



**UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE**

**Facoltà di Ingegneria**

**Corso di Laurea triennale in Ingegneria Edile**

**(Scienze e tecniche dell'edilizia L-23)**

**Procedure di modellazione informativa ai fini della  
valutazione della resistenza al fuoco degli edifici**

**Bim-Based modelling for the analysis of fire  
resistance of buildings**

Tesi di Laurea di:

**Albano Luis Medrano**

Relatore:

**Prof. Ing. Alessandro Carbonari**

Correlatrice:

**Ing. Martina Tarsi**

**A.A. 2023 / 2024**

<b>1 INTRODUZIONE .....</b>	<b>4</b>
<b>CAPITOLO 2: ANALISI DI RESISTENZA AL FUOCO .....</b>	<b>6</b>
2.1 L'APPROCCIO .....	6
2.2 LIVELLI DI PRESTAZIONE .....	7
2.3 LE SOLUZIONI PROGETTUALI .....	7
2.3.1 SOLUZIONI CONFORMI .....	7
2.3.1.3 SOLUZIONI ALTERNATIVE .....	9
<b>CAPITOLO 3: SCENARI DI INCENDIO.....</b>	<b>10</b>
3.1 CARICO DI INCENDIO SPECIFICO DI PROGETTO.....	10
3.2 CALCOLO DEL CARICO DI INCENDIO SPECIFICO DI PROGETTO.....	10
3.3 TEMPERATURA CRITICA, AZIONI, RESISTENZA.....	12
3.3.1 Efi,d .....	13
3.3.1.1 Ed .....	13
3.3.1.3 Rfi,d,t .....	14
3.3.4 ELEMENTI TESI .....	14
3.3.5 ELEMENTI COMPRESSI .....	14
3.3.6 TRAVI CON SEZIONI TRASVERSALI DI CLASSE 1 O CLASSE 2.....	15
3.3.7 TRAVI CON SEZIONI TRAVERSALI DI CLASSE 3 .....	15
3.3.8 VERIFICA DELLA CLASSE MINIMA DI RESISTENZA AL FUOCO R.....	16
<b>CAPITOLO 4: CASO DI STUDIO.....</b>	<b>17</b>
4.1 DESCRIZIONE DEL MODELLO.....	17
4.1.1 L'INTELLAIATURA .....	18
4.1.2 LE CHIUSURE VERTICALI E ORIZZONTALI .....	19
4.1.3 LE FACCIATE CONTINUE .....	20
4.2 FASE PRELIMINARE DI MODELLAZIONE .....	21
4.2.1 CONVERSIONE DEL MODELLO TRAPELO DAL FORMATO IFC A RVT .....	21
4.2.2 ESPLOREAZIONE E STRUMENTI DI VISUALIZZAZIONE .....	21
4.2.3 PUNTI DI RIFERIMENTO E STRUMENTI DI MISURAZIONE .....	23
4.3 MODELLAZIONE.....	24
4.3.1 CREAZIONE DEL NUOVO PROGETTO .....	24
4.3.2 CREAZIONE LIVELLI E VISTE IN PIANTA .....	25
4.3.3 POSIZIONAMENTO DEI PILASTRI .....	26
4.3.4 MODELLAZIONE PLATEA DI FONDAZIONE .....	28
4.3.5 POSIZIONAMENTO DELLE TRAVI.....	28
4.3.6 POSIZIONAMENTO CONTROVENTATURE .....	29
4.3.7 MODELLAZIONE CHIUSURE VERTICALI .....	30
4.3.8 MODELLAZIONE PAVIMENTI.....	33
4.3.9 POSIZIONAMENTO PARTIZIONI INTERNE .....	34
4.3.10 MODELLAZIONE SCALE .....	36
4.3.11 POSIZIONAMENTO INFISSI E PORTE .....	37

Procedure di modellazione informativa ai fini della  
valutazione della resistenza al fuoco degli edifici

4.3.12 CREAZIONE FACCIATE CONTINUE .....	39
4.3.13 COLLEGAMENTI STRUTTURALI .....	43
4.3.14 MODELLAZIONE ANALITICA MANUALE .....	50
4.3.15 MODELLAZIONE ANALITICA AUTOMATIZZATA.....	53
<b>4.4 MODELLO NUOVO EDIFICIO .....</b>	<b>56</b>
<b>CAPITOLO 5: ANALISI NUMERICHE DI RESISTENZA AL FUOCO.....</b>	<b>58</b>
<b>5.1 ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS .....</b>	<b>58</b>
<b>5.2 IL MODELLO DA ANALIZZARE .....</b>	<b>59</b>
<b>5.3 COME IMPOSTARE L'ANALISI .....</b>	<b>59</b>
<b>5.4 ANALISI DEI RISULTATI SU REVIT .....</b>	<b>66</b>
<b>5.5 CALCOLO DI STRUTTURE IN ACCIAIO (ANALISI TERMICA).....</b>	<b>68</b>
<b>5.6 RISULTATI DELL'ANALISI DI CALCOLO DI STRUTTURE IN ACCIAIO .....</b>	<b>71</b>
<b>5.6.1NOTE DI CALCOLO 1 .....</b>	<b>72</b>
<b>5.7 NOTE DI CALCOLO 2 .....</b>	<b>74</b>
5.7.1 CONDIZIONI DI CARICO .....	74
5.7.2 APPLICAZIONE DELLE CONDIZIONI DI CARICO NEL MODELLO .....	74
5.7.3 CREAZIONE COMBINAZIONE DI CARICO .....	75
5.7.3 APPLICAZIONE DELLA COMBINAZIONE DI CARICO ALL'ANALISI DA EFFETTUARE .....	76
5.7.4 RISULTATI .....	76
<b>CAPITOLO 6: ANALISI DI CONFRONTO.....</b>	<b>77</b>
<b>6.1 AGGIUNTA DEI PARAMETRI E LA LORO UTILITÀ.....</b>	<b>77</b>
<b>6.2 ESTRAZIONE DEI DATI.....</b>	<b>78</b>
<b>6.3 PROCESSO DI CALCOLO.....</b>	<b>78</b>
<b>6.4 RISULTATO .....</b>	<b>79</b>
<b>7 DISCUSSIONE.....</b>	<b>80</b>
<b>8 CONCLUSIONE.....</b>	<b>81</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>82</b>

# 1 INTRODUZIONE

Il presente elaborato è il risultato di un approfondimento svolto durante il mio percorso universitario e mira ad analizzare, attraverso tre parti diverse, le procedure di modellazione informativa ai fini della valutazione della resistenza al fuoco degli edifici.

La prima parte dell'elaborato è incentrata sulla esposizione delle varie informazioni raccolte e nella descrizione delle modalità in cui queste vengono adoperate per soddisfare i vari requisiti prestazionali.

Uno dei documenti di riferimento è il **Codice prevenzione incendi DM 03.08.2015** (4) che contiene un insieme di norme e linee guida adottate in Italia per garantire la sicurezza antincendio negli edifici e nelle attività. Si basa su un approccio prestazionale e flessibile, permettendo di adottare soluzioni progettuali alternative e innovative rispetto alle prescrizioni tradizionali. È suddiviso in quattro sezioni principali: **generalità, strategie antincendio, regole tecniche verticali e gestione della sicurezza antincendio.**

Le **strategie** sono indicate nella **Sezione S** del **DM** e comprendono dieci diverse aree:

- **Reazione al fuoco:** Questa strategia riguarda la classificazione dei materiali in base alla loro reazione al fuoco. Si valutano le proprietà di infiammabilità, propagazione delle fiamme e produzione di fumo e gas tossici.
- **Resistenza al fuoco:** Questa sezione definisce i requisiti per la resistenza al fuoco degli elementi strutturali e delle parti dell'edificio. Ad esempio, specifica quanto tempo un elemento deve resistere all'esposizione al fuoco.
- **Compartimentazione:** La compartimentazione mira a limitare la propagazione dell'incendio da un'area all'altra. Gli spazi devono essere suddivisi in compartimenti con pareti e porte resistenti al fuoco.
- **Esodo:** Questa strategia riguarda le vie di fuga e l'evacuazione sicura delle persone in caso di incendio. Si stabiliscono requisiti per le uscite, le scale e le porte antincendio.
- **Gestione della sicurezza antincendio:** Qui si definiscono le procedure e le responsabilità per la gestione della sicurezza antincendio all'interno di un edificio. Ad esempio, l'addestramento del personale e la manutenzione degli impianti.
- **Controllo dell'incendio:** Questa strategia riguarda l'uso di sistemi di spegnimento automatico, come gli sprinkler, per controllare l'incendio prima che si diffonda troppo.
- **Rivelazione ed allarme:** Si stabiliscono requisiti per i sistemi di rivelazione dell'incendio e gli allarmi per avvertire le persone in caso di emergenza.
- **Controllo di fumi e calore:** Questa sezione riguarda la gestione dei fumi e del calore prodotti dall'incendio. Si definiscono i requisiti per la ventilazione naturale o meccanica e l'evacuazione dei fumi.
- **Operatività antincendio:** Qui si tratta dell'organizzazione delle risorse antincendio, come l'accesso ai mezzi di soccorso e la formazione del personale di emergenza.
- **Sicurezza degli impianti tecnologici e di servizio:** lo scopo di questa strategia è quello di assicurare la corretta progettazione, installazione, verifica e manutenzione degli impianti tecnologici.

Invece le **regole tecniche verticali** forniscono linee guida dettagliate su come garantire la sicurezza antincendio per l'attività specifica soggetta ai controlli di prevenzione incendi. Sono decreti ministeriali, che sono stati emanati specificatamente per ogni singola destinazione d'uso.

La seconda parte della tesi mostra le tecniche di modellazione utilizzate. La modellazione è stata fatta utilizzando **Revit**, un software **CAD** (Computer-Aided Design), e **BIM** (Building Information Modeling) sviluppato da Autodesk. Tale operazione permette la creazione di disegni bidimensionali o tridimensionali di parti o oggetti, in questo caso di sezioni o prospetti di un edificio, attraverso linee, cerchi, archi o altri elementi grafici molto semplici. Oltre alla progettazione o modellazione geometrica, Revit, essendo un software BIM, ha integrato al suo interno una metodologia di gestione dei dati per la progettazione dell'edificio. Ciò significa che ogni elemento che si disegna in Revit è un oggetto, il quale può possedere diversi parametri e quindi presentare proprietà specifiche.

Un'altra caratteristica BIM che possiede è l'**integrazione** delle informazioni all'interno di ogni fase di progettazione, come quella architettonica, esecutiva e gestionale. Il **modello nuovo edificio** è stato realizzato sulla base di un modello assegnatomi chiamato **Trapelo** in modo da avere una base di partenza per applicare la valutazione.

La terza parte della tesi mostra come avviene il processo di conversione dati da Revit a Robot, il quale ricopre un ruolo importante per la valutazione dei risultati delle analisi. Poiché **Robot Structural Analysis Professional** è un software di analisi dei carichi strutturali che verifica la conformità alle norme e alcune delle sue funzioni principali sono:

- Permettere un **flusso di lavoro integrato con BIM**, in quanto Robot scambia dati con Revit e altri strumenti di progettazione, garantendo una collaborazione più efficace.
- Offrire ampie **capacità di analisi**, dato che il software consente di testare il comportamento di strutture statiche, con diverse modalità e anche con calcoli non lineari.
- **Possedere numerosi standard di progettazione specifici per il paese**, inoltre permettere di lavorare con forme di sezione e codici di costruzione specifici per il paese o metriche per supportare la verifica delle norme.

La tesi ha lo scopo di mostrare il flusso di dati e l'utilizzo di informazioni, partendo dalla documentazione tramite fonti certificate come:

- DM 03.08.2015 dedicato alla prevenzione incendi (4).
- Le norme UNI, nello specifico, l'Eurocodice 0 EN 1990 (1), l'Eurocodice 1 EN1991 (2) e l'Eurocodice 3 UNI EN 1993-1-2:2005 (3) consultato grazie all'abilitazione ottenuta tramite l'Università.
- Le norme tecniche per la costruzione D.M 17.01.2018 (8).

Il fine ultimo è quello di arrivare alla valutazione del comportamento di un modello strutturale in ambiente BIM in un caso eccezionale come quello dell'incendio.

## CAPITOLO 2: ANALISI DI RESISTENZA AL FUOCO

### 2.1 L'APPROCCIO

Per conoscere il tema della resistenza al fuoco delle strutture è stato esaminato il **Capitolo S.2 Resistenza al fuoco** del **DM 03.08.2015** (4) che fornisce informazioni utili a 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.

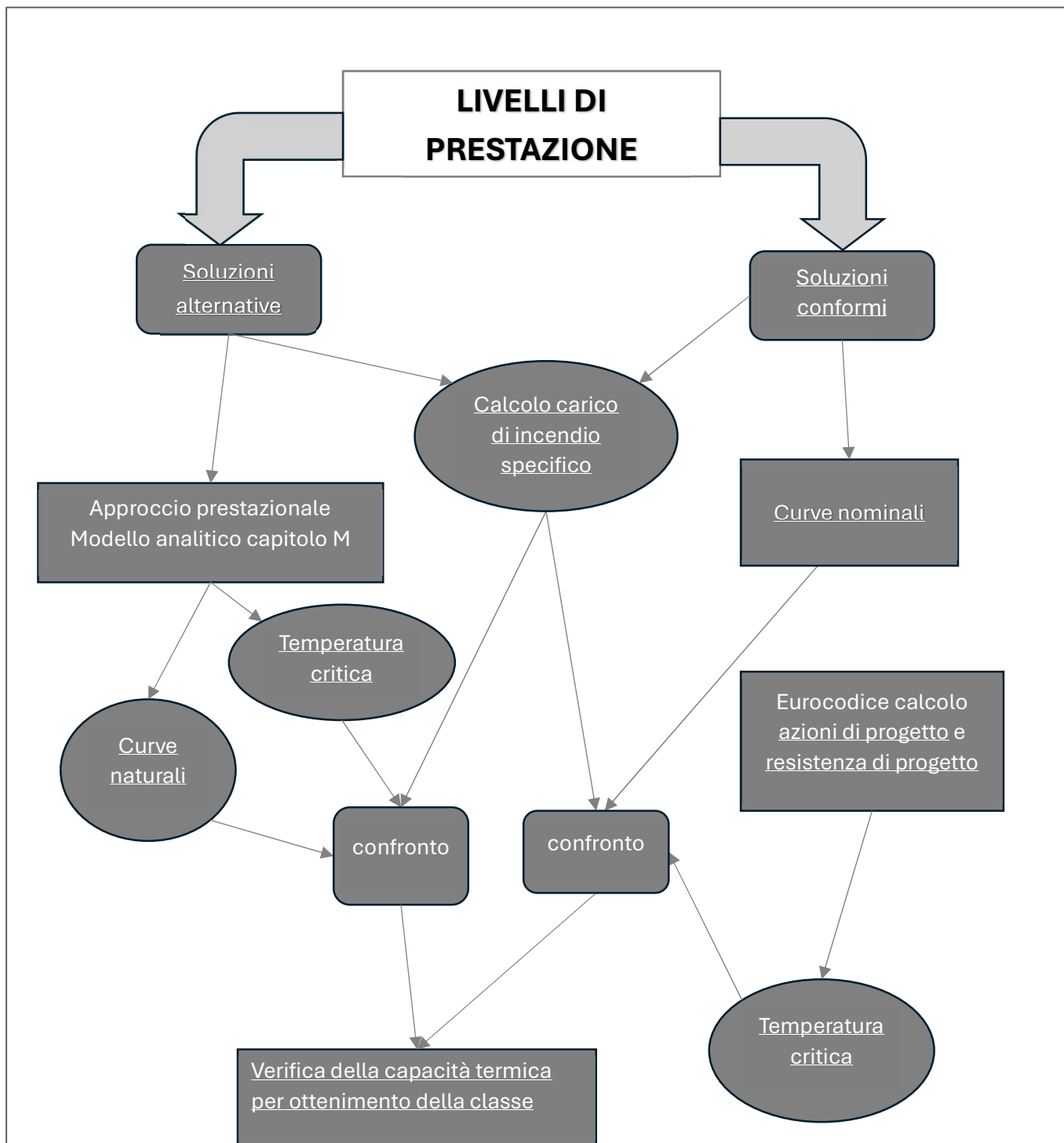


Figura 1 Livelli di prestazione – elaborazione personale

Procedure di modellazione informativa ai fini della valutazione della resistenza al fuoco degli edifici

In particolare, è stato preso in considerazione il processo necessario per la **definizione della classe di resistenza al fuoco** che è riportata nel **paragrafo S.2.9 del capitolo S.2**. Partendo, dai [Livelli di prestazione](#), indicati nella *Figura 1*, si arriva alla verifica della capacità termica per l'ottenimento della classe di resistenza.

## 2.2 LIVELLI DI PRESTAZIONE

Il progettista deve tener conto dei **livelli di prestazione** (*Figura1*) che vengono attribuiti ad un'opera in base alla capacità che quest'ultima ha di garantire protezione, resistenza e un determinato comportamento in caso di incendio. I livelli si dimostrano importanti poiché sono un punto di riferimento per l'impostazione delle diverse **soluzioni** progettuali [conformi](#) o [alternative](#).

Livello di prestazione	Descrizione
I	Assenza di conseguenze esterne per collasso strutturale
II	Mantenimento dei requisiti di resistenza al fuoco per un periodo sufficiente all'evacuazione degli occupanti in luogo sicuro all'esterno della costruzione.
III	Mantenimento dei requisiti di resistenza al fuoco per un periodo congruo con la durata dell'incendio.
IV	Requisiti di resistenza al fuoco tali da garantire, dopo la fine dell'incendio, un limitato danneggiamento della costruzione.
V	Requisiti di resistenza al fuoco tali da garantire, dopo la fine dell'incendio, il mantenimento della totale funzionalità della costruzione stessa.

Tabella 1 Livelli di prestazione

## 2.3 LE SOLUZIONI PROGETTUALI

Le **soluzioni progettuali** sono delle **strategie** che il progettista deve utilizzare per ottenere il livello di prestazione richiesto, infatti dal livello di prestazione 1 al livello di prestazione 5 le soluzioni richieste aumentano. Nell'ambito dell'antincendio queste **soluzioni** variano in base alla scelta di materiali resistenti al fuoco, all'installazione di sistemi di allarmi, alla scelta di adottare distanziamenti, fino ad arrivare alle diverse verifiche da adottare. Esempi di verifiche sono quella per ottenere la classe minima di resistenza al fuoco esplicitata nel paragrafo S.2.4.3 del D.M, la verifica della capacità portante in condizioni di incendio o i limiti di deformabilità nelle condizioni di carico termico e meccanico S.4.4. Le soluzioni si identificano in due tipologie.

### 2.3.1 SOLUZIONI CONFORMI

Le **soluzioni conformi**, cioè quelle prescrittive, garantiscono con il loro rispetto il raggiungimento immediato del livello di prestazione. Ciò vuol dire che quando si progetta un edificio o si pianifica un intervento, è possibile utilizzare queste soluzioni conformi senza ulteriori valutazioni o calcoli. Ad esempio, se una norma richiede una determinata resistenza al fuoco per una parete, è possibile utilizzare una parete con quella specifica resistenza senza ulteriori analisi. Questo semplifica il processo di progettazione e rende più efficiente l'approvazione dei progetti da parte delle autorità competenti. Tuttavia, è importante notare che le soluzioni conformi devono essere applicate correttamente e nel contesto appropriato.

Procedure di modellazione informativa ai fini della valutazione della resistenza al fuoco degli edifici

In alcuni casi, potrebbe essere necessario ricorrere a soluzioni progettuali più complesse o personalizzate per soddisfare esigenze specifiche.

Nel caso esaminato per ottenere la classe minima di resistenza al fuoco S.2.4.3 la soluzione conforme propone l'uso degli incendi convenzionali di progetto.

### 2.3.1.1 INCENDI CONVENZIONALI DI PROGETTO E CURVE DI INCENDIO

Gli **incendi convenzionali di progetto** sono un aspetto importante nella progettazione strutturale, soprattutto quando si considera la **resistenza al fuoco** delle costruzioni.

Un incendio convenzionale di progetto è definito attraverso una curva di incendio che rappresenta l'andamento, in funzione del tempo, della temperatura dei gas di combustione, all'interno della zona considerata. L'incendio convenzionale di progetto considera la fonte e il meccanismo d'innesco, lo sviluppo del fuoco sulla prima cosa che brucia, la propagazione dell'incendio, la sua interazione con l'ambiente, il calo d'intensità e lo spegnimento.

Nello specifico, gli incendi convenzionali di progetto proposti dalle [soluzioni conformi](#) vengono rappresentati dalle [curve nominali di incendio](#).

### 2.3.1.2 CURVE NOMINALI DI INCENDIO

Le **curve nominali d'incendio** descrivono l'andamento della temperatura media dei gas caldi durante un incendio e secondo il paragrafo S2.7 del D.M, per le soluzioni conformi, si possono usare tre curve per tre incendi diversi. In tutte il punto di origine corrisponde con l'innesco del flash over.

La prima curva è riferita **all'incendio convenzionale** che viene rappresentato dalla curva nominale standard, è anche quella più utilizzata.

$$\theta_g = 20 + 345 \cdot \log_{10}(8t + 1)$$

$\theta_g$  Temperatura media del gas di combustione

$t$  tempo

Equazione 1 Curva d'incendio convenzionale

Segue la **curva nominale degli idrocarburi** utilizzata appunto per incendi con grandi quantità di idrocarburi e viene usata per la determinazione delle capacità portante delle strutture.

$$\theta_g = 1080 \cdot (1 - 0,325 \cdot e^{-0,167t} - 0,675 \cdot e^{-2,5t}) + 20$$

$\theta_g$  Temperatura media del gas di combustione

$t$  tempo

Equazione 2 Curva d'incendio nominale degli idrocarburi

Procedure di modellazione informativa ai fini della valutazione della resistenza al fuoco degli edifici

E infine la **curva nominale esterna**, usata per incendi che si sviluppano all'interno del compartimento ma che coinvolgono strutture poste all'esterno.

$$\theta_g = 20 + 1080 \cdot (1 - 0,325 \cdot e^{-0,167t} - 0,675 \cdot e^{-2,5t})$$

$\theta_g$  Temperatura media del gas di combustione

$t$  tempo

Equazione 3 Curva d'incendio nominale esterna

L'utilizzo della curva nominale d'incendio è fondamentale per [la verifica della classe minima di resistenza](#) di un determinato compartimento, poiché costituisce l'andamento delle temperature del gas in quel determinato compartimento.

### 2.3.1.3 SOLUZIONI ALTERNATIVE

Sono delle soluzioni **semi-prescrittive**, perciò possono essere utilizzate quando non si riesce a rispettare una delle soluzioni conformi o quando si decide di utilizzare un approccio prestazionale; quindi, offrono maggior flessibilità ma richiedono una maggior competenza tecnica per ottenere il livello di prestazione richiesto. Tali soluzioni richiedono, ai fini del raggiungimento del livello prestazionale, la giusta documentazione dimostrativa. In questo caso l'andamento delle temperature negli elementi è valutato in riferimento alle [curve naturali di incendio](#).

### 2.3.1.4 CURVE NATURALI DI INCENDIO

Queste curve rappresentano l'andamento della temperatura della miscela aria-gas. Tengono conto della durata dello [scenario di incendio](#) e sono utilizzate per valutare la reazione di una struttura ad un incendio, poiché vengono usate per la verifica della classe di resistenza, come per le curve nominali.

Le curve naturali di incendio possono essere determinate mediante:

- a. modelli di incendio sperimentali,
- b. modelli di incendio numerici semplificati dell'Eurocodice UNI EN 1991-1 2 (3),
- c. modelli di incendio numerici avanzati.

## CAPITOLO 3: SCENARI DI INCENDIO

Gli scenari di incendio sono descritti nel capitolo M2 del D.M. (4) e hanno come funzione principale quello di descrivere qualitativamente gli eventi che possono verificarsi all'interno di uno spazio. Tengono conto delle caratteristiche dell'incendio, dell'attività e degli occupanti.

Ogni edificio o costruzione, ha un numero illimitato di possibili scenari di incendio, di conseguenza è necessario analizzare gli scenari più significativi scelti tra i peggiori casi realistici.

Le **curve naturali di incendio** vengono utilizzate per determinare l'andamento delle temperature dei gas all'interno di una struttura, in base agli scenari di incendio selezionati; queste temperature sono utili per determinare le caratteristiche di resistenza al fuoco degli elementi strutturali.

### 3.1 CARICO DI INCENDIO SPECIFICO DI PROGETTO

Il carico di incendio specifico di progetto ha un ruolo fondamentale per la [verifica della classe minima di resistenza](#), poiché ogni intervallo di valori del carico specifico di progetto corrisponde a una determinata classe di resistenza, come mostrato in *Tabella 2*. Di conseguenza ha anche un ruolo vincolante per le attività da svolgere all'interno della costruzione.

Carico di incendio specifico di progetto	Classe minima di resistenza al fuoco
$q_{f,d} \leq 200 \text{ MJ/m}^2$	Nessun requisito
$q_{f,d} \leq 300 \text{ MJ/m}^2$	15
$q_{f,d} \leq 450 \text{ MJ/m}^2$	30
$q_{f,d} \leq 600 \text{ MJ/m}^2$	45
$q_{f,d} \leq 900 \text{ MJ/m}^2$	60
$q_{f,d} \leq 1200 \text{ MJ/m}^2$	90
$q_{f,d} \leq 1800 \text{ MJ/m}^2$	120
$q_{f,d} \leq 2400 \text{ MJ/m}^2$	180
$q_{f,d} > 2400 \text{ MJ/m}^2$	240

Tabella 2 Carico di incendio specifico

Il calcolo del carico di incendio specifico di progetto è differente a seconda se si adottano soluzioni conformi o soluzioni alternative.

### 3.2 CALCOLO DEL CARICO DI INCENDIO SPECIFICO DI PROGETTO

$$q_{f,d} = \delta_{q1} \cdot \delta_{q2} \cdot \delta_n \cdot q_f$$

Equazione 4 Carico di incendio specifico di progetto

Per le soluzioni conformi, il carico di incendio specifico di progetto è dato dalla somma delle componenti indicate nella figura che segue.

Procedure di modellazione informativa ai fini della valutazione della resistenza al fuoco degli edifici

- $\delta_{q1}$  è la componente che tiene conto della dimensione del compartimento e i valori sono indicati all'interno della seguente tabella.

Superficie lorda del compartimento [m <sup>2</sup> ]	$\delta_{q1}$	Superficie lorda del compartimento [m <sup>2</sup> ]	$\delta_{q1}$
A < 500	1,00	2500 ≤ A < 5000	1,60
500 ≤ A < 1000	1,20	5000 ≤ A < 10000	1,80
1000 ≤ A < 2500	1,40	A ≥ 10000	2,00

Tabella 3  $\delta_{q1}$

- $\delta_{q2}$  è il fattore che tiene conto della attività che si svolge nel compartimento e i valori sono messi nella seguente tabella.

Classi di rischio	Descrizione	$\delta_{q2}$
I	Aree che presentano un basso rischio di incendio in termini di probabilità di innesco, velocità di propagazione delle fiamme e possibilità di controllo dell'incendio da parte delle squadre di emergenza	0,80
II	Aree che presentano un moderato rischio di incendio in termini di probabilità d'innesco, velocità di propagazione di un incendio e possibilità di controllo dell'incendio stesso da parte delle squadre di emergenza	1,00
III	Aree che presentano un alto rischio di incendio in termini di probabilità d'innesco, velocità di propagazione delle fiamme e possibilità di controllo dell'incendio da parte delle squadre di emergenza	1,20

Tabella 4  $\delta_{q2}$

- $\delta_n$  questa componente tiene conto delle misure antincendio presenti nel compartimento considerato e i valori sono presenti nella seguente tabella.

$$\delta_n = \prod_i \delta_{ni}$$

Equazione 5

Misura antincendio minima	$\delta_{ni}$	
Controllo dell'incendio di livello di prestazione III (capitolo S.6)	rete idranti con protezione interna	$\delta_{n1}$ 0,90
	rete idranti con protezione interna ed esterna	$\delta_{n2}$ 0,80
Controllo dell'incendio di livello di prestazione IV (capitolo S.6)	sistema automatico ad acqua o schiuma e rete idranti con protezione interna	$\delta_{n3}$ 0,54
	altro sistema automatico e rete idranti con protezione interna	$\delta_{n4}$ 0,72
	sistema automatico ad acqua o schiuma e rete idranti con protezione interna ed esterna	$\delta_{n5}$ 0,48
	altro sistema automatico e rete idranti con protezione interna ed esterna	$\delta_{n6}$ 0,64
Gestione della sicurezza antincendio di livello di prestazione II [1] (capitolo S.5)	$\delta_{n7}$ 0,90	
Controllo di fumi e calore di livello di prestazione III (capitolo S.8)	$\delta_{n8}$ 0,90	
Rivelazione ed allarme di livello di prestazione III (capitolo S.7)	$\delta_{n9}$ 0,85	
Operatività antincendio di livello di prestazione IV (capitolo S.9)	$\delta_{n10}$ 0,81	

[1] Gli addetti antincendio devono garantire la presenza continuativa durante le 24 ore.

Tabella 5 misura di antincendio minima

Procedure di modellazione informativa ai fini della valutazione della resistenza al fuoco degli edifici

-  $q_f$  è il valore nominale del carico di incendio specifico .

$$q_f = \frac{\sum(g_i \cdot H_i \cdot m_i \cdot \psi_i)}{A}$$

Equazione 6

### Al numeratore abbiamo

- $g_i$  è la massa dell'i-esimo materiale combustibile;
- $H_i$  il potere calorifero inferiore del i-esimo materiale combustibile, mi tiene conto della partecipazione alla combustione dell'i-esimo materiale combustibile;
- $\psi_i$  fattore di limitazione della partecipazione alla combustione dell'i-esimo materiale combustibile, questo fattore varia a seconda del contenitore in cui è conservato il combustibile.

**Al denominatore** abbiamo A che è la superficie lorda del piano del compartimento. La superficie lorda considerata può cambiare a seconda della distribuzione del carico di incendio o se nel caso di un edificio multipiano ho elementi di separazione orizzontali con resistenza al fuoco adeguata da considerare il carico dei piani separato per ogni piano.

In alternativa il carico di incendio specifico nelle soluzioni alternative viene calcolato in maniera automatica dai modelli analitici

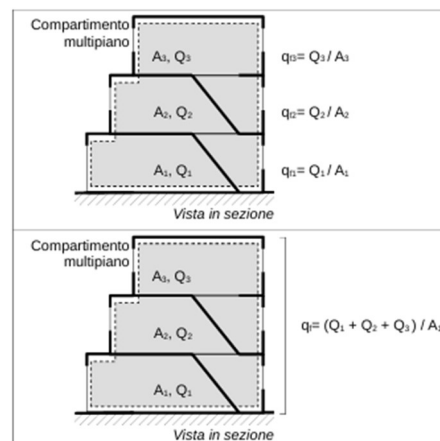


Figura 2

## 3.3 TEMPERATURA CRITICA, AZIONI, RESISTENZA

La temperatura critica ha un ruolo fondamentale per la progettazione di strutture e componenti che devono resistere alle elevate temperature.

Rappresenta il punto dal quale nel nostro caso l'acciaio può passare da una fase duttile a una fase fragile; quindi, la resistenza e la durabilità di un materiale possono variare significativamente al raggiungimento della temperatura critica.

Inoltre, ha un ruolo fondamentale per la verifica della classe di resistenza minima R.

Nelle **soluzioni alternative**, i modelli analitici forniscono automaticamente la temperatura critica.

Nelle soluzioni conformi, la formula utilizzata per il calcolo della temperatura critica dell'acciaio presente nel UNI EN 1993-1-2:2005 (3) con l'ipotesi che la temperatura abbia una distribuzione uniforme nell'elemento.

$$\theta_{cr} = 39.19 \cdot \ln\left[\frac{1}{0.9674 \cdot \mu_0^{3.833}} - 1\right] + 482$$

Equazione 7 temperatura critica

Procedure di modellazione informativa ai fini della valutazione della resistenza al fuoco degli edifici

Dove  $\mu_0 = \frac{E_{fi,d}}{R_{fi,d,t}}$  che rappresenta il grado di utilizzo al tempo  $t = 0$ .

*Equazione 8*

Assumendo che  $E_{fi,d} \leq R_{fi,d,t}$ .

*Equazione 9*

Con **Efi,d** al numeratore che è il valore di progetto degli effetti delle azioni in situazione d'incendio,

al denominatore **Rfi,d,t** resistenza di progetto corrispondente in caso di incendio.

### 3.3.1 Efi,d

Come indicato nel EN1-1-2:2004 è dato dalla seguente formula:

$$E_{fi,d,t} = E_{fi,d} = \eta_{fi} \cdot E_d$$

*Equazione 10*

Permette di determinare le azioni di progetto da azioni calcolate in condizioni di temperatura normale.

#### 3.3.1.1 Ed

Rappresenta il valore di progetto calcolato secondo la EN 1990 (1). Si calcola con una combinazione di azioni in caso eccezionale, come un incendio:

$$E_d = \gamma_{G1}G_{k1} + \gamma_{G2}G_{k2} + \gamma_P P + \gamma_{Ad}Ad + \gamma_{Q1}\psi_{0,1}Q_{k1} + \gamma_{Q2}\psi_{0,2}Q_{k2} + \dots$$

**Gk1, Gk2** sono le azioni permanenti che agiscono sulla struttura.

**P** rappresenta l'azione di presollecitazione.

**Ad** rappresenta le azioni accidentali.

**Qk1, Qk2** sono le azioni variabili che agiscono sulla struttura.

**γG1, γG2** sono i coefficienti parziali di sicurezza per le azioni permanenti.

**γP** è il coefficiente parziale di sicurezza per le azioni di presollecitazione.

**γAd** è il coefficiente parziale di sicurezza per le azioni accidentali.

**γQ1, γQ2** sono i coefficienti parziali di sicurezza per le azioni variabili.

**ψ0,1, ψ0,2** sono i coefficienti di combinazione per le azioni variabili.

I quali valori dei vari coefficienti sono forniti dalle normative locali e dipendono dalle specifiche del progetto.

#### 3.3.1.2 IL VALORE $\eta_{fi}$

È un fattore di riduzione che è possibile calcolare con la seguente formula;

Procedure di modellazione informativa ai fini della valutazione della resistenza al fuoco degli edifici

$$\eta_{fi} = \frac{\gamma_{GA} + \psi_{1,1} \cdot \xi}{\gamma_G + \gamma_Q \cdot \xi}$$

*Equazione 11 Fattore di riduzione*

Fornita nelle varie parti di progettazione al fuoco dei prEN.

$\gamma_{GA}$  è il coefficiente parziale di sicurezza per le azioni permanenti a temperatura ambiente.

$\psi_{1,1}$  è il coefficiente di combinazione per le azioni variabili.

$\xi$  è il rapporto tra l'azione variabile e l'azione permanente.

$\gamma_G$  è il coefficiente parziale di sicurezza per le azioni permanenti.

$\gamma_Q$  è il coefficiente parziale di sicurezza per le azioni variabili.

### 3.3.1.3 Rfi,d,t

Per quanto riguarda la resistenza di progetto, il metodo di calcolo differenzia in base alla classe di duttilità dell'elemento e al tipo di elemento strutturale.

### 3.3.4 ELEMENTI TESI

La resistenza di progetto per gli elementi tesi è indicata come  $N_{fi}$  ed è un valore determinato con una temperatura uniforme dell'elemento  $\theta_a$ .

Si calcola con la seguente formula:

$$N_{fi,\theta,Rd} = k_{y,\theta} \cdot N_{Rd} \left[ \frac{\gamma_{M,0}}{\gamma_{M,fi}} \right]$$

*Equazione 12 resistenza di progetto per elementi tesi*

Dove:

- $k_{y,\theta}$  è il fattore di riduzione per la resistenza di snervamento dell'acciaio alla temperatura dell'acciaio  $\theta_a$ .
- $N_{Rd}$  è la resistenza di progetto della sezione trasversale  $N_{pl,Rd}$  per la progettazione a temperatura ordinaria, secondo la EN 1993-1-1.

### 3.3.5 ELEMENTI COMPRESSI

La resistenza di progetto per gli elementi compressi  $N_{b,fi,t,Rd}$  è determinata con una temperatura uniforme dell'elemento  $\theta_a$ .

Si calcola con la seguente formula:

$$N_{b,fi,t,Rd} = \chi_{fi} \cdot A \cdot k_{y,\theta} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}$$

*Equazione 13 resistenza di progetto per elementi compressi*

Procedure di modellazione informativa ai fini della valutazione della resistenza al fuoco degli edifici

Dove:

- $x_{fi}$  è il fattore di riduzione per instabilità flessionale nella situazione di incendio di progetto.
- $k_{y,\theta}$  è il fattore di riduzione per la resistenza di snervamento dell'acciaio alla temperatura dell'acciaio  $\theta_a$ .

### 3.3.6 TRAVI CON SEZIONI TRASVERSALI DI CLASSE 1 O CLASSE 2

In questo caso la resistenza di progetto è un momento  $M_{fi,\theta,Rd}$ , determinato con una temperatura uniforme dell'elemento  $\theta_a$ .

Si calcola con la seguente formula :

$$M_{fi,\theta,Rd} = k_{y,\theta} \left[ \frac{\gamma_{M,0}}{\gamma_{M,fi}} \right] \cdot M_{Rd}$$

*Equazione 14 resistenza di progetto per sezioni trasversali classe 1/2*

Dove:

- $M_{Rd}$  è il momento plastico resistente  $M_{pl,Rd}$  della sezione trasversale lorda per la progettazione a temperatura ordinaria, secondo la EN 1993-1-1 oppure il momento resistente ridotto per la progettazione a temperatura ordinaria, che tiene conto degli effetti del taglio se necessario, secondo la EN 1993-1-1
- $k_{y,\theta}$  è il fattore di riduzione per la resistenza di snervamento dell'acciaio alla temperatura dell'acciaio  $\theta_a$ .

### 3.3.7 TRAVI CON SEZIONI TRAVERSALI DI CLASSE 3

La resistenza di progetto è un momento  $M_{fi,\theta,Rd}$ , determinato con una temperatura uniforme dell'elemento  $\theta_a$ .

Si calcola con la seguente formula:

$$M_{fi,t,Rd} = k_{y,\theta} \cdot M_{Rd} \left[ \frac{\gamma_{M,0}}{\gamma_{M,fi}} \right]$$

*Equazione 15 resistenza di progetto per sezioni trasversali di classe 3*

Dove:

- $M_{Rd}$  è il momento resistente elastico della sezione trasversale lorda  $M_{el,Rd}$  per la progettazione a temperatura ordinaria, secondo la EN 1993-1-1, oppure il momento resistente ridotto che tiene conto, se necessario, degli effetti del taglio secondo la EN 1993-1-1.
- $k_{y,\theta}$  è il fattore di riduzione per la resistenza di snervamento dell'acciaio alla temperatura dell'acciaio  $\theta_a$ .

Procedure di modellazione informativa ai fini della valutazione della resistenza al fuoco degli edifici

### 3.3.8 VERIFICA DELLA CLASSE MINIMA DI RESISTENZA AL FUOCO R

È una verifica valida come soluzione sia conforme che alternativa, ed è utile a fornire una classe di resistenza al fuoco agli elementi strutturali.

Il primo passo consiste nel calcolo del [carico di incendio specifico di progetto](#), precedentemente indicato.

Seguendo la tabella 2, ogni range di carico di incendio avrà una corrispondente classe minima di resistenza al fuoco. Rappresenta il tempo minimo in minuti, che un elemento deve resistere in condizione di incendio.

Il secondo passo consiste nel [calcolo della temperatura critica](#) seguendo il procedimento indicato in precedenza.

Terzo si utilizza una curva di incendio, la più utilizzata è la curva di incendio Standard ISO 834.

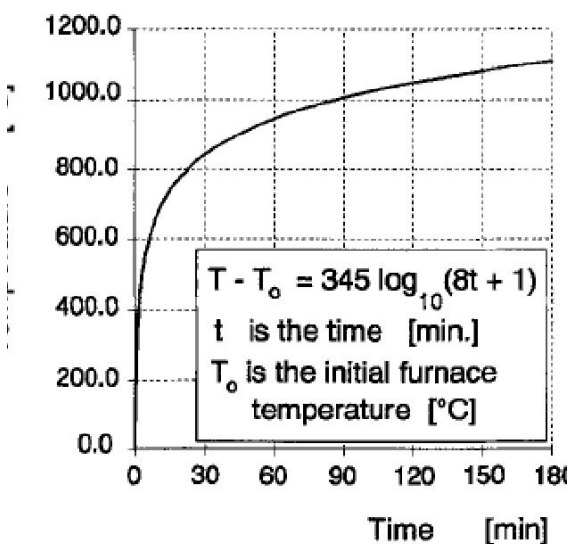


Figura 3 Curva d'incendio standard

Quarto si esegue il confronto della temperatura critica all'interno della curva, in questo modo otteniamo un tempo, quel tempo dovrà essere maggiore del tempo corrispondente a R.

## CAPITOLO 4: CASO DI STUDIO

I dati precedentemente raccolti saranno valutati in un modello che ho chiamato “NUOVO EDIFICIO.RVT” realizzato sulla base di un edificio pre-modellato che mi è stato consegnato nel formato “Industry Foundation Classes” o IFC. Quest’ultimo è uno standard universale a formato aperto usato nell’industria dell’Architettura e dell’ingegneria della costruzione per la presentazione e la condivisione di dati di progetti.

Il programma che ho adoperato per la modellazione è Autodesk Revit 2024 con la licenza student che viene fornita dall’azienda Autodesk stessa.

### 4.1 DESCRIZIONE DEL MODELLO

Il modello assegnatomi è un file con formato IFC di nome “20160125Trapelo\_Design\_Intent.ifc” che per semplicità sarà chiamato “**Trapelo**” ed è presente nelle figure 4 e 5 che seguono.

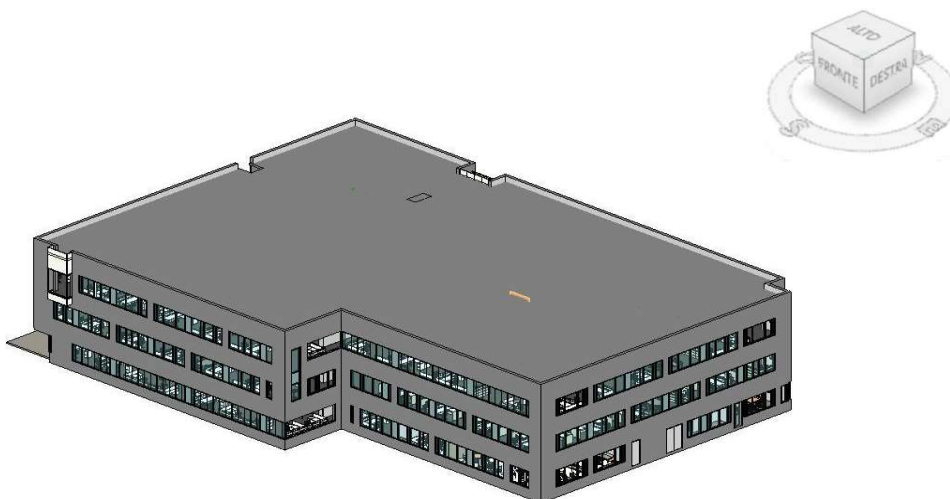


Figura 4 Vista 3D

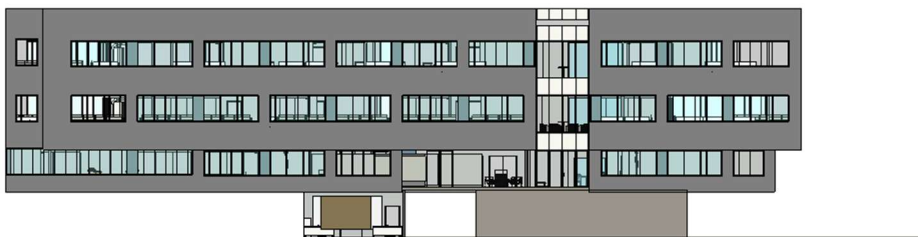
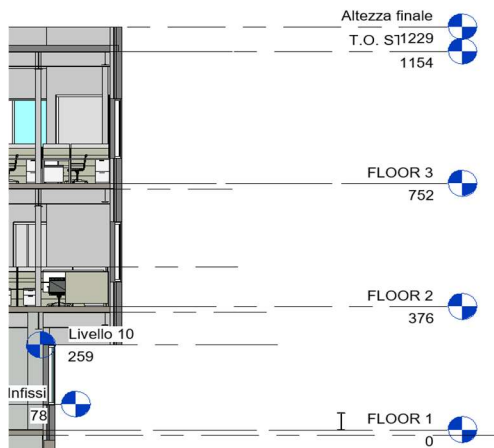


Figura 5 Prospetto generico

Il modello consiste in un edificio di quattro piani con un piano interrato incompleto, e per via di questa particolarità, necessiterà varie modifiche durante la modellazione. L’edificio è adibito principalmente a uffici con la presenza di diverse zone per riunioni e conferenze. Ogni piano possiede una zona mensa e una sala relax, nella parte ovest all’ultimo piano c’è un balconcino. I muri perimetrali montano numerevoli infissi di grande e piccole dimensioni e due facciate continue, inoltre in due lati, nord e ovest, l’edificio sporge verso l’esterno di 1.65 m circa rispetto all’impronta del piano terra.

Procedure di modellazione informativa ai fini della valutazione della resistenza al fuoco degli edifici



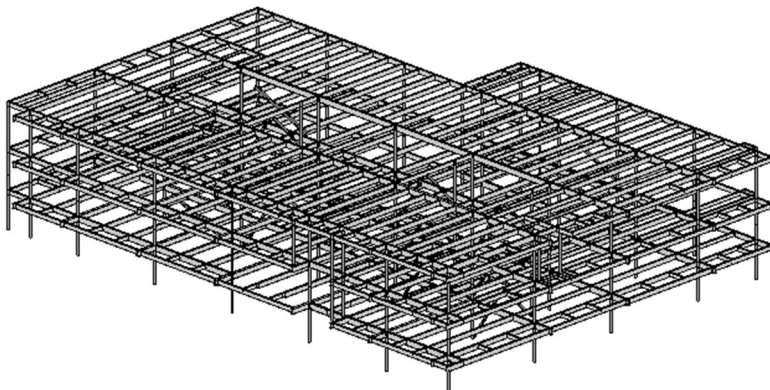
### Livelli e quote di riferimento

L'edificio è alto 12.29 m e presenta tre piani alti rispettivamente: piano terra 3.6 m, piano primo 3.6 m e piano secondo 4.02 m.

Possiamo notare l'altezza da dove l'edificio inizia a sporgere verso l'esterno 2.59 m e tale prominente si estende fino all'ultima altezza dell'edificio (figura 6).

Figura 6 sezione

## 4.1.1L'INTELAIATURA



L'edificio ha un telaio composto da elementi in acciaio, i quali sono:

82 pilastri di sezione quadrata 15x15

26 travi inclinate che fungono da controventature di sezione quadrata 15x15

Figura 7 intelaiatura

86 travi di sezione HE550A

200 travi di sezione HE450A

127 travi di sezione HE400A

77 travi di sezione HE340A

2 travi di sezione HE300A

35 travi di sezione HE200A

Le travi le ho identificate in sezioni, ma per via della conversione da file IFC a file RVT, le dimensioni delle travi presentavano elevate variazioni.

Procedure di modellazione informativa ai fini della valutazione della resistenza al fuoco degli edifici

#### 4.1.2 LE CHIUSURE VERTICALI E ORIZZONTALI

Materiale	Spessore
<b>Strati sopra ripiegatura</b>	<b>0.0000</b>
Masonry - PRECAST	0.1530
Vapor / Moisture Barriers - Vapor Retarder	0.0510
Air Barrier - Air Infiltration Barrier	0.0250
Metal - Stud Layer	0.0920
<b>Strati sotto ripiegatura</b>	<b>0.0000</b>

La chiusura verticale perimetrale del modello presenta la seguente stratigrafia dei materiali per uno spessore di 32,1 cm (figura 7).

Figura 7 stratigrafia chiusura verticale perimetrale

##### 4.1.2.1 I DIVISORI INTERNI

Materiale	
<b>Strati sopra ripiegatura</b>	<b>0.0000</b>
Finishes - Interior - Gypsum Wall Board	0.0150
Finishes - Interior - Gypsum Wall Board	0.0150
Metal - Stud Layer	0.0900
Finishes - Interior - Gypsum Wall Board	0.0150
Finishes - Interior - Gypsum Wall Board	0.0150

Figura 8 stratigrafia divisore 15cm

<b>Strati sopra ripiegatura</b>	<b>0.0000</b>
Finishes - Interior - Gypsum Wall Board	0.0200
Metal - Stud Layer	0.0900

Figura 9 stratigrafia divisore 11 cm

Materiale	
<b>Strati sopra ripiegatura</b>	<b>0.0000</b>
Finishes - Interior - Gypsum Wall Board	0.0150
Finishes - Interior - Acoustical Treatment	0.0000
Metal - Stud Layer	0.0900
Finishes - Interior - Gypsum Wall Board	0.0150

Figura 10 stratigrafia divisore 12 cm

Materiale	
<b>Strati sopra ripiegatura</b>	<b>0.0000</b>
Finishes - Interior - Gypsum Wall Board	0.0250
Finishes - Interior - Acoustical Treatment	0.0000
Metal - Stud Layer	0.0950
Finishes - Interior - Gypsum Wall Board	0.0150
Finishes - Interior - Gypsum Wall Board Blue	0.0150

Figura 11 stratigrafia divisore 15 cm

<b>Strati sopra ripiegatura</b>	<b>0.0000</b>
Concrete - Cast-in-Place Concrete	0.1588
<b>Strati sotto ripiegatura</b>	<b>0.0000</b>

Figura 12 stratigrafia chiusura orizzontale

Sono formati dai seguenti materiali:

Spessore 15 cm (figura 8).

Spessore 11 cm (figura 9).

Spessore 12 cm (figura 10).

Spessore 15 cm (figura 11).

Infine, la **chiusura orizzontale**, con il seguente strato, funge sia come chiusura di base, che intermedia e di copertura (figura 12).

### 4.1.3 LE FACCIATE CONTINUE

Numero presenti nel modello	Larghezza (cm)	Altezza (cm)
1	2591	180
1	187	180
1	206	180
1	645	180
1	111	180
1	73	180
1	1260	180
1	2279	180
1	35	180
1	1286	180
1	340	180
1	107	540
2	150	180
2	225	180
2	492	180
2	683	180
2	530	180
2	455	180
8	378	180
28	835	180
60		

La tabella riporta le dimensioni e le quantità delle diverse famiglie di infissi montati nei muri perimetrali.

Per la modellazione del Nuovo edificio, ho preso direttamente le famiglie riportate in tabella 7.

Tabella 7 infissi

**Le facciate continue** presenti nel modello sono due.

La facciata continua situata al Nord del modello Trapelo:

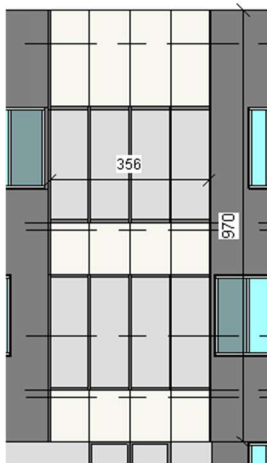


Figura 13 prospetto facciata

Questa facciata, si estende in altezza dal livello 10 (quota=2.59 m) fino all'ultima altezza dell'edificio, ed è posizionata al di sopra dell'ingresso dell'edificio. A sinistra sono riportate le dimensioni in cm (figura 13). Inoltre, si trova in una concavità di quasi 2 metri rispetto al perimetro (figura 14).

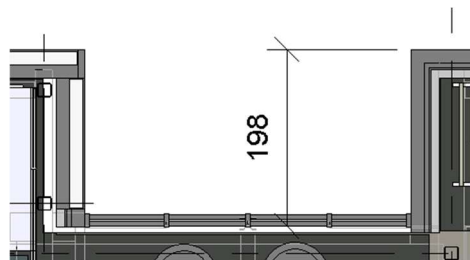


Figura 14

Procedure di modellazione informativa ai fini della valutazione della resistenza al fuoco degli edifici



Figura 15 prospetto

La facciata continua situata al Sud del modello Trapelo si trova nella parte opposta all'ingresso ed è posizionata all'ultimo piano, contrariamente alla precedente facciata continua, questa sporge verso l'esterno rispetto alla mezzeria del muro perimetrale di 0.83cm. A sinistra sono riportate le dimensioni in cm.

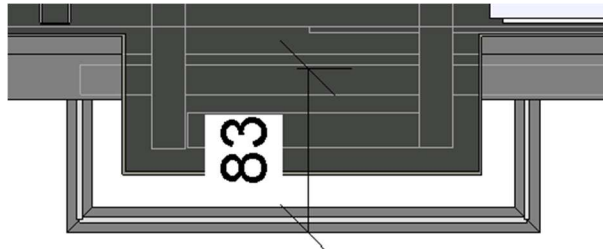


Figura 16

## 4.2 FASE PRELIMINARE DI MODELLAZIONE

### 4.2.1 CONVERSIONE DEL MODELLO TRAPELO DAL FORMATO IFC A RVT

Prima di operare con la modellazione vera e propria del Nuovo Edificio, bisogna aprire il file IFC. Aprendo Revit, si utilizza l'apposito comando presente sulla scheda file della barra multifunzione.

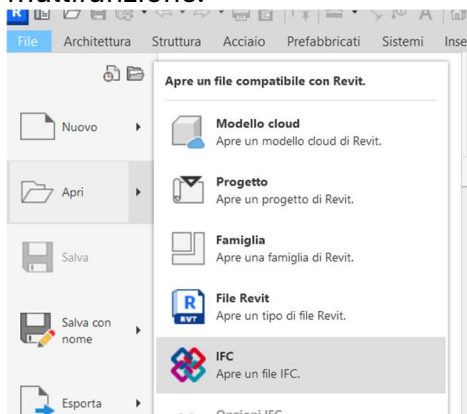


Figura 17 apertura ifc

In questo modo Revit converte il file dal formato .IFC a un file dal formato .RVT.

Dopo aver selezionato “apre un file IFC” comparirà una finestra di dialogo dove sarà possibile applicare impostazioni facoltative come: **“Unisci elementi automaticamente”** che io personalmente ho deselezionato in quanto potrebbe comportare grandi modifiche dei parametri del file, oppure **“Correggi linee leggermente fuori asse”** che serve a evitare grandi problemi di compenetrazione.

### 4.2.2 ESPLORAZIONE E STRUMENTI DI VISUALIZZAZIONE

Una volta aperto il file contenente il modello **Trapelo** in Revit, bisogna procedere con l'apertura delle varie viste per effettuare le misurazioni. Per tale operazione si usa il **browser di progetto**, cioè una scheda posizionata solitamente a sinistra, dove è possibile visualizzare una gerarchia logica di tutte le viste, gli abachi, le tavole, i gruppi e altri componenti del progetto corrente. In questo modo è possibile spostarsi sulla vista che si desidera prendere come riferimento per eseguire le misurazioni.

A volte le viste già presenti non bastano a effettuare delle corrette misurazioni, di conseguenza, il programma fornisce diversi comandi per creare viste aggiuntive di pianta e sezione.

#### 4.2.2.1 CREARE UNA GENERICA VISTA IN PIANTA

Occorre posizionarsi su un qualsiasi prospetto o sezione e utilizzare il comando presente nella scheda **architettura**, nel gruppo **riferimento**, selezionare **Livello**.

## Procedure di modellazione informativa ai fini della valutazione della resistenza al fuoco degli edifici

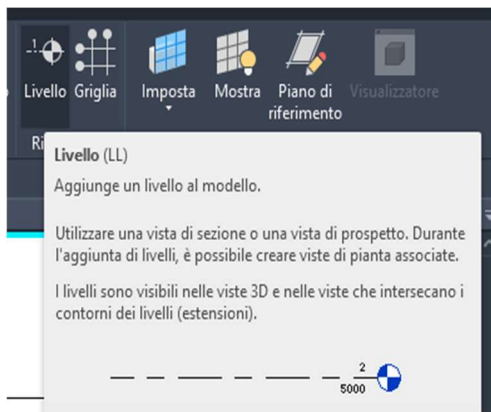


Figura 18 comando livello

Come possiamo vedere dall'immagine (figura18), affianco a livello tra parentesi c'è scritto (LL), ciò indica che per attivare il comando più velocemente basterà digitare LL con la tastiera.

Una volta attivato il comando si dovrà selezionare con il cursore sull'altezza dove si vuole posizionare il livello e automaticamente Revit creerà la vista di riferimento. Anche in seguito si potrà modificare la quota del livello, selezionando direttamente sulla cifra presente nel simbolo del livello.

### 4.2.2.2 FILTRI GRAFICI E VISIBILITÀ

Una volta create le viste, secondo le proprie esigenze, è possibile filtrare gli elementi presenti in una determinata vista. Ad esempio, se si necessita misurare il posizionamento delle travi allora ci si colloca nella vista di pianta, nella quota corrispondente alle travi strutturali e si filtra la vista in modo da poter vedere unicamente gli elementi strutturali.

Per farlo si sceglie il comando presente nella scheda **vista**, nel gruppo **grafica**, selezionando **visibilità/grafica** (figura 19).

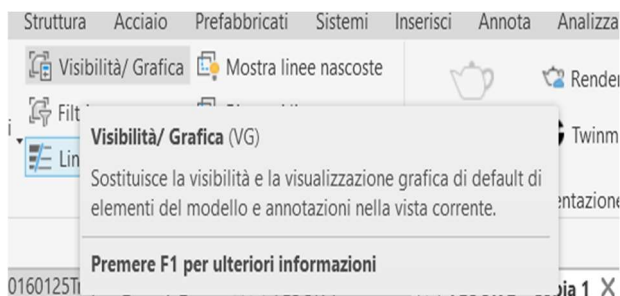


Figura 19 visibilità grafica

Si aprirà una finestra, nel riquadro "ricerca nome categoria" contenuto al suo interno, sarà possibile digitare una qualsiasi famiglia che si vuole filtrare.

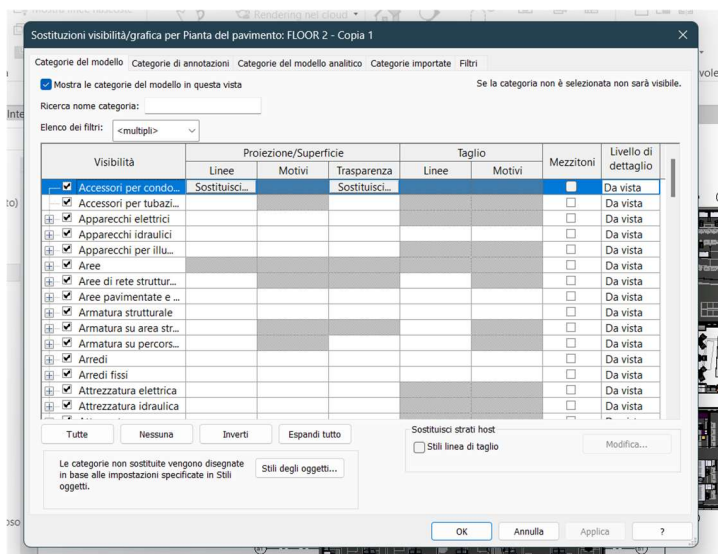


Figura 20 sostituzione visibilità

Sulla colonna **visibilità** sono presenti tutte le famiglie e il quadrato con la spunta indica che tale famiglia è presente nella vista, al contrario se non c'è nessuna spunta la famiglia non è visibile.

### 4.2.3 PUNTI DI RIFERIMENTO E STRUMENTI DI MISURAZIONE

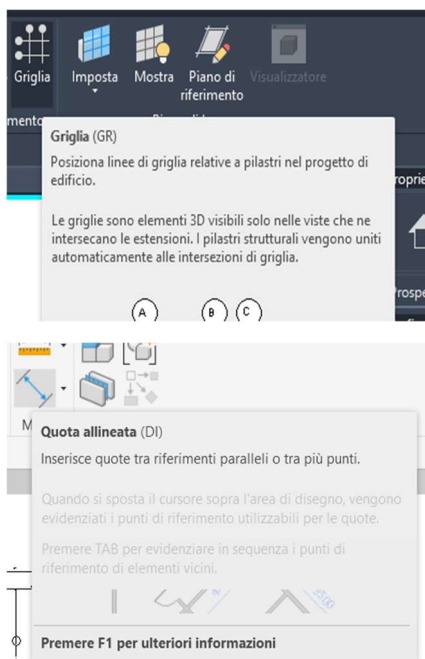


Figura 21 in alto, figura 22 in basso

#### Le griglie

Sono state utilizzate come punto di riferimento per molti elementi poiché fungono da vincoli. Per posizionarle ci si deve trovare in una generica vista in pianta e andare nella scheda **architettura**, nel gruppo **riferimento**, selezionare **griglia**. Oppure analogamente al posizionamento dei livelli utilizzo la combinazione (GR). Una volta attivato il comando, con il cursore si deve cliccare nel punto dove si vuole far partire la linea e successivamente si clicca per definire la fine della linea di griglia.

#### Quota allineata

È uno strumento utilizzato principalmente per misurare la distanza tra due linee, non è possibile utilizzarla nella vista 3D. Usufruibile velocemente con la combinazione (DI). Altrimenti si seleziona il comando andando nella scheda **modifica**, nel gruppo **misura**, selezionare **quota allineata**.

Due funzioni molto utili che dispone lo strumento **quota allineata** sono quella di poter ancorare le misure tra diversi oggetti in modo che non varino le distanze per via di movimenti involontari. L'altra funzione permette di eguagliare tutte le distanze misurate tra gli oggetti ancorati in modo da ottenere un posizionamento equo.

#### Linee di dettaglio

È stato scelto il comando "linee di dettaglio", con la combinazione (DL). Manualmente il comando si trova nella scheda **annota**, gruppo **dettaglio**, selezionare **linea di dettaglio**. È utile per creare linee che possono essere prese come riferimento, ma non fungono da vincoli.

Tutti questi strumenti sono stati adoperati nelle varie viste per avere dei riferimenti da poter utilizzare nel modello del **Nuovo Edificio**.

## 4.3 MODELLAZIONE

### 4.3.1 CREAZIONE DEL NUOVO PROGETTO



Figura 23

Al primo avvio di Revit bisogna recarsi a sinistra della finestra di apertura, nella sezione modelli si seleziona **nuovo** e io ho scelto il modello architettonico.

La selezione del modello incide principalmente nelle viste presenti di default, nei filtri grafici e nei livelli presenti.

Di conseguenza, le viste iniziali saranno differenti ma ognuna potrà essere modificata in seguito, secondo le proprie esigenze.

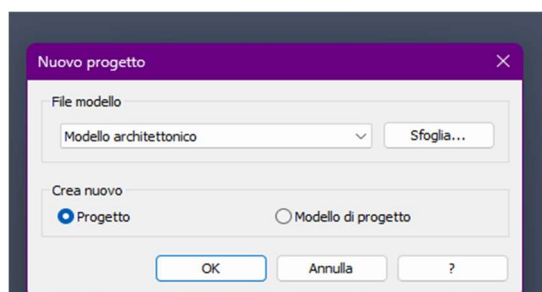
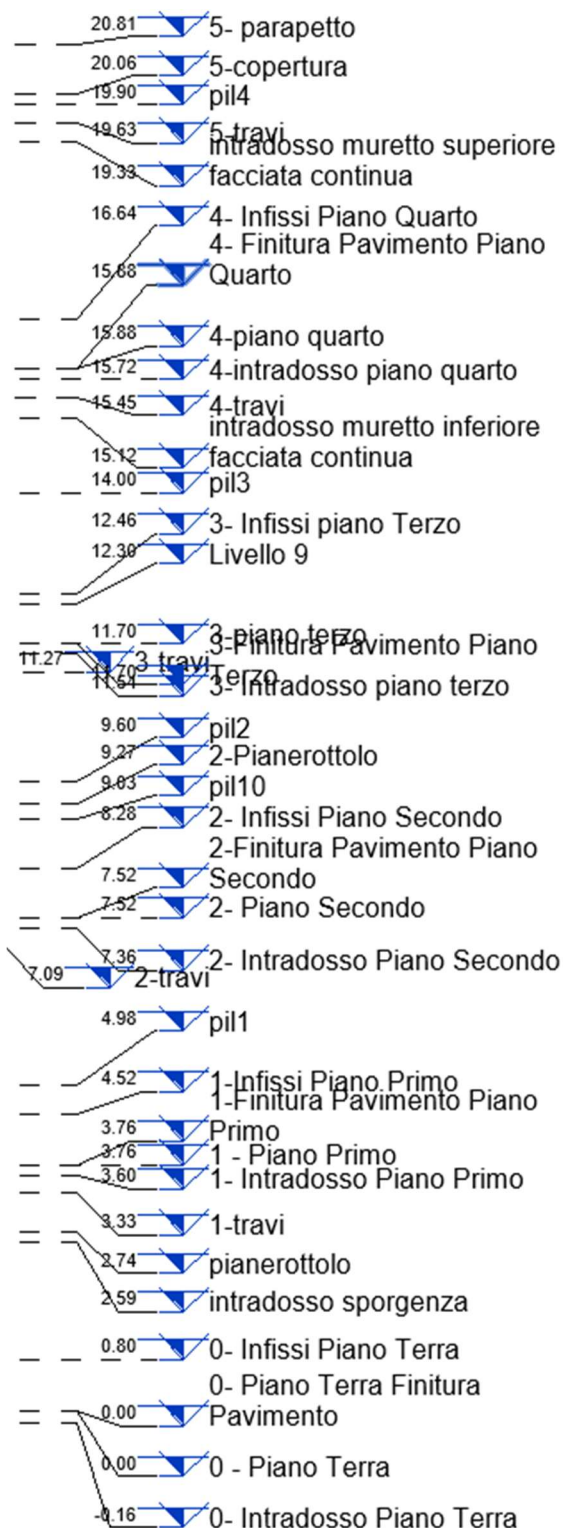


Figura 24

### 4.3.2 CREAZIONE LIVELLI E VISTE IN PIANTA



Utilizzando lo stesso procedimento descritto precedentemente ([creazione vista in pianta](#)), ho creato i seguenti livelli con le corrispondenti viste in pianta.

Come si può notare ogni singolo livello è stato creato in funzione alla modellazione del Nuovo Edificio, in quanto fungeranno da viste utili alla modellazione e da vincoli per gli elementi.

Figura 25 Livelli

### 4.3.3 POSIZIONAMENTO DEI PILASTRI

Prima di posizionare i **Pilastri** e le **Travi**, mi sono posto in una vista in pianta del modello **Trapelo** che mi permettesse di visualizzare unicamente i vari elementi strutturali in acciaio, in tal modo ho tracciato con il comando griglia (GR) i punti di riferimento dove gli elementi interessati si trovavano.

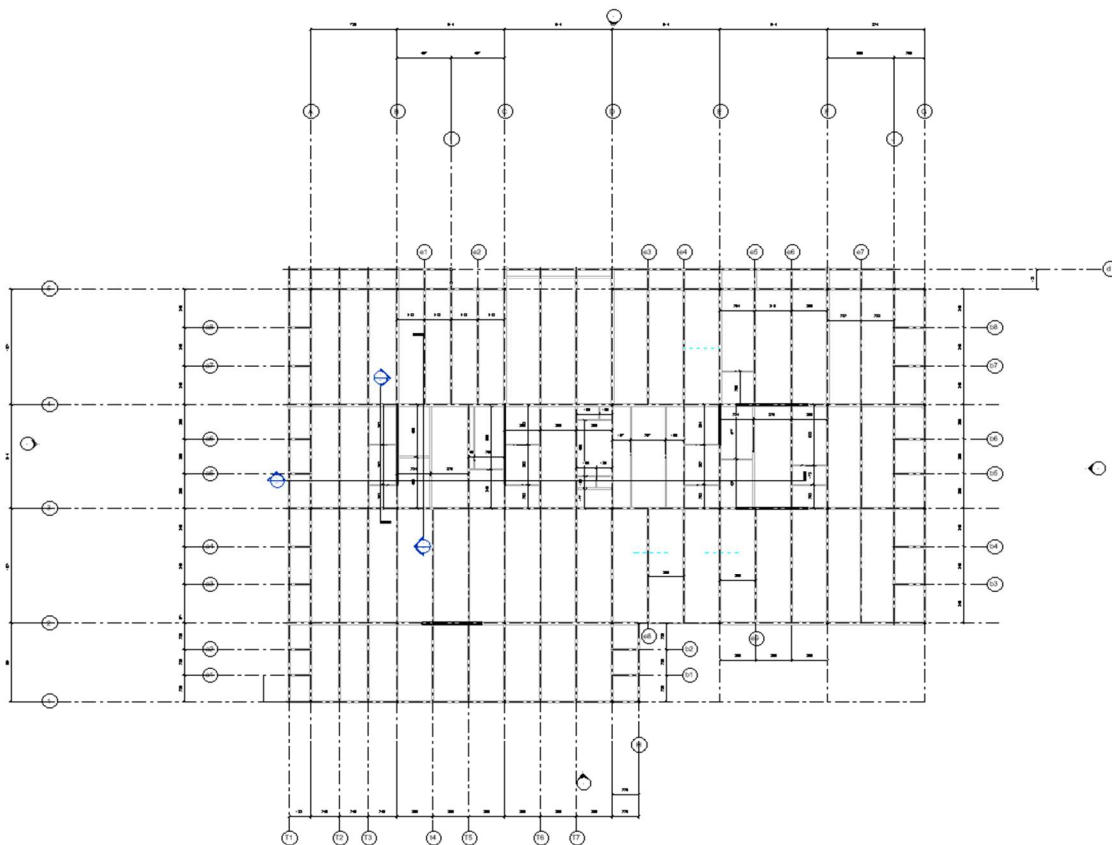


Figura 26 Punti di riferimento

Ho utilizzato lo strumento di quota allineata per ottenere le informazioni riguardo le distanze, e anche per vincolarle.

Ho usato il comando **copia negli appunti** di Revit, usufruibile anche quando si hanno due progetti aperti contemporaneamente, in questo modo ho semplicemente copiato le griglie dal modello **Trapelo**, al modello **Nuovo Edificio**. Il comando è situato nella scheda **modifica**, gruppo **appunti**, selezione **copia negli appunti**.

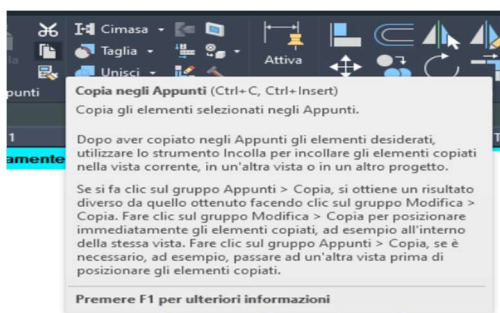


Figura 27

Basterà quindi selezionare tutti gli elementi che si vogliono copiare.

Successivamente per incollare, si usa il comando **incolla dagli appunti**, per incollare nel modello **Nuovo Edificio**. Il comando è situato a fianco a **copia negli appunti**.

**Per posizionare** i pilastri prima mi sono messo nella vista in pianta corrispondente alla base del pilastro e quindi **0-Intradosso Piano Terra**, poi ho incollato la griglia di riferimento precedentemente creata e infine ho usato il comando apposito per il posizionamento dei pilastri. Nella scheda **struttura**, nel gruppo **struttura**, seleziono **colonna**, dalla finestra proprietà seleziono il pilastro HE160A. Infine ho posizionato i pilastri in riferimento a come erano posti nel modello **Trapelo** semplicemente cliccando con il cursore.

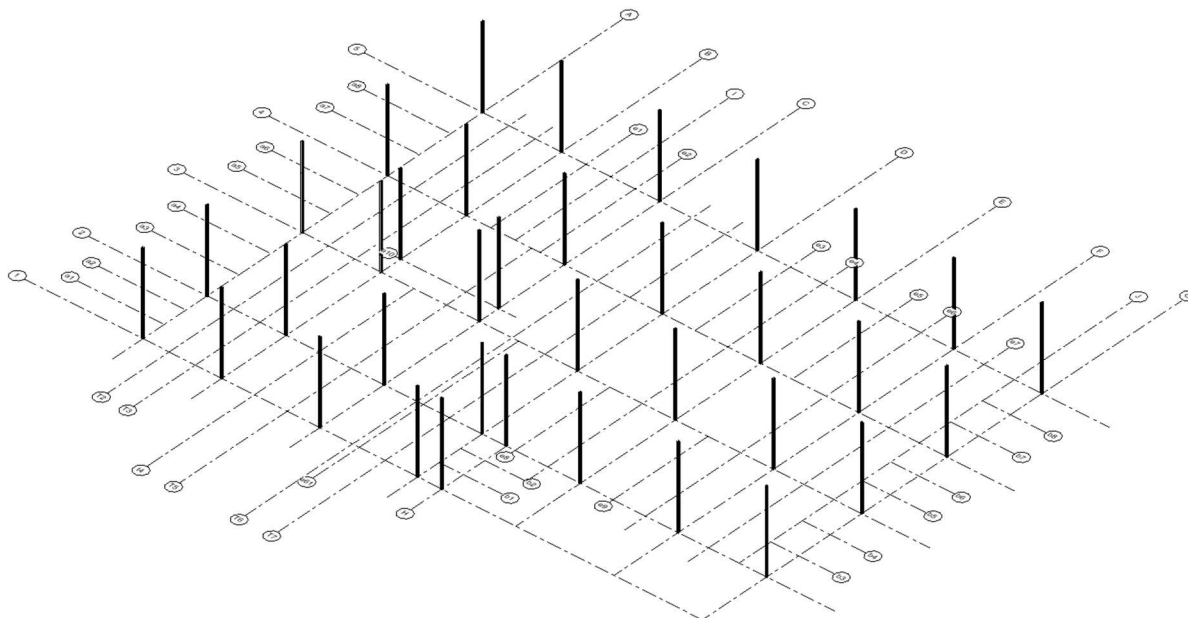


Figura 28 Pilastri piano terra

Una volta posizionati i pilastri ho usato i comandi **copia sugli appunti** e **incolla allineato ai livelli selezionati**, in questo modo posiziono tutti i pilastri nei livelli **Pil 1, Pil 2, Pil 3**.

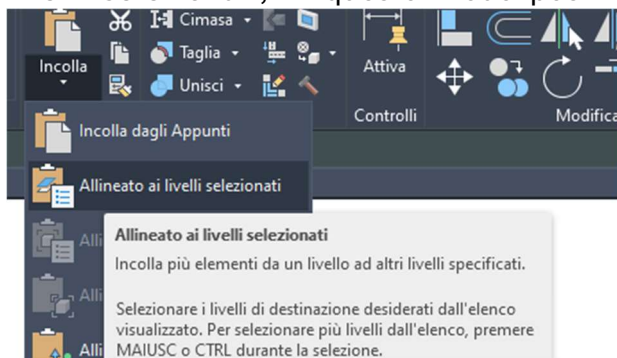


Figura 29

Procedure di modellazione informativa ai fini della valutazione della resistenza al fuoco degli edifici

#### 4.3.4 MODELLAZIONE PLATEA DI FONDAZIONE

Dopo i Pilastri ho modellato la Platea, si utilizza lo strumento presente in Revit, andando sulla scheda **struttura**, nel gruppo **fondazione**, seleziono **platea**. Prima ci si posiziona sulla vista adatta, cioè quella corrispondente alla base dei pilastri, **0-Intradosso Piano Terra**.

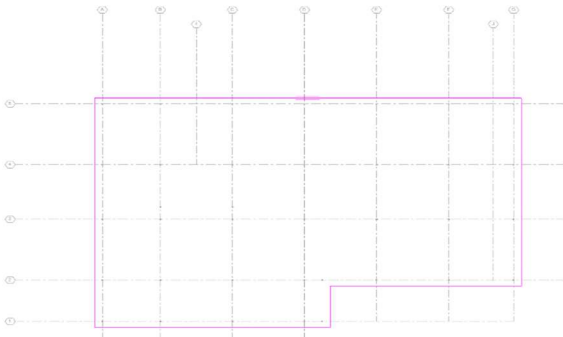


Figura 30

Lo strumento ci permette di **disegnare** il contorno della platea direttamente sulla pianta.

l'ho modellata con 1 metro di offset rispetto ai pilastri in acciaio (figura 30).

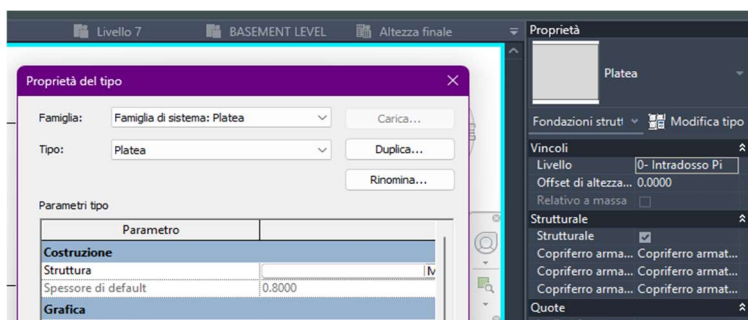


Figura 31

Ho modificato lo **spessore** della platea direttamente dalle proprietà del tipo della platea, che si trovano selezionando **modifica tipo** nella finestra **proprietà della platea** (figura 31).

#### 4.3.5 POSIZIONAMENTO DELLE TRAVI

Prima di questa operazione sono state analizzate le viste in sezione del modello **Trapelo** per misurare le sezioni delle travi strutturali in acciaio, utilizzando il comando quota allineata, le misurazioni quindi mi hanno portato a scegliere delle travi con le seguenti sezioni HE550A, HE450A, HE400A, HE340A, HE300A, HE200A. Tutte queste travi sono presenti nelle famiglie Revit e sono compatibili con il programma Dynamo .

Per posizionarle mi sono posto alla vista di livello **1-Travi e** avente come riferimento le griglie, ho usato lo strumento apposito presente nella scheda **strutture**, nel gruppo **strutture**, seleziono **telaio strutturale**.

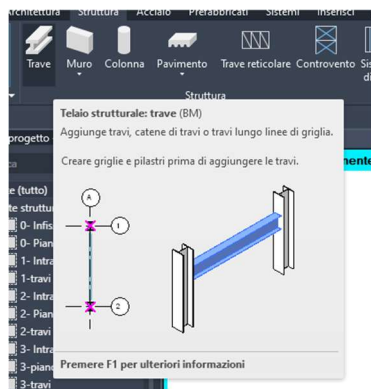


Figura 32

Le travi vengono poste nella quota corrispondente al livello della vista usata per posizionarle, in questo caso quindi **1-Travi**, per collocarle, una volta attivato il comando, basterà utilizzare il cursore e cliccare prima nella estremità iniziale e dopo in quella finale.

L'uso delle griglie di riferimento è molto utile per evitare errori di collocazione.

Procedure di modellazione informativa ai fini della valutazione della resistenza al fuoco degli edifici

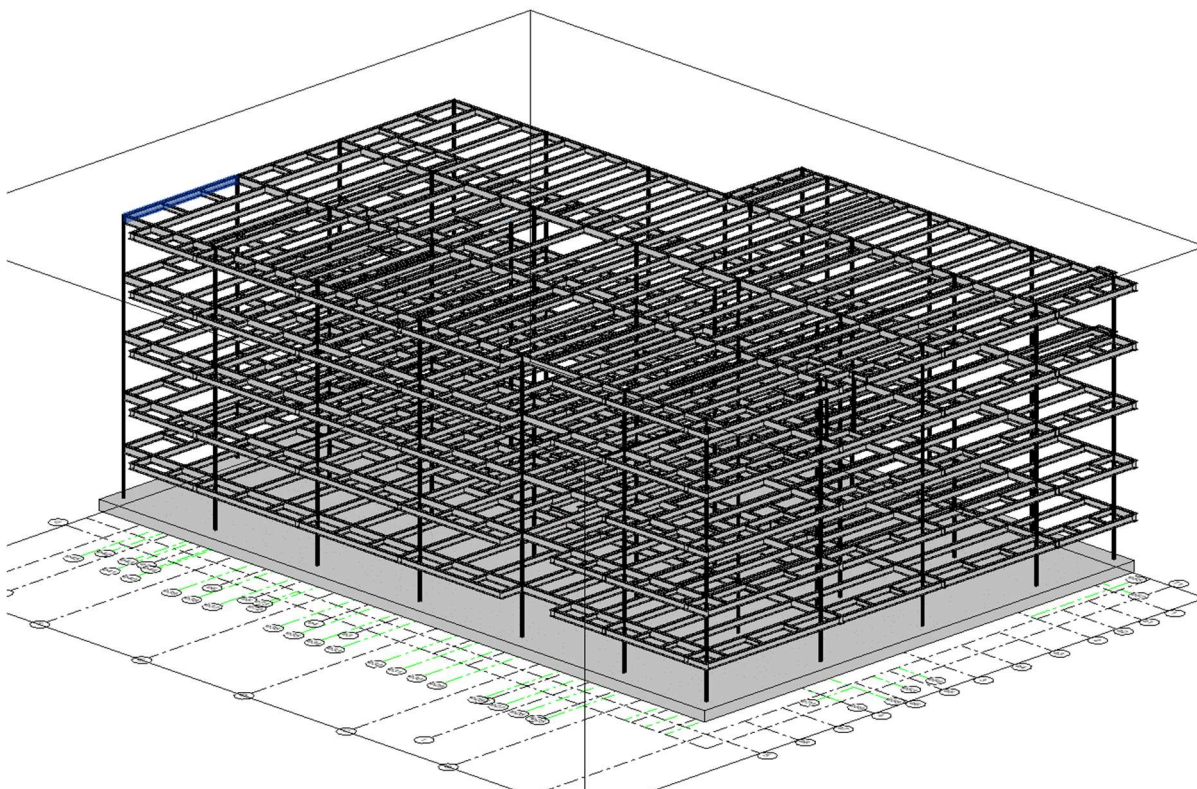


Figura 33 intelaiatura completa

Dopo il posizionamento del primo livello, ho eseguito lo stesso procedimento fatto per i pilastri, uso i comandi **copia sugli appunti** e **incolla allineato ai livelli**, collocando le travi nei livelli **2-Travi, 3-Travi, 4-Travi, 5-Travi**.

#### 4.3.6 POSIZIONAMENTO CONTROVENTATURE

Per quanto riguarda il posizionamento delle controventature, mi sono posto in una vista di sezione adatta, ho usato il comando apposito che si trova nella scheda **struttura**, nel gruppo **struttura**, seleziono **telaio strutturale controvento (BR)**.

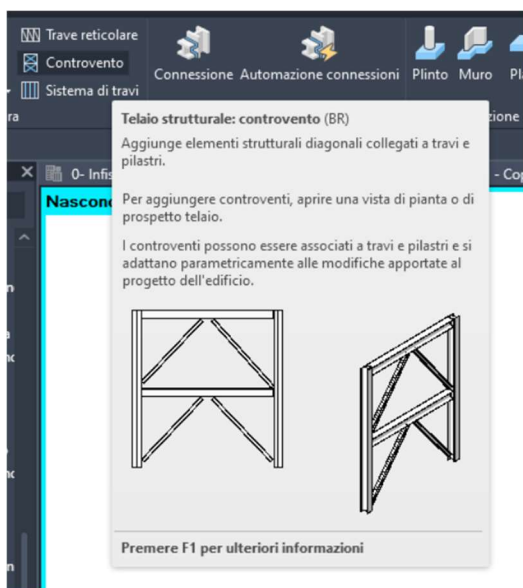


Figura 34

Posizionando le controventature, sarà possibile selezionare una **griglia di riferimento** per vincolarla e mantenere in asse la controventatura. In questo modo sarà possibile collocarla da una qualsiasi vista in prospetto o sezione, parallela alla controventatura. Se vincolata a una griglia si potrà utilizzare anche una vista 3d.

Le controventature le ho posizionate secondo i riferimenti del modello **Trapelo**.

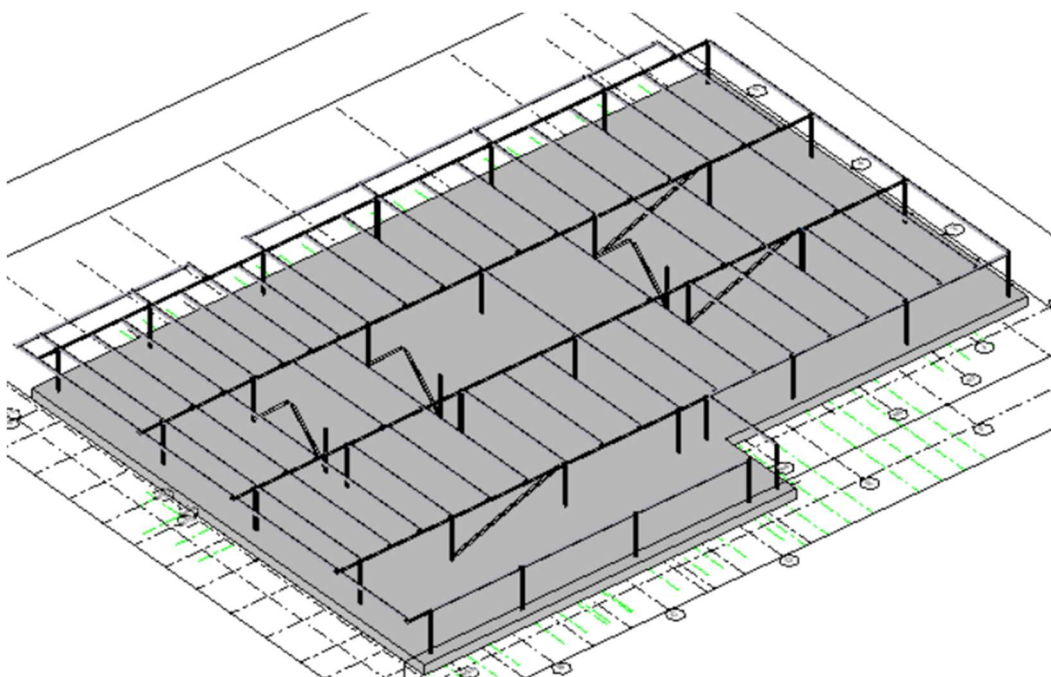


Figura 35 controventature piano terra

Analogamente alle travi e pilastri, uso i comandi **copia sugli appunti** e **incolla allineato ai livelli** per posizionare le controventature allineate in altezza.

#### 4.3.7 MODELLAZIONE CHIUSURE VERTICALI

Prima di modellare le chiusure verticali, ho dovuto creare le famiglie corrispondenti direttamente su Revit. Prima di tutto sono andato sul progetto **Trapelo** e ho selezionato le famiglie interessate, successivamente andando sulle proprietà del tipo di ogni famiglia, ho selezionato **modifica struttura** per visualizzare le stratigrafie delle varie famiglie di muri (procedimento simile a quello descritto in seguito).

Poi ho ricreato quelle stratigrafie nel nuovo modello, per farlo sono andato nella scheda **architettura**, nel gruppo **costruisci**, seleziono **muro architettonico**.

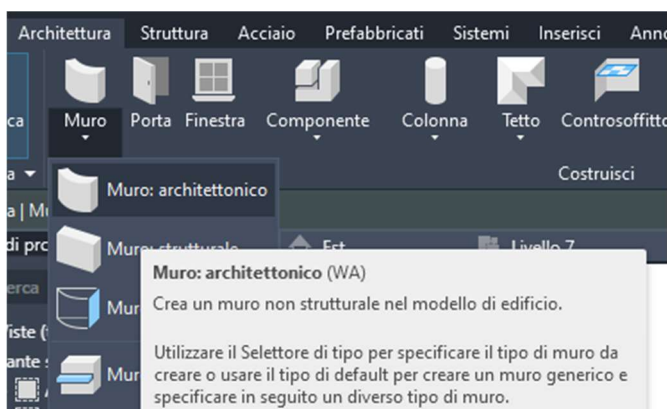


Figura 36

Per **creare una nuova famiglia** il procedimento da seguire è simile per tutti gli elementi in Revit. Una volta selezionato il comando per la creazione di un nuovo muro, bisogna andare nella finestra delle proprietà e selezionare **modifica tipo**, si aprirà la finestra delle proprietà del tipo.

Poi andrò a selezionare **duplica** e darò il nome al nuovo muro.

Procedure di modellazione informativa ai fini della valutazione della resistenza al fuoco degli edifici

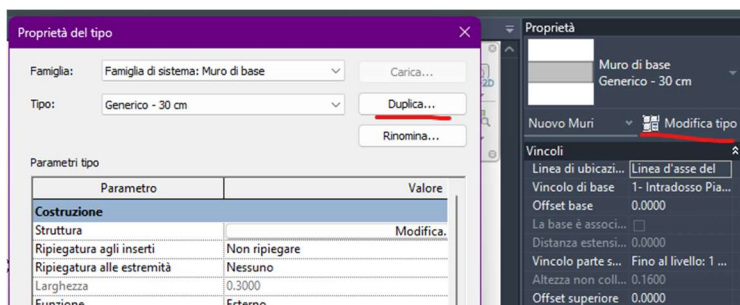


Figura 37 modifica tipo

Successivamente sulla finestra delle proprietà del tipo del nuovo muro, seleziono **modifica struttura** e vado a cambiare la stratigrafia.

Modifica assieme				
Famiglia:	Muro di base			
Tipo:	MURO Trapelo			
Spessore totale:	0.3210 (Default)			
Resistenza (R):	3.2293 (m <sup>2</sup> ·K)/W			
Massa termica:	434.96 kJ/(m <sup>2</sup> ·K)			
Strati				
			LATO ESTERNO	
	Funzione	Materiale	Spessore	Ripieg.
1	Contorno del nucleo	Strati sopra ripiegatura	0.0000	
2	Struttura [1]	Masonry - PRECAST	0.1530	<input type="checkbox"/>
3	Struttura [1]	Vapor / Moisture Barriers - Va	0.0510	<input type="checkbox"/>
4	Struttura [1]	Air Barrier - Air Infiltration Bar	0.0250	<input type="checkbox"/>
5	Struttura [1]	Metal - Stud Layer	0.0920	<input type="checkbox"/>
6	Contorno del nucleo	Strati sotto ripiegatura	0.0000	

Figura 38 stratigrafia

Ho preso per quanto riguarda il muro perimetrale gli stessi materiali del modello presente in quello trapelo dato che sono presenti anche i parametri termici.

Per **posizionare** i muri perimetrali mi colloco su una vista in pianta corrispondente al livello **0-Intradosso Piano Terra** e attivo il comando, con il cursore vado a percorrere la linea del muro, l'ho impostata con un offset di 30 cm rispetto alle griglie di riferimento dei pilastri.

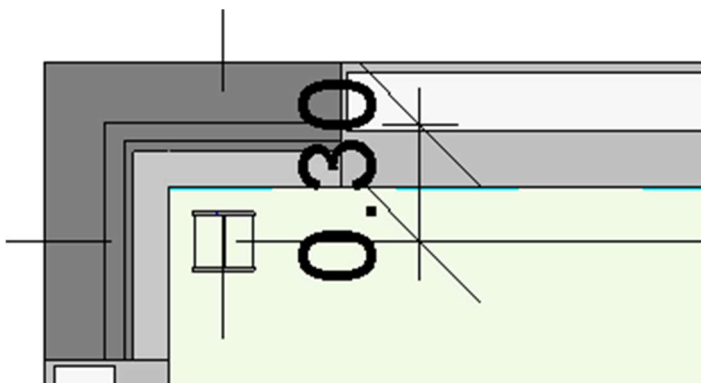
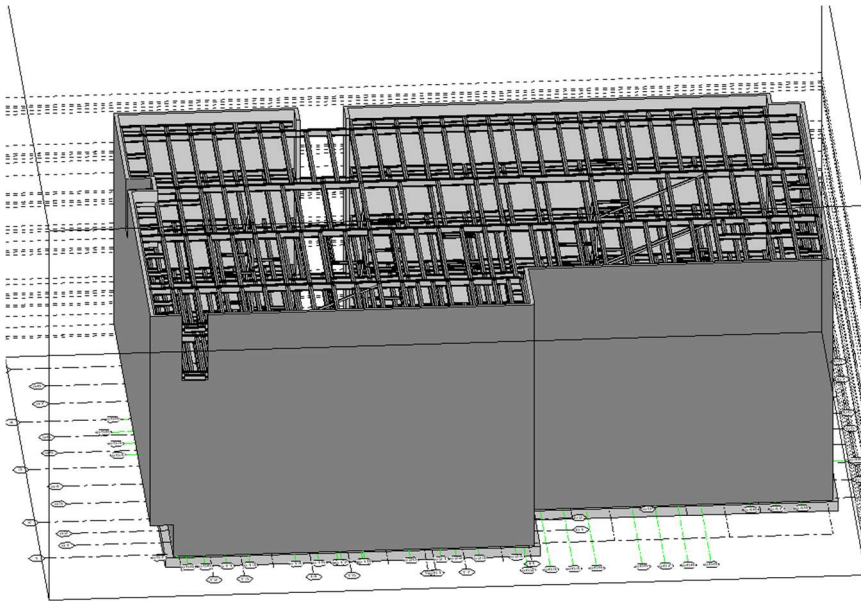


Figura 39

Inoltre, vado a impostare come vincolo superiore l'intradosso del livello successivo, nel caso del piano terra il muro ha come vincolo di base **0-Intradosso Piano Terra** e come vincolo superiore, **1-Intradosso Piano Primo**.

Procedure di modellazione informativa ai fini della valutazione della resistenza al fuoco degli edifici

Una volta modellato il muro per il piano terra, basterà usare i comandi **copia sugli appunti** e **incolla allineato ai livelli**, per modellare l'intero involucro in altezza.



*Figura 40 muri perimetrali*

Per quanto riguarda i muri presenti nella sporgenza, i muri inferiori hanno come vincolo livello **Intradosso sporgenza** con quota 2.59m, le aperture presenti sono i punti dove in seguito saranno posizionate le facciate continue.

Procedure di modellazione informativa ai fini della valutazione della resistenza al fuoco degli edifici

### 4.3.8 MODELLAZIONE PAVIMENTI

Per posizionare i pavimenti prima necessario di creare la famiglia, uso direttamente il materiale presente nel modello **Trapelo**.



Figura 41 comando pavimento

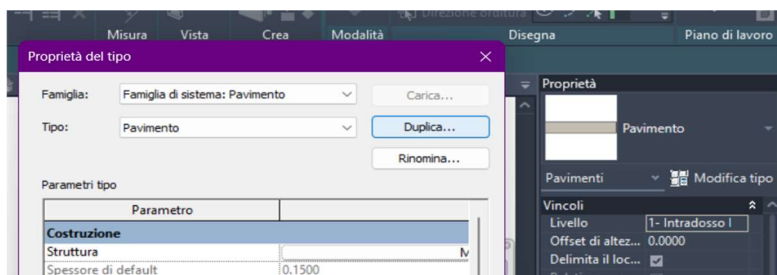


Figura 42 modifica tipo



Figura 43 stratigrafia

Per collocarlo prima mi posiziono sulla vista interessata, nel caso dei pavimenti, la vista corrisponde al vincolo superiore. Quindi uso **0 – Piano Terra**, lo strumento di posizionamento ci permetterà di disegnare il contorno del pavimento come visto in precedenza per la platea, quindi andrò a disegnarlo in corrispondenza al nucleo delle chiusure verticali perimetrali.

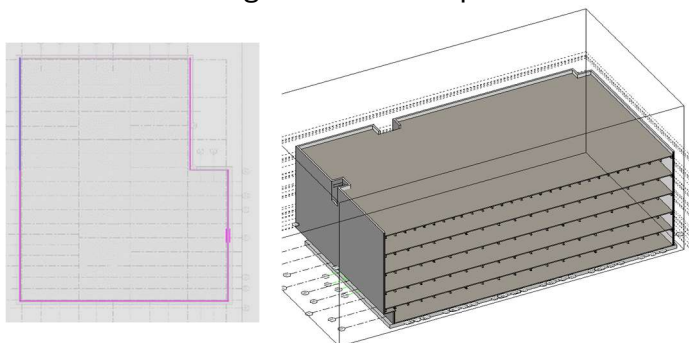


Figura 44 perimetro pavimentazione sinistra, Figura 45 destra

Successivamente con i comandi **copia sugli appunti** e **incolla allineato ai livelli** ho posizionato i pavimenti in ogni piano, compresa la copertura.

Procedure di modellazione informativa ai fini della valutazione della resistenza al fuoco degli edifici

### 4.3.9 POSIZIONAMENTO PARTIZIONI INTERNE

Ho eseguito lo stesso procedimento fatto per i muri perimetrali scegliendo materiali con parametri termici:

Modifica assieme				
Famiglia:	Muro di base			
Tipo:	MURO Trapelo Tramezzo 15cm con membrana			
Spessore totale:	0.1500 (Default)			
Resistenza (R):	0.4808 (m <sup>2</sup> ·K)/W			
Massa termica:	241.61 kJ/(m <sup>2</sup> ·K)			
Strati				
LATO ESTERNO				
	Funzione	Materiale	Spessore	Ripiegature
1	Contorno del nucleo	Strati sopra ripiegatura	0.0000	
2	Struttura [1]	Gesso rinforzato con fibra di vetro	0.0200	<input type="checkbox"/>
3	Strato Termico/Camera d'aria [3]	Lana di roccia	0.0150	<input type="checkbox"/>
4	Struttura [1]	Metal - Stud Layer	0.0900	<input type="checkbox"/>
5	Struttura [1]	Intonaco - Bianco	0.0150	<input type="checkbox"/>
6	Struttura [1]	Intonaco - Bianco	0.0100	<input type="checkbox"/>
7	Contorno del nucleo	Strati sotto ripiegatura	0.0000	

Figura 46 Stratigrafia tramezzo 15 cm

Modifica assieme						
Famiglia:	Muro di base					
Tipo:	MURO Trapelo Tramezzo 15cm					
Spessore totale:	0.1500 (Default)					
Resistenza (R):	0.0004 (m <sup>2</sup> ·K)/W					
Massa termica:	217.97 kJ/(m <sup>2</sup> ·K)					
Altezza esempio: 6.0000						
Strati						
LATO ESTERNO						
	Funzione	Materiale	Spessore	Ripiegature	Materiale strutturale	Variabile
1	Contorno del nucleo	Strati sopra ripiegatura	0.0000			
2	Struttura [1]	Intonaco - Bianco	0.0150	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	Struttura [1]	Intonaco - Bianco	0.0150	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	Struttura [1]	Metal - Stud Layer	0.0900	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	Struttura [1]	Intonaco - Bianco	0.0150	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	Struttura [1]	Intonaco - Bianco	0.0150	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	Contorno del nucleo	Strati sotto ripiegatura	0.0000			
LATO INTERNO						

Figura 47 Stratigrafia tramezzo 15 cm

Modifica assieme			
Famiglia:	Muro di base		
Tipo:	MURO Trapelo Tramezzo 11cm		
Spessore totale:	0.1100 (Default)		
Resistenza (R):	0.0004 (m <sup>2</sup> ·K)/W		
Massa termica:	217.97 kJ/(m <sup>2</sup> ·K)		
Strati			
LATO ESTERNO			
	Funzione	Materiale	Spessore
1	Contorno del nucleo	Strati sopra ripiegatura	0.0000
2	Struttura [1]	Intonaco - Bianco	0.0200
3	Struttura [1]	Metal - Stud Layer	0.0900
4	Contorno del nucleo	Strati sotto ripiegatura	0.0000

Figura 48 Stratigrafia tramezzo 11cm

Procedure di modellazione informativa ai fini della valutazione della resistenza al fuoco degli edifici

Modifica assieme			
Famiglia:	Muro di base		
Tipo:	MURO Trapelo Tramezzo 12cm con membrana		
Spessore totale:	0.1200 (Default)		
Resistenza (R):	0.2945 (m <sup>2</sup> ·K)/W		
Massa termica:	219.39 kJ/(m <sup>2</sup> ·K)		
Strati			
			LATO ESTERNO
	Funzione	Materiale	Spessore
1	Contorno del nucleo	Strati sopra ripiegatura	0.0000
2	Struttura [1]	Intonaco - Bianco	0.0100
3	Strato Termico/Camera d'aria [3]	Lana di roccia	0.0100
4	Struttura [1]	Metal - Stud Layer	0.0900
5	Struttura [1]	Intonaco - Bianco	0.0100
6	Contorno del nucleo	Strati sotto ripiegatura	0.0000

Figura 49 Stratigrafia tramezzo 12 cm

Per posizionare i tramezzi sono andato prima sul modello **Trapelo** e mi sono posto in una vista in pianta, ho utilizzato lo strumento **linea di dettaglio** per disegnare l'andamento dei tramezzi, successivamente ho copiato quelle linee nella vista in pianta **0-Piano Terra** presente nel modello **Nuovo Edificio**, di conseguenza ho ripassato i tramezzi sulle linee di dettaglio.

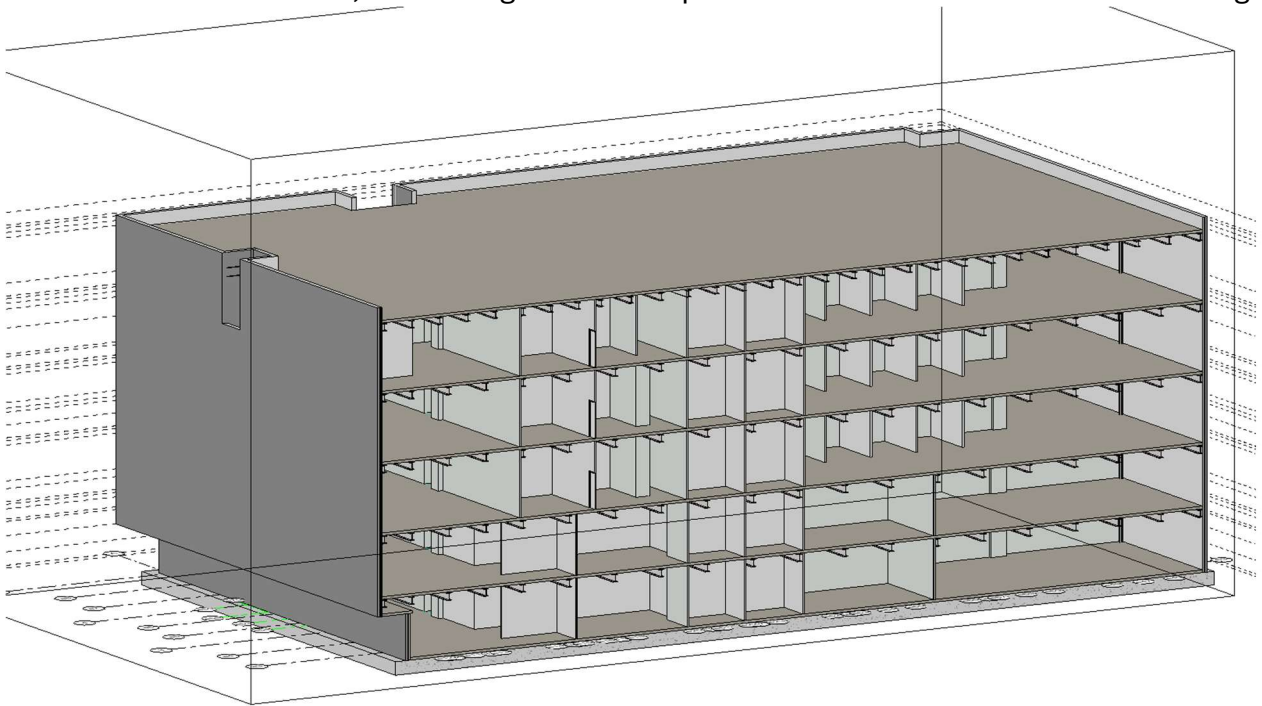


Figura 50 tramezzi

I primi due piani hanno l'andamento dei tramezzi differente rispetto ai piani superiori.

#### 4.3.10 MODELLAZIONE SCALE

Prima di iniziare la modellazione, ho preso le misure direttamente dal modello **Trapelo**, mi sono posto in una vista di pianta per comprendere quanto sono ampie la rampa e il pianerottolo, per visualizzare meglio le altezze mi sono posto in una vista di sezione (figura 51).

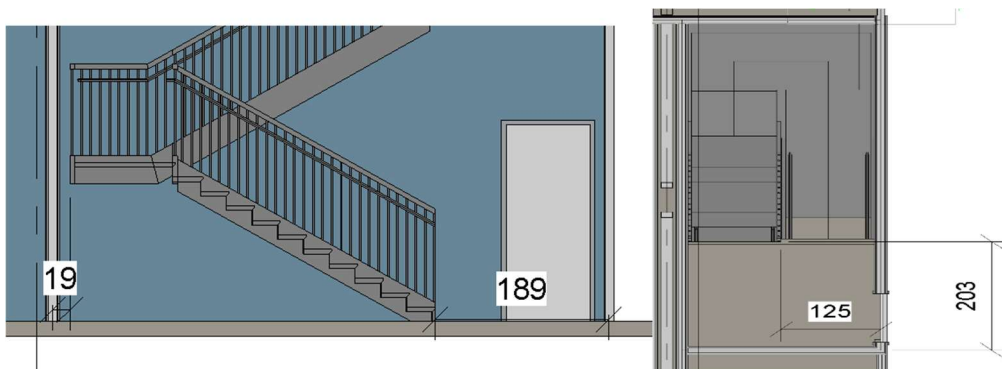


Figura 51 sinistra, Figura 52 destra

Ultimate le misure nel modello **Nuovo Edificio** mi dispongo nella vista in pianta che corrisponderà al vincolo di base della scala, **0-Piano Terra**, e uso lo strumento apposito per modellare le scale presenti nella scheda **architettura**, nel gruppo distribuzione **verticale**, seleziono **scala**.

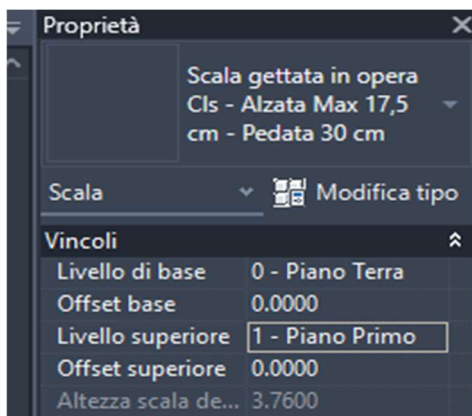


Figura 53

Nel momento in cui si apre lo strumento per la modellazione della scala, nella finestra delle proprietà (figura 53) vado a inserire i **livelli di vincolo** di livello base e di livello superiore della scala, prima ancora di disegnarla.

Per modellarla, Revit ci permette di disegnare la direzione della rampa con una linea che corrisponde alla mezzera della rampa, inoltre ogni volta che vado avanti con la linea ci creerà la rampa per vedere come sarà modellata (figura 54).

In questo caso ho fatto 2 linee: una che va dal piano terra al pianerottolo e una che va dal pianerottolo al piano primo.

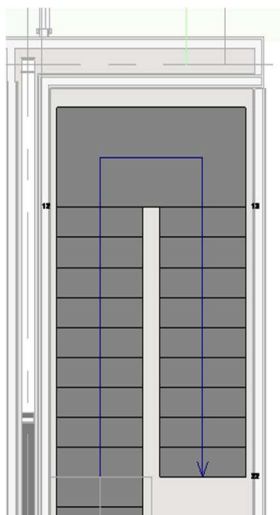


Figura 54

Dopo ho **modificato** il contorno del pavimento del piano, facendo doppio click su di esso, si apriranno gli strumenti di modifica, creando il cavedio per il vano scala (figura 55).

Come per le precedenti parti, ho copia incollato in altezza tutte le scale rispettando i vincoli per ogni piano (figura 56).

Procedure di modellazione informativa ai fini della valutazione della resistenza al fuoco degli edifici

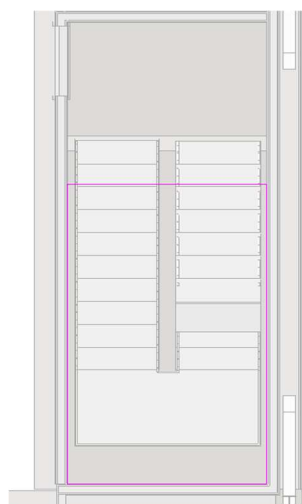


Figura 55

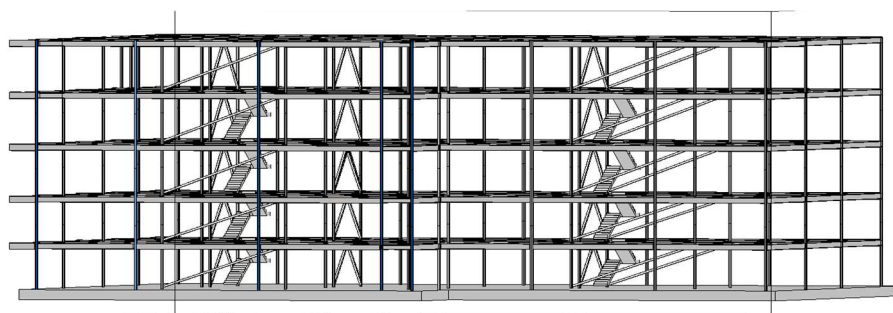


Figura 56

#### 4.3.11 POSIZIONAMENTO INFISSI E PORTE

Prima di posizionare gli infissi è necessario caricarli nel modello **Nuovo Edificio**, quindi sono andato nel modello **Trapelo** e ho selezionato ogni singolo infisso, facendo doppio click sulla istanza, si aprirà una finestra per la modifica della famiglia, andando in alto si può notare il comando **carica famiglia**, in questo modo ho inserito tutte le famiglie degli infissi sul modello **Nuovo Edificio**, quindi, non sono andato a creare nuove famiglie per gli infissi ma uso direttamente quelli del modello **Trapelo**.

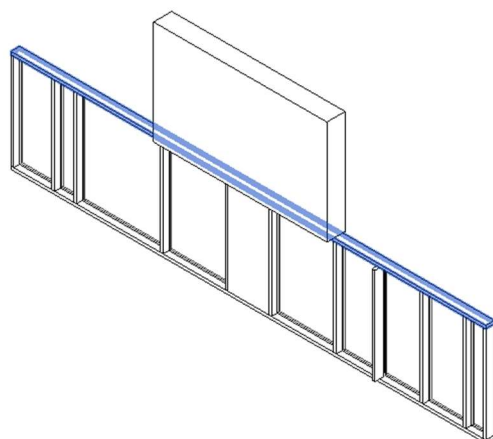
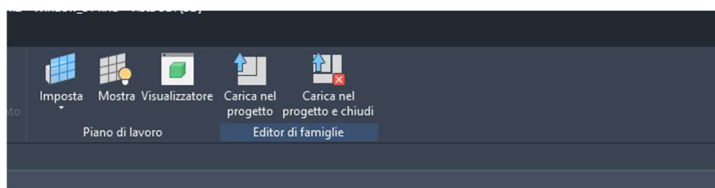
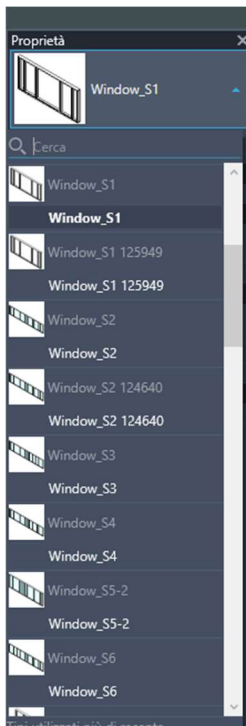


Figura 57

Per collocare gli infissi, in ogni piano, ho creato la quota di riferimento per gli infissi (es. **0-Infissi Piano Terra**), successivamente secondo le misure prese dai prospetti del modello **Trapelo** ho posizionato gli infissi, usando l'apposito comando, nella scheda **architettura**, nel gruppo **costruisci**, seleziono **finestra**.

Procedure di modellazione informativa ai fini della valutazione della resistenza al fuoco degli edifici



Inoltre, nella finestra delle proprietà è possibile selezionare tutti gli infissi caricati nel progetto. Questa cosa si può fare nel posizionamento di qualsiasi istanza presente nel progetto.

Figura 58

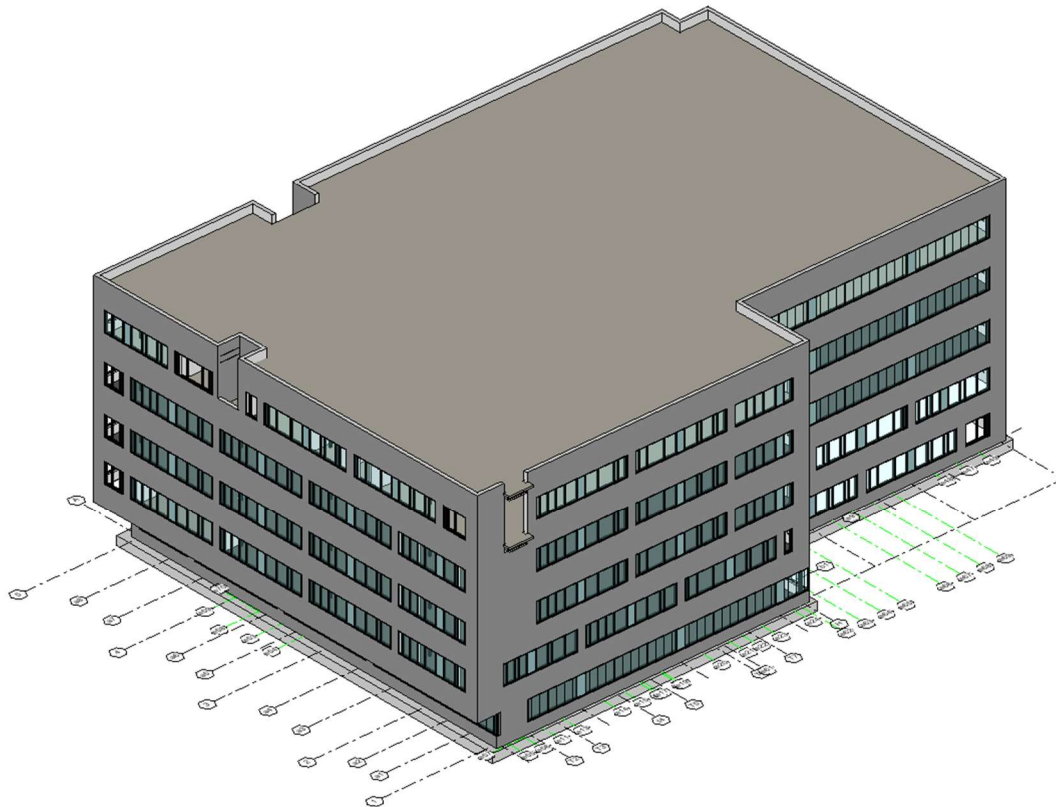


Figura 59

Procedure di modellazione informativa ai fini della valutazione della resistenza al fuoco degli edifici

Per il posizionamento delle **porte** il procedimento è lo stesso fatto per gli infissi, quindi ho inserito sul nuovo modello le famiglie delle porte e mi sono posto su una vista corrispondente al vincolo di base delle porte e quindi **0- Piano Terra**, e poi ho usato il comando apposito presente nella scheda **architettura**, nel gruppo **costruisci**, selezione **porta**.

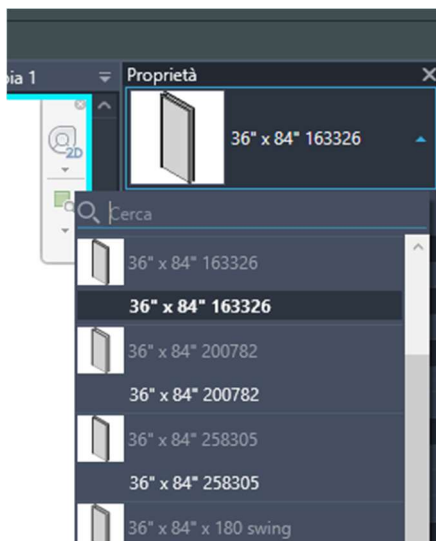


Figura 60

Per posizionarle basterà scegliere il tipo di porta dalla finestra delle proprietà e infine cliccare nel punto dove le si vuole collocare.

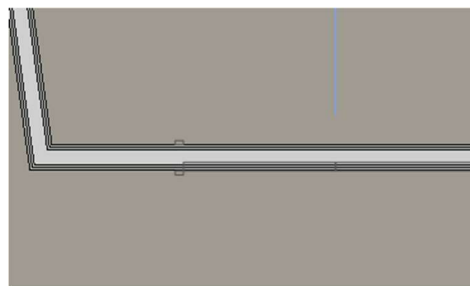


Figura 61 collocamento porta

#### 4.3.12 CREAZIONE FACCIATE CONTINUE

Prima ho preso le misure direttamente dal modello **Trapelo**, mi sono posizionato nelle varie viste di pianta prospetto e sezione, ricavando le seguenti misure in cm.

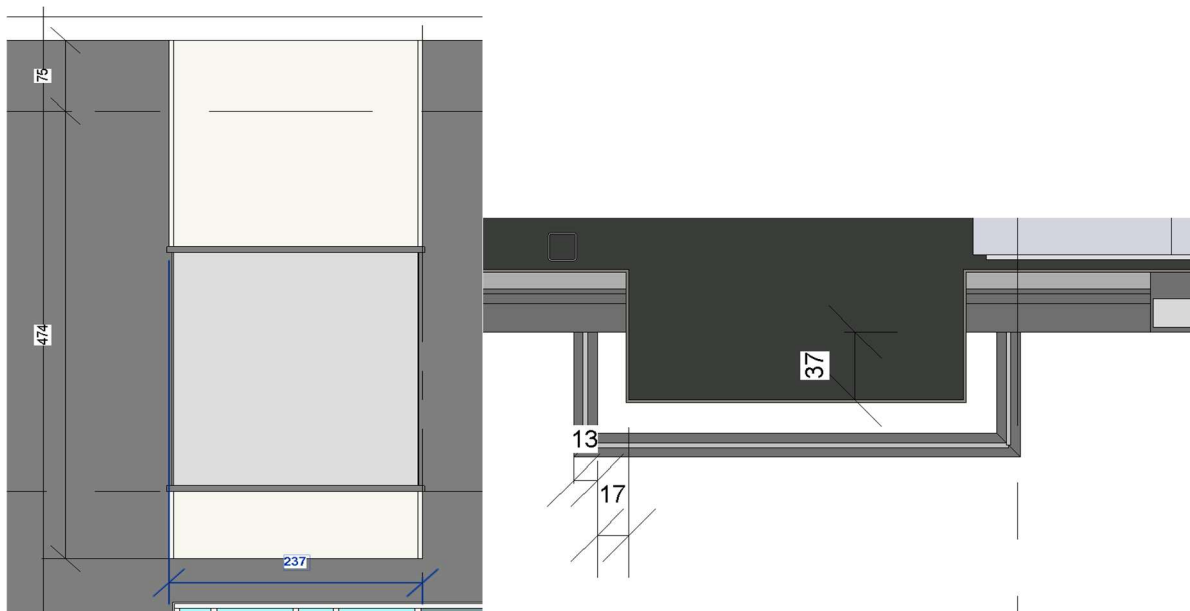


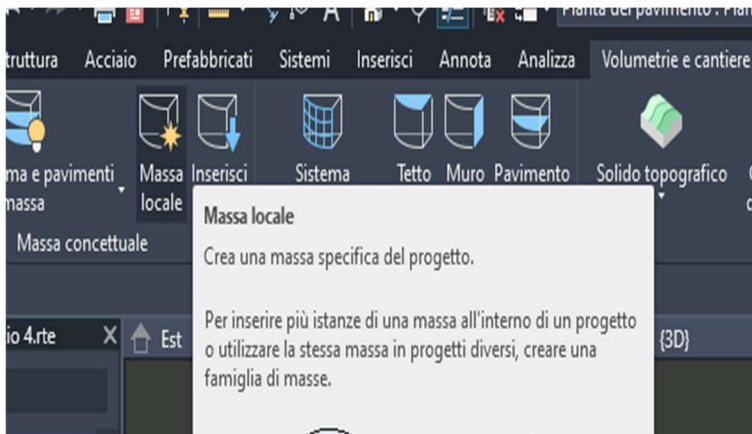
Figura 62 sinistra, Figura 62 destra

Come possiamo vedere tra la facciata continua e il solaio non c'è nessuno strato, di conseguenza nel modello **Nuovo Edificio** decido di inserirci uno strato di muro.

Per **creare la facciata continua** prima necessito di creare un **volume** o **massa** dove la facciata verrà posizionata, quindi questa massa fungerà da "supporto". Uso lo strumento apposito

Procedure di modellazione informativa ai fini della valutazione della resistenza al fuoco degli edifici

presente nella scheda **volumetrie** e **cantiere**, nel gruppo **massa concettuale**, seleziono **massa locale**.



Mi posiziono nella vista corrispondente alla base inferiore della facciata continua, con lo strumento inizio a tracciare il contorno della massa. Una volta disegnato utilizzo il comando **crea massa**.

Figura 63

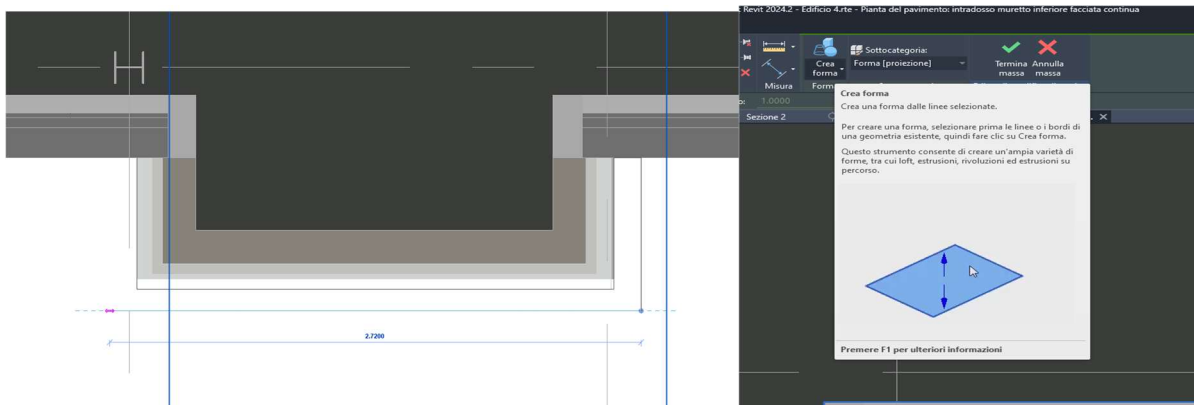


Figura 64 sinistra, Figura 65 destra

Creata la massa mi sposto nella vista 3D, per dargli le dimensioni in altezza di cui ho bisogno uso le apposite frecce direzionali che rappresentano le superfici delimitanti della massa.

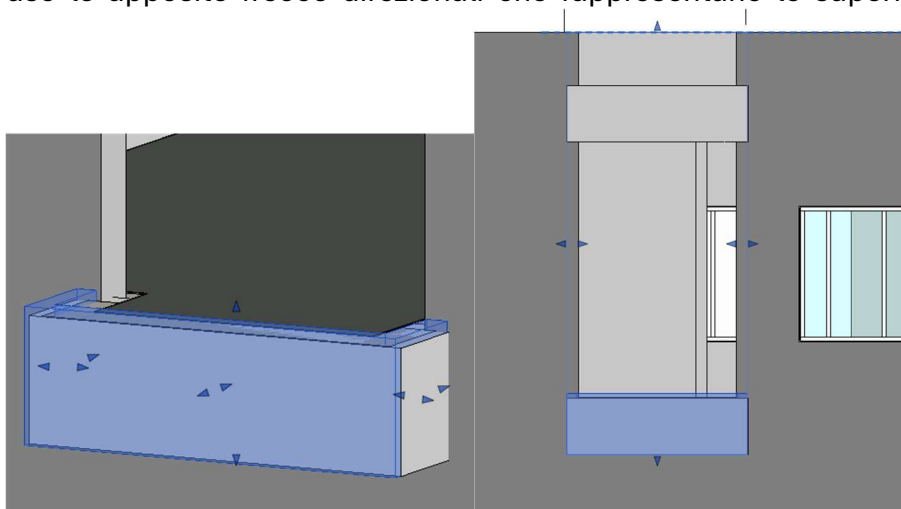


Figura 64 sinistra, Figura 65 destra

Procedure di modellazione informativa ai fini della valutazione della resistenza al fuoco degli edifici

Una volta creata la massa posso posizionare la facciata continua su di essa con l'apposito comando, si trova nella scheda **architettura**, nel gruppo **costruisci**, seleziono **sistema a facciata continua**.

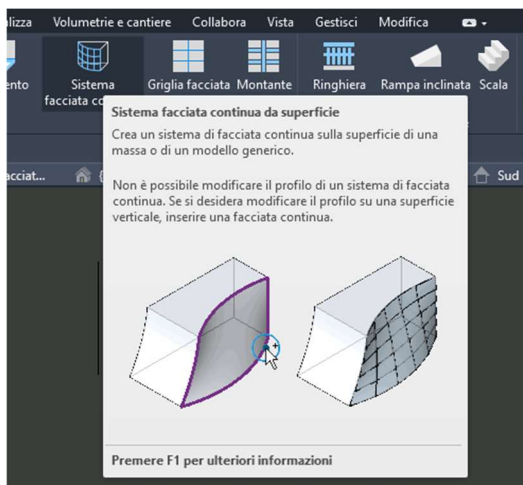


Figura 66

Una volta selezionato il comando basterà **selezionare** la superficie della massa interessata per posizionare la facciata.

Dopo i comandi griglia facciata e montate. Posso dimensionare le griglie e i montanti.

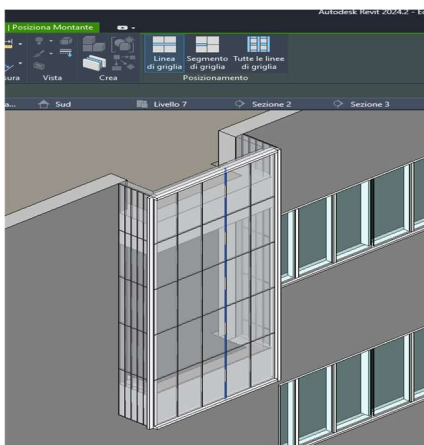


Figura 67

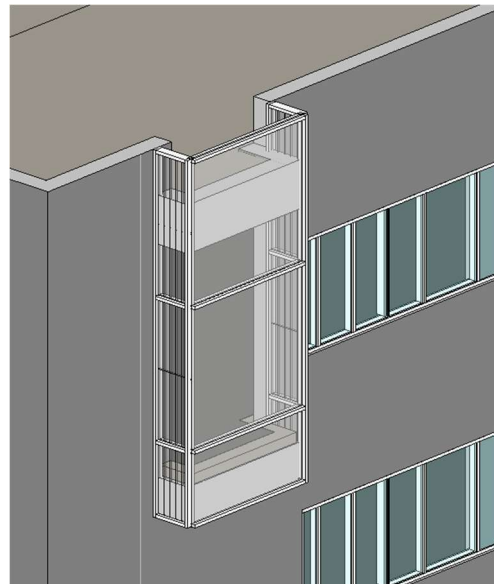


Figura 68

Per la creazione della facciata continua presente all'ingresso il procedimento è stato simile, con la differenza che lì il volume è un parallelepipedo rettangolo, il quale ha come livello base **Intradosso della sporgenza**, cioè il livello dove in questo caso ho disegnato il rettangolo per la massa, come estremità superiore ho l'altezza massima **5-Parapetto**.

Procedure di modellazione informativa ai fini della valutazione della resistenza al fuoco degli edifici

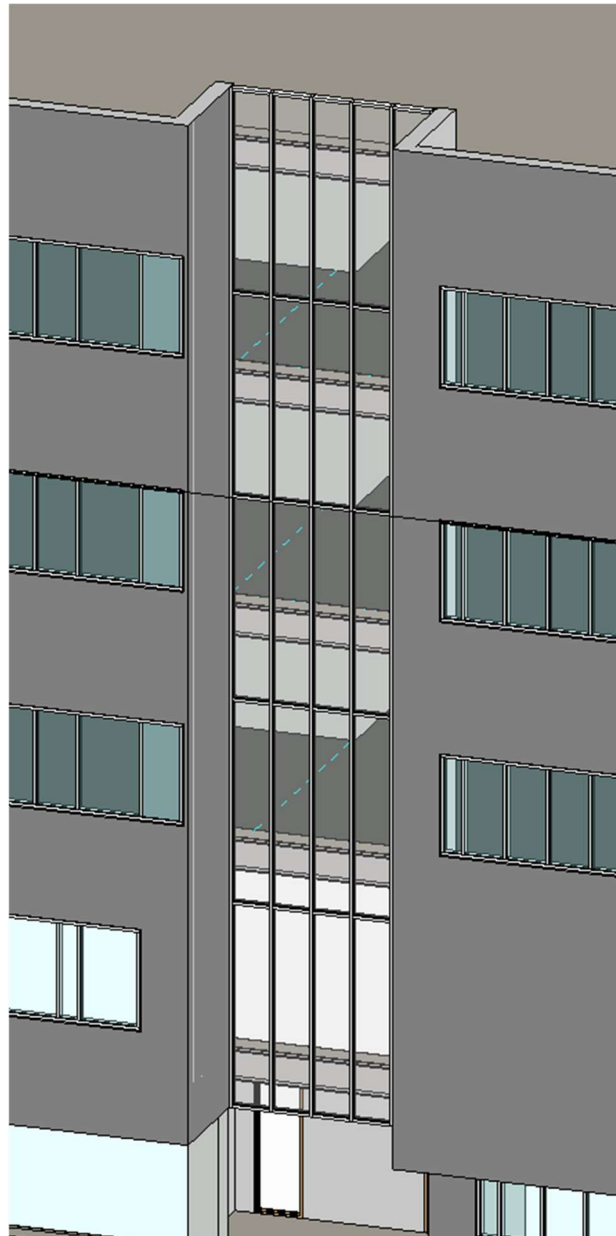


Figura 69

Procedure di modellazione informativa ai fini della valutazione della resistenza al fuoco degli edifici

### 4.3.13 COLLEGAMENTI STRUTTURALI

Per creare i collegamenti strutturali prima bisogna **caricare** le famiglie direttamente dalla libreria fornita da Revit.



Figura 70

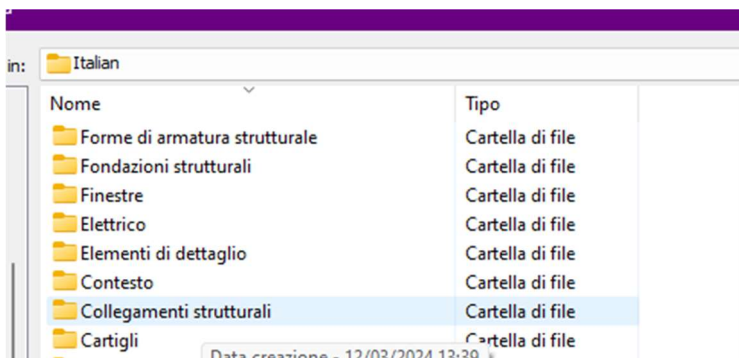


Figura 71

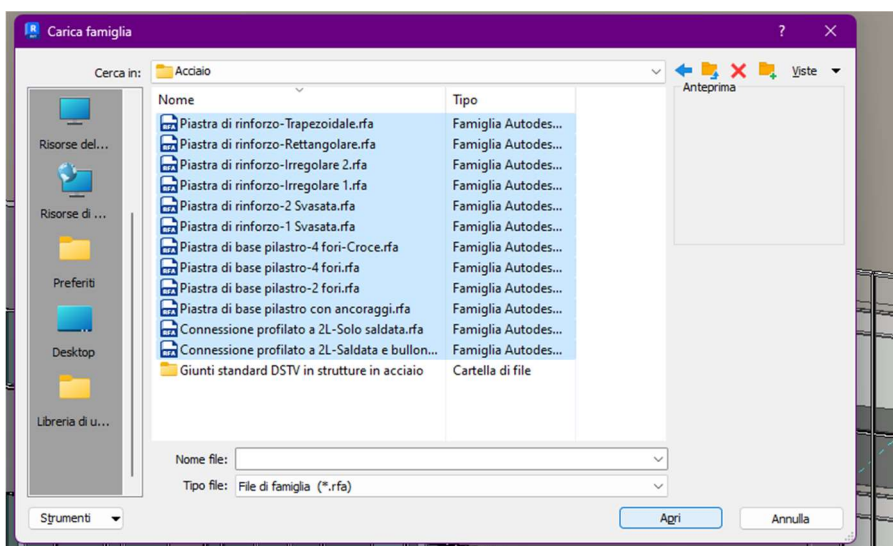


Figura 72

In Revit ci sono due modi per eseguire collegamenti strutturali, uno manuale e uno automatico, ma prima devo **selezionare le connessioni** che ho intenzione di utilizzare.

Uso il comando presente nella scheda **inserisci**, nel gruppo **carica da libreria**, seleziono **carica famiglia**.

Si aprirà una finestra dove sarà possibile cercare nella libreria la famiglia che ci interessa, nel nostro caso la **libreria italiana**.

Cerco la **cartella** collegamenti strutturali e seleziono tutti i collegamenti, successivamente premo su **apri**.

## Procedure di modellazione informativa ai fini della valutazione della resistenza al fuoco degli edifici

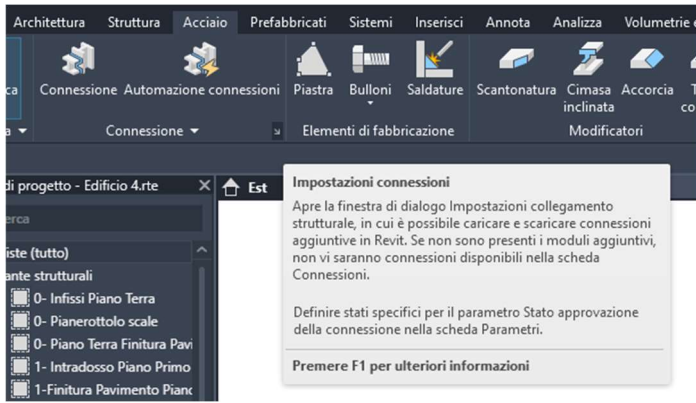


Figura 73

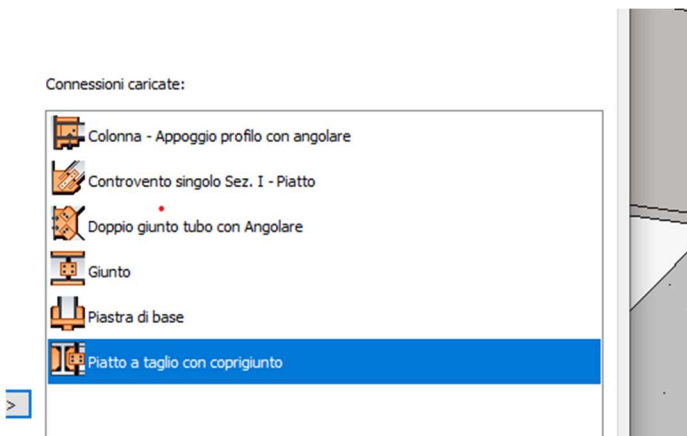


Figura 74

### 4.3.13.1 METODO MANUALE.



Figura 75

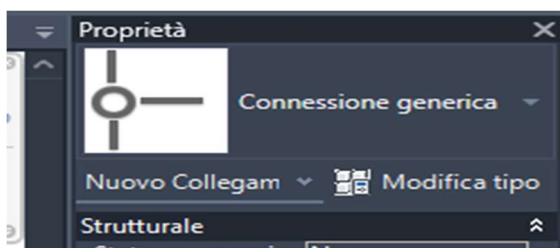


Figura 76

Bisogna andare nella scheda **acciaio**, nel gruppo **connessione**, seleziono la **freccia inclinata** che aprirà una nuova finestra.

In questa finestra a sinistra avrò tutte le connessioni precedentemente caricate, a destra avrò le connessioni che ho intenzione di usare. Il procedimento è valido sia per le connessioni fatte in maniera manuale che quelle fatte in maniera automatica.

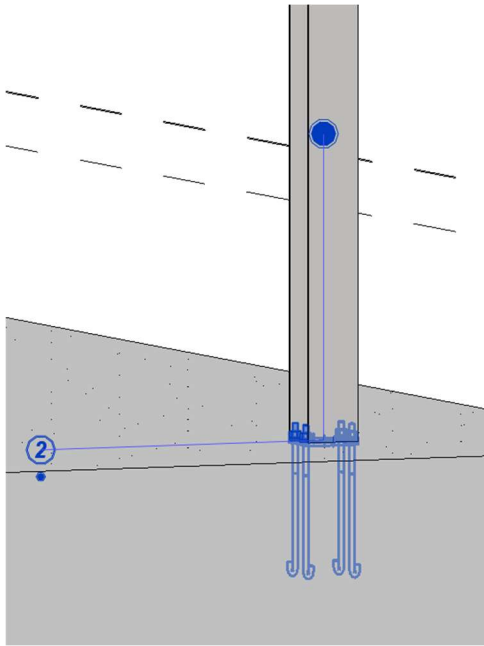
Le connessioni presenti nell'immagine sono quelle utilizzate nel modello **Nuovo Edificio**.

Per il **metodo manuale**, mi posiziono in una vista 3D con livello di dettaglio alto, è possibile modificarlo dalle impostazioni veloci di vista presenti in basso a sinistra, questo poiché i collegamenti strutturali è possibile visualizzarli solo con il livello di dettaglio alto. In seguito, utilizzo il comando presente nella scheda **acciaio**, nel gruppo **connessione**, seleziono **connessione**.

Una volta attivato il comando, per selezionare il tipo di collegamento, andrò nella finestra delle proprietà e utilizzo il menù a tendina.

Una volta scelto il tipo di collegamento che dovrà essere scelto in funzione degli elementi che voglio collegare, basterà selezionare i due elementi, senza specificare la sezione.

Procedure di modellazione informativa ai fini della valutazione della resistenza al fuoco degli edifici



A sinistra abbiamo il collegamento **pilastro-platea** tramite una **piastra di base** (figura 77).

In basso a sinistra abbiamo il collegamento **pilastro-pilastro** tramite un **giunto bullonato** (figura 78).

In basso abbiamo il collegamento **pilastro-trave** tramite **colonna-appoggio profilo con angolare** (figura 79).

Figura 77 collegamento pilastro platea

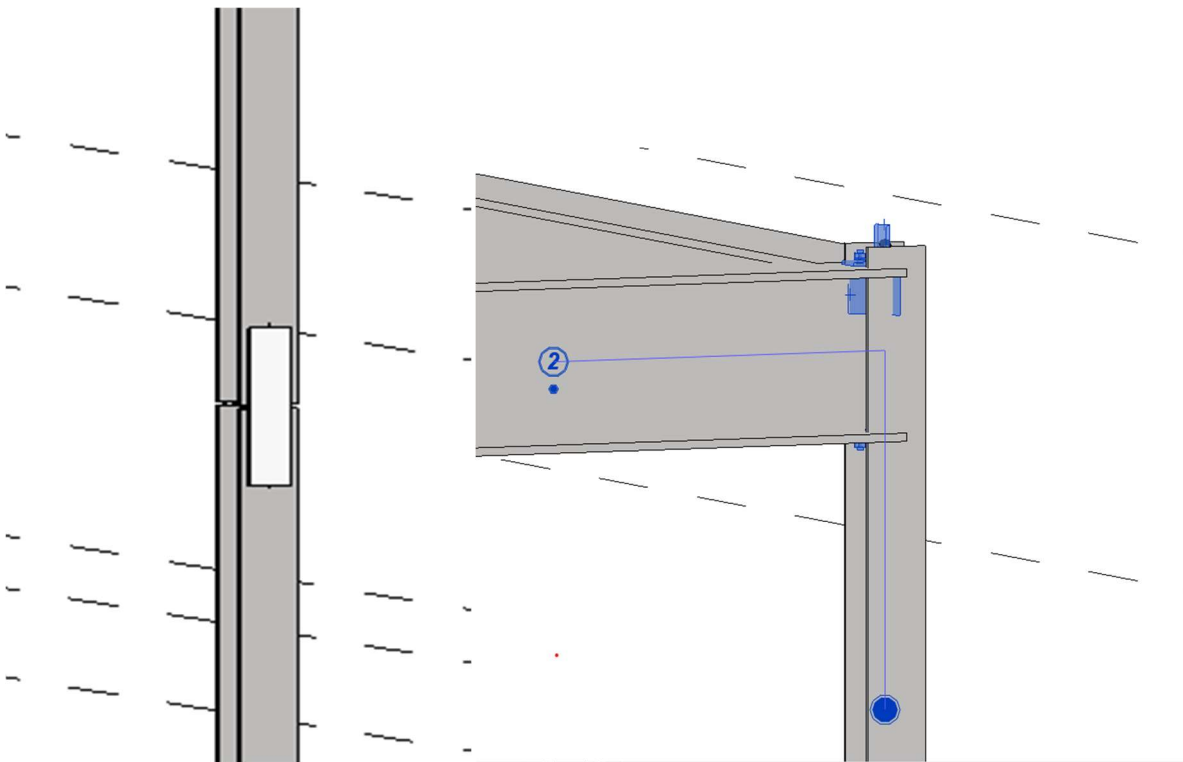
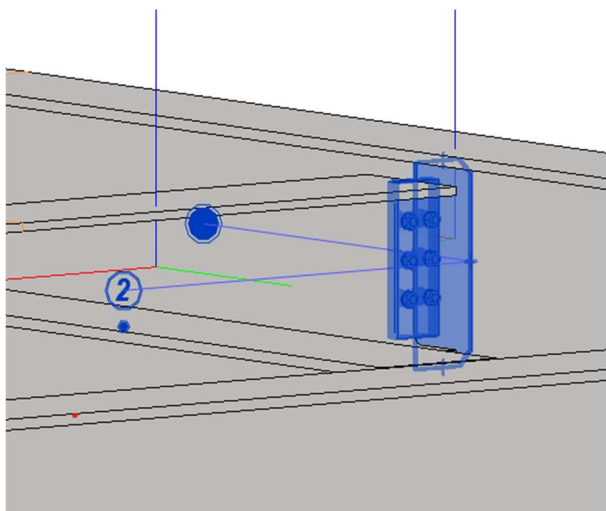


Figura 78 sinistra collegamento pilastro pilastro, Figura 79 destra collegamento pilastro trave

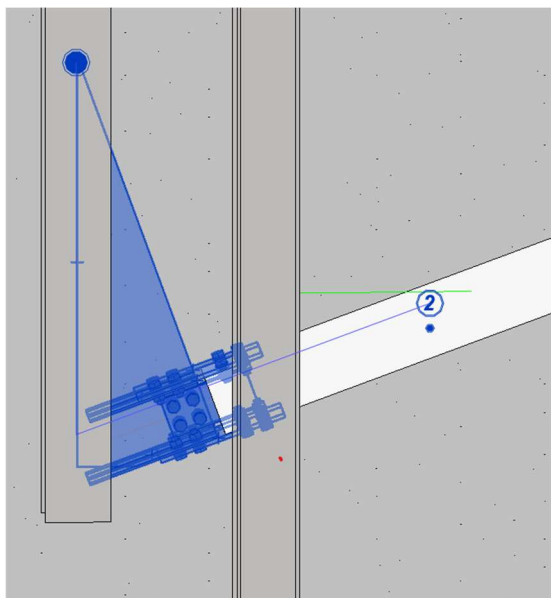
Procedure di modellazione informativa ai fini della valutazione della resistenza al fuoco degli edifici



Abbiamo il collegamento tra due **travi** tramite il **piatto a taglio con coprigiunto**

Al centro abbiamo il collegamento tra un **pilastro** e una **controventatura** tramite il collegamento **controvento singolo sez. I – piatto**

Figura 80 collegamento tra due travi



In basso abbiamo l'unico collegamento tra tre elementi ed è il **doppio giunto tubo con angolare** che collega le **due controventature** alla **trave**.

Figura 81 collegamento tra pilastro e controventatura

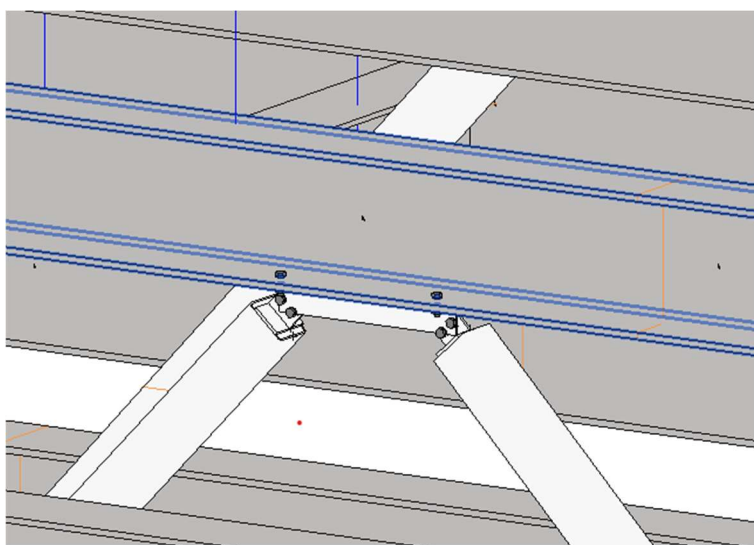


Figura 82 collegamento tra trave e controventatura

Procedure di modellazione informativa ai fini della valutazione della resistenza al fuoco degli edifici

#### 4.3.13.2 METODO AUTOMATICO

Il secondo metodo, quello automatico, consiste nell'utilizzare il comando posto alla destra di quello precedentemente usato, nella scheda **acciaio**, nel gruppo **connessione**, selezione **automazione connessione**.

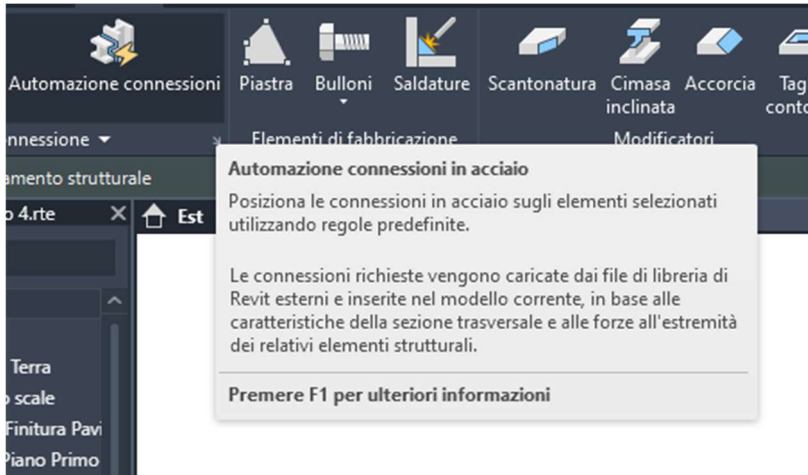


Figura 83

Mi posiziono su una vista 3D con livello di dettaglio alto, attivo il comando e comparirà una nuova finestra. Nella nuova finestra saranno presenti tutti i tipi di collegamenti che il programma Dynamo può eseguire automaticamente. Una volta selezionato il **tipo di collegamento** in base agli elementi che si vogliono unire, bisognerà fornire i vari **input** e **output** come richiesto e cliccare su esegui che è presente nella parte inferiore della finestra.

**Per esempio** voglio effettuare tutti i collegamenti tra due tipi di travi presenti all'interno del modello. Prima di tutto vado a isolare nella vista 3D le travi interessate, in questo esempio quelle con la sezione HE400A E HE550A.

## Procedure di modellazione informativa ai fini della valutazione della resistenza al fuoco degli edifici



Figura 84

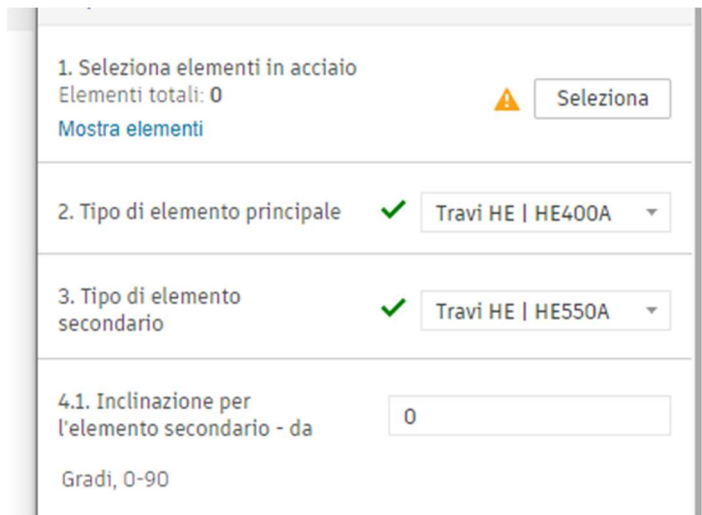


Figura 85 selezione sezioni

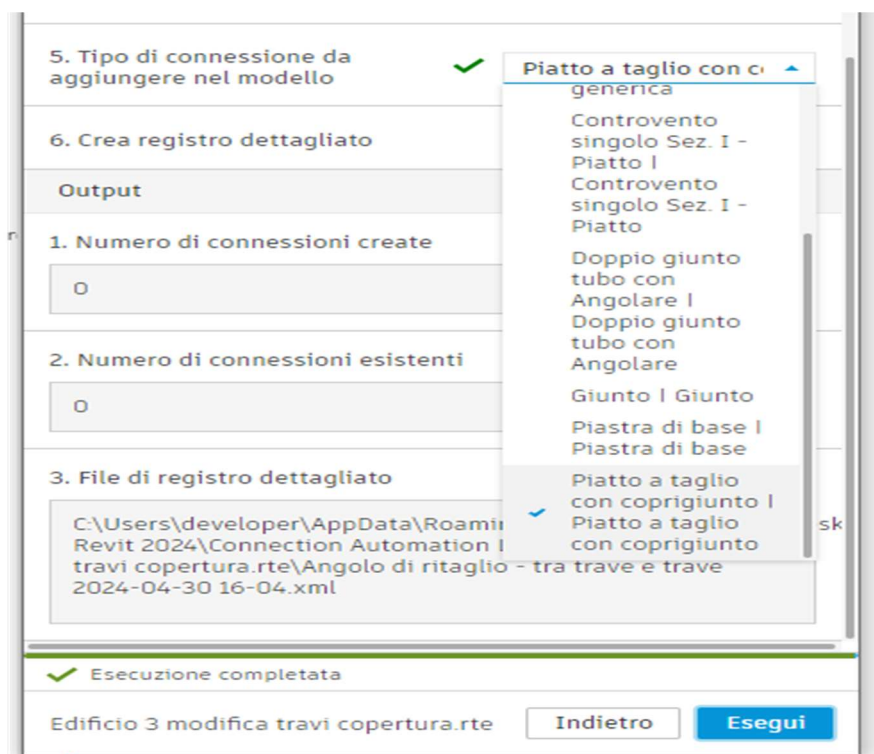


Figura 86 scelta del collegamento

Quindi attivo il comando, si aprirà una finestra di Dynamo e seleziono il collegamento **Angolo di ritaglio tra trave e trave**.

Nella nuova schermata che comparirà, andrò a inserire la sezione delle travi che voglio unire, poi clicco su seleziona.

Poi vado a impostare nel punto **5** il tipo di collegamento, in questo caso **piatto a taglio con coprigiunto**.

Una volta impostato il tutto, vado premere su **seleziona** ed **evidenzio** tutte le travi presenti nella vista 3D precedentemente filtrata.

Premi su esegui e Dynamo creerà tutti i collegamenti tra le travi presenti nella vista.

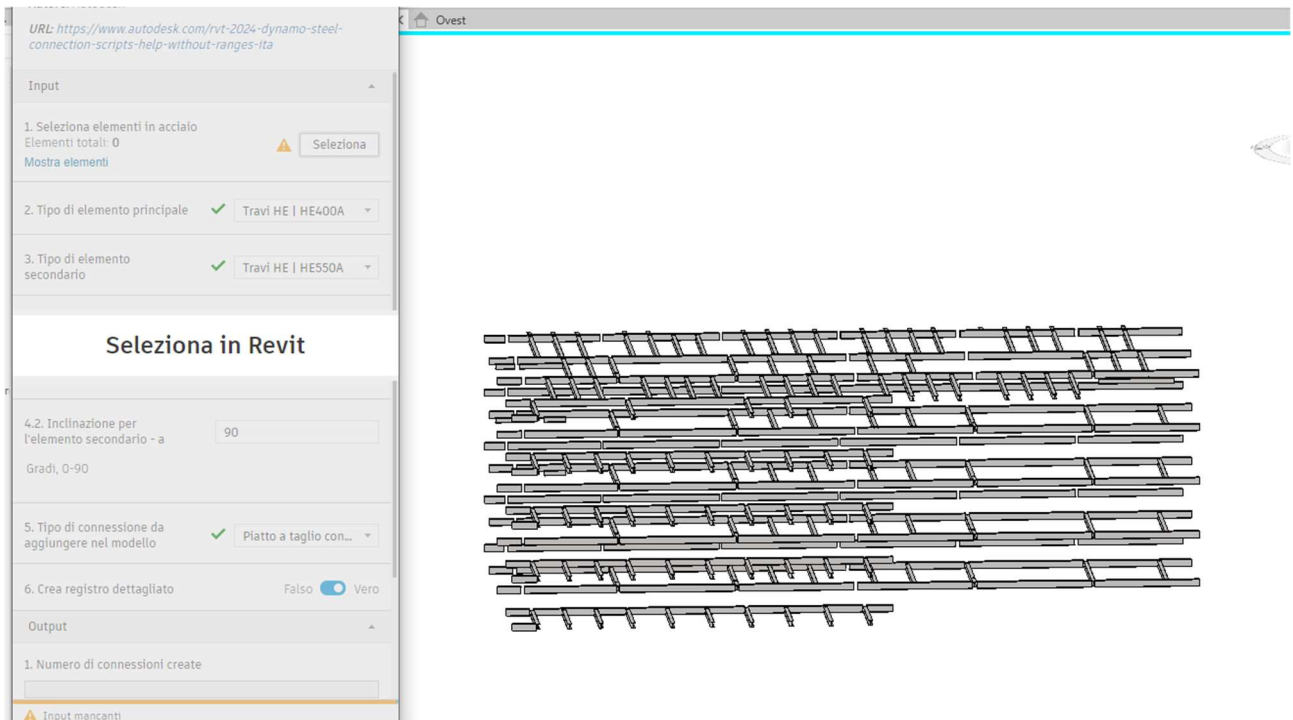


Figura 87

In questo modo è possibile eseguire velocemente numerosi collegamenti come quelli fatti manualmente, utile per una intelaiatura complessa, purché fornendo i giusti input e le giuste condizioni.

Una volta completati tutti i collegamenti strutturali, Revit li evidenzierà sulla vista con dei simboli verdi che indicano i membri coinvolti nel collegamento.

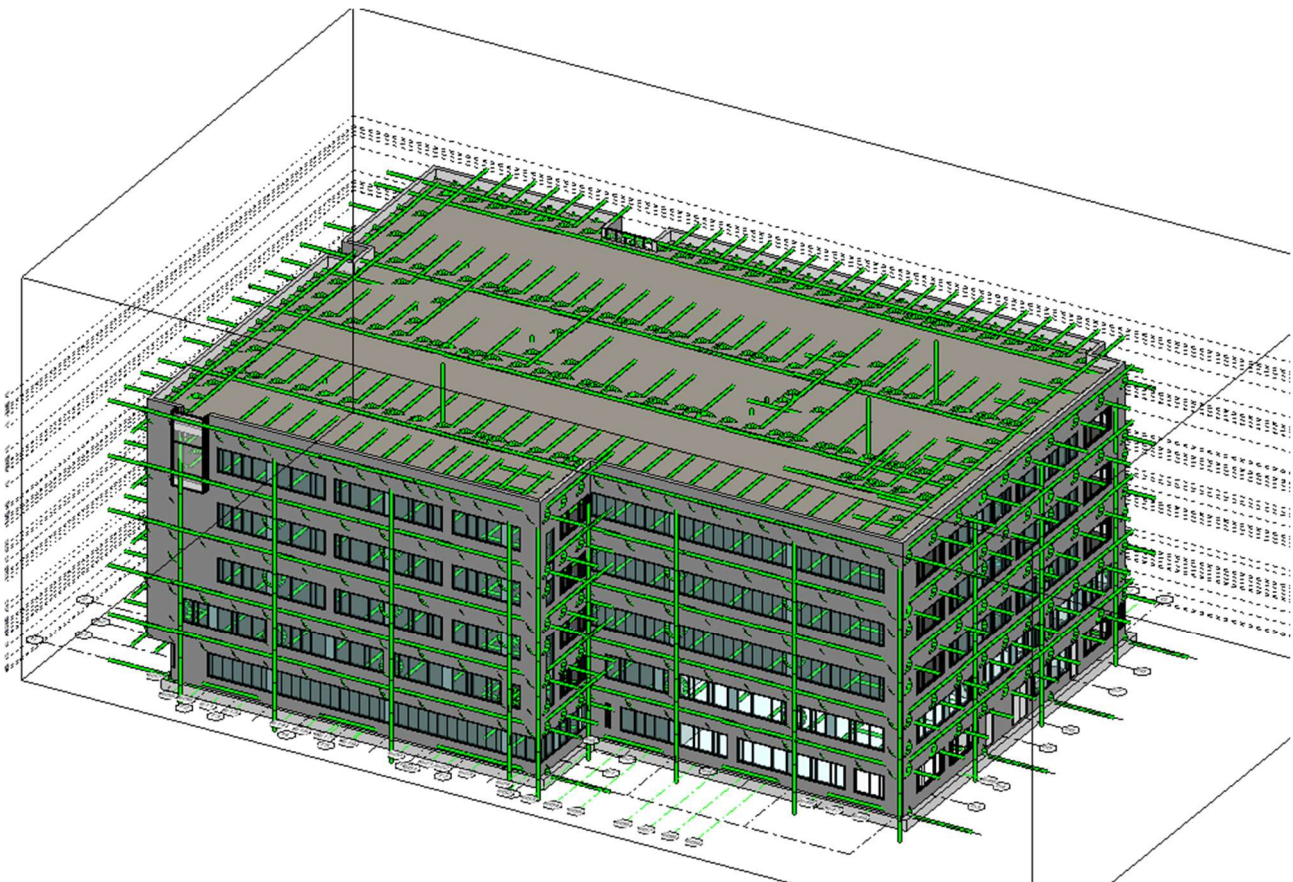


Figura 88 collegamenti strutturali

Procedure di modellazione informativa ai fini della valutazione della resistenza al fuoco degli edifici

#### 4.3.14 MODELLAZIONE ANALITICA MANUALE

Prima di iniziare a modellare analiticamente, bisogna modificare la **visibilità grafica** delle viste che si andranno a utilizzare per lavorare.

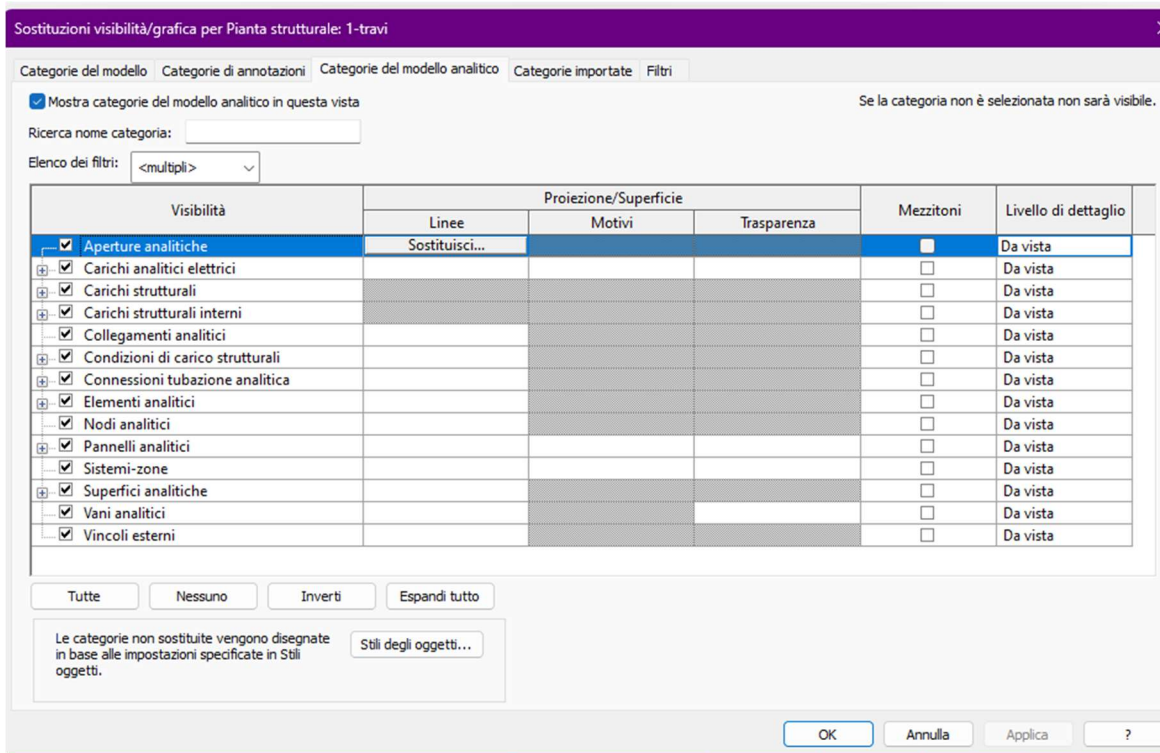


Figura 89 sostituzioni e visibilità

Quindi vado nella finestra **Sostituzioni visibilità\grafica** e nella sezione **categorie del modello analitico** e dovrò spuntare la casella **mostra categorie del modello analitico in questa vista**. Così potrò essere sicuro di visualizzare l'andamento della modellazione analitica.

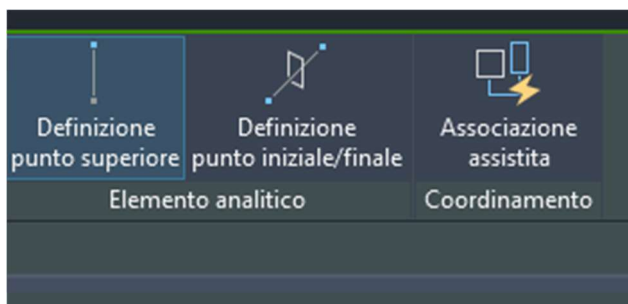


Figura 90

Gli strumenti per la modellazione analitica, si trovano nella scheda **analizza**, nella sezione **modello analitico strutturale**, seleziono **membro**. È utile per modellare travi e pilastri. Modellazione pilastri analitici.

##### 4.3.14.1 MODELLAZIONE PILASTRO ANALITICO

Per modellare un pilastro utilizzo il comando **Definizione punto superiore**, mi posiziono nella pianta corrispondente al vincolo superiore del pilastro, nel caso di un pilastro del piano terra mi posiziono nella vista corrispondente al livello **pil 1**.

Procedure di modellazione informativa ai fini della valutazione della resistenza al fuoco degli edifici

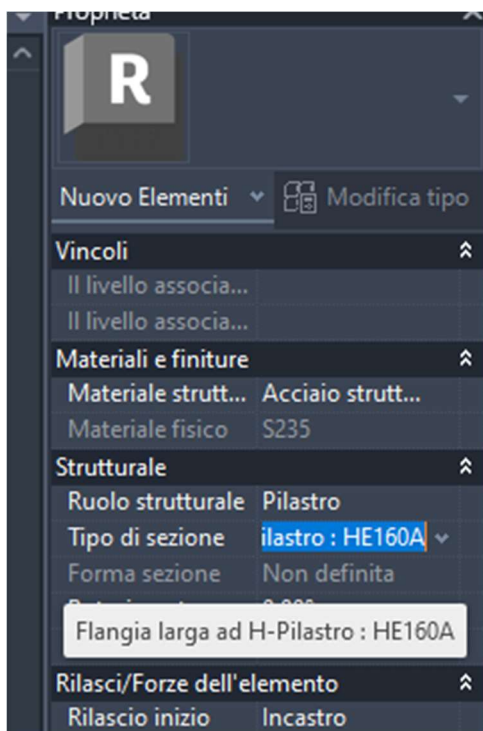


Figura 91 parametri del pilastro

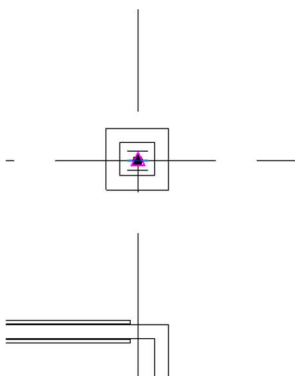


Figura 92

Una volta attivato il comando, prima di posizionare il pilastro, nella finestra delle proprietà dovrò aggiungere i parametri nei seguenti campi: **materiale strutturale, ruolo strutturale, tipo di sezione.**

Dopo mi basterà cliccare con il cursore i punti dove voglio posizionare il pilastro analitico.

Una volta posizionati, per **modificare le quote** delle estremità inferiori del pilastro si devono selezionare i nodi analitici e cambiare la quota nella finestra delle **proprietà.**

Una volta creati i pilastri del primo piano si potranno utilizzare i comandi **copia sugli appunti** e **incolla allineato ai livelli**, per posizionare tutti i pilastri analitici in altezza.

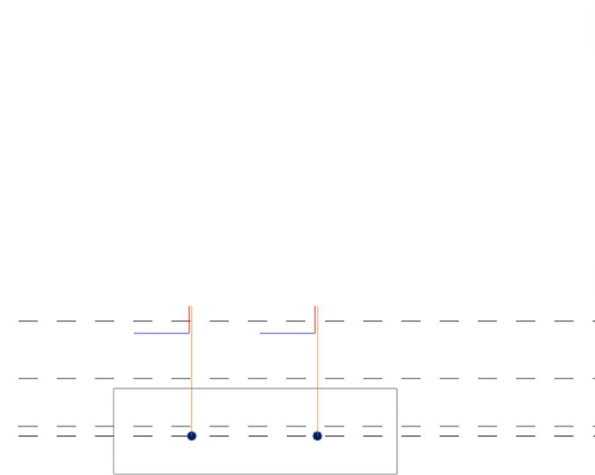


Figura 93

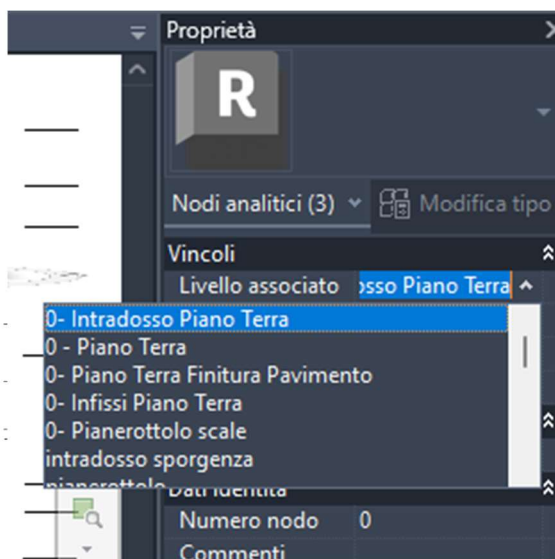


Figura 94 vincolo di base

#### 4.3.14.2 MODELLAZIONE TRAVI ANALITICHE

Il secondo strumento, **definizione punto iniziale/finale** è utile per posizionare le travi.

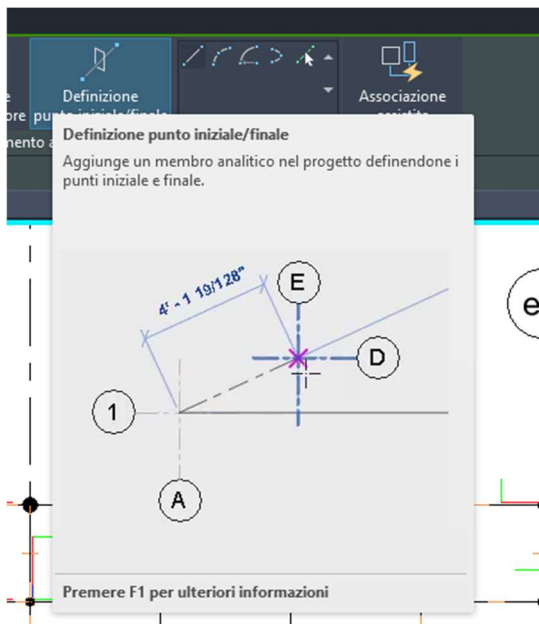


Figura 95

Prima bisogna porsi nella vista corrispondente all'interasse della trave, quindi nel caso delle travi del piano terra, mi posiziono al livello **1- Travi**.

Attivato il comando, prima di collocare la trave, dovrò specificare i parametri: **materiale strutturale, ruolo strutturale, tipo di sezione.**

Per il posizionamento, si dovrà selezionare i punti corrispondenti alle estremità della trave, il procedimento è identico a quello delle travi fisiche.

Una volta finito ci posizioniamo nella vista 3D per controllare che sia avvenuto il corretto collocamento.

Infine, come per i pilastri, si usano i comandi **copia sugli appunti e incolla allineato ai livelli**, per ottenere un telaio analitico.

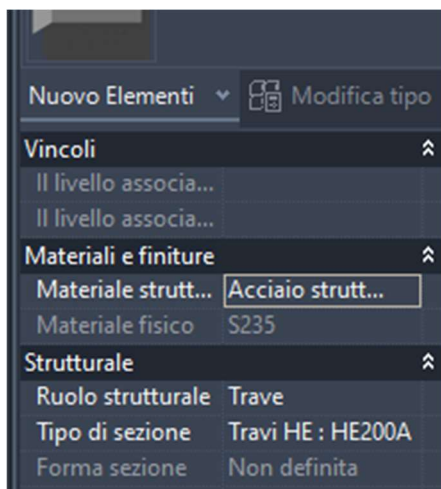


Figura 96 selezione dei parametri

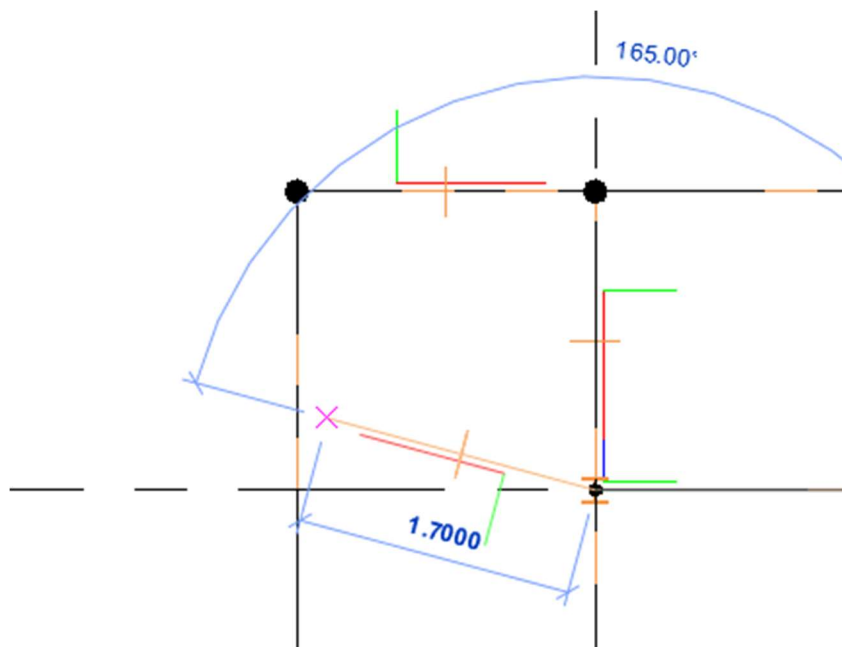
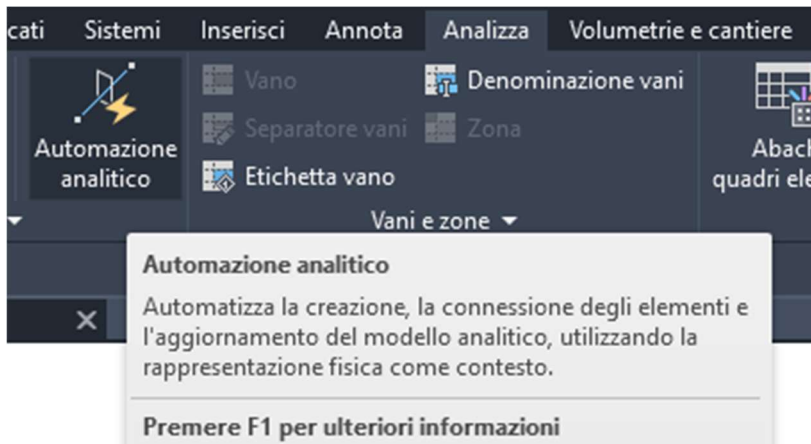


Figura 97

Procedure di modellazione informativa ai fini della valutazione della resistenza al fuoco degli edifici

#### 4.3.15 MODELLAZIONE ANALITICA AUTOMATIZZATA

Lo strumento automazione analitico ci permette di convertire il modello fisico del progetto in un modello analitico equivalente. Per farlo, Revit ci fornisce l'estensione Dynamo che permette di farlo automaticamente.



Il comando si trova nella scheda **analizza**, nel gruppo **modello analitico strutturale**, seleziono **automazione analitico**. Una volta selezionato si aprirà una nuova finestra di Dynamo il quale ci presenterà due funzioni a seconda delle nostre esigenze.

Figura 98

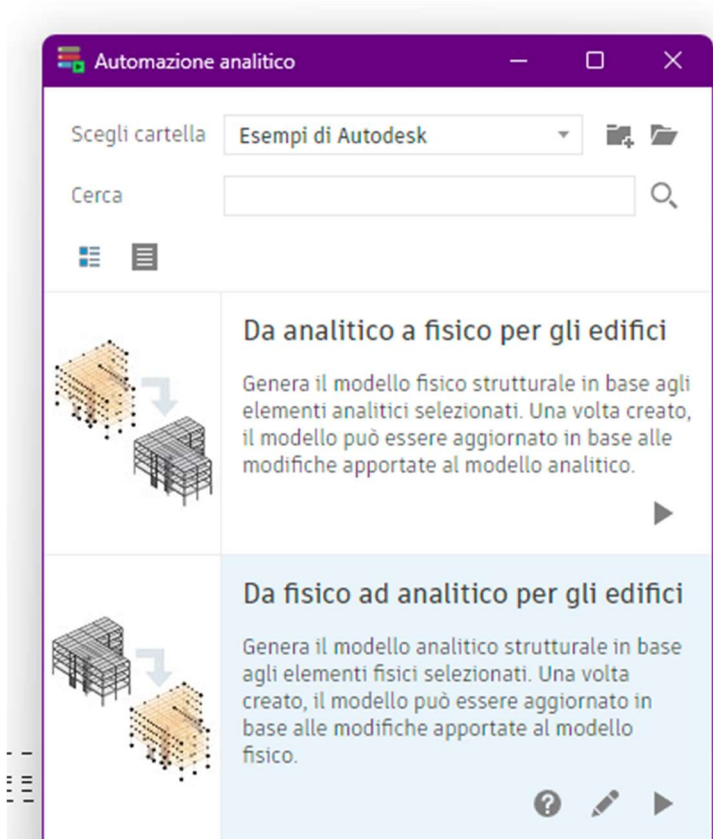


Figura 99

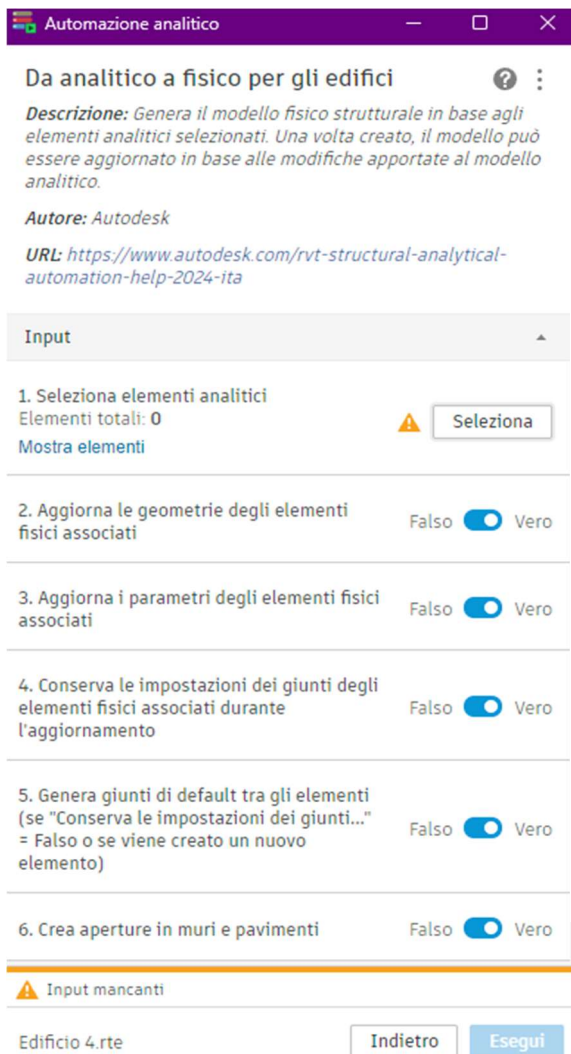


Figura 100

#### 4.3.15.1 DA ANALITICO A FISICO

La prima come descritto dall'immagine genera un modello fisico da quello analitico, quindi, selezionando tale opzione si passerà ad una nuova schermata.

Per il passaggio da analitico a fisico basterà selezionare gli elementi analitici dopo averli modellati quindi i pilastri, travi, muri e solai. I quali devono **possedere**, per una corretta conversione, i seguenti parametri: **materiali strutturale, ruolo strutturale, tipo di sezione**. Tutti presenti nella finestra delle proprietà.

Quindi premo su selezione ed **evidenzio** tutti gli elementi analitici che voglio convertire, poi clicco esegui.

Il programma genererà automaticamente il modello fisico.

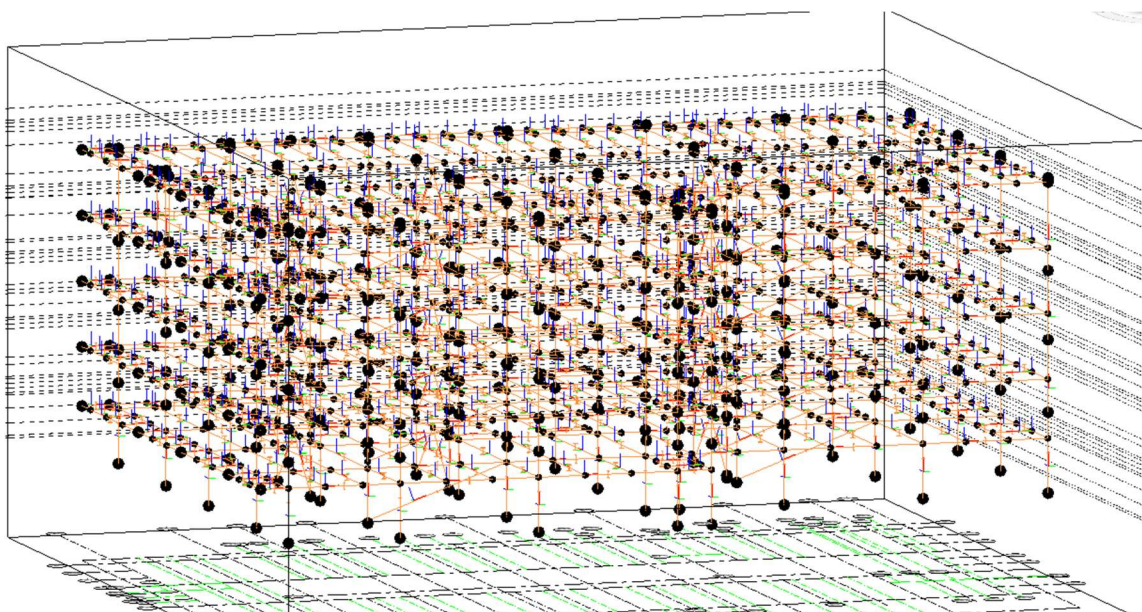


Figura 101 modello analitico

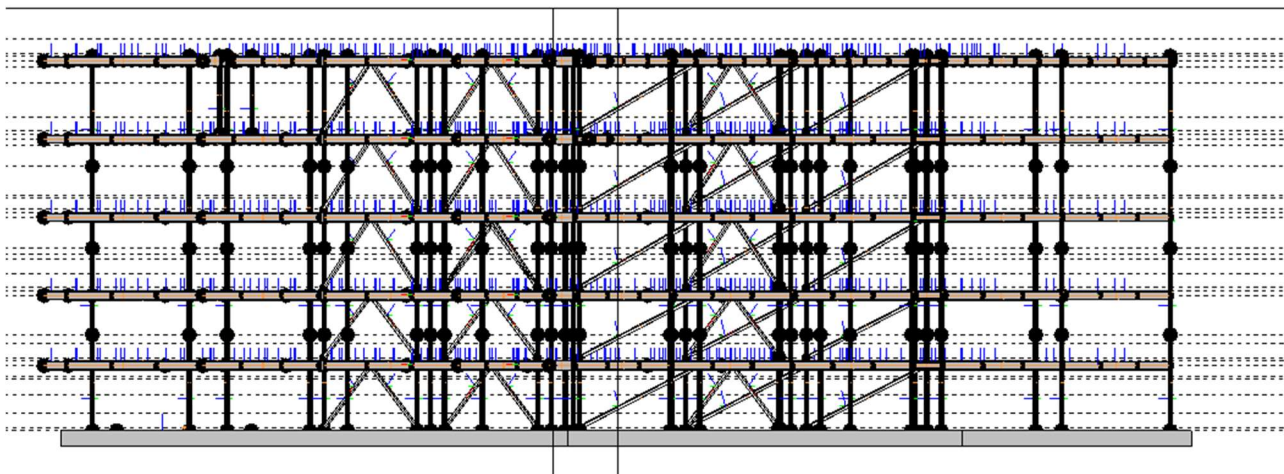


Figura 102 modello strutturale

### 4.3.15.2 DA FISICO A ANALITICO

La seconda opzione ci permette di fare l'operazione inversa cioè passare da un modello fisico a quello analitico.

1.0. Selezione elementi fisici  
Elementi totali: 0 ⚠ Selezione  
[Mostra elementi](#)

---

1.1. Tolleranza personalizzata della distanza tra elementi analitici (valore in unità Lunghezza del progetto; funziona solo se l'opzione Usa tolleranza di default è impostata su Falso)

---

2.1. Aggiorna parametri Falso  Vero

---

2.2. Aggiorna geometria Falso  Vero

---

3.1. Regola elementi analitici al livello più vicino Falso  Vero

Figura 103

4.1. Primo gruppo di elementi considerati per la regolazione ✓ Pilastro

---

4.2. Secondo gruppo di elementi considerati per la regolazione ✓ Trave primaria

---

4.3. Terzo gruppo di elementi considerati per la regolazione ✓ Muro

Figura 104

Come accade per la prima opzione si aprirà una nuova schermata e le impostazioni che ho modificato sono quelle dei punti **3.1, 4.1, 4.2, 4.3**.

Quindi andremo a cliccare su **selezione** ed **evidenzieremo** la struttura che voglio convertire, per poi premere su **esegui** presente in basso.



Figura 105 modello analitico

In questo caso il ho usato l'estensione per convertire anche i **muri** e i **solai**.

## 4.4 MODELLO NUOVO EDIFICIO

Come si può notare il modello **Nuovo Edificio** una volta ultimato, presenta due piani in più rispetto a quello **Trapelo**. Di conseguenza il numero di elementi presenti è superiore rispetto al modello **trapelo**. La pianta dei tramezzi del piano terra è identica a quella del piano primo, invece la pianta dei tramezzi del piano secondo che è uguale a quella del terzo e quarto piano.

Nella zona d'ingresso, è stata modificata la pianta con l'inserimento di un cavedio.

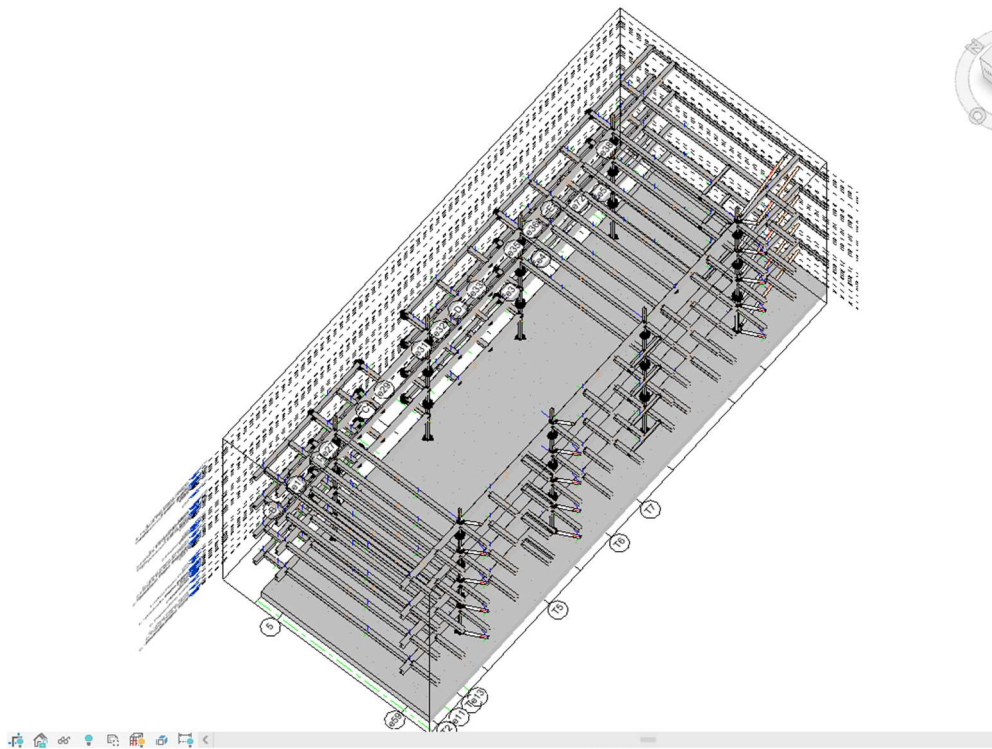


Figura 106

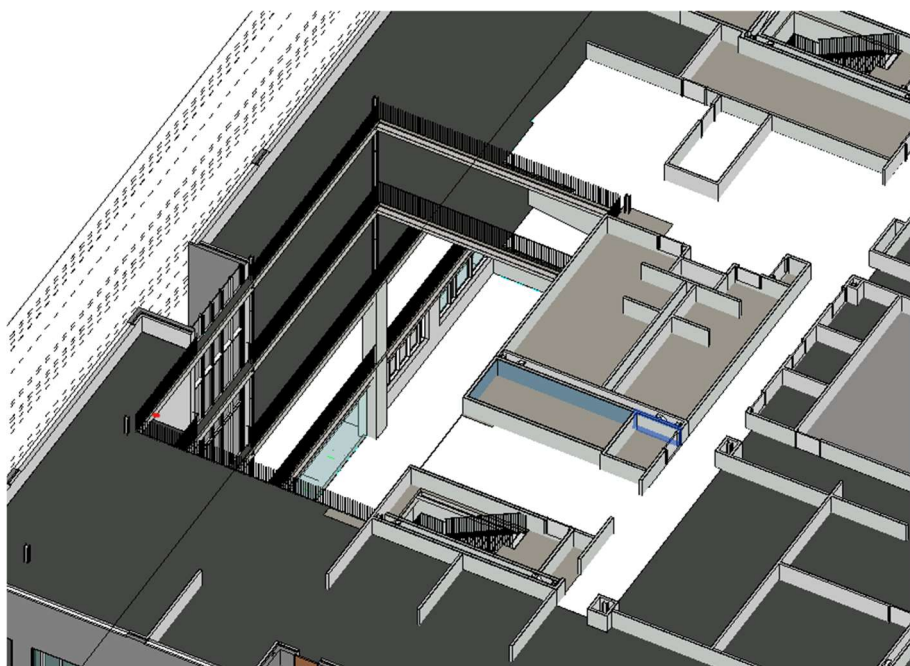


Figura 107

Procedure di modellazione informativa ai fini della valutazione della resistenza al fuoco degli edifici

Per quanto riguarda l'intelaiatura, le travi del piano copertura hanno un posizionamento differente rispetto alle travi dei piani sottostanti, per via del riferimento preso dal modello **Trapelo**.

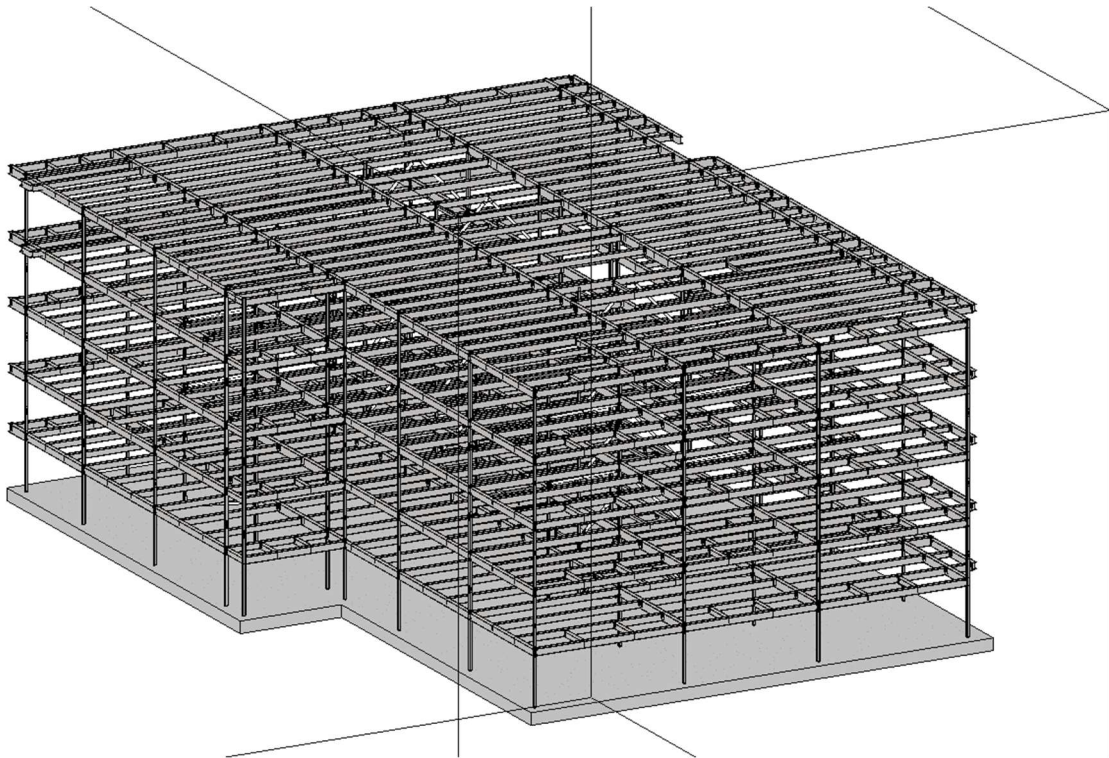


Figura 108 intelaiatura

Il modello analitico è una rappresentazione 3D del modello fisico strutturale costituita da elementi analitici, geometria, proprietà dei materiali e carichi. L'obiettivo principale del modello analitico è quindi di supportare l'analisi e la progettazione strutturale.



Figura 109

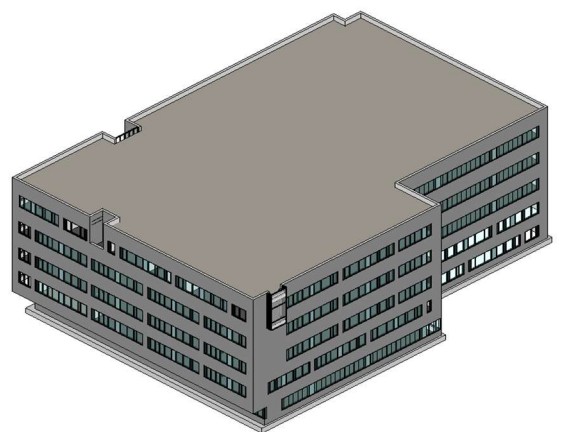


Figura 110

## CAPITOLO 5: ANALISI NUMERICHE DI RESISTENZA AL FUOCO

Si è proseguito con l'approfondimento delle azioni utilizzando l'estensione di Revit "*Robot Structure Analysis*".

### 5.1 ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS

È un software di proprietà di Autodesk, si dimostra uno strumento potente, utile per la progettazione e l'analisi di strutture, in quanto permette di effettuare analisi dei carichi strutturali, verifica delle conformità delle strutture ma anche valutazione della stabilità e sicurezza.

Il software offre molte funzionalità ma quelle che ho utilizzato sono l'integrazione con Revit e l'analisi statica.

#### 5.1.1 INTEGRAZIONE CON REVIT

Questa funzione è molto potente in quanto permette uno scambio bidirezionale di file e dati tra i programmi **Structural Analysis Professional (Robot)** nella quale i file forniti sono in formato .rtd e **Revit** che fornisce file di formato .rte o .rvt .

Quindi è possibile trasferire o aggiornare un modello di Revit direttamente a robot o viceversa. L'integrazione è resa possibile grazie a una espansione *RobotStructuralAnalysisExtensionforRevit*, quest'ultima per il corretto funzionamento necessita come requisito, una installazione già esistente del programma **Revit** (nel mio caso *revit2024*), sul dispositivo che si vuole utilizzare. Il file di installazione è possibile reperirlo direttamente nella pagina autodesk dedicata a *Revit2024*.

#### 5.1.2 ANALISI

La seconda funzione che ho usato di robot è appunto l'analisi, nel mio caso mi sono concentrato sull'analisi delle combinazioni di carico manualmente create da me come spiego qui. Questa funzionalità ci permette di visualizzare i risultati, raccogliere dati e inviarli direttamente a Revit.

## 5.2 IL MODELLO DA ANALIZZARE

Per la presente tesi, è stata presa in considerazione solamente una porzione specifica dell'edificio, sulla quale sono stati effettuati tutti i calcoli necessari per l'analisi e la valutazione dei risultati.

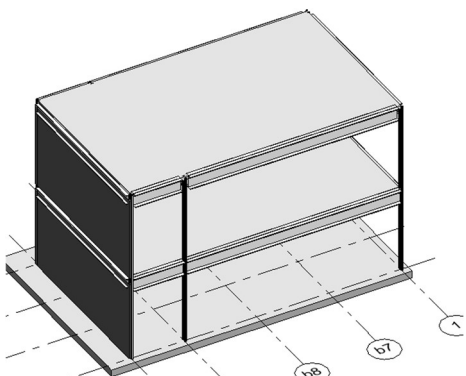
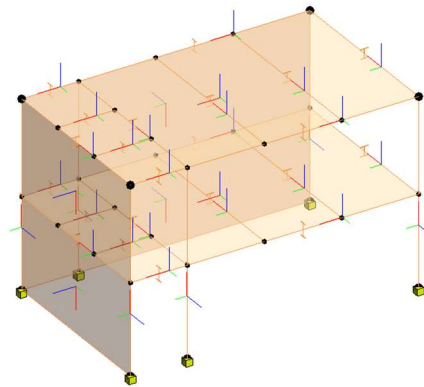


Figura 110 sinistra, figura 111 destra



Il modello ha una intelaiatura composta da

4 travi HE550A

4 travi HE450A

4 travi HE 340 A

10 travi HE 400A

6 pilastri IPE160

A ogni componente corrisponde una componente analitica.

## 5.3 COME IMPOSTARE L'ANALISI

### 5.3.1 TRASFERIMENTO DEL FILE DA REVIT SU ROBOT

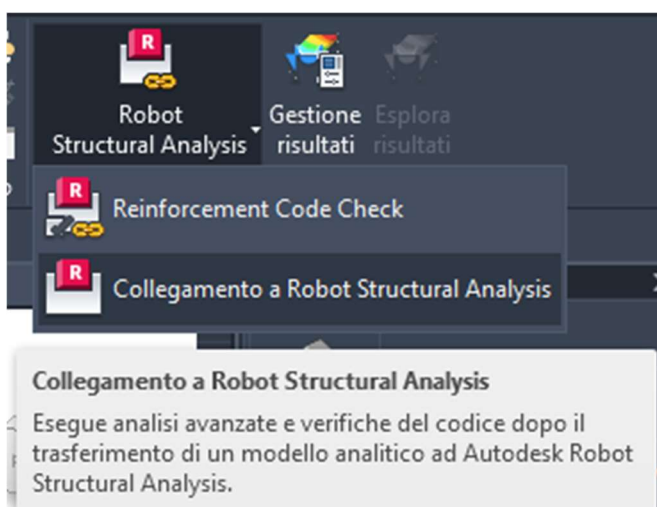


Figura 112

Su Revit si apre il file che si vuole convertire e successivamente si attiva l'apposito comando presente nella scheda **analizza**, gruppo **analisi strutturale**, seleziono **robot structural analysis** e successivamente seleziono collegamento a **Robot Structural Analysis**.

Procedure di modellazione informativa ai fini della valutazione della resistenza al fuoco degli edifici

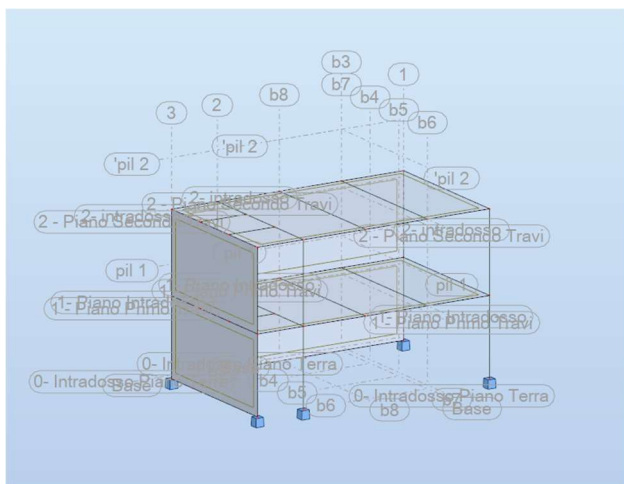
Attivato il comando comparirà una nuova finestra con delle impostazioni aggiuntive per la conversione, nel caso in studio ho selezionato **send model**, in quanto è il primo trasferimento, **update model** invece permette di aggiornare modelli pre-analizzati con robot.

Sui tipi di integrazione, ho selezionato direct integration, poiché nel caso di studio ho effettuato una conversione direttamente su un programma robot presente nello stesso pc dove è installato revit.

Figura 113

L'altra opzione permette di effettuare la conversione su un computer esterno, caricando il

file su una flash usb.

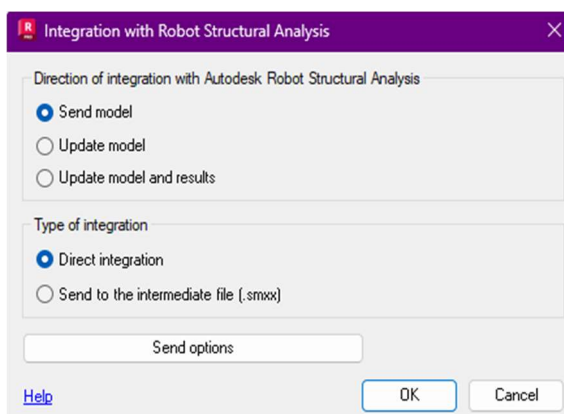


Alla prima apertura su robot il modello è visualizzato in questo modo (figura 114), di conseguenza bisognerà applicare delle impostazioni alla visualizzazione.

Figura 114

### 5.3.2 IMPOSTAZIONI DI VISUALIZZAZIONE

Automaticamente si apre il file direttamente su robot, la prima cosa da fare è impostare i filtri di vista per ottenere una visuale più chiara.



Procedure di modellazione informativa ai fini della valutazione della resistenza al fuoco degli edifici

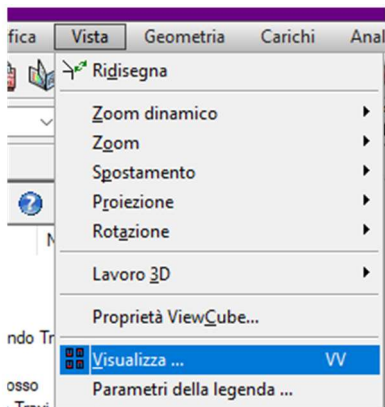


Figura 115

Andando nella scheda vista, seleziono **visualizza**, in questo modo si procede con l'apertura della finestra per filtrare la vista.

Per rendere la visuale più pulita del modello tolgo la spunta su **linee di costruzione**.

Successivamente tolgo la spunta da **contorni del pannello**.

In figura 118 possiamo vedere il modello filtrato.

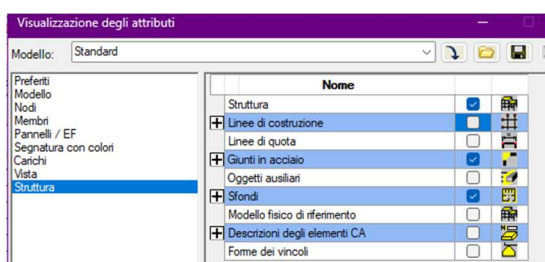


Figura 116

5.3.3

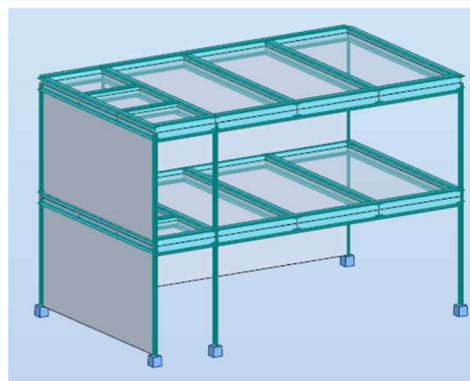


Figura 118

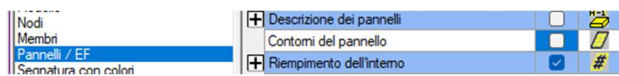


Figura 117

## CORREZIONE DEI COMPONENTI DEL MODELLO

Dopo che avviene la conversione del modello revit in robot, i vari elementi che compongono il modello, necessitano degli aggiustamenti nei parametri del materiale e nei parametri delle sezioni, per le travi e i pilastri.

Aggiustamento sezione travi e pilastri:

Robot assegna automaticamente una sezione alle varie travi, ma non sempre sono presenti le dimensioni esatte delle varie sezioni, di conseguenza dovranno essere aggiunte manualmente. Per modificare le sezioni, bisogna selezionare "**sezione dei membri**" presente nel menù verticale posizionato a destra sulla schermata di robot.

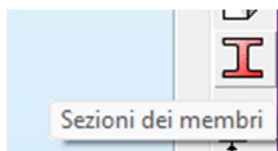


Figura 119

Procedure di modellazione informativa ai fini della valutazione della resistenza al fuoco degli edifici

Una volta selezionato si aprirà una finestra dove sono presenti tutte le sezioni caricate nel modello.

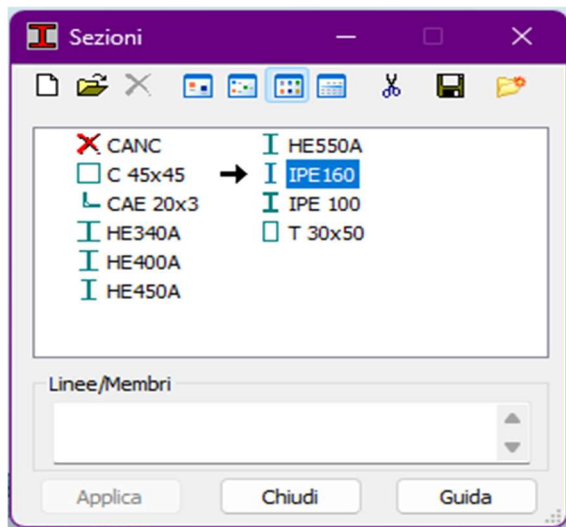


Figura 120

Per modificare una determinata sezione bisogna cliccarci due volte con il tasto sinistro del mouse, per aprire la apposita finestra per la modifica della sezione.

Mi posiziono sulla scheda **parametrico** e seleziono il tipo di **sezione**, dove sarà possibile inserire manualmente le dimensioni.

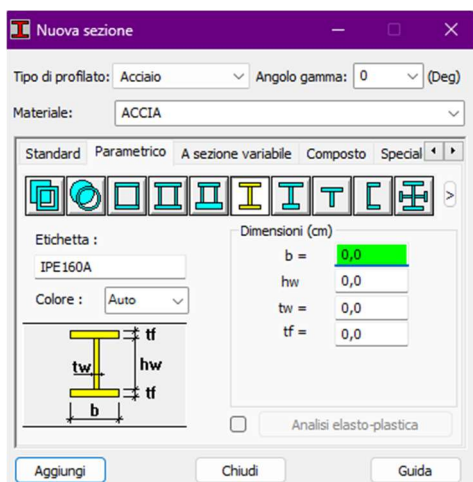


Figura 121

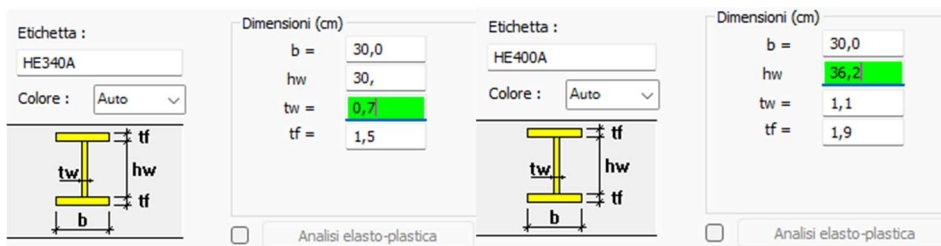


Figura 121

Figura 122

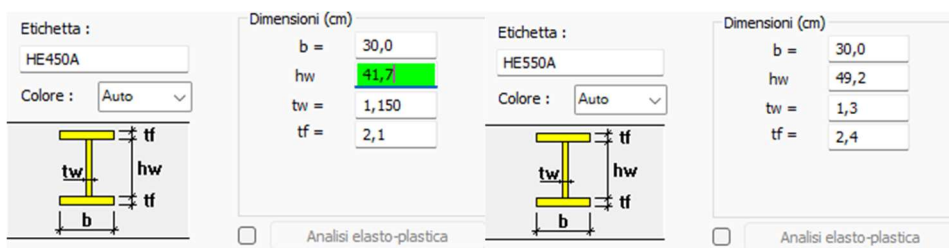


Figura 123

Figura 124

Procedure di modellazione informativa ai fini della valutazione della resistenza al fuoco degli edifici

Per quanto riguarda il materiale, bisogna selezionare tutti gli elementi strutturali e andare sulla sezione in basso a sinistra, dove sono presenti le proprietà, per le travi e pilastri ho scelto il seguente materiale.



Figura 125

Una volta apportate queste modifiche al modello possiamo passare all'applicazione delle azioni eccezionali.

### 5.3.4. SELEZIONE DELLE NORME

Per applicare una combinazione di azioni in caso eccezionale, Robot fornisce delle combinazioni già presenti all'interno del suo archivio di normative.

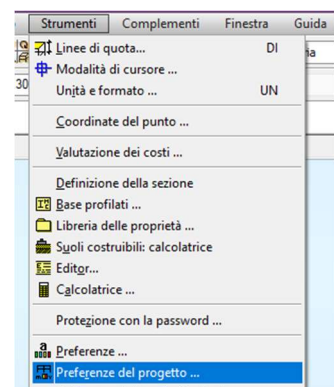
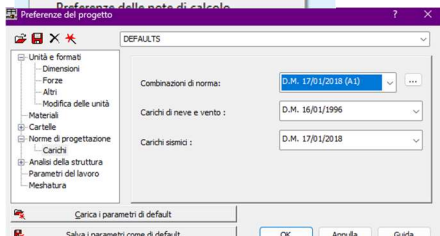


Figura 126 sopra,  
Figura 127 sotto



Per prima cosa bisogna selezionare il pacchetto di normative, per farlo si va nella scheda strumenti e seleziono preferenze del progetto.

Successivamente dal menù a sinistra seleziono **le norme di progettazione per i carichi**, sulle combinazioni di norma indico la normativa che voglio utilizzare. Nel mio caso di esame la **D.M 17.01.2018**.

Procedure di modellazione informativa ai fini della valutazione della resistenza al fuoco degli edifici

### 5.3.5 SELEZIONE DELLA COMBINAZIONE

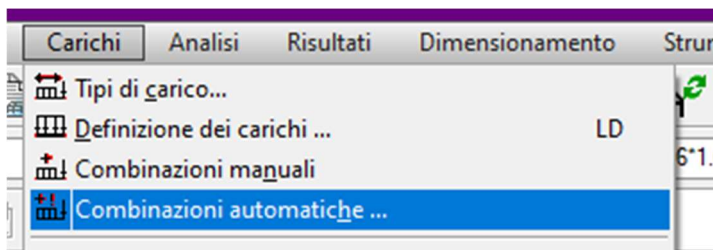


Figura 128

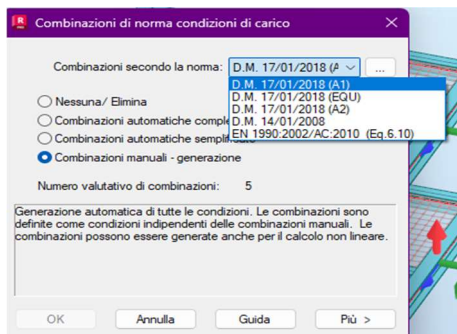


Figura 129



Figura 130

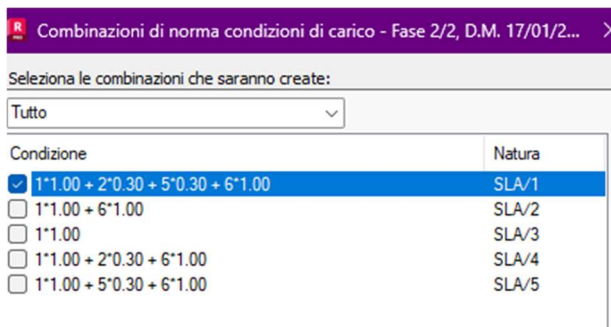


Figura 131 combinazione di norma

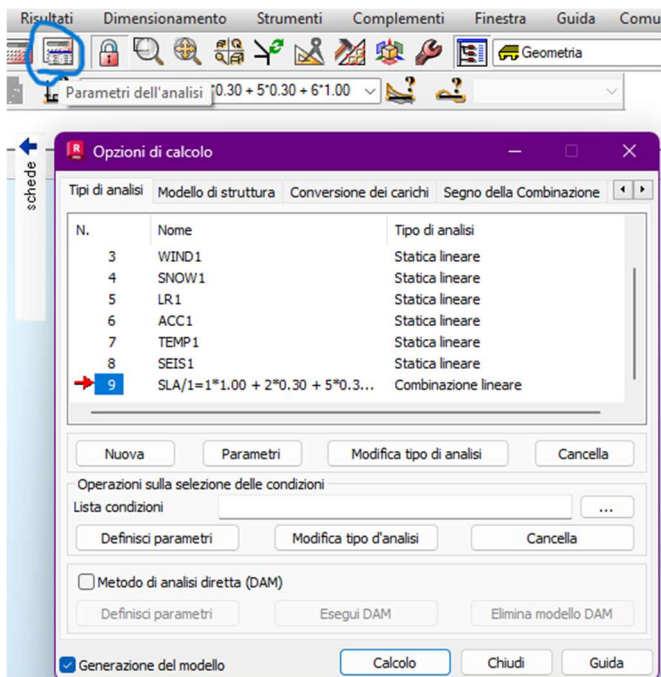
Sulla scheda carichi seleziono combinazioni automatiche, si aprirà una finestra dove seleziono la norma e nel mio caso ho scelto **combinazioni manuali-generazione**, poiché permette di scegliere quali combinazioni generare nel modello, altrimenti verranno generate tutte quelle presenti nella normativa.

Seleziono **più** in basso a destra e comparirà una finestra che permette di scegliere il tipo di combinazione che si vuole generare, nel caso di studio seleziono SLA come combinazione eccezionale.

E scelgo la combinazione SLA1 che presenta la somma delle seguenti azioni dove: 1=carico permanente, 2=carico variabile, 5=carico variabile, 6=azione eccezionale. I decimali sono i corrispondenti valori dei coefficienti di sicurezza.

Procedure di modellazione informativa ai fini della valutazione della resistenza al fuoco degli edifici

### 5.3.6 APPLICAZIONE DELLA COMBINAZIONE SUL MODELLO



Per applicare la combinazione sul modello si utilizza l'apposito strumento (cerchiato in blu) presente nella barra degli strumenti superiore della schermata di Robot.

Selezionandolo si aprirà la finestra delle opzioni di calcolo, dove ho impostato la combinazione SLA1 semplicemente selezionandola.

Infine, selezioniamo calcolo, sulla parte inferiore, per effettuare il calcolo sul modello.

Sin da subito robot ci mostrerà dei risultati.

Figura 132

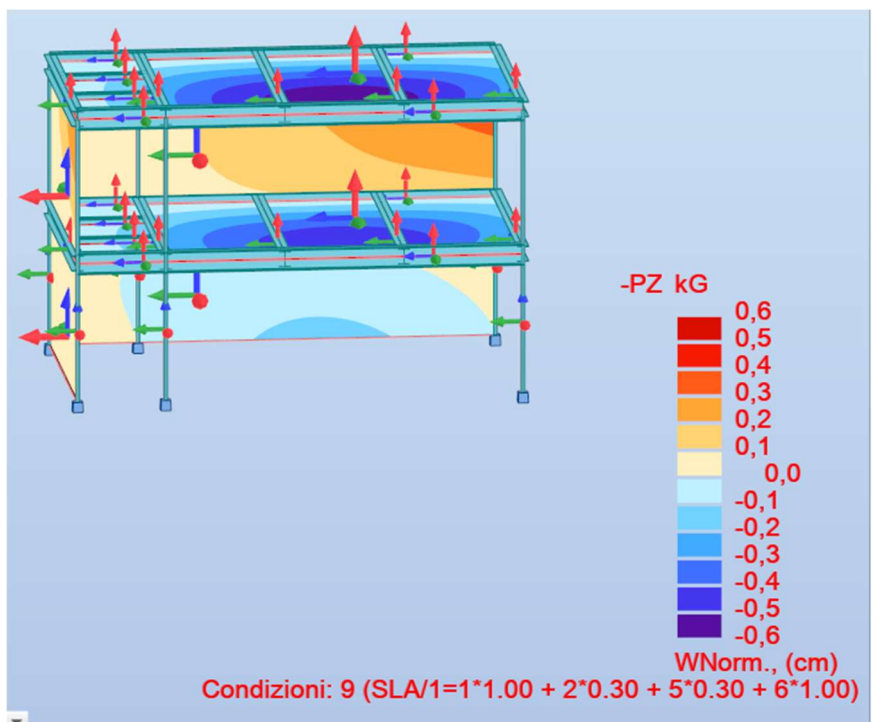


Figura 133 modello di analisi

Procedure di modellazione informativa ai fini della valutazione della resistenza al fuoco degli edifici

## 5.4 ANALISI DEI RISULTATI SU REVIT

Per effettuare una analisi direttamente su Revit, prima bisognerà utilizzare su Robot l'apposito comando presente nella scheda **complementi, integrazione**, seleziono **Autodesk Revit**.

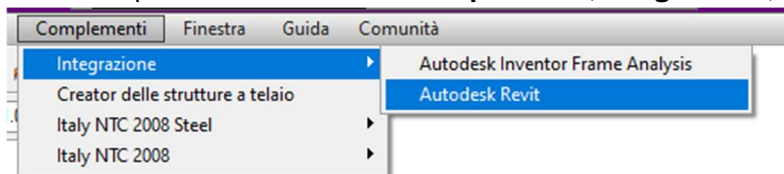
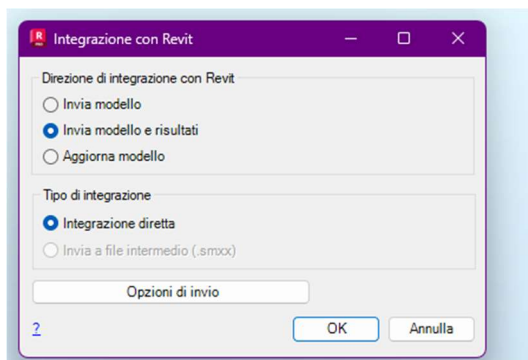


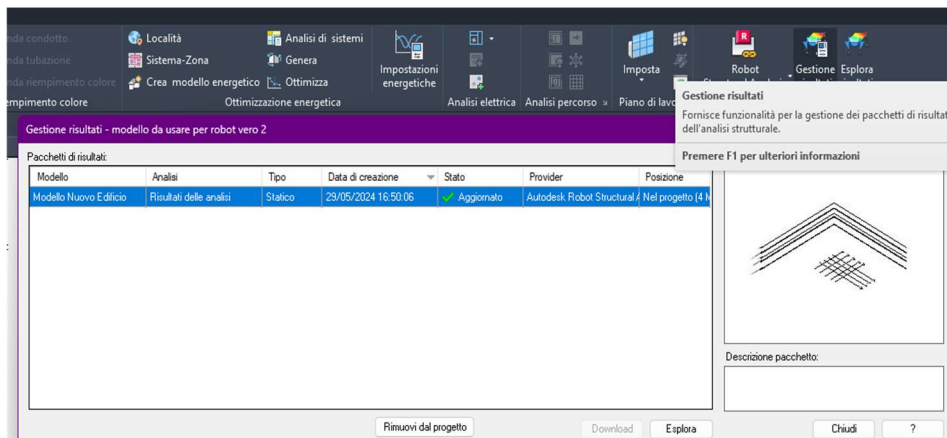
Figura 134



Si aprirà una finestra dove ho selezionato **invia modello e risultati**, altrimenti non sarà possibile visualizzare i risultati su Revit.

Figura 135

Successivamente bisogna aprire il progetto su Revit, per la visualizzazione dei risultati si usa l'apposita **estensione**. Che si trova nella scheda **analizza**, gruppo **analisi strutturale**, seleziono **gestione risultati**.



Comparirà la finestra dove una volta selezionato il modello, nel mio caso **Modello Nuovo Edificio**, clicco su **esplora**.

Figura 136

## Procedure di modellazione informativa ai fini della valutazione della resistenza al fuoco degli edifici

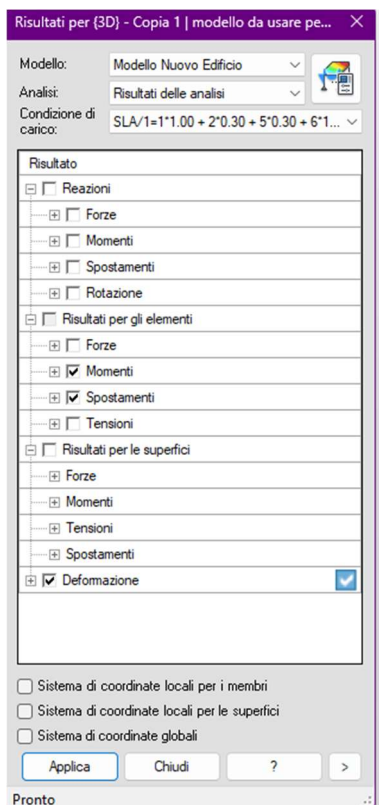


Figura 137 sopra, 138 destra

Questa finestra a sinistra è molto importante poiché ci permette di selezionare e filtrare le informazioni che vogliamo visualizzare sul modello 3D, semplicemente spuntando le caselle e infine selezionando applica, presente sulla parte inferiore.

Nel caso della figura 137 ho la combinazione SLA\1 e sono visualizzate le deformazioni.

Nel caso della figura 138 oltre alle deformazioni è possibile visualizzare anche gli spostamenti dei vari elementi.

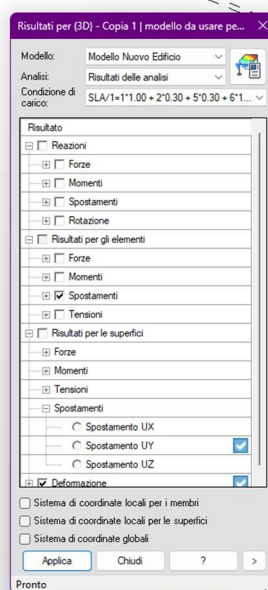
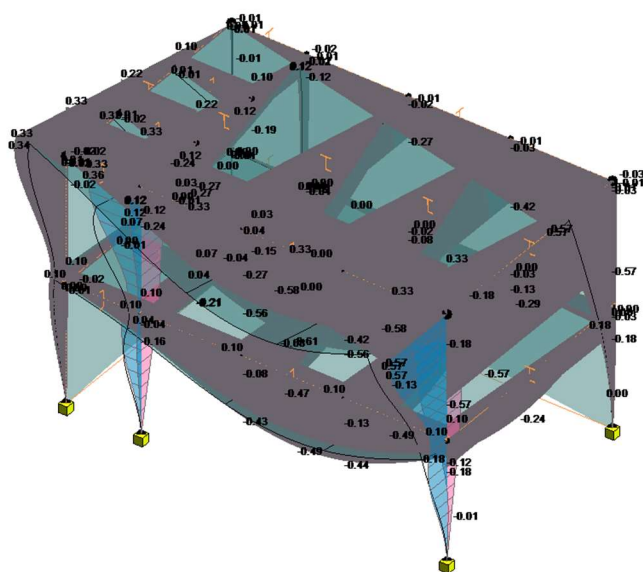
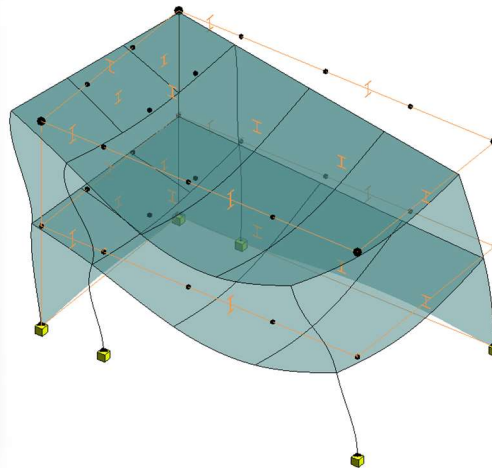
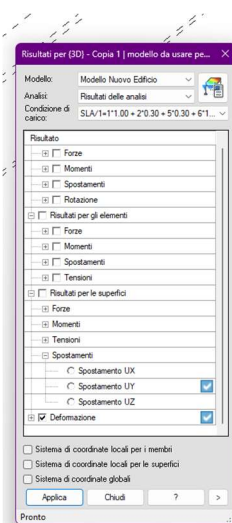


Figura 139

Procedure di modellazione informativa ai fini della valutazione della resistenza al fuoco degli edifici

## 5.5 CALCOLO DI STRUTTURE IN ACCIAIO (ANALISI TERMICA)

Un'ulteriore funzione di **robot structural analysis** è la possibilità di effettuare un'analisi termica delle componenti in acciaio, basata sul eurocodice EN 1993-1-2. Poiché robot è un programma BIM facente parte della famiglia di autodesk, è possibile utilizzare l'eurocodice già presente nel programma.

### 5.5.1 IMPOSTAZIONE DELLA NORMATIVA

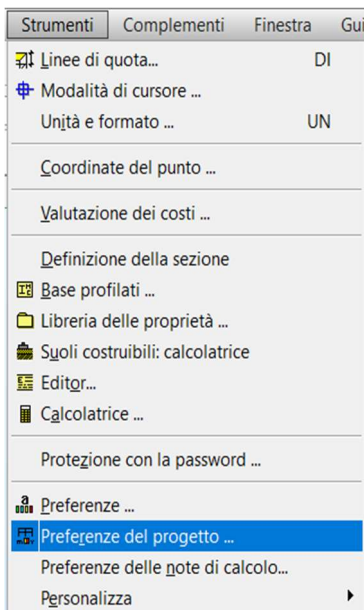


Figura 140

Utilizzando l'apposito comando situato nella parte superiore della schermata principale di robot, bisognerà selezionare il comando **strumenti** per aprire il menu a tendina e successivamente cliccare **preferenze di progetto** (figura 140).

Comparirà una nuova finestra che ci offre diverse possibilità:

- modificare le unità di misura e le caratteristiche dei materiali a seconda della nazione

- selezionare le cartelle dove saranno presenti le librerie delle norme

- impostare le norme di progettazioni che verranno utilizzate dal programma per effettuare le analisi e i calcoli.

- infine, le opzioni che riguardano i parametri e i messaggi mostrati dalle finestre di dialogo, che compaiono generalmente dopo analisi o calcoli.

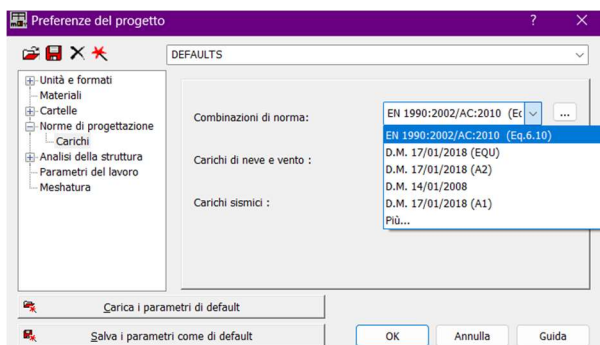
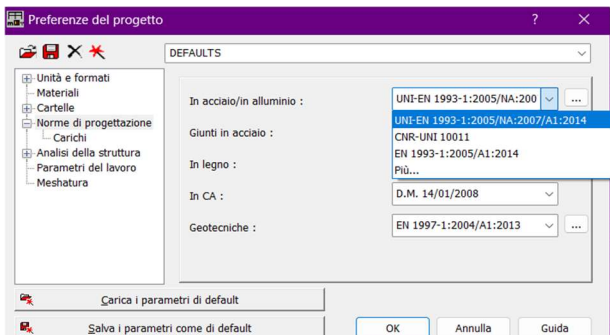


Figura 141 norme sopra, figura 142 sotto

Nel nostro caso clicchiamo su norme di progettazione e dal menù a tendina selezioniamo come combinazione di norma la EN 1990:2002/AC:2010 che è presente di default all'interno del programma (figura 141).



Per concludere il procedimento di selezione della normativa, sul menù ad albero a sinistra nel clicchiamo **carichi** per poi impostare come normativa nel menù a tendina corrispondente all'acciaio/alluminio, l'eurocodice UNI-EN 1993-1-2005/NA:2007/A1:2014.

Procedure di modellazione informativa ai fini della valutazione della resistenza al fuoco degli edifici

In questo modo durante l'analisi avremo le caratteristiche chimiche e fisiche dei materiali normati dagli eurocodici.

### 5.5.2 SETTAGGI PRELIMINARI

Prima di effettuare l'analisi bisogna verificare che ogni trave possieda tutte le proprietà dei materiali compatibili con la normativa precedentemente selezionata per poter eseguire una corretta analisi.

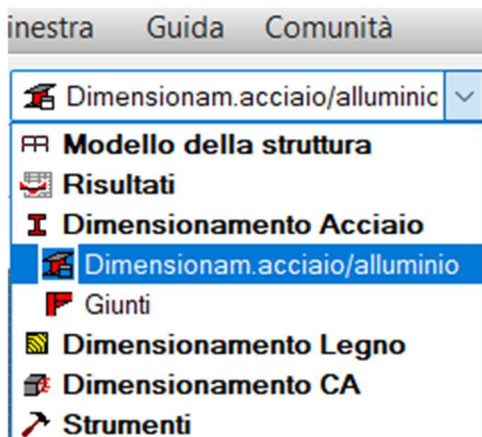


Figura 143

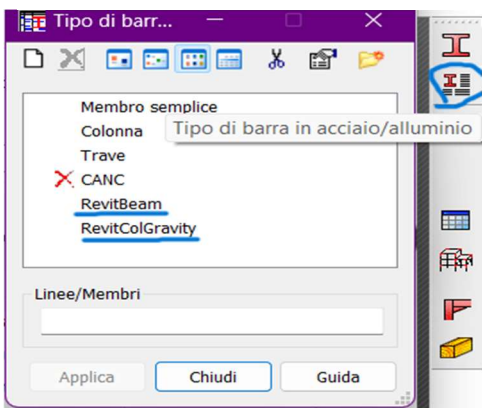


Figura 144

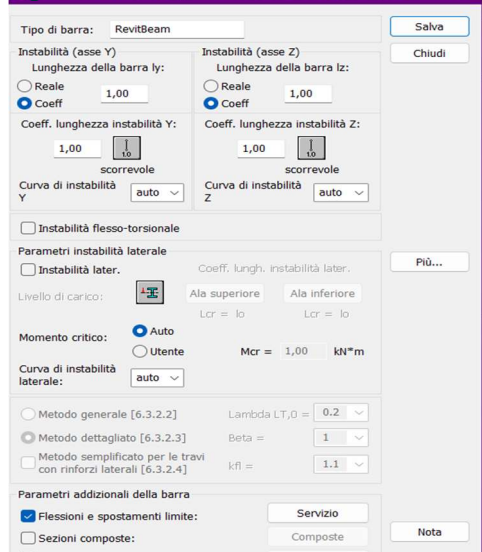


Figura 145

Quindi dalla schermata principale selezioniamo dal menù a tendina che si trova al di sotto dei comandi **guida** e **comunità dimensionamento acciaio/alluminio**. Così il programma si imposta su una nuova schermata di lavoro con la quale è possibile modificare e analizzare esclusivamente gli elementi in acciaio presenti sul modello (figura143).

Nella nuova schermata, sul menù presente nel bordo a destra, selezioniamo **tipo di barra in acciaio/alluminio** per visualizzare tutti gli elementi in acciaio e alluminio che sono presenti nel modello (figura 118), nel nostro caso dobbiamo lavorare con gli elementi delle famiglie RevitBeam e RevitColGravity. Selezionando sulle famiglie precedentemente citate si aprirà una nuova finestra (figura145).

In questa finestra sono presenti i parametri generali delle famiglie, nello specifico dobbiamo cliccare su **parametri dell'analisi al fuoco** per fare in modo che durante il calcolo strutturale ci siano i criteri corretti che appartengono a quel determinato materiale. Selezionando **fuoco** è possibile visualizzare i parametri

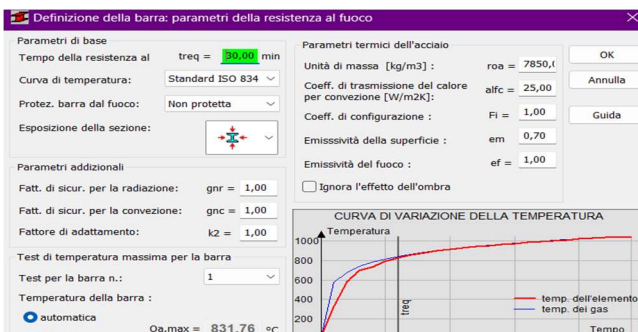


Figura 146 parametri materiali

Procedure di modellazione informativa ai fini della valutazione della resistenza al fuoco degli edifici

del materiale inerenti al comportamento termico corrispondente alla famiglia RevitBeam (figura 146).

Come possiamo vedere è presente la temperatura critica del materiale e la curva naturale d'incendio, che è possibile selezionare nell'apposito menù. Dopodiché tornando nella finestra dei parametri (figura 145) salviamo le modifiche effettuate, analogamente questo procedimento dovrà essere fatto per l'altra famiglia di elementi presenti sul progetto.

### 5.5.3 AVVIO ANALISI STRUTTURALE

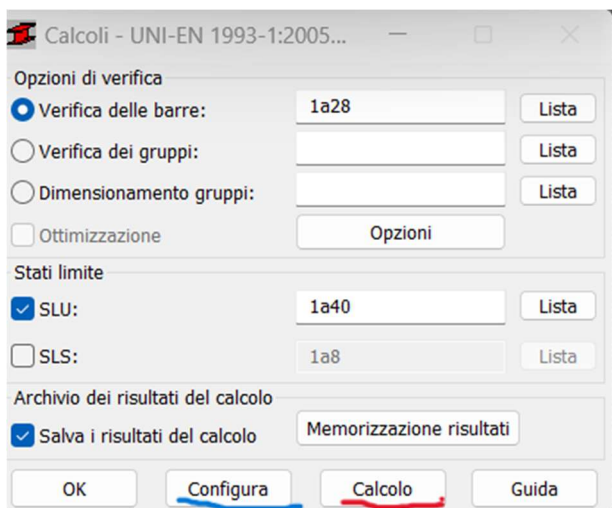


Figura 147 calcoli

Dalla schermata principale di lavoro precedentemente citata, la procedura per l'analisi viene effettuata tramite la finestra calcoli (figura 147), dove spunteremo su SLU e selezioneremo configura, ciò comporterà l'apertura di una ulteriore finestra.

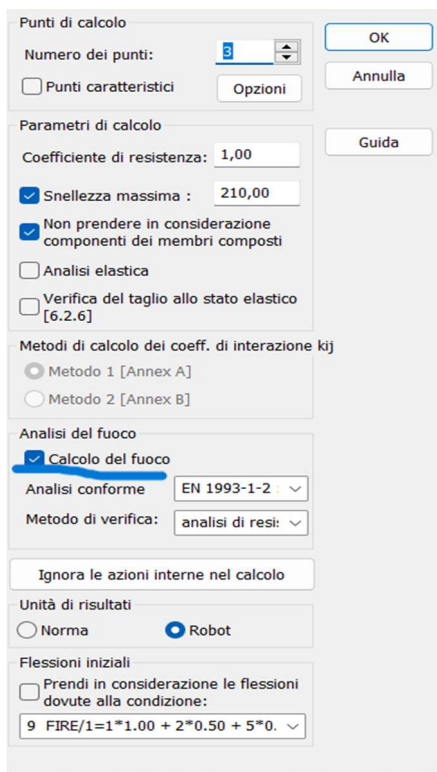


Figura 148

Dalla finestra **configurazione** nella sezione analisi del fuoco bisogna spuntare **calcolo del fuoco**, per essere certi che l'analisi sia conforme con la normativa indicata nella sezione analisi conforme. Per poi cliccare su ok.

Infine, l'analisi partirà selezionando calcolo come evidenziato in rosso in figura 148.

Procedure di modellazione informativa ai fini della valutazione della resistenza al fuoco degli edifici

## 5.6 RISULTATI DELL'ANALISI DI CALCOLO DI STRUTTURE IN ACCIAIO

Una volta eseguito il calcolo il programma robot ci fornirà una tabella di visualizzazione (figura 149)

Barra	Profilato	Materiale	Lay	Laz	Resist.	Condizione		
1	RevitColGravity	!	IPE160A	Acciaio	113.29	396.68	76.21	1 DL1
2	RevitColGravity	!	IPE160A	Acciaio	113.29	396.68	102.01	1 DL1
3	RevitColGravity	!	IPE160A	Acciaio	113.29	396.68	41.15	1 DL1
4	RevitColGravity	!	IPE160A	Acciaio	113.29	396.68	45.94	1 DL1
5	RevitColGravity	!	IPE160A	Acciaio	113.29	396.68	32.28	1 DL1
6	RevitColGravity	!	IPE160A	Acciaio	113.29	396.68	75.05	1 DL1
7	RevitBeam_7	OK	HE550A	Acciaio	39.96	126.78	0.67	1 DL1
8	RevitBeam_8	OK	HE550A	Acciaio	9.84	31.21	0.45	1 DL1
9	RevitBeam_9	OK	HE450A	Acciaio	46.42	123.97	0.13	1 DL1
10	RevitBeam_1	OK	HE450A	Acciaio	11.43	30.52	0.05	1 DL1
11	RevitBeam_1	OK	HE400A	Acciaio	40.01	92.53	0.49	1 DL1
12	RevitBeam_1	OK	HE400A	Acciaio	40.01	92.53	0.48	1 DL1
13	RevitBeam_1	X	HE340A	Acciaio	15.33	28.85	1.16	1 DL1
14	RevitBeam_1	OK	HE340A	Acciaio	15.33	28.85	0.67	1 DL1
15	RevitBeam_1	OK	HE550A	Acciaio	39.96	126.78	0.65	1 DL1
16	RevitBeam_1	OK	HE550A	Acciaio	9.84	31.21	0.33	1 DL1
17	RevitBeam_1	OK	HE450A	Acciaio	46.42	123.97	0.12	1 DL1
18	RevitBeam_1	OK	HE450A	Acciaio	11.43	30.52	0.05	1 DL1
19	RevitBeam_1	OK	HE400A	Acciaio	40.01	92.53	0.46	1 DL1
20	RevitBeam_2	OK	HE400A	Acciaio	40.01	92.53	0.50	1 DL1
21	RevitBeam_2	OK	HE400A	Acciaio	40.01	92.53	0.49	1 DL1
22	RevitBeam_2	OK	HE400A	Acciaio	40.01	92.53	0.36	1 DL1
23	RevitBeam_2	OK	HE400A	Acciaio	40.01	92.53	0.30	1 DL1
24	RevitBeam_2	X	HE340A	Acciaio	15.33	28.85	1.14	1 DL1
25	RevitBeam_2	OK	HE340A	Acciaio	15.33	28.85	0.65	1 DL1
26	RevitBeam_2	OK	HE400A	Acciaio	40.01	92.53	0.46	1 DL1
27	RevitBeam_2	OK	HE400A	Acciaio	40.01	92.53	0.37	1 DL1
28	RevitBeam_2	OK	HE400A	Acciaio	40.01	92.53	0.32	1 DL1

Figura 149 verifica delle barre

Che come indicato dal programma stesso, i simboli presenti nella colonna del profilato mostrano:

-se l'elemento è instabile come nel caso delle sezioni IPE160A



Figura 150

-il profilo è stabile come nel caso delle sezioni HE400A/HE340A/HE450A



Figura 151

-il profilo non rispetta i criteri della norma nel caso dei due elementi di sezione HE340A



Figura 152

Procedure di modellazione informativa ai fini della valutazione della resistenza al fuoco degli edifici

Inoltre, selezionando note di calcolo comparirà una nuova finestra dove è possibile decidere in che modo visualizzare i risultati delle analisi. Nel mio caso ho selezionato nota completa per avere un file word compilato dal programma dove sono presenti tutti i parametri e i risultati dell'analisi di ogni singolo elemento.

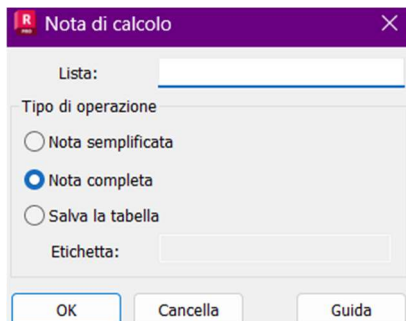


Figura 153

## 5.6.1 NOTE DI CALCOLO 1

CALCOLO DI STRUTTURE IN ACCIAIO			
<b>NORMA:</b> UNI-EN 1993-1-2:2005/NA:2007/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.			
<b>TIPO DI ANALISI:</b> Verifica delle barre			
<b>GRUPPO:</b>			
<b>BARRA:</b> 1 RevitColGravity_1	<b>PUNTO:</b> 3	<b>COORDINATA:</b> x = 0.49 L = 3.60 m	
<b>CARICHI:</b>			
Condizione di carico decisiva: 1 DL1			
<b>MATERIALE:</b>			
Acciaio ( Acciaio ) fy = 207.00 MPa			
<b>PARAMETRI DELLA SEZIONE: IPE160A</b>			
h=15.9 cm	gM0=1.05	gM1=1.05	
b=8.2 cm	Ay=11.48 cm <sup>2</sup>	Az=7.25 cm <sup>2</sup>	Ax=18.73 cm <sup>2</sup>
tw=0.5 cm	Iy=790.58 cm <sup>4</sup>	Iz=64.48 cm <sup>4</sup>	Ix=2.48 cm <sup>4</sup>
tf=0.7 cm	Wply=113.53 cm <sup>3</sup>	Wplz=24.44 cm <sup>3</sup>	
<b>PARAMETRI DELL'ANALISI DEL FUOCO: EN 1993-1-2:2005</b>			
Tipo di analisi - analisi di resistenza			
curva di temperatura -Standard ISO 834			
protez. barra dal fuoco -Non protetta			
treq=30.00 min	expos=4	gnr=1.00	gnc=1.00
gm,fi=1.00	k1=1.00	k2=1.00	
<b>Parametri termici dell'acciaio:</b>			
roa=7850.00 kg/m <sup>3</sup>	alfc=25.00 W/(m <sup>2</sup> *K)	Fi=1.00	em=0.70
ef=1.00	Effetto dell'ombra - attivo		
<b>Parametri calcolati:</b>			
Oa,max=831.76 C	Oay,max=831.76 C	Oaz,max=837.13 C	ky,O=0.09
kE,O=0.08	ky,O,y=0.09	ky,O,z=0.09	
<b>AZIONI INTERNE E CARICO LIMITE:</b>			
N,fi,Ed = 125.82 kN	My,fi,Ed = -2.38 kN*m	Mz,fi,Ed = -0.13 kN*m	Vy,fi,Ed = 0.05 kN
Nc,fi,t,Rd = 36.49 kN	My,pl,fi,t,Rd = 2.21 kN*m	Mz,pl,fi,t,Rd = 0.48 kN*m	Vy,T,fi,t,Rd = 12.90 kN
Nb,fi,t,Rd = 1.74 kN	My,c,fi,t,Rd = 2.21 kN*m	Mz,c,fi,t,Rd = 0.48 kN*m	Vz,fi,Ed = -1.18 kN
			Vz,T,fi,t,Rd = 7.92 kN
			Tt,fi,Ed = 0.00 kN*m
			Classe della sezione = 1
<b>PARAMETRI INSTABILITÀ LATERALE:</b>			
<b>PARAMETRI DI INSTABILITÀ:</b>			
rispetto all'asse y:			
Ly = 7.36 m	Lam_y,O = 1.21	Lz = 7.36 m	Lam_z,O = 4.23
Lcr,y = 7.36 m	Xy,fi = 0.36	Lcr,z = 7.36 m	Xz,fi = 0.05
Lamy = 113.29	ky = 3.00	Lamz = 396.68	kz = 3.00
<b>FORMULE DI VERIFICA:</b>			
<b>Controllo di resistenza della sezione:</b>			
N,fi,Ed/Nc,fi,t,Rd = 3.45 > 1.00 (6.2.4.(1))			
Vy,fi,Ed/Vy,T,fi,t,Rd = 0.00 < 1.00 (6.2.6-7)			
Vz,fi,Ed/Vz,T,fi,t,Rd = 0.15 < 1.00 (6.2.6-7)			
Tau,ty,fi,Ed/(kyO*fy/(sqrt(3)*gM,fi)) = 0.00 < 1.00 (6.2.6)			
Tau,tz,fi,Ed/(kyO*fy/(sqrt(3)*gM,fi)) = 0.00 < 1.00 (6.2.6)			
<b>Controllo della stabilità globale della barra:</b>			
Lambda,y = 113.29 < Lambda,max = 210.00			
Lambda,z = 396.68 > Lambda,max = 210.00 INSTABILE			
N,fi,Ed/(Xmin,fi*Nc,fi,t,Rd) + ky*My,fi,Ed/My,c,fi,t,Rd + kz*Mz,fi,Ed/Mz,c,fi,t,Rd = 76.21 > 1.00 EN312(4.2.3.5.(1))			
N,fi,Ed/(Xz,fi*Nc,fi,t,Rd) + kLT*My,fi,Ed/(XLT,fi*My,c,fi,t,Rd) + kz*Mz,fi,Ed/Mz,c,fi,t,Rd = 74.05 > 1.00 EN312(4.2.3.5.(1))			

Profilato instabile !!!

### CALCOLO DI STRUTTURE IN ACCIAIO

**NORMA:** UNI-EN 1993-1-2:2005/NA:2007/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.

La figura 154 mostra il file word compilato da robot, per un determinato elemento, nel caso riportato in immagine il pilastro di sezione IPE160A.

Il testo fornisce informazioni dettagliate per ogni elemento del modello suddividendole a seconda del tipo di verifica e di analisi. Che sono le seguenti:

- l'identificazione della barra nel modello, le sue coordinate e il tipo di sezione

- il materiale e quindi tutti i valori e parametri legati ad esso come le dimensioni

- I parametri dell'analisi del fuoco secondo la norma selezionata la EN 1993-1-2:2005 utilizzando la curva di temperatura standard ISO 834. Dal quale il programma ricava i valori termici del materiale acciaio come la

Figura 154 note di calcolo

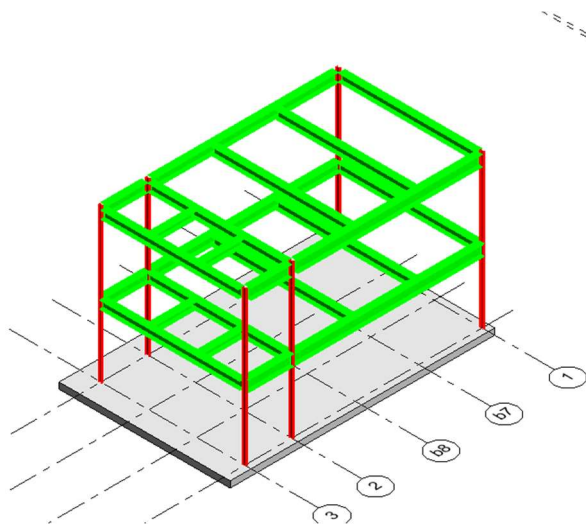
Procedure di modellazione informativa ai fini della valutazione della resistenza al fuoco degli edifici

temperatura massima raggiunta dal barra durante la curva di incendio standard ( $O_{a,max}=831.76\text{ C}$  ,  $O_{ay,max}=831.76\text{ C}$  ,  $O_{az,max}=837.13\text{ C}$ ) che sono utili per il calcolo della resistenza al fuoco della struttura e per la valutazione della stabilità globale.

-I valori delle azioni interne della barra e il suo carico limite

-parametri di instabilità

-formule di verifica eseguite da **Robot**, vengono prese direttamente dalla EN 1993-1-2:2005 e sono il **controllo di resistenza della sezione**, che viene usato per garantire che le sezioni degli elementi strutturali possano sopportare i carichi applicati senza cedere o deformarsi in modo eccessivo. Ciò viene fatto dal programma calcolando le sollecitazioni dovute ai carichi applicati e si confrontano con la capacità portante della sezione della trave, tenendo conto dei fattori di sicurezza. L'altra formula di verifica è quella del **controllo della stabilità globale della barra** eseguita per garantire che gli elementi strutturali in acciaio non subiscano instabilità sotto carico. Si calcolano i carichi critici di instabilità utilizzando formule specifiche per il tipo di barra e le condizioni di vincolo. Questi carichi critici dipendono dalla lunghezza libera di inflessione, dalle proprietà del materiale e dalla geometria della sezione trasversale che il programma possiede poiché sono parametri intrinseci delle barre. Ogni tipo di verifica riporta l'appendice che la identifica nella nell'eurocodice.



I risultati sono poi stati rappresentati in revit dove i pilastri instabili sono di colorazione rossa e le travi che risultano stabili sono verdi.

Figura 155

## 5.7 NOTE DI CALCOLO 2

È stata effettuata una seconda analisi termica con una condizione di carico diversa da quella precedente, tale analisi verrà successivamente confrontata con una analisi termica basata sull'articolo di ricerca (1).

### 5.7.1 CONDIZIONI DI CARICO

Nel momento in cui si imposta una analisi termica su robot, quest'ultimo ci dà la possibilità di applicare tale analisi ad una determinata combinazione di carico, per fare ciò prima è necessario creare la combinazione.

Dalla schermata principale di robot si va sulla sezione carichi e si seleziona tipi di carichi come in figura 155. Comparirà la finestra che ci permette di creare nuove condizioni di carico (figura 156).

Per creare una nuova condizione di carico bisogna selezionare la **natura** dal menu a tendina e la **subnatura**, per poi cliccare su **aggiungi**. Nel caso in esame le condizioni da utilizzare per l'analisi sono quelle mostrate in figura 157.

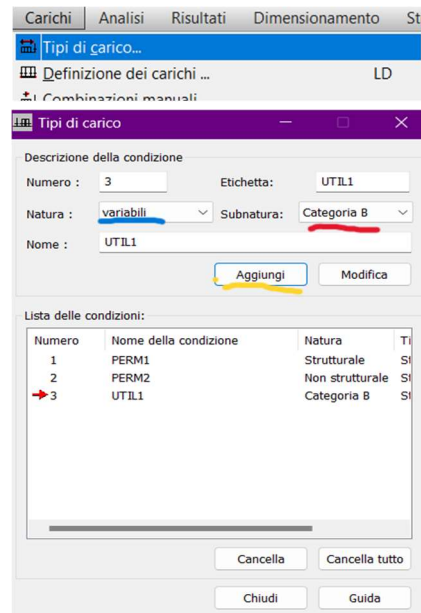


Figura 156 sopra, figura 157 sotto

### 5.7.2 APPLICAZIONE DELLE CONDIZIONI DI CARICO NEL MODELLO

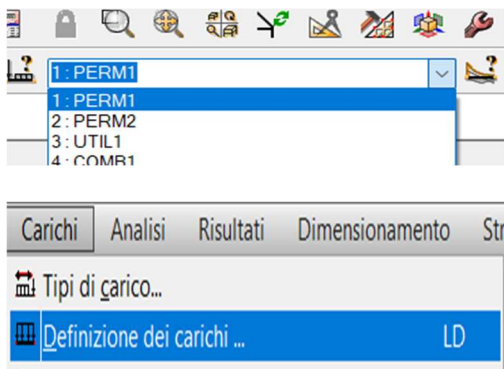


Figura 158 sopra, figura 159 sotto

Per poter creare la combinazione di carico prima è necessario applicare le condizioni sul modello. Dalla schermata principale si imposta dal menu a tendina la condizione che si vuole applicare (figura 156), successivamente bisogna andare nel menù carichi precedentemente citato e si clicca su definizione dei carichi (figura 158).

ne consegue l'apertura di una nuova finestra di impostazione dove andando nella sezione membro si seleziona carico uniforme, per poi indicare i valori in kN/m nell'apposita finestra (figura 160).

Nel caso di studio ho impostato tale valore a -2,5 per la condizione PERM 1, -1,52 per la condizione PERM2, -2 per UTIL.

Procedure di modellazione informativa ai fini della valutazione della resistenza al fuoco degli edifici

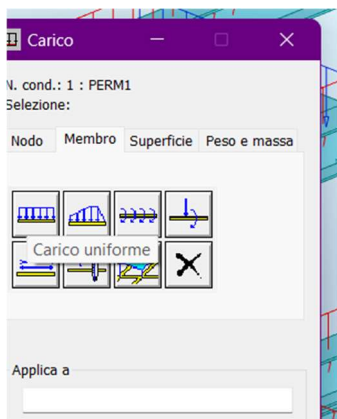


Figura 160

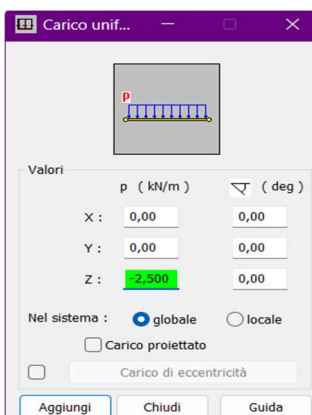


Figura 161

### 5.7.3 CREAZIONE COMBINAZIONE DI CARICO

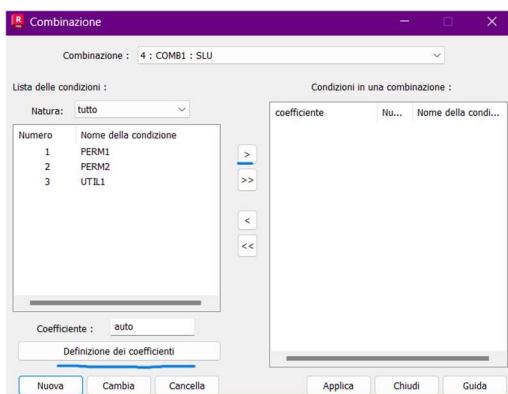


Figura 162

Analogamente ai processi precedentemente citati, dalla schermata principali seleziono combinazioni di carico manuali. E si aprirà la seguente schermata (figura 161)

Si definiscono prima i valori dei coefficienti della condizione cliccando sull'apposito comando sottolineato in figura. si definiscono i valori di STRC=0.3 NSTR=0.3 e CAT\_B=1.5. successivamente si evidenziano le condizioni e si spostano nelle condizioni della combinazione tramite l'uso del comando (>) evidenziato.

Condizioni in una combinazione :

coefficiente	Nu...	Nome della condi...
0.30	1	PERM1
0.30	2	PERM2
1.50	3	UTIL1

Figura 163 condizioni della combinazione.

Procedure di modellazione informativa ai fini della valutazione della resistenza al fuoco degli edifici

### 5.7.3 APPLICAZIONE DELLA COMBINAZIONE DI CARICO ALL'ANALISI DA EFFETTUARE

In maniera analoga all'analisi precedentemente trattata, ci si posiziona sulla finestra di lavoro descritta nei **5.5.2 settaggi preliminari**, dalla finestra in (figura 164) seleziono lista.

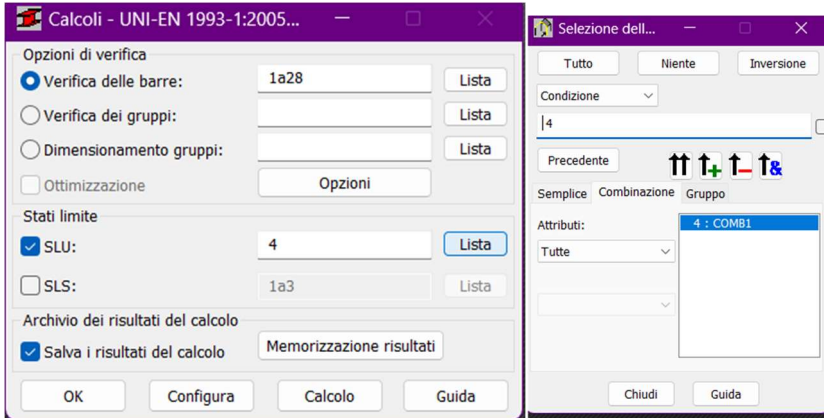


Figura 164

Figura 165

Dopodiché carico nell'analisi la combinazione precedentemente creata di nome 4:COMB1 cliccando le doppie frecce come in (figura 165).

Successivamente la procedura per far avviare l'analisi è analoga a quella eseguita precedentemente.

### 5.7.4 RISULTATI

Barra	Profilato	Materiale	Lay	Laz	Resist.	Condizione	
1	RevitColGravity	✓ IPE160A	Acciaio	113.29	396.68	0.00	4 COMB1
2	RevitColGravity	✓ IPE160A	Acciaio	113.29	396.68	0.00	4 COMB1
3	RevitColGravity	✓ IPE160A	Acciaio	113.29	396.68	0.00	4 COMB1
4	RevitColGravity	✓ IPE160A	Acciaio	113.29	396.68	0.00	4 COMB1
5	RevitColGravity	✓ IPE160A	Acciaio	113.29	396.68	0.00	4 COMB1
6	RevitColGravity	✓ IPE160A	Acciaio	113.29	396.68	0.00	4 COMB1
7	RevitBeam_7	✓ HE550A	Acciaio	39.96	126.78	0.00	4 COMB1
8	RevitBeam_8	✓ HE550A	Acciaio	9.84	31.21	0.00	4 COMB1
9	RevitBeam_9	✓ HE450A	Acciaio	46.42	123.97	0.00	4 COMB1
10	RevitBeam_1	✓ HE450A	Acciaio	11.43	30.52	0.00	4 COMB1
11	RevitBeam_1	✓ HE400A	Acciaio	40.01	92.53	0.00	4 COMB1
12	RevitBeam_1	✓ HE400A	Acciaio	40.01	92.53	0.00	4 COMB1
13	RevitBeam_1	✓ HE340A	Acciaio	15.33	28.85	0.00	4 COMB1
14	RevitBeam_1	✓ HE340A	Acciaio	15.33	28.85	0.00	4 COMB1
15	RevitBeam_1	✓ HE550A	Acciaio	39.96	126.78	0.00	4 COMB1
16	RevitBeam_1	✓ HE550A	Acciaio	9.84	31.21	0.00	4 COMB1
17	RevitBeam_1	✓ HE450A	Acciaio	46.42	123.97	0.00	4 COMB1
18	RevitBeam_1	✓ HE450A	Acciaio	11.43	30.52	0.00	4 COMB1
19	RevitBeam_1	✓ HE400A	Acciaio	40.01	92.53	0.00	4 COMB1
20	RevitBeam_2	✓ HE400A	Acciaio	40.01	92.53	0.00	4 COMB1
21	RevitBeam_2	✓ HE400A	Acciaio	40.01	92.53	0.00	4 COMB1
22	RevitBeam_2	✓ HE400A	Acciaio	40.01	92.53	0.00	4 COMB1
23	RevitBeam_2	✓ HE400A	Acciaio	40.01	92.53	0.00	4 COMB1
24	RevitBeam_2	✓ HE340A	Acciaio	15.33	28.85	0.00	4 COMB1
25	RevitBeam_2	✓ HE340A	Acciaio	15.33	28.85	0.00	4 COMB1
26	RevitBeam_2	✓ HE400A	Acciaio	40.01	92.53	0.00	4 COMB1
27	RevitBeam_2	✓ HE400A	Acciaio	40.01	92.53	0.00	4 COMB1
28	RevitBeam_2	✓ HE400A	Acciaio	40.01	92.53	0.00	4 COMB1

Figura 166

Nel secondo calcolo le travi risultano tutte stabili sia all'analisi termica e sia alla verifica di stabilità della sezione.

Ne consegue la rappresentazione grafica di revit.

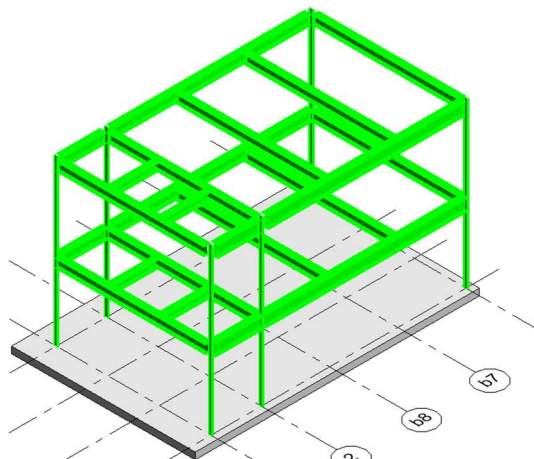


Figura 167

## CAPITOLO 6: ANALISI DI CONFRONTO

Quest'ultima analisi è stata effettuata sul medesimo modello Revit da quelle svolte precedentemente. L'approccio a questa analisi è basato sul seguente articolo di ricerca: **“Fire resistance assessment of building structures: performance-based approach in a BIM environment”** (1) . Questa analisi è possibile data la sua applicabilità a tale modellazione, in quanto è necessario avere un modello strutturale in ambiente BIM. Quindi gli strumenti utilizzati sono Dynamo: un'estensione di Revit che utilizza uno script scritto con il linguaggio Python per effettuare operazioni a noi utili.

### 6.1 AGGIUNTA DEI PARAMETRI E LA LORO UTILITÀ

Per effettuare l'analisi è necessario inserire nel modello BIM dell'edificio negli elementi strutturali i parametri utili per i calcoli strutturali e nello specifico il calcolo della temperatura alla quale colonne e travi in acciaio raggiungono il punto critico, così come la temperatura che questi elementi strutturali raggiungono quando sono esposti a una curva di incendio standard.

i parametri sono quelli esposti in figura 166, i quali saranno divisi per le travi e per le colonne.

Beams		Columns	
G1	VOLUMIC_MASS	G1	ELEMENT_SURFACE_EMISSIVITY
G2	ELEMENT_SURFACE_EMISSIVITY	G2	GAS_EMISSIVITY
Q	GAS_EMISSIVITY	Q	CONVECTION_HEAT_EXCHANGE
PSI	CONVECTION_HEAT_EXCHANGE	PSI	CHARACTERISTIC_YIELD_STRESS
AREA	WX_PLASTIC	AREA	STEEL_ELASTIC_MODULUS
SPECIFIC_HEAT	CHARACTERISTIC_YIELD_STRESS	SPECIFIC_HEAT	INERTIA_MOMENT_X
		VOLUMIC_MASS	INERTIA_MOMENT_Y
			INFLUENT_AREA

Figura 168 parametri

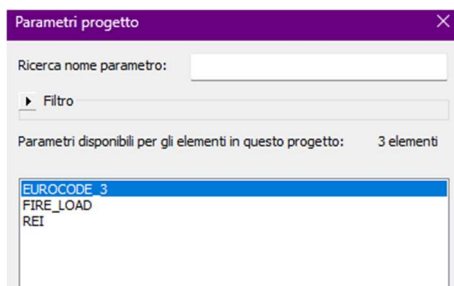
Successivamente sono stati inseriti i valori dei parametri sulle famiglie delle diverse colonne e travi, da notare l'inserimento dei valori in G1, G2 e Q che sono gli stessi utilizzati nella condizione di carico per l'analisi effettuata da robot descritto nel paragrafo [5.7.3](#).

Procedure di modellazione informativa ai fini della valutazione della resistenza al fuoco degli edifici

Analisi strutturale		
G1	2.500000	= 2.5
G2	1.520000	= 1.52
PSI	0.300000	= 0.3
Q	2.000000	= 2
Parametri IFC		
Tipo IFC predefinito		=
Esporta tipo in formato IFC		=
Dati		
AREA	0.002	= 0.002 m <sup>2</sup>
CHARACTERISTIC_YIELD_ST	275.000000	= 275
CONVECTION_HEAT_EXCH	25.000000	= 25
ELEMENT_SURFACE_EMISSI	0.700000	= 0.7
GAS_EMISSIVITY	1.000000	= 1
INERTIA_MOMENT_X	248000000.000000	= 248000000
INERTIA_MOMENT_Y	79058000000.000000	= 79058000000
INFLUENCE_AREA_MOMEN	0.500000	= 0.5
SPECIFIC_HEAT	550.000000	= 550
STEEL_ELASTIC_MODULUS	210000.000000	= 210000
VOLUMIC_MASS	7850.000000	= 7850
WX_PLASTIC	11353000000.000000	= 11353000000

Analisi strutturale		
G1	2.500000	= 2.5
G2	1.520000	= 1.52
PSI	0.300000	= 0.3
Q	2.000000	= 2
Parametri IFC		
Tipo IFC predefinito		=
Esporta tipo in formato IFC		=
Dati		
AREA	0.013	= A
CHARACTERISTIC_YIELD_ST	207.000000	= 207
CONVECTION_HEAT_EXCH	25.000000	= 25
ELEMENT_SURFACE_EMISSI	0.700000	= 0.7
GAS_EMISSIVITY	1.000000	= 1
SPECIFIC_HEAT	550.000000	= 550
STEEL_ELASTIC_MODULUS	210000.000000	= 210000
VOLUMIC_MASS	7850.000000	= 7850
WX_PLASTIC	3259330000.000000	= 3259330000
Altro		

Figura 169 parametri delle colonne a sinistra, figura 170 parametri delle travi a destra



Successivamente si creano i seguenti parametri (figura 169).

-FIRE\_LOAD è associato al carico di incendio basato sull'uso della stanza in cui sono situati gli elementi strutturali.

-REI è associato al tempo di resistenza al fuoco relativo basato sul carico di incendio secondo il codice di prevenzione incendi italiano (D.M. 03/08/2015)

Figura 171 parametri di progetto

-EUROCODE\_3 a cui vengono assegnati 2 possibili valori che dipendono dal confronto tra il valore di tempo che si ottiene con il processo di calcolo descritto nel paragrafo 6.3.

## 6.2 ESTRAZIONE DEI DATI

Si prosegue con l'estrazione dei parametri inseriti per effettuare un primo calcolo del carico di incendio specifico utilizzando l'estensione Dynamo, quest'ultimo viene usato per esportare automaticamente i dati dal modello BIM ed infine inserirli in un elenco di input.

## 6.3 PROCESSO DI CALCOLO

La verifica si svolge nel dominio della temperatura, utilizzando il metodo della temperatura critica descritto dal paragrafo 4.2.4 dell'eurocodice 3, la formula è quella precedentemente citata nel paragrafo 3.3 [calcolo della temperatura critica](#) (Equazione 7 temperatura critica). Come descritto nel paragrafo 3.3 il valore della temperatura dipende dal rapporto tra l'azione di progetto e la resistenza di progetto. Tale temperatura verrà successivamente confrontata con l'andamento delle temperature descritte dalla formula presente nel paragrafo 4.2.5.1 dell'Eurocodice 3:

Procedure di modellazione informativa ai fini della valutazione della resistenza al fuoco degli edifici

$$\Delta\theta_{a,t} = K_{sh} \cdot \left(\frac{A_m}{V} \cdot \frac{1}{c_a \rho_a}\right) \cdot \dot{h}_{net,a} \cdot \Delta t$$

tale formula viene utilizzata per elementi in acciaio non protetti

Equazione 16

Le variabili di input includono le caratteristiche geometriche dell'elemento ( $k_{sh}$ ,  $A_m$  e  $V$ ), le proprietà intrinseche del materiale ( $c_a$  e  $\rho_a$ ) e il flusso di calore derivante dalla curva di incendio applicata, in questo caso la curva di incendio ISO 834.

Questi calcoli sono eseguiti all'interno del modello BIM con l'utilizzo di Dynamo, il **primo calcolo** ha come scopo la determinazione della classe minima di resistenza al fuoco degli elementi in base all'uso dell'edificio. Questa classe indica l'intervallo di tempo (misurato in minuti) per il quale l'elemento è in grado di mantenere la sua capacità portante e dipende dal valore del **carico di incendio specifico** che viene calcolato direttamente da uno script di Python. Successivamente trovato il valore della classe di resistenza, un ulteriore script presente su Dynamo permette di calcolare l'andamento delle temperature e la **temperatura critica** di ogni singolo elemento in acciaio presente su Dynamo. L'ultimo passo eseguito da Dynamo è il **confronto** tra la massima resistenza al fuoco derivante dalla temperatura critica dell'elemento e la minima resistenza al fuoco derivante dal carico di incendio specifico di progetto.

## 6.4 RISULTATO

L'analisi nel suo atto finale confronta il tempo della classe minima di resistenza trovata secondo il procedimento descritto dal dm (D.M. 03/08/2015) con il tempo calcolato tramite il programma BIM seguendo la normativa dell'eurocodice 3.

Nel modello Revit, gli elementi analizzati vengono colorati in verde se la loro resistenza al fuoco, associata alla temperatura critica, è superiore alla resistenza richiesta dal carico di incendio. Questo significa che il tempo ottenuto dalla temperatura critica è maggiore rispetto al tempo minimo di resistenza richiesto. Altrimenti, gli elementi saranno colorati in rosso. Questa colorazione è determinata dal valore assegnato al parametro EUROCODE\_3 da Dynamo durante il confronto.

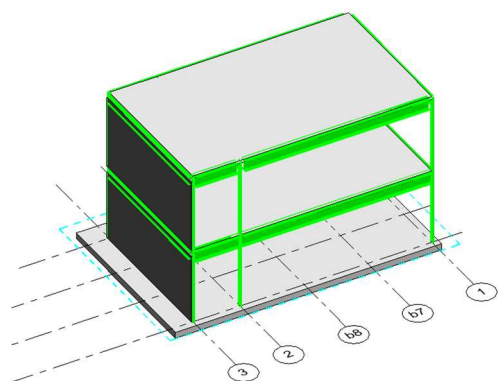


Figura 172 sopra, Tabella 7 destra

Nel modello preso in esame tutti gli elementi risultano aver superato l'analisi di resistenza al fuoco.

Il risultato di entrambe le analisi è stato tabulato, dove il valore messo a confronto è la temperatura critica.

SEZIONE	Robot	Dynamo
IPE160A	Oa,max = 832.16 C	Oa,max = 822.67 C
HE550A	Oa,max = 739.26 C	Oa,max = 727.78 C
HE450A	Oa,max = 746.71 C	Oa,max = 734.89 C
HE400A	Oa,max = 751.67 C	Oa,max = 742.57 C
HE340A	Oa,max = 782.05 C	Oa,max = 769.42 C

## 7 DISCUSSIONE

Dopo aver effettuato diverse analisi sulla resistenza al fuoco, il primo sguardo interessante va sul tipo di estensioni utilizzate.

Da una parte c'è **Robot** di Autodesk creato appositamente per effettuare le analisi strutturali tramite un database di norme presenti al suo interno, oltre a essere una estensione e quindi permettere "trasportare" un modello da Revit a Robot e viceversa, è anche possibile creare delle strutture, le quali avranno elementi con parametri e proprietà che forniti direttamente dalle norme. Per quanto riguarda l'analisi effettuata con **Dynamo** anche quest'ultimo risulta essere un'estensione di Revit, viene sfruttato come strumento che ti permette di automatizzare e personalizzare il lavoro in Revit senza dover utilizzare del codice di programmazione. Usando un'interfaccia grafica, puoi creare flussi di lavoro collegando blocchi visivi, quindi richiede una base nella programmazione. In questo caso Dynamo è stato affiancato a Python per effettuare i calcoli e le norme sono state caricate in maniera manuale all'interno del flusso di programmazione. Se da una parte c'è la difficoltà nel programmare dove in Robot non è presente, in opposizione c'è la certezza e la conferma di utilizzare la giusta norma e le formule di interesse, dove in Robot in contrapposizione come visualizzato nel paragrafo [5.6.1](#) vengono effettuati calcoli che appartengono a diverse formule della norma selezionata, senza possibilità di escludere in base ai propri interessi.

un'altra differenza tra i 2 metodi di analisi è la modalità di rappresentare i risultati e di come è possibile visualizzarli. Nel caso in esame entrambe le analisi prese in considerazione nei paragrafi [5.7](#) e [capitolo: 6 analisi di confronto](#) hanno lo scopo di valutare e presentare il comportamento delle strutture sottoposte a un incendio ed entrambe le analisi si basano sull' Eurocodice 3.

**CALCOLO DI STRUTTURE IN ACCIAIO**

---

NORMA: UNI-EN 1993-1:2005/NA:2007/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.  
TIPO DI ANALISI: Verifica delle barre

---

GRUPPO:  
BARRA: 1 RevitColGravity\_1 PUNTO: 3 COORDINATA: x = 0.49 L = :


---

CARICHI:  
Condizioni di carico decisiva: 4 COMB1 (1+2)\*0.30+3\*1.50

---

MATERIALE:  
Acciaio ( Acciaio ) fy = 207.00 MPa

---

 **PARAMETRI DELLA SEZIONE: IPE160A**

h=15.9 cm	gM0=1.05	gM1=1.05	
b=8.2 cm	Ay=11.48 cm <sup>2</sup>	Az=7.25 cm <sup>2</sup>	Ax=18.73 cm <sup>2</sup>
tw=0.5 cm	Iy=790.58 cm <sup>4</sup>	Iz=64.48 cm <sup>4</sup>	Ix=2.48 cm <sup>4</sup>
tf=0.7 cm	Wply=113.53 cm <sup>3</sup>	Wplz=24.44 cm <sup>3</sup>	

---

**PARAMETRI DELL'ANALISI DEL FUOCO: EN 1993-1-2:2005**

*Tipo di analisi - analisi termica*  
curva di temperatura - Standardi ISO 834  
protez. barra dal fuoco - Non protetta  
treq=30.00 min expos=4 gnr=1.00 gnc=1.00  
k=1.00

*Parametri termici dell'acciaio:*  
rho=7850.00 kg/m<sup>3</sup> alfc=25.00 W/(m<sup>2</sup>\*K) Fi=1.00 em=0.70  
ef=1.00 Effetto dell'ombra - attivo

*Parametri calcolati:*  
Oa,max=832.16 C iy,O=0.09  
kE,O=0.08 Oa,cr=inf C  
tft,max=120.00 min

---

**AZIONI INTERNE E CARICO LIMITE:** Classe della sezione = 1

---

**PARAMETRI IN STABILITÀ LATERALE:**

---

**PARAMETRI DI IN STABILITÀ:**

rispetto all'asse y:  rispetto all'asse z:

---

**FORMULE DI VERIFICA:**  
Controllo di resistenza delle sezioni:  
Oa,max = 832.16 < Oa,cr = inf EN112(2.5)

---

*Profilato corretto !!!*

Figura 173

Nel caso di robot dopo aver selezionato la combinazione di calcolo e aver impostato la normativa di riferimento, sarà possibile effettuare una analisi per la stabilità della struttura sottoposta ad incendio e una analisi per verificare la resistenza degli elementi in acciaio soggetti ad uno scenario di incendio. Il risultato dell'analisi risulta essere tabellato e inoltre il programma offre la possibilità di compilare un file word con tutte le informazioni dell'analisi svolta come indicate nel paragrafo [5.6.1](#). Una nota da segnalare è che nel caso dell'analisi effettuata con una combinazione di carico impostata in maniera manuale descritta nel paragrafo 5.7, la completezza delle informazioni presenti nella nota di calcolo compilata sul file word risulta essere minore, probabilmente poiché alcuni parametri della combinazione manuale creata non sono compatibili con le formule da robot selezionate per l'analisi, esempio in figura 171.

Per quanto riguarda l'analisi effettuata utilizzando Dynamo, l'inserimento dei parametri e la selezione delle norme e delle formule è avvenuta in maniera manuale. Il risultato che viene dall'analisi effettuata con Dynamo è visivo, in quanto se l'elemento risulta rispettare la norma e ha una resistenza maggiore rispetto a quella di confronto quest'ultimo si colora di verde.. Di conseguenza se si possiede il giusto script e le conoscenze tali da saper selezionare le norme e i parametri giusti, l'ultimo metodo di confronto si dimostra possedere un minor numero di incertezze rispetto a quello offerto da Robot, poiché inoltre non necessita nessuna conversione del modello da un programma all'altro il quale potrebbe cambiare i parametri di una determinata sezione.

In ogni caso al confronto in entrambe le analisi gli elementi strutturali in acciaio si dimostrano stabili secondo riportato dai risultati.

## 8 CONCLUSIONE

Una volta ultimata la rappresentazione su Revit delle Analisi e l'applicazione della combinazione da carico eccezionale, nel modello preso in esame, ne consegue l'ottenimento dell'obiettivo principale della tesi. Il tutto è stato possibile iniziando dalla Verifica della classe minima di resistenza al fuoco R, che come mostrato nel capitolo 2, avviene tramite il confronto di diversi dati forniti dal DM 03.08.2015.

Un ruolo fondamentale lo ha avuto l'Eurocodice 0 EN 1990 che ha fornito la combinazione di calcolo delle azioni eccezionali e in questo elaborato tale combinazione si dimostra fondamentale, sia per la verifica precedentemente citata, sia per la sua applicazione mostrata nel capitolo 4. Il processo di analisi e valutazione della combinazione SLA1 sarebbe stato impossibile senza l'utilizzo di Revit e Robot.

Durante la fase di elaborazione del progetto, descritta nel capitolo 3, si sono riscontrati alcuni ostacoli che, come conseguenza, hanno portato ad alcuni adattamenti. Ad esempio, sono state individuate le seguenti difficoltà o punti di debolezza:

- Scelta delle corrette misure legata alla conversione del file IFC a quello RVT, gli errori riportati sono stati notevoli;
- Una volta ultimata la modellazione, come in questo caso, il modello diventa molto carico di dati e quindi non sempre viene aperto dai computer;
- Difficoltà nel comprendere il funzionamento del modello analitico in quanto nelle versioni di Revit 2022 e precedenti, il modello analitico veniva creato automaticamente in contemporanea al modello fisico strutturale. Nella versione Revit 2023 e 2024 invece la modellazione analitica è staccata da quella fisica strutturale.

La progettazione, oltre a consentire la realizzazione di un Nuovo modello, ha consentito l'acquisizione e l'apprendimento di nuove tecniche di modellazione:

- Nelle conversioni da fisico ad analitico, ho appreso attraverso vari tentativi, che è fondamentale fornire i parametri corretti ai vari elementi che si vogliono convertire, altrimenti Revit non riesce a generarli adeguatamente;

Procedure di modellazione informativa ai fini della valutazione della resistenza al fuoco degli edifici

- Ho acquisito maggior familiarità con molti strumenti del programma come la modellazione volumetrica utilizzata per la creazione delle facciate continue, la modellazione analitica alla quale non mi ero mai approcciato in passato e infine i collegamenti strutturali.

Per quanto riguarda l'utilizzo di robot e l'analisi dei risultati che ne consegue, le criticità riscontrate sono:

- L'interfaccia presenta diverse limitazioni poiché è poco intuitiva e a differenza della interfaccia presente nel software Revit, l'interfaccia di Robot non offre suggerimenti.
- La conversione da Revit a Robot presenta imperfezioni, nel mio caso ho riscontrato problemi nel riconoscimento dei piani dove sono posizionati i pilastri.

Ovviamente poiché Revit e Robot sono due software, le criticità precedentemente elencate sono delle possibili aree di miglioramento, alla quale gli sviluppatori possono lavorare.

Per quanto riguarda i risultati delle analisi, le potenzialità che offre Robot sono molto elevate, di conseguenza lo reputo un software molto potente che però necessita alcuni miglioramenti. Ad esempio, la visualizzazione dei risultati e la loro valutazione è risultata complicata poiché la quantità di dati presenti, nonostante si tratti di una porzione di un modello, è molto elevata. Ma richiede una conoscenza nel programma che ne limita spesso l'utilizzo in quanto come nei casi in studio alcune analisi se non impostate in maniera corretta potrebbero non risultare complete.

## BIBLIOGRAFIA

- (1) A Carbonari, M Lemma, M Tarsi (2024). **Fire resistance assessment of building structures: performance-based approach in a BIM environment.** *Proceedings of the 41st International Conference of CIB W78, Marrakech, Morocco, 2-3 October, ISSN: 2706-6568.* (ISSN: 2706-6568), <http://itc.scix.net/paper/w78-2024-30>
- (2) Eurocodice 0 EN 1990
- (3) Eurocodice 1 EN1991
- (4) Eurocodice 3 UNI EN 1993-1-2:2005
- (5) Decreto ministeriale del 3 agosto 2015 Codice di prevenzione incendi, edizione in vigore dal 1° gennaio 2023
- (6) Guida Autodesk Revit 2024
- (7) Guida Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2024
- (8) Mastering Autodesk Revit Architecture 2015 - Krygiel, Eddy, Vandezande, James
- (9) Nuove norme tecniche per le costruzioni D.M 17.01.2018 Circolare 21 gennaio 2019 N. 7 C.S.LL.PP Romano Edizioni