizione di spazio scoperto tra sorgente e bersaglio.

#### h) Ubicazione

Sempre prendendo a riferimento la premessa al capitolo S.3, l'altro concetto importante è quello di attività, di cui abbiamo già precedentemente parlato. Abbiamo visto come il concetto di attività, per cui la norma intende un insieme di azioni all'interno del medesimo luogo tutte aventi lo stesso livello di rischio, determini la progettazione del layout di un fabbricato, infatti: tanti sono i profili di  $R_{vita}$  tanti dovranno essere i compartimenti presenti.

Il concetto di ubicazione, dunque, fa riferimento alle attività: la norma generalmente ammette la presenza di più attività all'interno della stessa opera da costruzione, anche se queste hanno responsabili diversi o sono di tipologia diversa (C.P.I. S.3.9).

---

<sup>7</sup> Nota: se la distanza di separazione non rispetta i requisiti imposti dalla norma, allora edifici distinti sono comunque assimilabili a stesso compartimento. (E'uno spazio che pregiudica la fine di un compartimento).

### 1) Comunicazione tra attività

Purché venga dimostrata la necessità funzionale, è possibile prevedere comunicazioni anche fra differenti attività. Qualora la comunicazione sia prevista, i compartimenti con profilo di rischio  $R_{vita}$  in D1, D2 (che sono i casi in cui gli occupanti richiedono di ricevere cure mediche per le attività D1; per le attività di tipo D2 si intendono i luoghi di assistenza di persone non autosufficienti, sale operatorie e terapia intensiva) devono comunque essere a prova di fumo proveniente dalle altre attività.

La carrellata di definizioni appena effettuata contiene tutte le voci presenti nella sezione S3 del Codice riservata alla compartimentazione.

Per implementare nel software di riferimento il sistema di compartimentazione è necessario classificare ognuno degli elementi che lo caratterizzano e capire in che maniera questi possono essere rappresentati secondo una logica razionale e sistemica. A livello pratico, fare ciò non è così immediato: il corpo normativo si struttura come un elenco di concetti e definizioni spesso non sistematico e dove molte nozioni possono essere soggette ad interpretazioni, date le numerose note, eccezioni e rimandi ad altre direttive.

## **5.2.2. PRESTAZIONI DEL SISTEMA E LOGICA DI CONTROLLO**

Il paragrafo si svilupperà nel seguente modo: nella prima parte verranno descritti singolarmente i diagrammi usati e le relative interazioni, successivamente verrà descritta la logica con cui sono stati usati nel metodo.

### **Diagrammi e relazioni**

Come già detto, SysML è un linguaggio di modellazione dei sistemi complessi che si avvale di nove tipi di diagrammi.

Nella seguente tesi sono stati utilizzati il Block Diagram, riproposto più volte per mostrare prospettive differenti del sistema complesso “compartimentazione”, ma caratterizzate da relazioni differenti, e l’Activity Diagram.

### - Block Diagram

I blocchi sono unità modulari di descrizione del sistema. Ogni blocco definisce una raccolta di informazioni per descrivere il sistema o un suo elemento. Questi possono includere caratteristiche differenti (strutturali, comportamentali, proprietà e funzioni), al fine di rappresentare lo stato del sistema e il comportamento che il sistema può esibire.

Il diagramma dei blocchi, in SysML, è utile per definire non solo le caratteristiche specifiche di ogni singolo blocco, ma anche per comprendere le relazioni che possono esserci fra di essi (come associazioni, generalizzazioni, dipendenze e proprietà), nonché per fornire una o più gerarchie del sistema.

I tipi di connessioni tra i blocchi o il modo in cui questi si relazionano varia a seconda della prospettiva adottata in ogni singolo diagramma. Quindi, sono state selezionate differenti tipologie di relazioni in base a ciò che il modello volesse raccontare.

Nel nostro caso, i blocchi SysML saranno utilizzati durante tutte le fasi di specifica e di analisi del sistema, rendendo possibile sia la modellazione della scomposizione logica che fisica del sistema.

Element Name	Concrete Syntax Example	Abstract Syntax Reference
BlockDefinition Diagram	<pre>graph LR     subgraph bdd [ Namespace 1 ]         B1["«block» Block1"]         B2["«block» Block2"]         B1 -- "part1" --&gt; B2     end</pre>	SysML::Blocks::Block UML4SysML::Package

Figura 29, Struttura di un Block Diagram, fonte Manuale "OMGSysML"

### - Activity Diagram

In SysML tutti i comportamenti sono classi, incluse le attività; mentre le loro istanze sono esecuzioni dell'attività. La creazione di un'istanza di un'attività provoca l'avvio dell'esecuzione dell'attività e viceversa la creazione di un'attività. Altresì la distruzione di un'istanza di un'attività interrompe l'esecuzione corrispondente e viceversa.

Il modello risultante è un modello temporale o causale, che può essere utilizzato per rappresentare vincoli temporali e di causa – effetto e di durata delle azioni in un modello di attività. È, quindi, un mezzo per rappresentare la scomposizione dell'attività secondo una scomposizione funzionale.

Nel nostro caso, ci siamo serviti del blocco “Call Operation”, il quale mostra istantaneamente l’operazione svolta e da chi. La sequenza delle operazioni sarà soltanto di tipo causale.

- Relations and Informations Flow

Gli elementi del modello possono essere collegati da relazioni che sono rappresentate graficamente tramite linee, ognuna avente una propria grafica e semantica.

Ci sono quattro sottotipi fondamentali di relazioni: Association, Generalization, Dependency, Realization.

Un metodo mnemonico per ricordarsi il verso di tutte le frecce in SysML è il seguente: tutte le frecce vanno da chi sa verso chi non sa (dell’esistenza dell’altro). In una generalizzazione, ad esempio, il figlio sa di estendere il genitore, ma il genitore non sa di essere esteso. In una dipendenza, chi dipende sa da chi dipende, ma non viceversa. In una realizzazione, chi implementa conosce la specifica, ma non il contrario.

Le relazioni utilizzate nella modellazione sono elencate di seguito e di volta in volta descritte.

a. Relazione di Associazione/Composizione

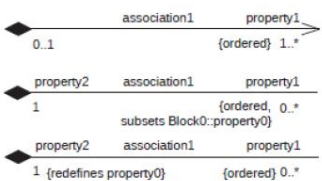
Element Name	Concrete Syntax Example	Abstract syntax Reference
PartAssociation		UML4SysML::Association and UML4SysML::Property with aggregationKind = composite

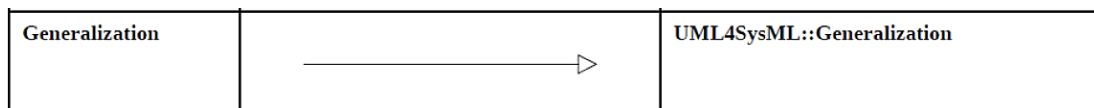
Figura 30, Relazione di Associazione/Composizione, fonte Manuale "OMGSysML"

Una relazione di composizione descrive la relazione di associazione o aggregazione fra un composito ed un suo compositore, nonché la sua durata (il secondo ha una durata definita dal primo). Ogni parte può appartenere ad un solo composito per volta ed il composito è l’unico responsabile di tutte le sue parti, questo vuol dire che è responsabile della loro creazione e distruzione. Se il composito viene distrutto, distrugge anche tutte le sue parti.

In altre parole, nella composizione la parte non può esistere separata dal tutto (assonanza con le proprietà dei sistemi complessi). È un tipo di aggregazione dove è possibile che più aggregati condividano una stessa parte, l'aggregazione è transitiva e asimmetrica. Come viene illustrato nella seguente figura, una relazione di composizione viene visualizzata come una linea piena con un rombo pieno nell'estremità di associazione, collegata al classificatore di cui è composto.

Con questa simbologia andremo a scomporre il sistema di compartimentazione nelle sue componenti e parti caratterizzanti il sistema stesso e verrà usato per descrivere un compositore o un suo subordinato.

#### b. Relazione di Generalizzazione.



*Figura 31, Relazione di Generalizzazione, fonte Manuale "OMGSysML"*

La generalizzazione è una relazione che connette un elemento generale (primario) ad un elemento della stessa categoria, ma specializzato (secondario). L'elemento secondario dipende dal primario, verso cui è orientata la freccia e ne descrive una specializzazione.

Le relazioni di generalizzazione vengono utilizzate nei diagrammi di classe per indicare che il secondario riceve tutti gli attributi, le relazioni e le operazioni definite nel principale. Dal momento che, nelle generalizzazioni, gli elementi secondari ereditano attributi, operazioni e relazioni del principale, è sufficiente definire per il secondario solo gli attributi, le operazioni o le relazioni per cui differisce dal principale.

Con questo simbolo si descriverà il sistema dal generale al particolare nel diagramma dei Tipi.

c. Relazione di Allocazione.

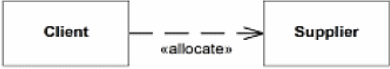
Node Name	Concrete Syntax	Abstract Syntax Reference
Allocation (general)		SysML::Allocation:Allocate

Figura 32, Relazione di Allocazione, fonte Manuale "OMGSysML"

Con la simbologia Allocazione si descrive la funzione allocata ad un elemento nei confronti di un secondo.

d. Relazione di Dipendenza.

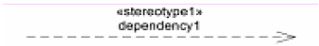
Element Name	Concrete Syntax Example	Abstract Syntax Reference
Dependency		UML4SysML::Dependency

Figura 33, Relazione di Dipendenza, fonte Manuale "OMGSysML"

Con tale simbologia si creano relazioni di dipendenza fra blocchi.

Una dipendenza è una relazione semantica. Si riporta un esempio per chiarire la relazione creata: si considerano due ruoli come il fornitore (il supplier) ed il cliente (client), in questa relazione la freccia va tipicamente dal cliente verso il fornitore. Il tipo di dipendenza che lo stereotipo indica è che il cliente dipende semanticamente o strutturalmente dal fornitore. Una dipendenza significa che il cliente ha bisogno del fornitore per la propria specifica o implementazione; variazioni alla specifica del supplier possono cambiare quella del client, ma non il contrario perchè il fornitore è un'entità indipendente.



e. Control Flow


<b>ControlFlow</b>		<b>UML4SysML::ControlFlow</b> <b>SysML::Activities::ControlFlow</b>
--------------------	-----------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------

Figura 34, ControlFlow, fonte Manuale "OMGSysML"

Relazione di collegamento delle operazioni che indica il flusso di controllo fra queste, in un diagramma attività.

f. Inizio Attività

<b>InitialNode</b>		<b>UML4SysML::InitialNode</b>
--------------------	-----------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------

Figura 35, Simbolo Inizio Attività, fonte Manuale "SysML"

Simbolo proprio del diagramma attività che indica l'inizio del processo di lavoro o delle attività in generale.

g. Fine Attività

<b>Notation Name</b>	<b>Concrete Syntax</b>	<b>Abstract Syntax Reference</b>
<b>ActivityFinal</b>		<b>UML4SysML::ActivityFinalNode</b>

Figura 36, Simbolo Fine Attività, fonte Manuale "OMGSysML"

Simbolo proprio del diagramma attività che indica la chiusura del processo.

## h. Attori

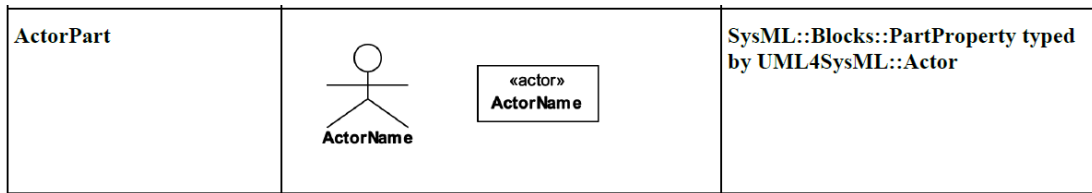


Figura 37, Simbolo Attori, fonte Manuale "OMG SysML"

Simbolo che indica chi sono gli attori coinvolti

## i. Flusso di Informazioni

La freccia "Information Flow" riferisce l'informazione scambiata fra due blocchi. È un canale informativo che permette il flusso di informazioni fra elementi, dalla fonte alla destinazione.

Ne faremo uso nel piano di manutenzione.

Con i diagrammi e le relazioni elencati è stato possibile modellare il "sistema compartimentazione".

### **Descrizione qualitativa**

Affinché una modellazione possa dirsi completa, questa deve restituire tutte le rappresentazioni necessarie al fine di descrivere compiutamente i tre aspetti caratteristici del sistema complesso: la struttura, il comportamento e la funzione.

- **Struttura:** la struttura definisce il cosa del modello, quali sono gli elementi principali che lo compongono, quali sono le relazioni tra questi elementi. La struttura consente di creare gerarchie di sistema sia in termini di tassonomia (tipi di elementi di un sistema, scomposizione di livelli concettuali e classificazione), nonché fisica. Altresì, le relazioni tra gli elementi del sistema sono importanti quanto gli elementi del sistema stessi.
- **Comportamento:** il comportamento definisce il come del modello. È il luogo dove guardiamo in quale ordine le cose accadono e in quali condizioni

accadono, quindi, implica la conoscenza dei limiti e dei vincoli dell'elemento stesso.

Mentre la struttura consente di scomporre il modello in gerarchie, il comportamento tende ad applicarsi a livelli specifici della gerarchia. Le relazioni sono considerate dinamicamente, piuttosto che staticamente.

- Funzione: la funzione indica il perché dell'esistenza ed il fine del modello stesso. Indica il perché esistono gli elementi e il perché delle loro relazioni.

Per descrivere i tre aspetti del Sistema Compartimentazione, è stato necessario servirsi di sei diversi diagrammi. Ognuno di essi rappresenta una prospettiva differente.

I diagrammi realizzati per descrivere la compartimentazione sono i seguenti:

1. Types Diagram;
2. Components Diagram;
3. Requirements Diagram;
4. Functions Diagram;
5. Activity Diagram;
6. Maintenance Diagram.

I diagrammi verranno definiti su Modelio tutti con nomina "Compartmentalization" (Compartmentalization Types, etc...)

Seguiranno le descrizioni concettuali dei sei diagrammi.

#### 1. Types Diagram

(Compartmentalization Types è il nome corrispondete su Modelio).

Il digramma dei Tipi è il primo modello creato, in esso i blocchi sono relazionati fra loro da un'unica tipologia di relazione: quella di "Generalizzazione".

Questo diagramma è tipo concettuale, in cui sono definite le classi di elementi (e le relative specializzazioni) necessarie a descrivere la compartimentazione sia sotto il punto di vista del normatore, che quello del facility manager.

Pertanto, il diagramma contiene entità fisiche, funzionali ed astratte.

## 2. Components Diagram

(Compartmentalization Components)

Il diagramma dei componenti è caratterizzato dalle frecce di “Composizione”.

Esso è rappresentativo di cosa si compone il sistema di compartimentazione. La composizione è in termini di ruoli ed è gerarchica (i blocchi sottostanti non esisterebbero se non ci fossero quelli al di sopra, ma non è vero il contrario). È il modello contenente tutti gli oggetti che influiscono sulla struttura della compartimentazione.

## 3. Requirements Diagram

(Compartmentalization Requirements)

Il diagramma dei requisiti ci permette di capire il comportamento degli elementi, il quale è regolato o limitato dai vincoli normativi prescritti. Contiene, quindi, quelli che noi definiremo *requirements*: tutte le caratteristiche che un blocco deve avere al fine di rispondere all’ idoneità normativa. La prospettiva è dunque quella più vicina al progettista antincendio.

In questo diagramma compaiono varie tipologie di relazioni: quelle di composizione, quelle di generalizzazione e di dipendenza.

## 4. Functions Diagram

(Compartmentalization Functions)

La prospettiva di questo diagramma è quella di mostrare la funzione degli elementi, di giustificare il perché della loro esistenza.

Nel nostro caso questo diagramma risulterà “scarno” di contenuto, questo si giustifica col fatto che il sistema di compartimentazione è una misura di protezione di tipo passiva.

Pertanto, in esso si concentra tutta la sezione S.3 del C.P.I.: rappresenta la funzione principale del compartimento.

La relazione è di allocazione ed è il diagramma è propedeutico a quello delle attività.

## 5. Activity Diagram

(F1: LIMIT SPREAD OF FIRE)

È il diagramma contenete le azioni che dovrebbero essere svolte in caso di emergenza: chi fa cosa; le relazioni di causa ed effetto generate da ognuna delle operazioni compiute ed il risultato.

La chiusura delle attività è rappresentativa del fatto che ognuna delle operazioni è stata svolta correttamente; pertanto, determina il successo della missione (esito positivo del funzionamento del sistema di compartimentazione).

La prospettiva che vuol dare questo diagramma è quella di rendere immediatamente e facilmente leggibile le procedure che devono essere compiute in caso di scoppio incendio. L'ottica è quindi quella di corretto funzionamento delle componenti di sistema; se vogliamo è l'ottica più sensibile all'individuazione dell'emergenza. Si ricorda, infatti, le modellazioni su SysML sono propedeutiche al modello FMEA con cui si effettua l'analisi dei guasti.

Il diagramma delle attività e le FMEA sono fra loro complementari: il secondo individua il guasto, il primo permette di risalire all'operazione che non ha svolto correttamente la sua attività.

## 6. Maintenance Diagram

(Maintenance Plan of Fire Door)

Il diagramma di manutenzione è necessario per chiudere il quadro di gestione di una facility in fase d'esercizio. Gestire una facility significa, come abbiamo visto, anche programmare un piano di manutenzione e compiere attività di controllo costanti.

Manutenzione, controllo e analisi dei guasti (FMEA) sono tutti aspetti complementari, che rendono esaustiva la valutazione dei rischi e delle emergenze e con i quali si vuole di ridurre lo spazio lasciato all'incertezza.

Nel nostro caso, il diagramma di manutenzione è esemplificativo di una delle tante attività di manutenzione che riguardano il sistema di compartimentazione. Abbiamo preso ad esempio le porte tagliafuoco e rappresentato il piano di manutenzione previsto per queste.

Nel capitolo successivo riporteremo i risultati ed i grafici e faremo una lettura più dettagliata.

### **5.2.3 MODELLAZIONE DELLE MODALITÀ DI GUASTO (FMEA)**

La FMEA è l'ultimo modello a completamento del metodo proposto nel seguente lavoro di tesi. Con le tabelle FMEA si compie l'analisi di valutazione dei rischi e, seguendo un ragionamento di tipo diagnostico, si chiude perfettamente il quadro di procedura di conoscenza analitica e sistemica di un sistema complesso ed espleta l'attività di controllo dello stesso ai fini della prevenzione incendi e gestione delle emergenze.

Si tratta di un modello previsionale incentrato sulla stima del rischio di non funzionamento di un componente dell'organismo edilizio, il cui impatto potrebbe pregiudicare la salvaguardia della vita umana e dei beni.

Il modello è indirizzato alla individuazione di tutti i possibili guasti ed imprevisti che potrebbero presentarsi durante la fase di esercizio e di gestione della facility ed anche durante l'emergenza incendio stessa, al fine di prevenirli o comunque di mitigarne gli effetti.

In questo metodo, le tabelle FMEA indagano sulle cause dei guasti a 360 gradi, ammettendo che il guasto possa essere di natura tipicamente elettronica, tecnologica, informatica, quanto di natura umana.

Si rimarca il fatto che la variabile umana non può più prescindere lo studio del sistema complesso "facility".

## 6 RISULTATI

In questo capitolo verranno mostrati i risultati grafici ottenuti e descritti dettagliatamente.

### 6.1 COMPARTIMENTAZIONE

Tenendo conto dei limiti riscontrati e di cui si è parlato nel paragrafo 4.3 “Vincoli e limiti dei riferimenti normativi”, la modellazione del Sistema di Compartimentazione è stata possibile solo a seguito di un vero e proprio processo di decifrazione della norma di riferimento, il Codice Prevenzione Incendi. Infatti, mentre la norma affronta la compartimentazione come la stesura di un elenco di voci in cui susseguono definizioni, caratteristiche e concetti; l’ingegnere è tenuto a riordinare tale elenco secondo una struttura organizzata e che abbia una logica di propedeuticità ed anche gerarchica.

#### *1) Compartmentalization Types*

Il primo diagramma realizzato è il Diagramma dei Tipi. Questo contiene i concetti espressi nella sezione S.3 del C.P.I. riferita alla misura di prevenzione di Compartimentazione. Esso è rappresentativo sia della prospettiva del normatore (primo stakeholder del sistema), che dei concetti d’interesse al Facility Manager.

Il livello è concettuale: ogni blocco è un concetto e questo può avere delle specializzazioni o meno. Un blocco sottostante contiene ulteriori specifiche rispetto al blocco superiore, quindi è una sua specializzazione.

Analizziamolo e capiamone la lettura.

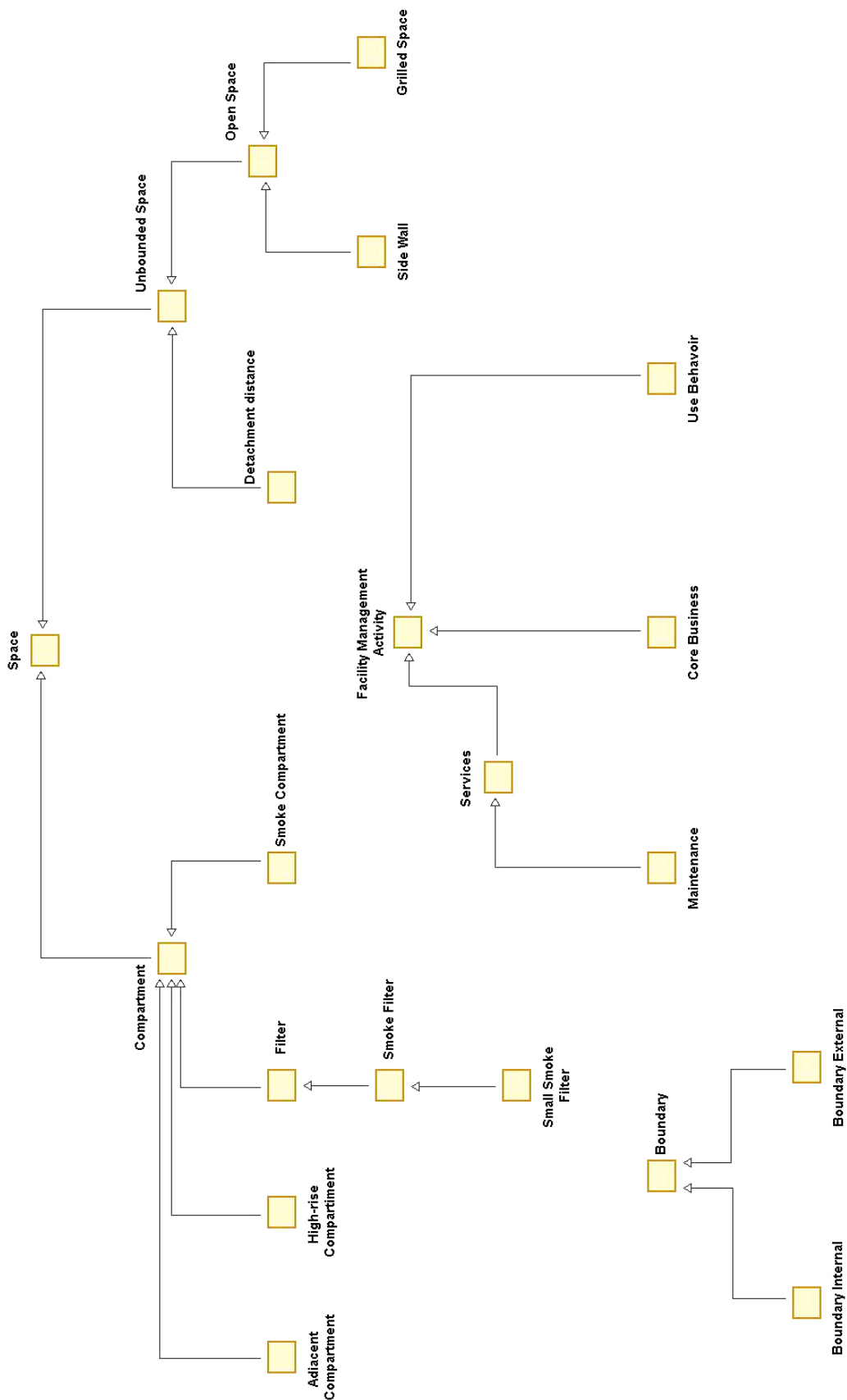


Figura 38, Compartmentalization Types



Il sistema di compartimentazione, inserito in una facility, è l'insieme sia di elementi che occupano uno spazio (quelli tipicamente individuati dal normatore) che di elementi "più astratti" (di interesse al Facility Manager) che rappresentano l'esigenza per cui esiste la facility stessa.

- *Space*

*Space* è l'insieme generalizzato degli oggetti che rappresentano entità di tipo spaziale e/o fisiche

Stando al paragrafo S.3.1., la compartimentazione è realizzata da una distanza di sicurezza (*detachment distance*) e da compartimenti antincendio (*compartment*). Il primo è una specializzazione dello spazio a cielo libero (*Unbounded space*), mentre l'altro si specializza. Quindi, *Unbounded space* è la generalizzazione di distanza di sicurezza e spazio scoperto (*Open Space*), il quale a sua volta ha altre due tipologie differenti di specializzazioni. *Compartment* è la generalizzazione di compartimenti a prova di fumo, filtri (con ulteriori specializzazioni) ed altre tipologie specializzanti.

Tutte le specializzazioni (ovvero i blocchi che si ramificano verso il basso) sono giustificate dal fatto che per ognuna di queste la norma detta requisiti specifici e vincolanti, ma includono tutti le proprietà di quello sovrastante.

La relazione di generalizzazione implica che l'elemento specializzato contenga tutti gli attributi del primario e, in aggiunta ad essi, restrizioni ulteriori. Ad esempio: *adjacent compartment* è una specializzazione di *compartment*, poiché a questo è richiesto di avere una classe di resistenza minima EI60 per gli elementi divisorii.

- *Facility Management Activity*

Le attività del Facility Management.

Il blocco rappresenta l'integrazione dei processi della facility per mantenere ed erogare i servizi finalizzati al raggiungimento del core business (gestione, programmazione delle emergenze, ottimizzazione dei processi aziendali, ottimizzazione dei costi, miglioramento del benessere degli utenti, etc).

Le attività del Facility Management comprendono gli aspetti di:

- benessere degli utenti;
- analisi di valutazione, decisionali e di ottimizzazione legati al core business;
- manutenzione e controllo dei servizi della facility.

Tale blocco è rappresentativo del ruolo del facility manager.

Come ogni facility, questa ha un *core business*, cioè una missione.

Ci saranno degli utenti (alcuni svolgeranno attività, altri ne usufruiranno) che interagiscono con la struttura con il loro comportamento, *use behavior*.

Al paragrafo S.3.1, il C.P.I. detta che la funzione di limitazione della propagazione del fuoco è riferita alle attività: concetto rilevante ai fini della progettazione di un compartimento<sup>8</sup>.

Le attività sono per il Facility Manager i *services*, ovvero i servizi della facility (qualcosa a cui è dedicata una specifica funzione, quali: servizio mensa, servizio alloggio, servizio reception, servizio di monitoraggio...) e per cui sono necessarie operazioni di manutenzione, *maintenance*.

Si riporta un esempio: l'Università Politecnica delle Marche è una facility, una società pubblica. Il suo core business è l'istruzione e la ricerca. Il raggiungimento del core business contempla non solo i luoghi presso cui svolgere le attività di istruzione (le aule di apprendimento), ma anche altre tipologie di servizi (biblioteche, mense, centri sportivi, etc.) i quali contribuiscono al soddisfacimento dei bisogni generali degli utenti. Ad ognuna dei *services* il C.P.I. attribuisce un  $R_{vita}$  (A2-A3 per le aule, A1 per palestre, B1-B2 per mense) e per cui dovrà essere eseguita opportuna e specifica manutenzione in base alle apparecchiature ivi presente.

La norma parla del concetto di "continuità", a cui dedica il paragrafo S.3.7.3.

La continuità è il comportamento atteso da alcuni elementi di chiusura e separazione al fine di non far decadere le prestazioni dell'intero sistema compartimentate.

---

<sup>8</sup> Nota: Per definizione normativa si ricorda che una attività è un complesso di azioni organizzate (con specifico  $R_{vita}$ ) e per cui si avrà un certo layout di compartimentazione.

Per il Facility Manager, dunque, la continuità è un requisito, mentre l'oggetto a cui è riferito è *Boundary Internal* (espressione con cui abbiamo denominato gli elementi di confine).

Nel paragrafo S.3.5.6., similmente il Codice prescrive che superfici particolari o con tipologie costruttive differenti (riferendosi agli elementi di chiusura dell'involucro verso l'esterno come le coperture) non rappresentino zone di pregiudizio per l'efficacia del sistema e parti di decadimento delle prestazioni (*Boundary External*).

Le due tipologie di chiusure sono specializzazione di *Boundary*.

Ecco che la mappatura della norma è possibile solo dopo che il Facility Manager ne abbia dato una lettura scomponendo il sistema in: Structure, Behavior e Functions.

SysML consente di descrivere internamente e dettagliatamente i blocchi, le informazioni in essi contenute verranno trasferite a tutti i diagrammi del modello con medesimo nome. La creazione del blocco è unica su tutto il modello e questo facilita la modellazione, poiché il software registra possibili errori di relazioni fra le varie prospettive permettendo così di ottenere un modello complessivamente coerente.

Nel nostro caso, i blocchi conterranno nelle note descrittive le medesime descrizioni date dal C.P.I.

## 2) *Compartmentalization Components*

Il diagramma delle componenti dice da cosa è composto il sistema di compartimentazione, quali sono gli elementi che contribuiscono alla realizzazione di questo e con quale gerarchia. È un diagramma di composizione, che ci dice *come* gli oggetti fanno parte del sistema.

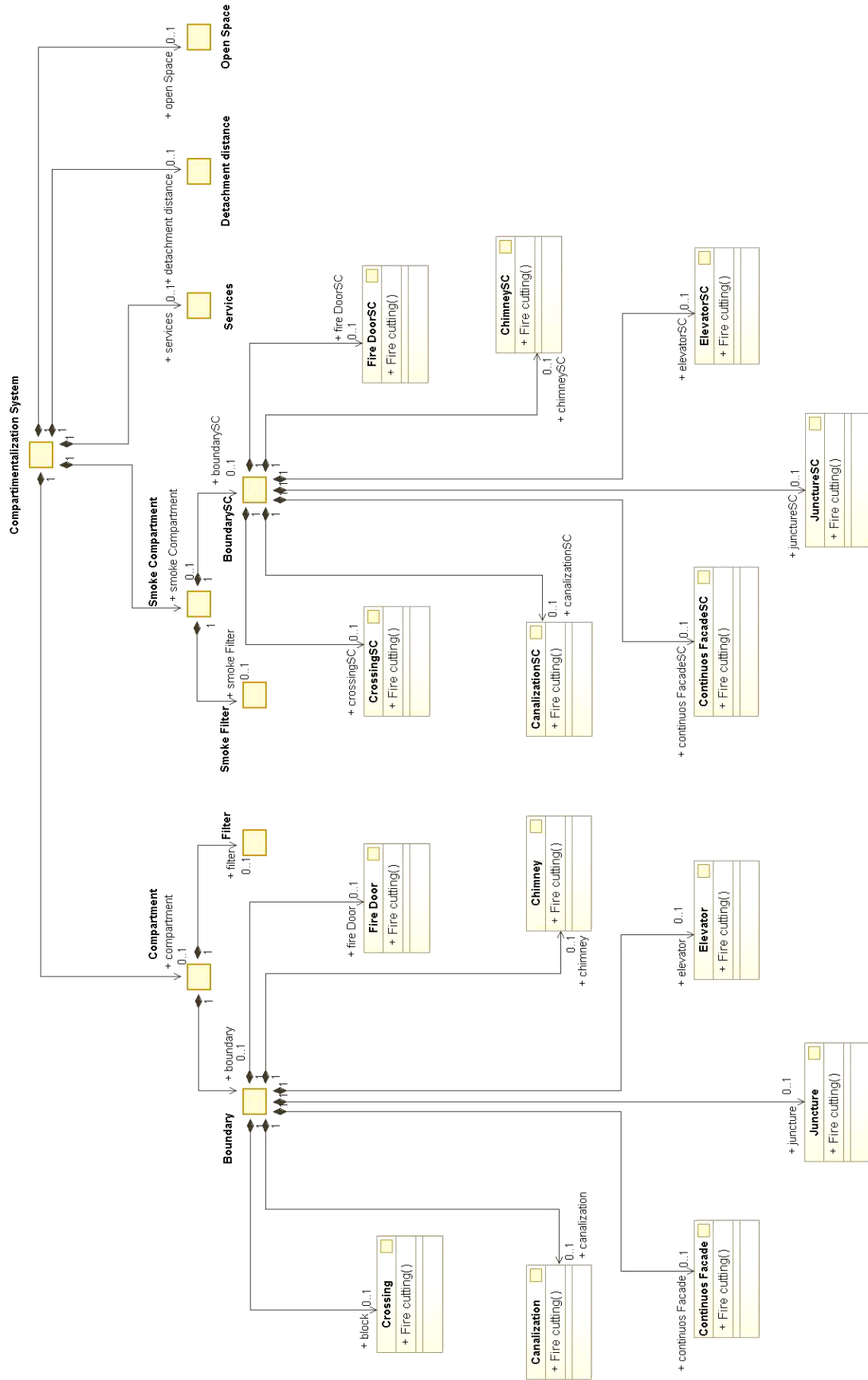


Figura 39, Compartmentalization Component

Appaiono gli oggetti che realizzano la compartimentazione che e contribuiscono a darle prestazione.

Si noti che la composizione viene fatta in termini di ruoli (e non di tipi).

Completano o incrementano le prestazioni della compartimentazione e con ruoli differenti i sistemi di sicurezza:

*a. compartment;*

*b. smoke compartment;*

*c. services;*

*d. detachment distance;*

*e. open space.*

Questi elementi a loro volta potrebbero essere composti da ulteriori elementi sottostanti (quindi non dello stesso livello gerarchico), poiché sono elementi che a loro volta conferiscono e/o completano le prestazioni del loro superiore.

Osservazione:

1. il filtro è sottostante il compartimento, poiché da definizione normativa questo è un compartimento e svolge il medesimo ruolo, ma con ulteriori prestazioni; quindi, è una sua sotto – categoria.

Inoltre, si noti che:

- un compartimento richiede la presenza di uno o più filtri;
- un intero compartimento generalmente non è adibito a filtro (se non per progettazioni eccezionali e particolari, come potrebbe essere la realizzazione di compartimenti a prova di fumo all'ultimo piano e la cui altezza sia tale da provvedere naturalmente all'estrazione del fumo. Tuttavia, per casi rari come questi si rimanda a valutazioni e, quindi, classificazioni gerarchiche specifiche. In questa sede, come detto, ci promuoviamo di dare ordine razionale e sistemico alle soluzioni conformi e standard del corpo normativo, con l'intento di fornire una chiave di lettura ed un metodo.);

2. Il compartimento a prova di fumo svolge un ruolo differente: impedisce l'ingresso di effluenti. Inoltre, la sua esistenza è indipendente da quella del compartimento tradizionale (in un edificio possono essere realizzati anche tutti compartimenti a prova di fumo).

### 3) *Compartmentalization Requirements*

Il diagramma contiene tutti gli elementi del sistema di compartimentazione, le rispettive sottocategorie (se previste) e le specializzazioni per cui sono richiesti vincoli prestazionali. Ognuno dei blocchi è descrittivo dei requisiti necessari all'elemento da cui dipende (relazione di dipendenza) affinché l'elemento possa considerarsi conforme alla norma e rispondere ai principi di idoneità e legalità.



Nel diagramma appaiono nozioni quali: *communications activities; ubication; fire resistance* e relative composizioni; *general design rules* e *conform solutions*.

Le prime due nozioni sono requisiti concessi dalla norma alle attività (cioè la comunicazione fra attività differenti e la loro coesistenza nella medesima opera costruttiva). Mentre le altre nozioni sono requisiti derivanti dall'attività di progettazione del compartimento.

Per poter essere a norma, il sistema di compartimentazione deve essere progettato seguendo le regole generali di progettazione previste dal C.P.I. (*general design rules*). Allo stesso modo deve rispondere al requisito resistenza al fuoco (*fire resistance*), il quale implica che gli elementi strutturali e non rispettino le classi di resistenza minime specifiche (definite alla sezione S.2), *fire resistance classes*.

Dopo aver garantito la resistenza al fuoco e rispettato le regole generali di progettazione, il progettista è tenuto a rispettare ulteriori requisiti in base al tipo di soluzione conforme scelta, *conform solutions*.

L'insieme di tutte le regole di progettazione e dei vari elementi determinano l'idoneità normativa della compartimentazione. Il diagramma è una rappresentazione sistemica dei requisiti e vincoli dettati per ognuno di suddetti elementi.

Osservazioni:

1. il C.P.I. parla di “Segnaletica” e non di porte di estinzione (*fire door*). Per il Facility Manager è un attributo riferito alle porte, la segnaletica c'è nel momento in cui ci sono i sistemi di chiusura<sup>9</sup>.
2. *Smoke compartment* in questo caso è una specificazione di *compartment*, ciò significa che questo deve avere i requisiti del compartimento, a deve anche essere dotato di ulteriori sistemi di protezione, al fine di impedire l'ingresso di fumi e gas. I requisiti sono in parte condivisi, seppur il ruolo sia (sottilmente) differente come descritto nel diagramma di composizione. Infatti, a differenza di *filter*, in un edificio possono essere realizzati tutti e solo compartimenti a prova di fumo, i quali dovranno prevedere a loro volta *smoke filter*.

---

<sup>9</sup> Nota: il concetto di “segnaletica” rientra nelle ambiguità di cui si è parlato nel paragrafo 4.3 riferito ai vincoli e ai limiti normativi. Punto di vista del normatore ed ottica del Facility Manager.



In questa tesi abbiamo cercato di mappare razionalmente la sezione S.3 del Codice di Prevenzioni Incendi. Tuttavia, le materie Sicurezza Antincendio e la Fire Safety Engineering sono composte e dipendono, come mostra il C.P.I., da molteplici aspetti e misure di protezione che devono essere prese in considerazione tutte e contemporaneamente durante la progettazione. In particolar modo, la sezione S.3 è complementare alla sezione S.2, di cui in questa modellazione si è dato solo accenno. Ciò che si vuole far passare è appunto il metodo.

#### 4) *Compartmentalization Functions*

Nel diagramma delle funzioni sono rappresentati gli oggetti principali che rendono possibile la funzione di compartimentazione.

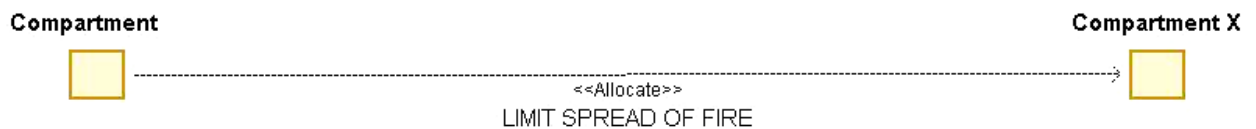


Figura 41, *Compartmentalization Functions*

Un *compartment* deve limitare la propagazione del fuoco verso un secondo *compartmentX*, la cui funzione è esplicitamente descritta dalla relazione di allocazione.

A garantire la capacità di compartimentazione contribuiscono svariati elementi caratterizzanti il compartimento stesso: elementi di chiusura (porte tagliafuoco) ed elementi di barriera (giunzioni, canalizzazioni, etc.). Questi oggetti sono chiamati a svolgere un'operazione (si veda il diagramma delle attività a cui il diagramma in esame è propedeutico).

Osservazioni:

1. la misura di prevenzione antincendio di compartimentazione è un sistema di protezione passiva.; pertanto, la funzione svolta è unica per tutto il sistema. Questo giustifica la rappresentazione coincisa e sintetica del diagramma delle funzioni.
2. il diagramma è propedeutico a quello delle attività;
3. il diagramma contiene solo gli elementi fisici.

#### 5) *F1: LIMIT SPREAD OF FIRE*

Il diagramma delle attività è successivo al diagramma delle funzioni, in esso sono descritte le operazioni che realizzano la funzione “LIMIT SPREAD OF FIRE”.

Nel nostro caso, è un diagramma di causalità nel quale gli oggetti *juncture, fire door, crossin...* sono chiamati a compiere l’operazione *fire cutting*.

Infatti, il buon esito (ovvero la salvaguardia della vita umana e a seguire dei beni) in risposta all’innescio di un incendio, dipende contemporaneamente da oggetti differenti, i quali svolgono la medesima attività.

Se le operazioni si concludono positivamente la funzione “LIMIT SPREAD OF FIRE” è soddisfatta.

Qualora il fine non sia stato raggiunto, attraverso il diagramma si può risalire all’ “operazione causa” che non ha esplicato correttamente l’attività *fire cutting*.

Pertanto, la prospettiva del diagramma delle attività è rendere immediata la lettura del passaggio operativo nel quale si è verificato l’imprevisto.

Le cause di guasto saranno luogo di indagine delle successive tabelle FMEA. Nelle FMEA, complementari a tali diagrammi, si risale a quale componente o elemento presenti “guasto”, cioè all’origine del problema.

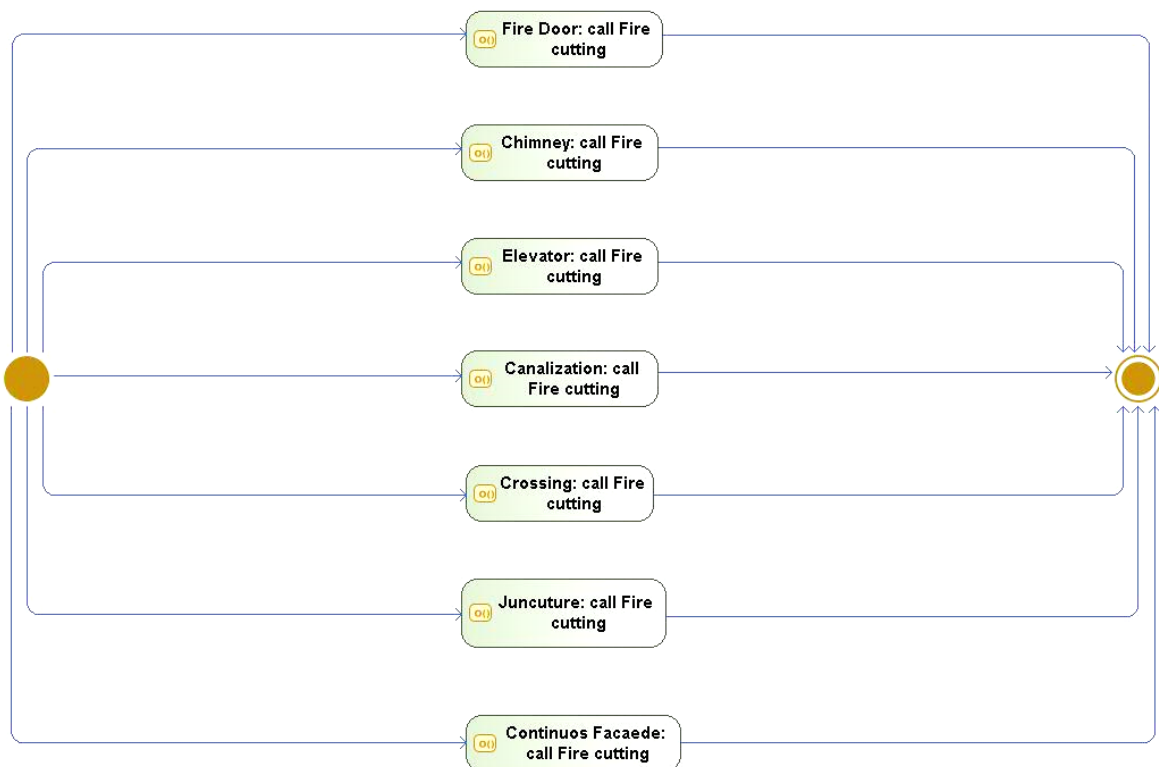


Figura 42, Activity Diagram: "LIMIT SPREAD OF FIRE"

*“Gli oggetti sono chiamati a compiere un'operazione.*

*L'operazione svolta dagli oggetti è di "tagliare il fuoco".*

*Il requisito con cui lo fanno è dare continuità alla barriera di chiusura fra  
compartimenti.*

*L'operazione svolta dagli oggetti afferisce alla funzione del Compartimento: LIMIT  
SPREAD OF FIRE”.*

Anche in questo caso, il diagramma delle attività riportato è una fra le tante operazioni che riguardano la sicurezza agli incendi in un compartimento.

### 6) Maintenance Plan of Fire Door

Il digramma descrive il piano di manutenzione per le porte tagliafuoco.

Sono previsti quattro tipologie di controlli, a seconda dalla gravità del guasto. Per ogni controllo l'addetto responsabile, con livello di qualifica adeguato all'entità del danno, svolge attività che vanno da semplici test visivi piuttosto che riparazioni o sostituzioni e producono conseguentemente rapporti di intervento o relazioni di certificazione.

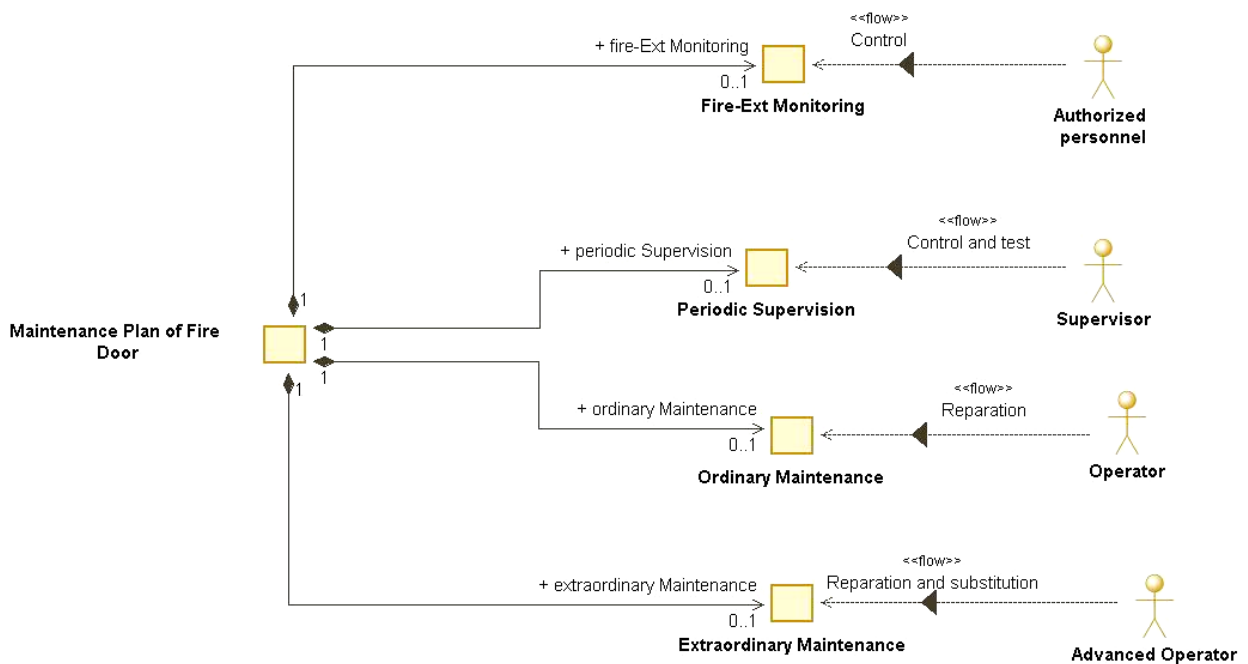


Figura 43, Maintenance Plan of Fire Door

A titolo esemplificativo ci si è concentrati sulla manutenzione della porta di estinzione al fuoco.

Tuttavia, gli apparecchi a supporto del sistema di compartimentazione sono molteplici e si deve avere un piano di manutenzione per ognuno di essi, proprio come previsto dalla GSA.

## 6.2 ANALISI DELLE MODALITÀ DI GUASTO

Le tabelle FMEA chiudono il processo di conoscenza analitica e sistemica del sistema complesso. L'automazione del sistema, quindi la capacità di controllo che il Facility Manager ha su di esso, rende attuabile non solo la gestione ma anche la mitigazione e riduzione dei possibili incidenti<sup>10</sup>.

La proposta di FMEA riportata è riferita alla porta tagliafuoco.

Fra i *potential failure modes* non si esclude la possibilità che il sistema abbia fallito non per cause di malfunzionamento riconducibili alla porta, bensì di cattivo o scorretto utilizzo della stessa da parte dell'utente, come riportato nell'item 3.00.

*“L'utente potrebbe aver posizionato temporaneamente un oggetto in corrispondenza della porta antincendio a chiusura automatica.*

*La chiusura automatica non è avvenuta.*

*L'incendio si è propagato.”*

Le FMEA di questo metodo, infatti, hanno la caratteristica, rispetto ai tradizionali modelli propri del settore industriale, di includere come una potenziale “causa di fallimento” anche il comportamento delle persone. In questo caso le operazioni correttive di prevenzione e mitigazione potrebbero essere rivolte ad attività informative, formative e gestionali da dover rivalutare e ridefinire, magari integrando ulteriori sistemi di monitoraggio.

---

<sup>10</sup> Nota: si faccia riferimento alla Fig. 13 “Controllare un sistema complesso” e al paragrafo 3.5.

**FMEA of Component «Fire Door»** Mission: predict variations structure

ITEM NUMBER	ITEM/ FUNCTIONAL ID	POTENTIAL FAILURE MODES	FAILURE EFFECTS			DETECTION METHOD	COMPENSATING PROVISION	SEVERITY CLASS	REMARKS
			LOCAL EFFECTS	NEXT HIGHER LEVEL	END EFFECTS				
1.01	Guarnizione	Mancata tenuta stagna	Diffusione effetti incendio (fumo-gas)	Riduzione visibilità e ostruzione vie di fuga	Aumento tempo esodo	Analisi guarnizioni della porta	Manutenzione guarnizione (maintenance)	8	Potrebbe essere compromesso l'esodo sicuro
1.02	Elettromagnete	Mancata interruzione di elettricità	Diffusione effetti incendio (fumo-fiamme)	Riduzione visibilità e ostruzione vie di fuga	Gli utenti non possono evacuare/ Aumento tempo esodo	Analisi fermaporta magnetico	Manutenzione Fermaporta	9	Pericolo per la sicurezza, potrebbe verificarsi la propagazione di fiamme
2.00	Sistema rilevazione allarme	Segnale non inviato (elettromagnete)	Diffusione effetti incendio (fumo-fiamme)	Riduzione visibilità e ostruzione vie di fuga	Gli utenti non possono evacuare/ Aumento tempo esodo	Analisi del sistema di allarme	Manutenzione Sistema allarme	10	Pericolo per la sicurezza, potrebbe essere compromessa la salvaguardia degli utenti
3.00	Porta tagliafuoco	Presenza di ostacolo di intralcio alla chiusura	Diffusione effetti incendio (fumo-fiamme)	Riduzione visibilità e ostruzione vie di fuga	Gli utenti non possono evacuare/ Aumento tempo esodo	Ispezione visiva nel locale	Utilizzo utente (Use Behavior)	10	Pericolo per la sicurezza, potrebbe essere compromessa la salvaguardia degli utenti

Figura 44, FMEA "Fire Door"

## **Punti di forza del Metodo di modellazione**

La conoscenza analitica e sistemica del dominio di interesse ha reso concretizzabile l'elaborazione di un metodo di modellazione il punto di forza è di costituire un database contenente tutte le informazioni necessarie al controllo di una facility.

Questa banca dati è in grado di:

- contenere tutti gli aspetti descrittivi delle facilities (strutturali, funzionali e comportamentali);
- considerare gli interessi ed i punti di vista di tutti gli stakeholders coinvolti;
- non perdere nessuna informazione;
- essere aggiornabile nel tempo;
- tenere traccia delle modifiche a cui le strutture sono sottoposte negli anni;
- essere trasversale e, quindi, di supportare l'approccio ingegneristico prestazionale proprio della Fire Safety Engineering.

Il metodo ha, quindi, la capacità di supportare la gestione ottimale del dominio di interesse, anche se dinamico ed evolvibile.

## 7 CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI

Le facilities sono sistemi complessi a tutti gli effetti. Queste sono l'insieme di più elementi di diversa natura (strutturali, impiantistici, servizi, attività, operazioni di gestione, manutenzione ed utenti) che interagiscono e si influenzano vicendevolmente. Per tale motivo, le facilities non possono essere più considerate come realtà statiche, bensì dinamiche ed evolutive.

Questa prospettiva rende evidente come per il Facility Manager sia sempre più difficile avere il controllo delle facilities e mantenerne alto sia il profilo prestazionale che la garanzia di sicurezza in caso di emergenze, nello specifico dell'emergenza incendio.

Abbiamo visto che l'attività di gestione deve essere dinamica e reattiva. Pertanto, i metodi di pianificazione tradizionali, i quali producono piani di base statici, non sono più in grado di dare fedele rappresentazione della realtà di una facility; di contenere tutte le informazioni ad essa relative; di integrare i punti di vista di tutti gli stakeholders. Quindi, non sono più strumenti in grado di supportare le molteplici attività del Facility Manager.

In quanto sistemi complessi, le facilities sono importabili nella disciplina dell'ingegneria dei sistemi e possono essere trattate mediante modelli MBSE, i quali sono reti di pianificazione del progetto realistiche e danno una migliore comprensione delle interazioni dei fattori del processo edilizio e visione delle relazioni causa – effetto generate.

La metodologia proposta nel seguente lavoro di tesi vuole essere uno strumento di supporto al Facility Manager per la gestione delle facilities e a tal proposito, sono state sviluppate diverse tecniche di modellazione e con diversi strumenti (dalle FBS, alla modellazione su Modelio tramite il linguaggio di SysML, sino alle tabelle FMEA per l'analisi dei guasti).

I molteplici modelli permettono di conoscere sistematicamente il sistema e di rappresentarlo dettagliatamente sotto tutte le prospettive di interesse.

La codifica e l'automazione dei complessi processi caratteristici delle facilities rende possibile la generazione di modelli con i quali è possibile controllare la complessità di tali sistemi edilizi.



Il risultato delle modellazioni è la restituzione di una rete di informazioni e dati interconnessi fra di loro che tengono conto della dinamicità del sistema.

Quindi, una logica moderna oppositiva a quella tradizionale che non descrive più il processo edilizio gerarchicamente dall'alto verso il basso e come l'insieme di pacchetti sconnessi fra loro, scanditi per successione temporale.

I software che sono stati utilizzati nel caso in esame si sono ritenuti i più idonei per lo scopo prefissato. Infatti, durante lo sviluppo del lavoro di tesi è stato possibile constatare come la principale e più importante caratteristica dei software scelti sia l'interoperabilità e la capacità di comunicazione tra modelli, senza la perdita di dati.

Tuttavia, l'intenzione di controllare un sistema complesso, quale il processo edilizio, deve attenersi alle volontà normative, che pertanto rappresentano la condicio sine qua non ogni modellazione avanzata decade. Quindi, per noi, controllare una facility è significato mappare razionalmente il Codice Prevenzione Incendi, settorizzandoci nell'implementazione su Modelio del sistema di prevenzione di compartimentazione attenendoci alle prestazioni progettuali attinenti alle soluzioni conformi.

Pertanto, un primo ulteriore sviluppo al seguente lavoro di tesi potrebbe essere ampliare il modello affinché questo si completi di tutta la normativa e con spazio alla progettazione secondo soluzioni alternative.

In generale, il lavoro svolto propone un metodo, replicabile e adattabile a qualsiasi tipologia di progetto, processo e normativa territoriale di riferimento; soprattutto un metodo a supporto dell'approccio prestazionale sostenuto dalla Fire Safety Engineering.

Non solo.

Come abbiamo visto nel capitolo 3, l'aumento della complessità dei sistemi si traduce in un aumento della complessità del compito dei responsabili della sicurezza di garantire che tali sistemi siano sicuri.

L'affermazione dell'ingegneria dei sistemi basata su modelli MBSE come nuovo paradigma dell'ingegneria dei sistemi, in ottica di sicurezza subisce una mediazione in Model Based Safety Analysis (MBSA) che, analogamente a MBSE, necessita di un modello integrato e coeso, che anch'esso può essere reso estendibile a SysML.

L'ingegnerizzazione della complessità di una facility, a partire dalla normativa vigente, vuol dire creare un metodo a supporto della progettazione di sistemi

strutturalmente sicuri, sulla base dei requisiti di sicurezza prestazionali (cioè conformi alla normativa).

L'ingegnerizzazione della sicurezza in senso lato dei sistemi, invece, renderebbe possibile prevenire incidenti e ridurre al minimo l'accadimento di imprevisti, considerando anche i requisiti funzionali. Questo vuol dire scendere ancora più nel dettaglio introducendo nel metodo anche gli aspetti manutentivi, qui solamente accennati, in quanto anche questi concorrono alla protezione e alla sicurezza degli occupanti della struttura.

Sfortunatamente, la sicurezza e l'affidabilità sono talvolta usate in modo intercambiabile.

Il rischio è la combinazione della probabilità di danno con la gravità del danno stesso, la sicurezza è definita come "libertà da rischi inaccettabili", mentre l'affidabilità è la probabilità che un apparecchio o un componente svolgerà in modo soddisfacente la sua funzione prevista per un tempo prescritto e alle condizioni stabilite.

Quindi, mentre l'affidabilità si occupa di tutto il potenziale guasti, la sicurezza si occupa solo di quelli pericolosi e i guasti non necessariamente compromettono la sicurezza.

Molti incidenti si verificano anche quando i singoli componenti sono in funzione esattamente come specificato, cioè senza errori. È anche vero il contrario: i componenti potrebbero non funzionare senza che si verifichi un conseguente incidente.

Per questo, SysML potrebbe essere esteso ad includere anche informazioni relative alla sicurezza così intesa: contenere ogni componente di ogni elemento presente nella struttura e scendere a livelli di dettaglio sempre maggiori.

L'obiettivo di digitalizzare, velocizzare e facilitare l'attività di manutenzione può, dunque, essere raggiunto tramite l'applicazione della metodologia descritta nel corso delle precedenti pagine.

Quanto sopra detto potrebbe voler dire estendere la modellazione su SysML anche agli addetti di settore, come fornitori, impiantisti, etc., che renderebbero finita una modellazione che altrimenti si fermerebbe ad un livello di dettaglio superiore.

Il metodo ed i modelli, quindi, possono naturalmente essere implementati e portati ad un livello di dettaglio sempre maggiore e ciò è possibile soltanto coinvolgendo tutti gli attori del processo.

In tal modo, il facility manager può ottenere così un rapido feedback anche della progettazione relativa alla sicurezza ed eseguire l'analisi complessiva e macroscopica della sicurezza all'emergenza incendio di tutta la facility.

Questo approccio MBSA non pretende di sostituire la fase di progettazione e le analisi di sicurezza eseguite dai responsabili, facility manager e team di progettisti. Piuttosto dovrebbe anch'esso essere un modello a supporto della progettazione di sistemi strutturalmente sicuri alla base dei requisiti di sicurezza funzionale (e non solo garanzia prestazionale), senza quindi prescindere dalla sorveglianza di occhi esperti quali quelli del facility manager e collaboratori di progetto e sicurezza.

Ad ultimo, sarebbe considerare anche la realtà aumentata che rappresenta sicuramente un'innovazione da non trascurare nel campo dell'edilizia assieme alla realtà virtuale. Il suo utilizzo nel campo della gestione è da ritenersi all'avanguardia, permettendo la supervisione della facility quotidianamente e da remoto, eliminando il gap fra progetto e realtà. Ovvero renderebbe possibile la conoscenza istantanea della realtà e quindi incrementerebbe la capacità di averne maggiore controllo.

## 8 BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

- [1] M. Malizia., Il Codice Prevenzione Incendi (2019);
- [2] INAIL, “La progettazione antincendio Applicazioni pratiche nell’ambito del d. m. 3 agosto 2015 e s.m.i.” (2018);
- [3] INAIL, “Compartimentazione antincendio. - Focus sulla misura S.3 del Codice di prevenzione incendi” (2020);
- [4] INAIL, “Gestione della sicurezza ed operatività antincendio” (2020);
- [5] INAIL, “La resistenza al fuoco degli elementi strutturali” (2019);
- [6] INAIL, “Metodi per l’ingegneria della sicurezza antincendio” (2019);
- [7] David G. Cotts, Kathy O. Roper and Richard P. Payant, “The Facility Management HandBook” (2010);
- [8] A.Talon, J.Chevalier and J.Hans, “Failure Modes Effects and Criticality Analysis Research for and Application to the Building Domain” (2003);
- [9] Headquarters, Department Of The Army, “Failure Modes, Effects and Criticality Analysis (FMECA) for Command, Control, Communications, Computer, Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance (C4ISR) Facilities” (2006);
- [10] Prof. Filippo Ghirardo, Università degli studi di Napoli, “Sviluppo e Gestione dei Progetti”
- [11] OMG Systems Modeling Language Publication, Standard Document URL: “OMG Systems Modeling Language” (2019);
- [12] Jon Holt, “Systems Engineering Demystified” (2021);

- [13] Sanford Friendenthal, Alan Moore and Rick Steiner, “A Practical Guide to SysML” (2012);
- [14] UNI EN ISO 41001:2018 - Facility management - Sistemi di gestione - Requisiti con guida per l'utilizzo, 2018.
- [15] UNI EN ISO 41011:2018 - Facility management - Vocabolario, 2018.
- [16] UNI 10838:1999 “Terminologia riferita all’utenza, alle prestazioni, al processo edilizio e alla qualità edilizia”
- [17] ISO/ TS 16733 – 1, Fire Safety Engineering - Selection of design fire scenarios and design fires, (2015);
- [18] <https://www.vigilfuoco.it/>
- [19] <https://www.ibm.com/support/pages/sysml-contraints-and-parametric-diagrams-tutorial>
- [20] Prof. Filippo Ghirardo, Università degli studi di Napoli, “Sviluppo e Gestione dei Progetti”
- [21] <https://www.incose.org/>
- [22] <https://sysml.org>
- [23] <https://www.ingenio-web.it/26701-prevenzione-incendi-il-punto-sulla-normativa-antincendio-e-sugli-ultimi-aggiornamenti>
- [24] [http://fmj.ifma.org/publication/?i=665190&article\\_id=3707069&view=article](http://fmj.ifma.org/publication/?i=665190&article_id=3707069&view=article)  
Browser