

**MINISTERO
DELLE INFRASTRUTTURE E DELLA MOBILITÀ SOSTENIBILI
STRUTTURA TECNICA DI MISSIONE**




COMUNE DI TORINO



**METROPOLITANA AUTOMATICA DI TORINO
LINEA 2 – TRATTA POLITECNICO – REBAUDENGO**

**PROGETTAZIONE DEFINITIVA
Lotto Generale: Politecnico - Rebaudengo**


PROGETTO DEFINITIVO		 INFRA.TO <i>infrastrutture per la mobilità</i>										INFRATRASPORTI S.r.l.		
DIRETTORE PROGETTAZIONE Responsabile integrazione discipline specialistiche	IL PROGETTISTA													
Ing. R. Crova Ordine degli Ingegneri della Provincia di Torino n. 6038S	Ing. F. Cocito Ordine degli Ingegneri della Provincia di Torino n. 8785X	PREVENZIONE INCENDI LINEA SCENARIO 4 (INCENDIO LOCALE TECNICO TIPOLOGICO) RELAZIONE										SCALA	DATA	
		ELABORATO												REV. Int. Est.
BIM MANAGER Geom. L. D'Accardi		MT	L2	T1	A0	D	VVF	GEN	R	021	-	1	-	31/03/2022

AGGIORNAMENTI

Fg. 1 di 235


REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO	VISTO
0	EMISSIONE	31/03/22	LSo	FCo	FCo	RCr
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-

<table border="1"> <tr> <td>LOTTO 0</td> <td>CARTELLA</td> <td>19.2</td> <td>109</td> <td>MTL2T1A0D</td> <td>VVFGENR021</td> </tr> </table>						LOTTO 0	CARTELLA	19.2	109	MTL2T1A0D	VVFGENR021	<p align="center">STAZIONE APPALTANTE</p> <p align="center">DIRETTORE DI DIVISIONE INFRASTRUTTURE E MOBILITÀ Ing. R. Bertasio</p>			
LOTTO 0	CARTELLA	19.2	109	MTL2T1A0D	VVFGENR021										
						RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO									

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta funzionale 1: Politecnico – Rebaudengo
Scenario 4 - Relazione	109_MTL2T1A0DVVFGENR021-0-0.DOCX

SOMMARIO

1.	PREMESSA	4
2.	DEFINIZIONE DEGLI SCENARI	7
2.1	MODELLAZIONE INCENDIO LOCALE TECNICO POSTO IN ATRIO (UPS)	7
2.1.1	CURVA D'INCENDIO	7
2.1.2	MODELLO TRIDIMENSIONALE	8
2.1.3	CONDIZIONI AL CONTORNO	10
2.1.4	STRATEGIA DI VENTILAZIONE 1 (SCENARIO 4 - TIPOLOGICO UPS)	10
2.2	RISULTATI	12
2.2.1	OUTPUT SCENARIO	12
2.2.1.1	PROPAGAZIONE FUMI	12
2.2.1.2	TEMPERATURE	22
2.2.1.3	VISIBILITÀ	33
2.2.1.4	VELOCITÀ	44
2.2.1.5	CONCENTRAZIONE CO	54
2.2.1.6	IRRAGGIAMENTO TERMICO	65
2.2.1.7	FED	75
2.2.2	STRATEGIA DI VENTILAZIONE 2 (SCENARIO 4 – TIPOLOGICO UPS)	85
2.3	RISULTATI	86
2.3.1	OUTPUT SCENARIO	86
2.3.1.1	PROPAGAZIONE FUMI	86
2.3.1.2	TEMPERATURE	96
2.3.1.3	VISIBILITÀ	106
2.3.1.4	VELOCITÀ	116
2.3.1.5	CONCENTRAZIONE CO	126
2.3.1.6	IRRAGGIAMENTO TERMICO	136
2.3.1.7	FED	146
2.4	MODELLAZIONE INCENDIO LOCALE TECNICO NEL PIANO MEZZANINO	156
2.4.1	CURVA D'INCENDIO	156
2.4.2	MODELLO TRIDIMENSIONALE	157
2.4.3	CONDIZIONI AL CONTORNO	159
2.4.4	STRATEGIA DI VENTILAZIONE (SCENARIO 4 – TIPOLOGICO SSE)	160
2.4.5	RISULTATI	161
2.4.6	OUTPUT SCENARIO	161
2.4.6.1	PROPAGAZIONE FUMI	161
2.4.6.2	TEMPERATURE	172
2.4.6.3	VISIBILITÀ	182
2.4.6.4	VELOCITÀ	192

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
Scenario 4 - Relazione	109_MTL2T1A0DVVFGENR021-0-0.DOCX


2.4.6.5	CONCENTRAZIONE CO	202
2.4.6.6	IRRAGGIAMENTO TERMICO	212
2.4.6.7	FED	223
2.5	COMMENTO AI RISULTATI (TIPOLOGICO INCENDIO IN UN LOCALE TECNICO)	233

INDICE TABELLE

Tabella 1 – Sinottico delle verifiche effettuate	5
Tabella 2 - Timing incendio locale tecnico	8
Tabella 3 – Modello tridimensionale	9
Tabella 4 – Caratterizzazione scenario	9
Tabella 5 – Parametri fase di combustione	10
Tabella 6 - Timing incendio locale tecnico	157
Tabella 7 – Modello tridimensionale	157
Tabella 8 – Caratterizzazione scenario	158
Tabella 9 – Parametri fase di combustione	159

INDICE FIGURE

Figura 1 - Curva d'incendio per lo scenario incendio in un locale tecnico al piano atrio	7
Figura 2 – Posizione del focolaio nel locale UPS	9
Figura 3 – Impianto estrazione locale UPS	11
Figura 4 – impianto estrazione locale ups	85
Figura 5 - Curva d'incendio per lo scenario incendio in un locale tecnico al piano mezzanino	156
Figura 6 – Posizione focolaio di incendio nel tipologico sottostazione elettrica (SSE)	158
Figura 7 – Impianto estrazione SSE	160

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
Scenario 4 - Relazione	109_MTL2T1A0DVVFGENR021-0-0.DOCX


1. PREMESSA

Il documento in oggetto costituisce la sintesi degli scenari di emergenza di cui al DM. 21/10/2015, con riferimento alla verifica di incendio in un locale tecnico: la modellazione dell'incendio è condotta per la verifica a supporto della progettazione della Metropolitana Automatica di Torino – Linea 2 e prevede la modellazione CFD (Computational Fluid Dynamics). I risultati estesi e completi di tali valutazioni sono disponibili negli allegati che dettagliano le ipotesi, gli obiettivi e le condizioni di verifica dello scenario.

L'approccio di calcolo utilizzato è conforme al DM 21/10/2015, in particolare con riferimento all'appendice tecnica DM 9/5/2007 - Allegato A relativamente alla documentazione da produrre. Si evidenzia come l'analisi preliminare (o qualitativa) sia già assolta per le soluzioni conformi dalle previsioni del DM 21/10/2015 che definisce gli scenari di incendio di riferimento da analizzare, mentre l'analisi quantitativa costituisce lo strumento progettuale e di verifica di conformità alla norma stessa.

Si ritiene, pertanto, già assolta dal DM 21/10/2015 la prima fase definita al paragrafo 2 dell'allegato A al DM 9/5/2007 comma 1 (*L'approccio ingegneristico alla sicurezza antincendio*) è caratterizzato da una prima fase in cui sono formalizzati i passaggi che conducono ad individuare le condizioni più rappresentative del rischio al quale l'attività è esposta e quali sono i livelli di prestazione cui riferirsi in relazione agli obiettivi di sicurezza da perseguire. Al termine della prima fase deve essere redatto un sommario tecnico, firmato congiuntamente dal progettista e dal titolare dell'attività, ove è sintetizzato il processo seguito per individuare gli scenari di incendio di progetto ed i livelli di prestazione) che non necessita, per le soluzioni conformi, della ridefinizione degli scenari di incendio di progetto.

L'analisi degli scenari di emergenza presi a riferimento, condotta in conformità e ottemperanza alle prescrizioni del Decreto, è sintetizzata nella Tabella 1 dove sono stati indicati gli scenari di riferimento adottati per le verifiche dei tipologici rappresentativi dello scenario di incendio n. 4 (scenario 4 - incendio in un locale tecnico) di cui al D.M. 21.10.2015.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
Scenario 4 - Relazione	109_MTL2T1A0DVVFGENR021-0-0.DOCX

SCENARIO DI RIFERIMENTO: INCENDIO TIPOLOGICO “LOCALE TECNICO”
Incendio locale UPS – piano atrio
Incendio SSE – piano mezzanino


Tabella 1 – Sinottico delle verifiche effettuate

Il raggiungimento degli obiettivi di sicurezza antincendio, in particolare quelli condizionati dal controllo e dalla gestione dei fumi, indirettamente connessi alla progettazione dei percorsi di sfollamento e alla verifica delle condizioni di compatibilità, è conseguito mediante progettazione di tipo prestazionale, basata sui criteri richiamati nel decreto del Ministro dell'interno 9 maggio 2007, recante «Direttive per l'attuazione dell'approccio ingegneristico alla sicurezza antincendio», a partire da alcuni valori prescritti nel D.M. 21/10/2015 che, qualora rispettati, non richiedono ulteriori valutazioni del rischio.

Allo scopo di restituire le condizioni di sviluppo dell'incendio previste dagli scenari indicati, l'analisi fluidodinamica è stata condotta utilizzando, in coerenza con le altre verifiche già condotte sui tipologici della stessa linea, il software di fluidodinamica computazionale (CFD – Computational Fluid Dynamics) pervenendo al calcolo dei campi vettoriali di velocità e scalari di temperatura e concentrazione dei prodotti di combustione mediante l'integrazione numerica delle equazioni differenziali rappresentative dei bilanci accoppiati di quantità di moto, energia e materia.


Le fasi di modellazione hanno comportato:

- definizione del dominio di calcolo nel quale si sviluppa il fenomeno oggetto di studio e la sua discretizzazione;
- definizione del modello fisico e di quello numerico;
- definizione delle condizioni al contorno, specificando le proprietà termo – chimiche ai confini del dominio di calcolo;
- risoluzione delle equazioni in maniera iterativa, fino al raggiungimento di un predefinito grado di accuratezza controllato con verifiche continue sui resiti risultanti dalla soluzione approssimata delle equazioni esatte;
- resa grafica dei risultati ottenuti, con rappresentazione di campi e variabili nel tempo;
- analisi dei risultati.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
Scenario 4 - Relazione	109_MTL2T1A0DVVFGENR021-0-0.DOCX

In particolare, la relazione illustra:

- le assunzioni dei parametri tecnico-impiantistici e delle caratteristiche geometrico-strutturali, operate ai fini della verifica degli obiettivi di sicurezza per gli scenari indicati;
- i risultati delle simulazioni termofluidodinamiche nello scenario **incendio in un locale tecnico (SCENARIO 4)**, realizzati in conformità al capitolo IV del Decreto prescrivente i criteri progettuali per l'esodo dalle metropolitane.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
Scenario 4 - Relazione	109_MTL2T1A0DVVFGENR021-0-0.DOCX

2. DEFINIZIONE DEGLI SCENARI

Come specificato in premessa, secondo il DM 21 ottobre 2015 “Approvazione della regola tecnica di prevenzione incendi per la progettazione, costruzione ed esercizio delle metropolitane”, Allegato I, Capo I.I.4, tra gli scenari d’incendio di riferimento più importanti viene elencato al punto primo, l’**incendio in un locale tecnico**. Pertanto, avendo analizzato i tipologici della linea, sono stati individuati due tipologici “locale tecnico” rappresentativi delle condizioni di esercizio della stessa, che per effetto di un incendio potrebbero restituire condizioni critiche, analizzando gli scenari di incendio che interessano i due tipologici (locali tecnici) richiamati in Tabella 1.

2.1 Modellazione incendio locale tecnico posto in atrio (UPS)

2.1.1 Curva d’incendio

Ai fini delle verifiche fluidodinamiche la curva di incendio per lo scenario incendio in un locale tecnico è ricavata in accordo con le indicazioni presenti nel DM 21 ottobre 2015 “Approvazione della regola tecnica di prevenzione incendi per la progettazione, costruzione ed esercizio delle metropolitane” e di seguito riportata in forma grafica (cfr. Figura 1).

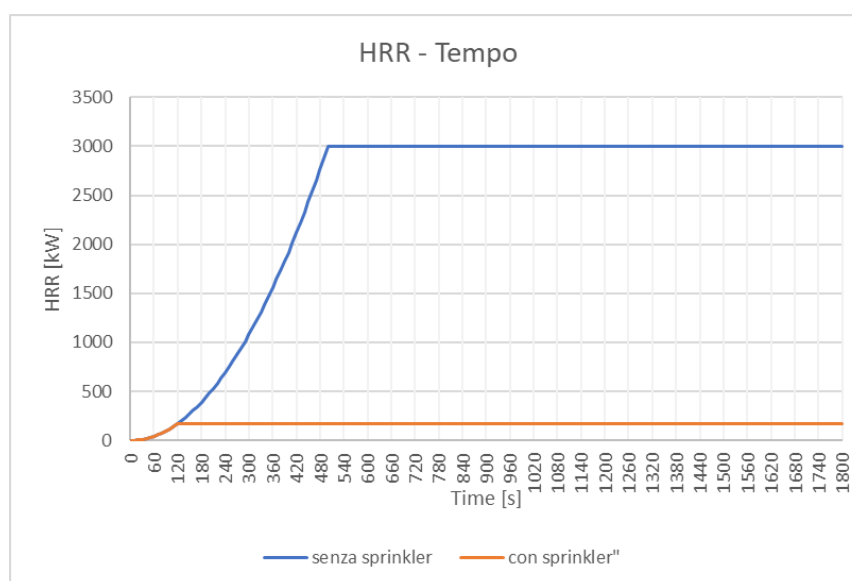



Figura 1 - Curva d’incendio per lo scenario incendio in un locale tecnico posto al piano atrio

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
Scenario 4 - Relazione	109_MTL2T1A0DVVFGENR021-0-0.DOCX

Il Decreto, inoltre, specifica (cfr. allegato I.I.7): “Per lo scenario di incendio 4) sarà assunto un incendio di progetto di caratteristiche analoghe a quello dello scenario di incendio 3) anche non in presenza di impianto automatico di spegnimento”.

Le curve riprodotte graficamente mostrano rispettivamente l’andamento della potenza termica in assenza di impianto di spegnimento e in presenza dello stesso: la curva presenta un valore di potenza termica massima pari a 3 MW, mentre la curva che rappresenta lo sviluppo condizionato dall’effetto dell’impianto di spegnimento (impianto sprinkler) raggiunge una potenza termica di picco di 172 kW.

La caratterizzazione dell’impianto di ventilazione e delle strategie da adottare necessita la definizione di una sequenza di eventi da considerare nell’analisi dell’evoluzione degli scenari di emergenza per lo scenario di riferimento analizzato. Nella tabella seguente (cfr. Tabella 2) si riporta la sequenza dei principali eventi considerati nell’analisi dello scenario di riferimento “incendio in un locale tecnico”


TIME STEP [s]	EVENTO	RIFERIMENTI ED ASSUNTI
0	SI VERIFICA L’INNESCO	Il focolaio è posizionato nel tipologico “locale tecnico UPS” posto al piano atrio
90	ATTIVAZIONE DELLA VENTILAZIONE – strategia 1	La ventilazione è a regime
120	ATTIVAZIONE DELLA VENTILAZIONE – strategia 2	La ventilazione è a regime

Tabella 2 - Timing incendio locale tecnico

2.1.2 Modello tridimensionale

Il modello tridimensionale costruito con il codice FDS ha le caratteristiche riportate nelle tabelle seguenti (cfr. Tabelle 3 e 4).

CODICE COMPUTAZIONALE	FDS
CARDINALITÀ	3D
DIMENSIONI CELLA [m]	0.2 x 0.2 x 0.2

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
Scenario 4 - Relazione	109_MTL2T1A0DVVFGENR021-0-0.DOCX

CODICE COMPUTAZIONALE	FDS
CARDINALITÀ	3D
DIMENSIONE MODELLO	Come da pianta DWG di riferimento
TEMPO DI SIMULAZIONE [s]	1200

Tabella 3 – Modello tridimensionale

Caratteristiche del focolaio:

GRANDEZZA	VALORE
HRR max [MW]	3
HRRPUA [Kw/m ²]	1000
Area focolaio [m ²]	3
COMBUSTIBILE EQUIVALENTE	Poliuretano

Tabella 4 – Caratterizzazione scenario

L'immagine successiva indica la posizione del focolaio. Il locale tecnico dove è stata effettuata la simulazione è ubicato in atrio e prevede la destinazione d'uso "locale UPS".

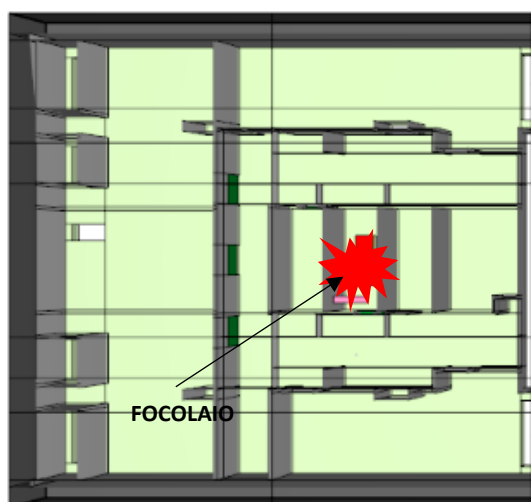



Figura 2 – Posizione del focolaio nel locale UPS

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
Scenario 4 - Relazione	109_MTL2T1A0DVVFGENR021-0-0.DOCX

Fase di combustione dei gas

I parametri utilizzati per la reazione della fase di combustione dei gas sono di seguito sintetizzati (cfr. Tabella 5).

SOOT_YIELD	frazione della massa di combustibile convertito in particolato di fumo	0.104
CO_YIELD	frazione della massa di combustibile convertito in monossido di carbonio	0.025
C	numero di atomi di carbonio presenti nella formula chimica del combustibile	6.3
H	numero di atomi di idrogeno presenti nella formula chimica del combustibile	7.1
N	numero di atomi di azoto presenti nella formula chimica del combustibile	1
HEAT_OF_COMBUSTION	quantità di energia rilasciata per unità di massa di combustibile consumato espressa in Kj/kg	24800

Tabella 5 – Parametri fase di combustione

2.1.3 Condizioni al contorno

Si riportano le condizioni iniziali adottate per le simulazioni:

- Velocità iniziale dell'aria: $v=0$ m/s;
- Temperatura iniziale dell'aria: $T=15$ ° C.

2.1.4 Strategia di ventilazione 1 (SCENARIO 4 - Tipologico UPS)

Le caratteristiche del sistema di ventilazione sono specificate e tengono conto delle peculiari modalità di interazione ed evoluzione dell'incendio con la geometria.



Per quanto concerne il sistema di estrazione nel tipologico "locale tecnico UPS" la portata di estrazione totale assunta per le verifiche è pari a 0.25 m³ /s.

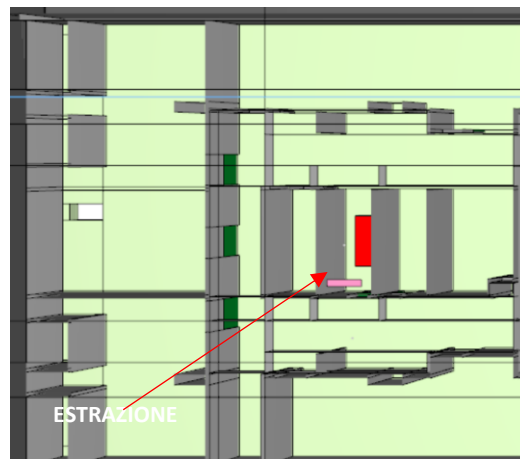


Figura 3 – Impianto estrazione locale UPS

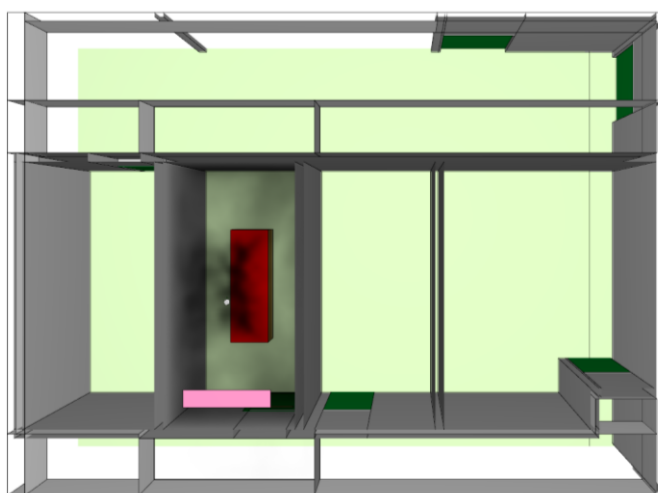


2.2 Risultati

Si riporta, di seguito, una selezione dei risultati grafici, output delle simulazioni di incendio che hanno consentito la verifica delle condizioni di conformità al Decreto.

2.2.1 Output scenario

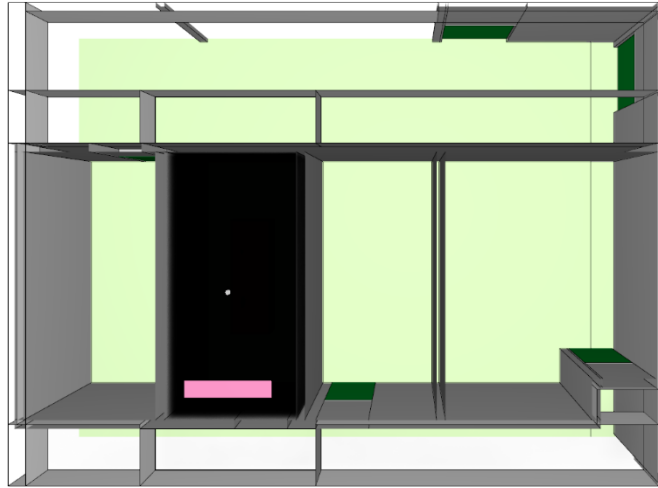
2.2.1.1 PROPAGAZIONE FUMI



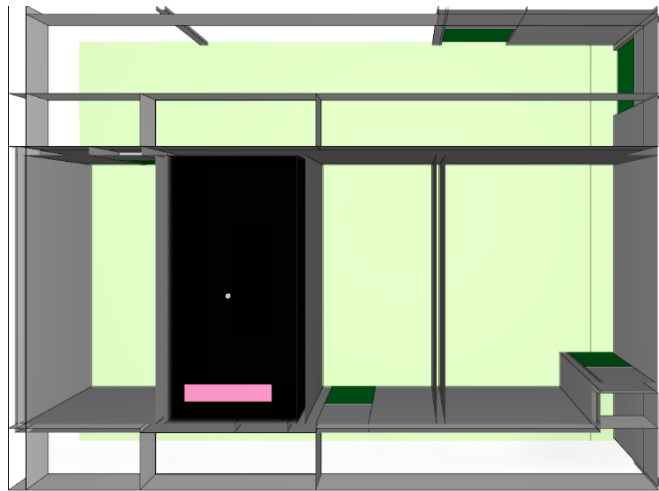
t = 1 minuto



t = 2 minuti



t = 3 minuti



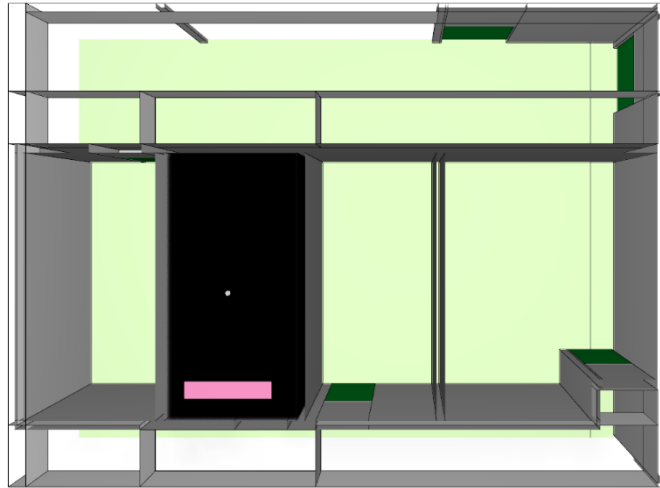
t = 4 minuti



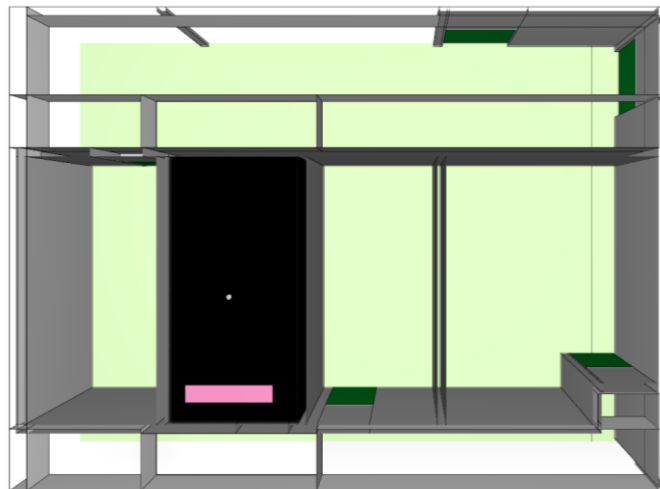
t = 5 minuti



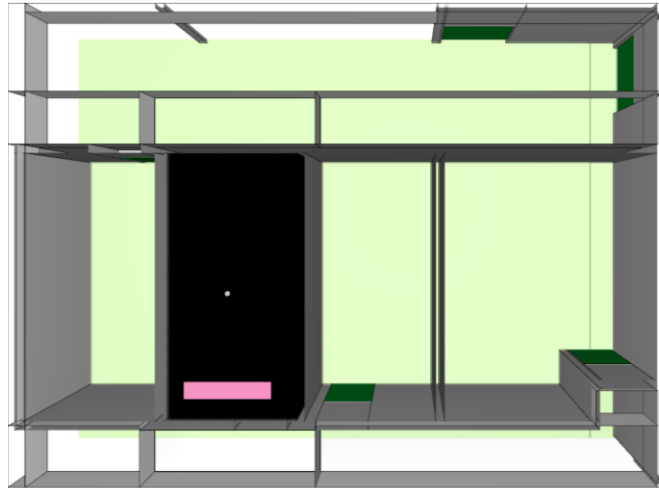
t = 6 minuti



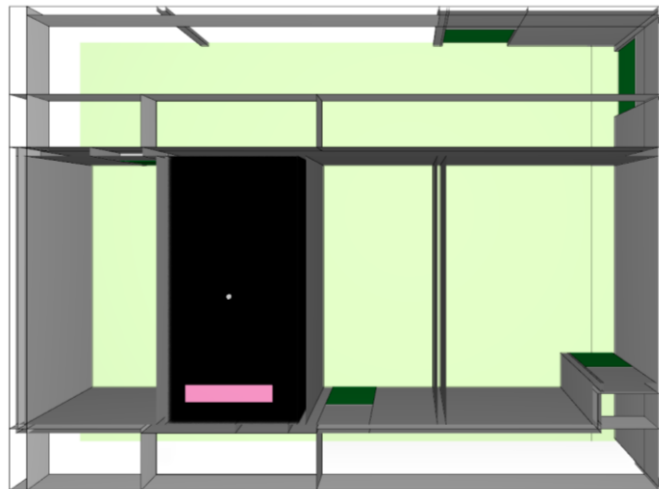
t = 7 minuti



t = 8 minuti



t = 9 minuti



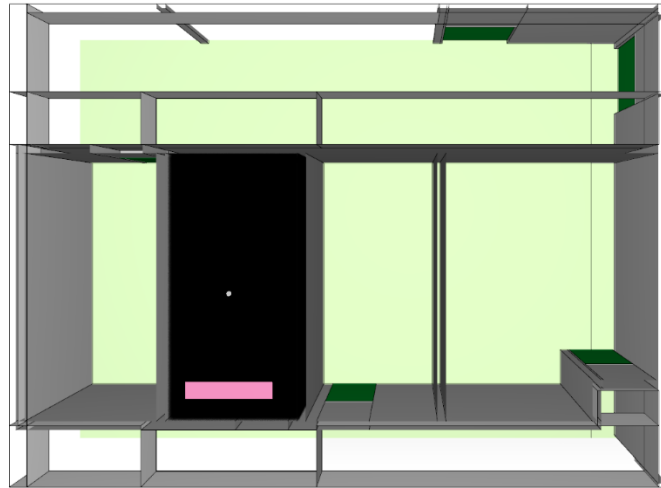
t = 10 minuti



t = 11 minuti



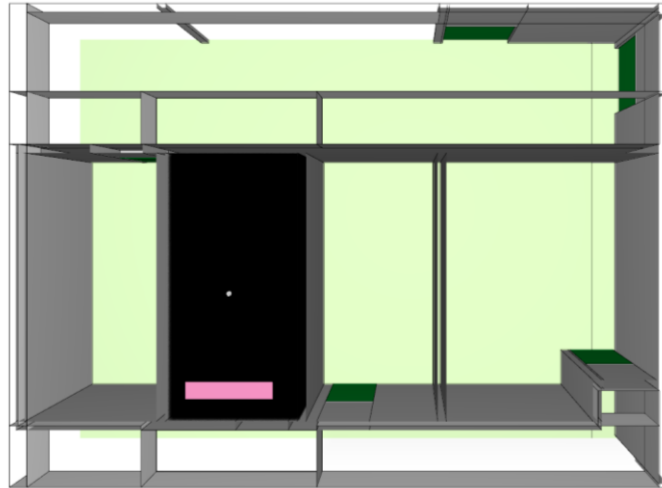
t = 12 minuti



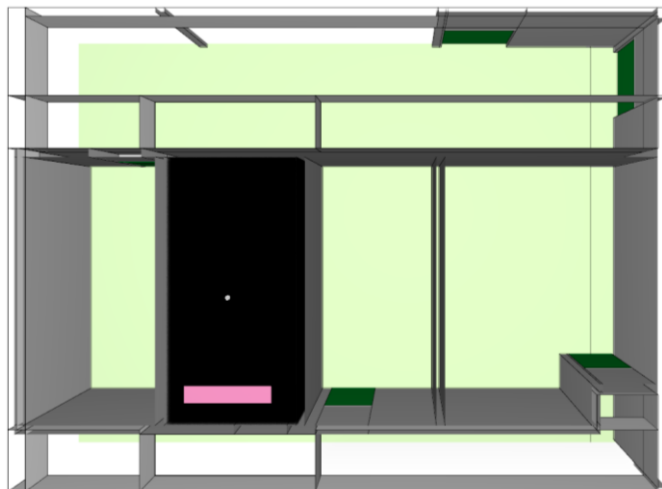
t = 13 minuti



t = 14 minuti



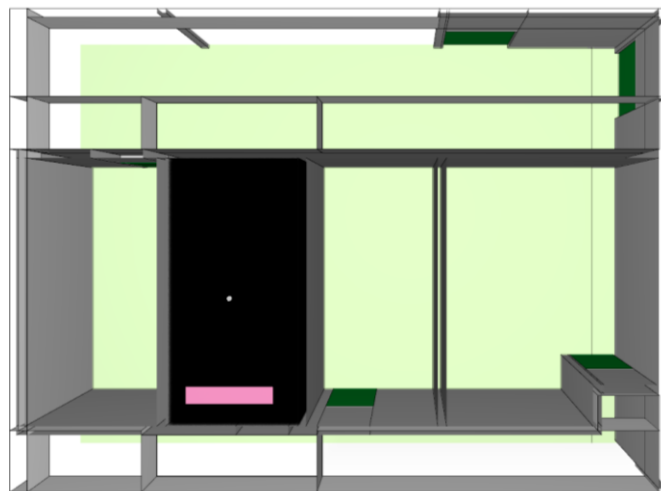
t = 15 minuti



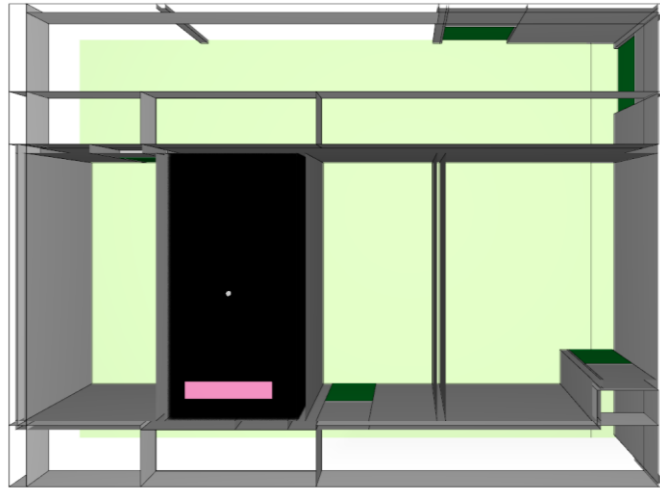
t = 16 minuti



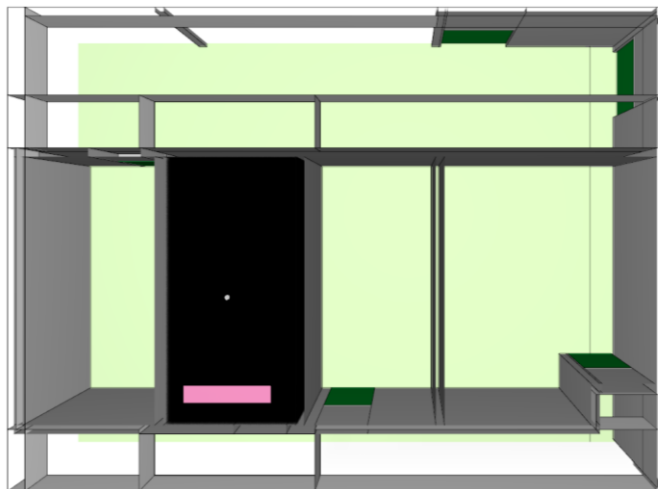
t = 17 minuti



t = 18 minuti



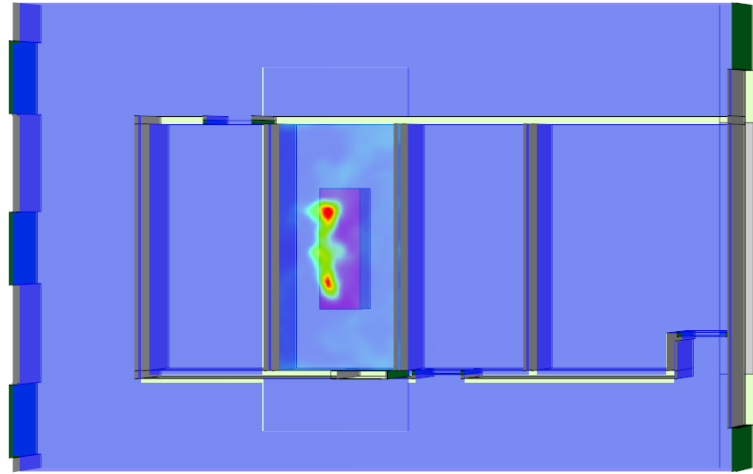
t = 19 minuti



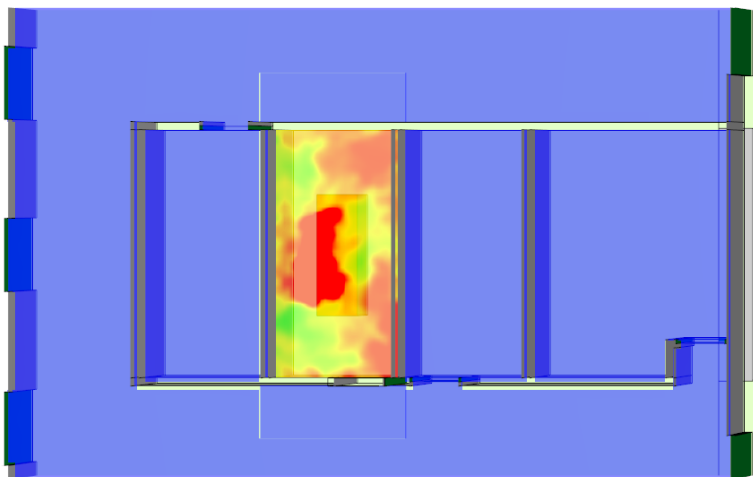
t = 20 minuti



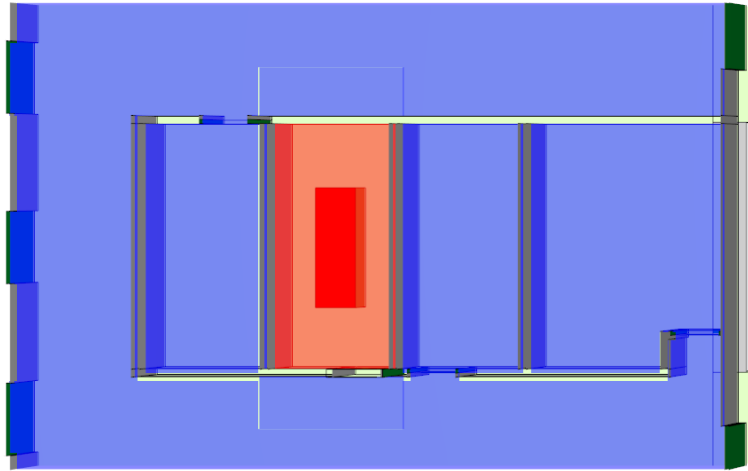
2.2.1.2 TEMPERATURE



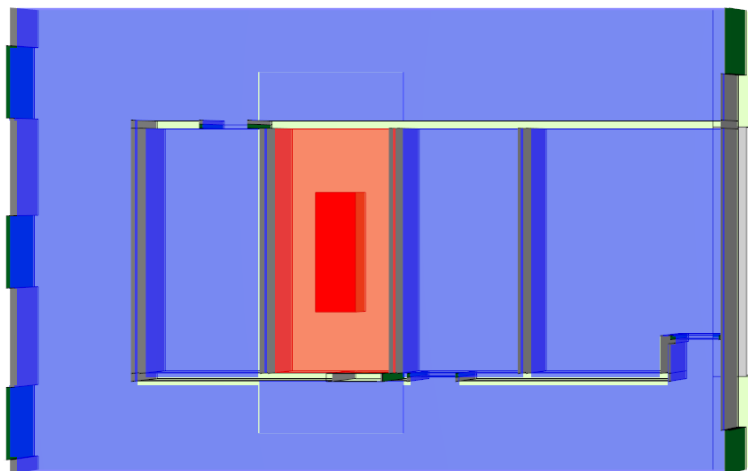
t = 1 minuto



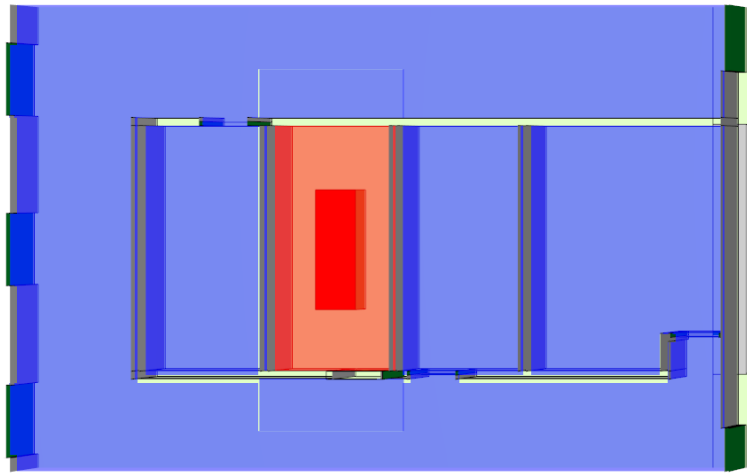
t = 2 minuti



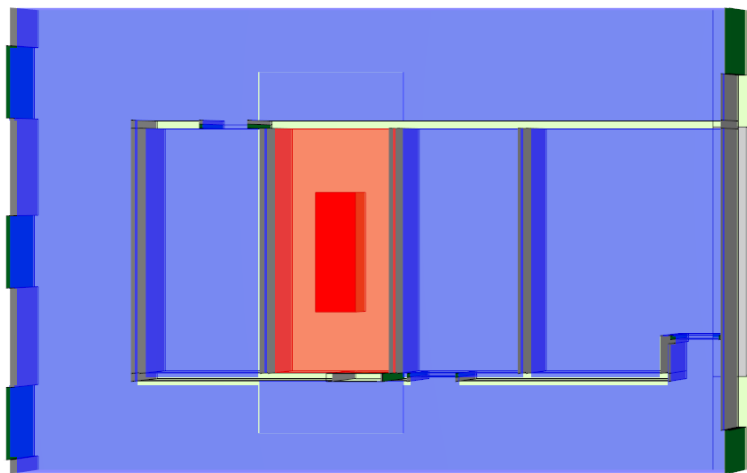
t = 3 minuti



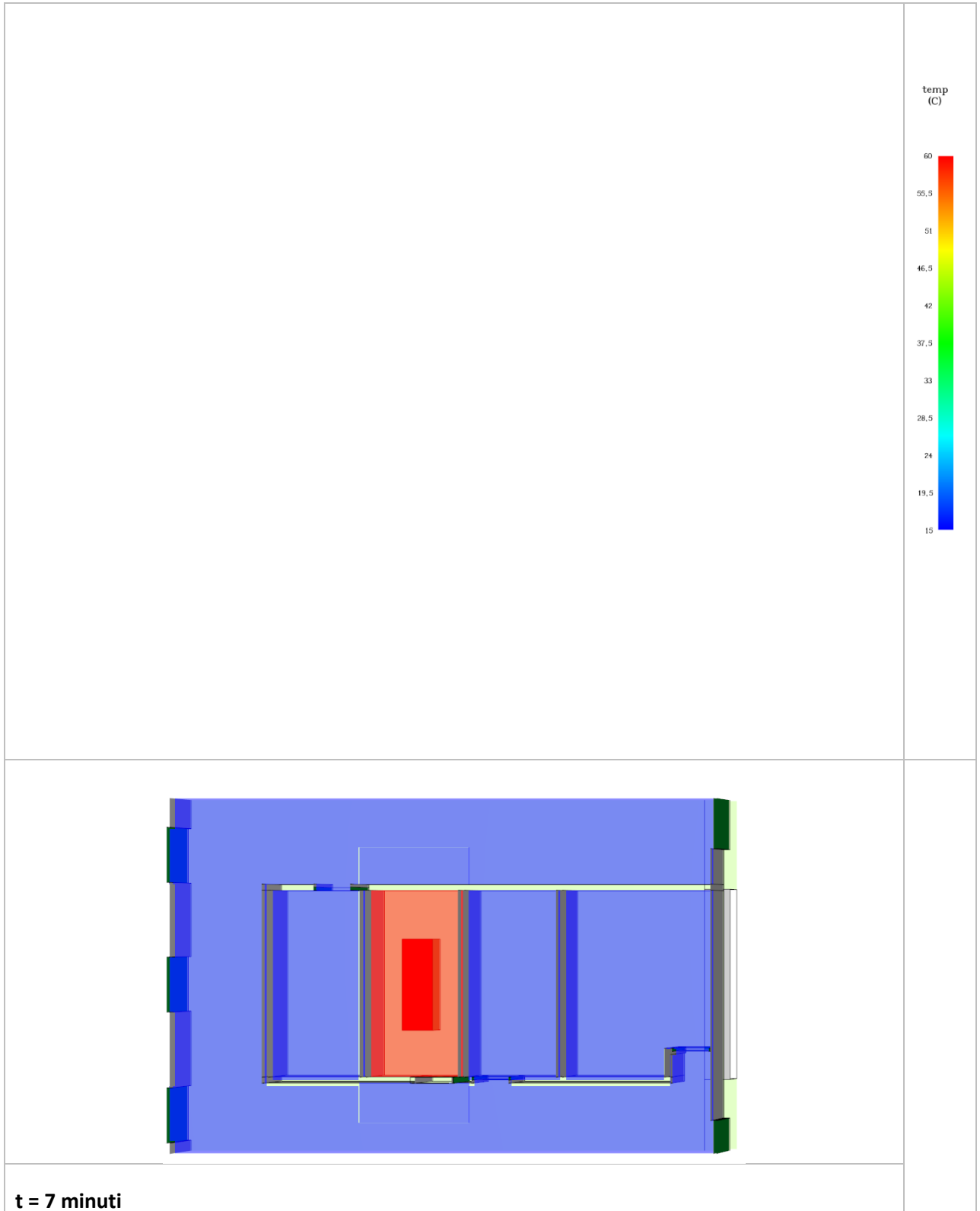
t = 4 minuti

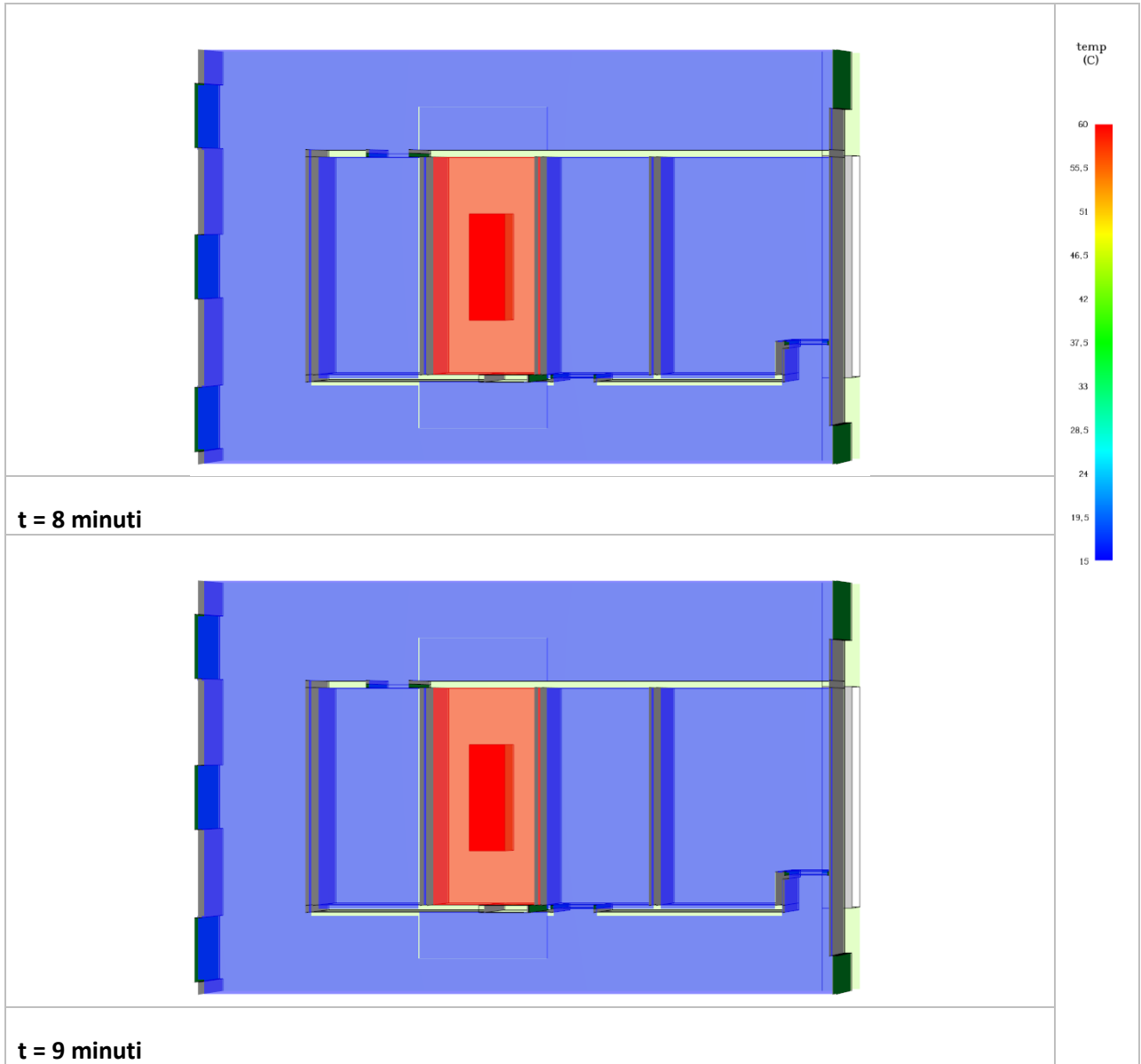


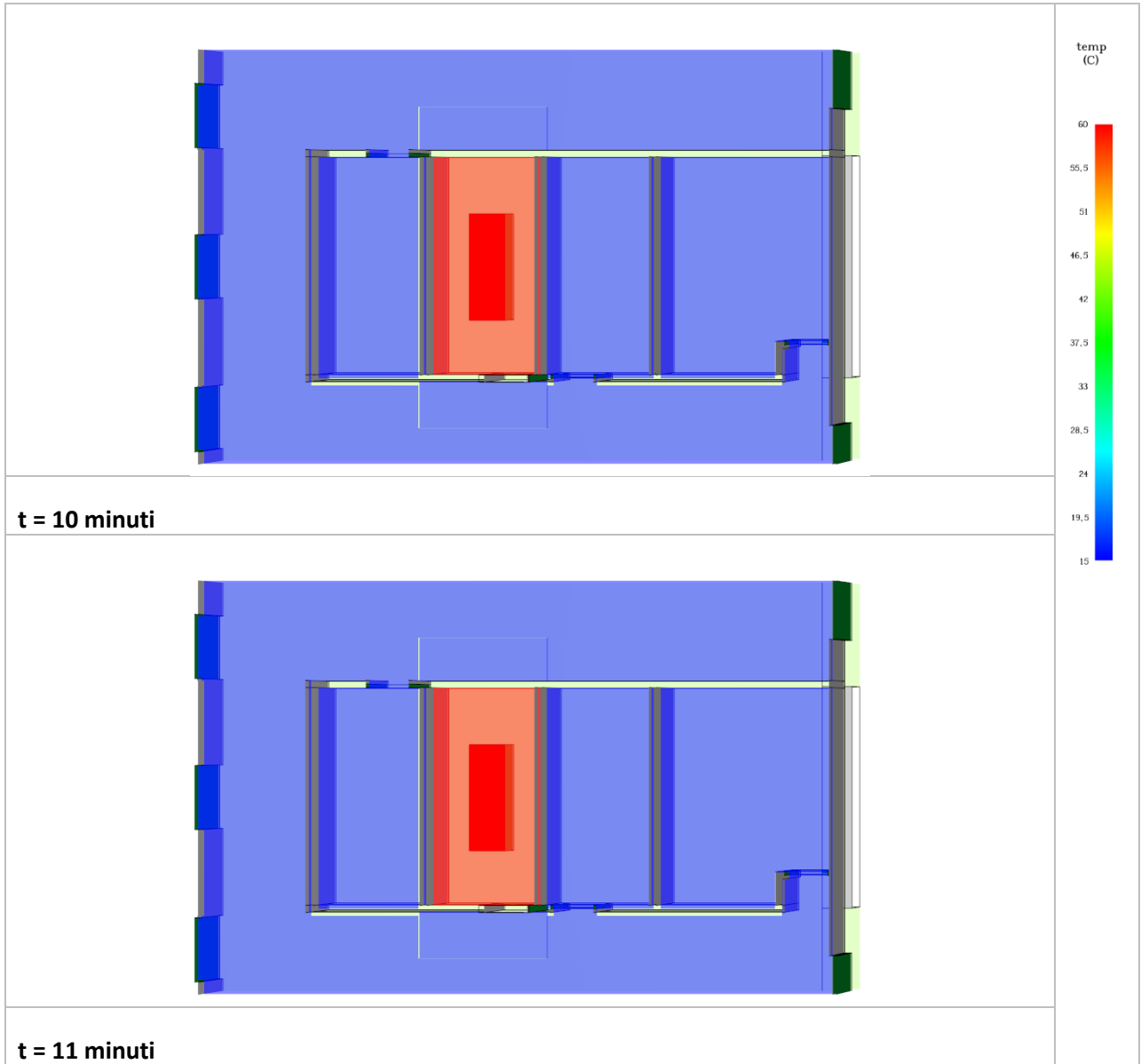
t = 5 minuti

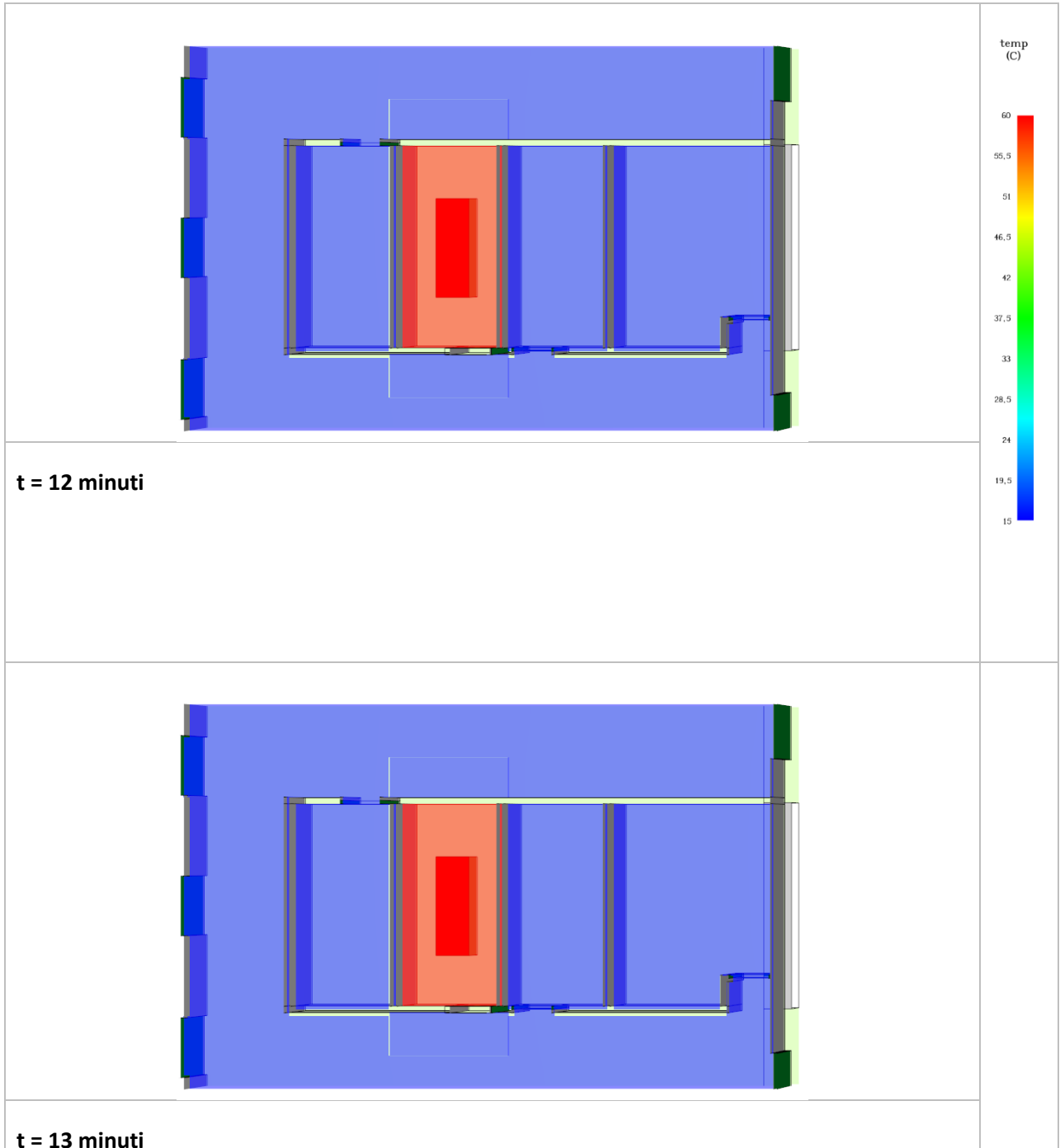


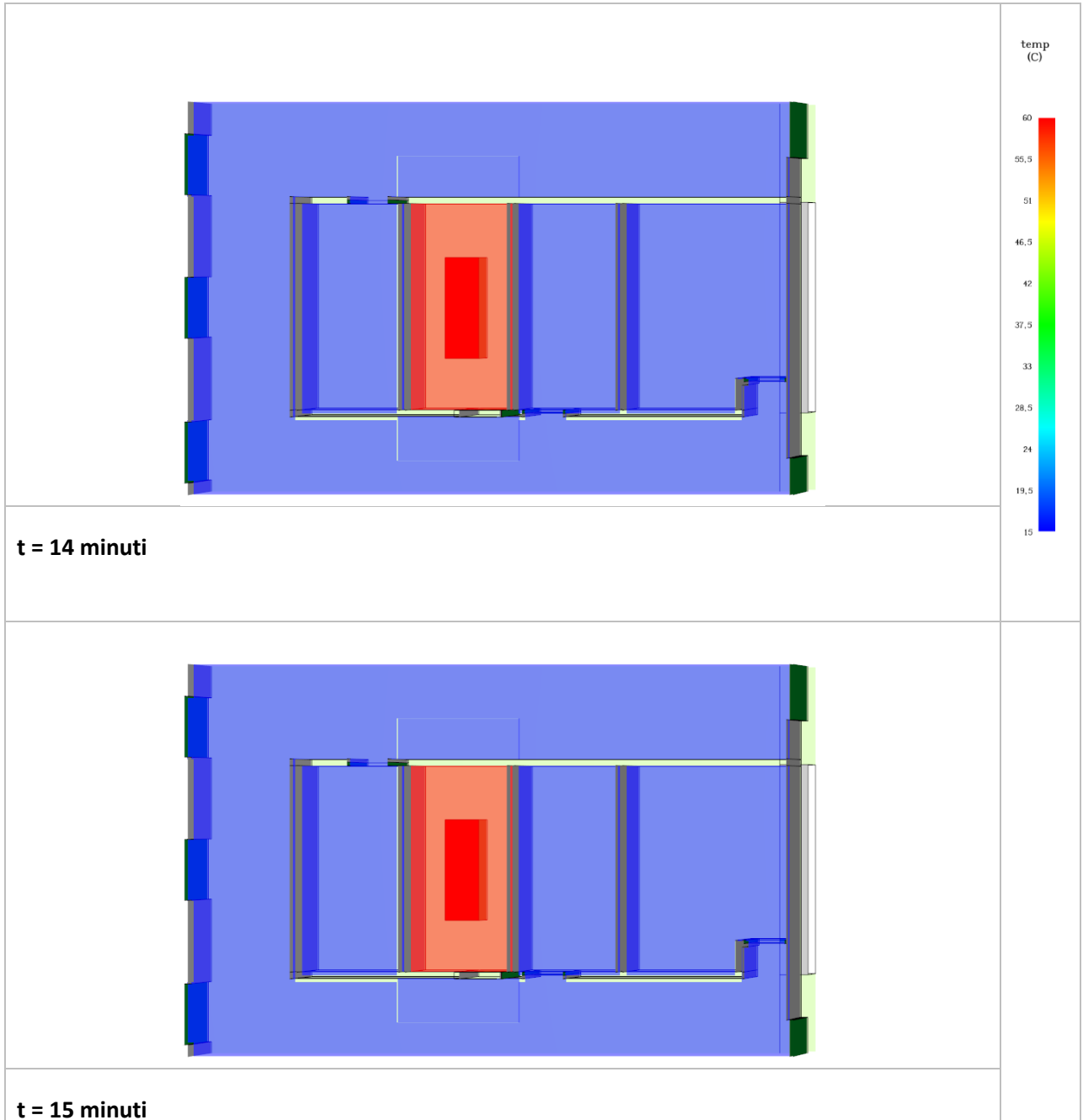
t = 6 minuti

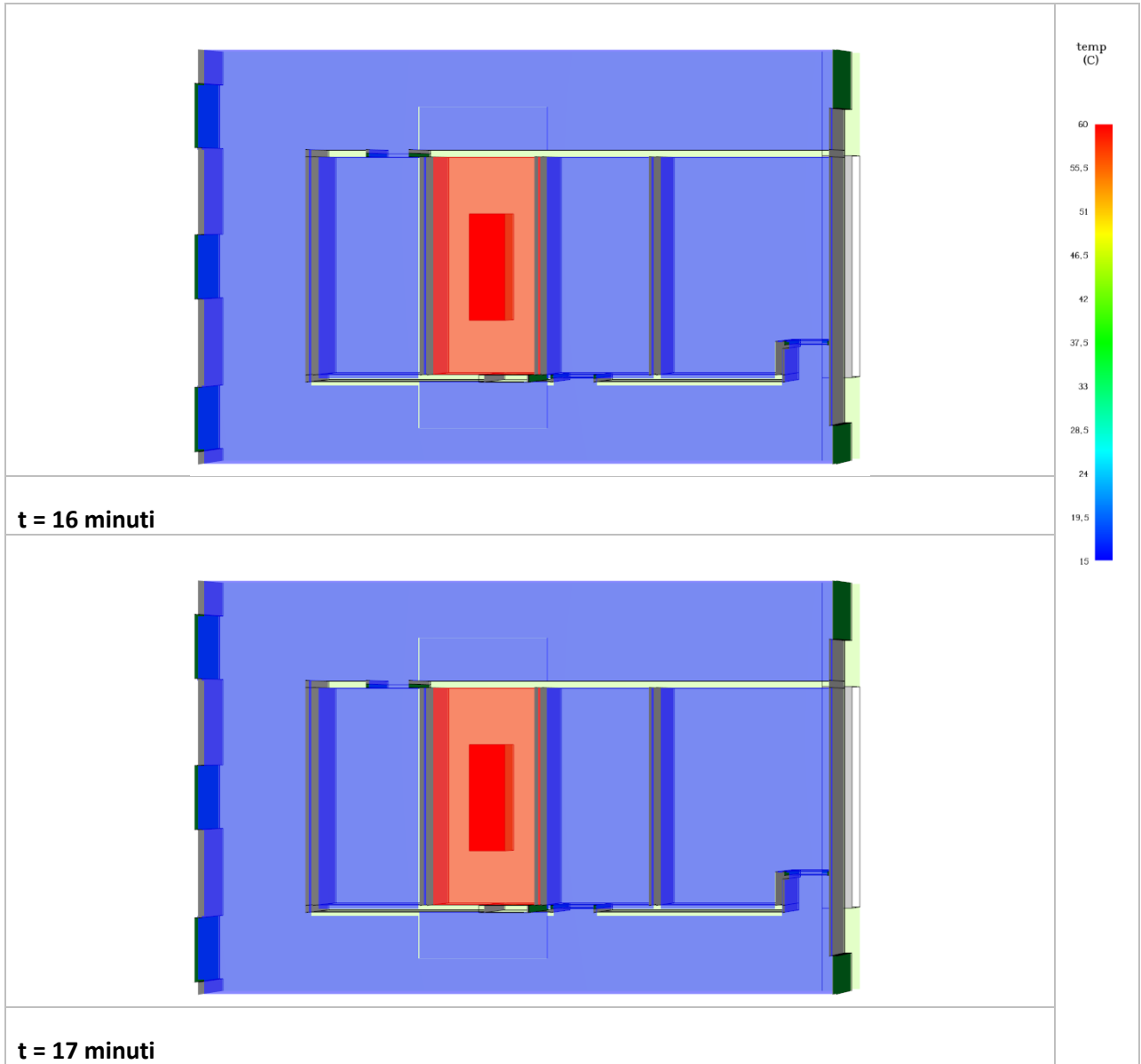


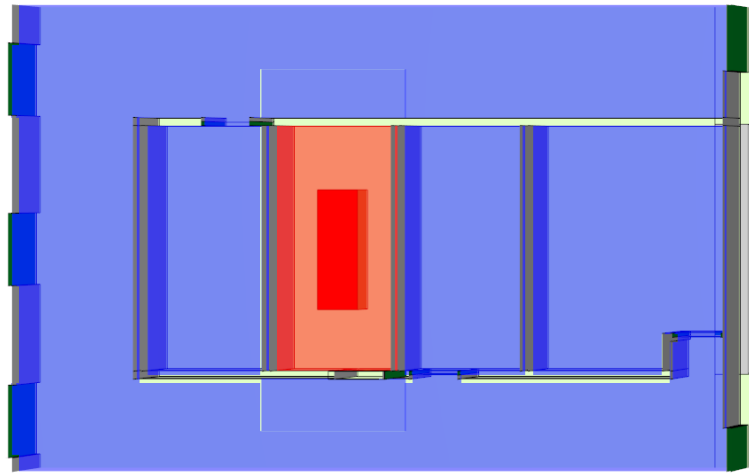




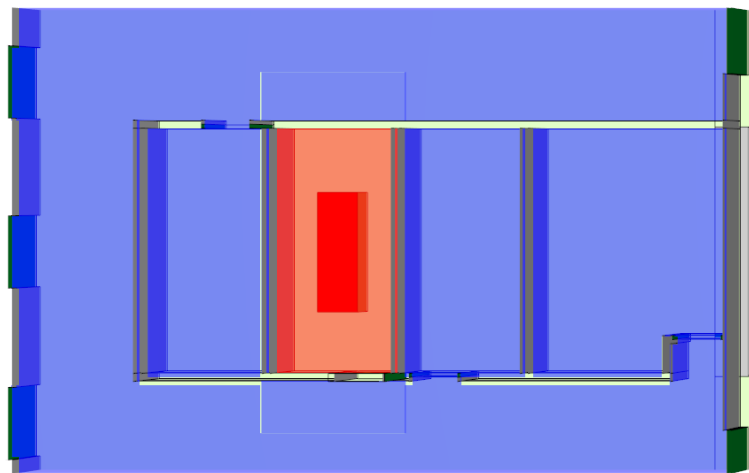




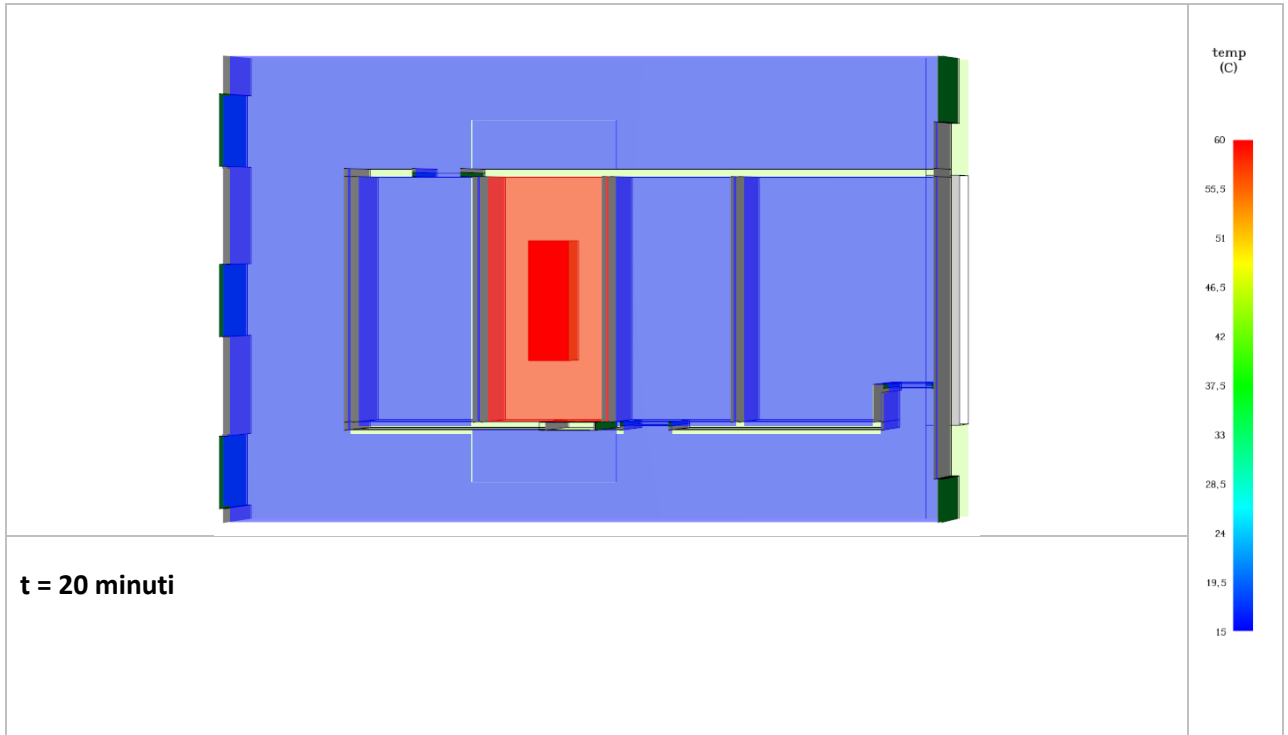




t = 18 minuti

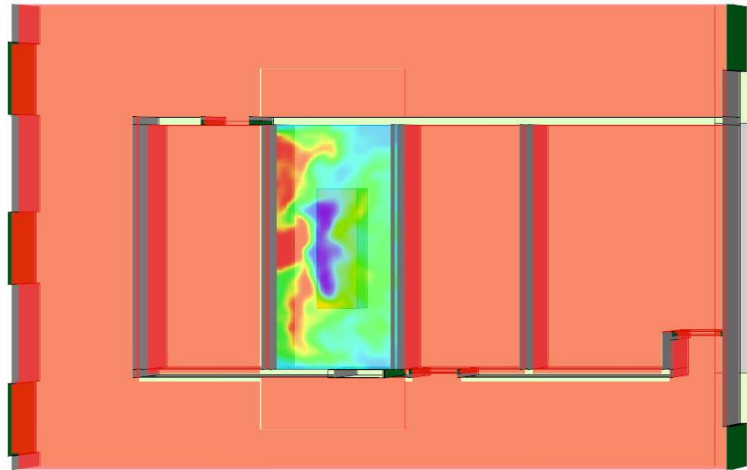


t = 19 minuti

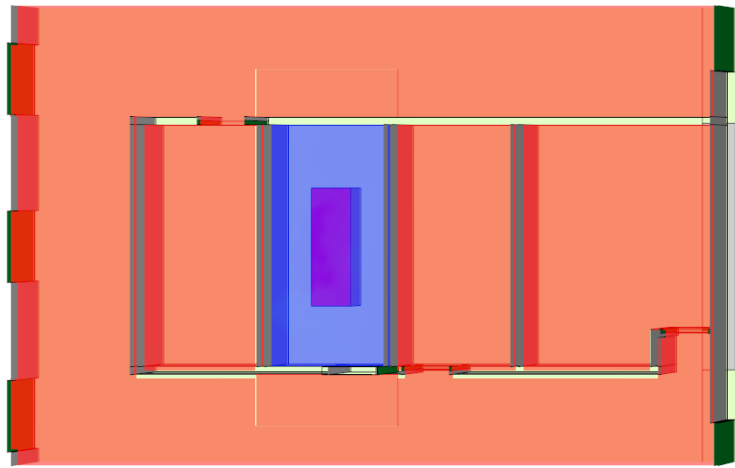




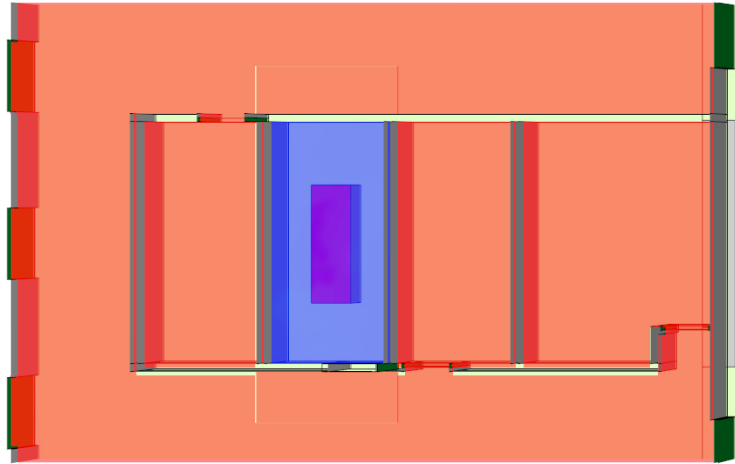
2.2.1.3 VISIBILITÀ



t = 1 minuto



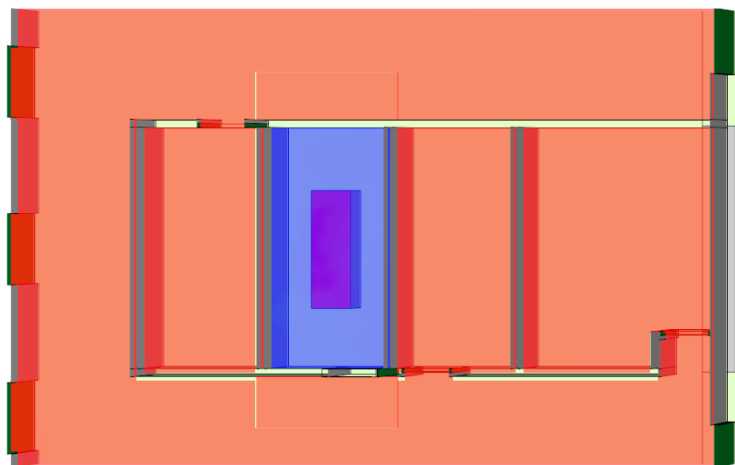
t = 2 minuti



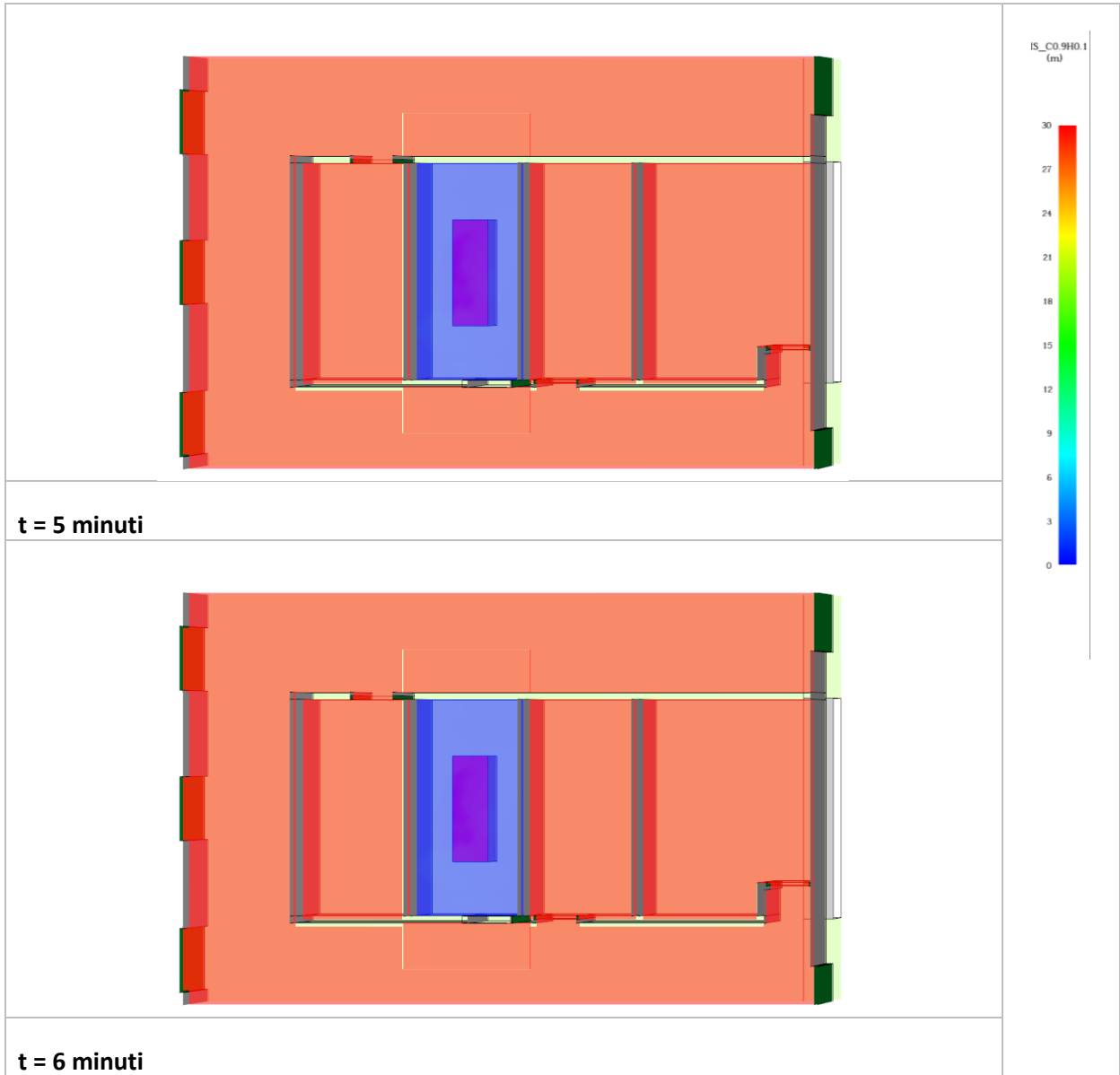
IS_CO.9H0.1
(m)

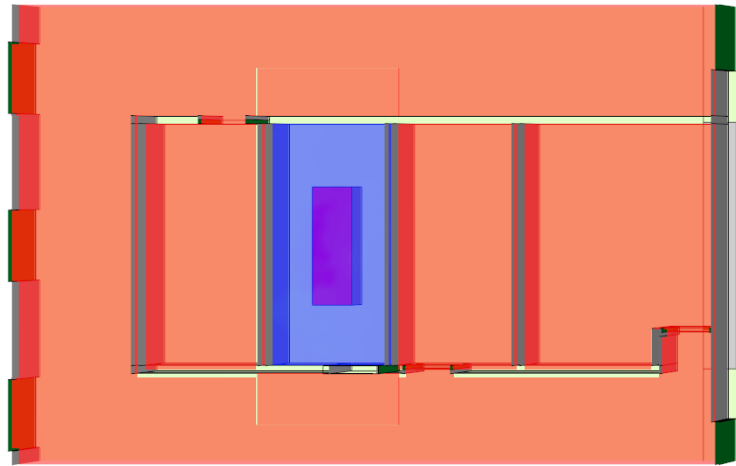


t = 3 minuti

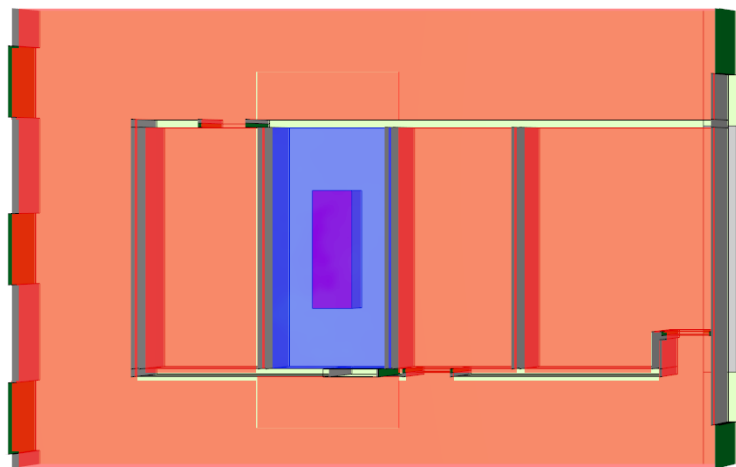


t = 4 minuti





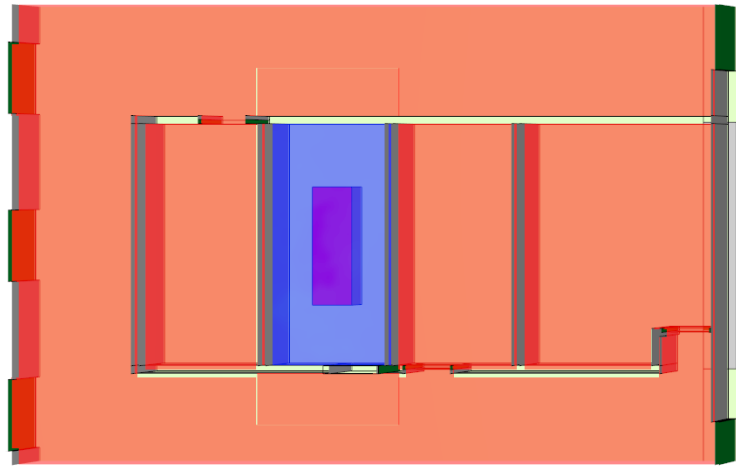
t = 7 minuti



t = 8 minuti

IS_CO.9H0.1
(m)

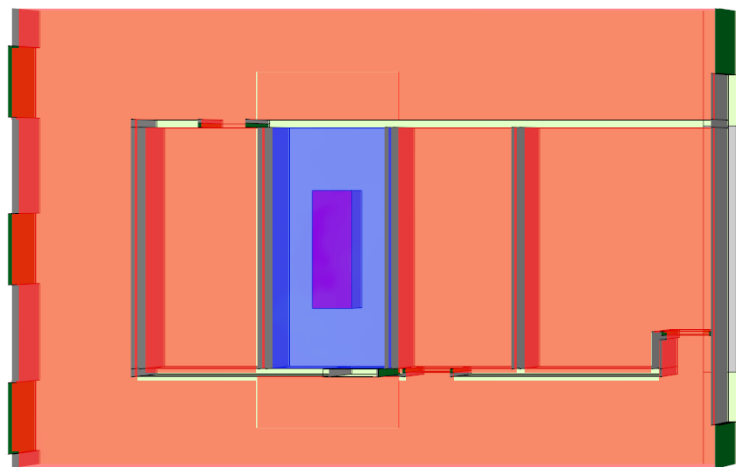




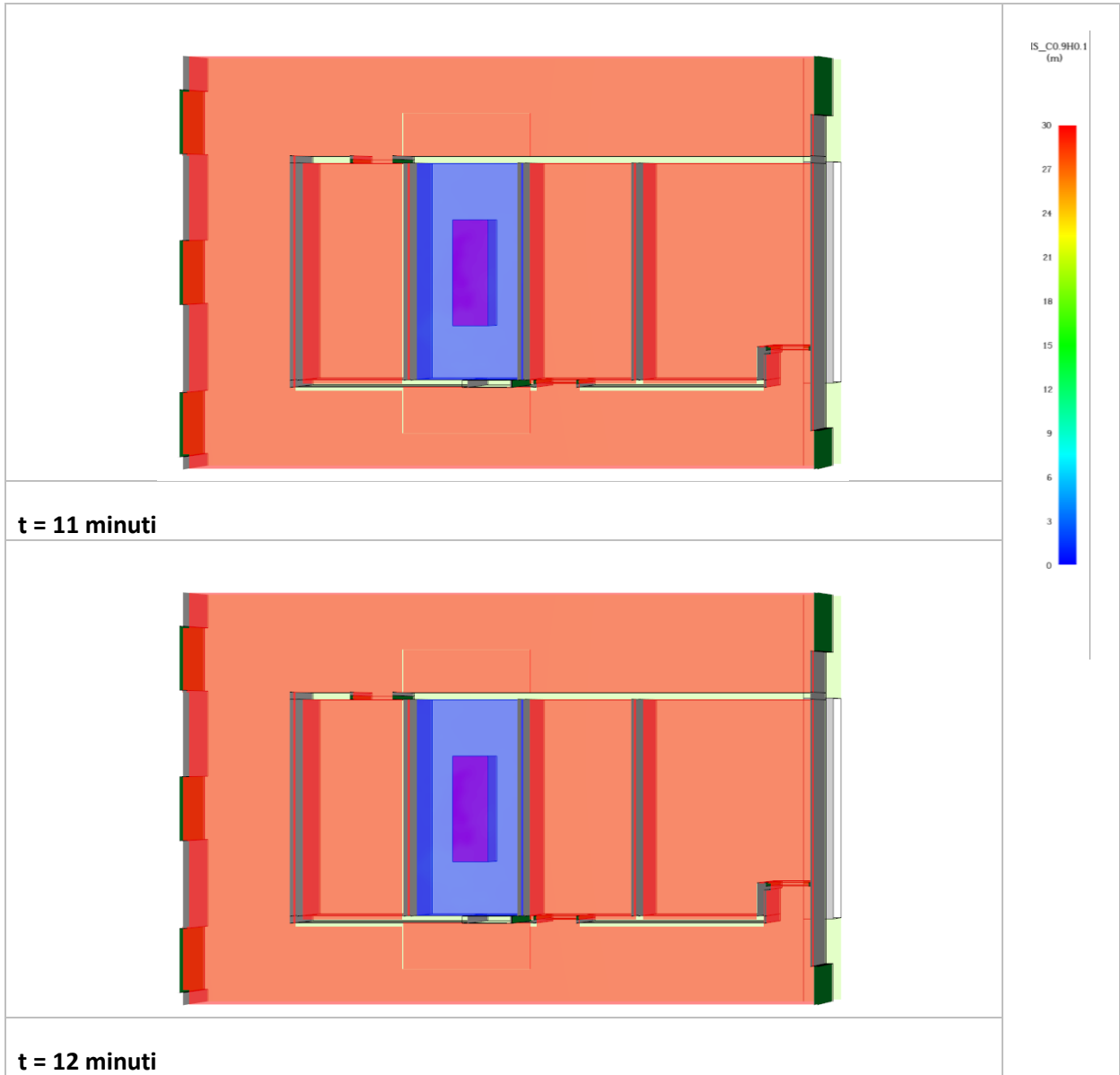
IS_CO.9H0.1
(m)

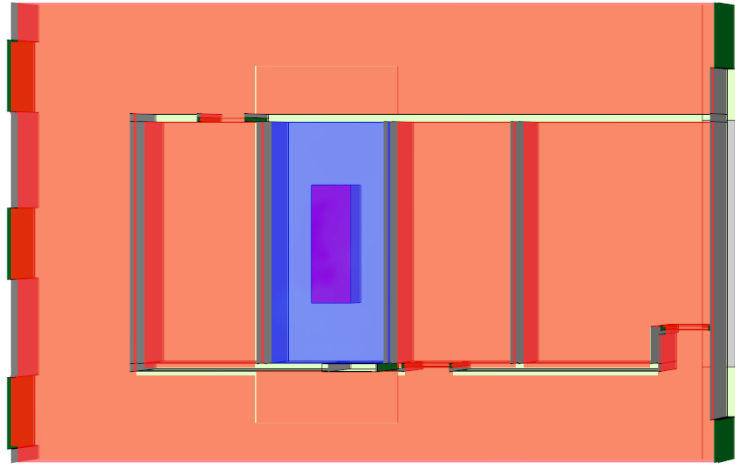


t = 9 minuti

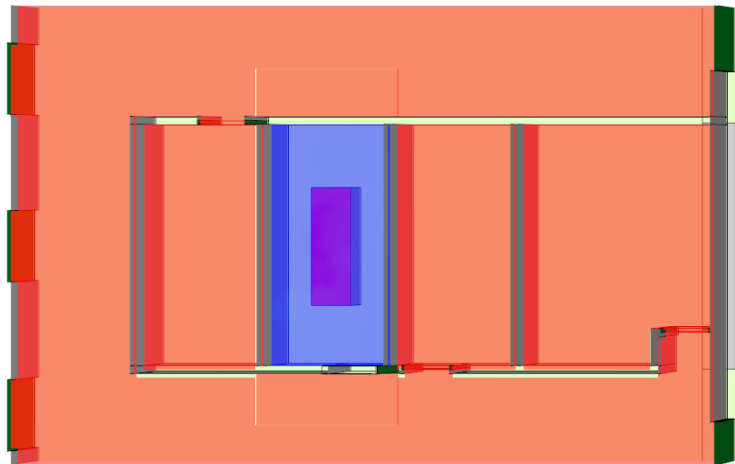


t = 10 minuti





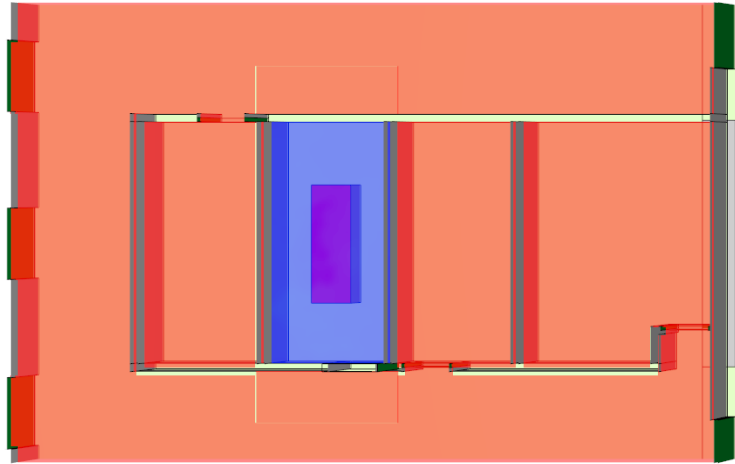
t = 13 minuti



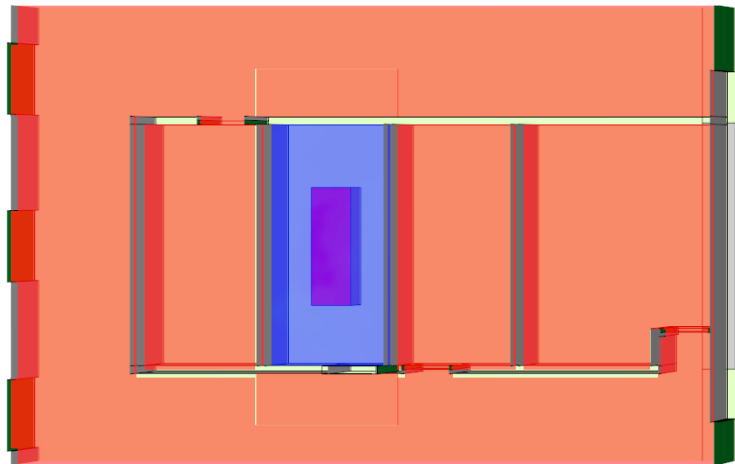
t = 14 minuti

IS_C0.9H0.1
(m)

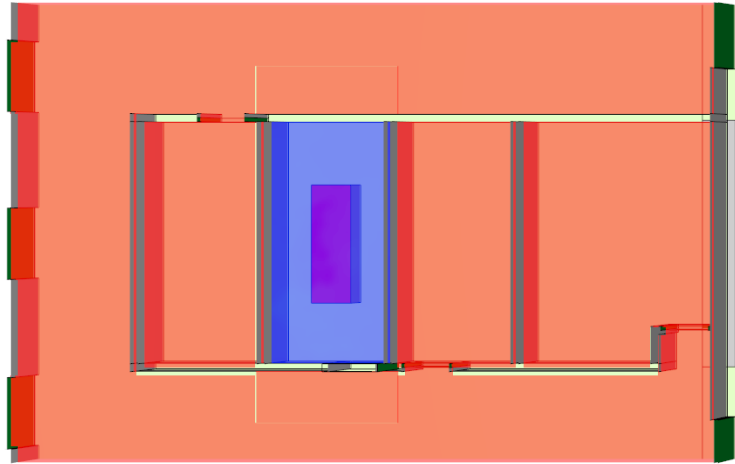




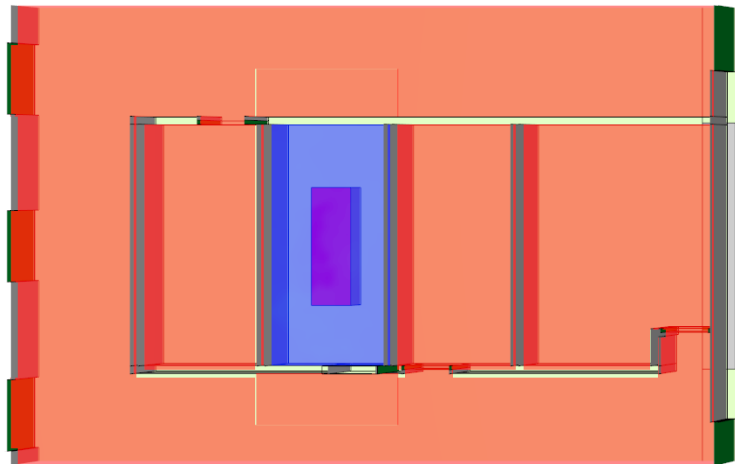
t = 15 minuti



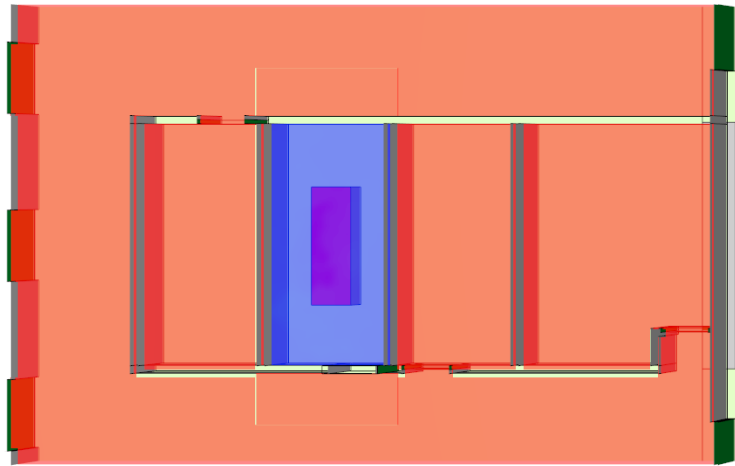
t = 16 minuti



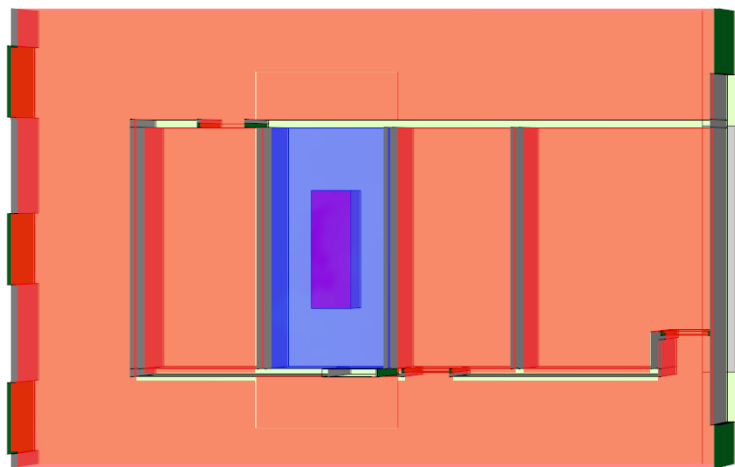
t = 17 minuti



t = 18 minuti



t = 19 minuti



t = 20 minuti

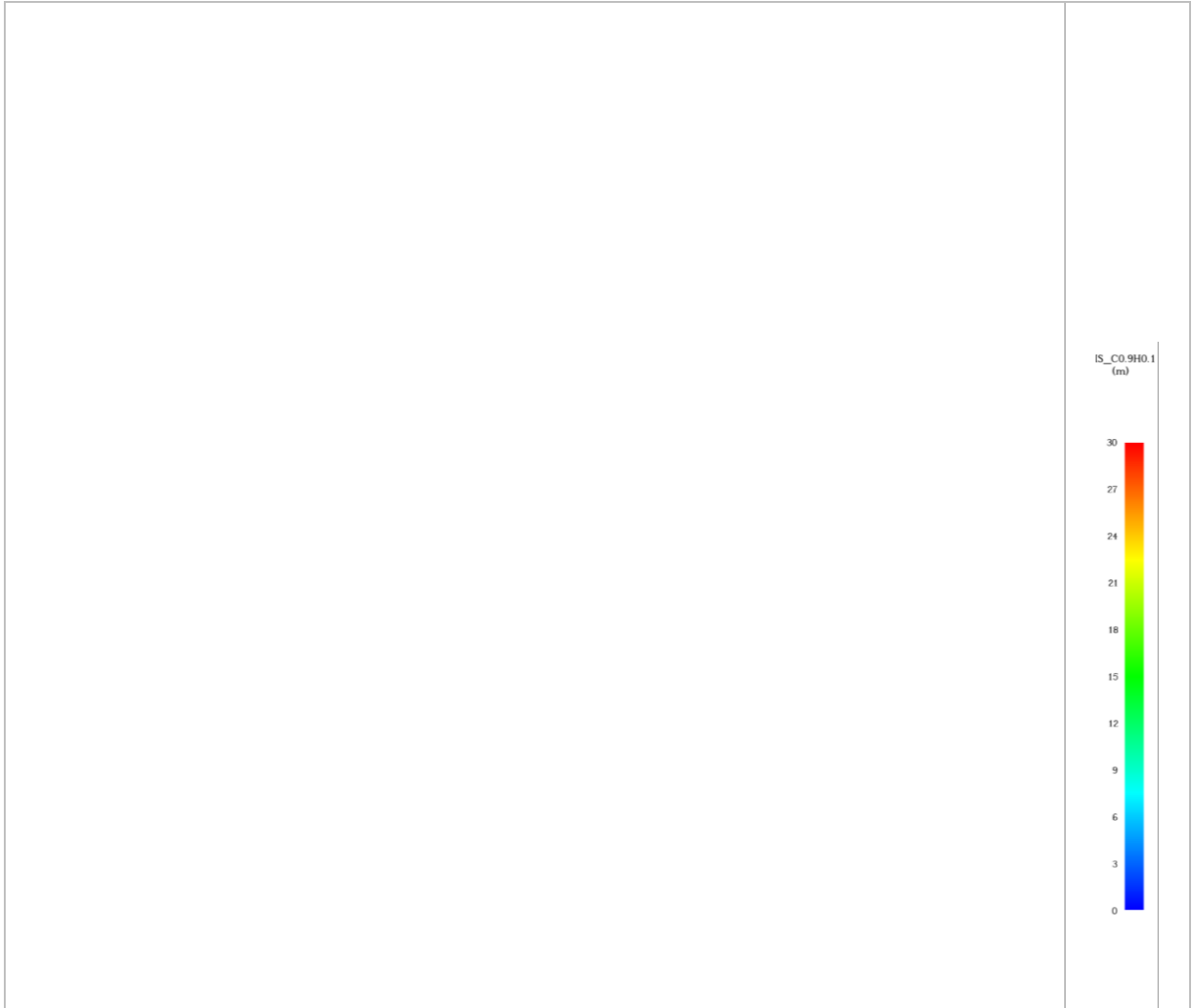


CITTA' DI TORINO

**Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:
Politecnico – Rebaudengo**

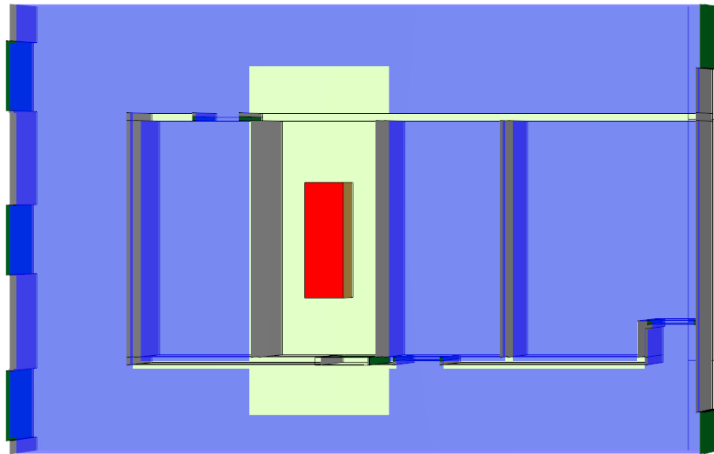
Scenario 4 - Relazione

109_MTL2T1A0DVVFGENR021-0-0.DOCX

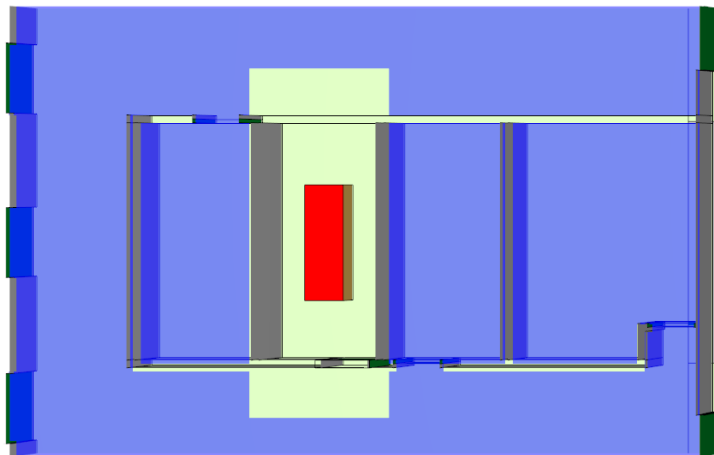




2.2.1.4 VELOCITÀ



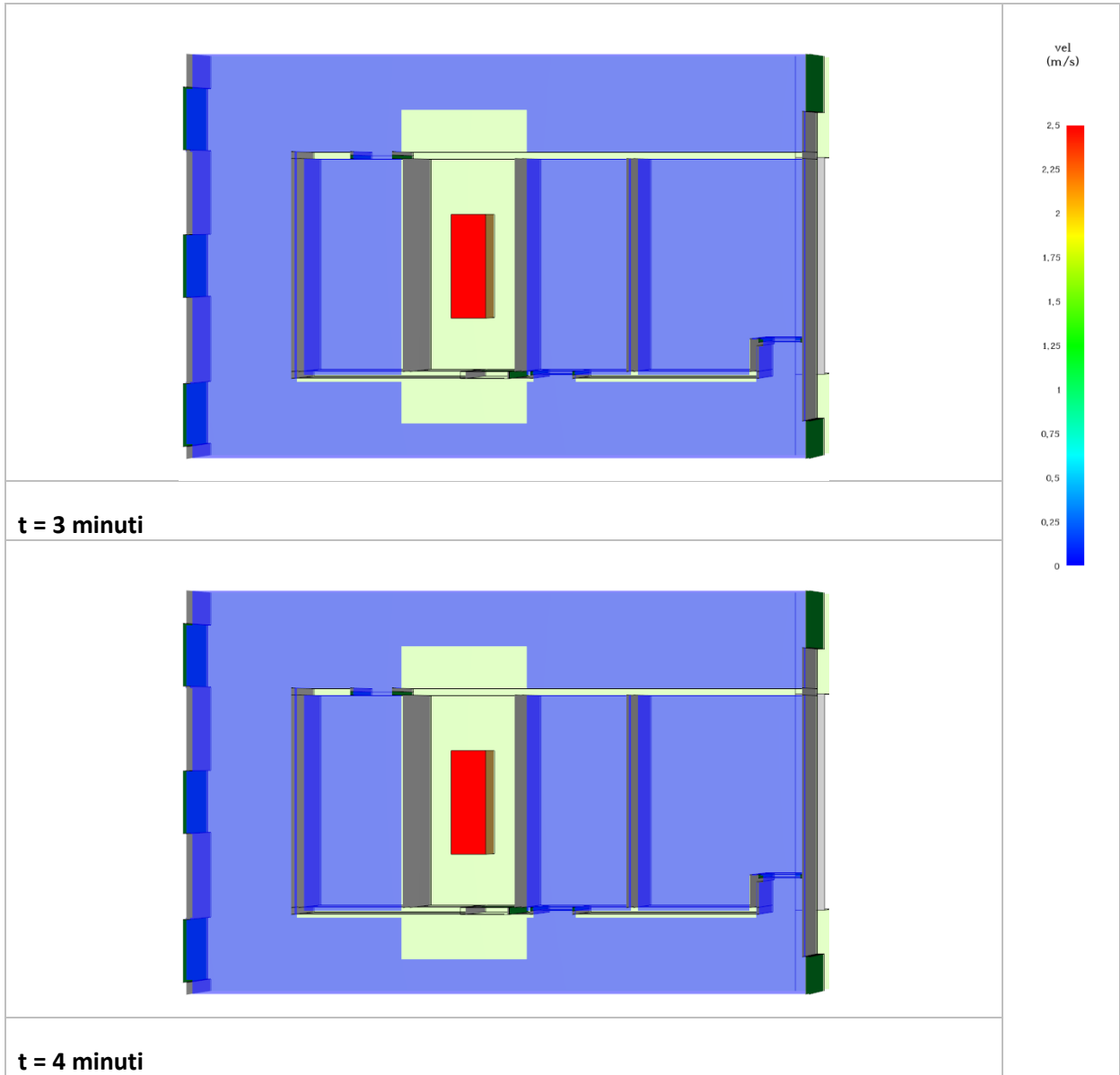
t = 1 minuto

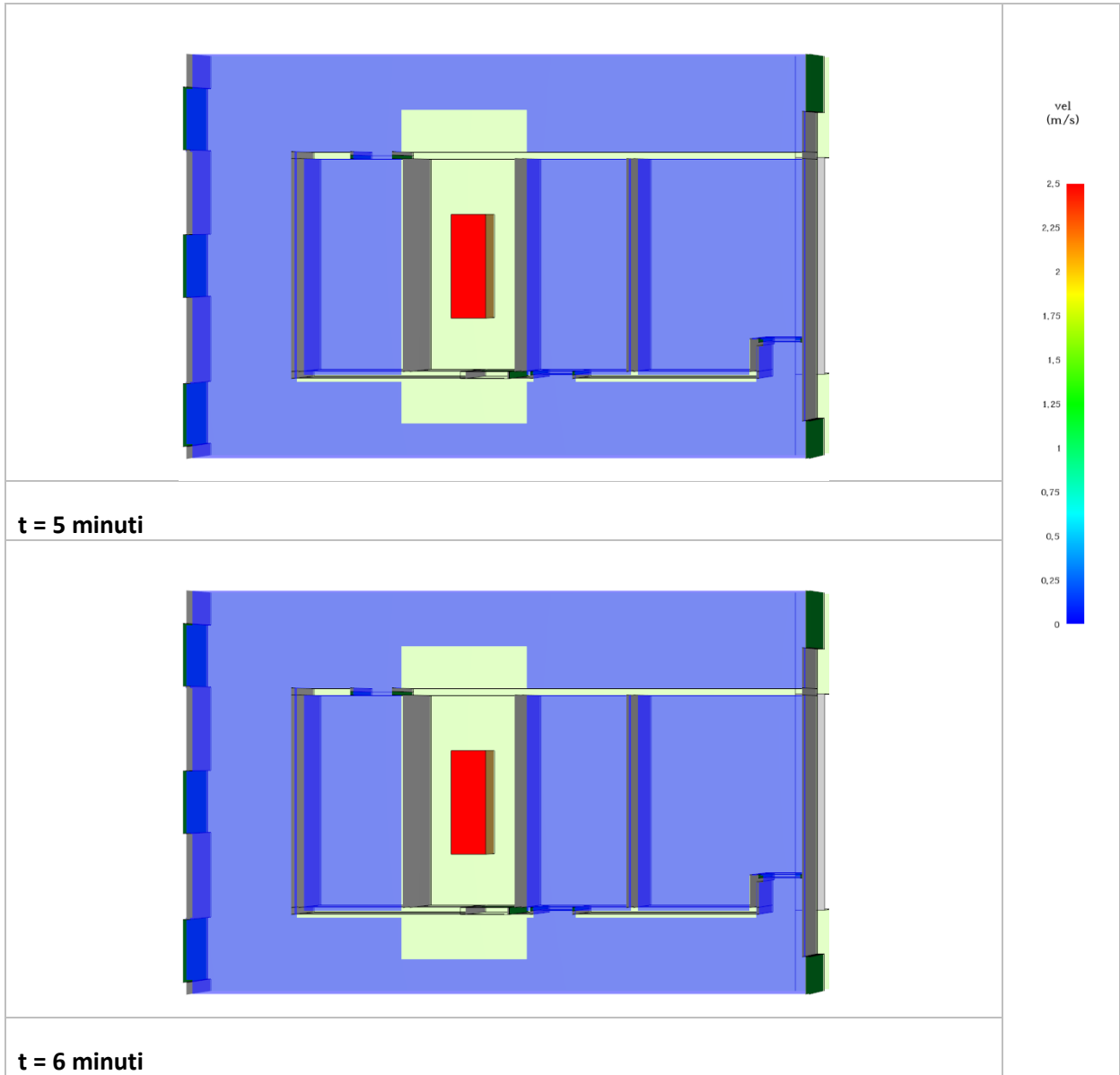


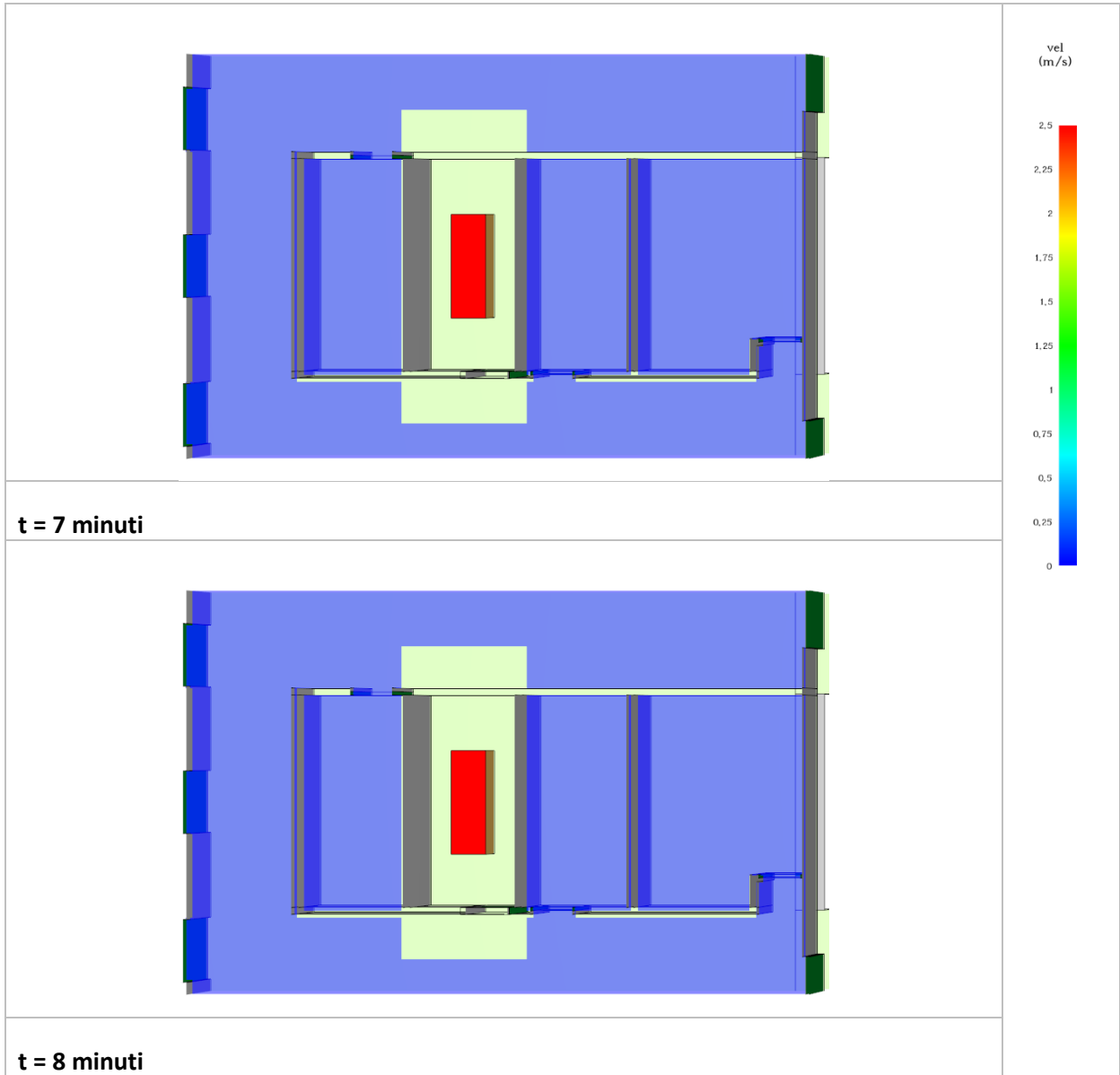
t = 2 minuti

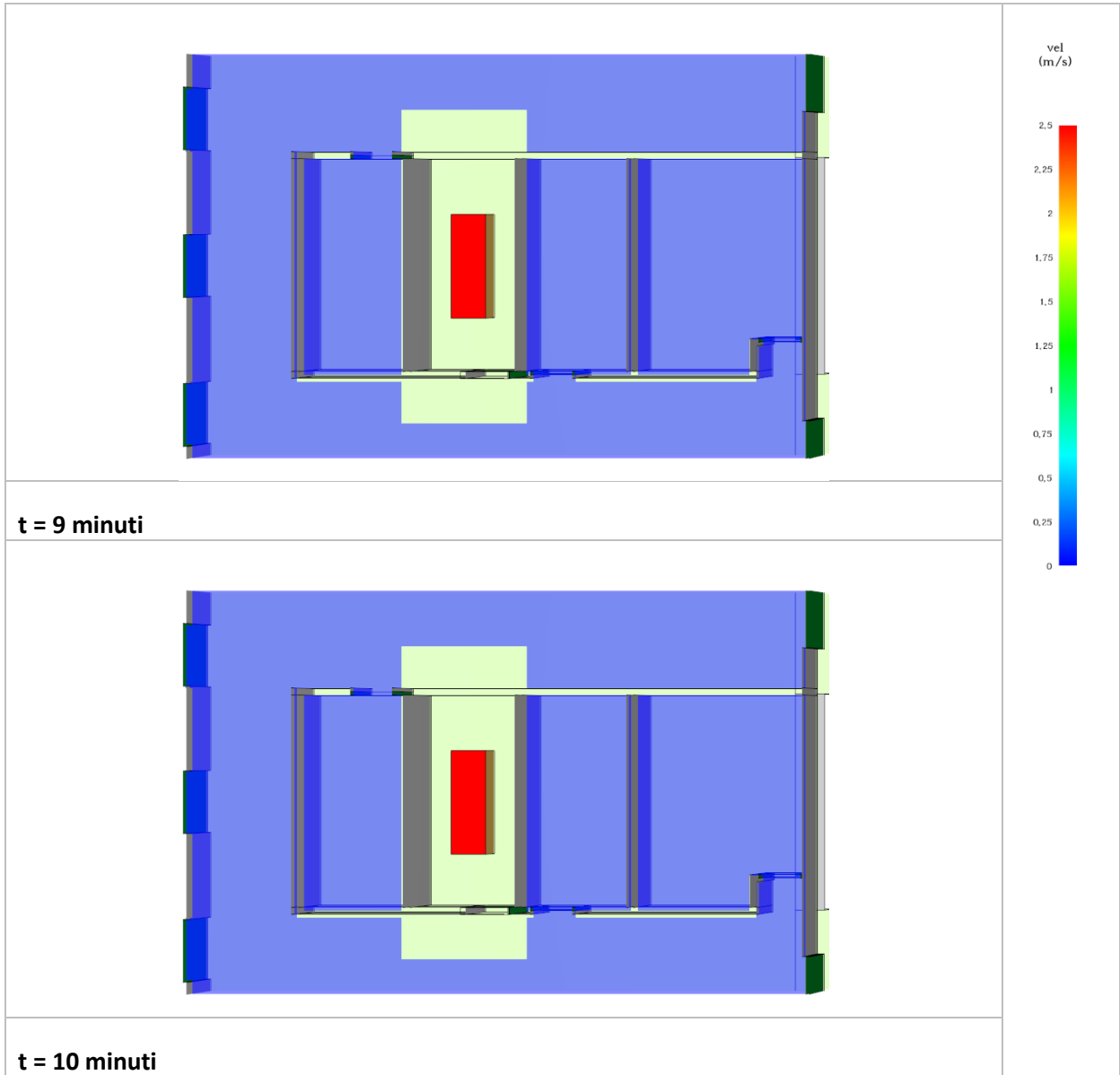
vel
(m/s)

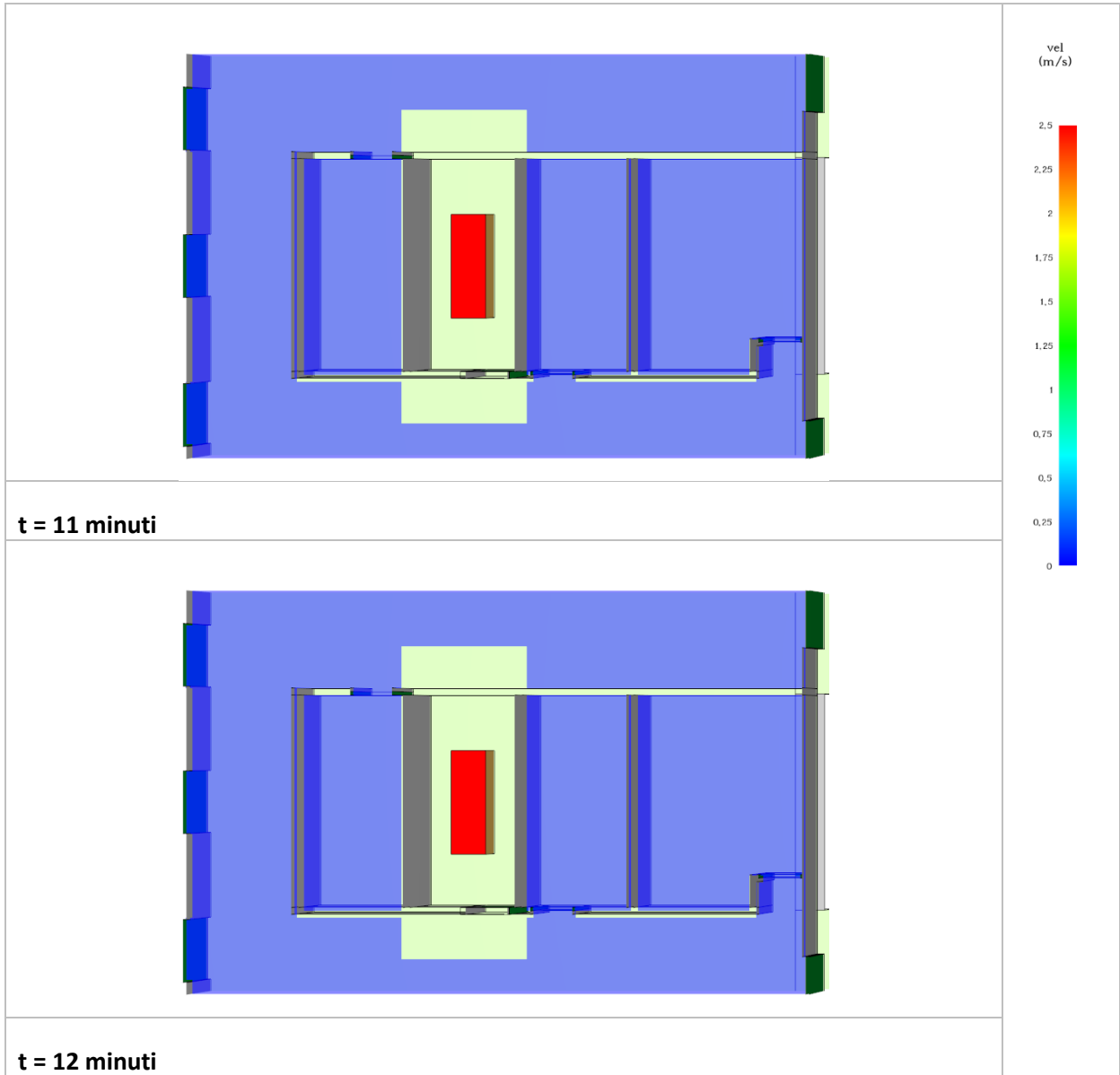


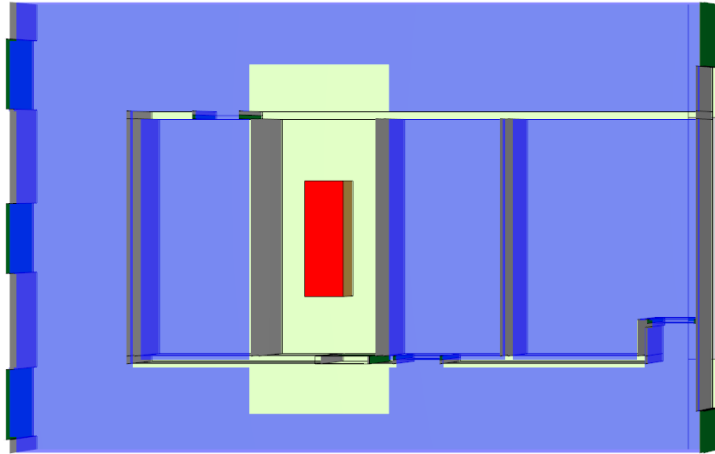




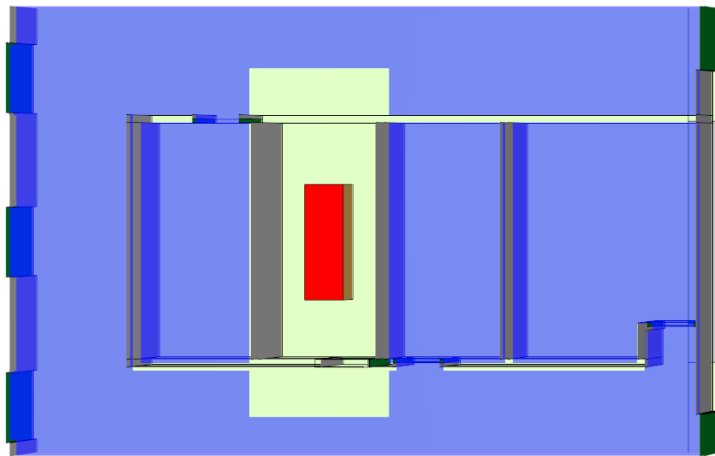








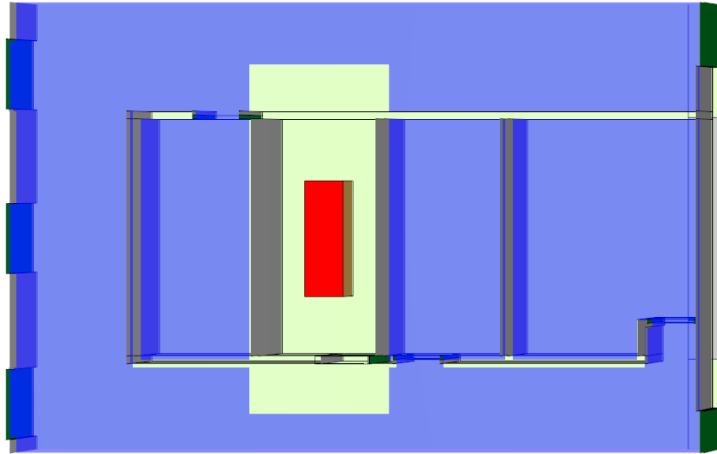
t = 13 minuti



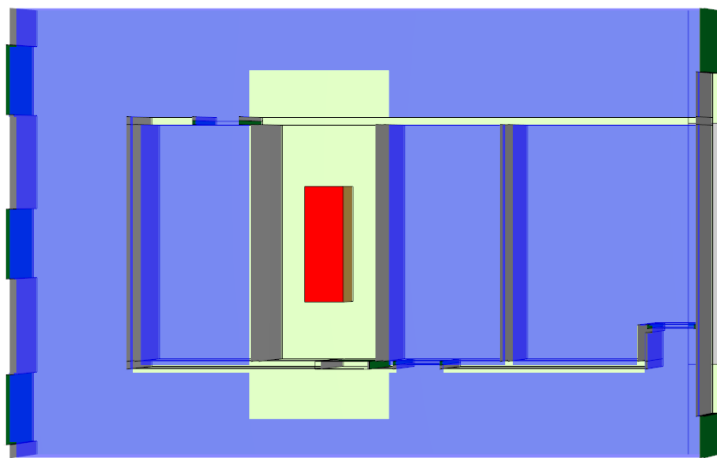
t = 14 minuti

vel
(m/s)





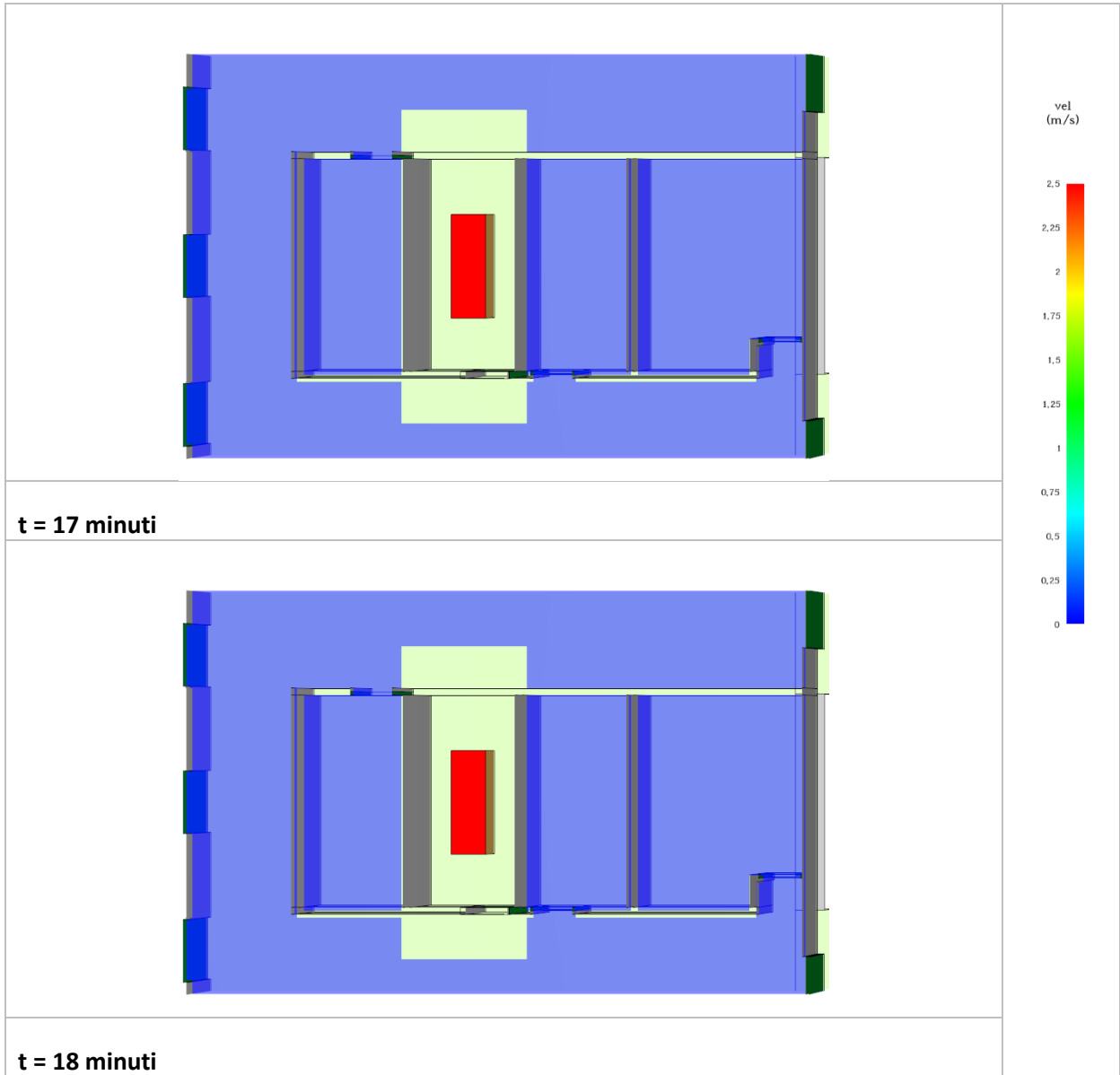
t = 15 minuti

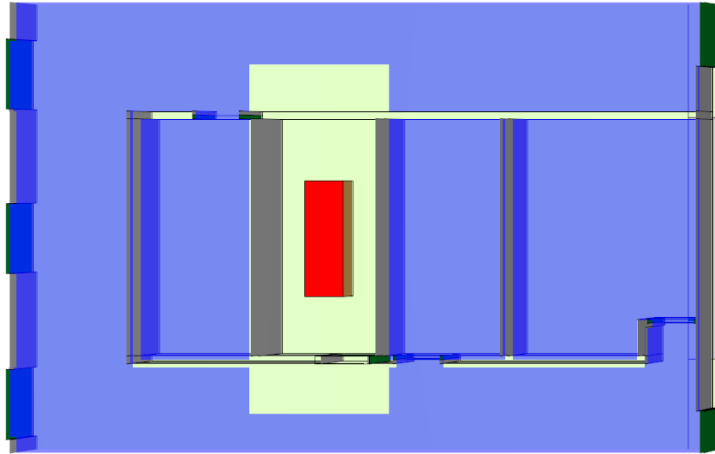


t = 16 minuti

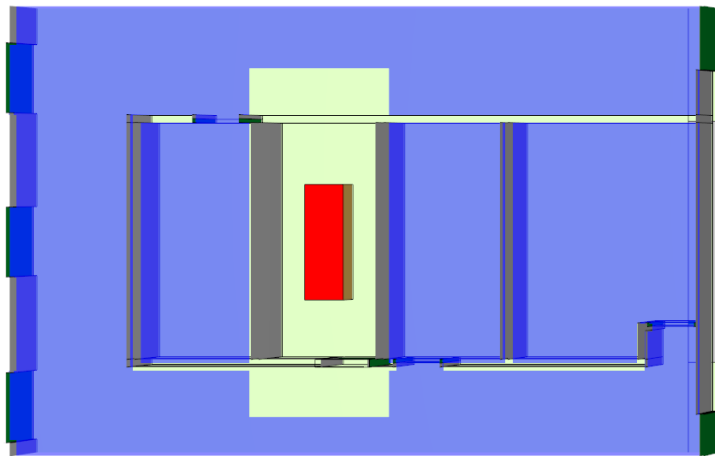
vel
(m/s)







t = 19 minuti



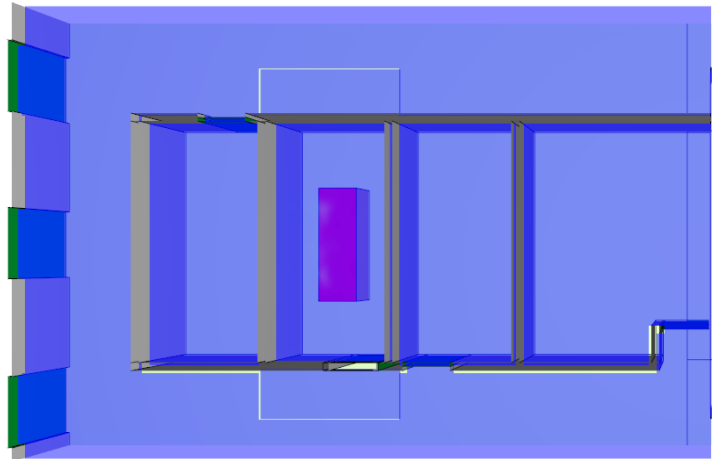
t = 20 minuti

vel
(m/s)

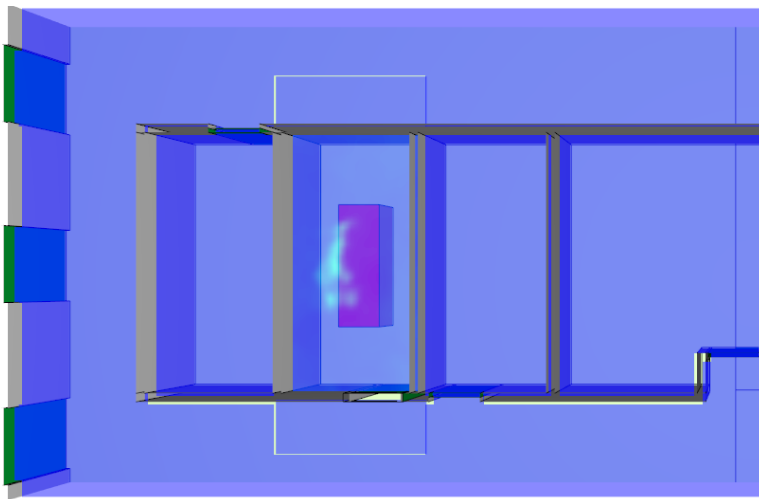




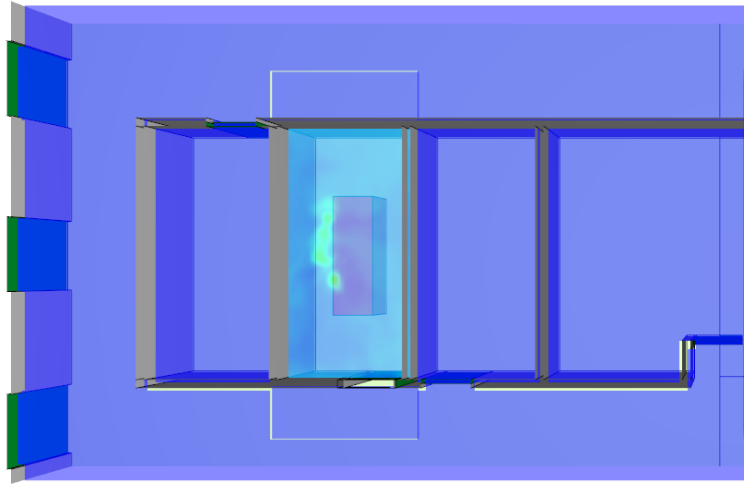
2.2.1.5 CONCENTRAZIONE CO



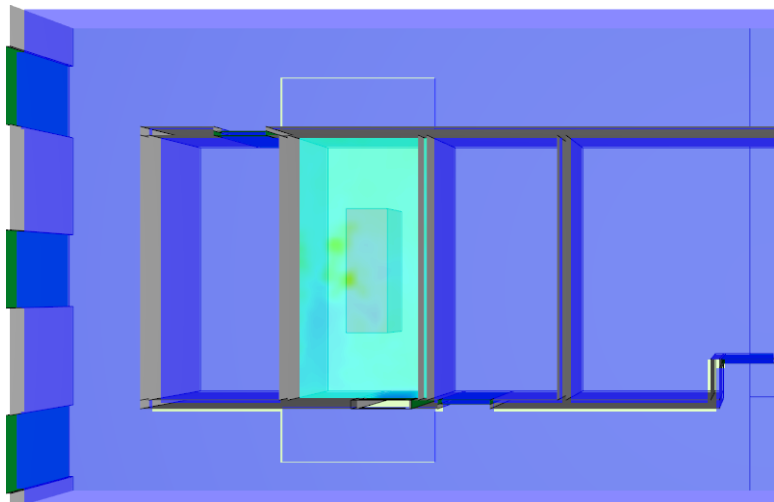
t = 1 minuto



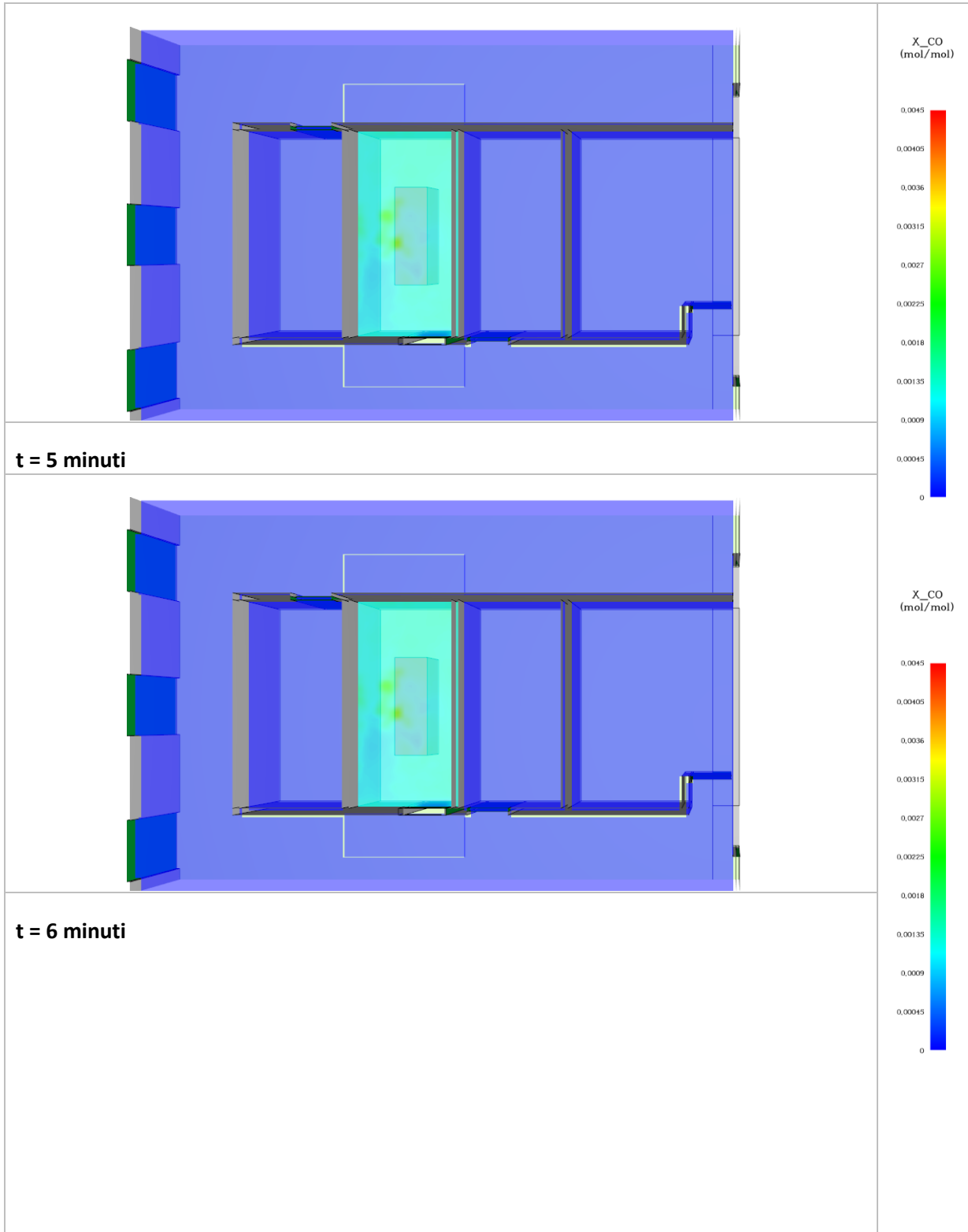
t = 2 minuti

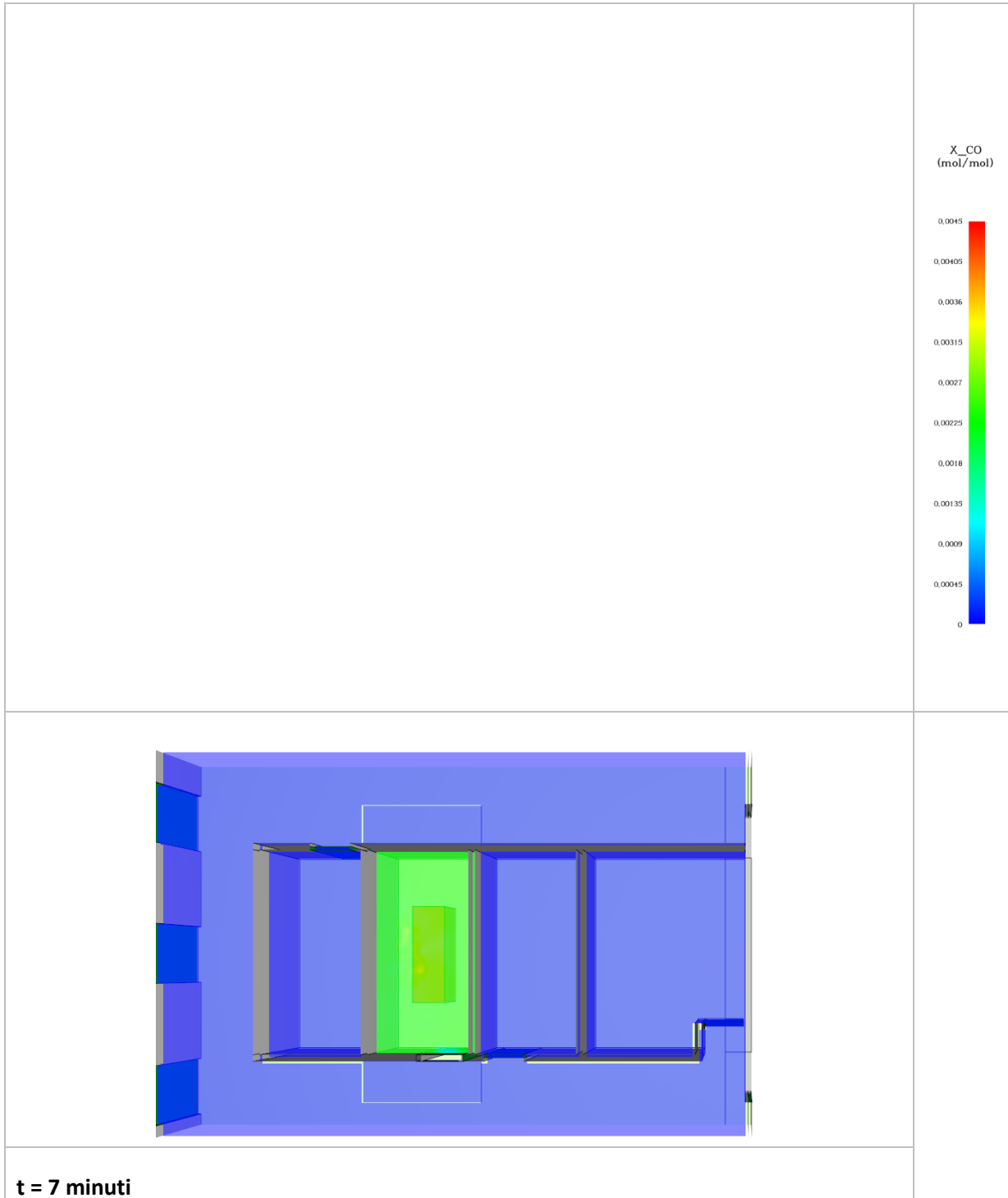


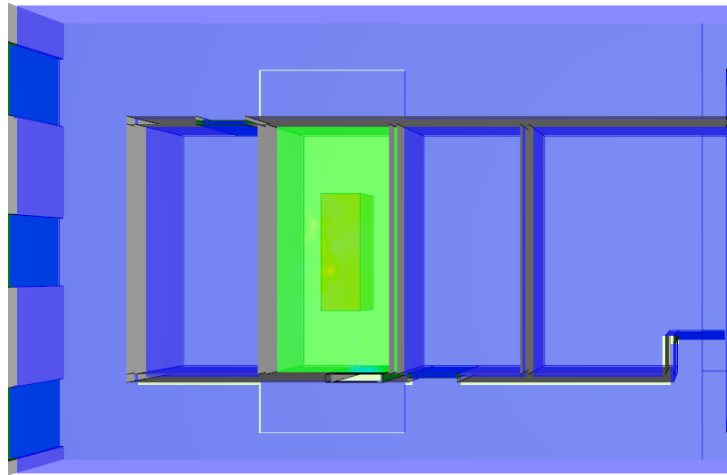
t = 3 minuti



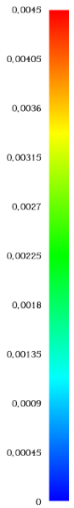
t = 4 minuti



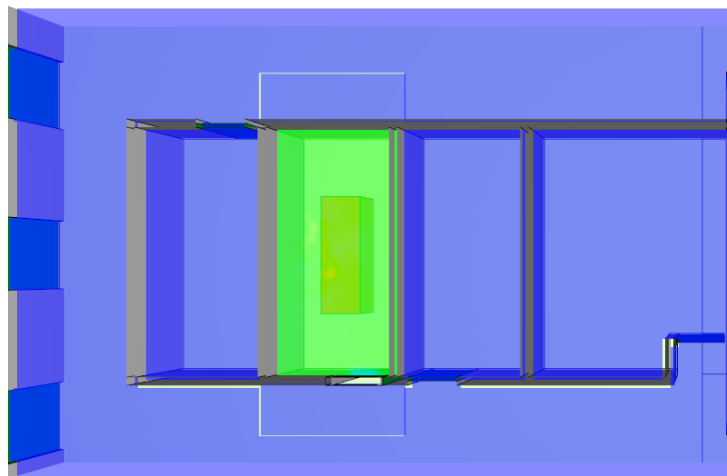




X_CO
(mol/mol)



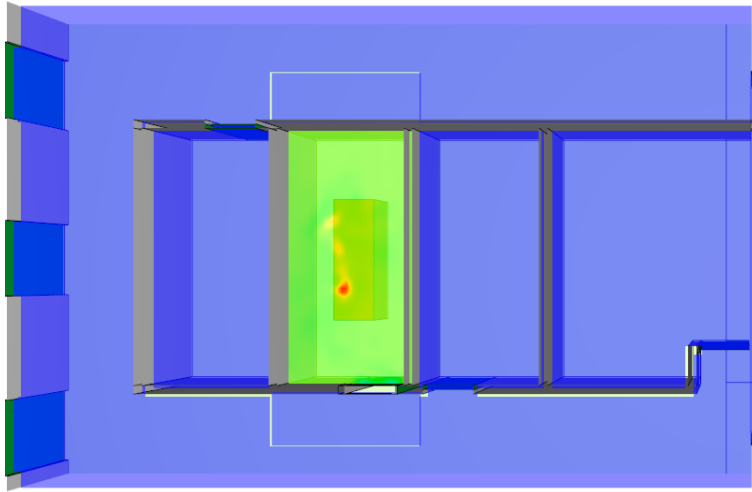
t = 8 minuti



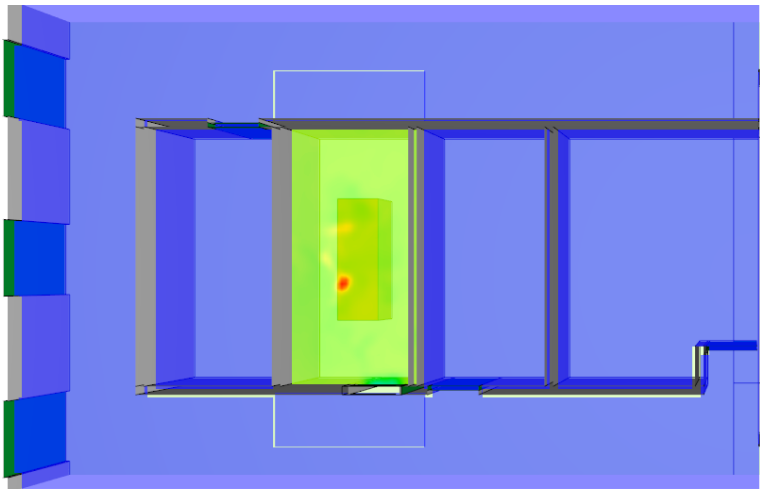
X_CO
(mol/mol)



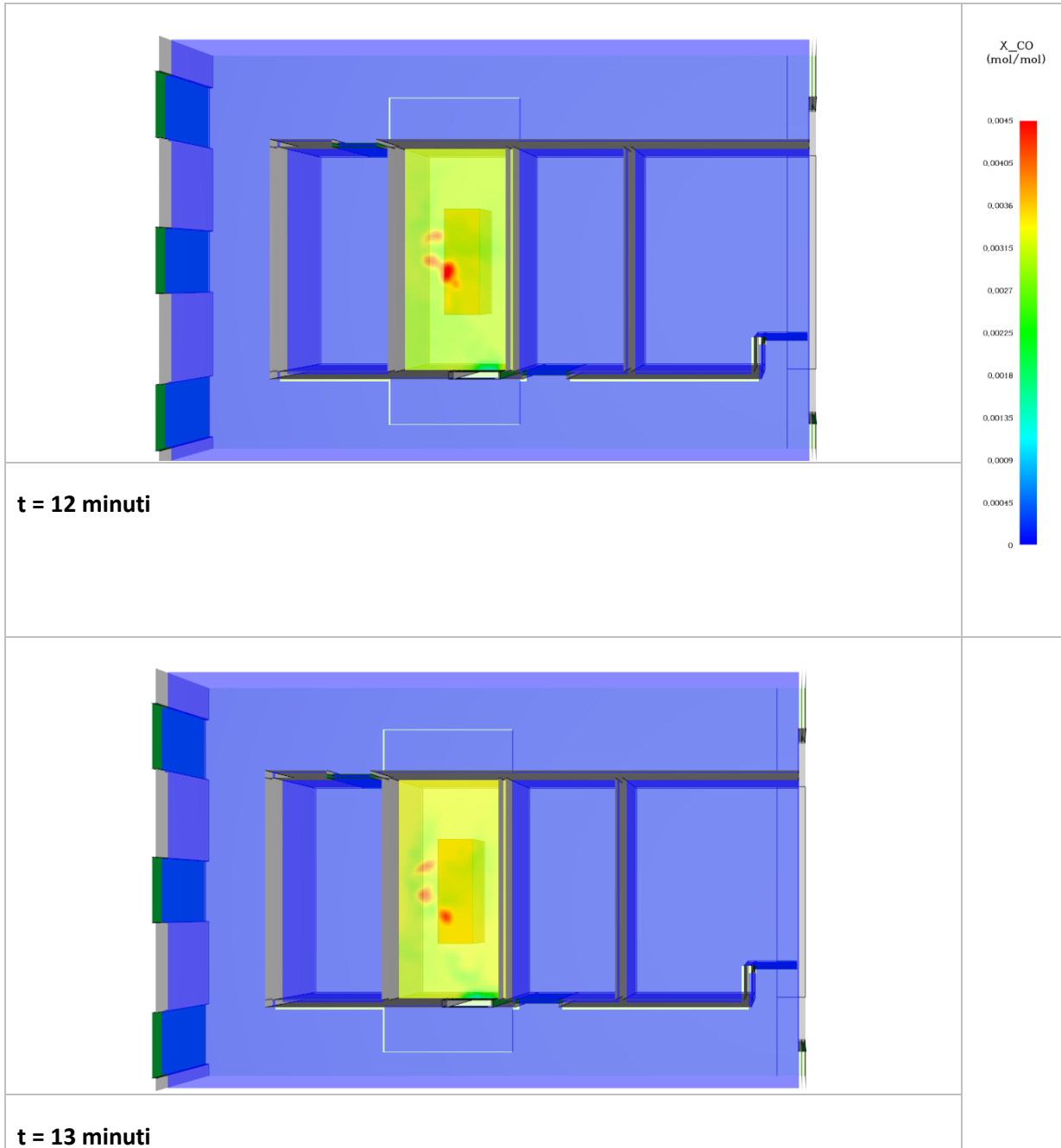
t = 9 minuti

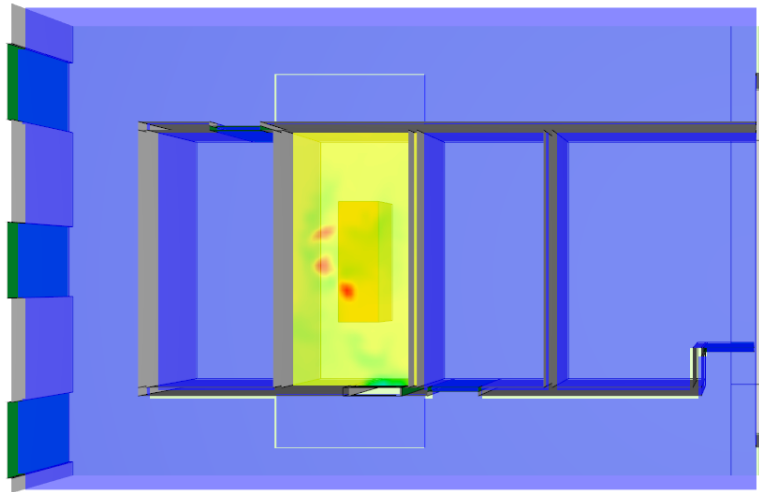


t = 10 minuti

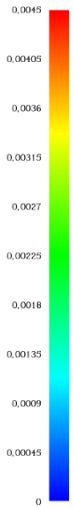


t = 11 minuti

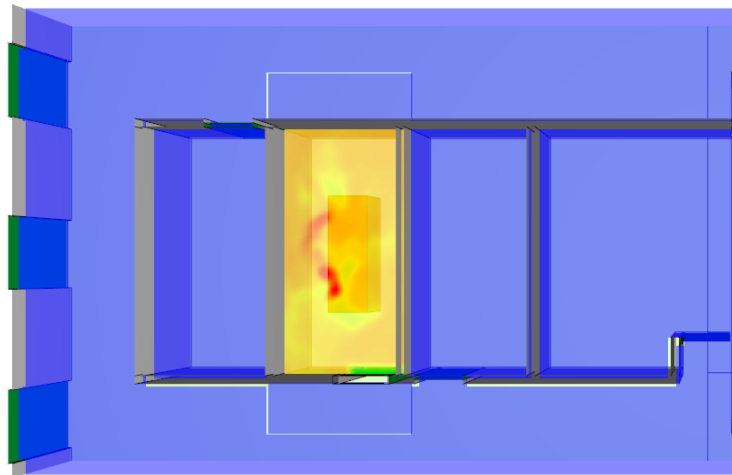




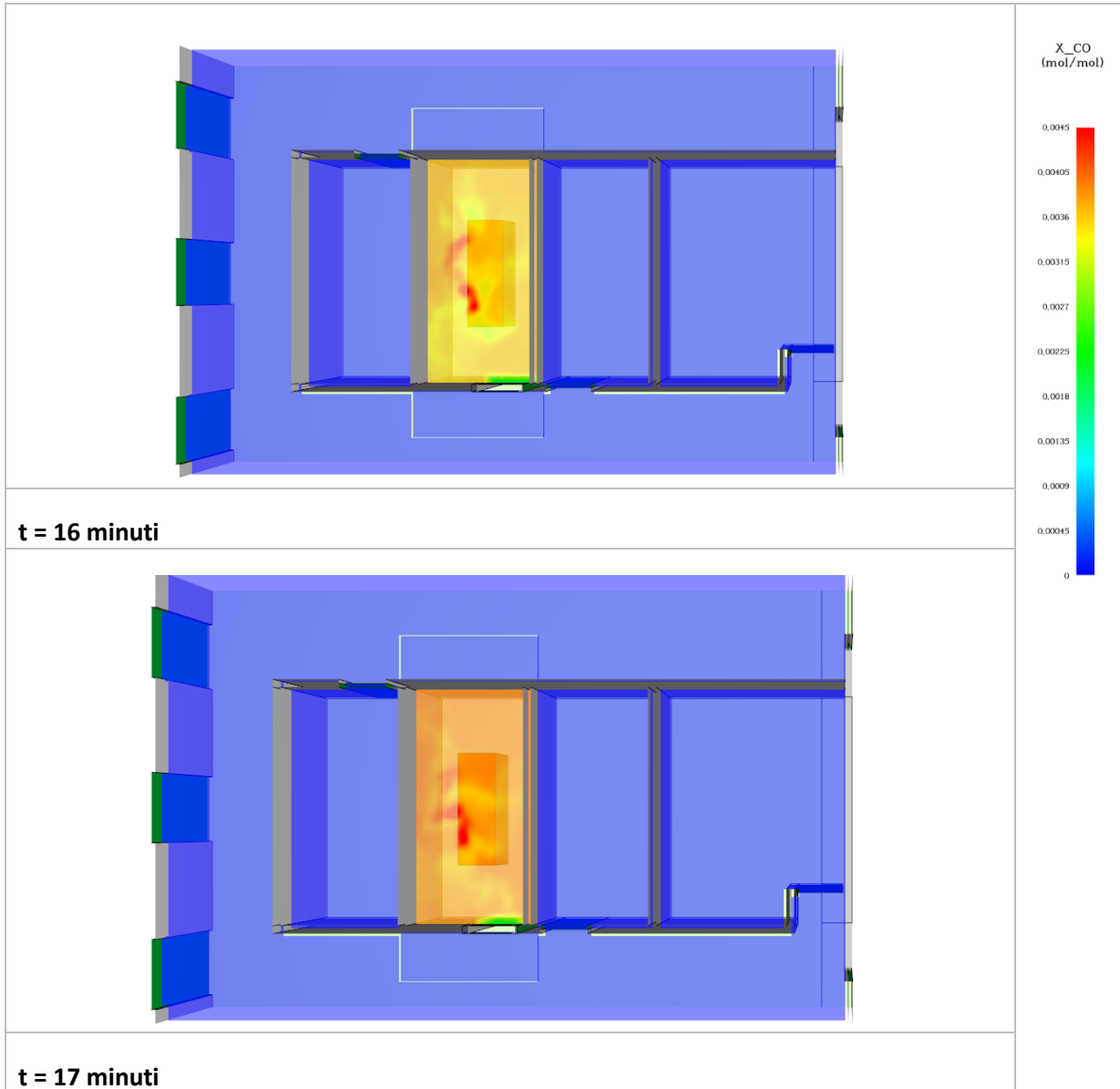
X_CO
(mol/mol)

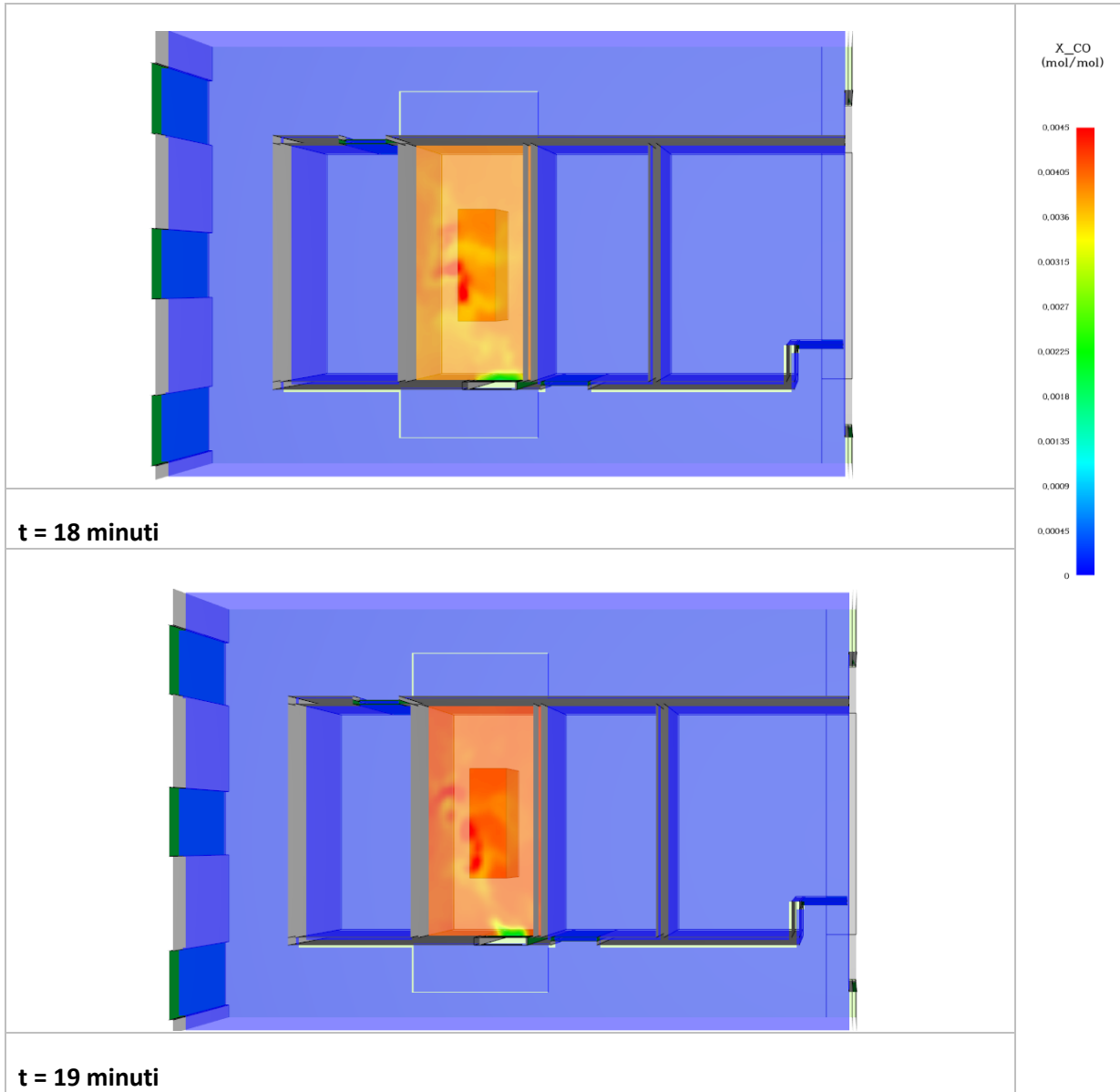


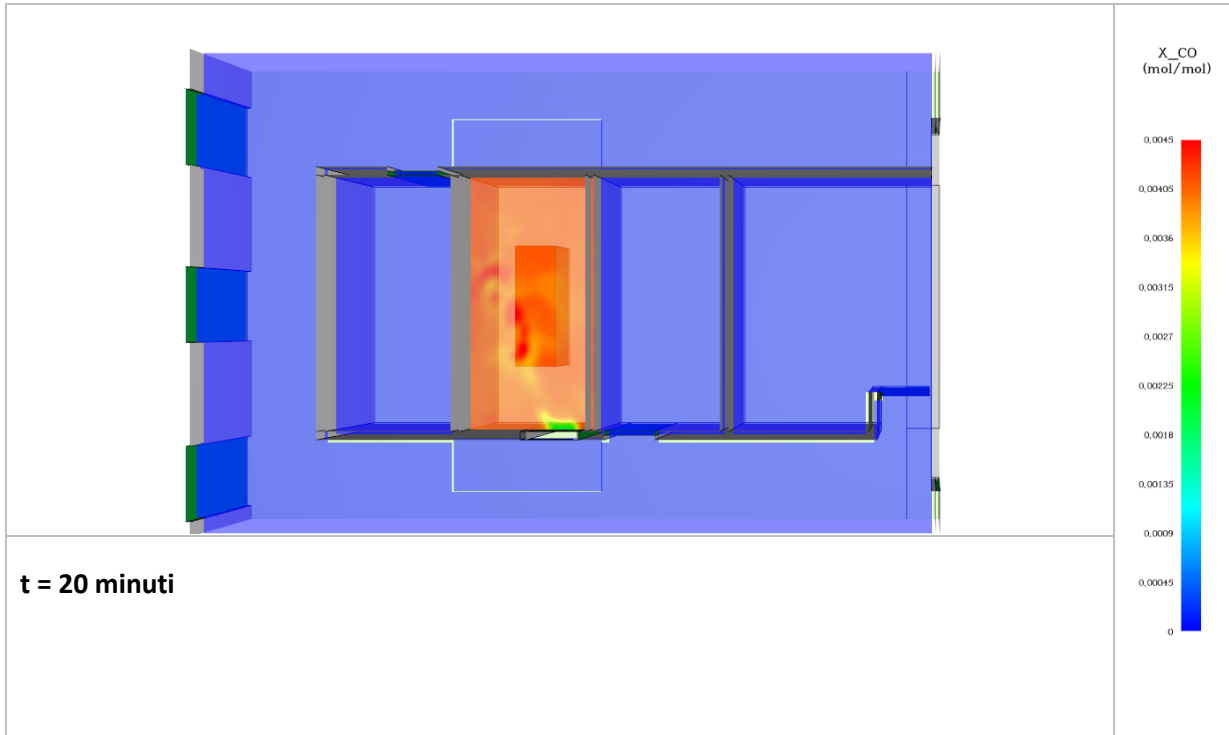
t = 14 minuti



t = 15 minuti

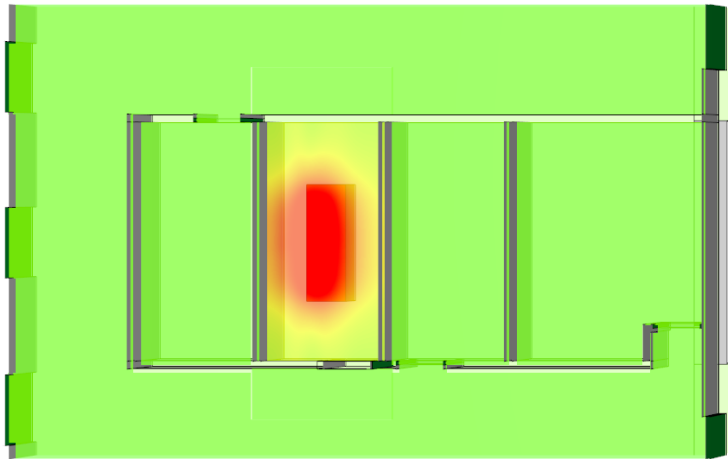




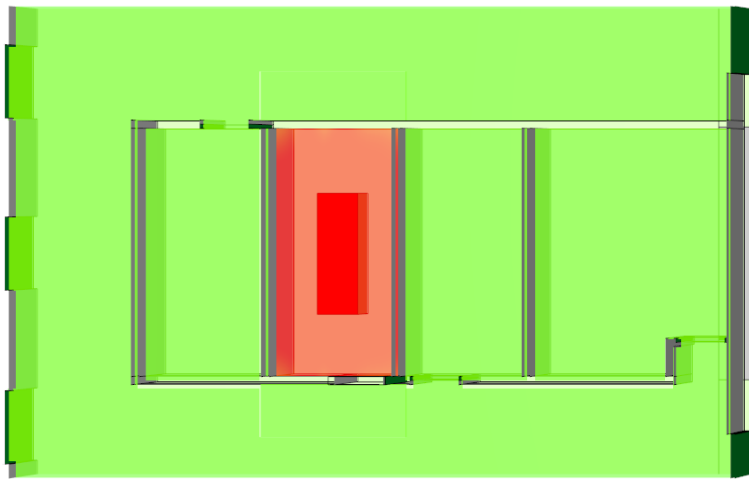




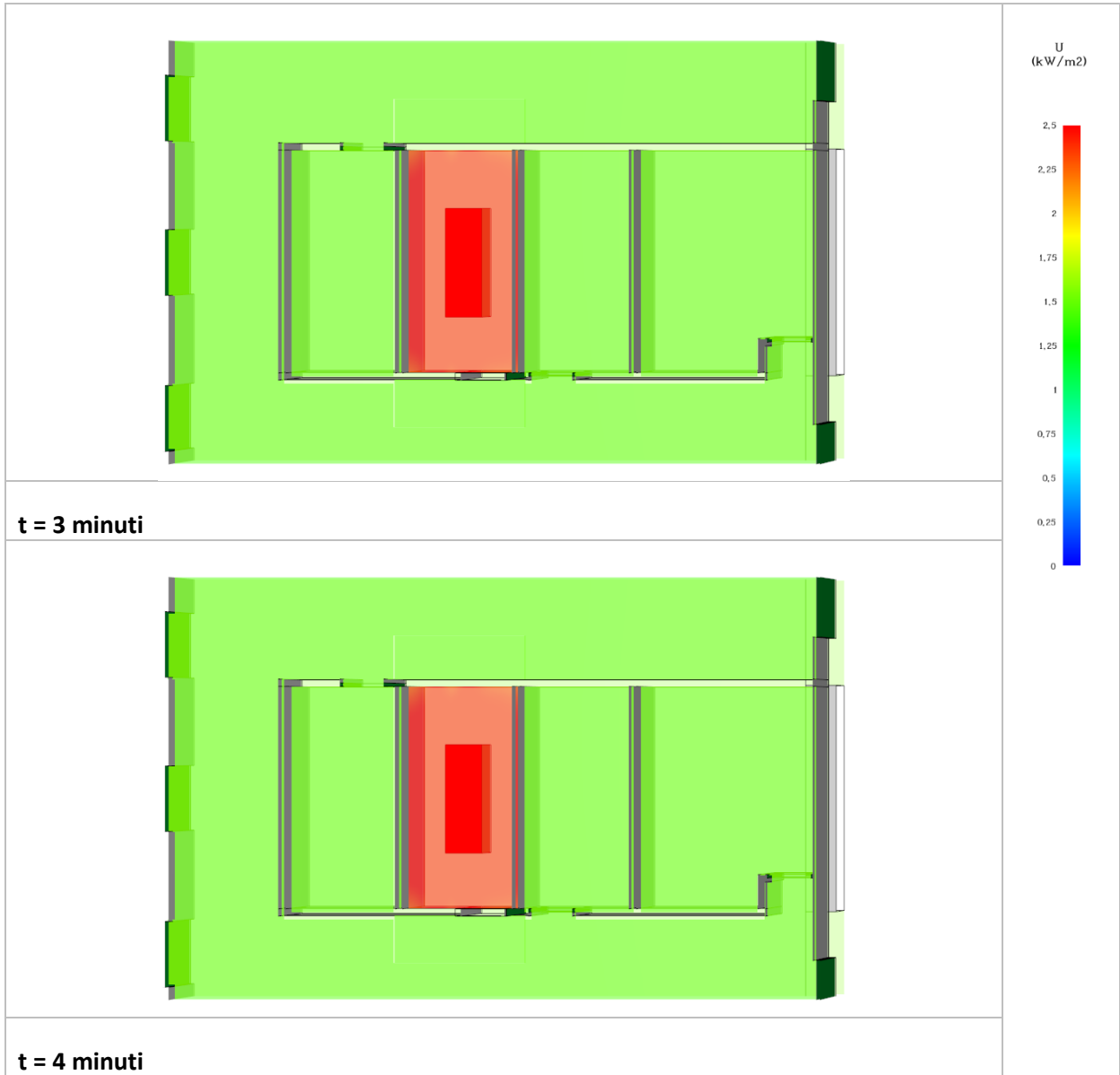
2.2.1.6 IRRAGGIAMENTO TERMICO

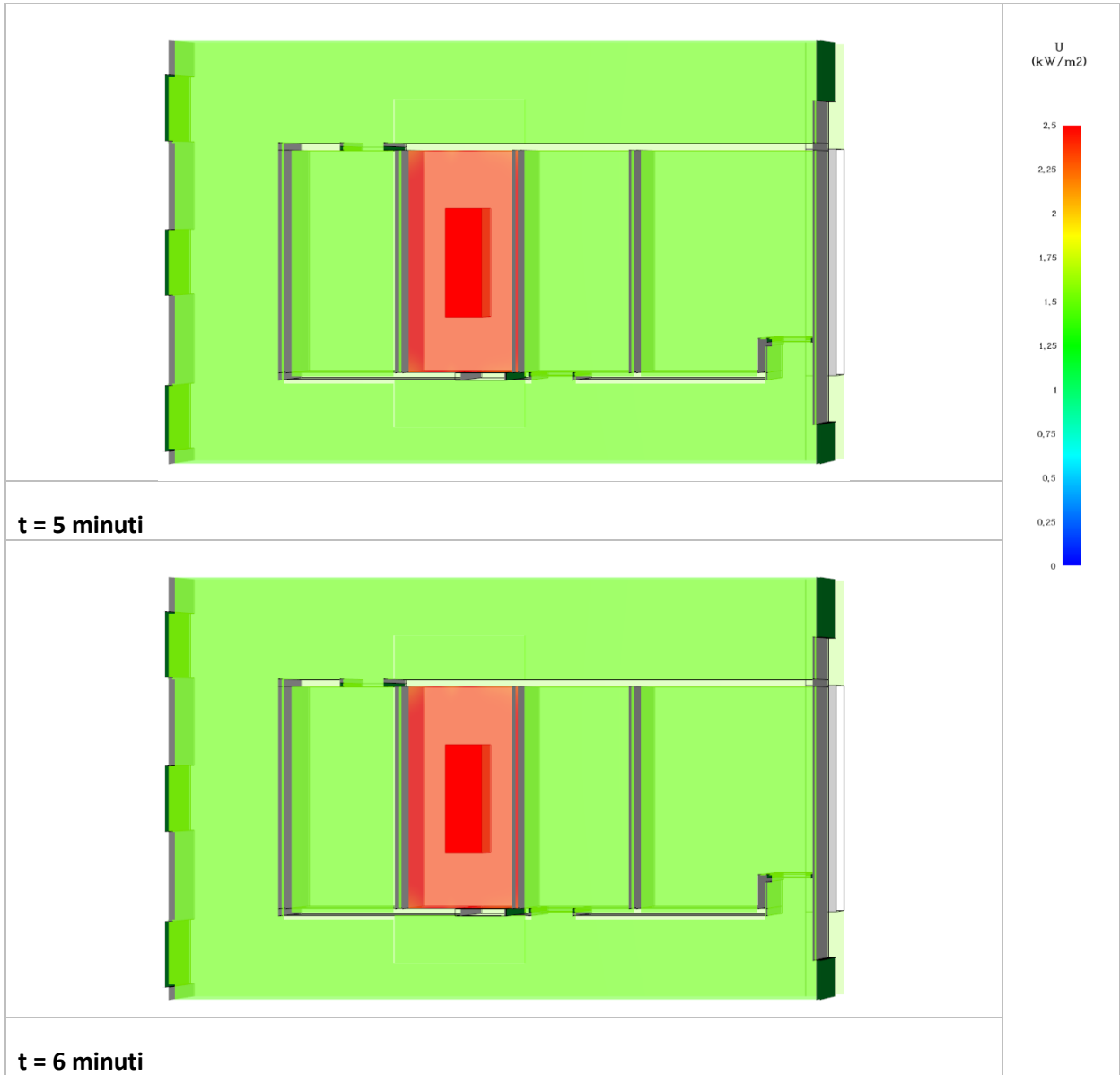


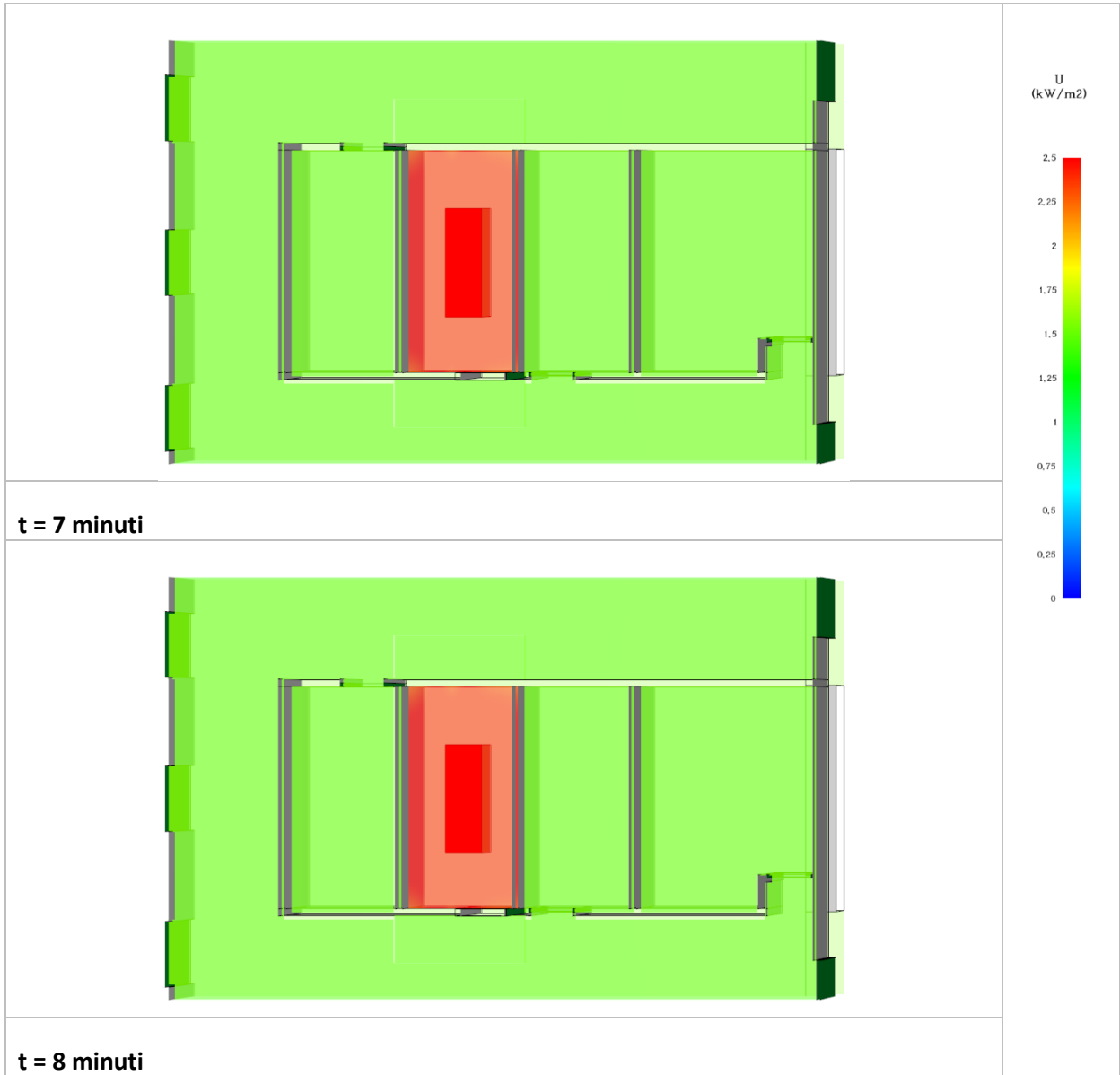
t = 1 minuto

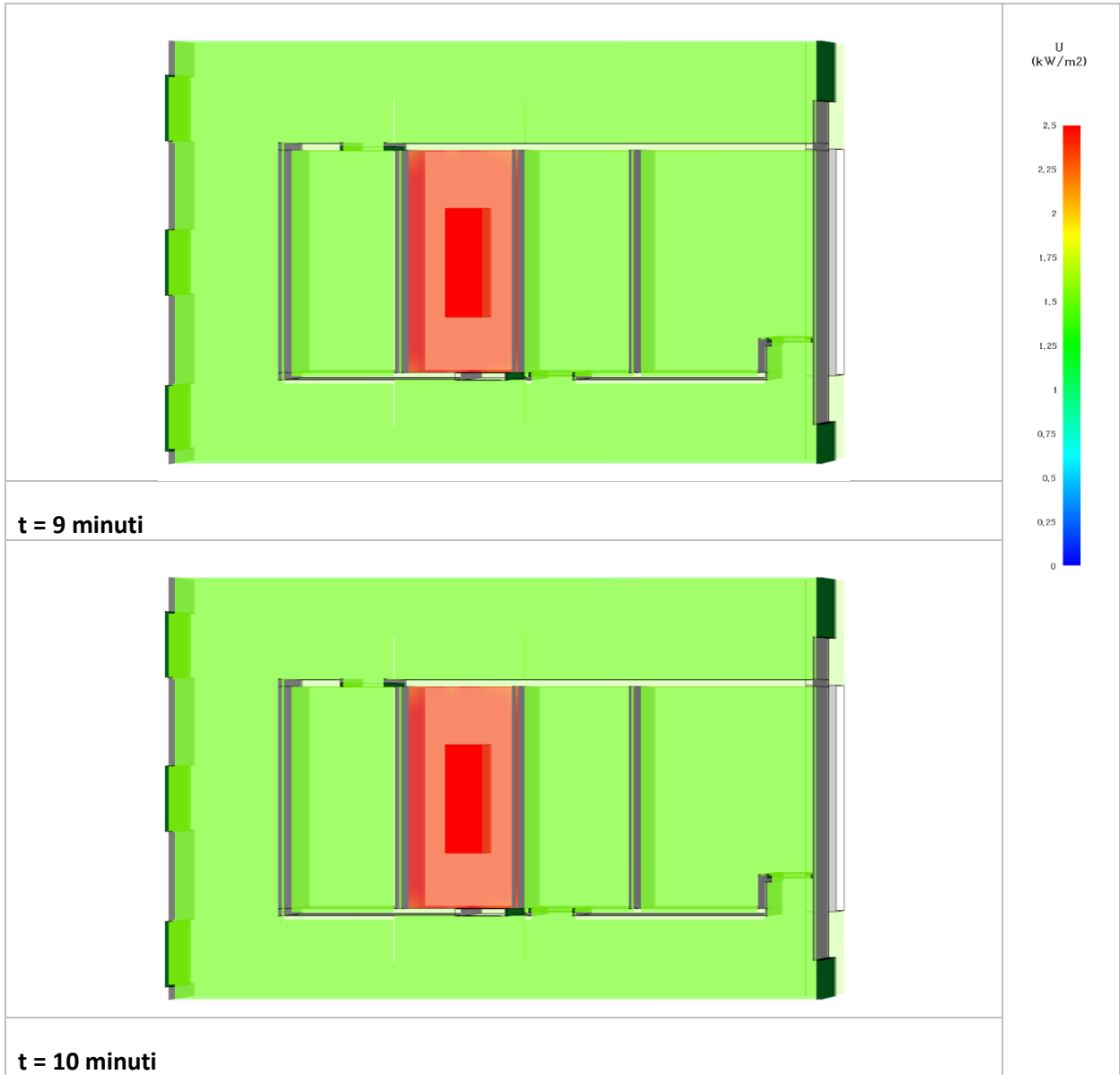


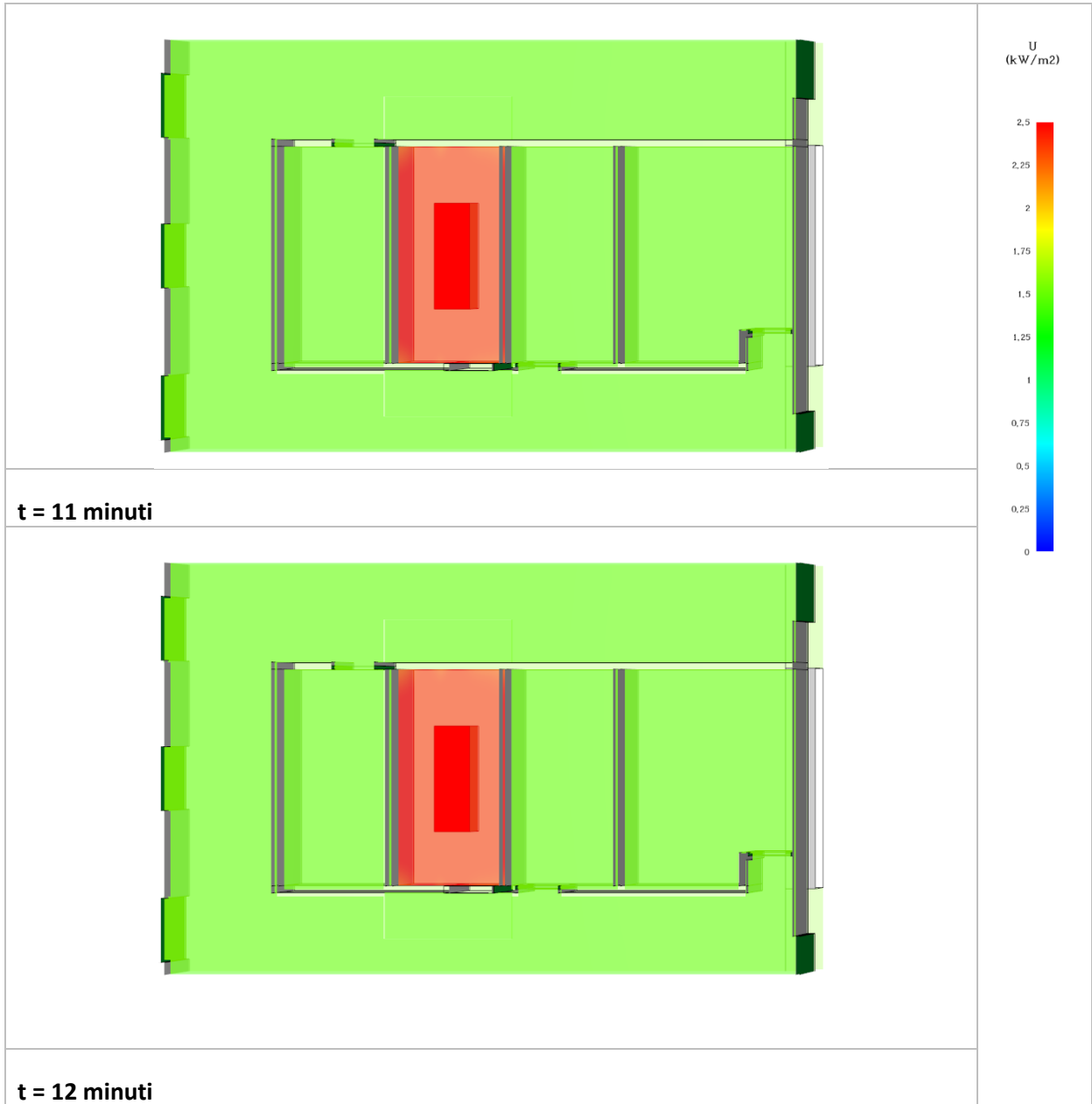
t = 2 minuti

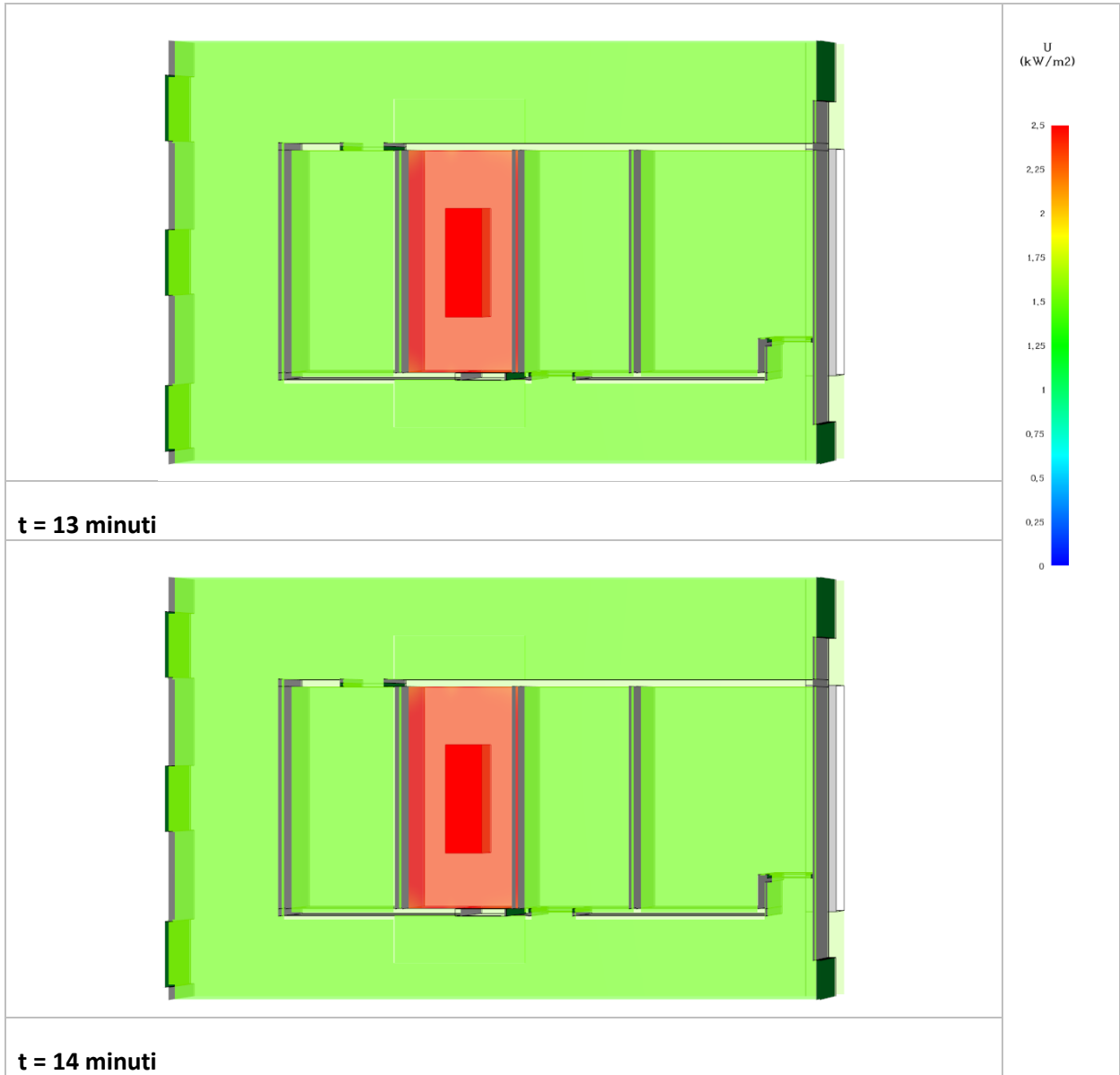


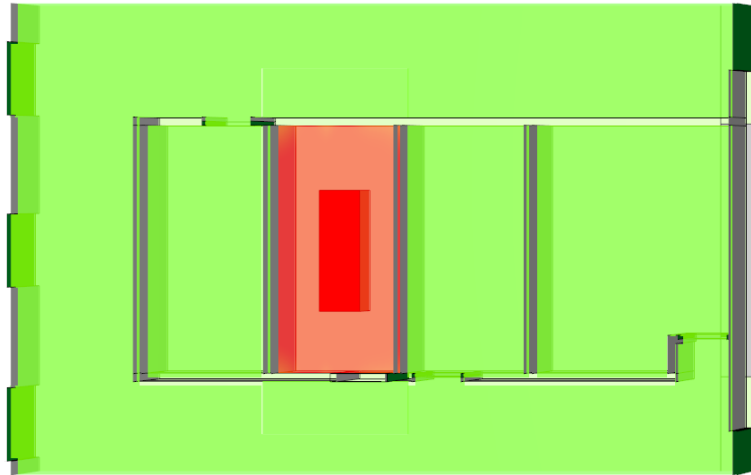




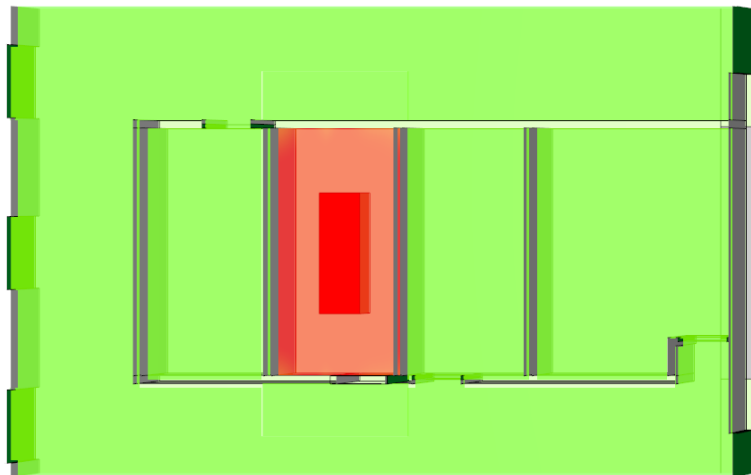








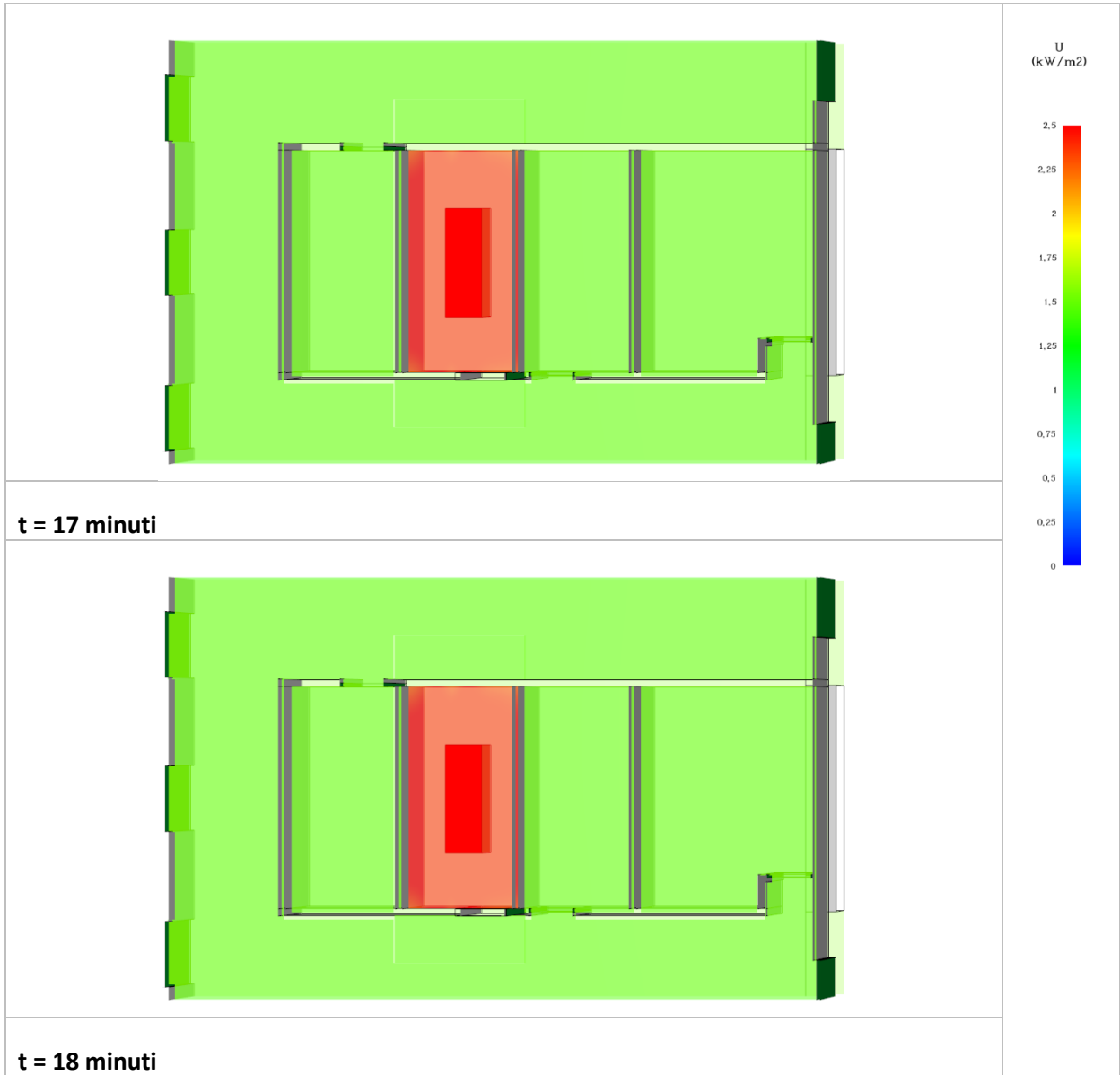
t = 15 minuti

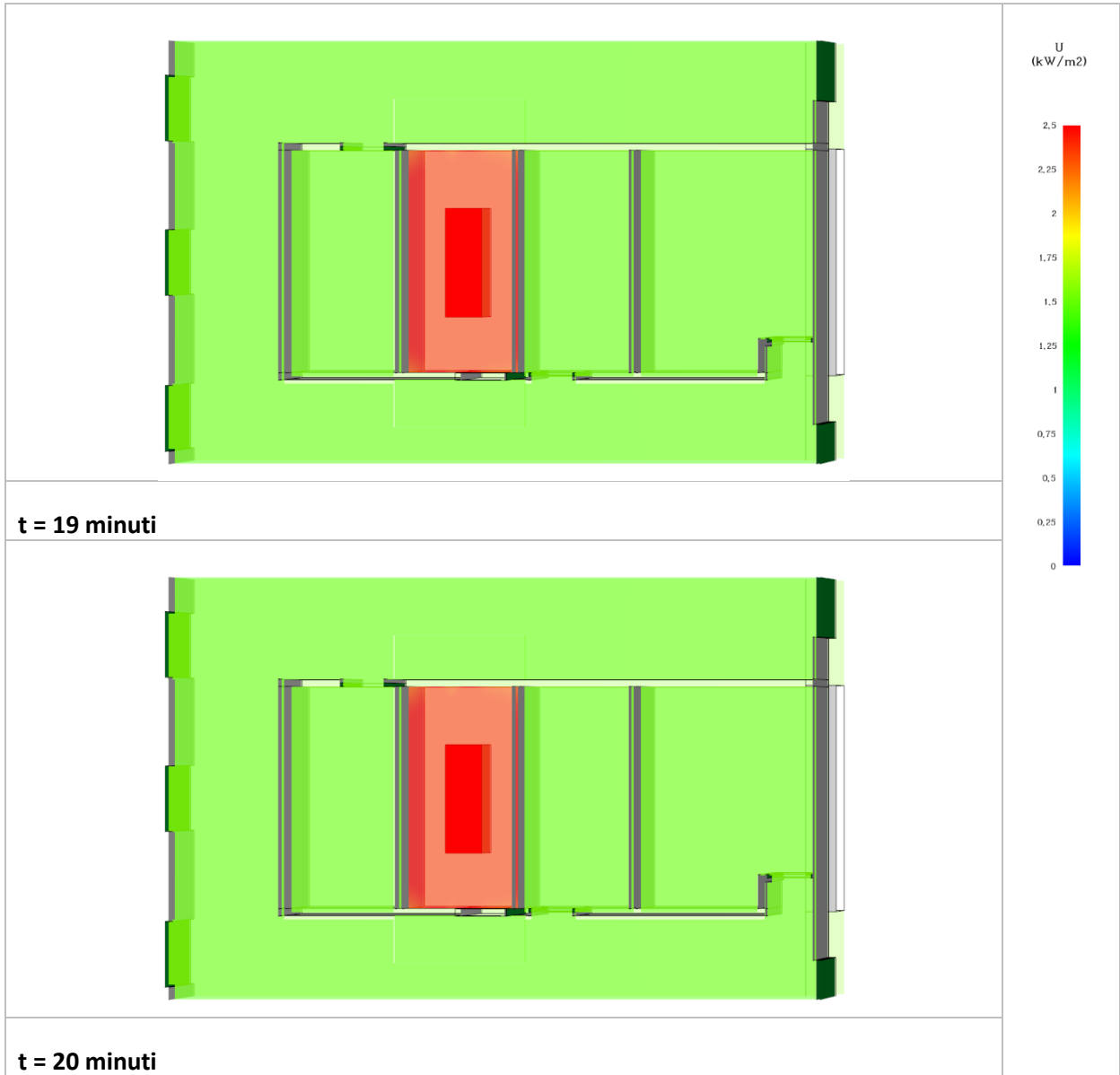


t = 16 minuti

U
(kW/m²)

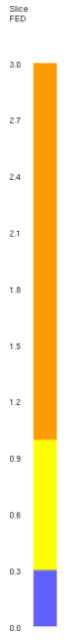
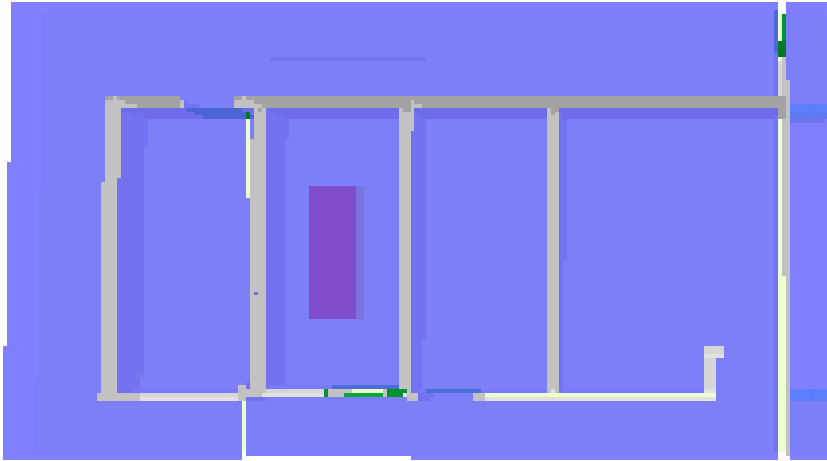




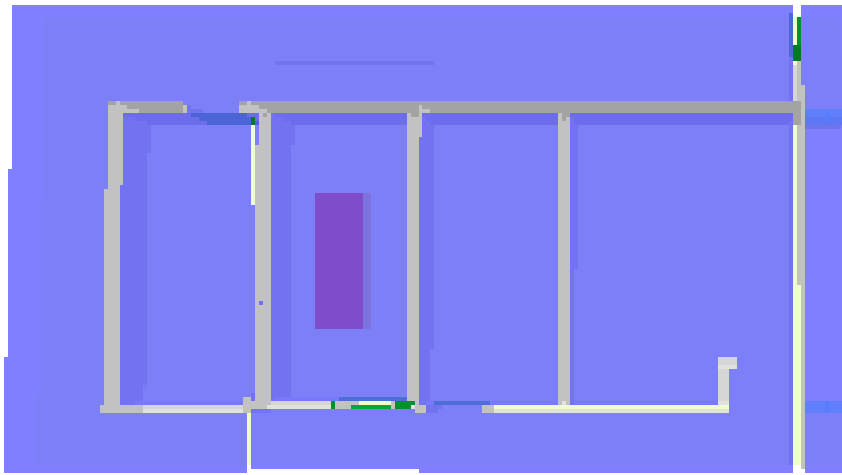




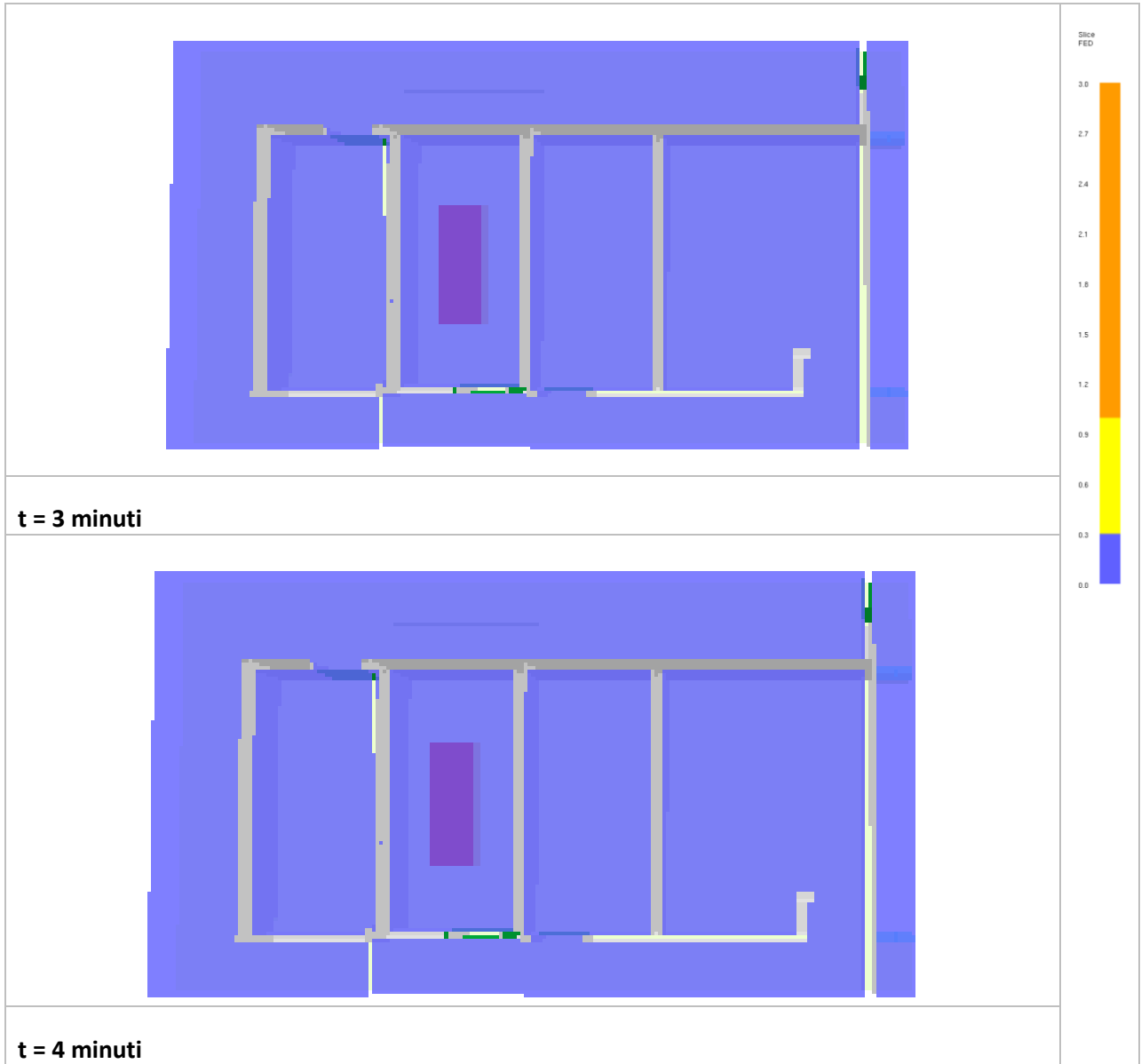
2.2.1.7 FED

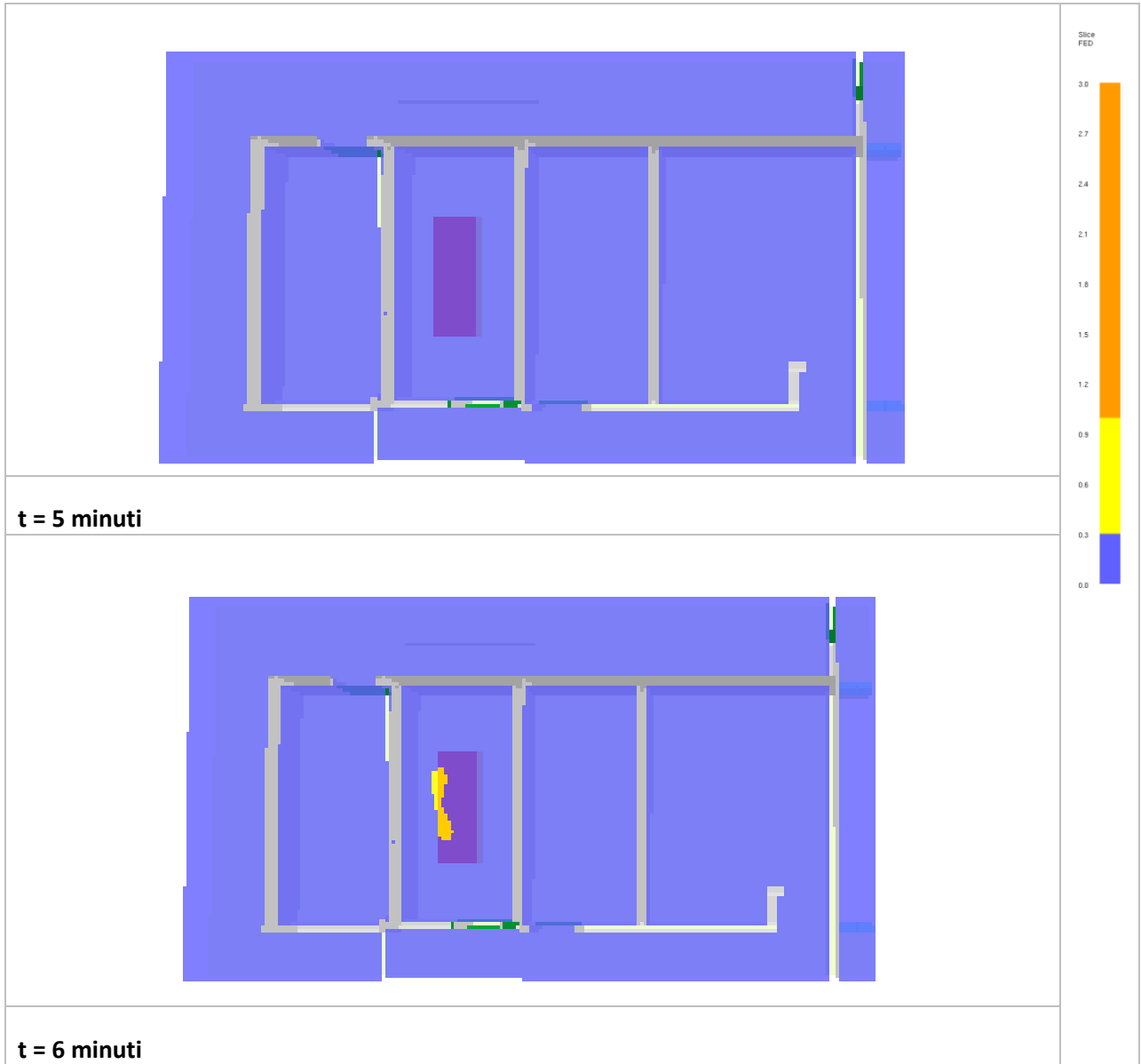


t = 1 minuto

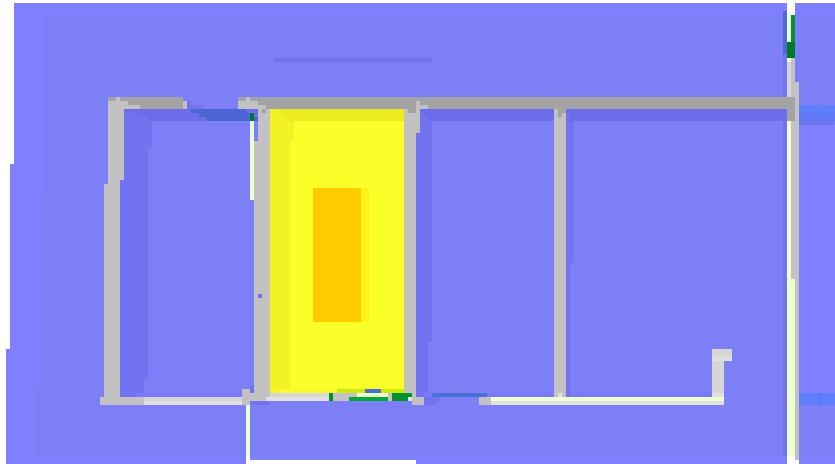


t = 2 minuti

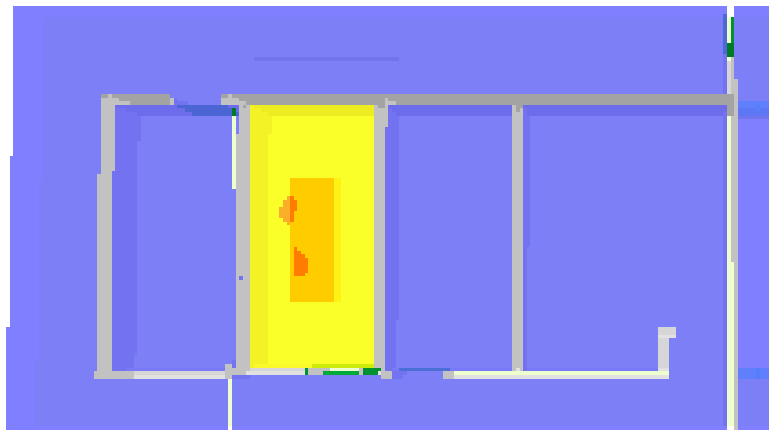




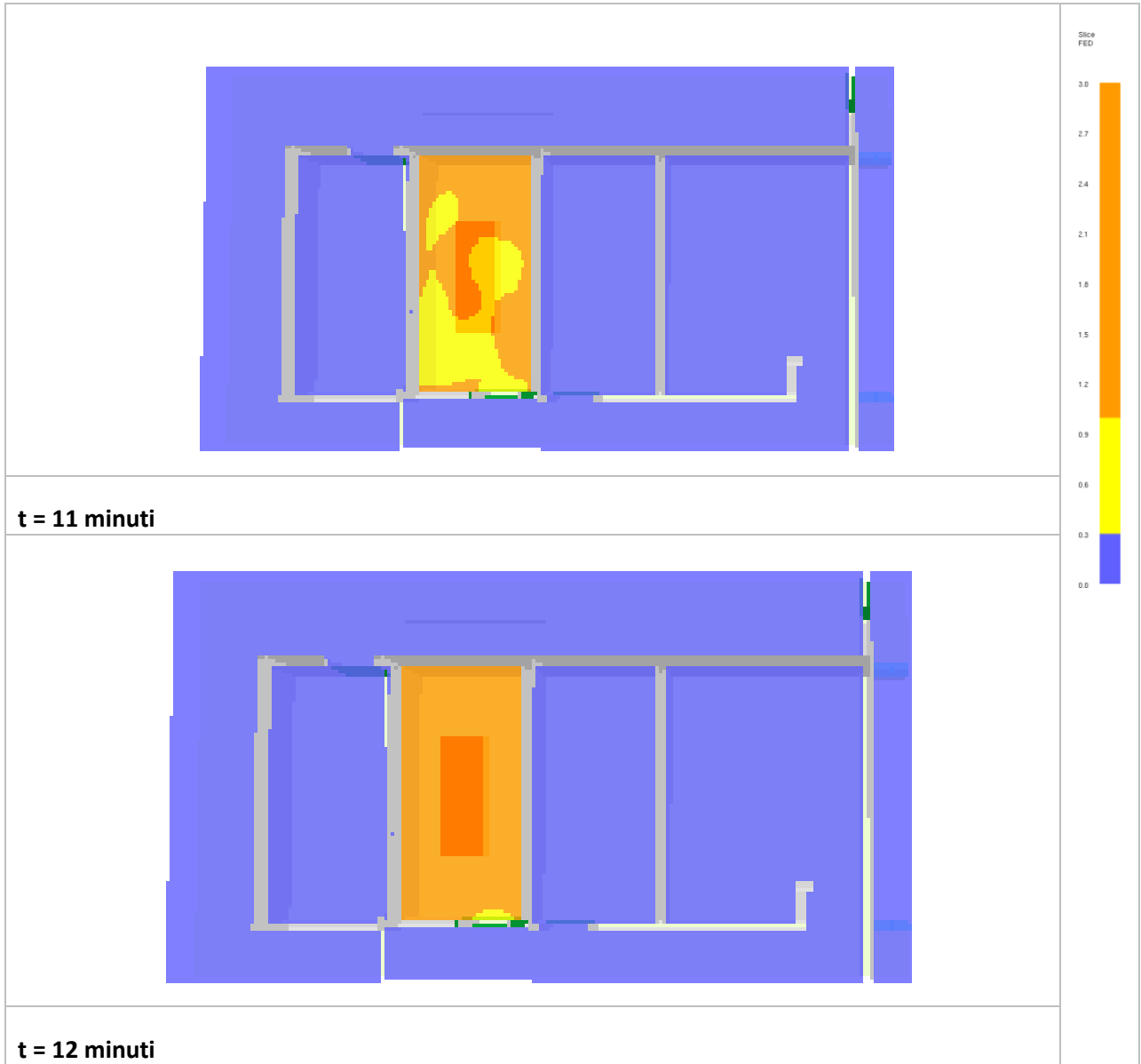


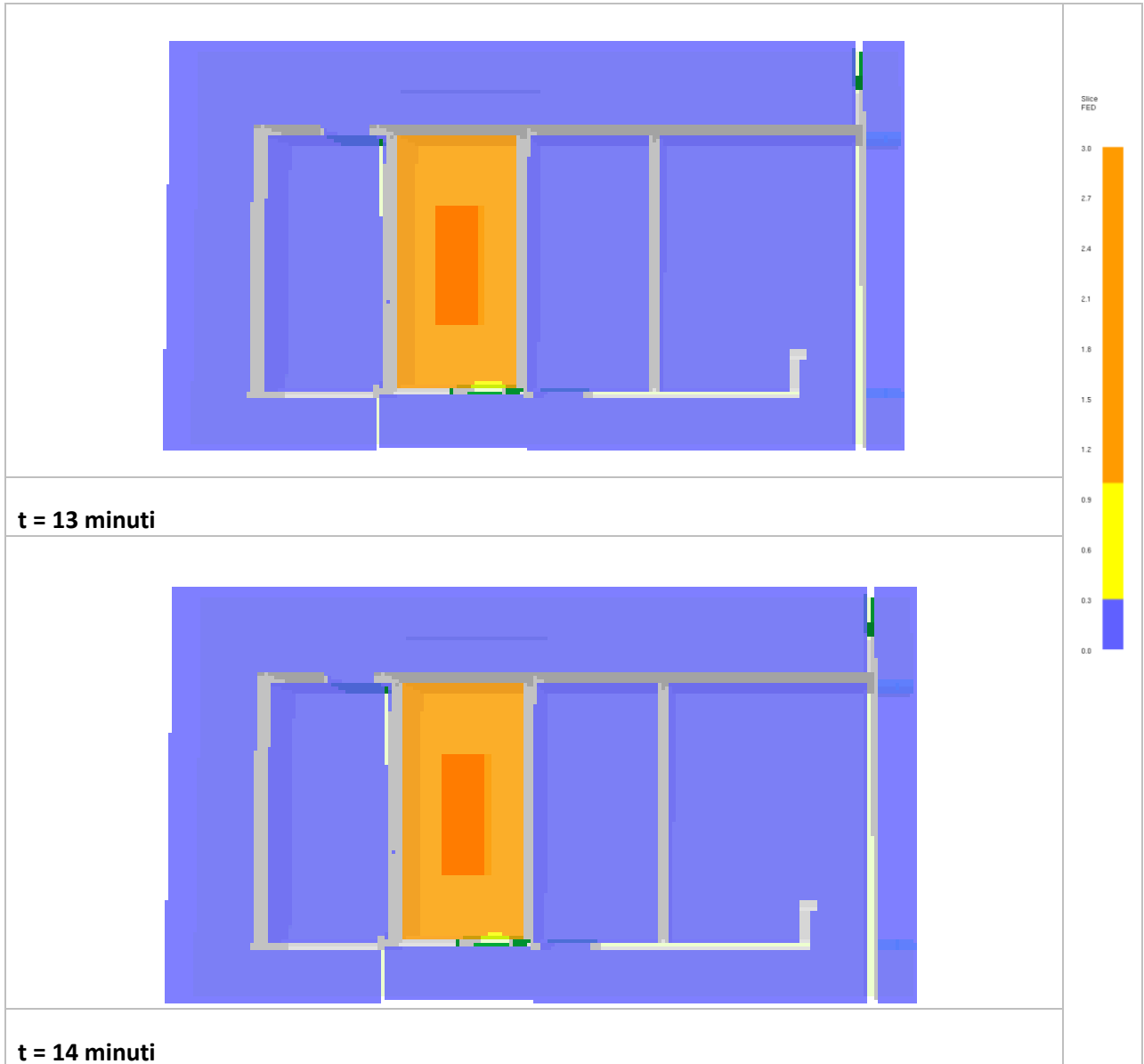


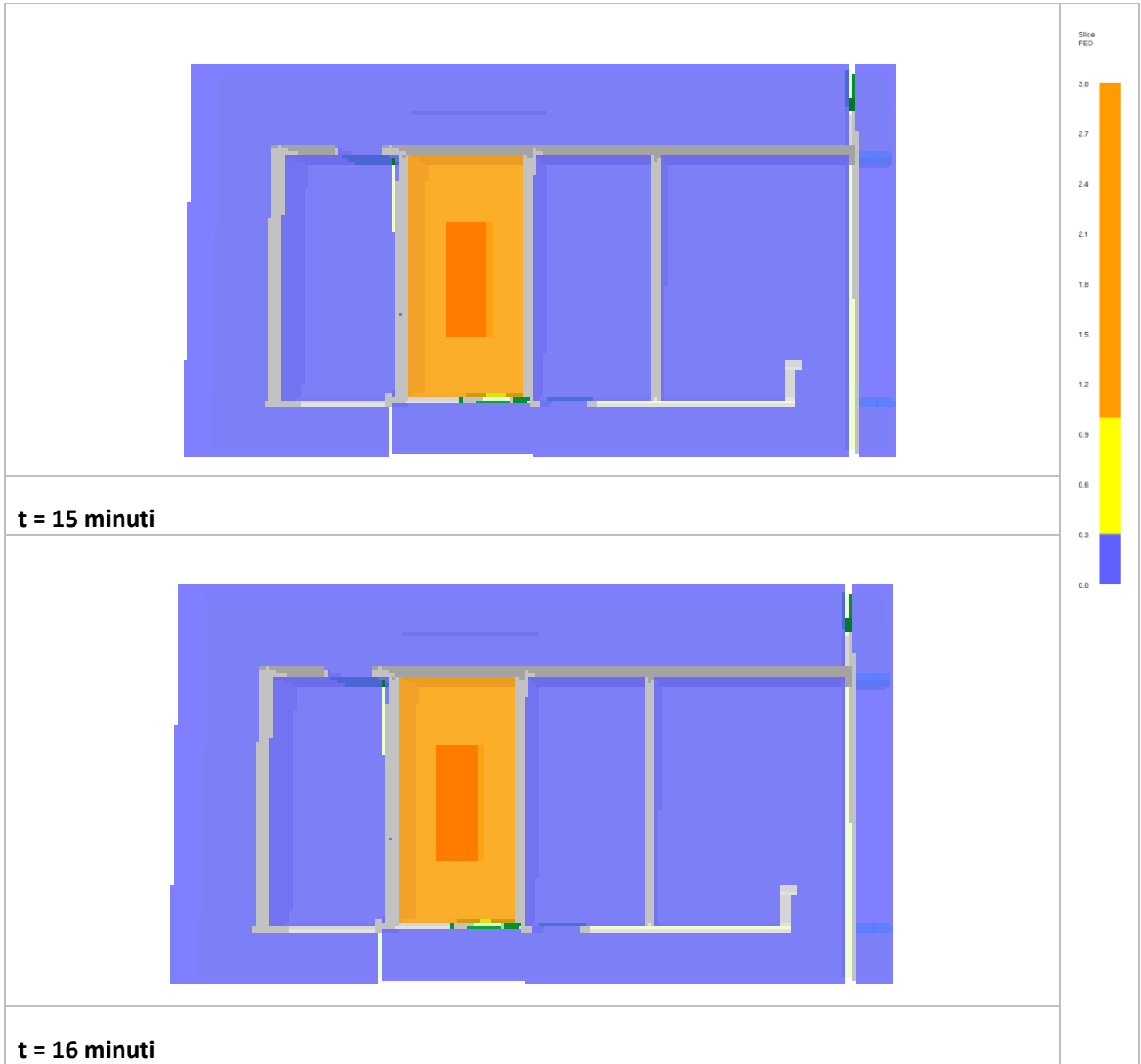
t = 9 minuti

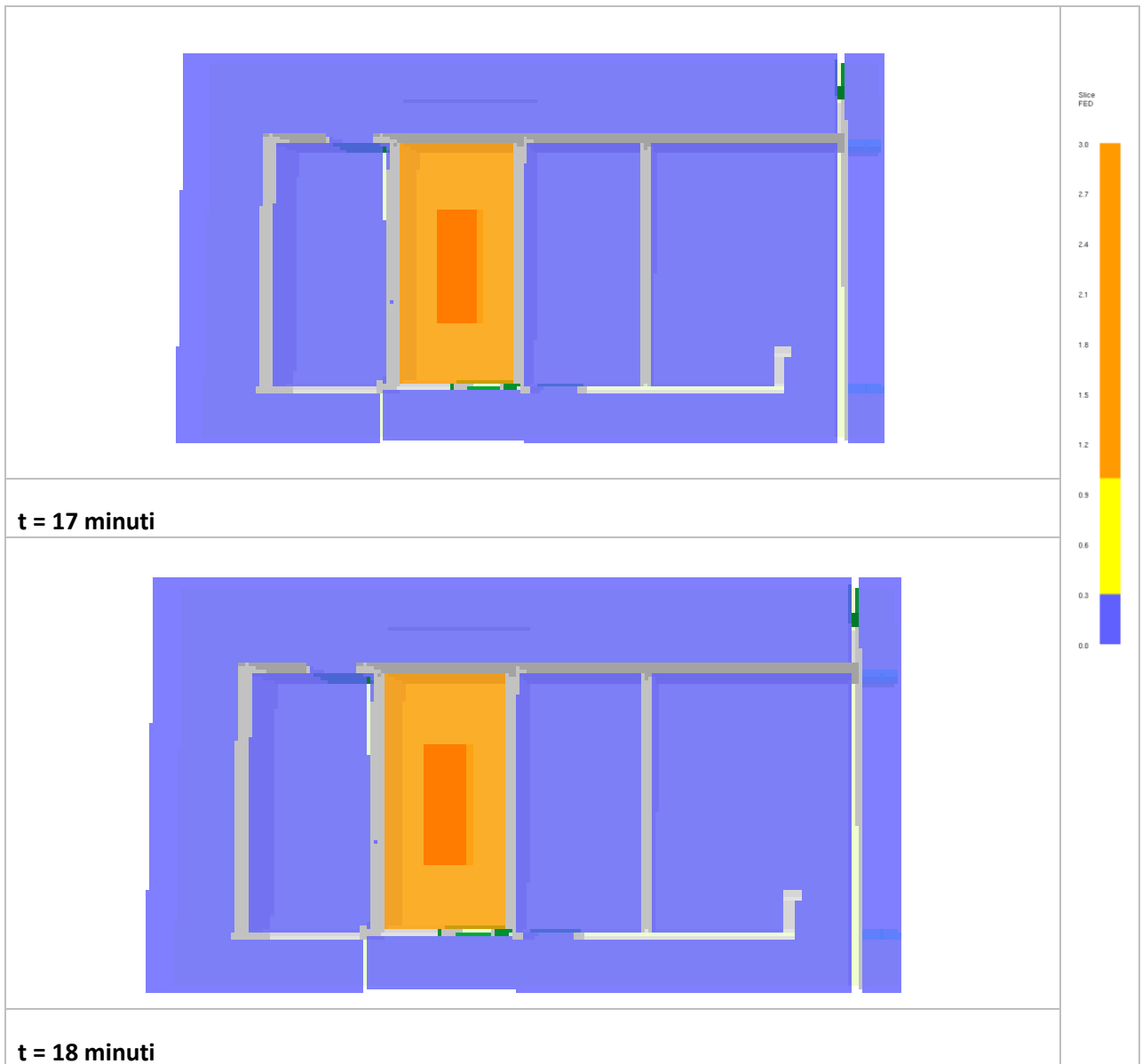


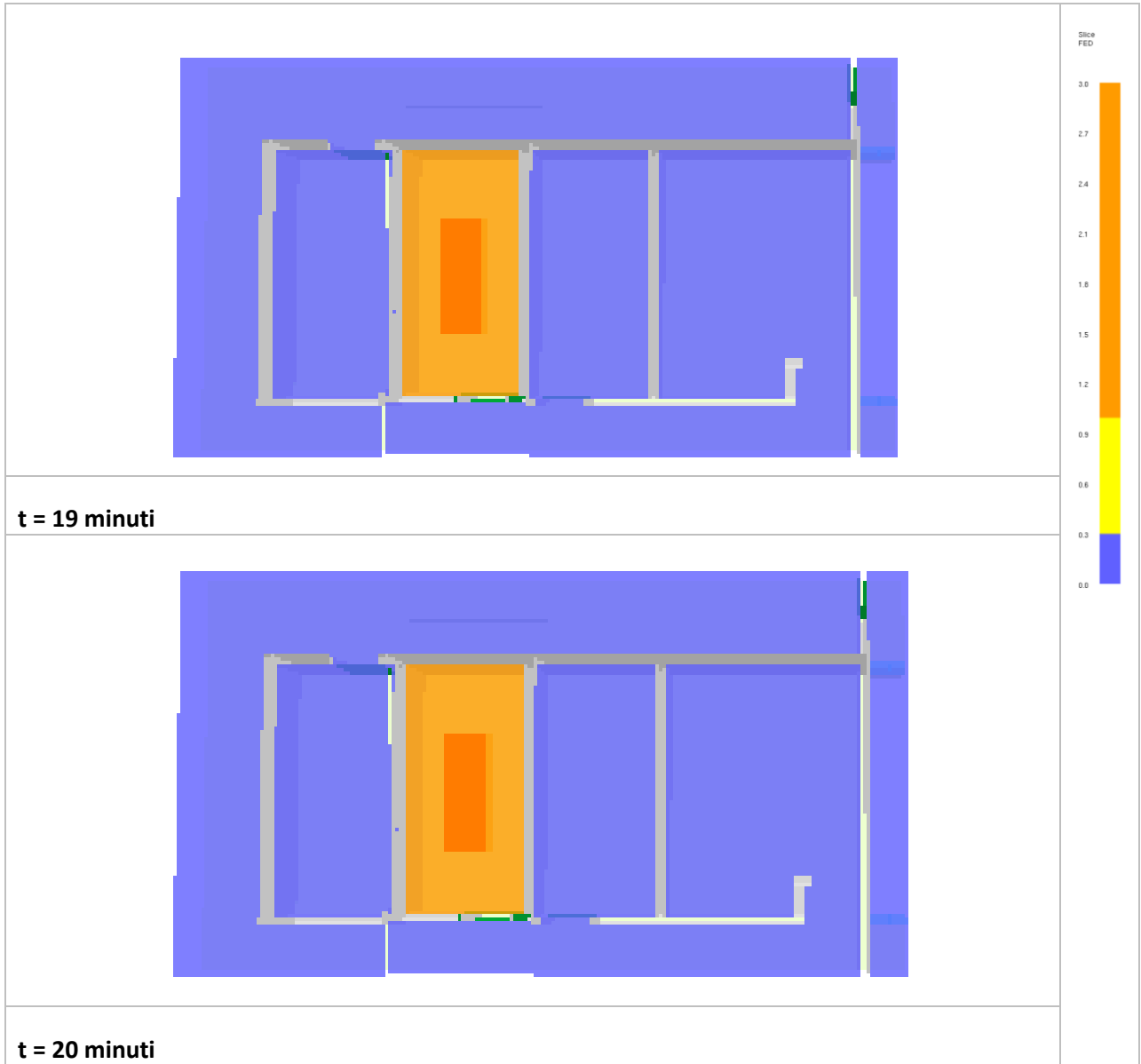
t = 10 minuti













2.2.2 Strategia di ventilazione 2 (SCENARIO 4 – Tipologico UPS)

Le caratteristiche del sistema di ventilazione sono specificate e tengono conto delle peculiari modalità di interazione ed evoluzione dell'incendio con la geometria.

Per quanto concerne il sistema di ventilazione nel tipologico "locale tecnico atrio (UPS)" le portate assunte le portate assunte, coerenti con la prima strategia di ventilazione, sono le seguenti:

LOCALE	ESTRAZIONE [m ³ /s]	IMMISSIONE [m ³ /s]
UPS	0.25	0.125

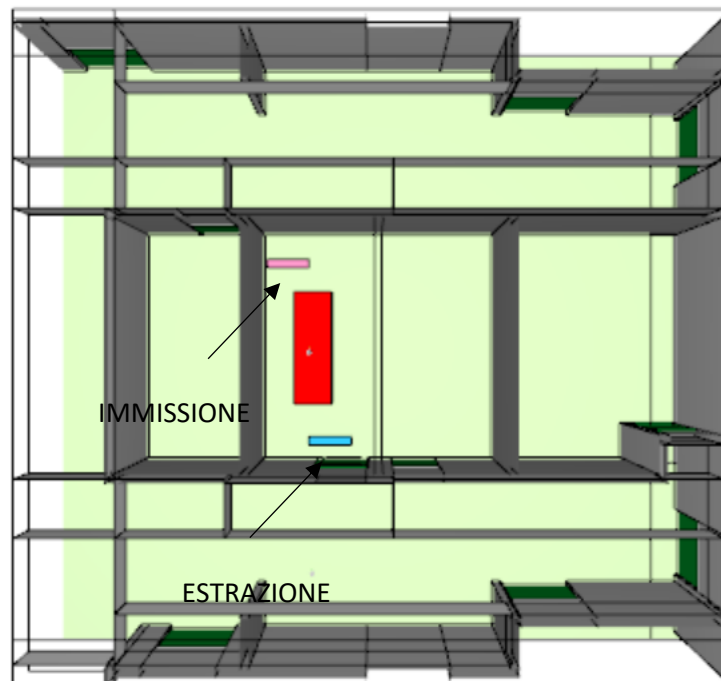


Figura 4 – impianto estrazione locale ups

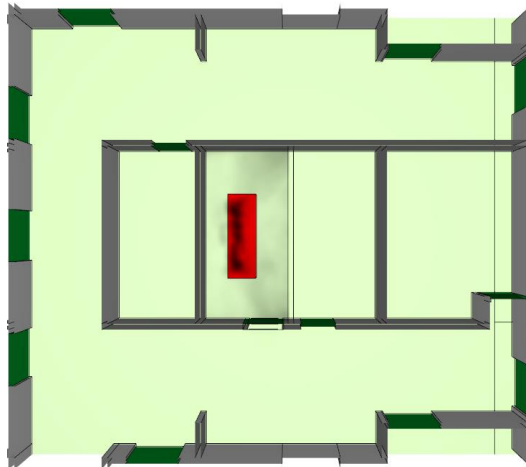


2.3 Risultati

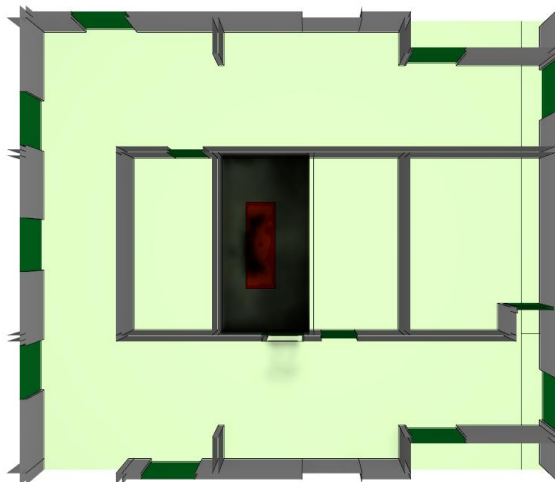
Si riporta, di seguito, una selezione dei risultati grafici, output delle simulazioni di incendio che hanno consentito la verifica delle condizioni di conformità al Decreto.

2.3.1 Output scenario

2.3.1.1 PROPAGAZIONE FUMI

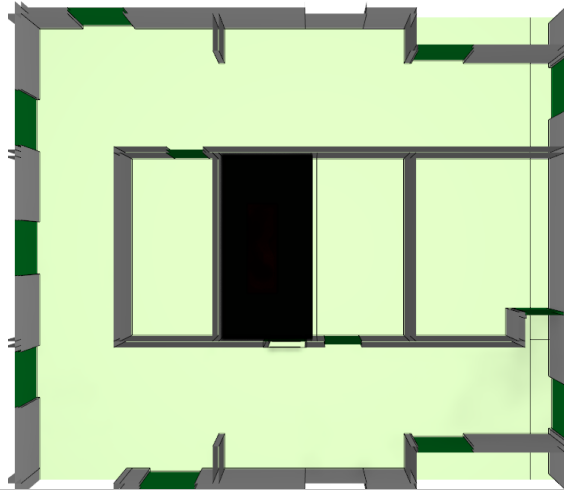


t = 1 minuto

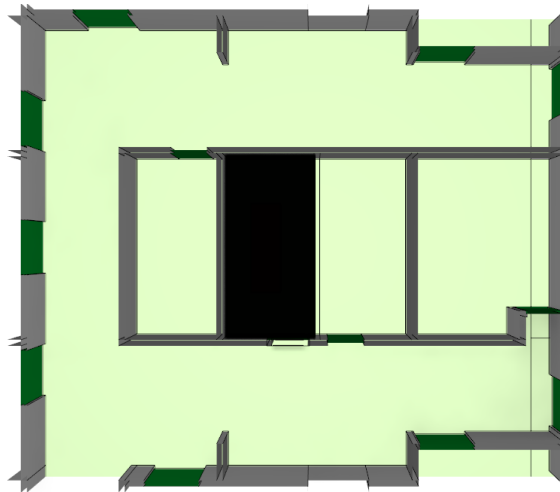




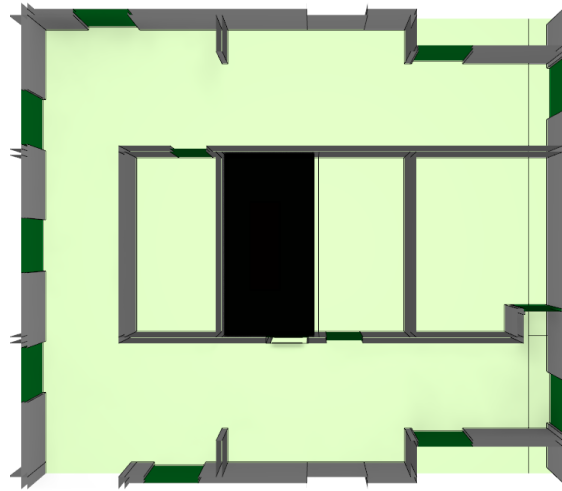
t = 2 minuti



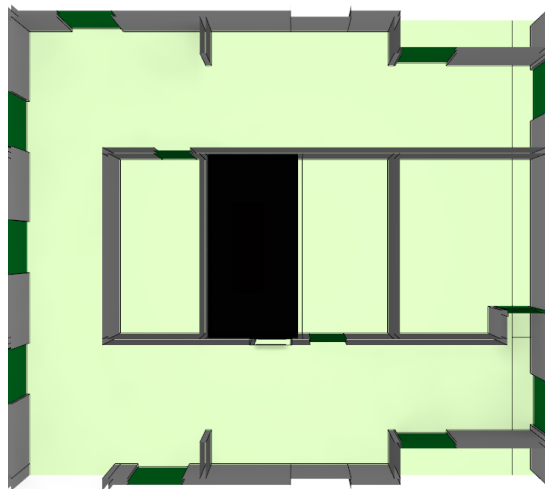
t = 3 minuti



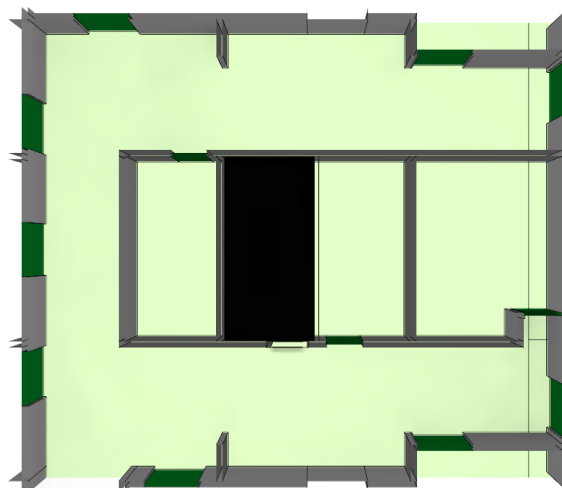
t = 4 minuti



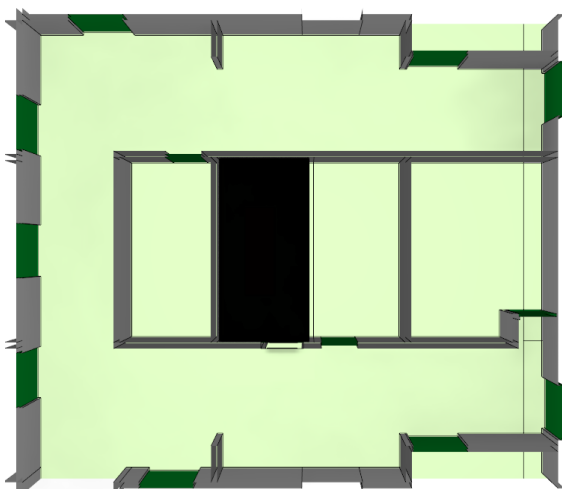
t = 5 minuti



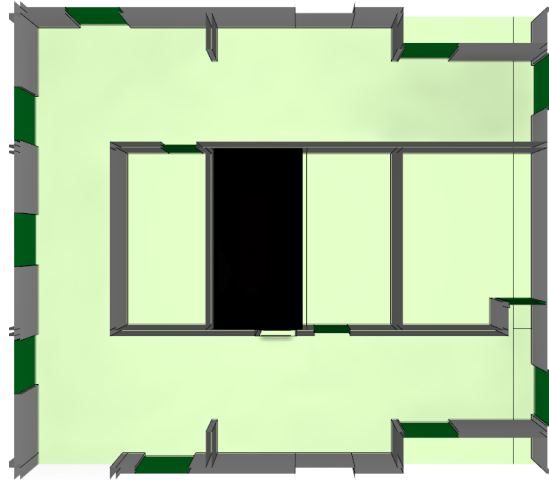
t = 6 minuti



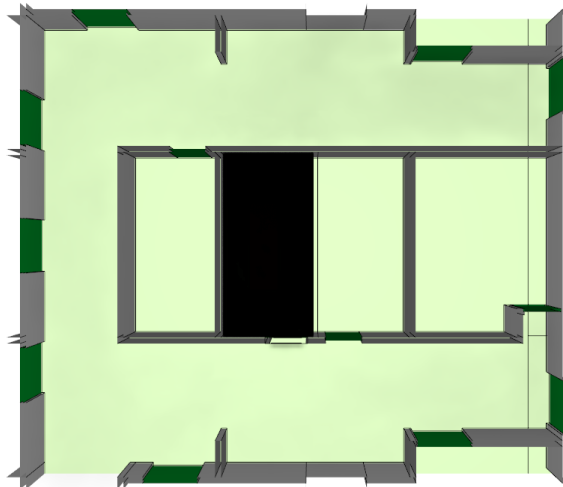
t = 7 minuti



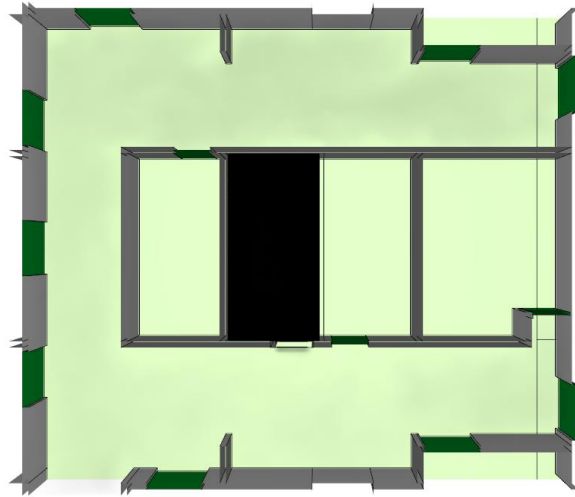
t = 8 minuti



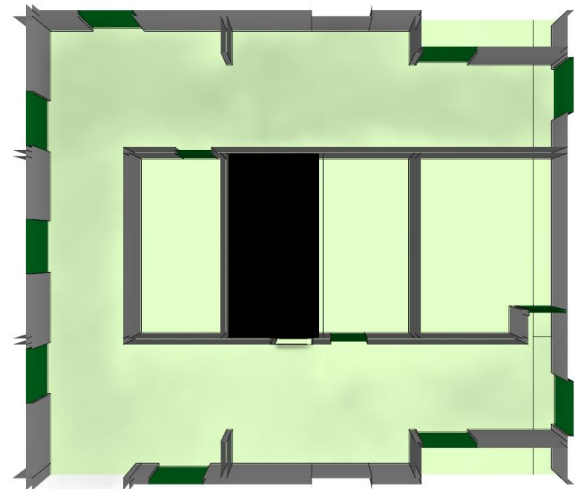
t = 9 minuti



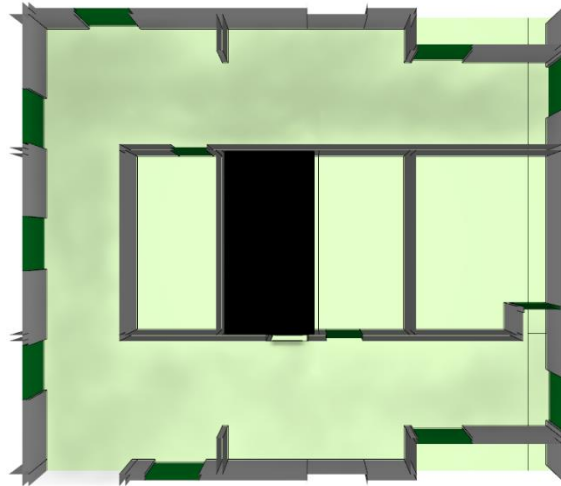
t = 10 minuti



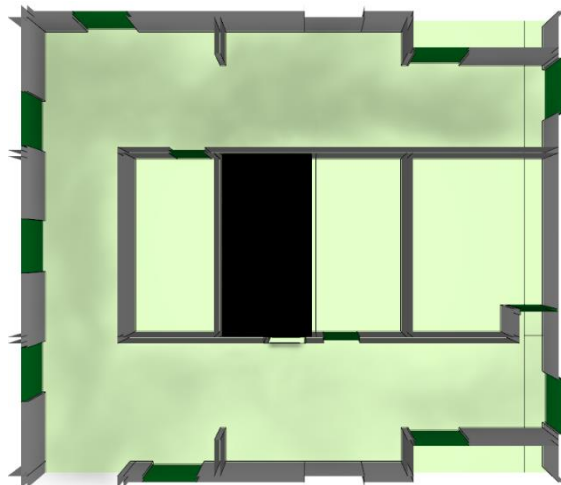
t = 11 minuti



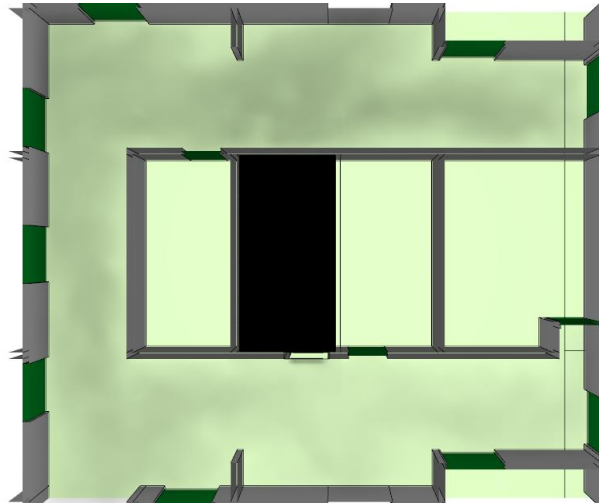
t = 12 minuti



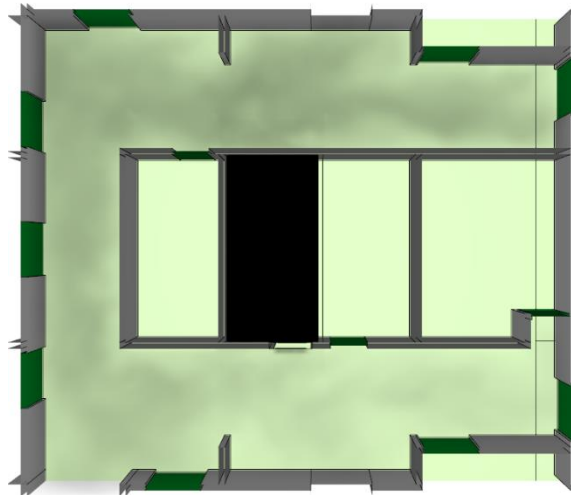
t = 13 minuti



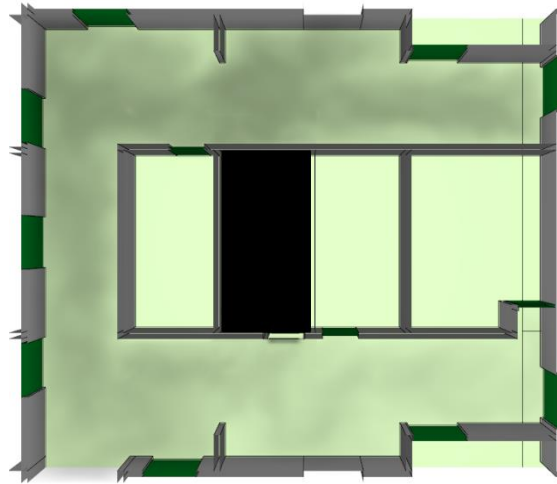
t = 14 minuti



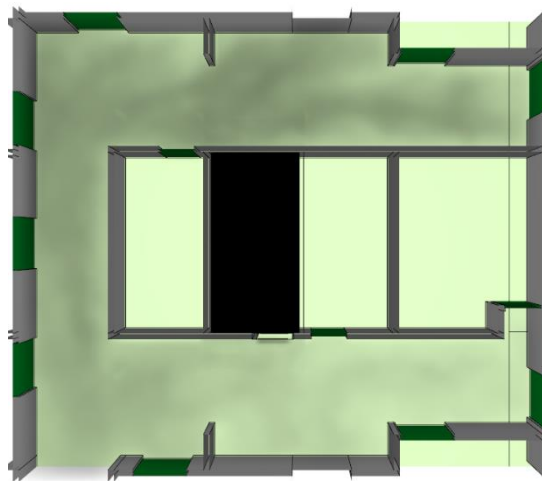
t = 15 minuti



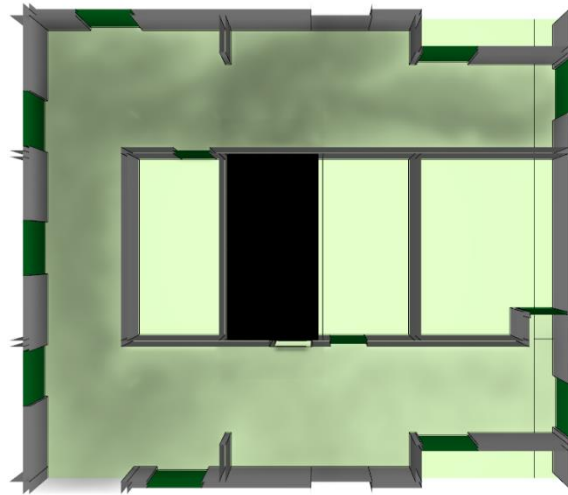
t = 16 minuti



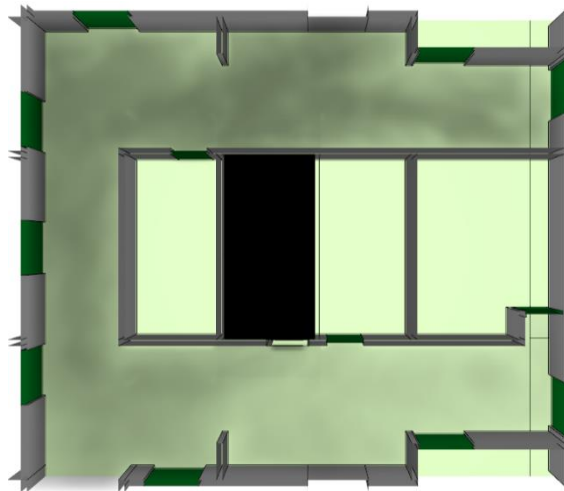
t = 17 minuti



t = 18 minuti



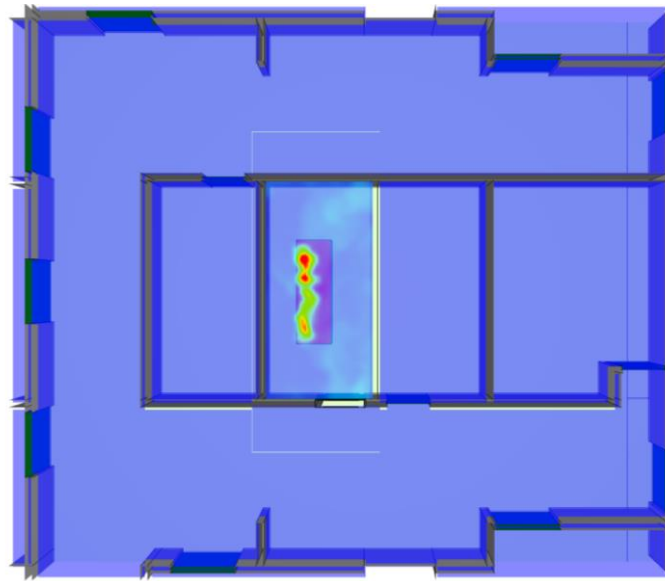
t = 19 minuti



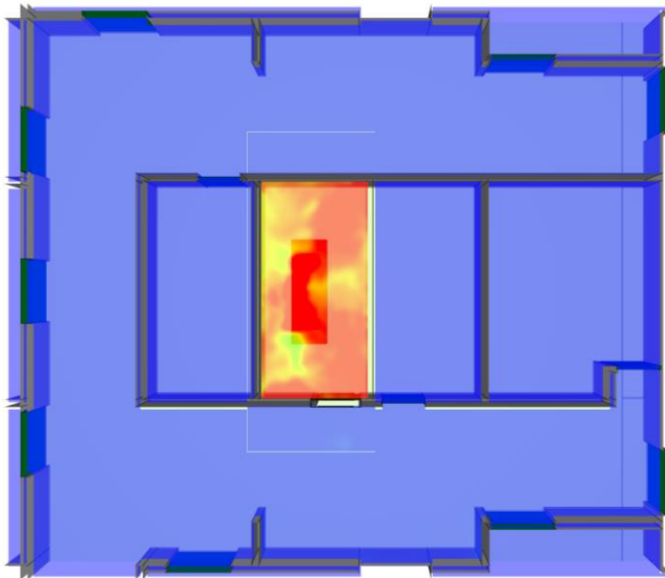
t = 20 minuti



2.3.1.2 TEMPERATURE

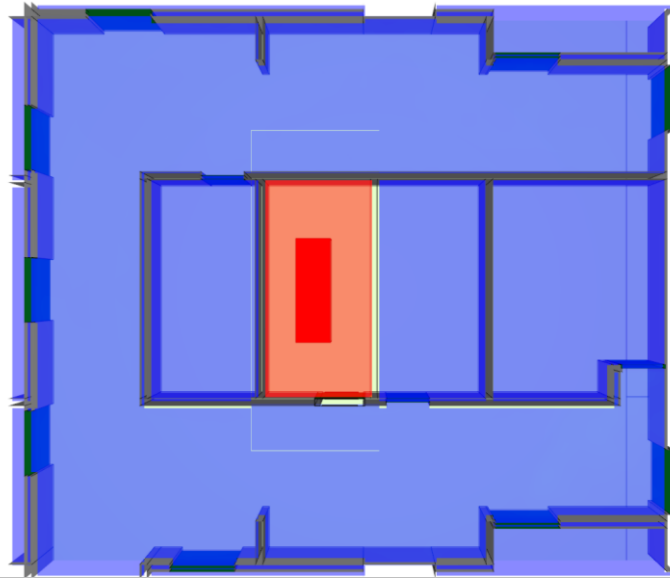


t = 1 minuto

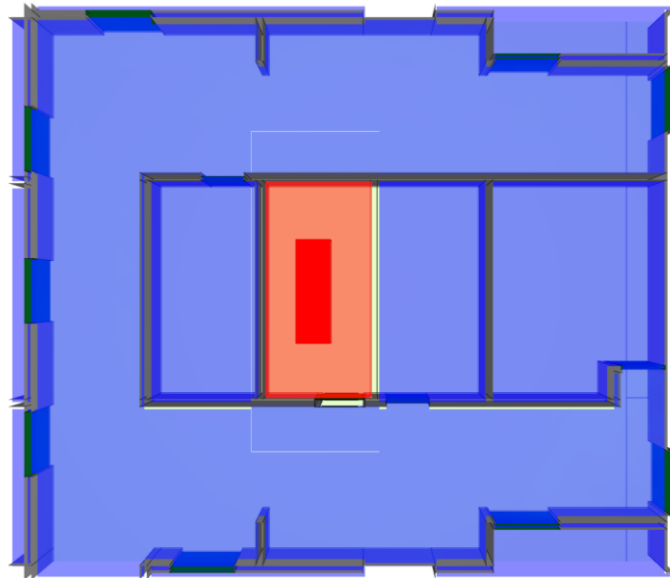


t = 2 minuti

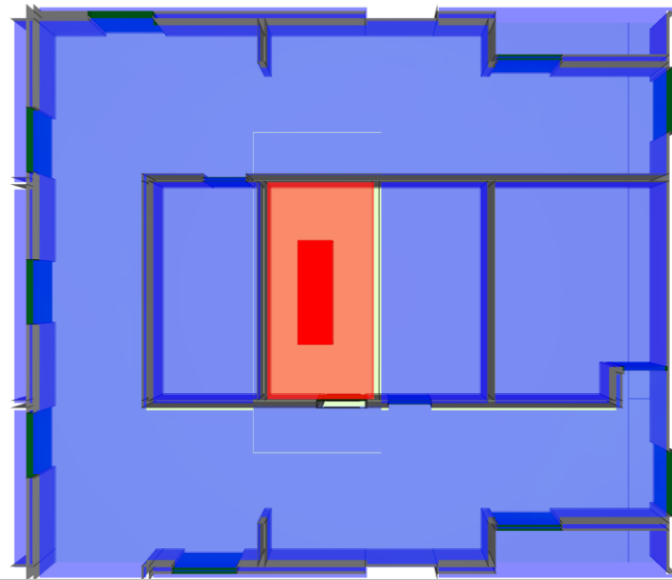




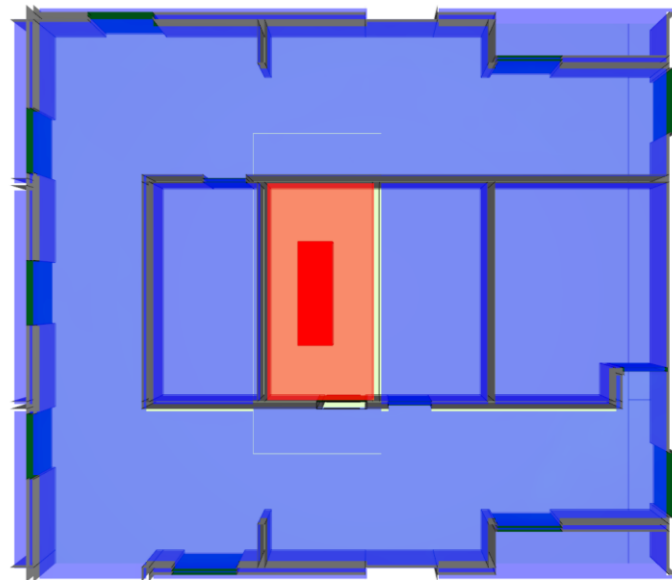
t = 3 minuti



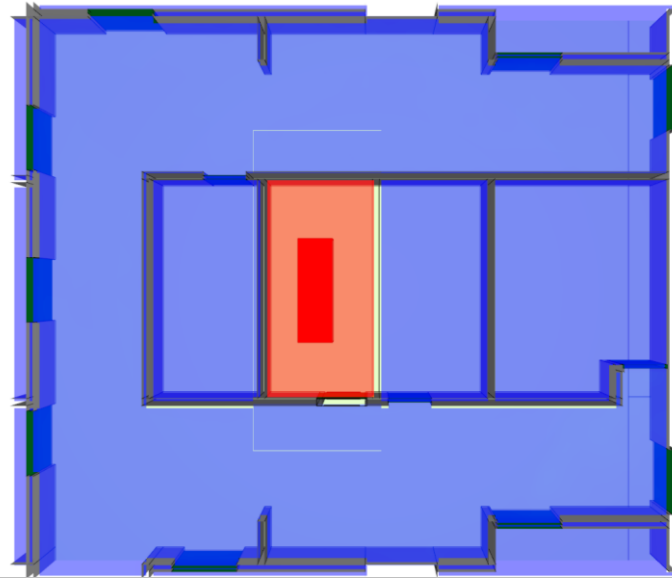
t = 4 minuti



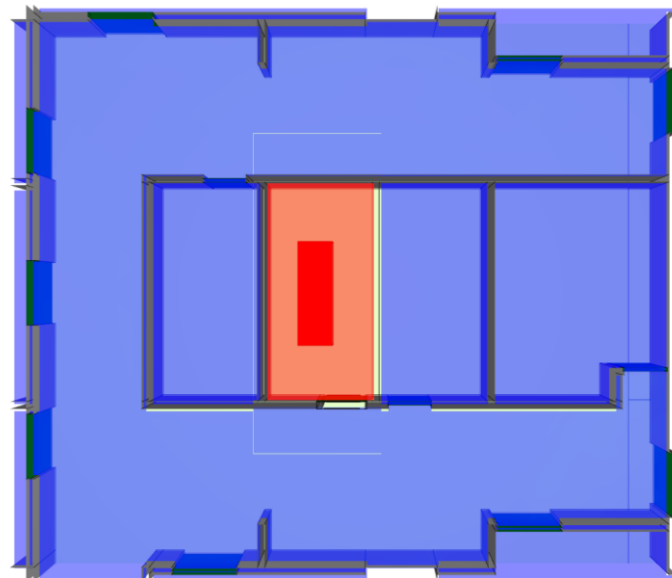
t = 5 minuti



t = 6 minuti

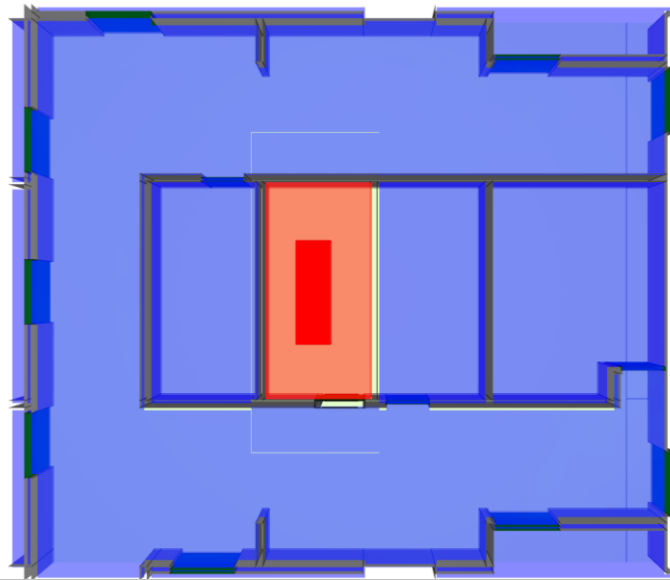


t = 7 minuti

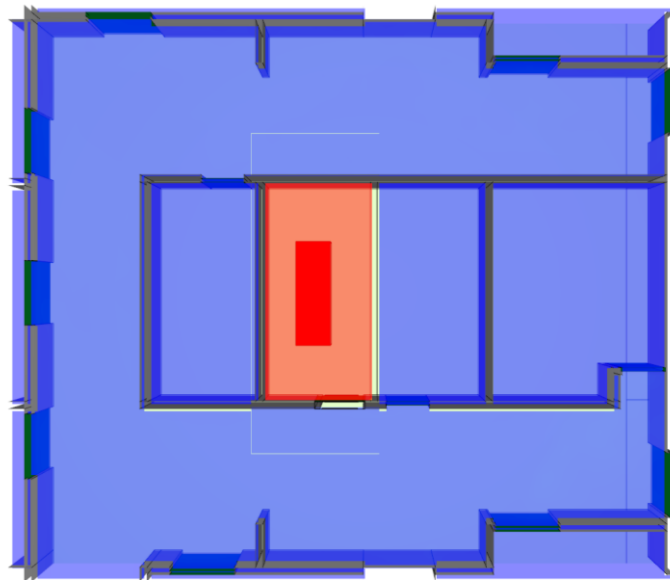


t = 8 minuti

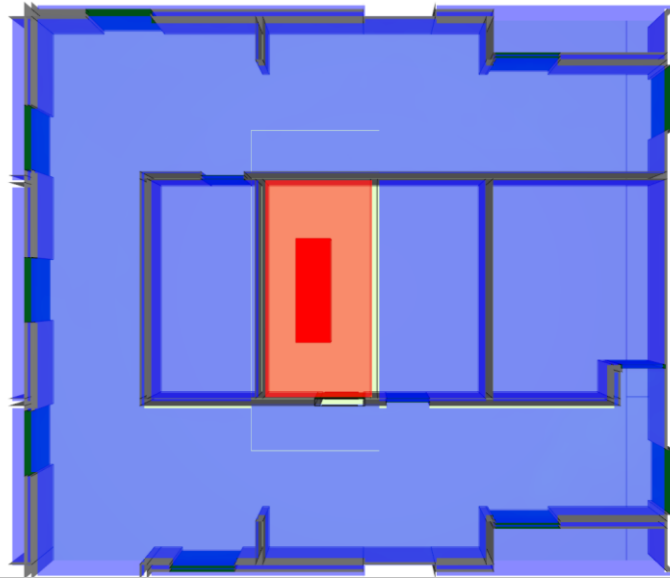




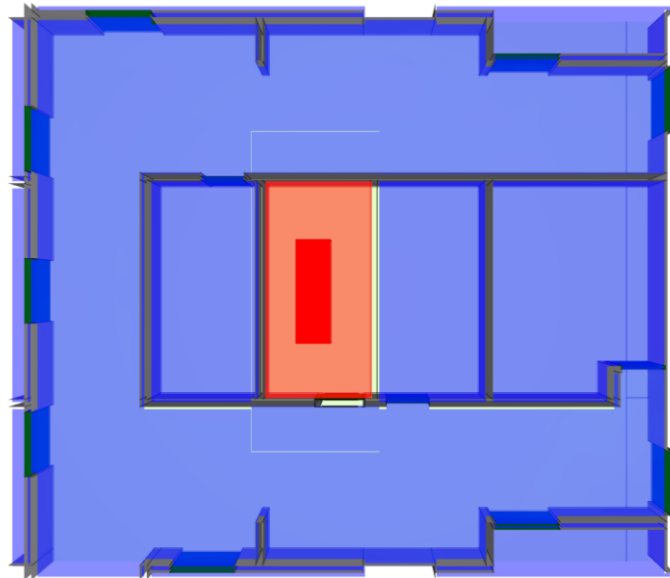
t = 9 minuti



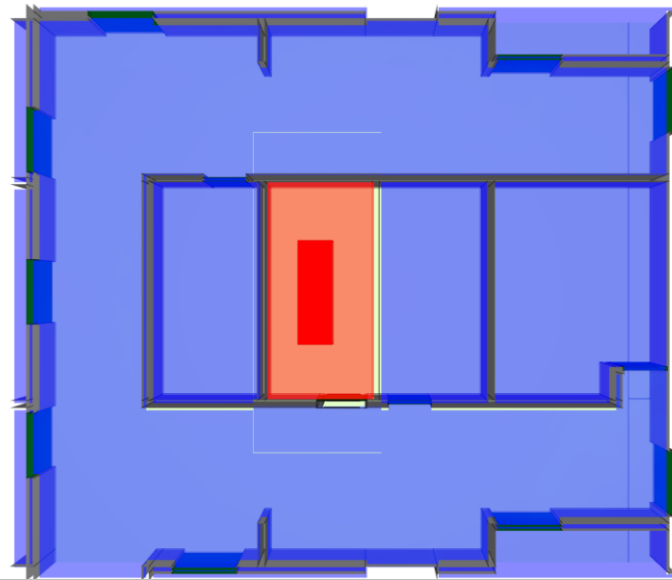
t = 10 minuti



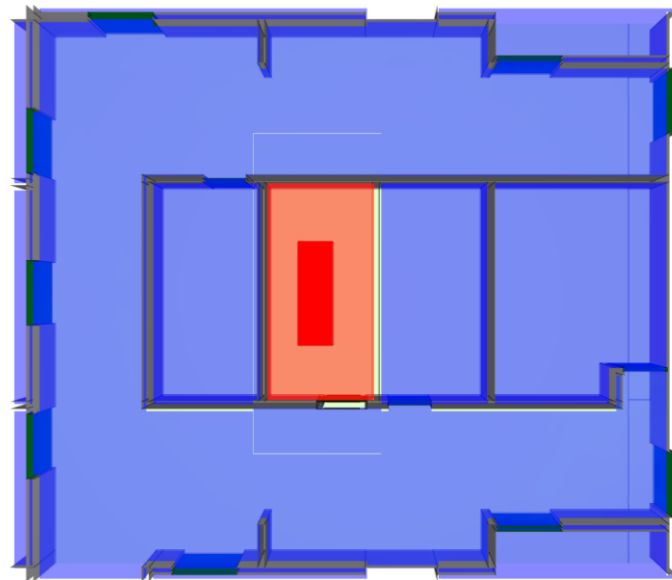
t = 11 minuti



t = 12 minuti

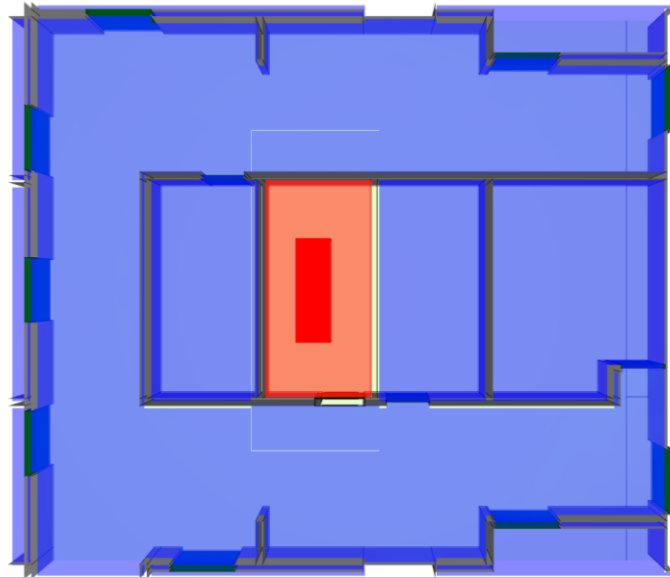


t = 13 minuti

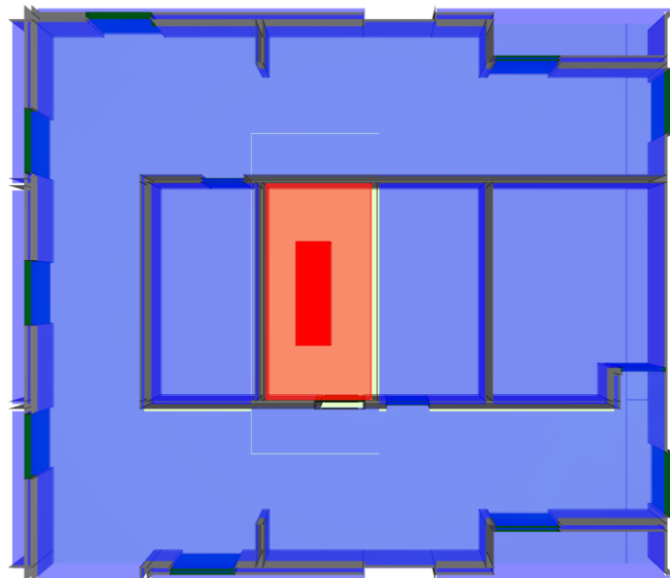


t = 14 minuti





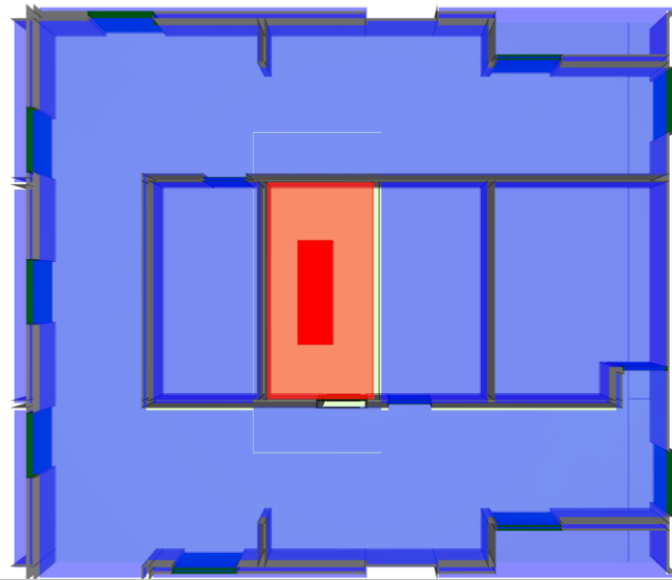
t = 15 minuti



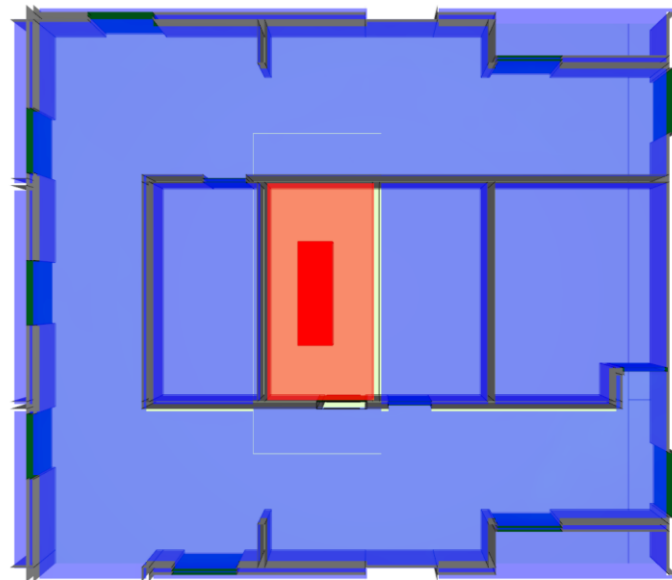
t = 16 minuti

temp
(C)

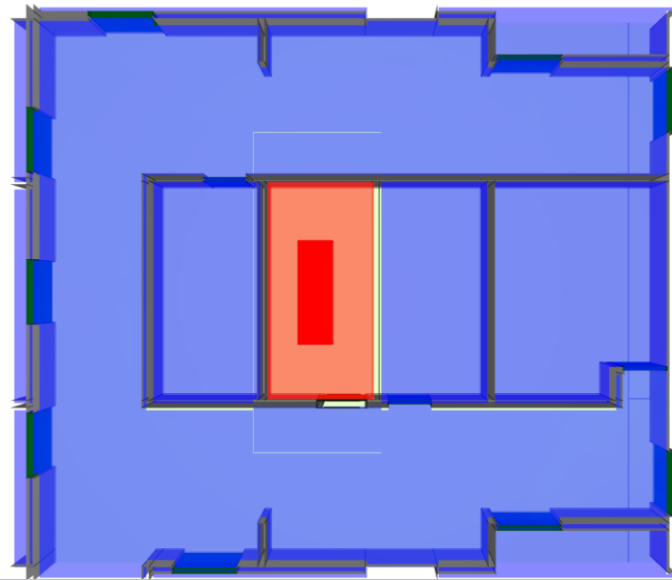




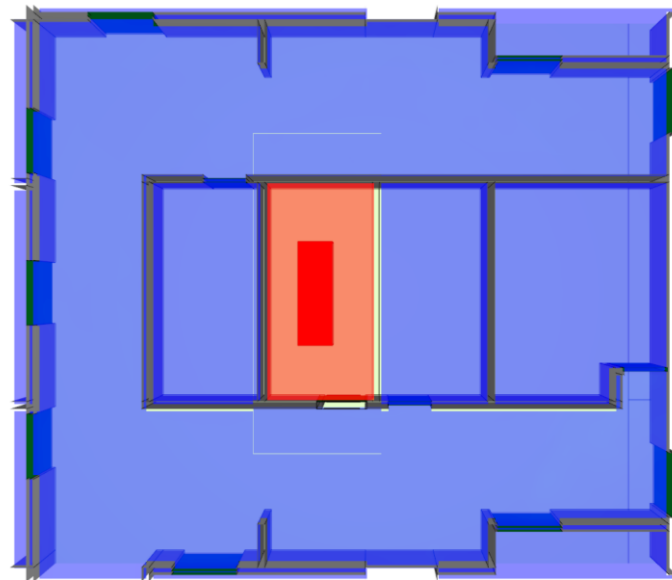
t = 17 minuti



t = 18 minuti



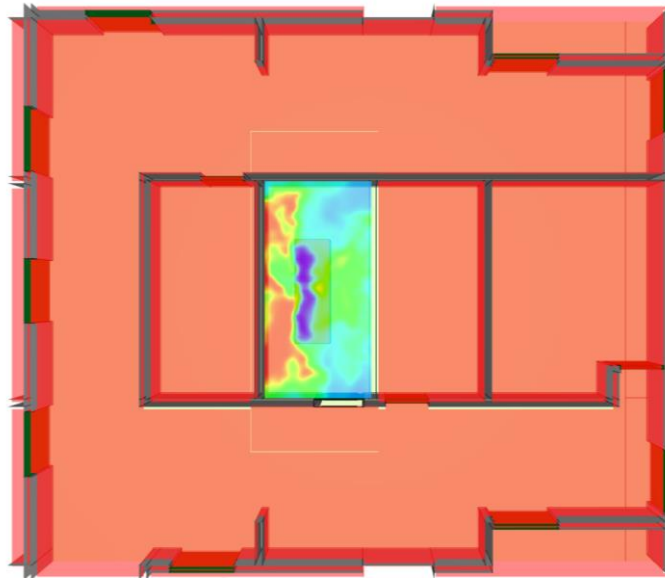
t = 19 minuti



t = 20 minuti



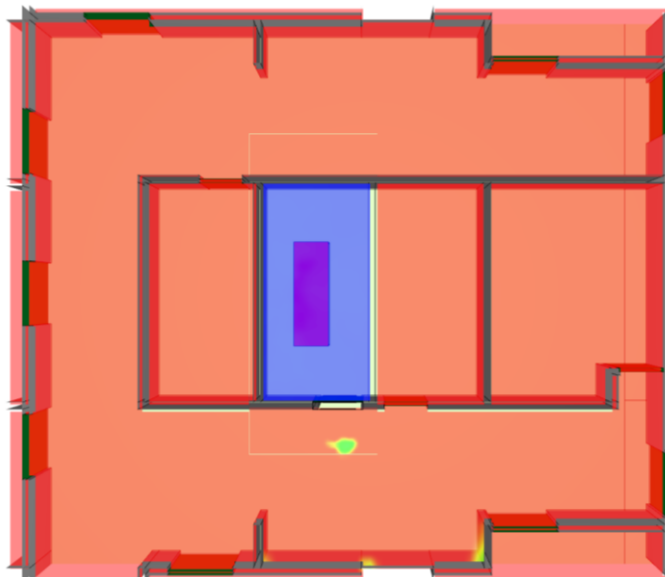
2.3.1.3 VISIBILITÀ



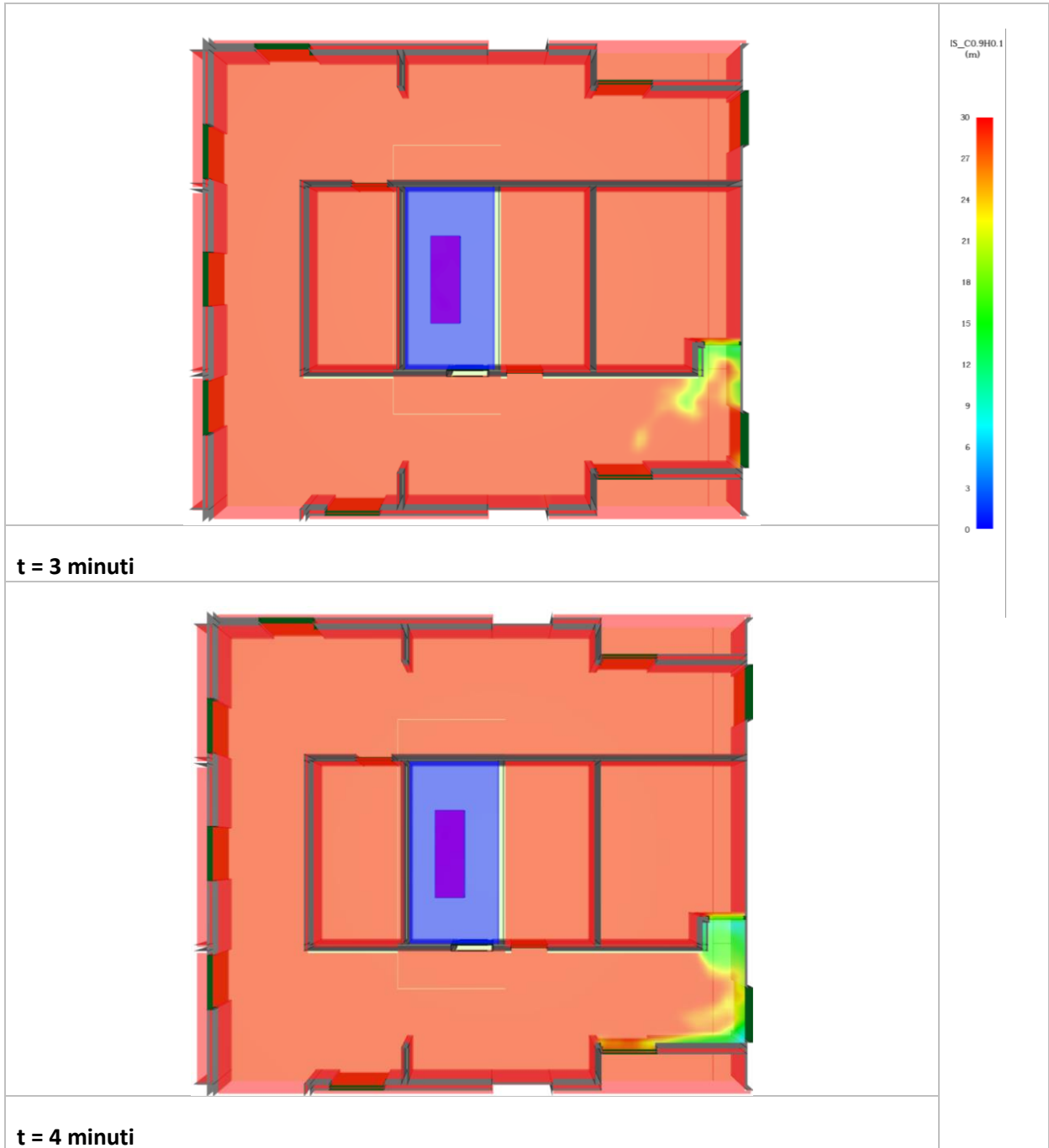
IS_C0.9H0.1
(m)

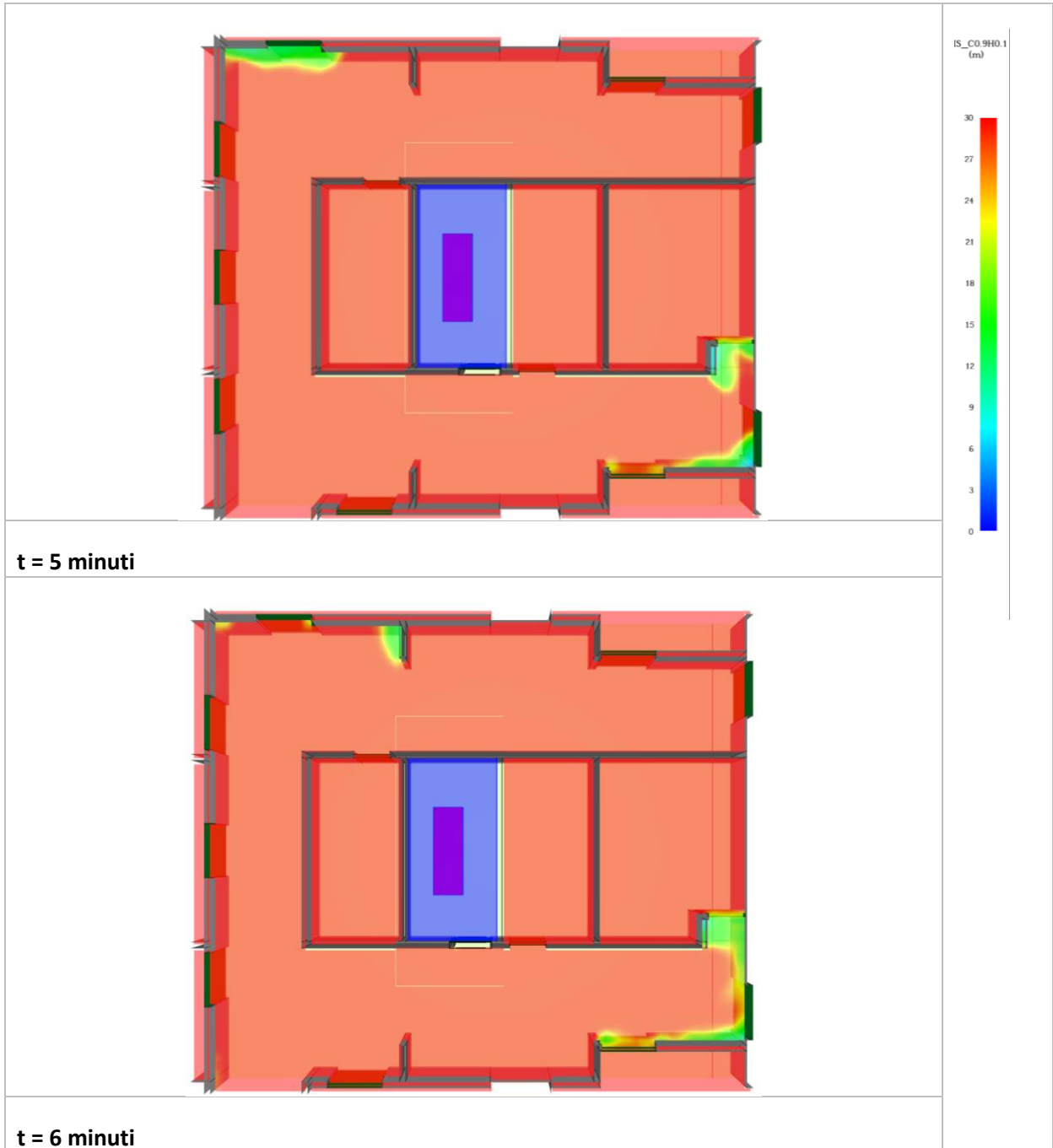


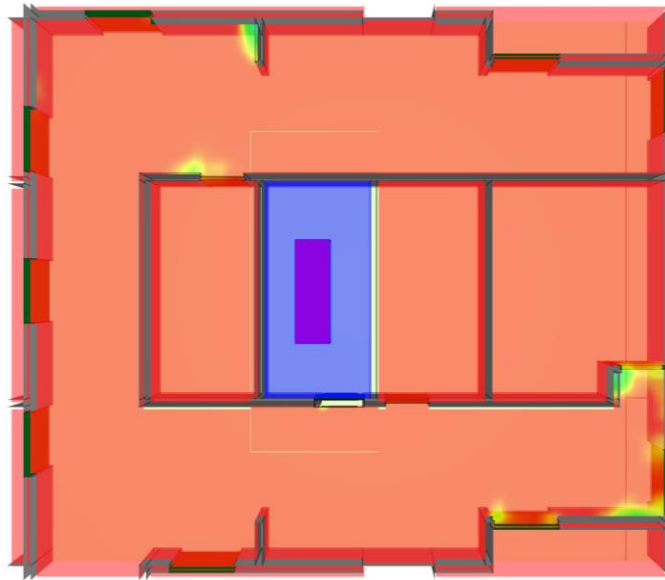
t = 1 minuto



t = 2 minuti



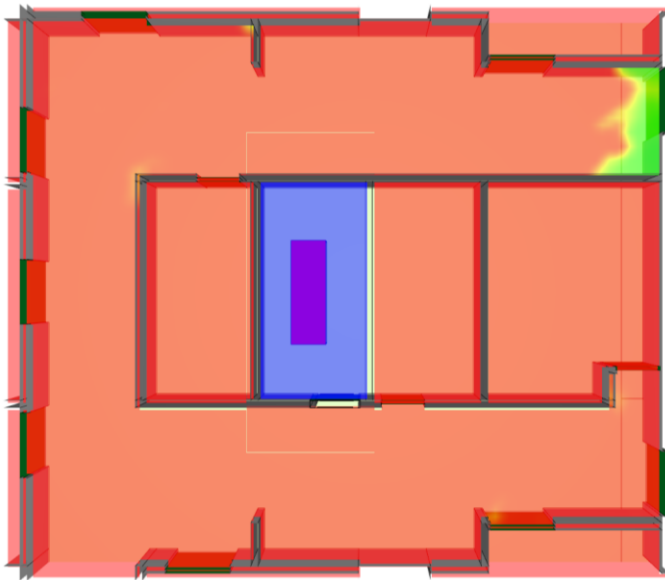




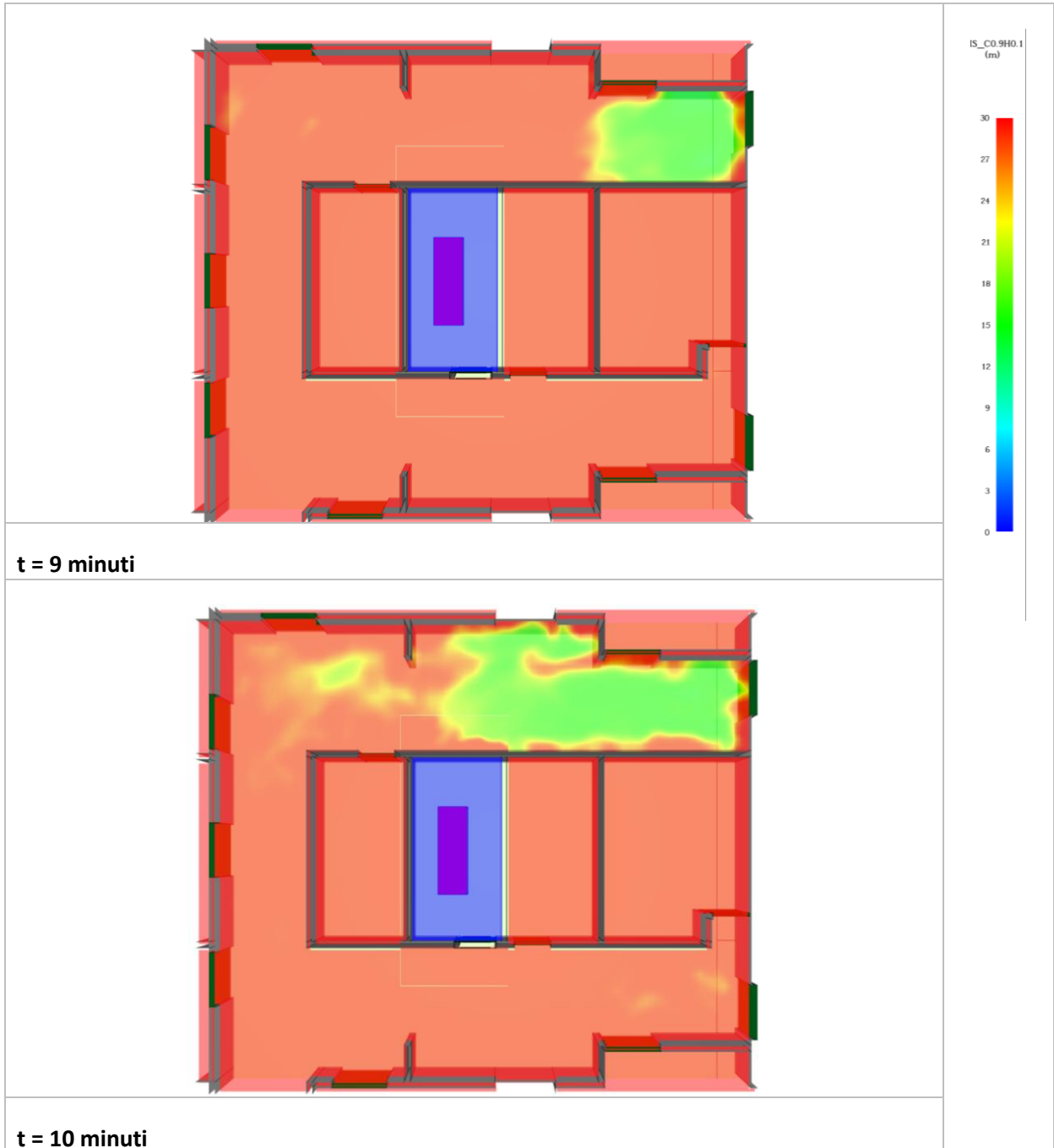
IS_C0.9H0.1
(m)

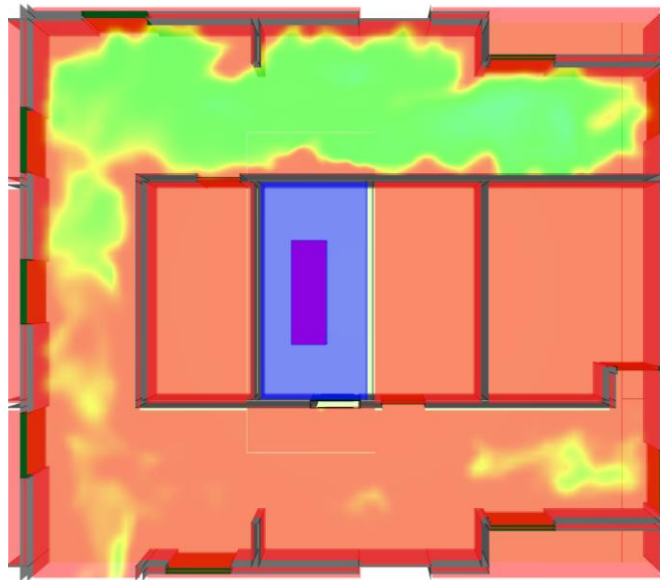


t = 7 minuti

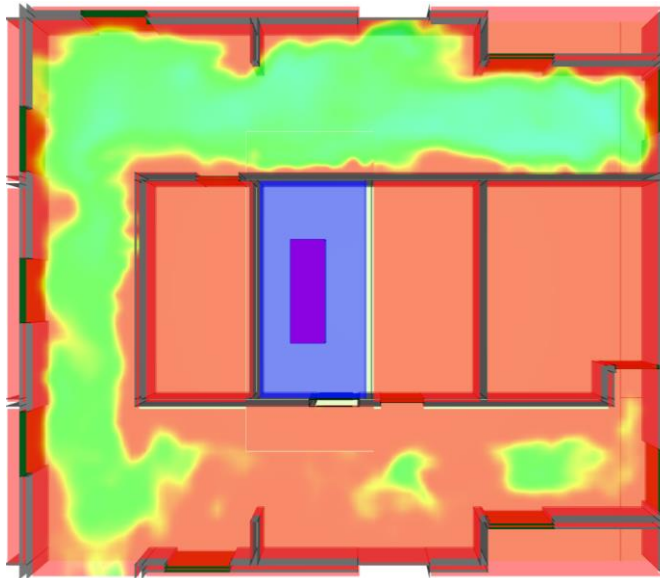


t = 8 minuti

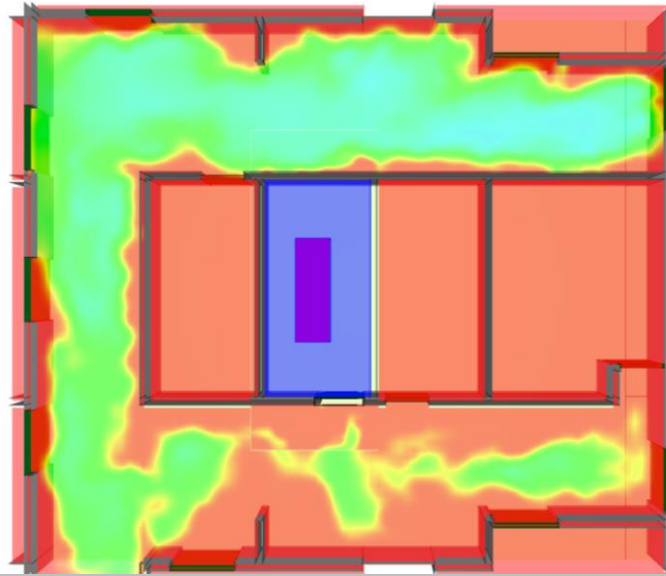




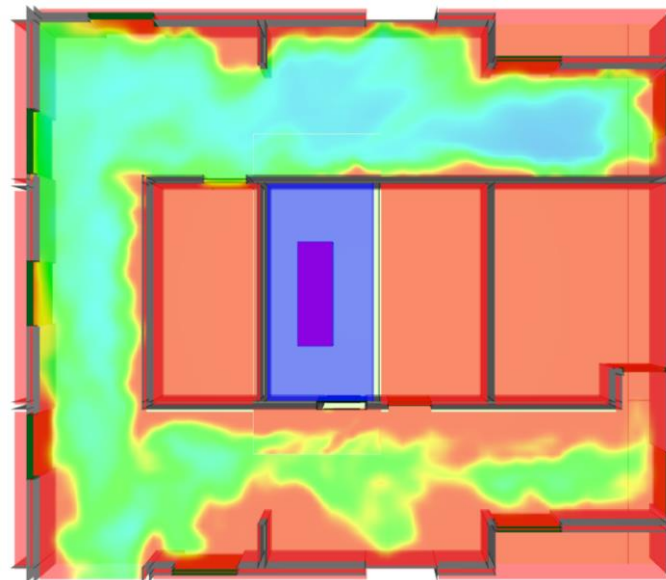
t = 11 minuti



t = 12 minuti



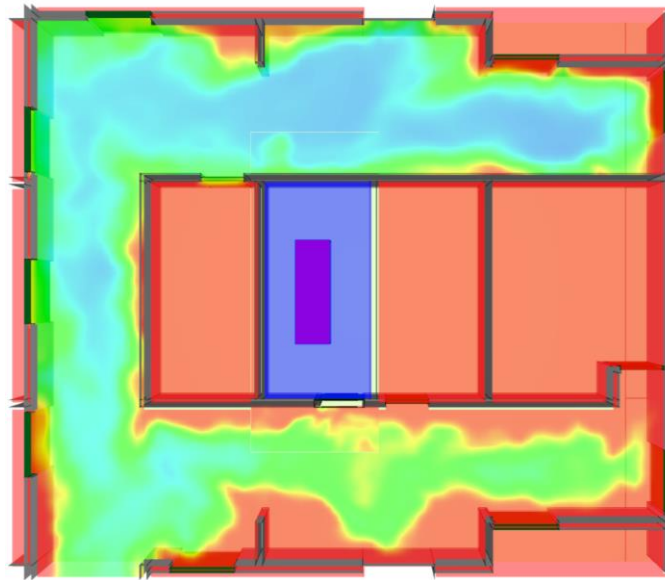
t = 13 minuti



t = 14 minuti

IS_CO.9H0.1
(m)

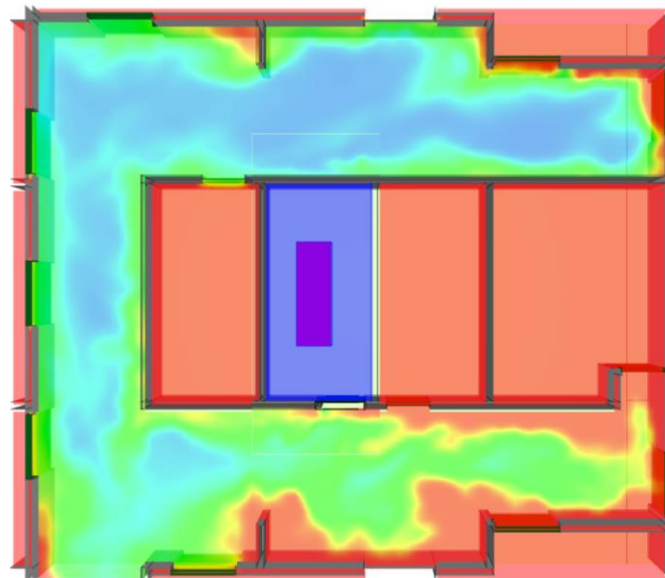




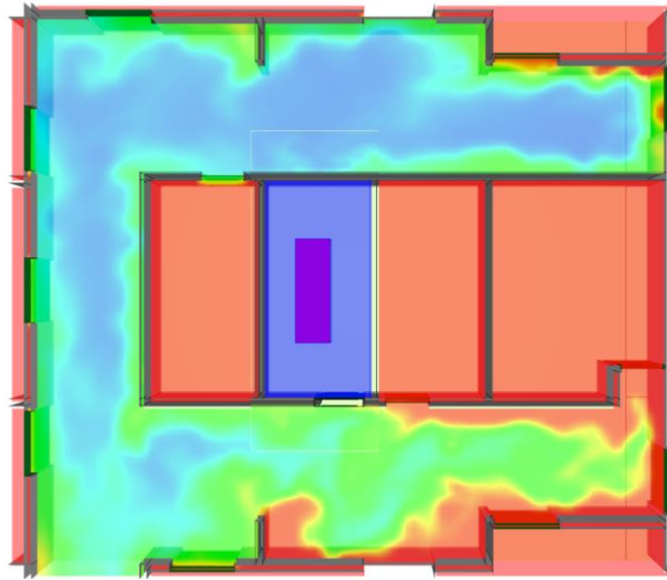
IS_CO.9H0.1
(m)



t = 15 minuti



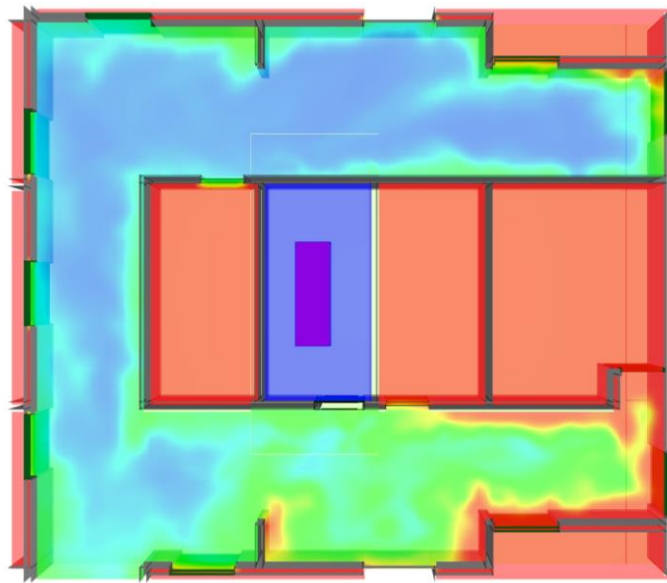
t = 16 minuti



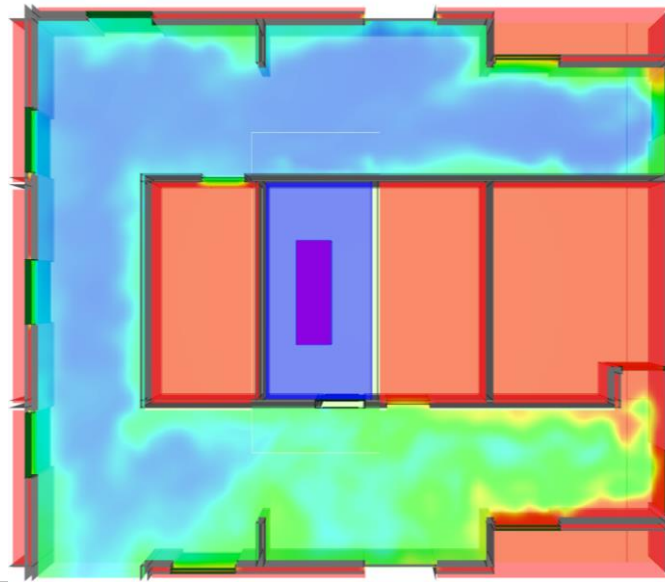
IS_CO.9H0.1
(m)



t = 17 minuti



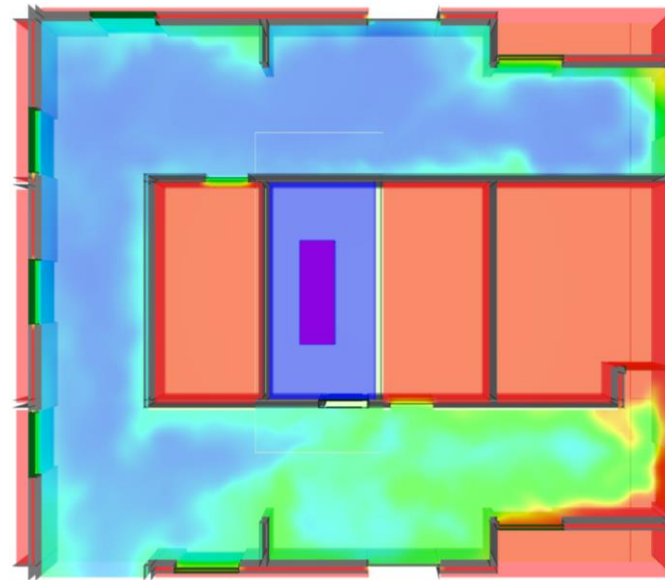
t = 18 minuti



IS_CO.9H0.1
(m)



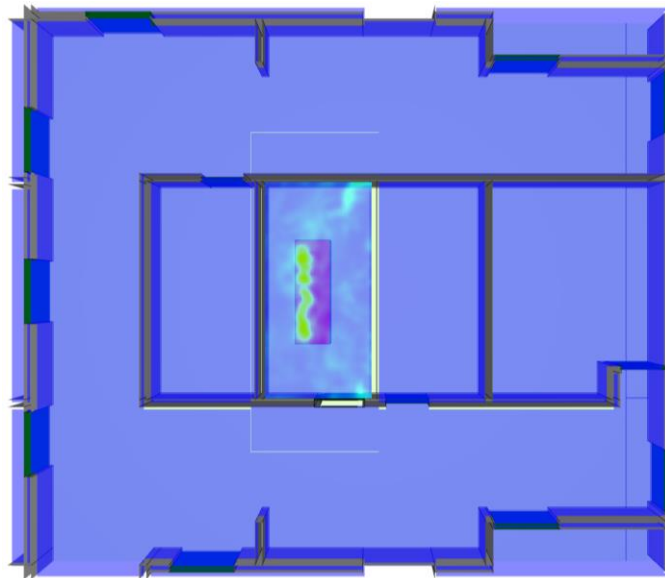
t = 19 minuti



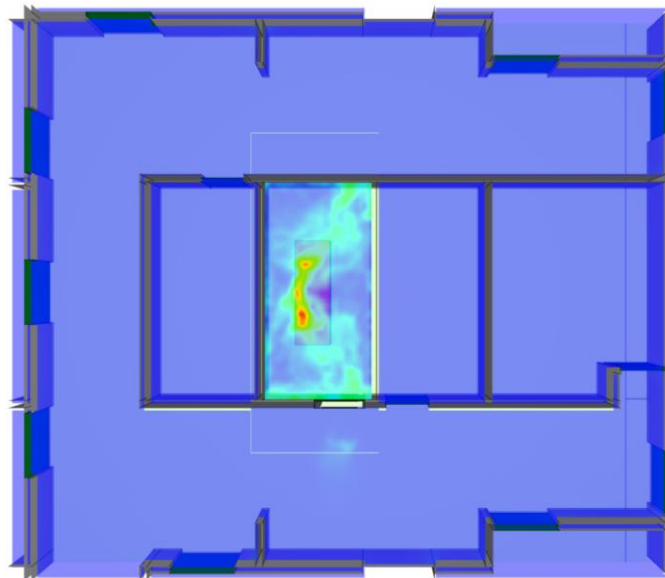
t = 20 minuti



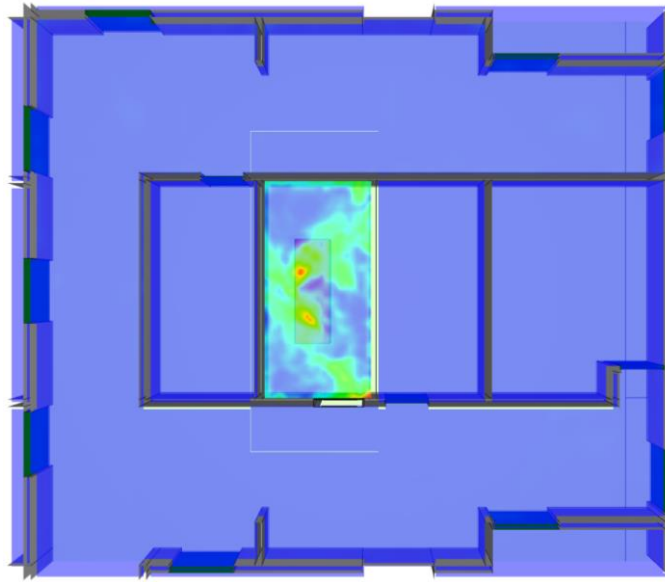
2.3.1.4 VELOCITÀ



t = 1 minuto



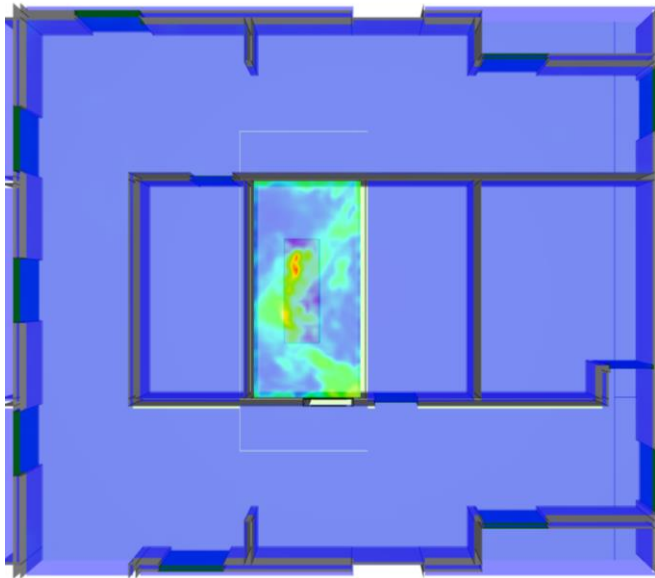
t = 2 minuti



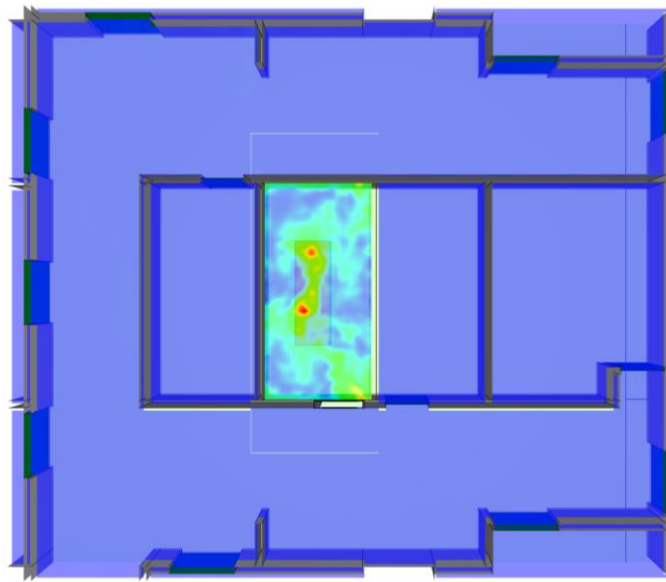
vel
(m/s)



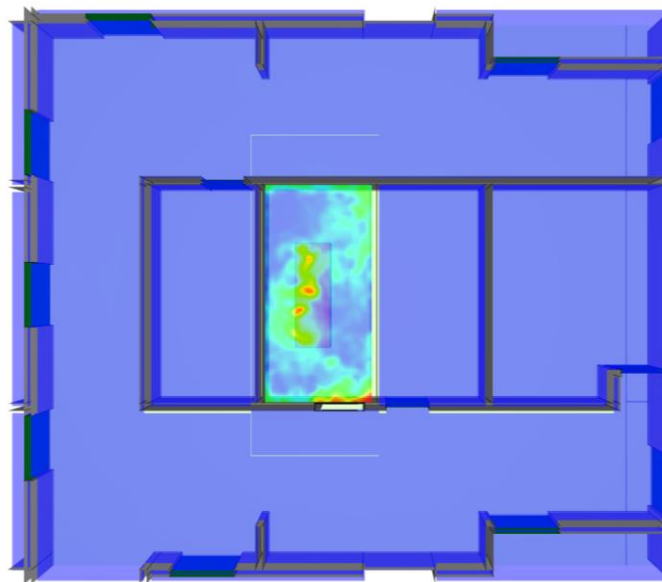
t = 3 minuti



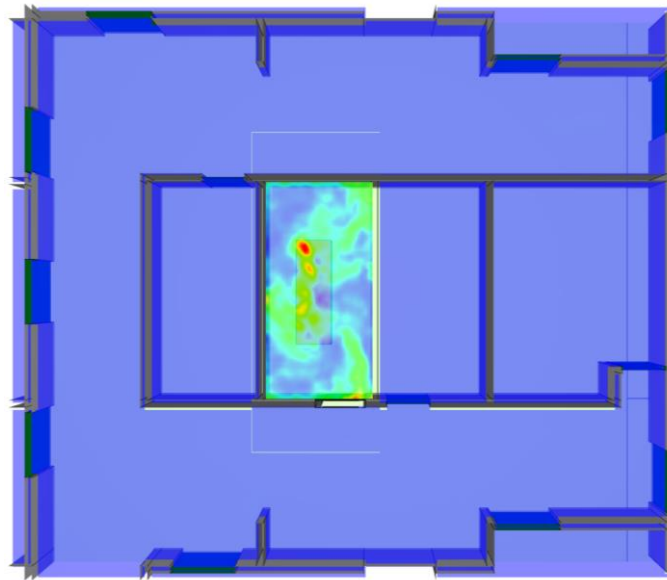
t = 4 minuti



t = 5 minuti



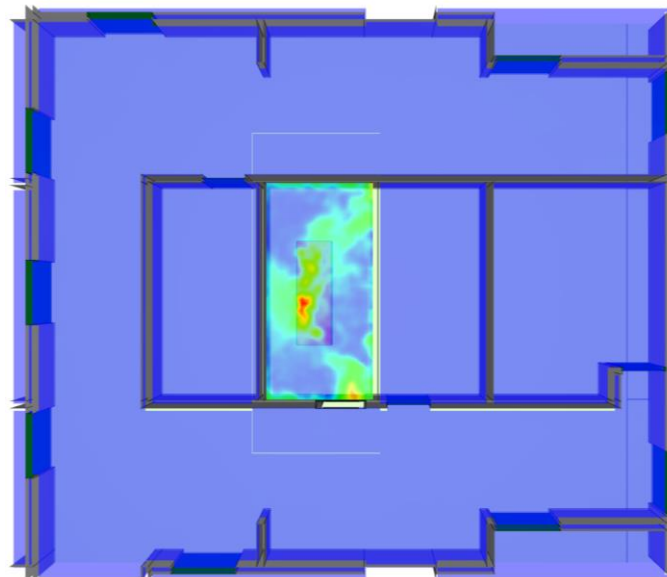
t = 6 minuti



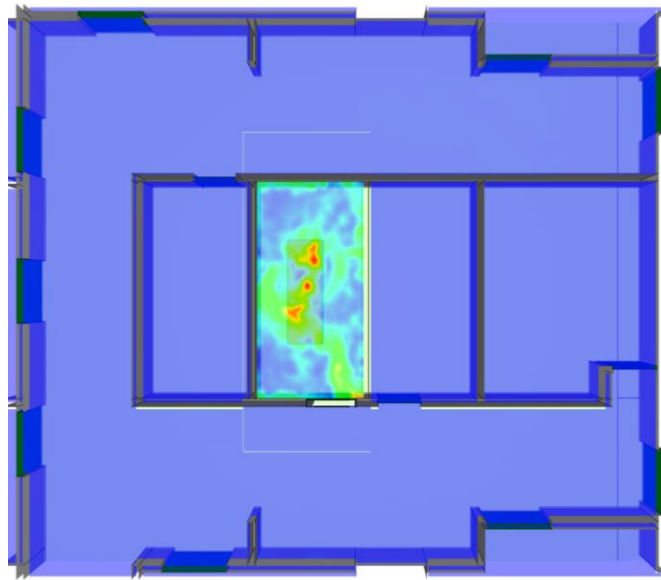
vel
(m/s)



t = 7 minuti



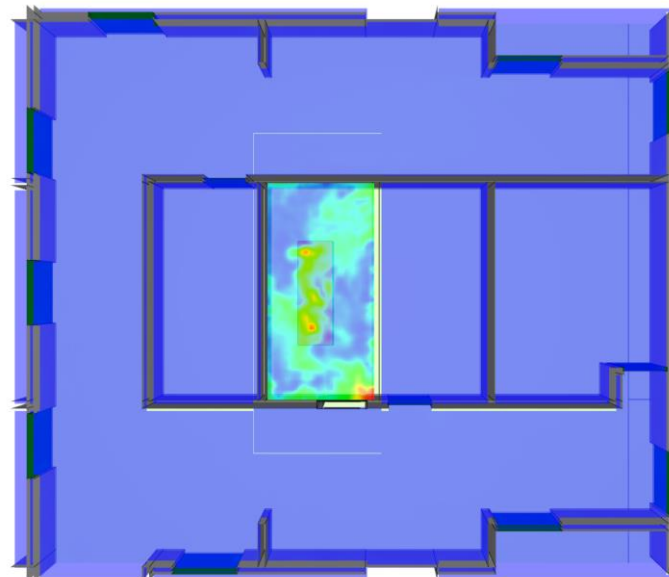
t = 8 minuti



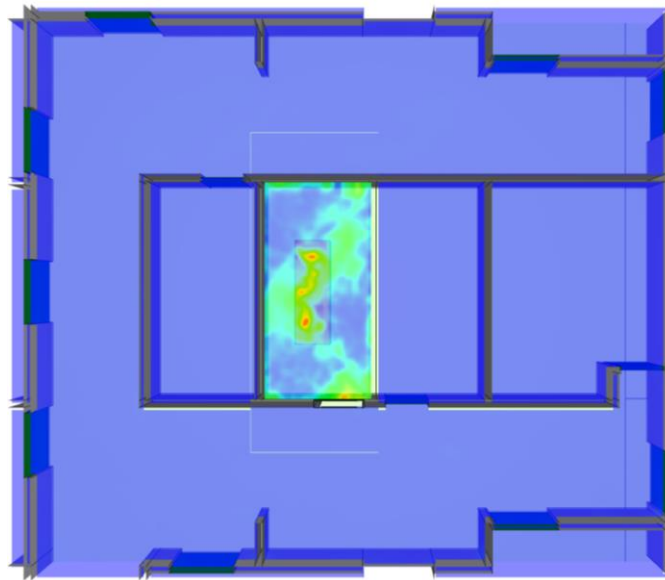
vel
(m/s)



t = 9 minuti



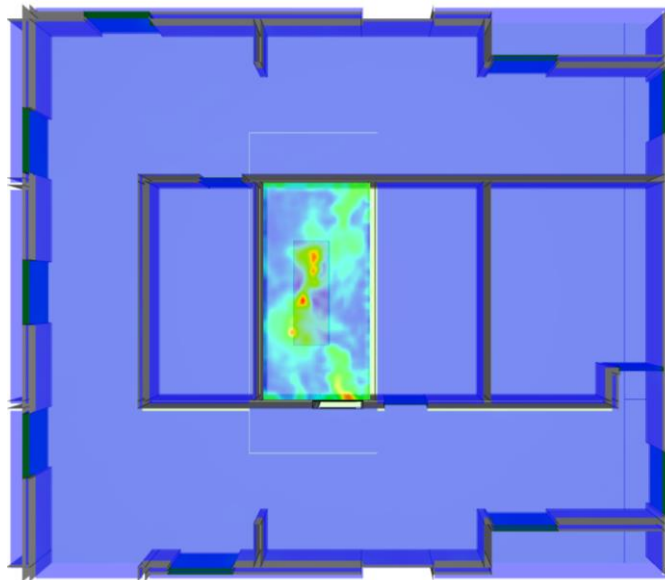
t = 10 minuti



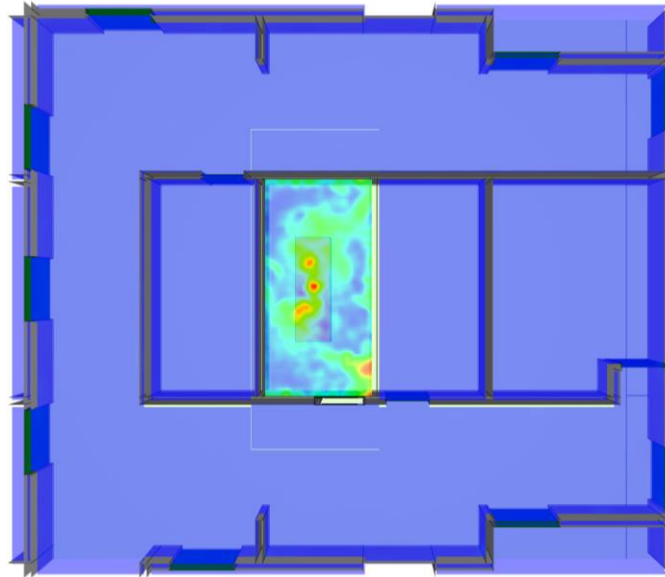
vel
(m/s)



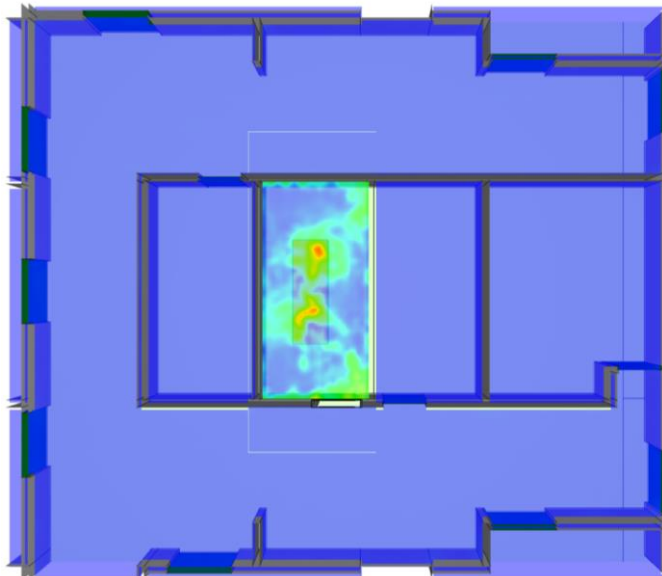
t = 11 minuti



t = 12 minuti



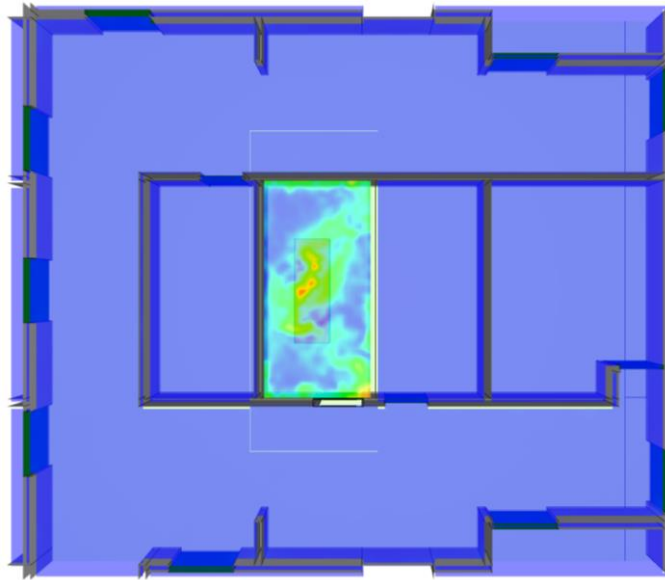
t = 13 minuti



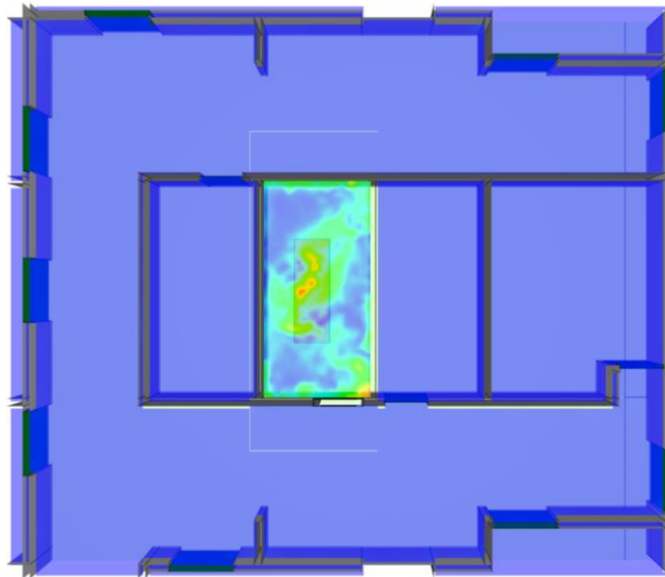
t = 14 minuti

vel
(m/s)





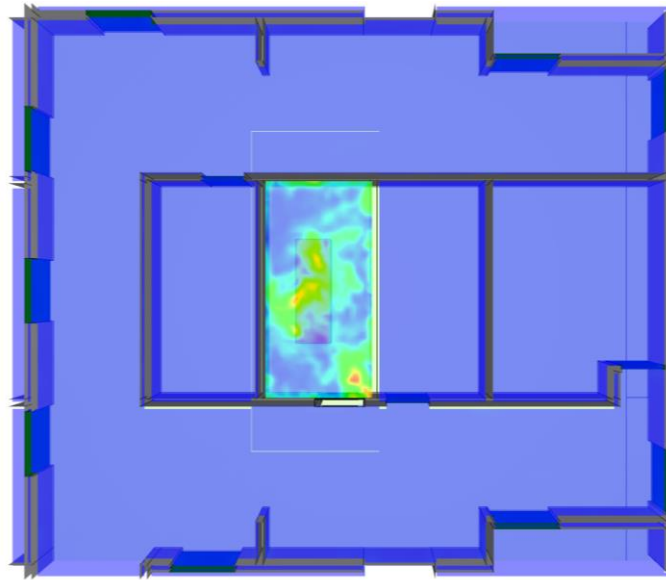
t = 15 minuti



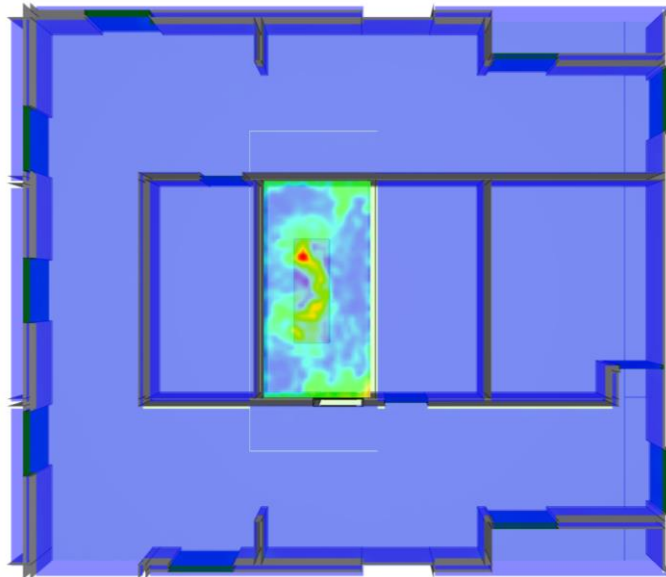
t = 16 minuti

vel
(m/s)

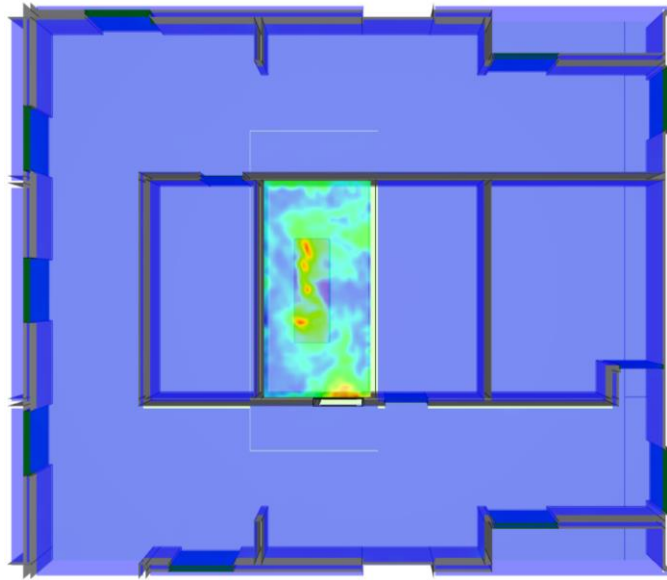




t = 17 minuti



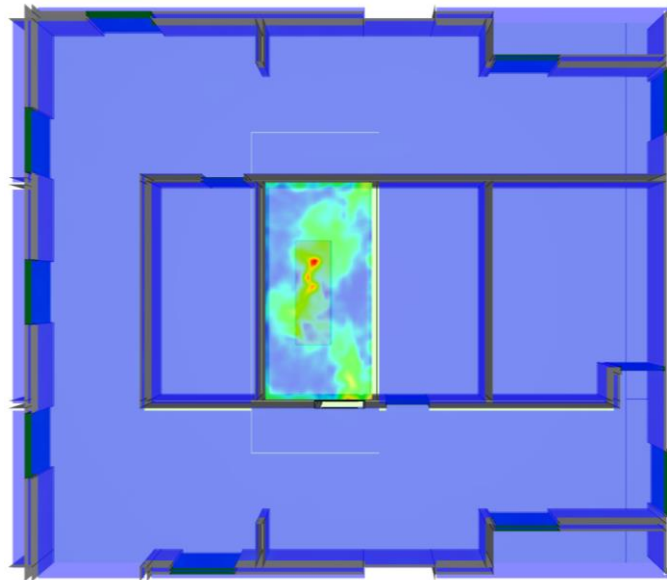
t = 18 minuti



vel
(m/s)



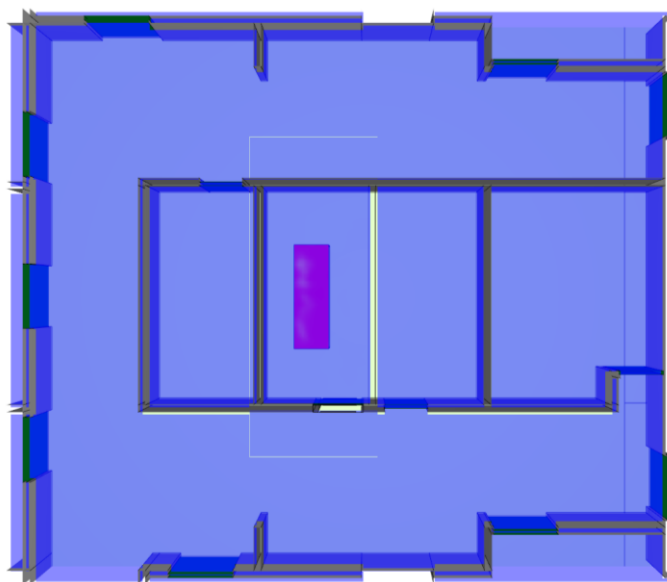
t = 19 minuti



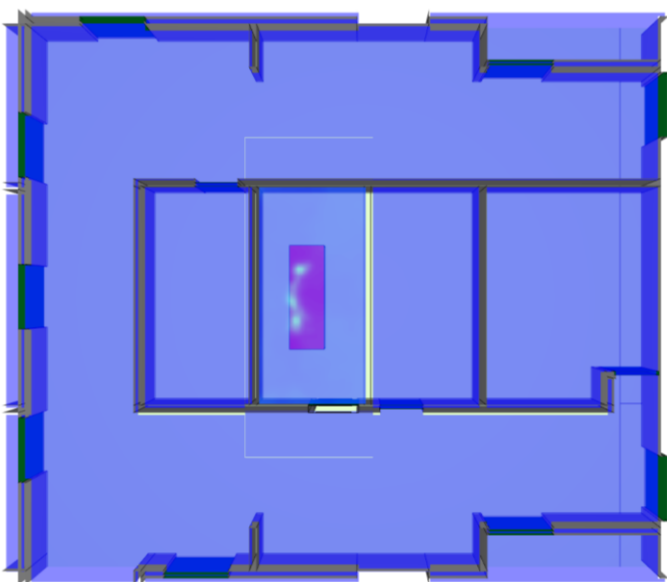
t = 20 minuti



2.3.1.5 CONCENTRAZIONE CO



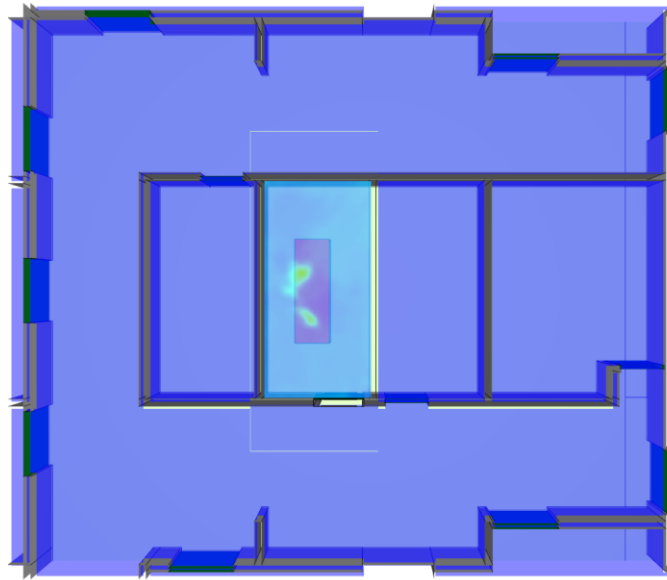
t = 1 minuto



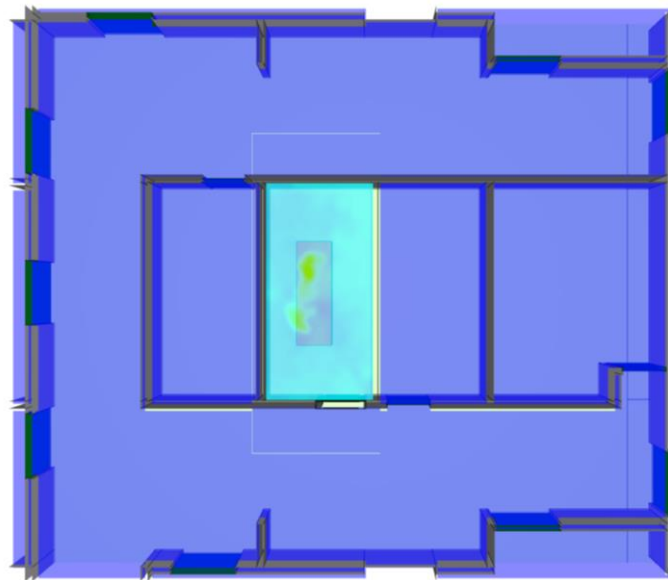
t = 2 minuti

X_CO
(mol/mol)

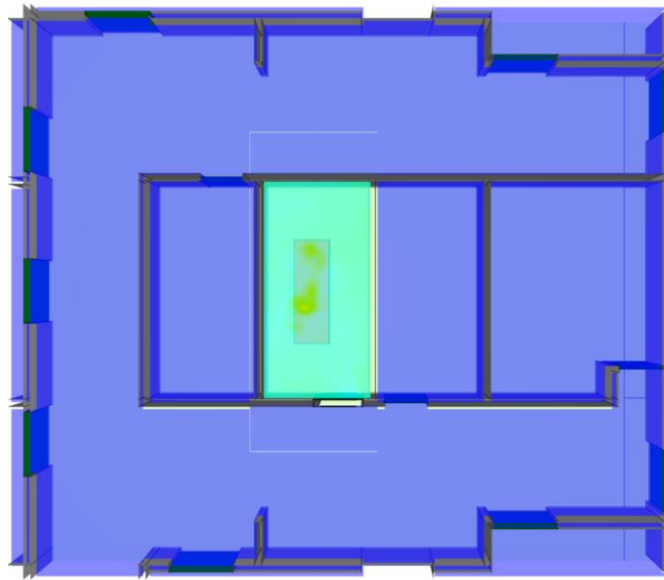




t = 3 minuti



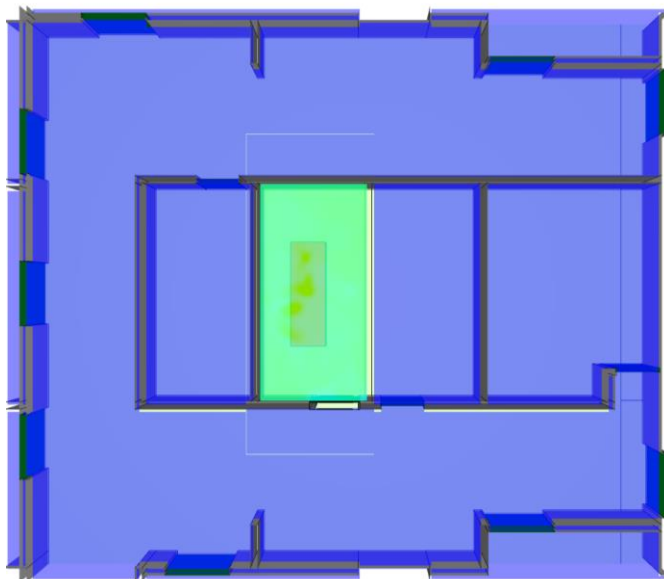
t = 4 minuti



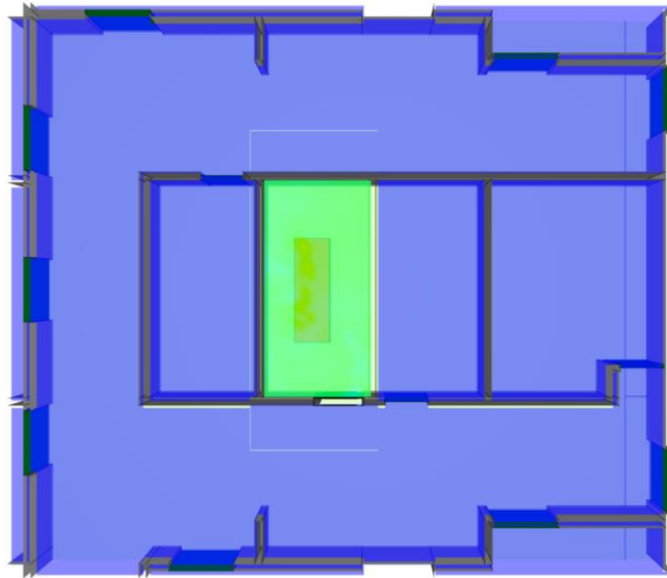
X_CO
(mol/mol)



t = 5 minuti



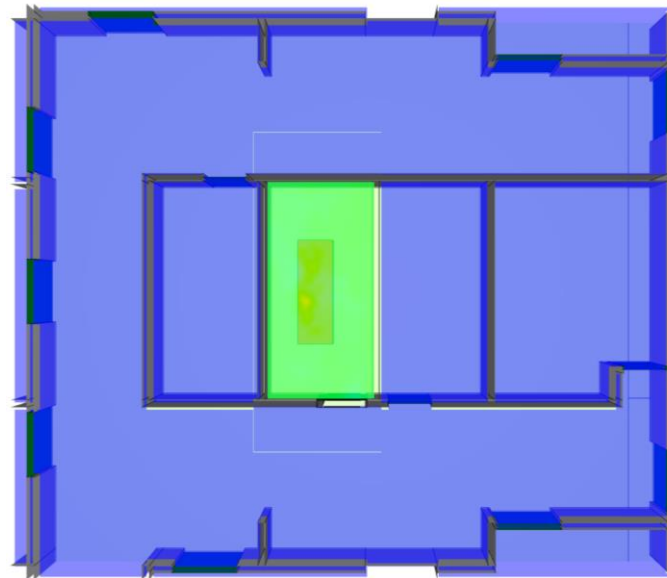
t = 6 minuti



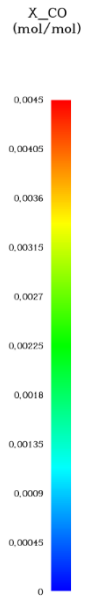
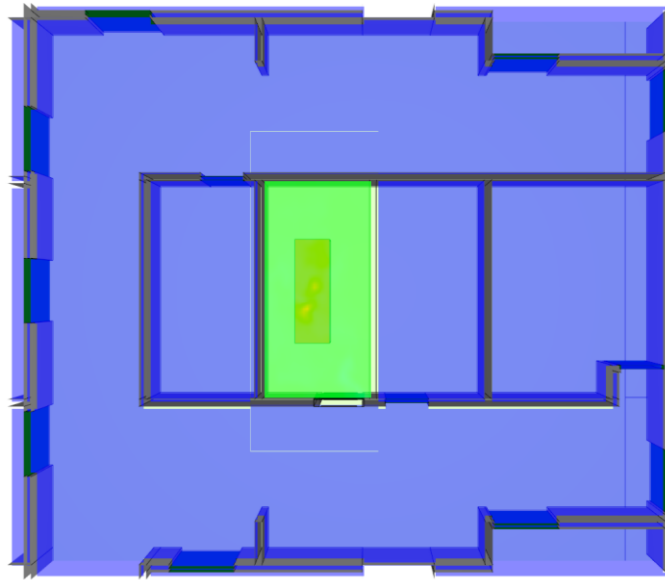
X_CO
(mol/mol)



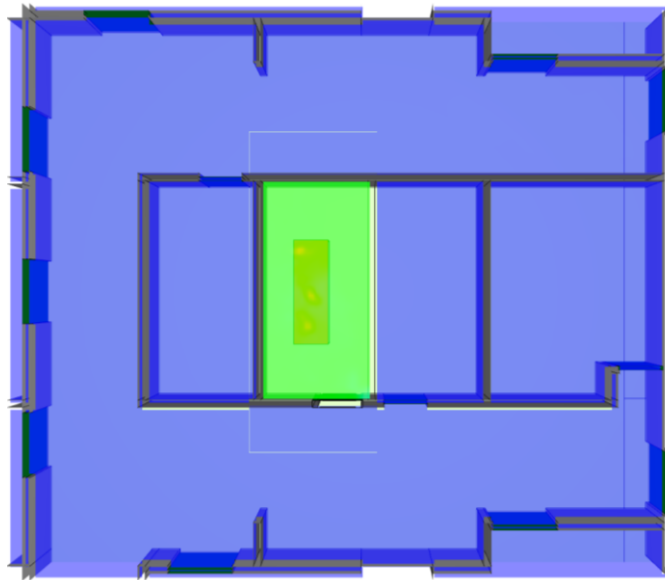
t = 7 minuti



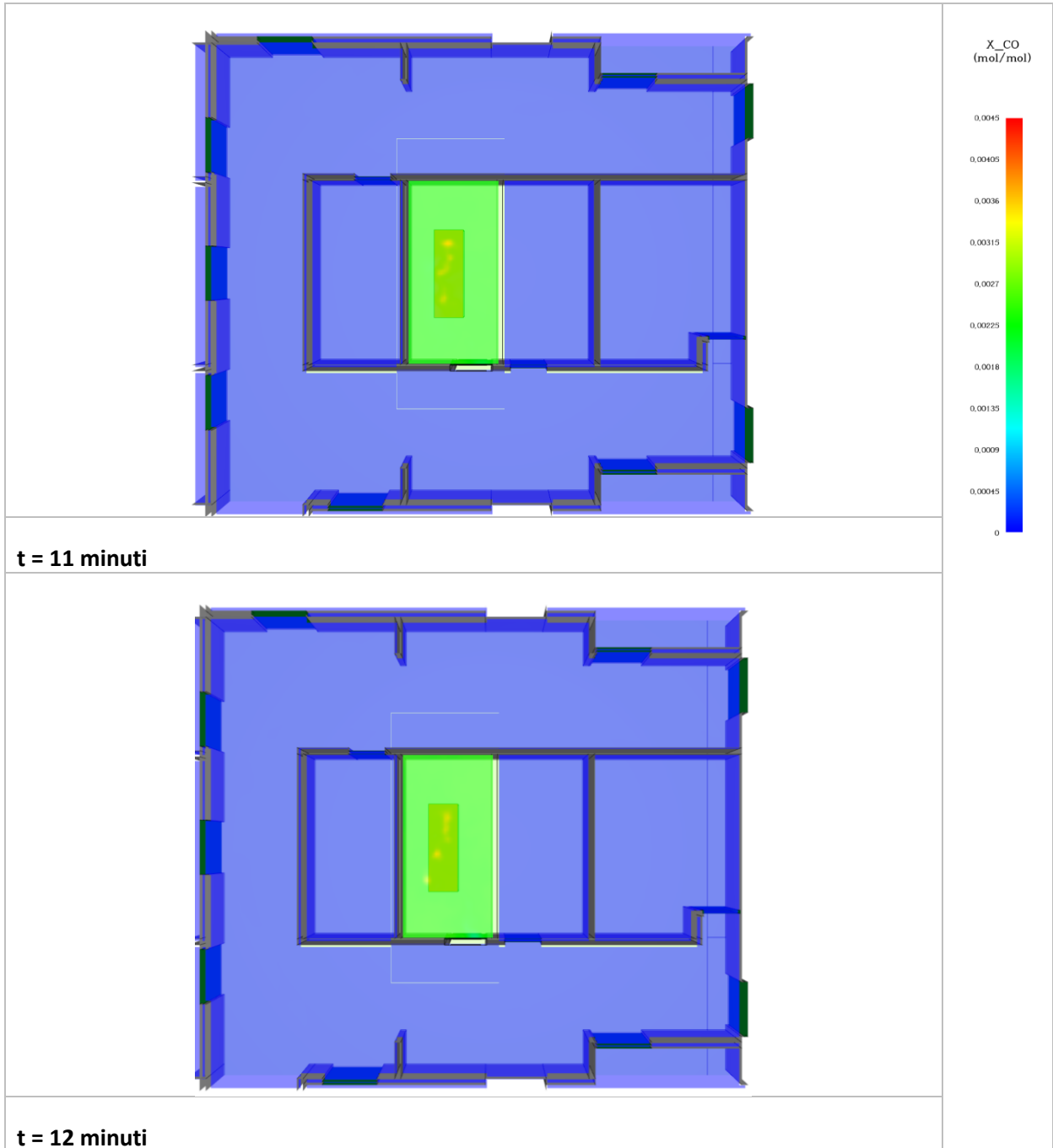
t = 8 minuti

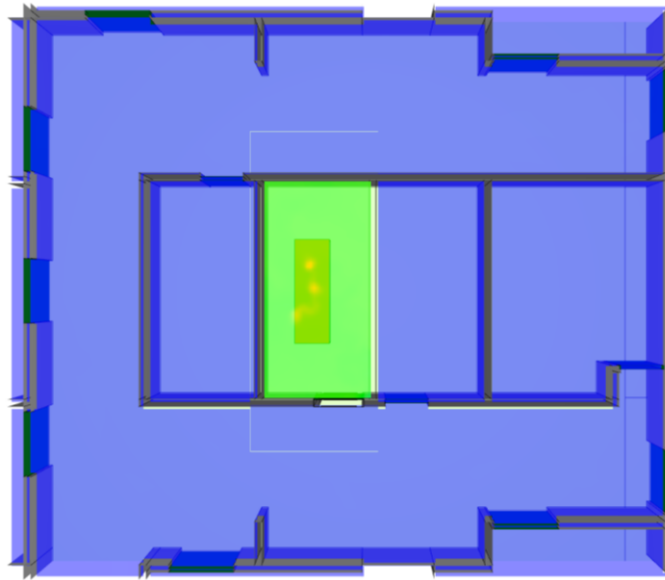


t = 9 minuti



t = 10 minuti

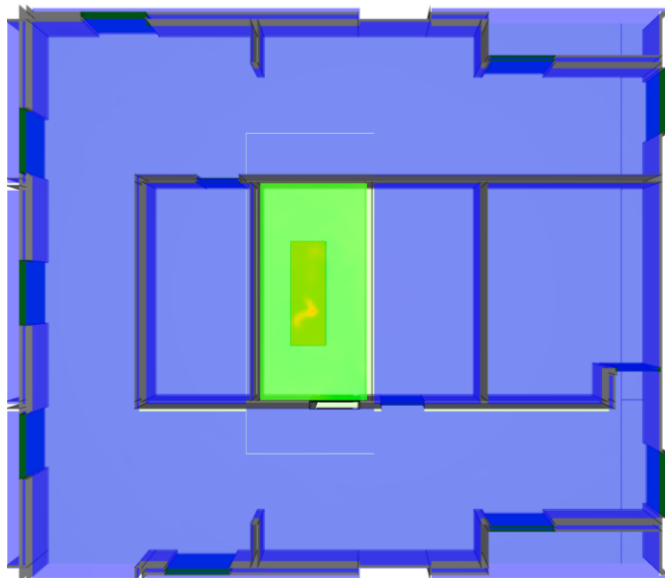




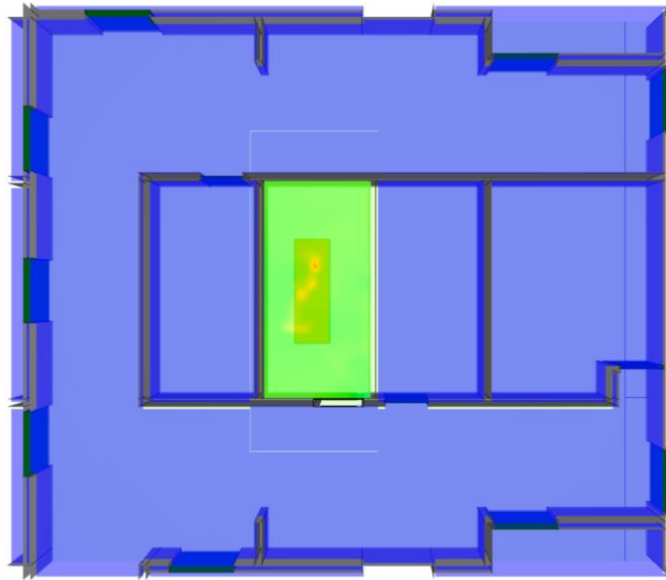
X_CO
(mol/mol)



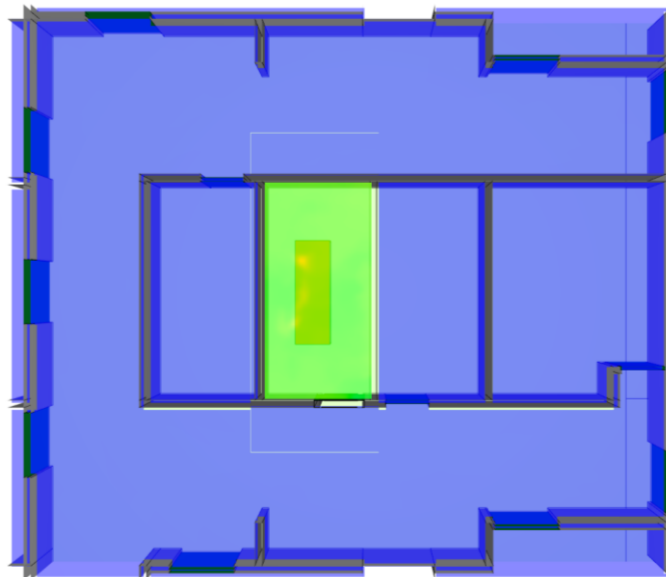
t = 13 minuti



t = 14 minuti

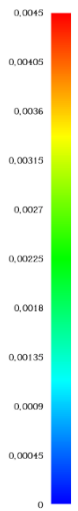


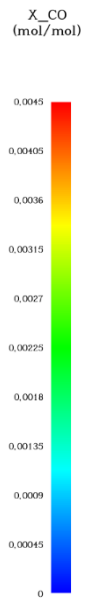
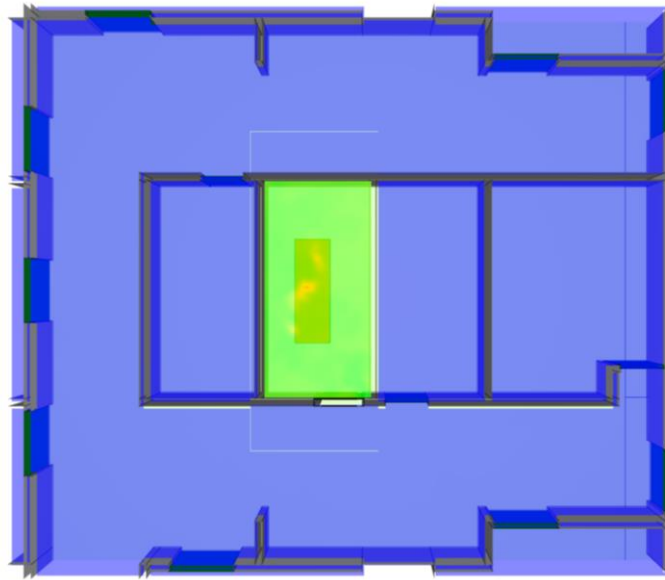
t = 15 minuti



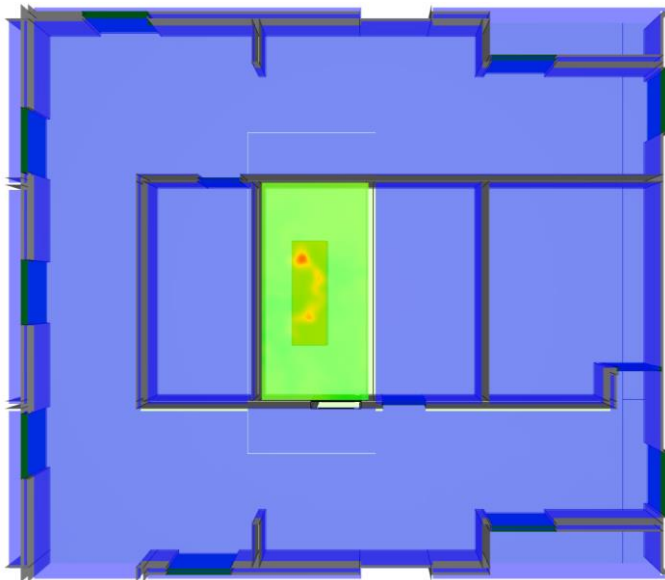
t = 16 minuti

X_CO
(mol/mol)

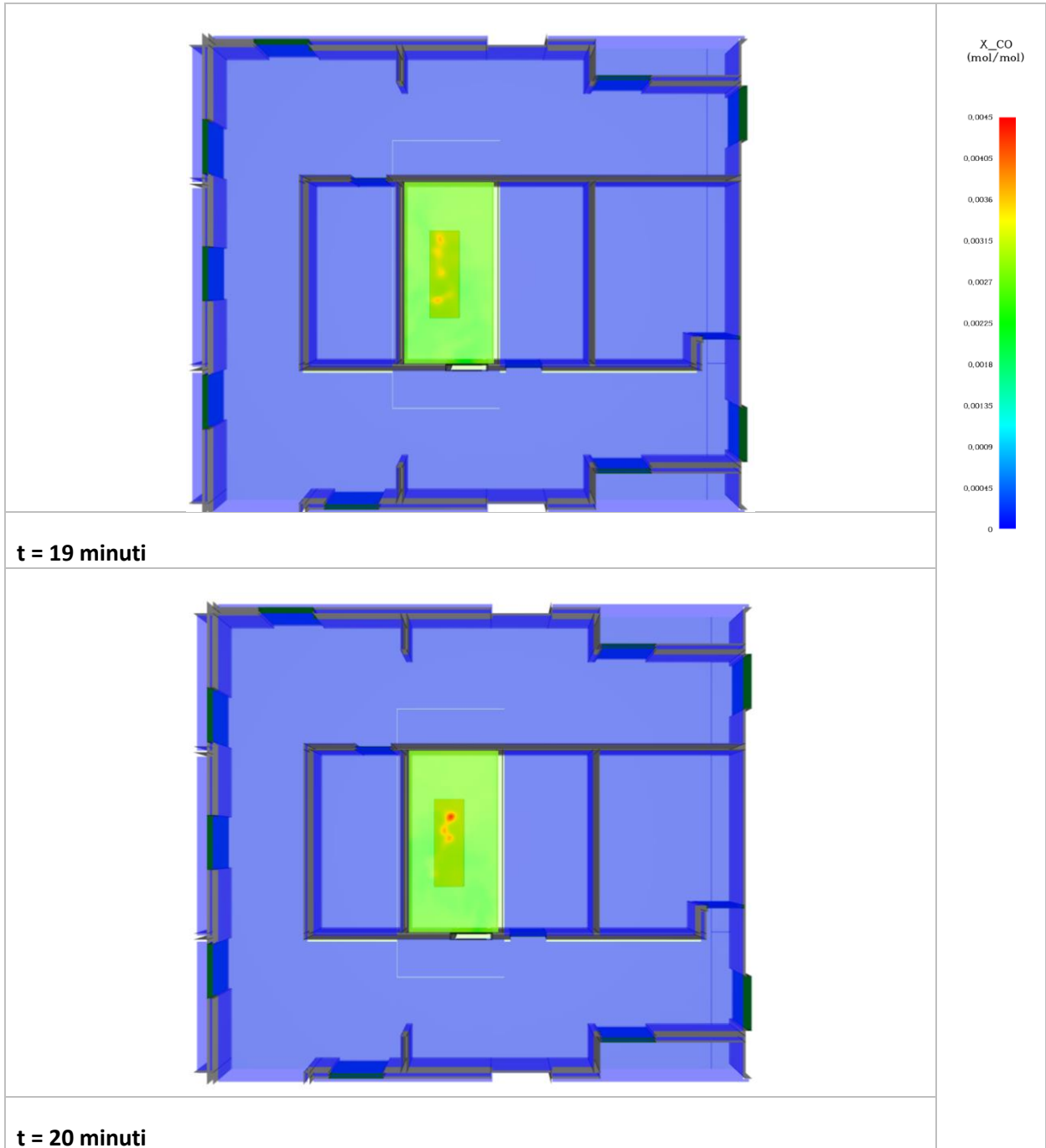




t = 17 minuti

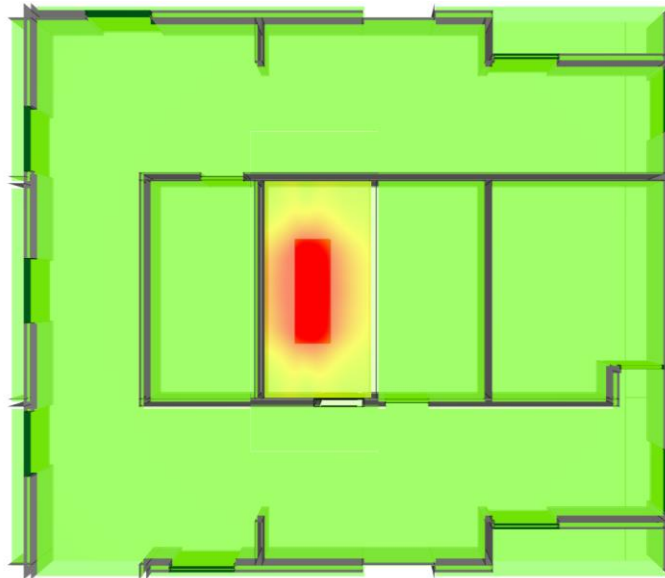


t = 18 minuti

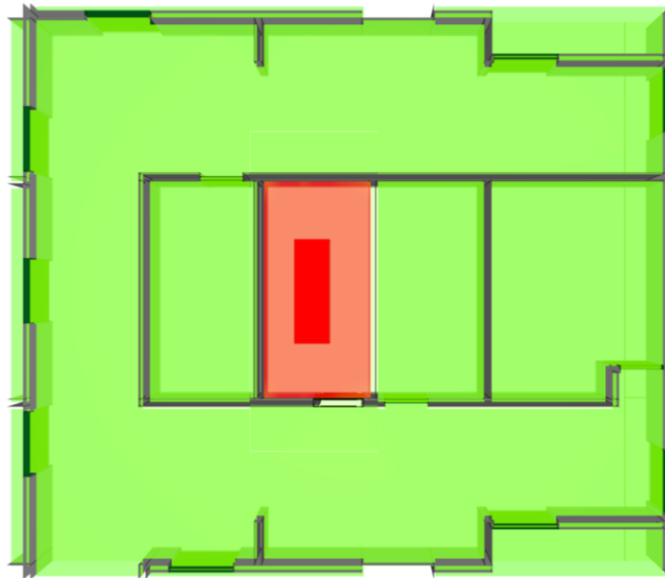




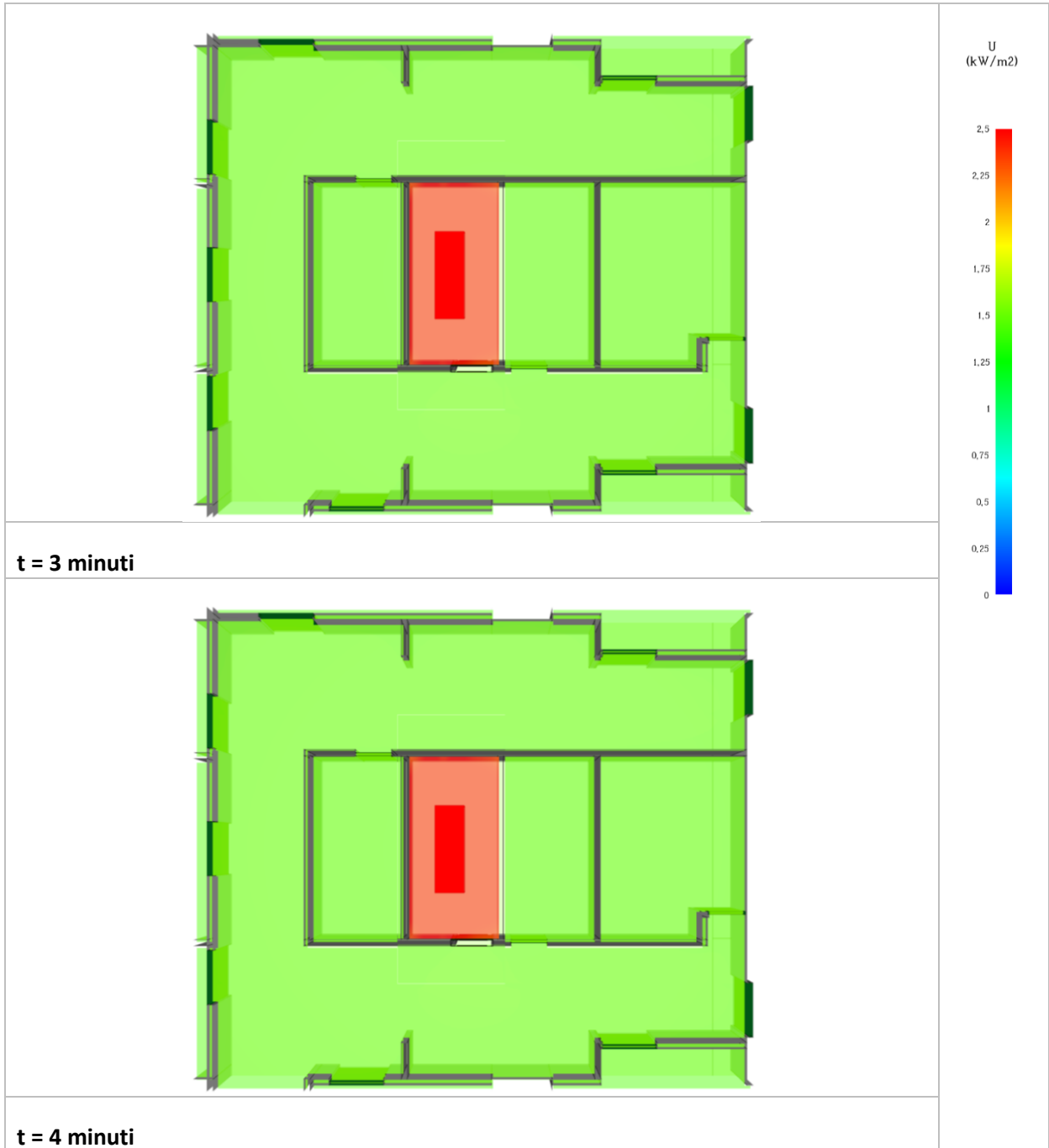
2.3.1.6 IRRAGGIAMENTO TERMICO

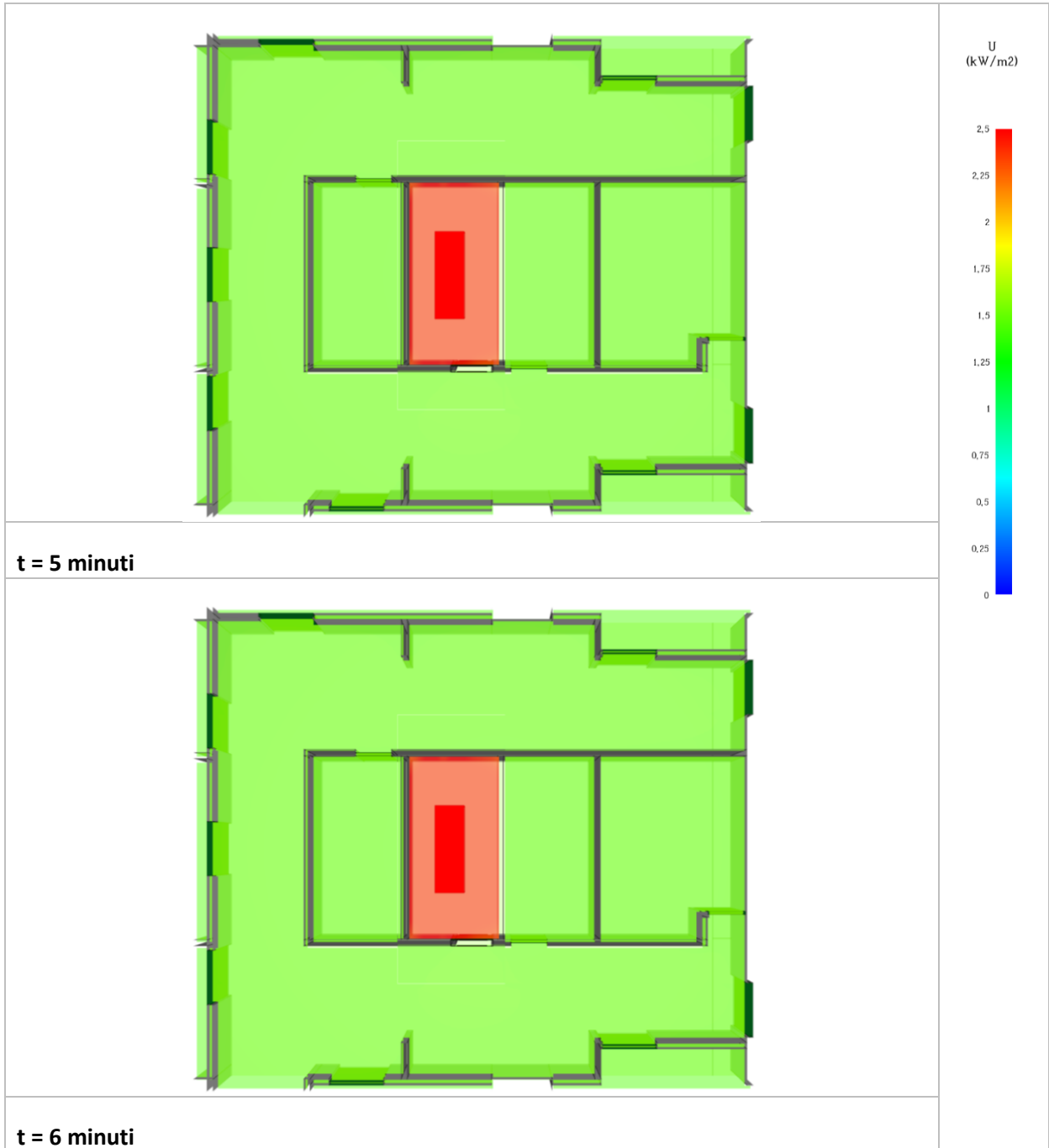


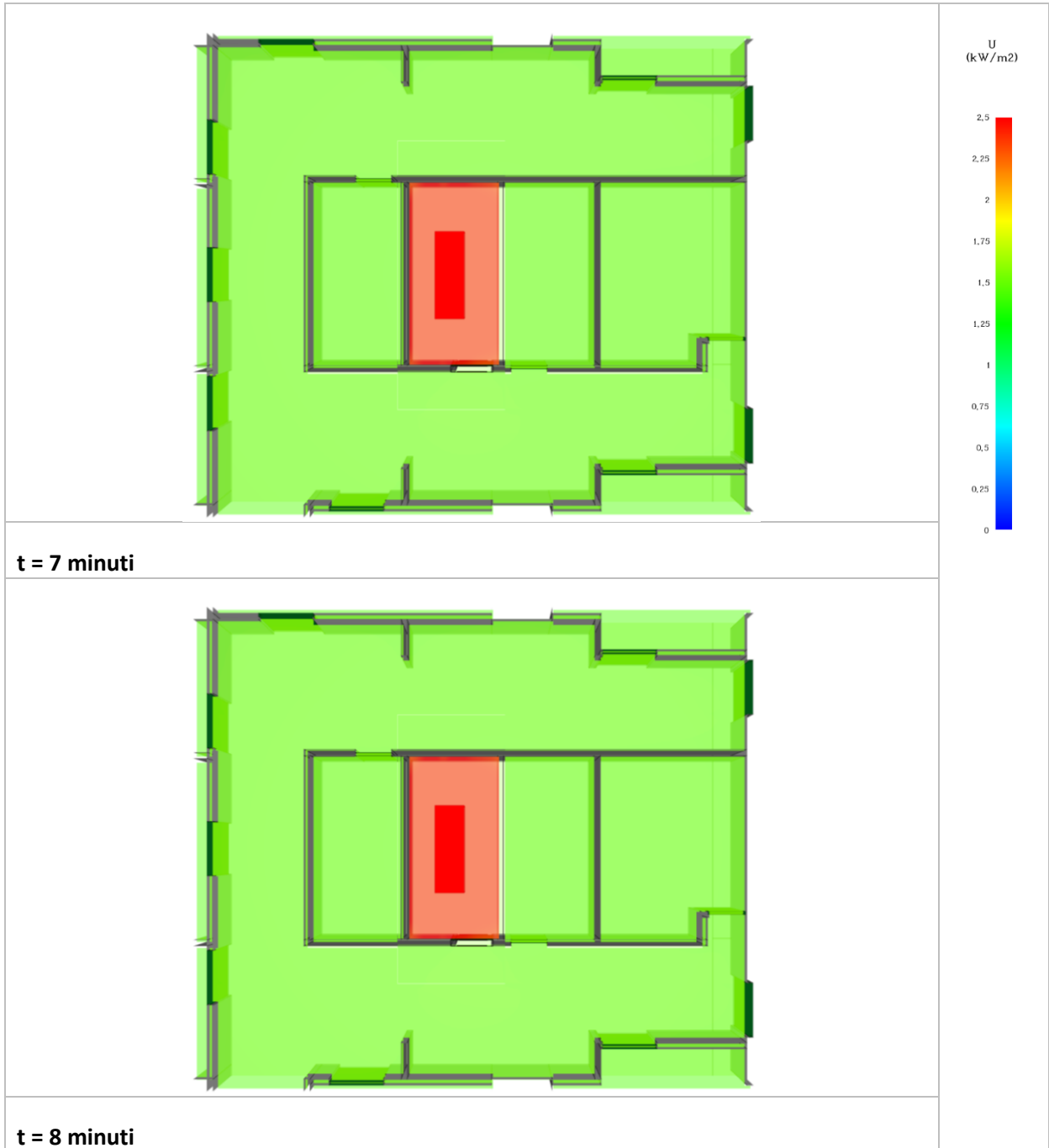
t = 1 minuto

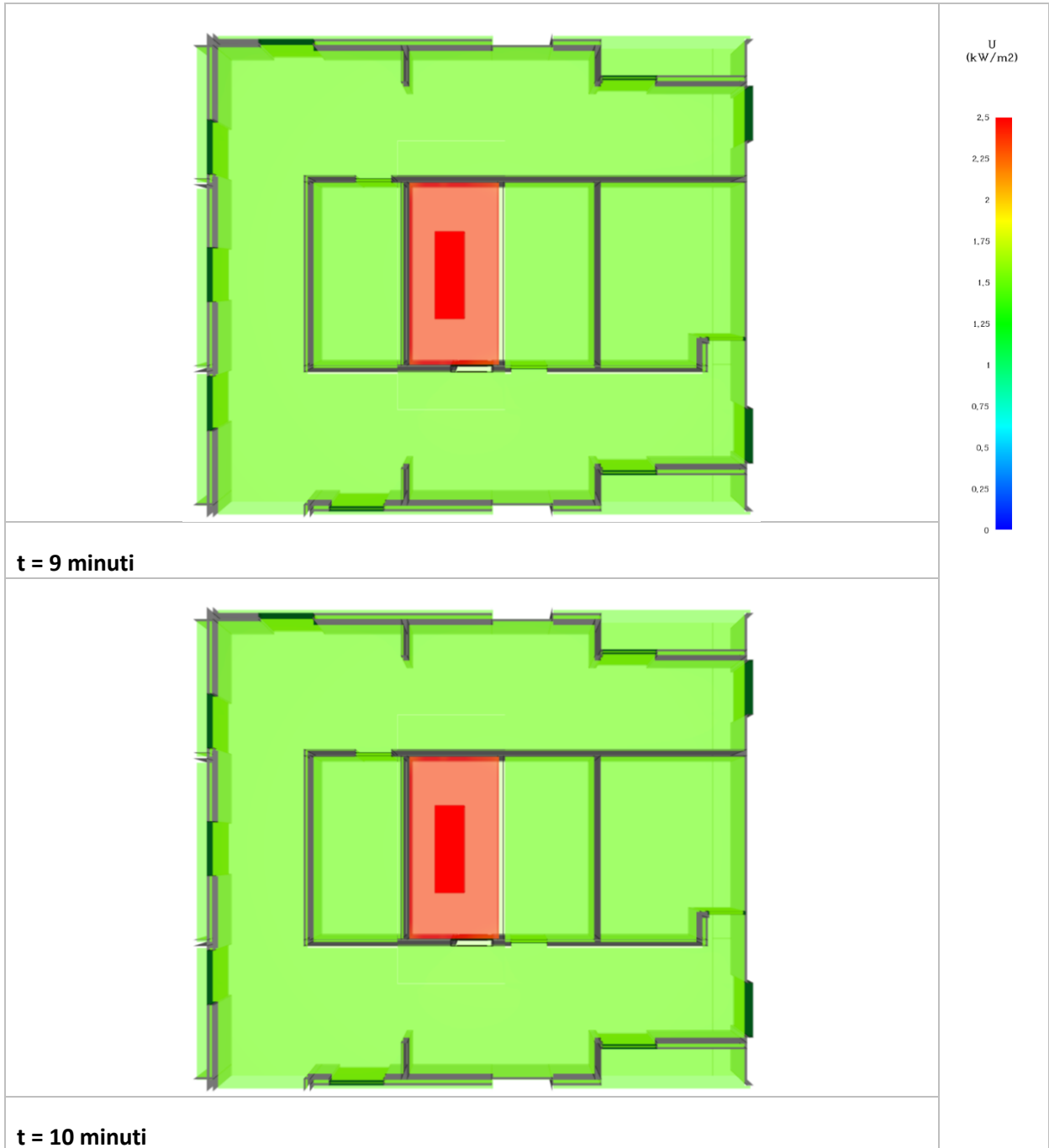


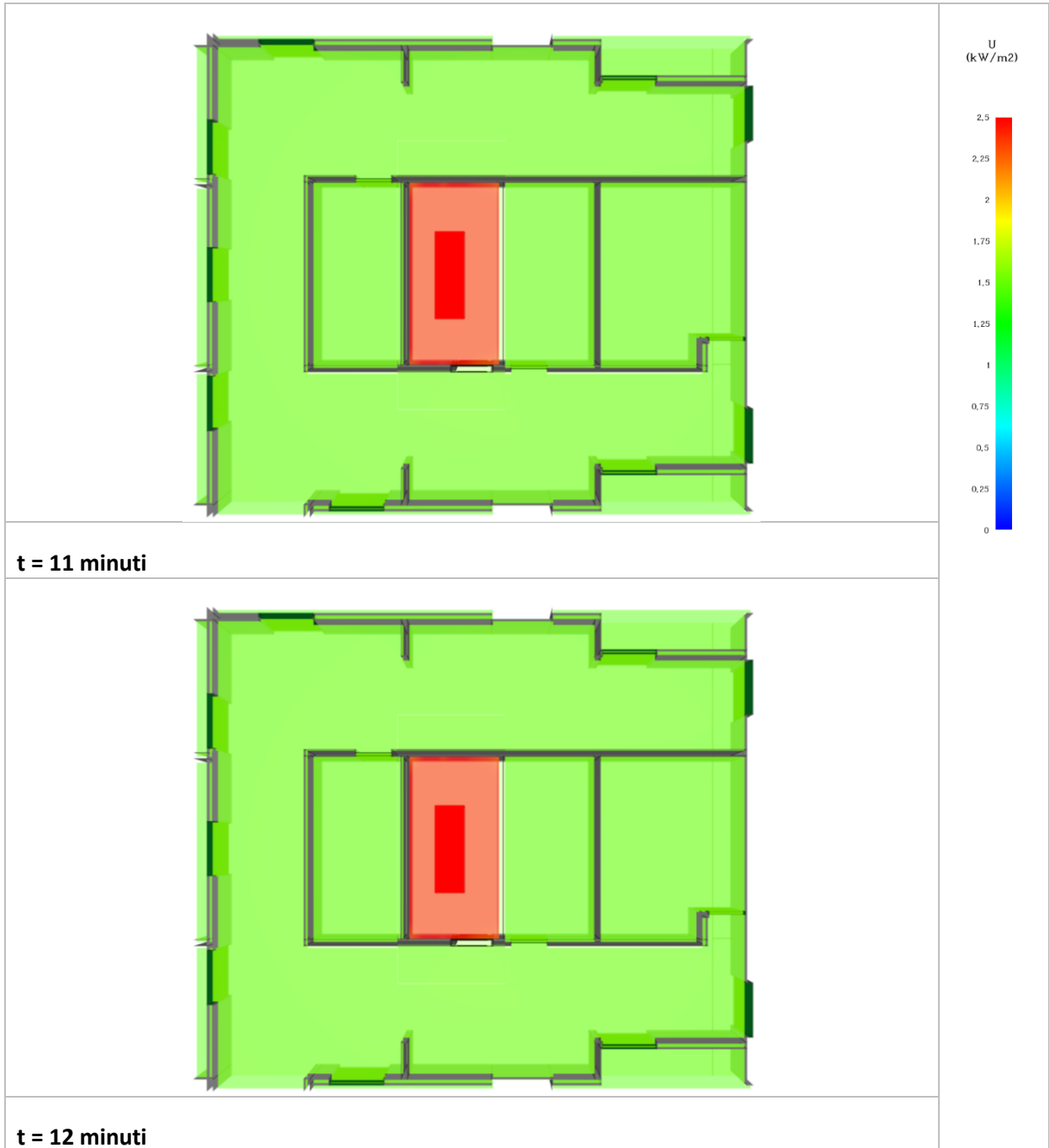
t = 2 minuti

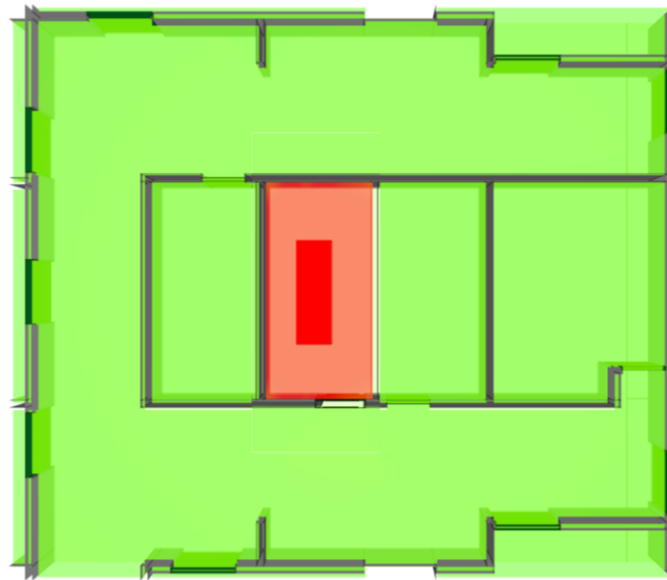




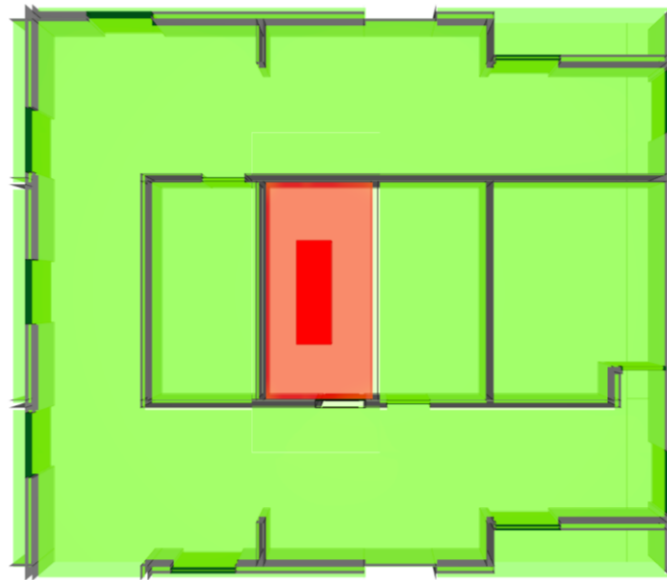




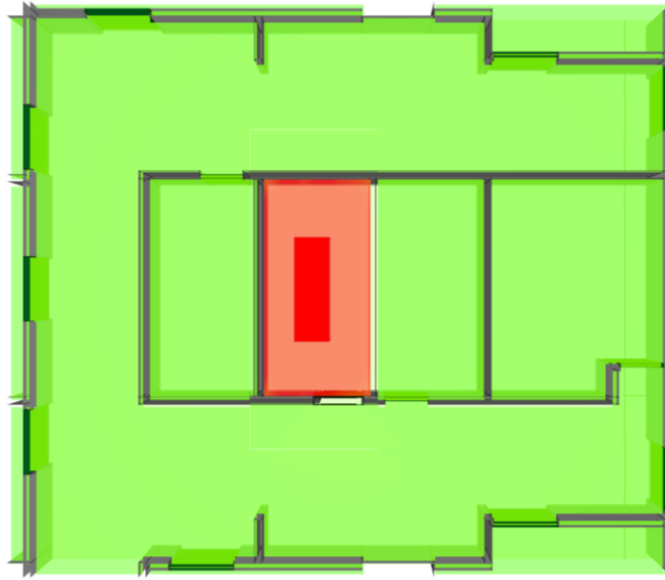




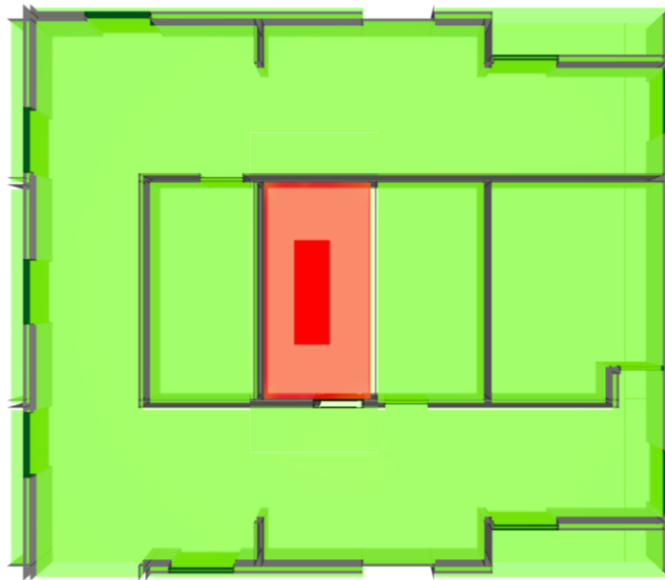
t = 13 minuti



t = 14 minuti



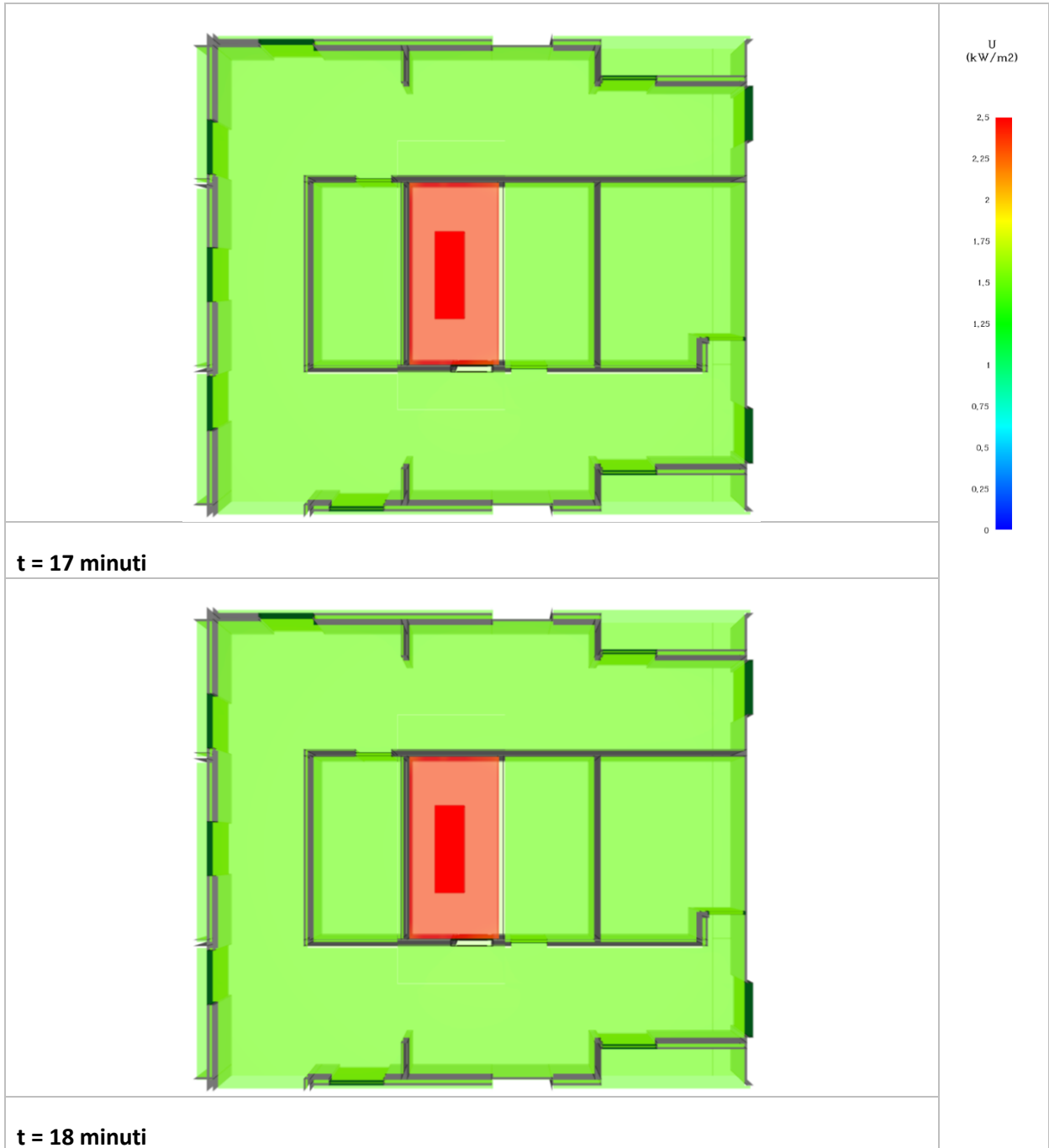
t = 15 minuti

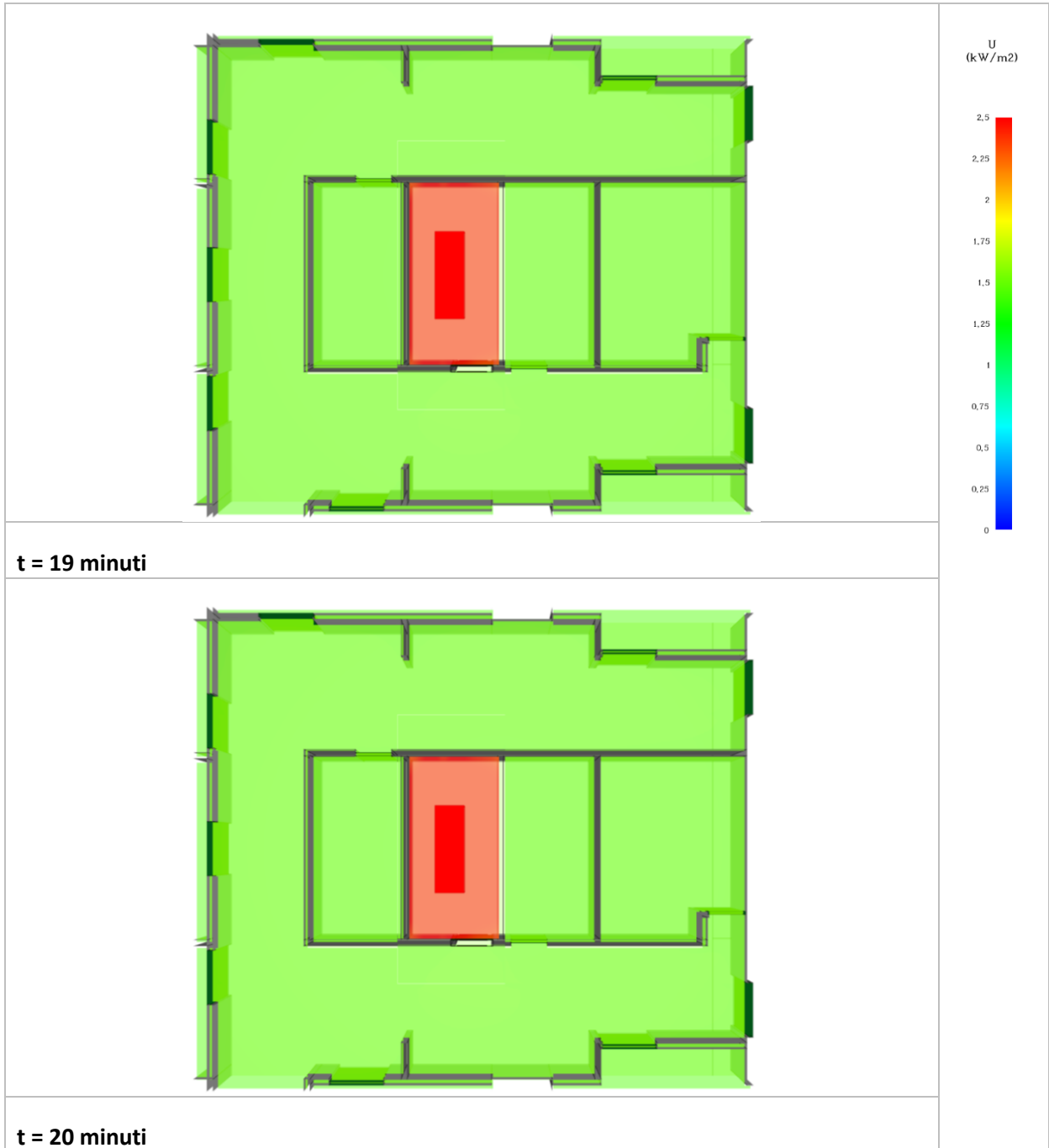


t = 16 minuti

U
(kW/m²)

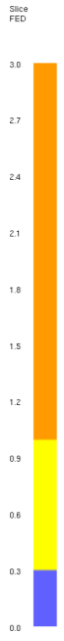
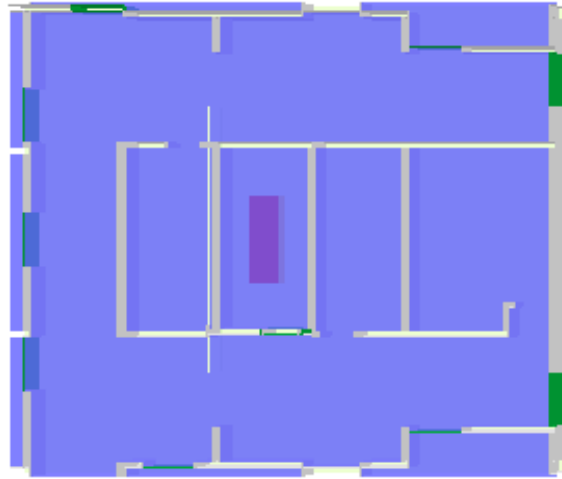




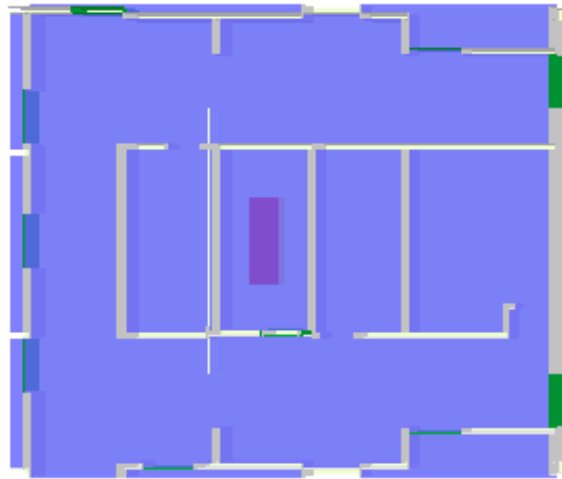




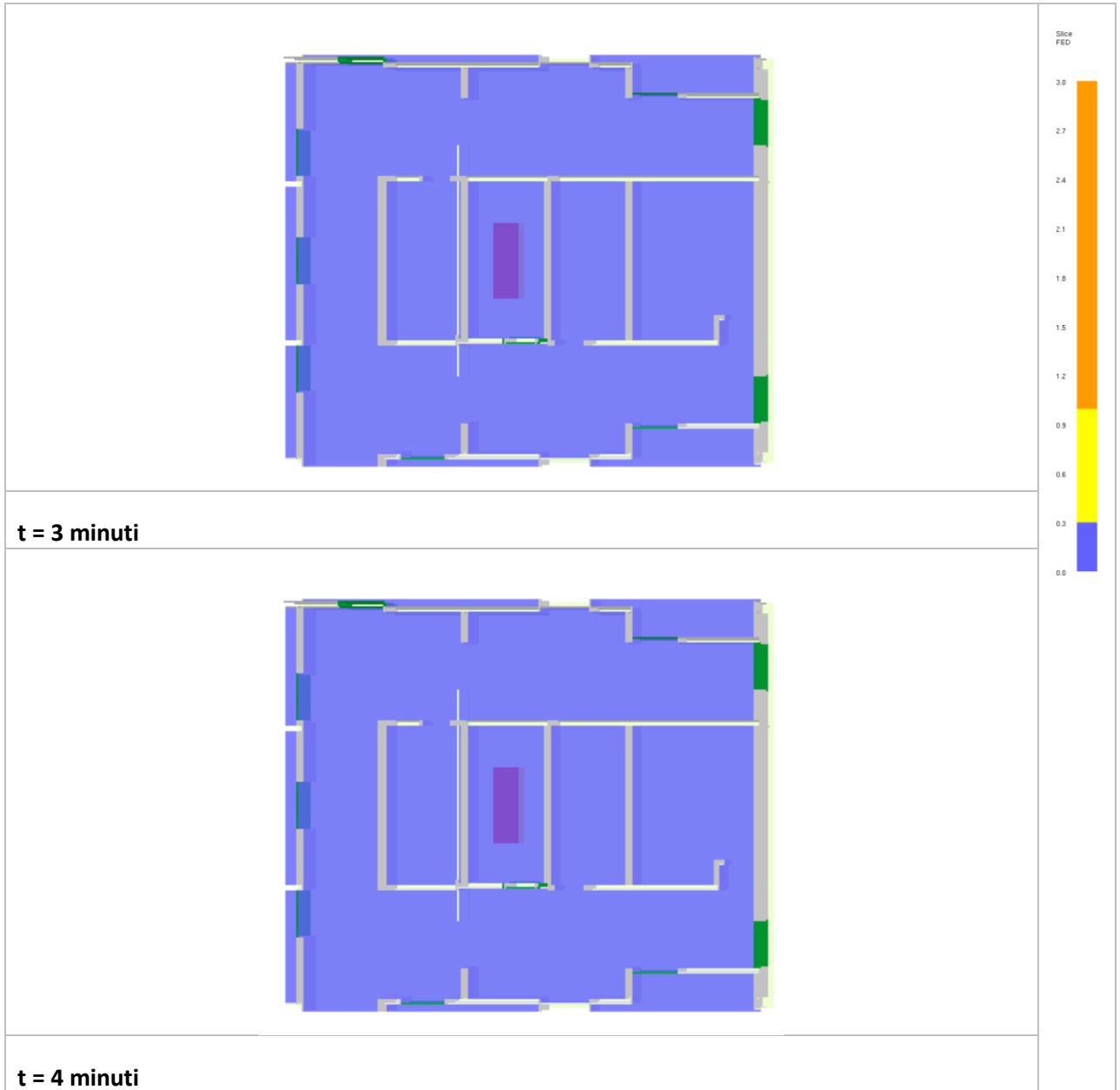
2.3.1.7 FED

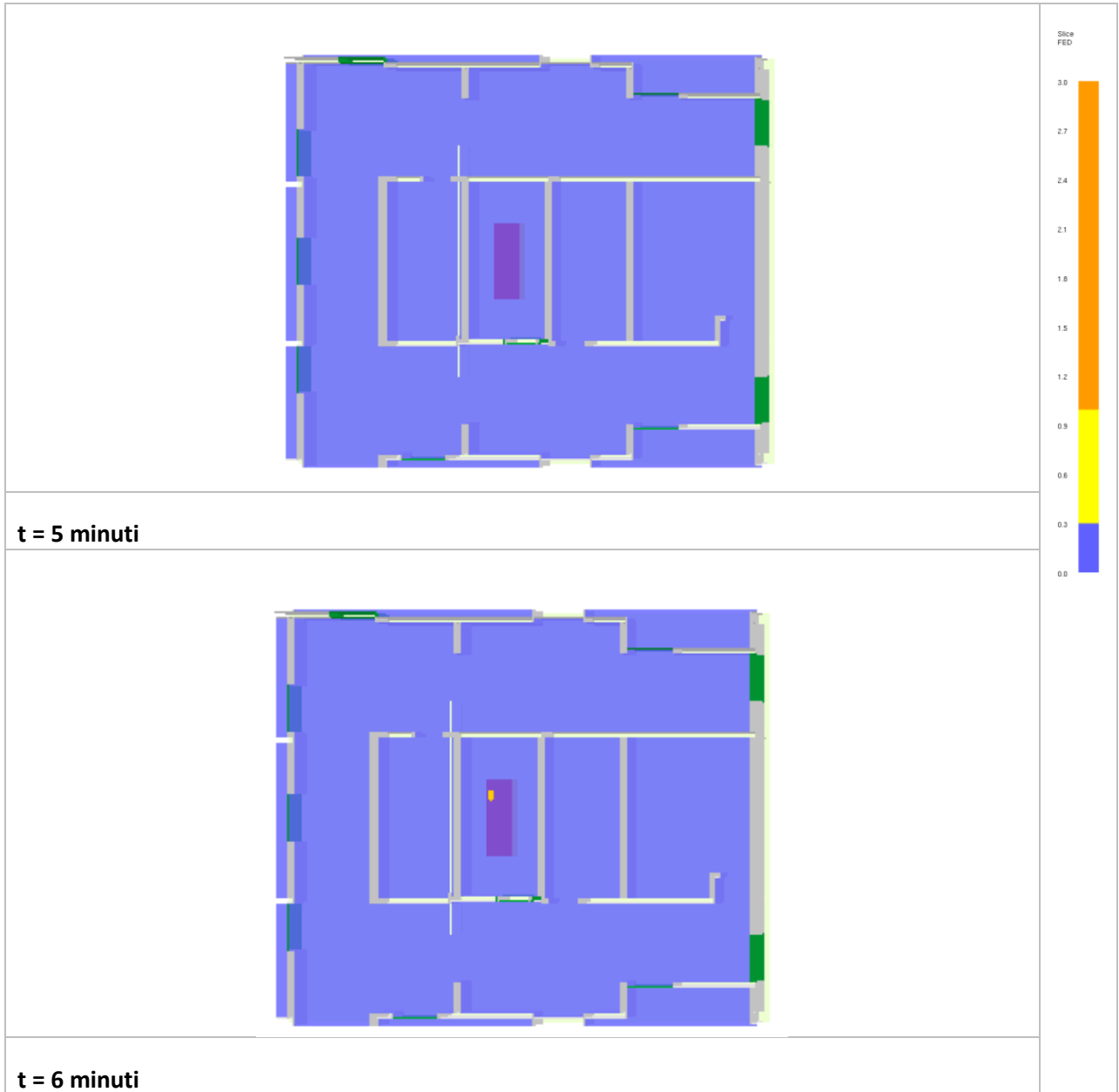


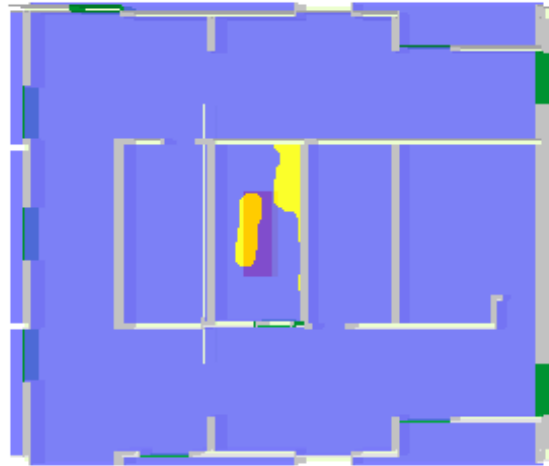
t = 1 minuto



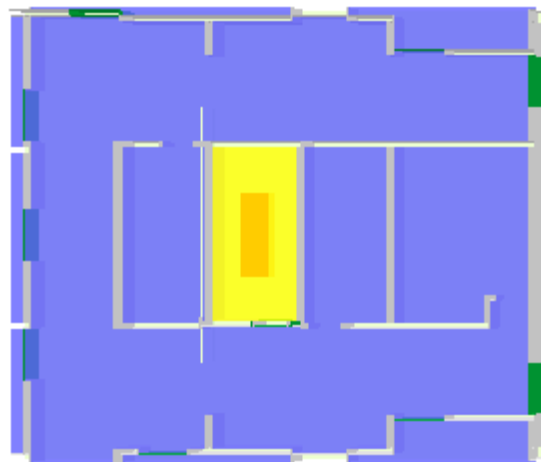
t = 2 minuti



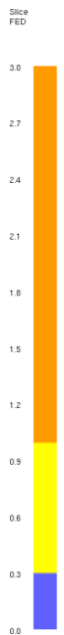


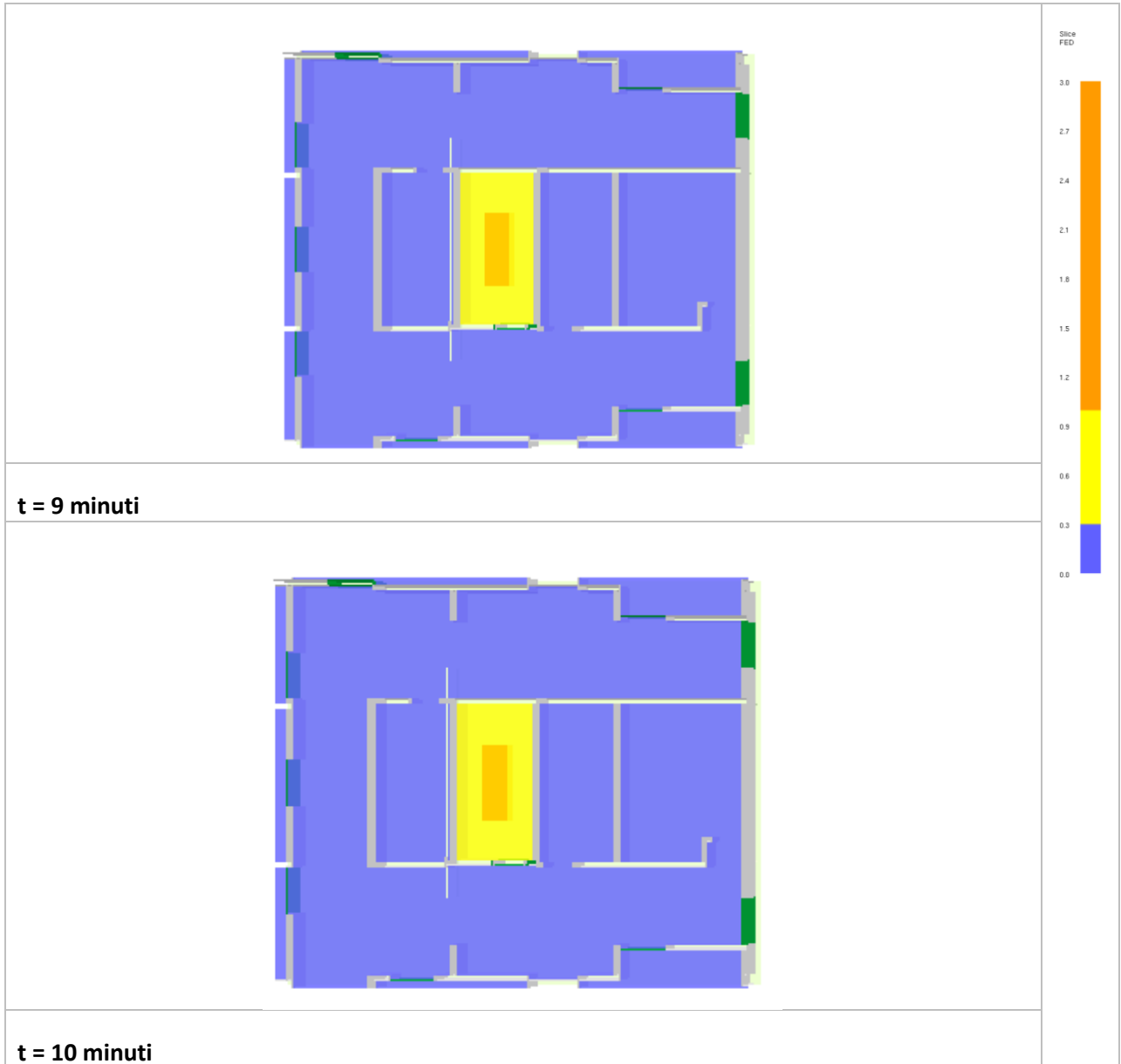


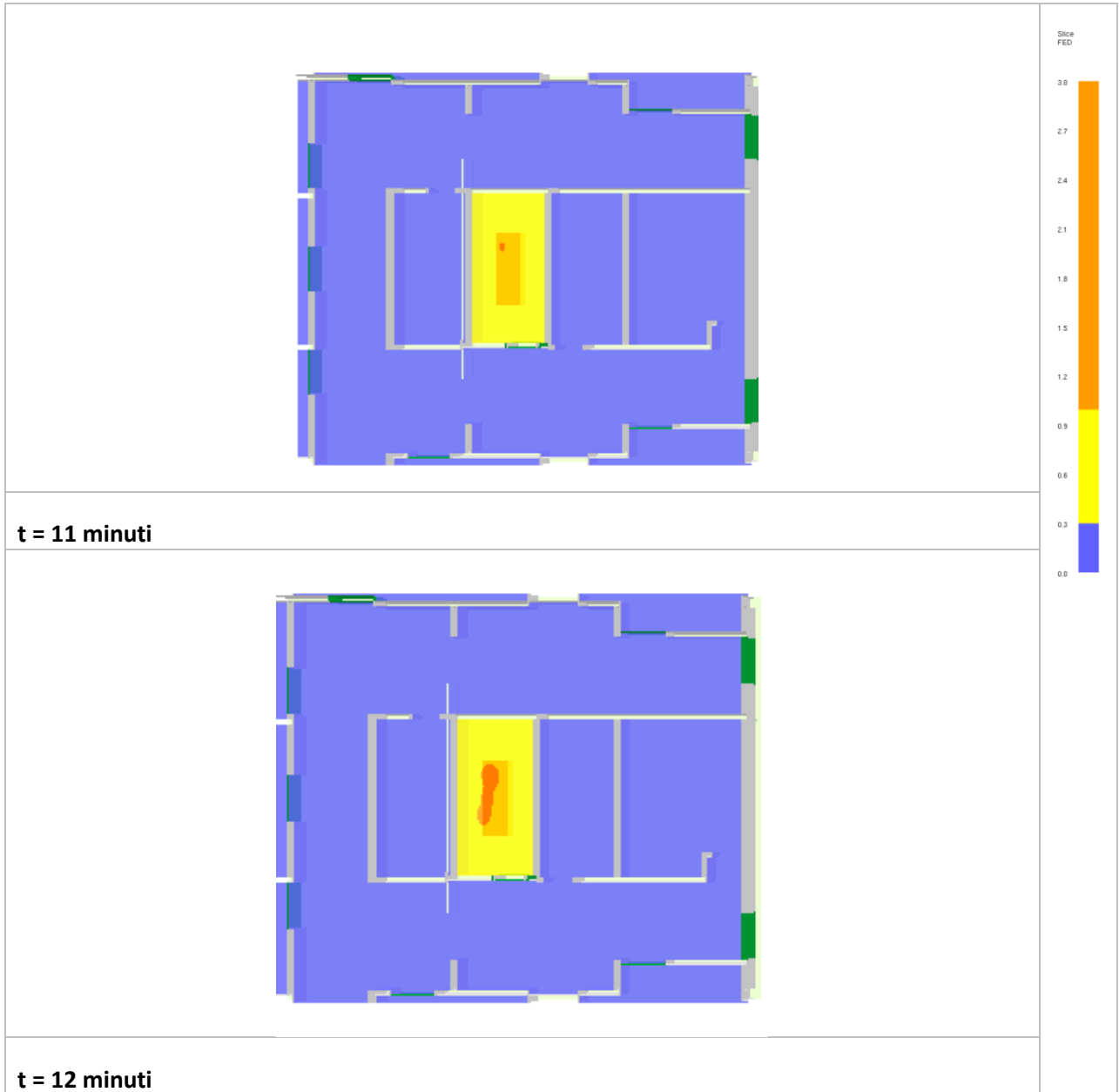
t = 7 minuti

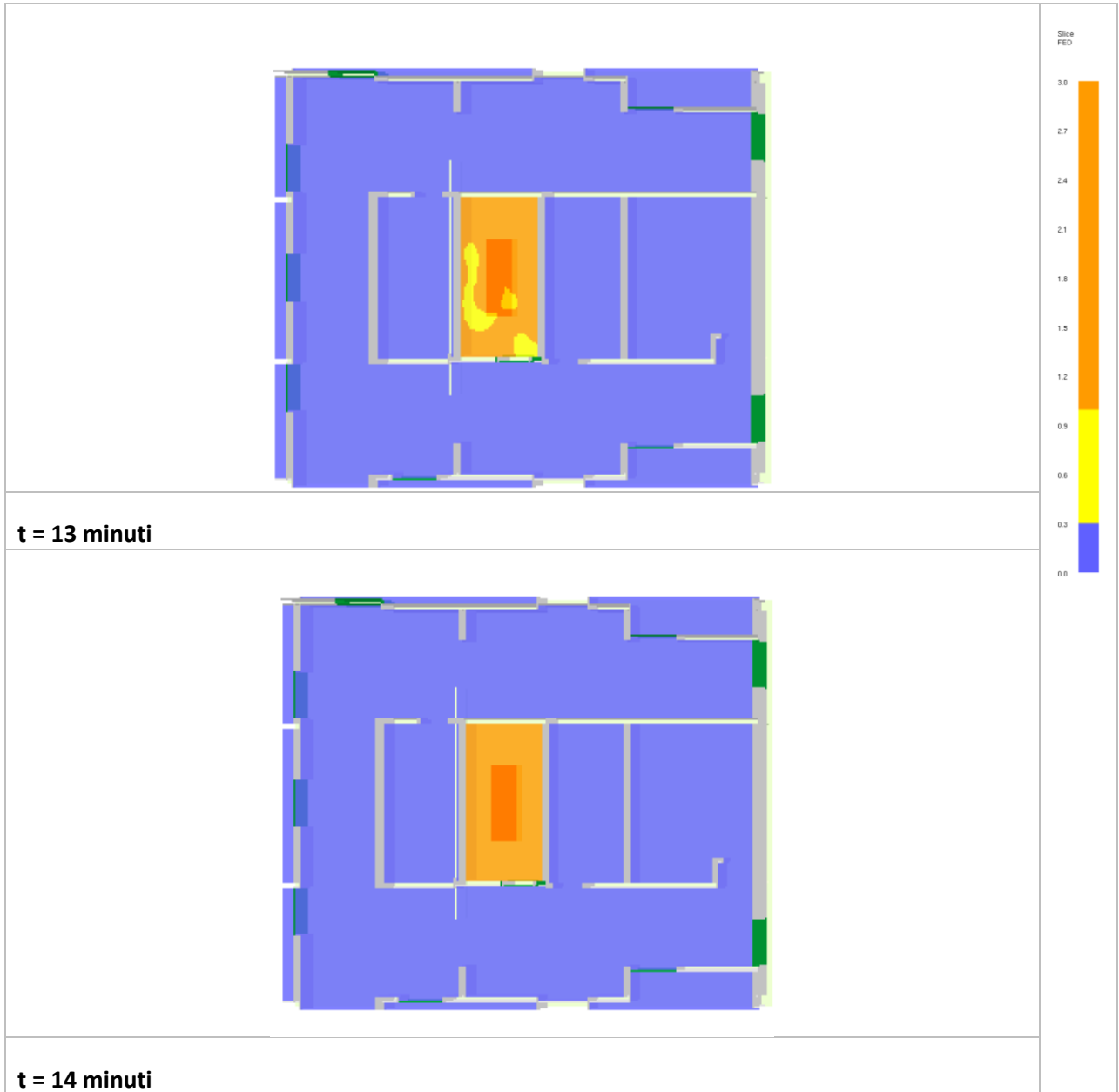


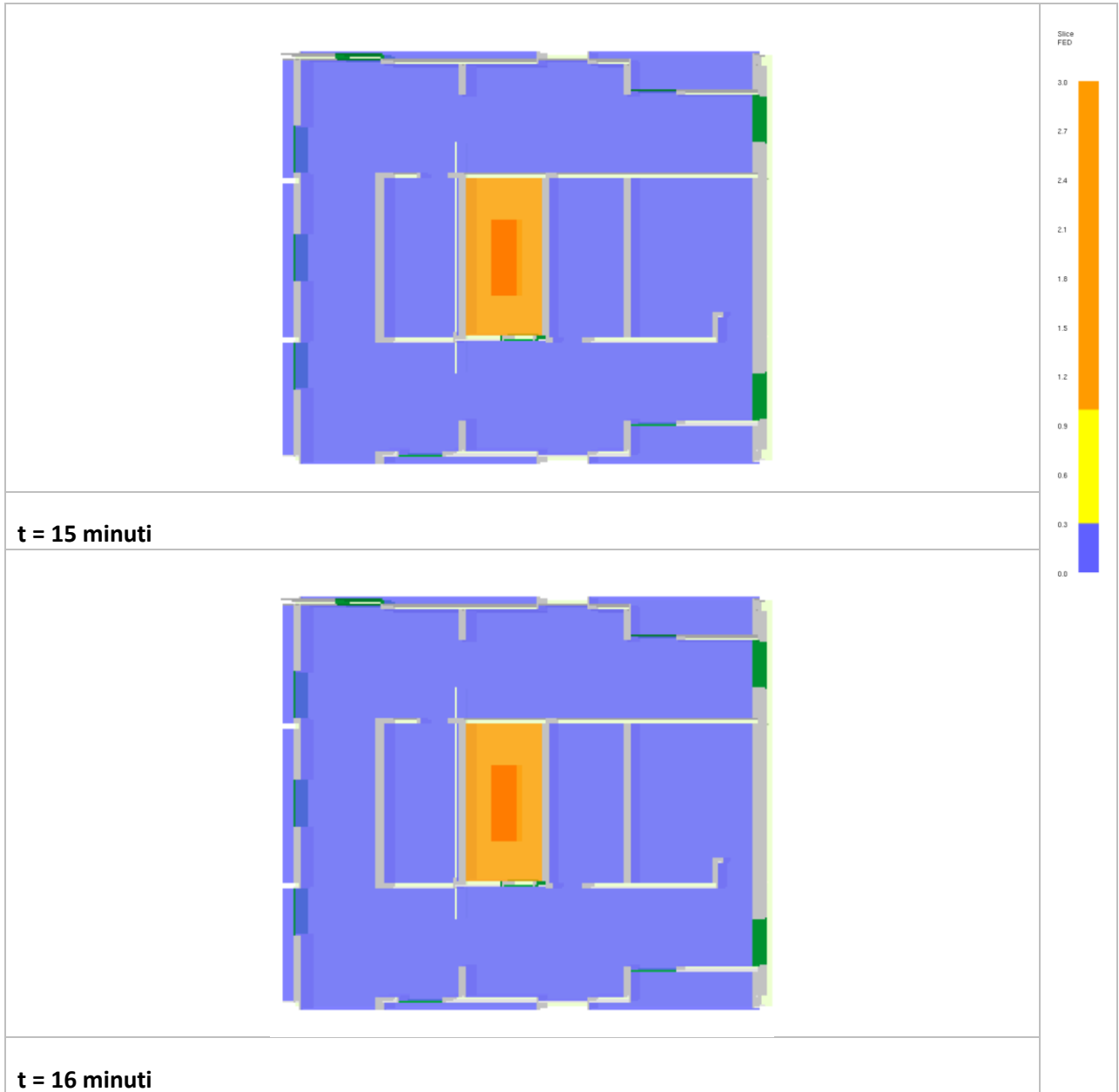
t = 8 minuti

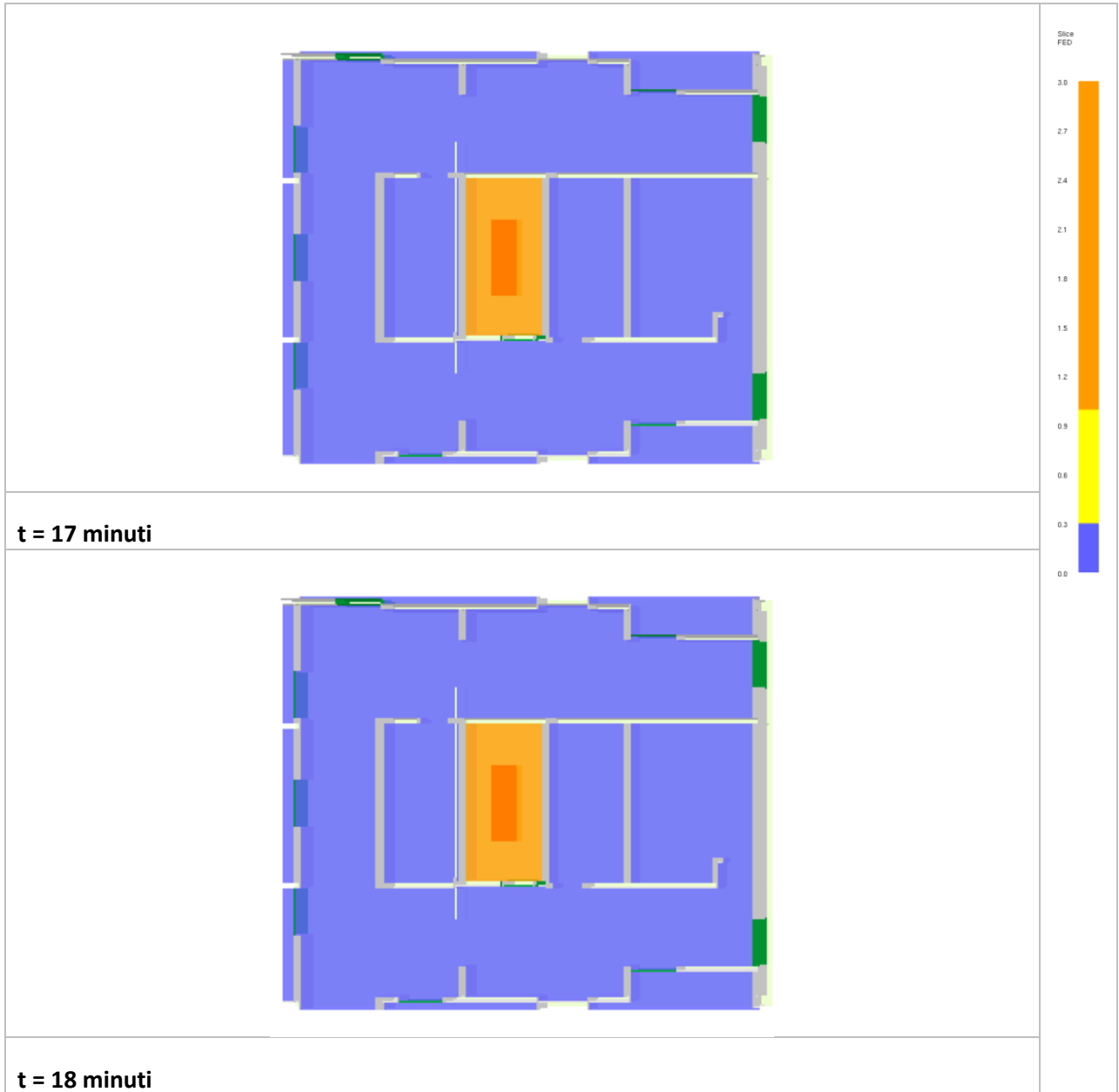


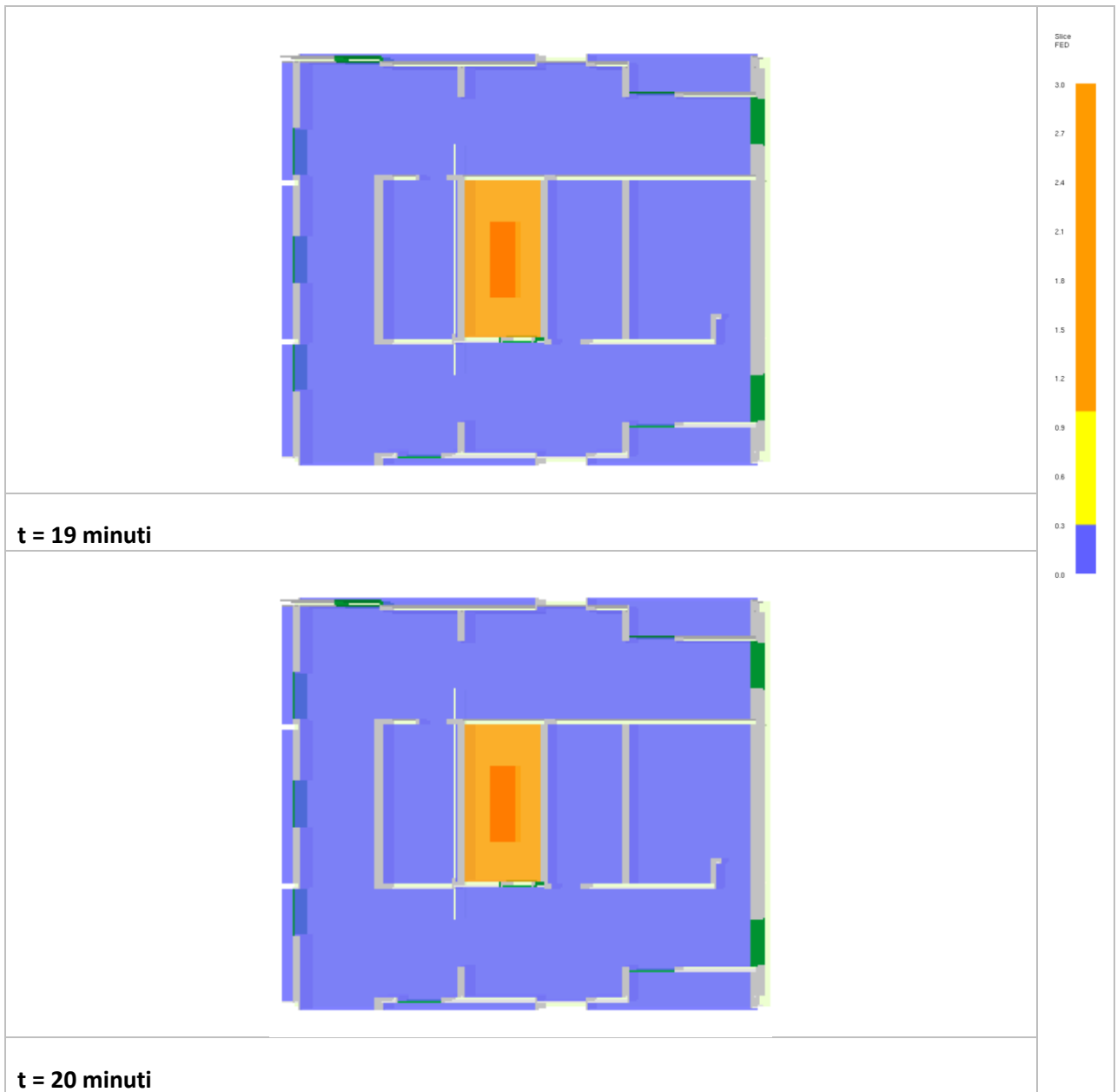














2.4 Modellazione incendio locale tecnico nel piano mezzanino

2.4.1 Curva d'incendio

Ai fini delle verifiche fluidodinamiche la curva di incendio per lo scenario incendio in un locale tecnico è ricavata in accordo con le indicazioni presenti nel DM 21 ottobre 2015 "Approvazione della regola tecnica di prevenzione incendi per la progettazione, costruzione ed esercizio delle metropolitane" e di seguito riportata in forma grafica (cfr. Figura 4).

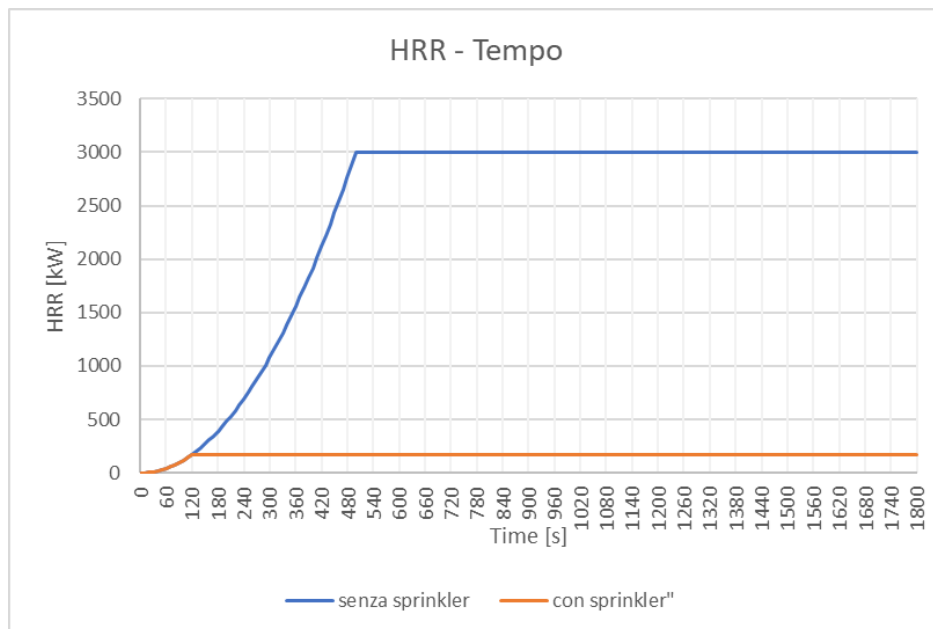



Figura 5 - Curva d'incendio per lo scenario incendio tipologico locale tecnico SSE posto al piano mezzanino

Il Decreto, inoltre, specifica (cfr. allegato I.I.7): "Per lo scenario di incendio 4) sarà assunto un incendio di progetto di caratteristiche analoghe a quello dello scenario di incendio 3) anche non in presenza di impianto automatico di spegnimento".

Le curve riprodotte graficamente mostrano rispettivamente l'andamento della potenza termica in assenza di impianto di spegnimento e in presenza dello stesso: la curva presenta un valore di potenza termica massima pari a 3 MW, mentre la curva che rappresenta lo sviluppo condizionato dall'effetto dell'impianto di spegnimento (impianto sprinkler) raggiunge una potenza termica di picco di 172 kW.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
Scenario 4 - Relazione	109_MTL2T1A0DVVFGENR021-0-0.DOCX

La caratterizzazione dell'impianto di ventilazione e delle strategie da adottare necessita la definizione di una sequenza di eventi da considerare nell'analisi dell'evoluzione degli scenari di emergenza per lo scenario di riferimento analizzato. Nella tabella seguente (cfr. Tabella 6) si riporta la sequenza dei principali eventi considerati nell'analisi dello scenario di riferimento "incendio in un locale tecnico".

TIME STEP [s]	EVENTO	RIFERIMENTI ED ASSUNTI
0	INNESCO DEL FOCOLAIO	Il focolaio è posizionato nel locale tecnico SSE nel piano mezzanino
120	ATTIVAZIONE DELLA VENTILAZIONE	La ventilazione è a regime

Tabella 6 - Timing incendio locale tecnico

2.4.2 Modello tridimensionale


Il modello tridimensionale costruito con il codice FDS ha le caratteristiche riportate nelle tabelle seguenti (cfr. Tabelle 7 e 8).

CODICE COMPUTAZIONALE	FDS
CARDINALITÀ	3D
DIMENSIONI CELLA [m]	0.2 x 0.2 x 0.2
DIMENSIONE MODELLO	Come da pianta DWG di riferimento
TEMPO DI SIMULAZIONE [s]	1200

Tabella 7 – Modello tridimensionale

Caratteristiche del focolaio:

GRANDEZZA	VALORE
HRR max [MW]	3
HRRPUA [Kw/m ²]	1000

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
Scenario 4 - Relazione	109_MTL2T1A0DVVFGENR021-0-0.DOCX

Area focolaio [m ²]	3
COMBUSTIBILE EQUIVALENTE	Poliuretano

Tabella 8 – Caratterizzazione scenario

L'immagine successiva (cfr. Figura 5) indica la posizione del focolaio. Il locale tecnico è nel piano mezzanino e presenta la destinazione d'uso "locale sottostazione elettrica (SSE)".

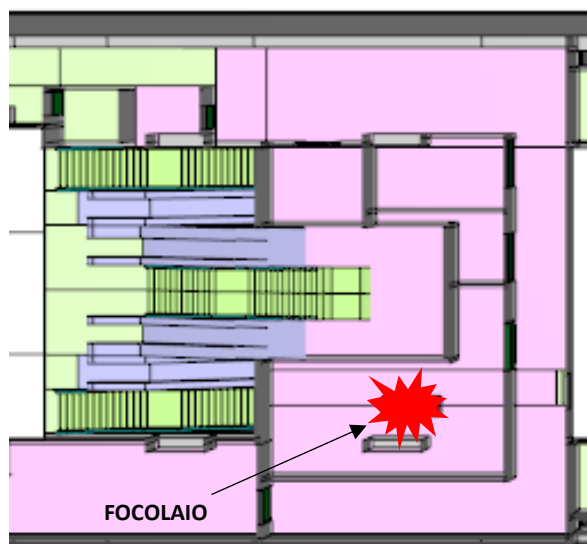


Figura 6 – Posizione focolaio di incendio nel tipico sottostazione elettrica (SSE)

Fase di combustione dei gas

I parametri utilizzati per la reazione della fase di combustione dei gas sono di seguito sintetizzati (cfr. Tabella 9).



SOOT_YIELD	frazione della massa di combustibile convertito in particolato di fumo	0.104
CO_YIELD	frazione della massa di combustibile convertito in monossido di carbonio	0.025
C	numero di atomi di carbonio presenti nella formula chimica del combustibile	6.3
H	numero di atomi di idrogeno presenti nella formula chimica del combustibile	7.1
N	numero di atomi di azoto presenti nella formula chimica del combustibile	1.0
HEAT_OF_COMBUSTION	quantità di energia rilasciata per unità di massa di combustibile consumato espressa in Kj/kg	24800

Tabella 9 – Parametri fase di combustione

2.4.3 Condizioni al contorno

Si riportano le condizioni iniziali adottate per le simulazioni:

- Velocità iniziale dell'aria: $v=0$ m/s;
- Temperatura iniziale dell'aria: $T=15$ ° C.



2.4.4 Strategia di ventilazione (SCENARIO 4 – Tipologico SSE)

Le caratteristiche del sistema di ventilazione sono specificate e tengono conto delle peculiari modalità di interazione ed evoluzione dell'incendio con la geometria.

Per quanto concerne il sistema di ventilazione nel tipologico "locale tecnico sottostazione elettrica (SSE)" le portate assunte sono le seguenti

LOCALE	ESTRAZIONE [m ³ /s]	IMMISSIONE [m ³ /s]
SSE	0.66	0.22
CORRIDOIO	0.33	1.32

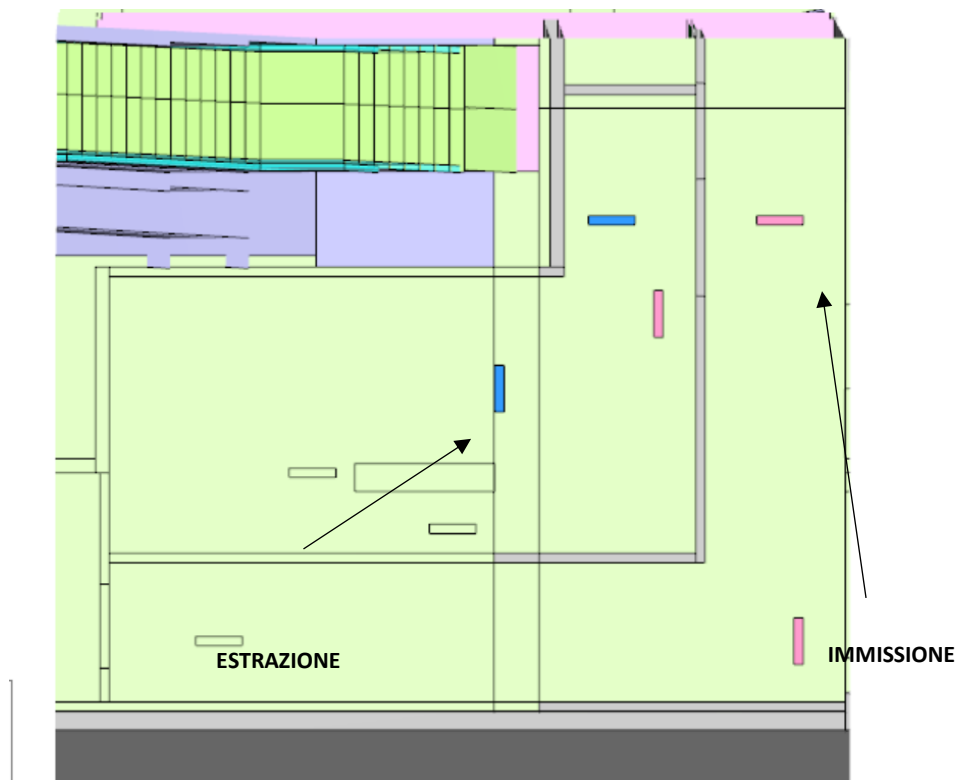


Figura 7 – Impianto estrazione SSE

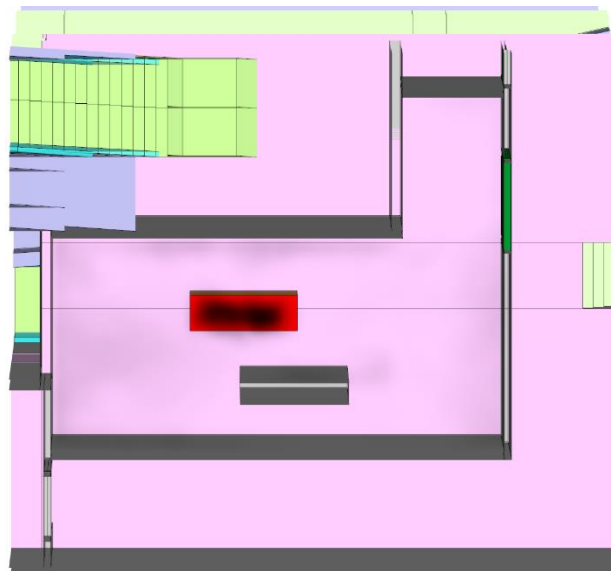


2.4.5 Risultati

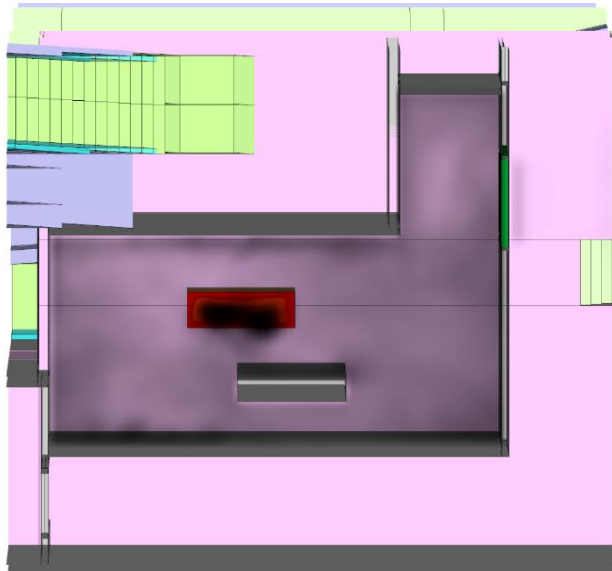
Si riporta, di seguito, una selezione dei risultati grafici, output delle simulazioni di incendio che hanno consentito la verifica delle condizioni di conformità al Decreto.

2.4.6 Output scenario

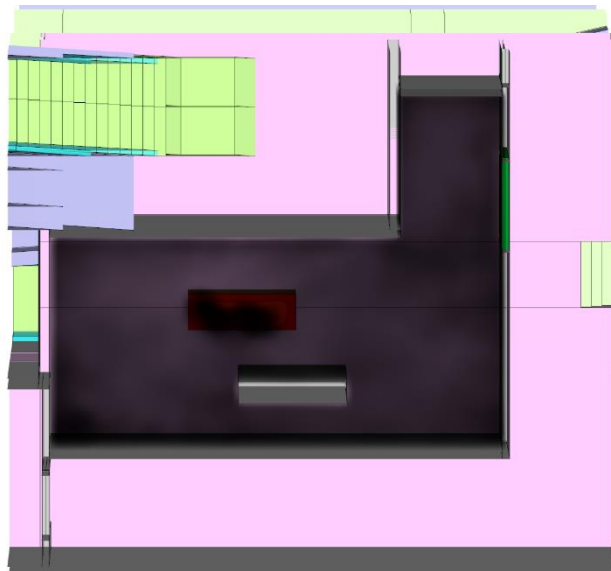
2.4.6.1 PROPAGAZIONE FUMI



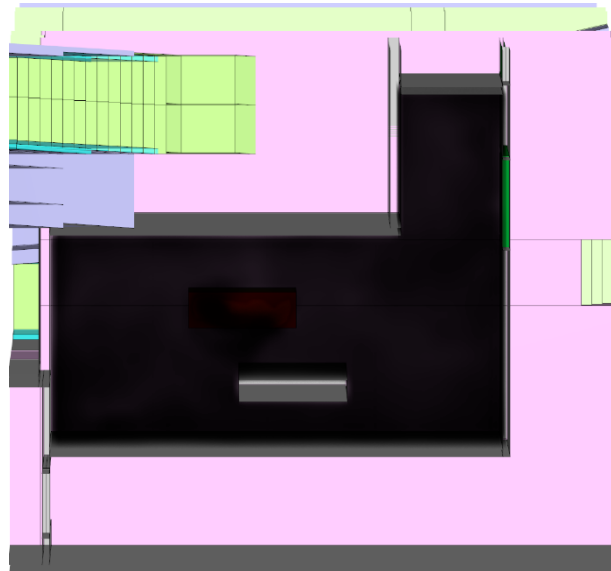
t = 1 minuto



t = 2 minuti



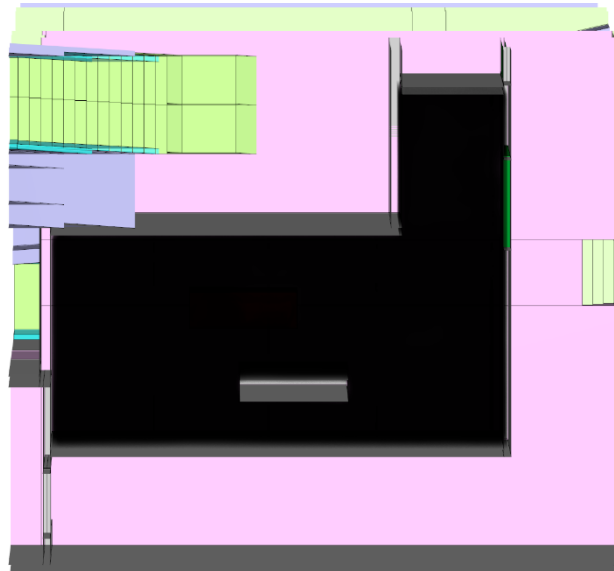
t = 3 minuti



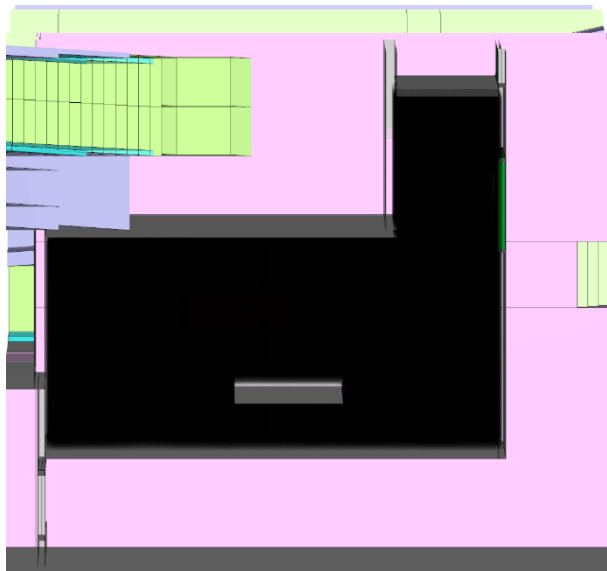
t = 4 minuti



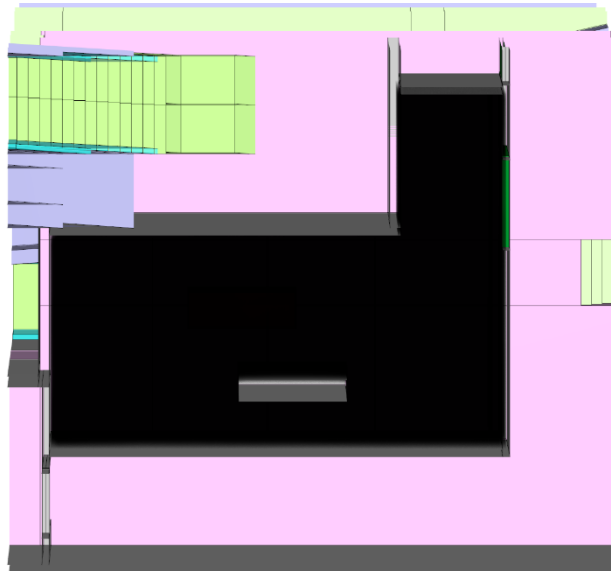
t = 5 minuti



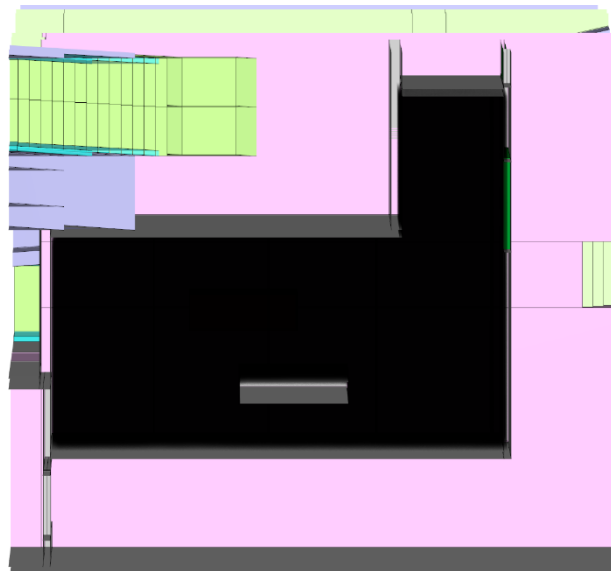
t = 6 minuti



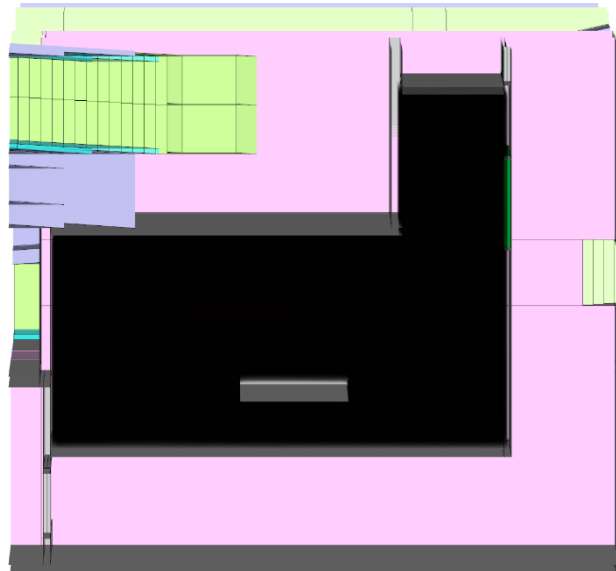
t = 7 minuti



t = 8 minuti



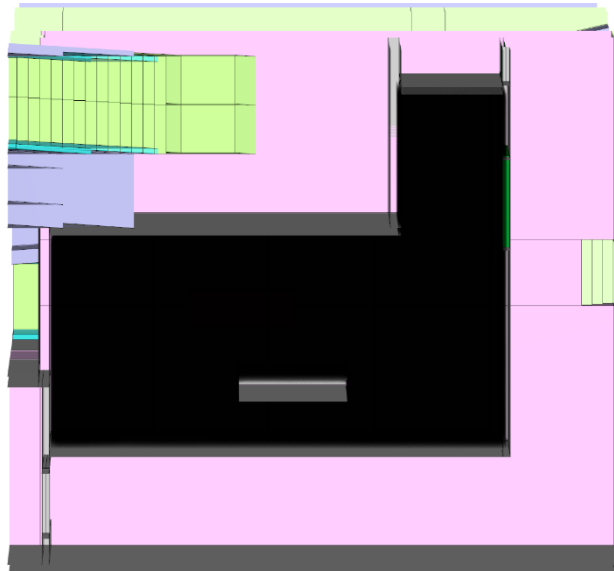
t = 9 minuti



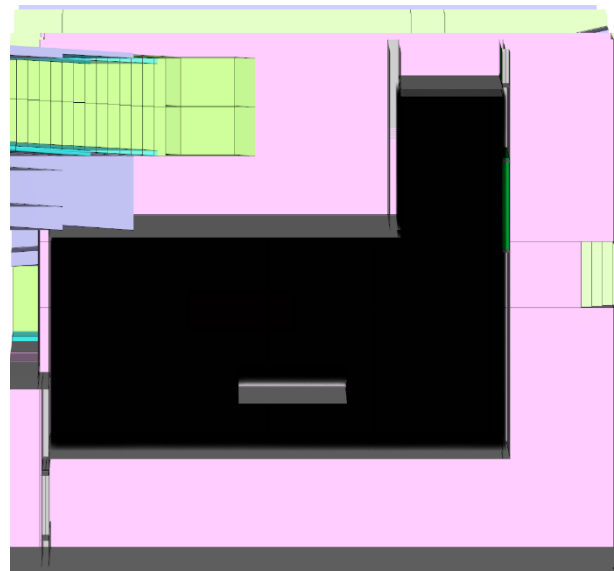
t = 10 minuti



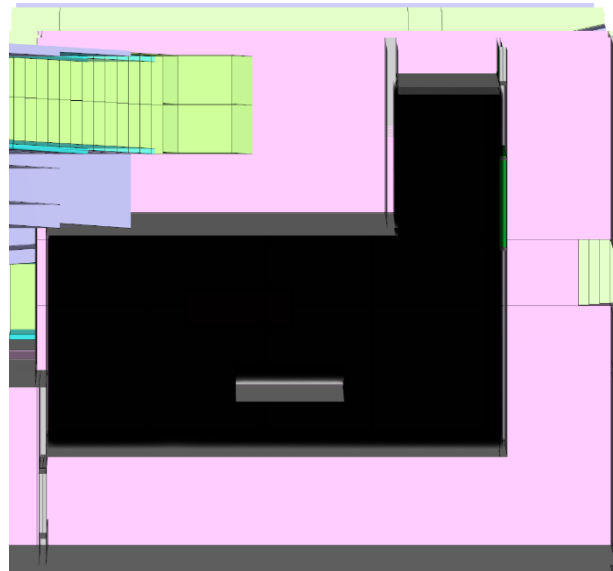
t = 11 minuti



t = 12 minuti



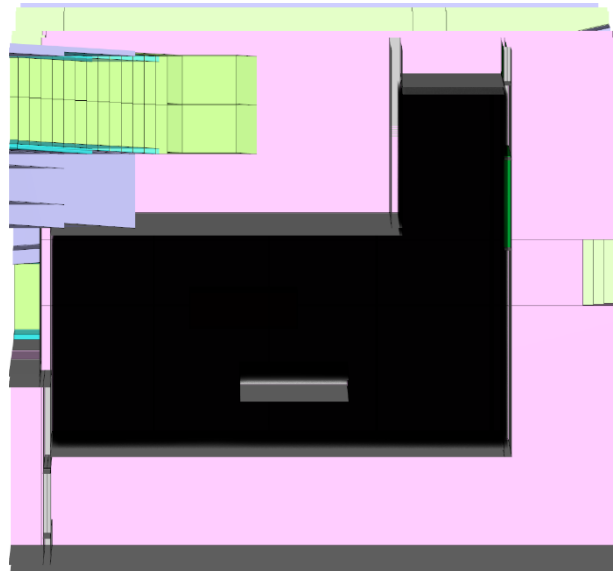
t = 13 minuti



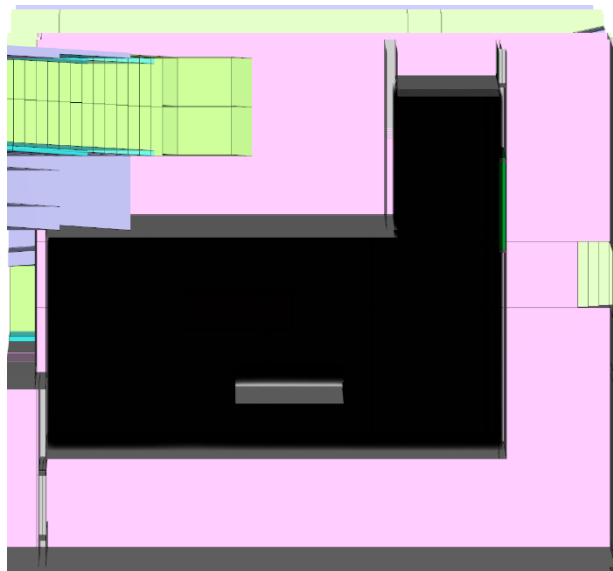
t = 14 minuti



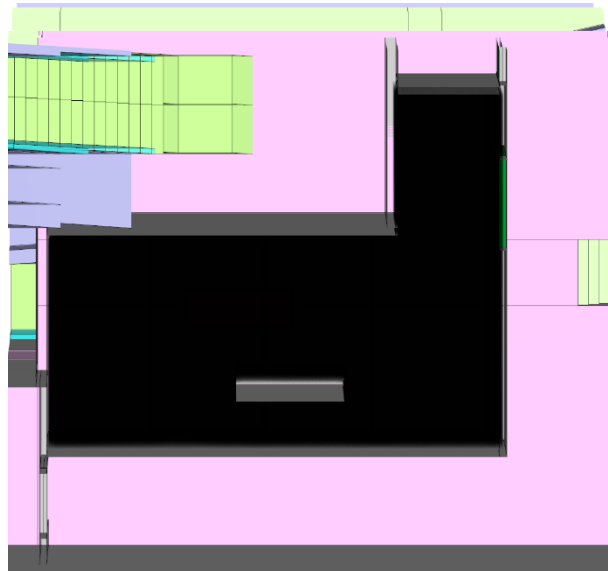
t = 15 minuti



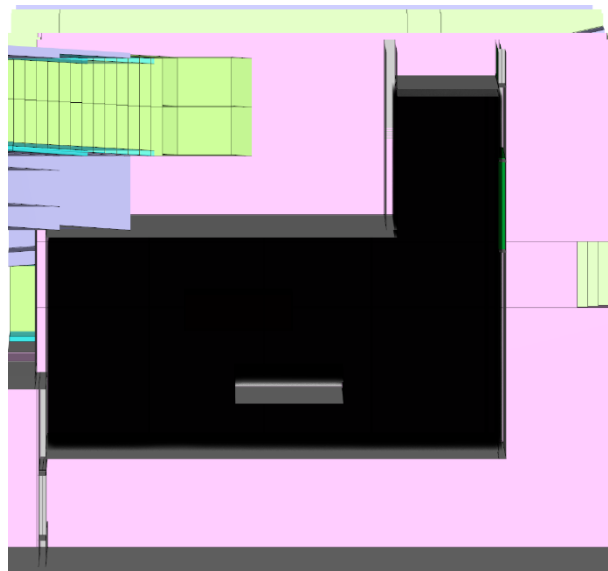
t = 16 minuti



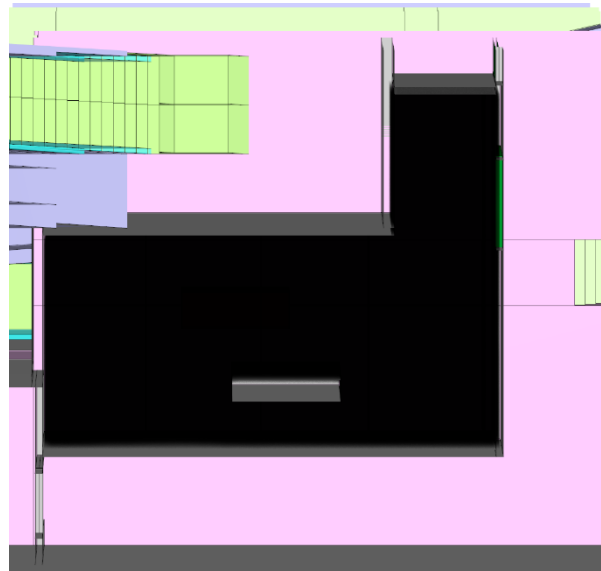
t = 17 minuti



t = 18 minuti



t = 19 minuti



t = 20 minuti



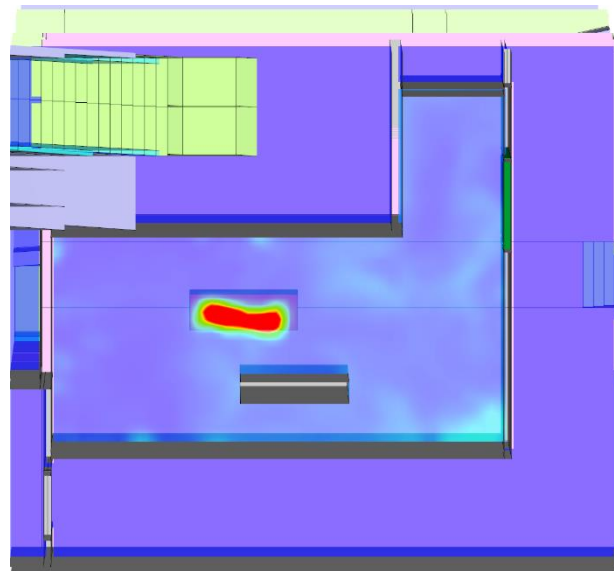
2.4.6.2 TEMPERATURE



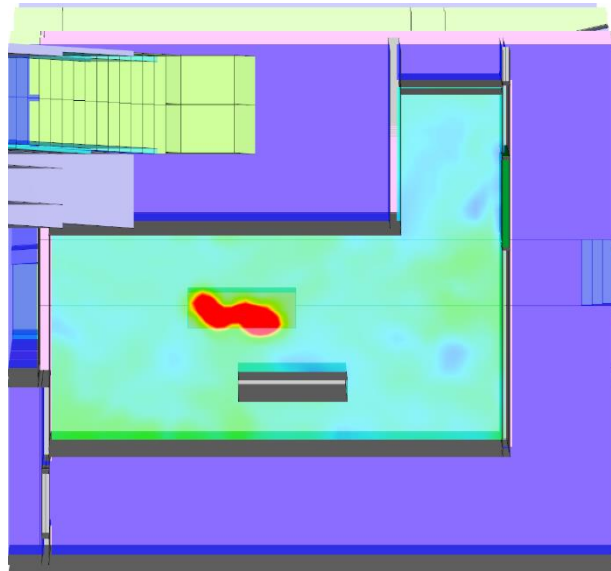
temp
(C)



t = 1 minuto



t = 2 minuti



t = 3 minuti



temp
(C)



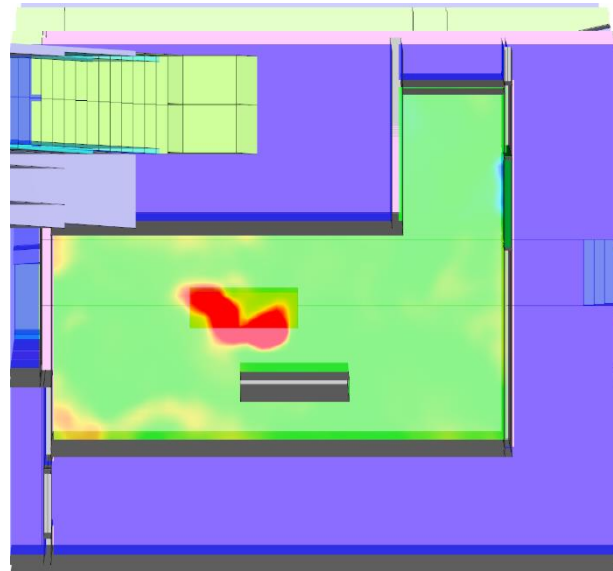
t = 4 minuti



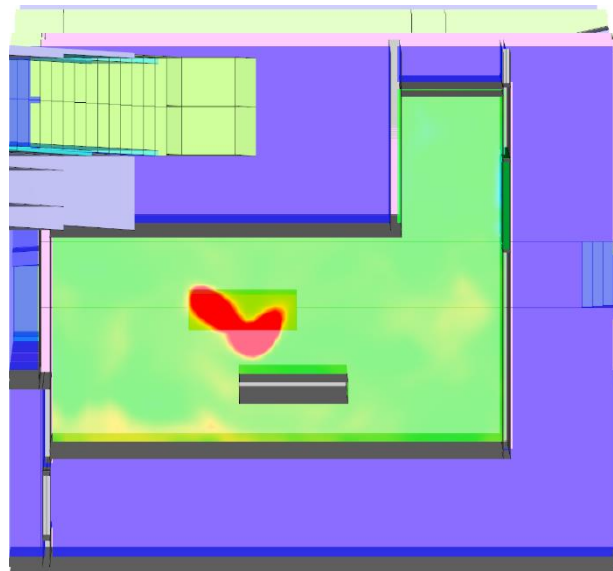
t = 5 minuti



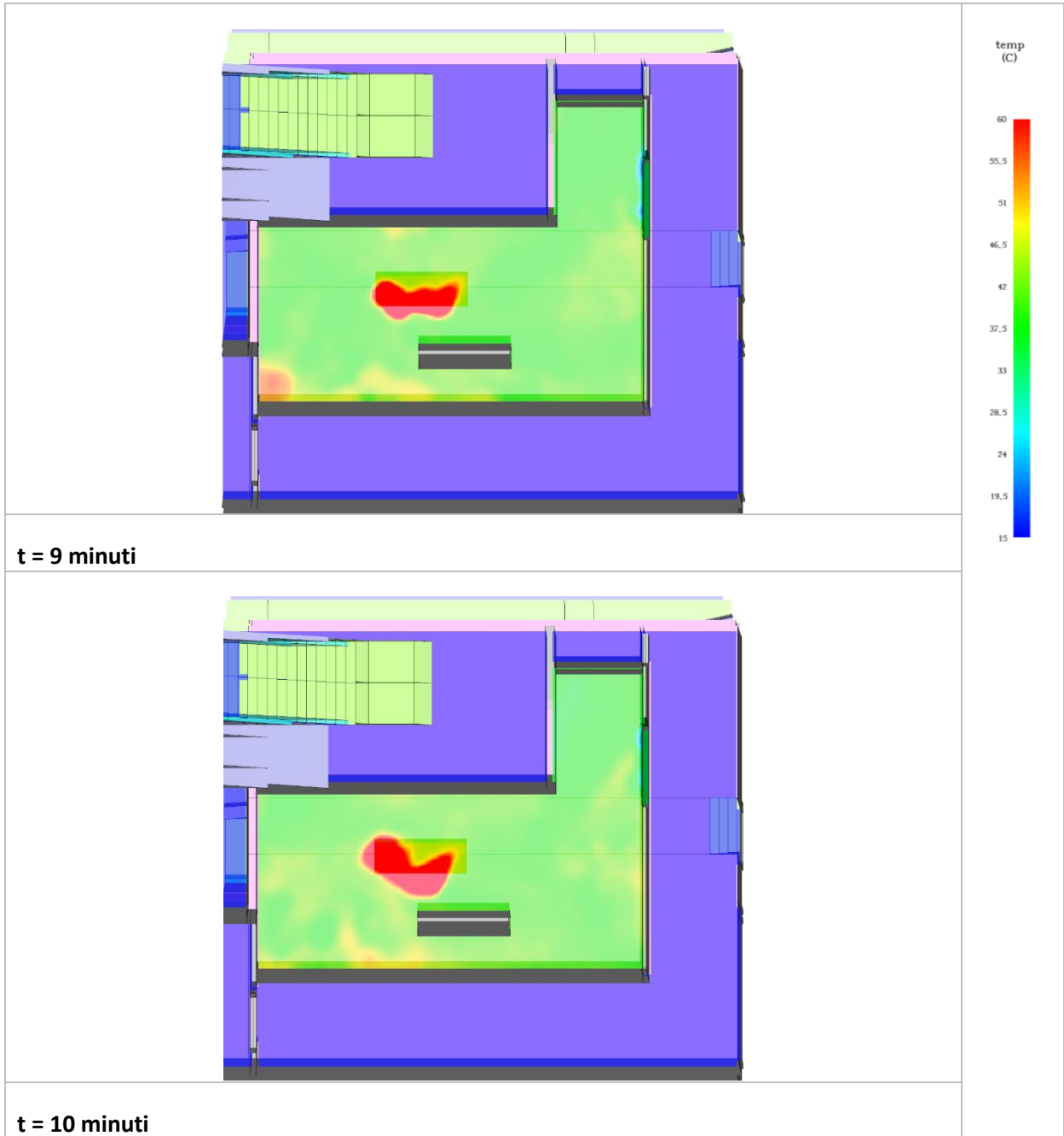
t = 6 minuti

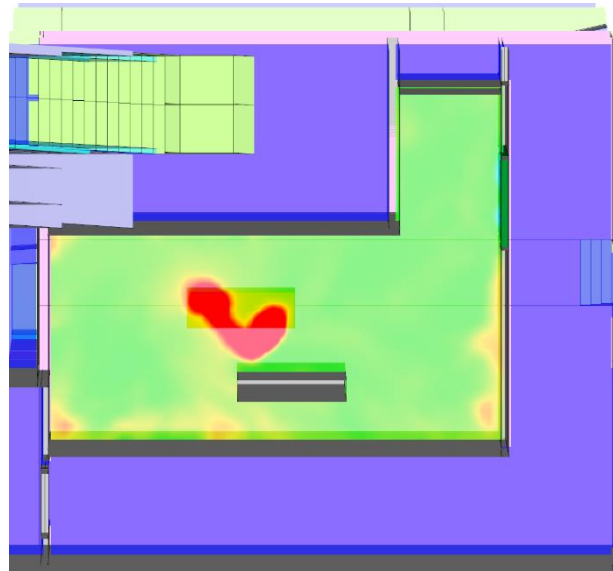


t = 7 minuti

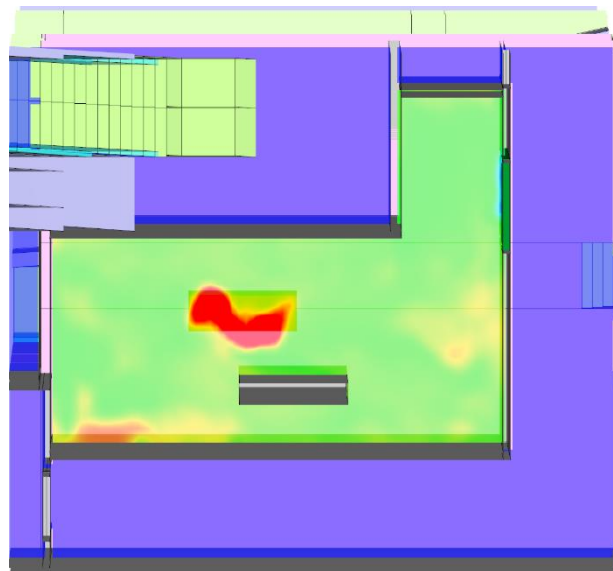


t = 8 minuti





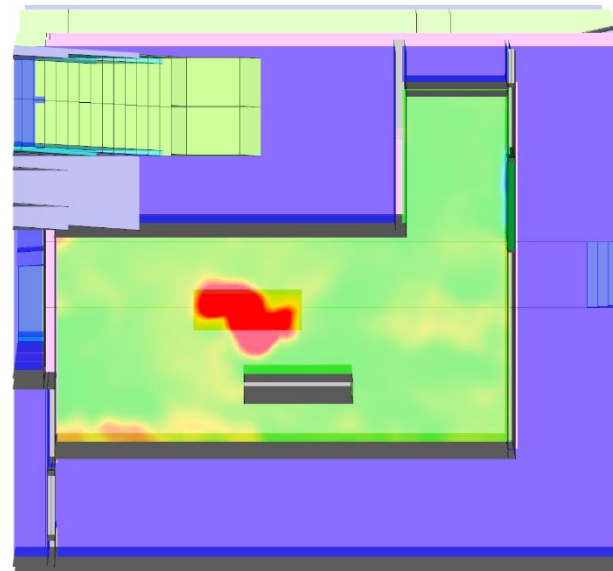
t = 11 minuti



t = 12 minuti



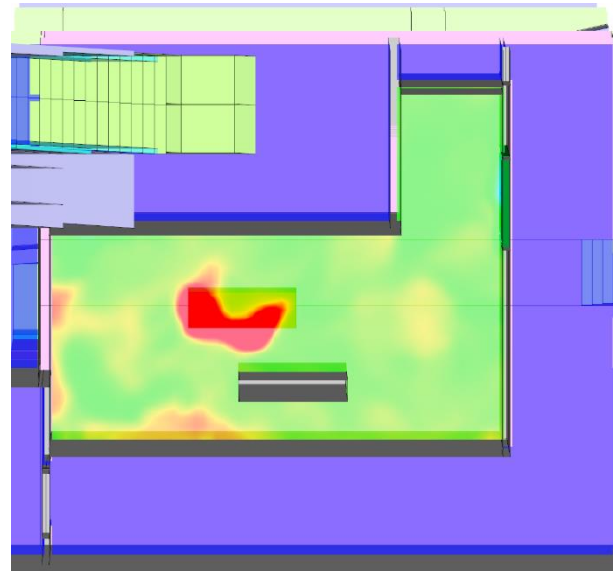
t = 13 minuti



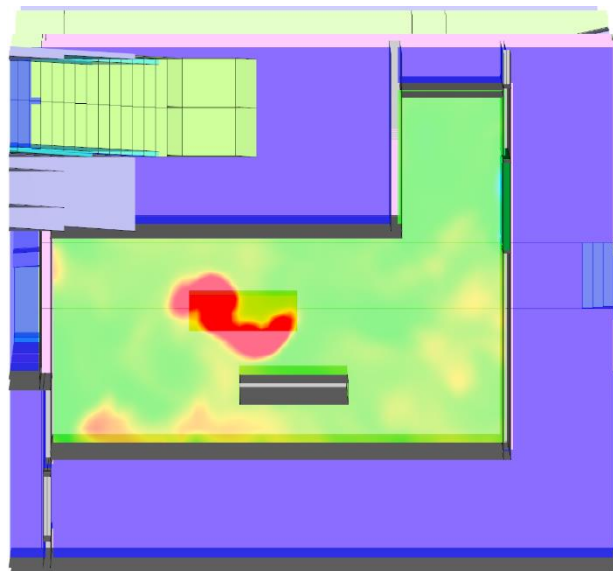
t = 14 minuti

temp
(C)

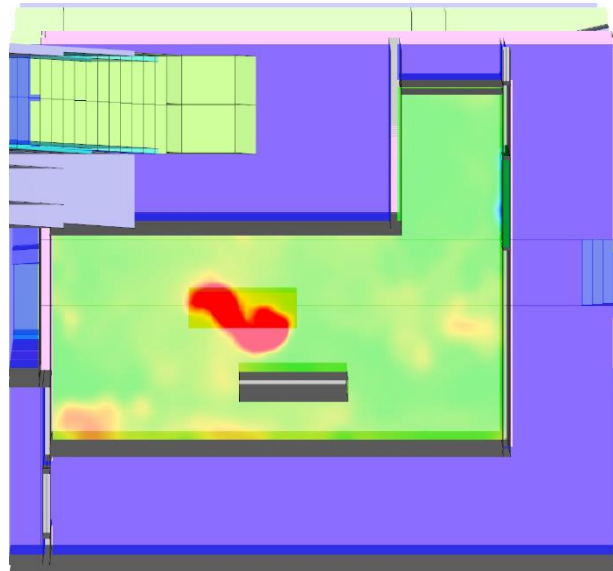




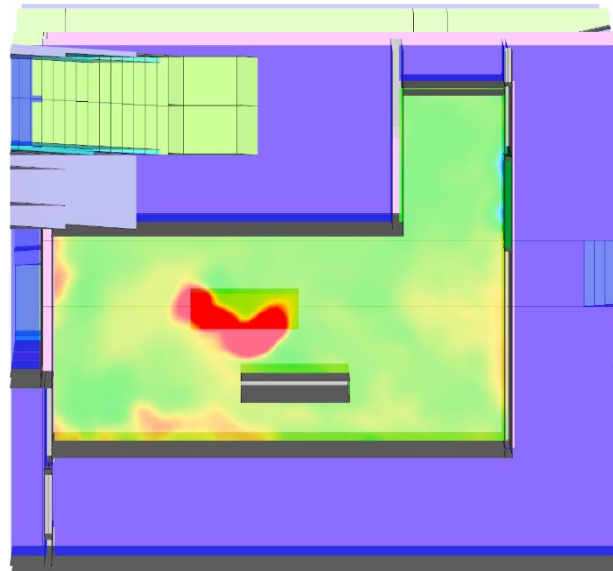
t = 15 minuti



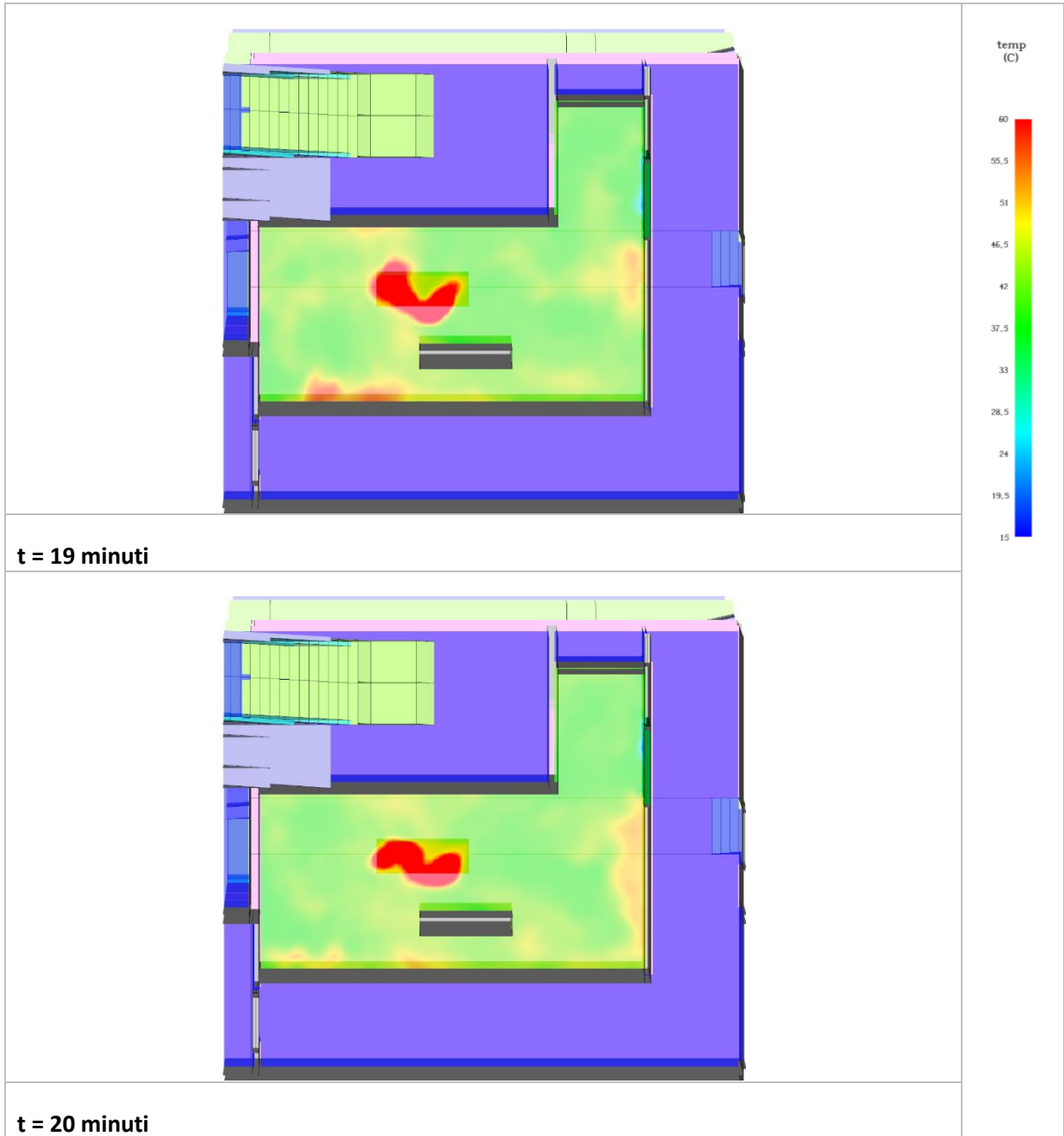
t = 16 minuti



t = 17 minuti



t = 18 minuti





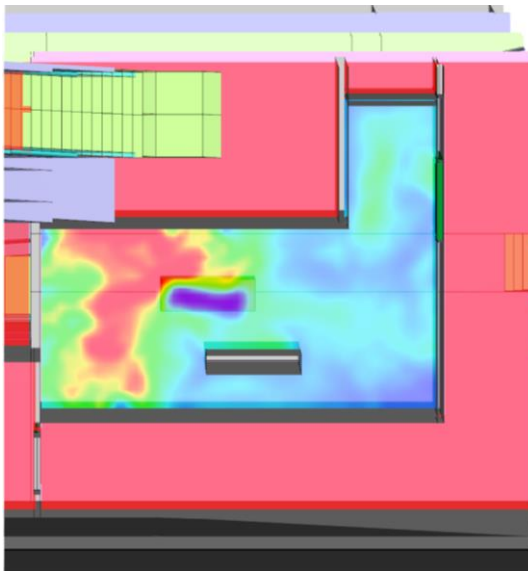
2.4.6.3 VISIBILITÀ



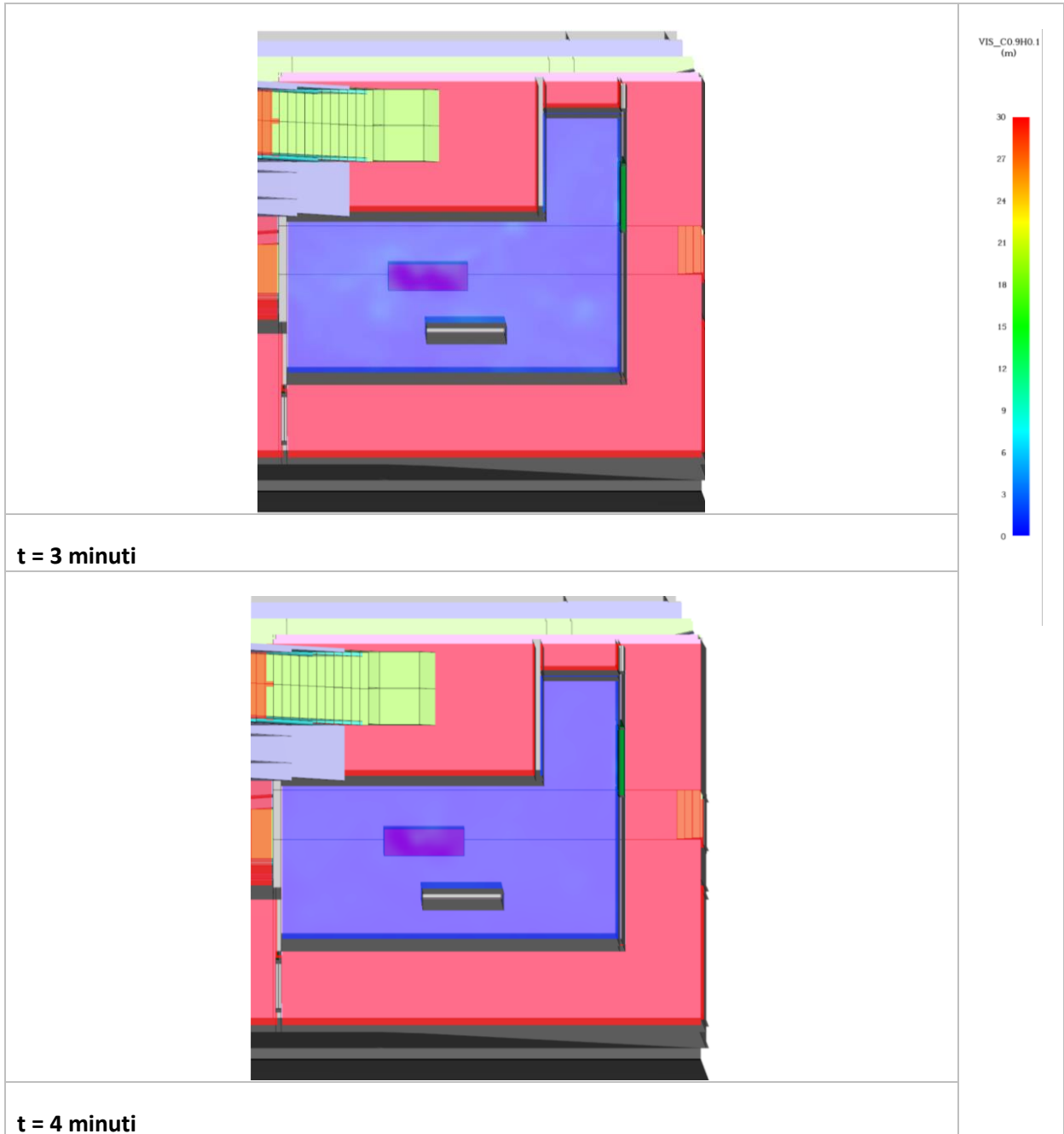
VIS_C0.9H0.1
(m)

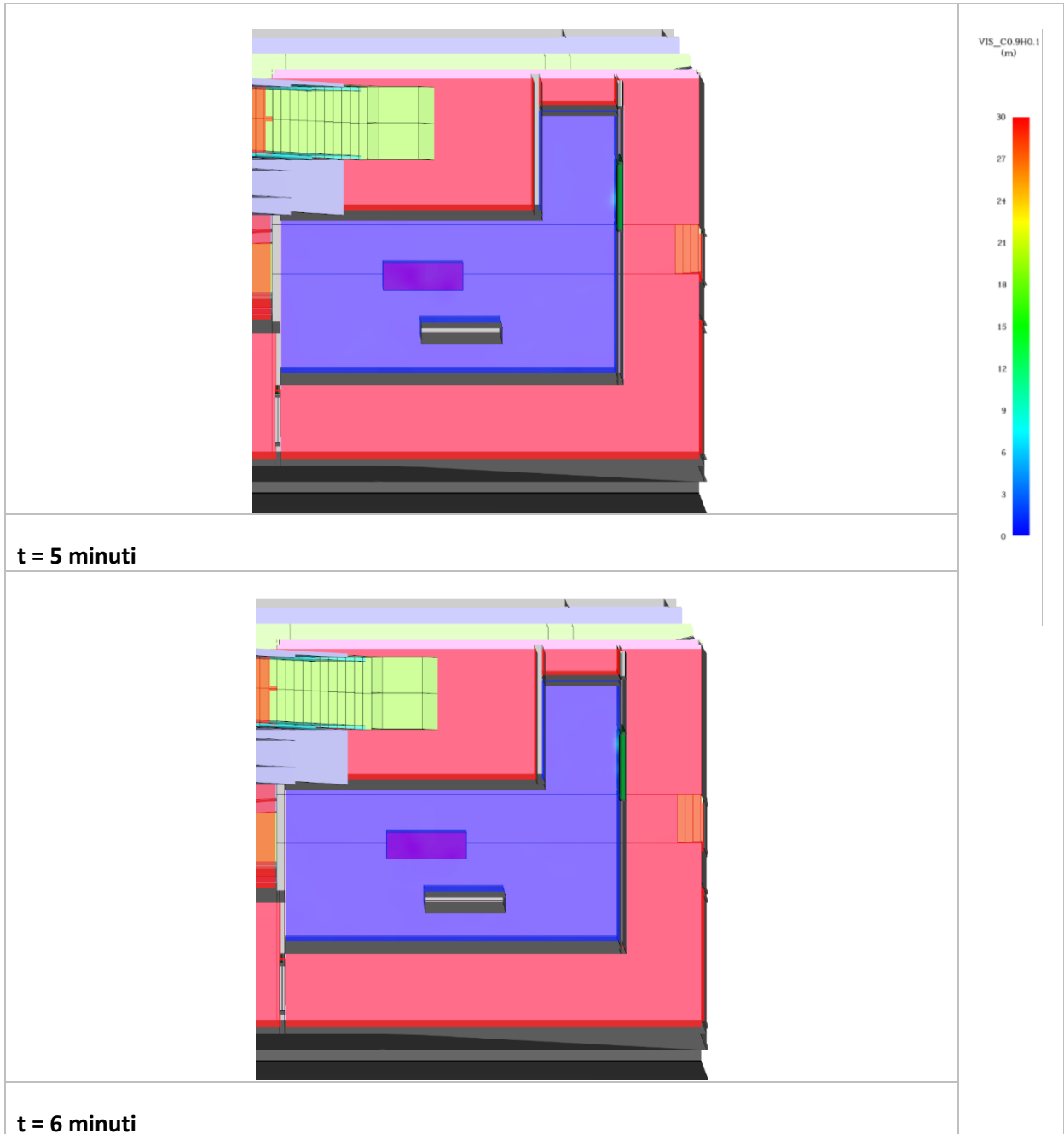


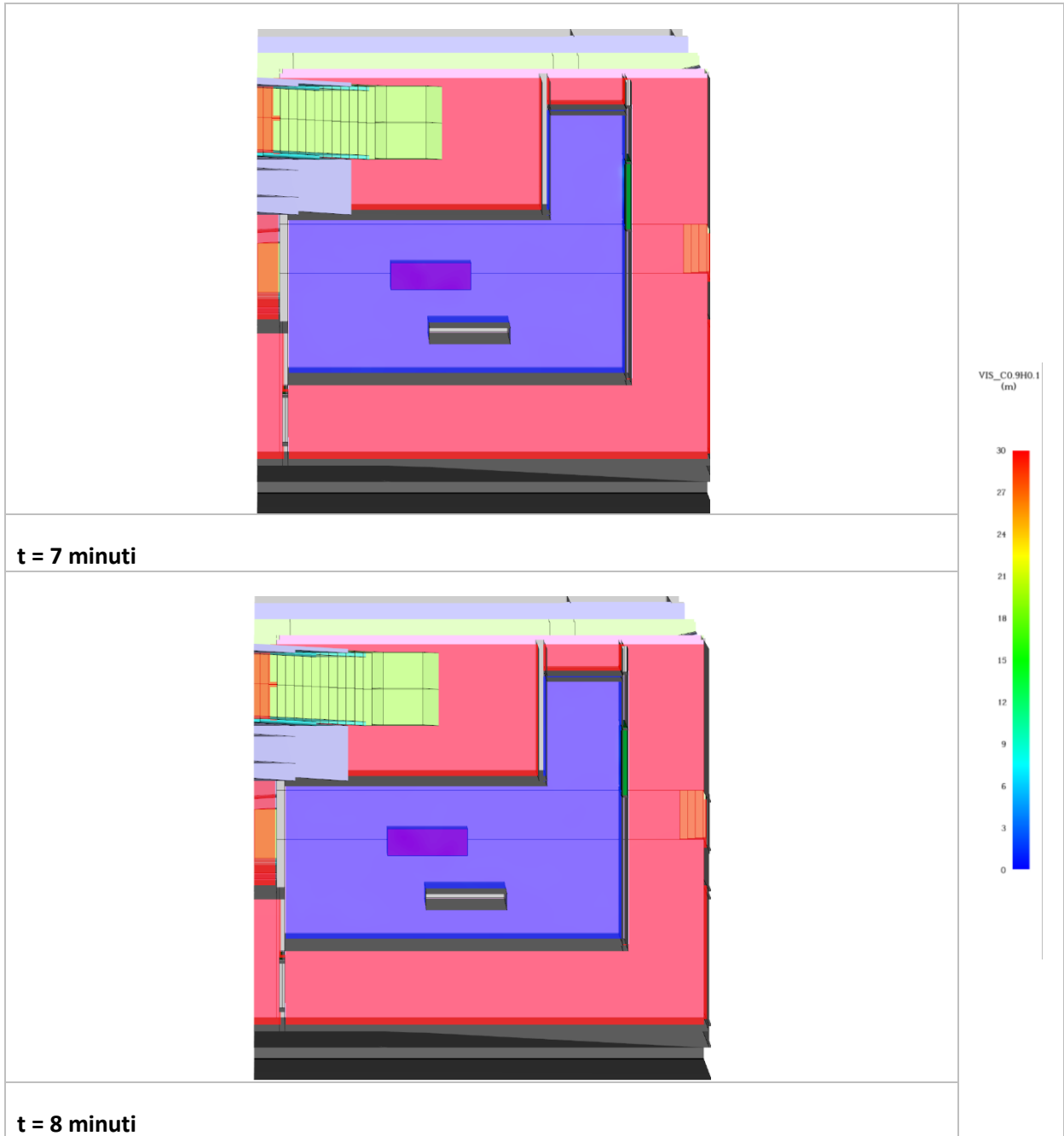
t = 1 minuto

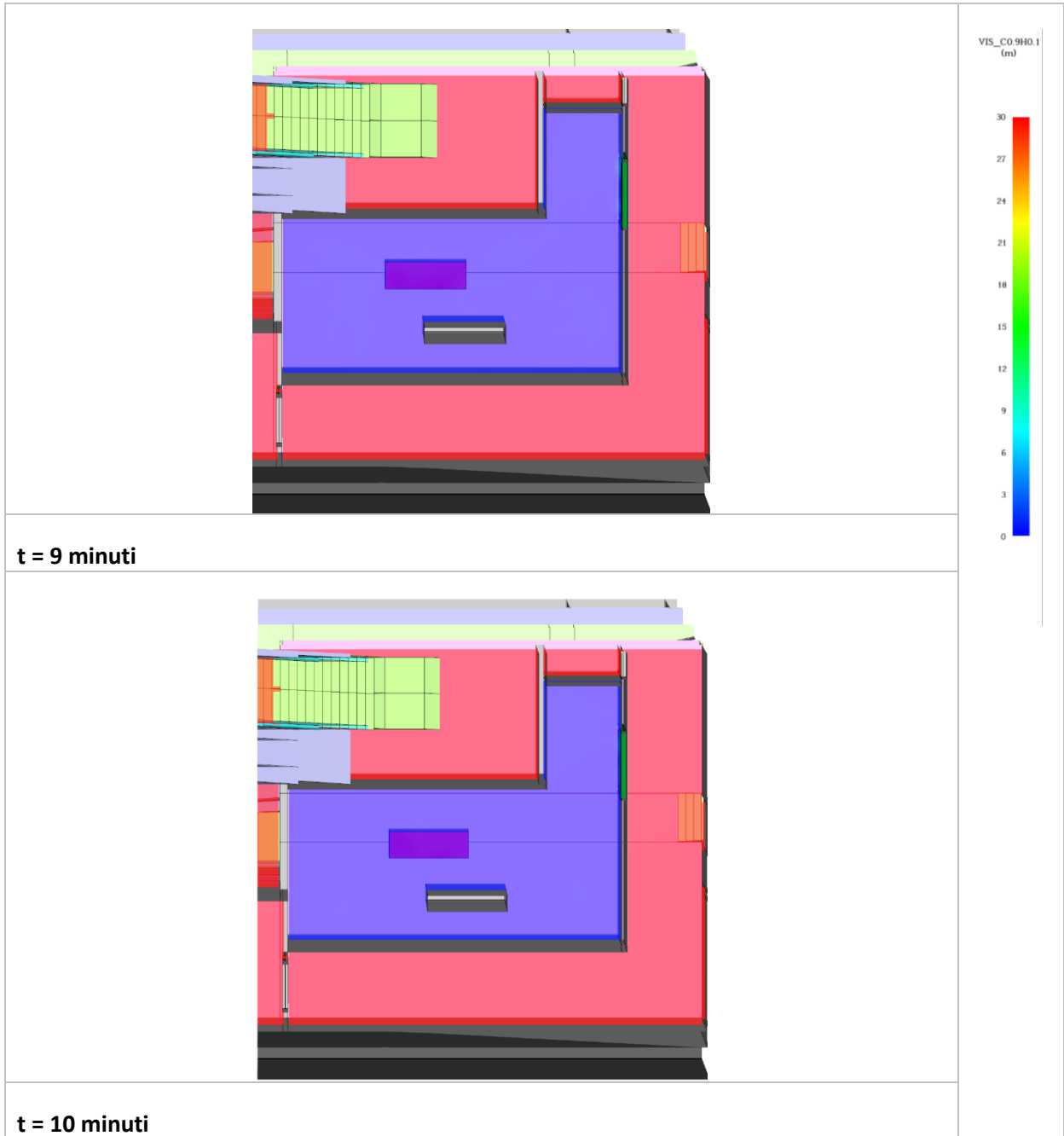


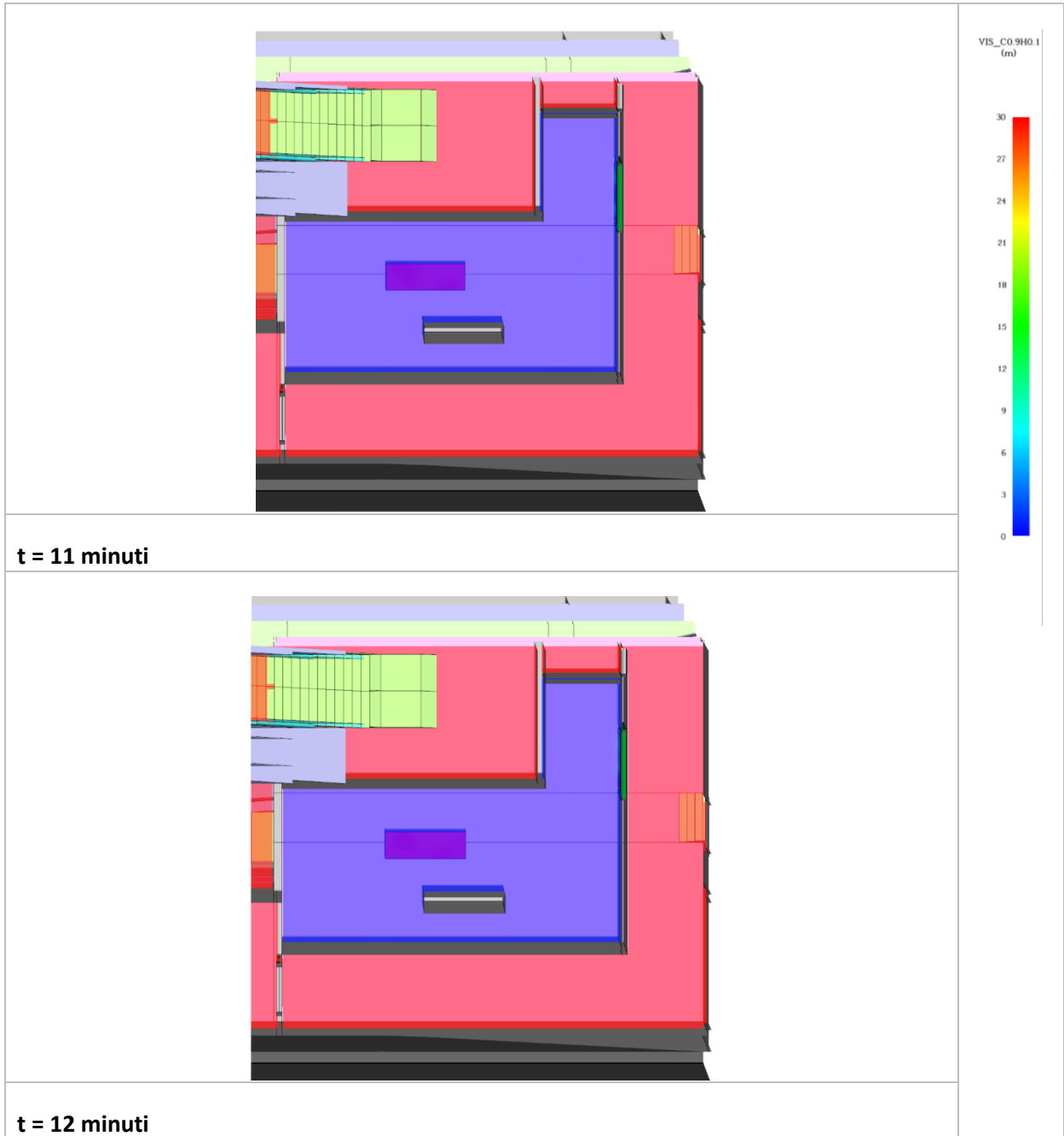
t = 2 minuti

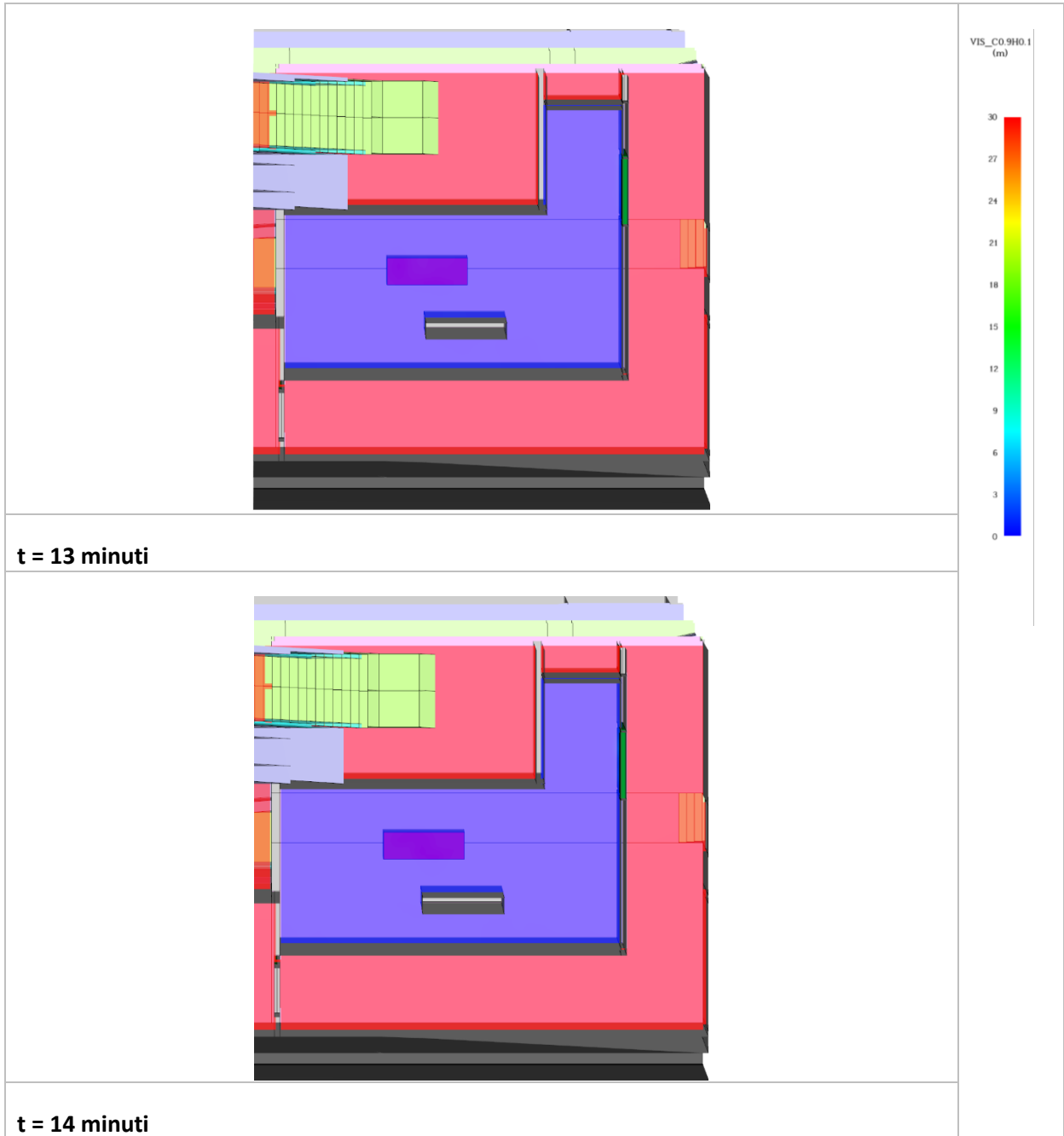


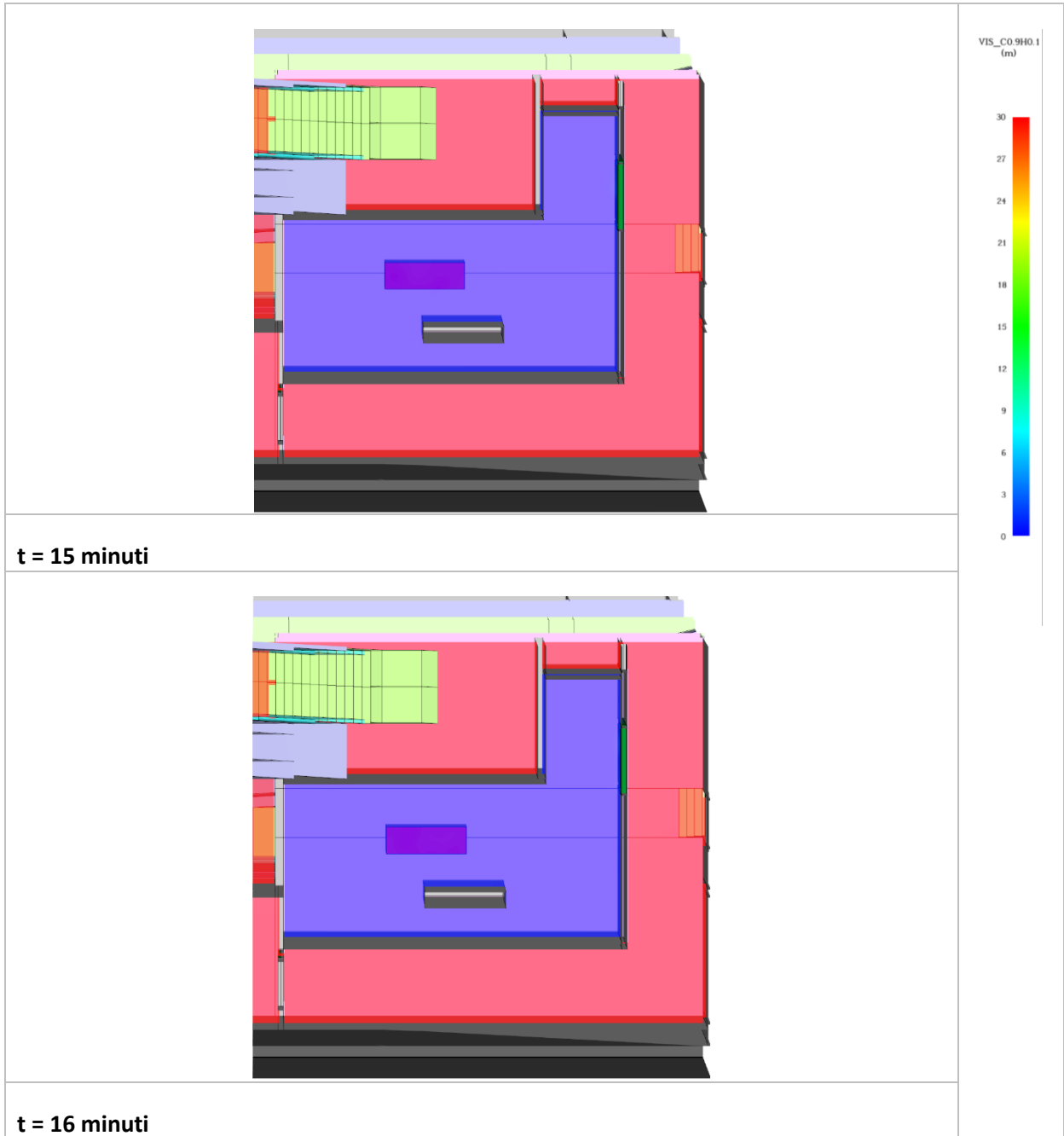














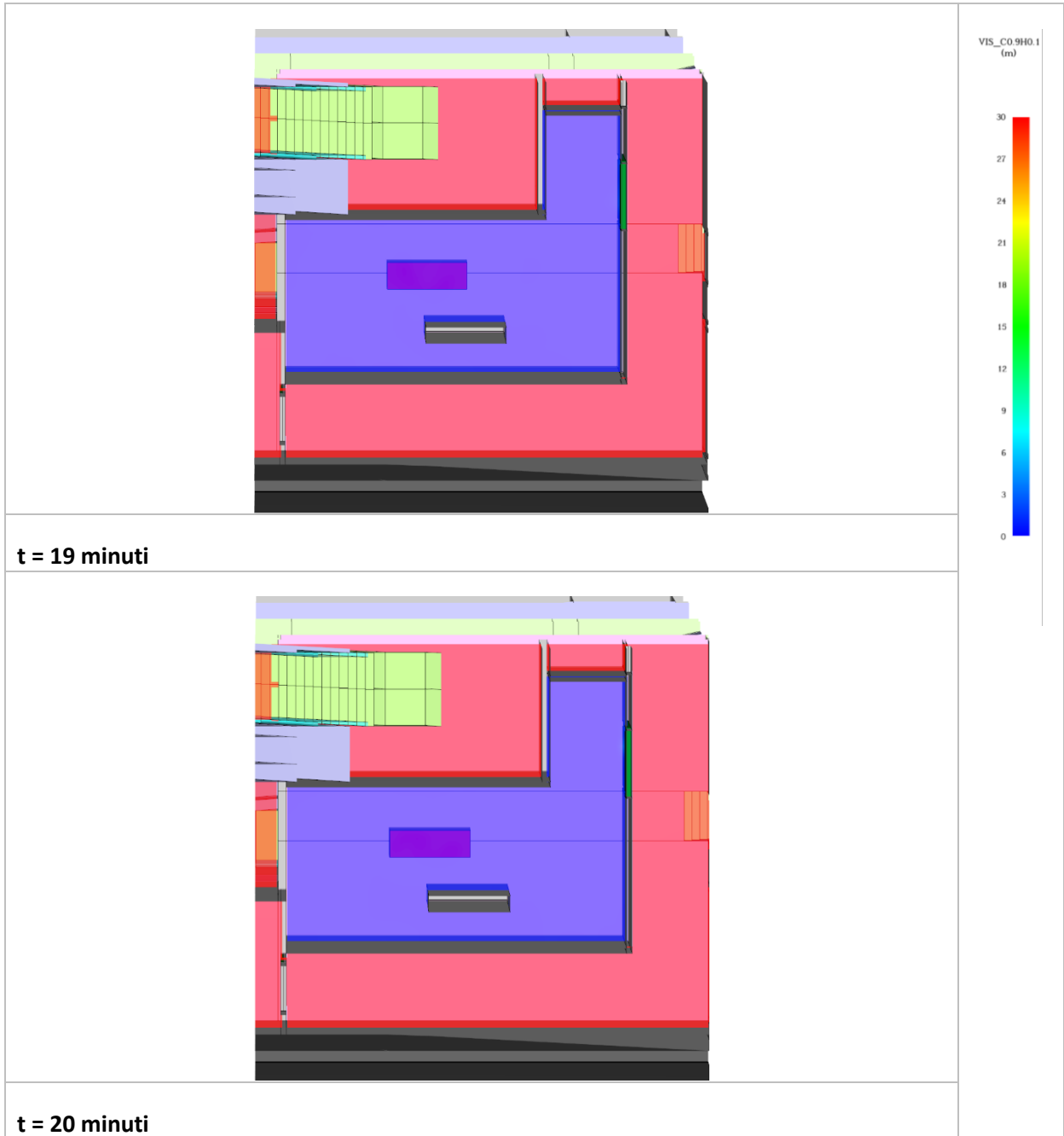
t = 17 minuti



VIS_C0.9H0.1
(m)

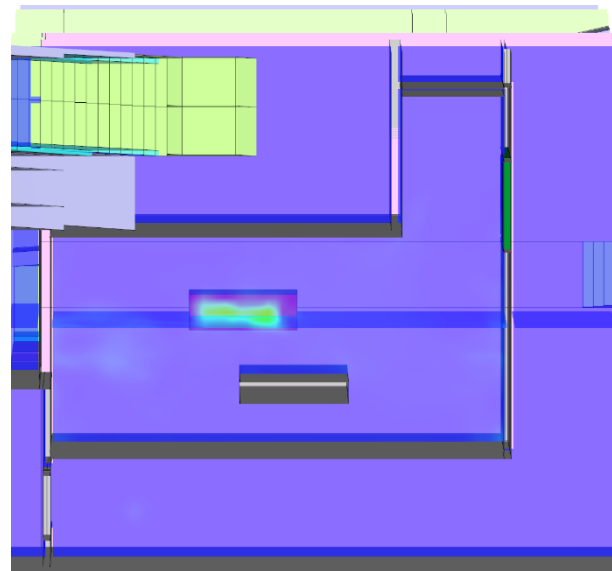


t = 18 minuti

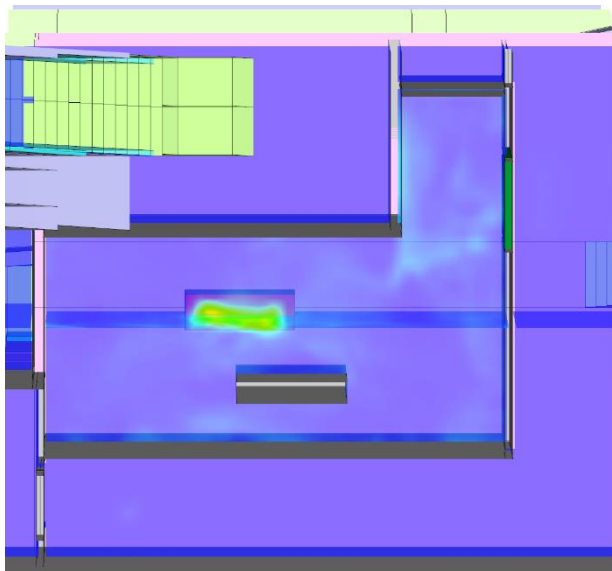




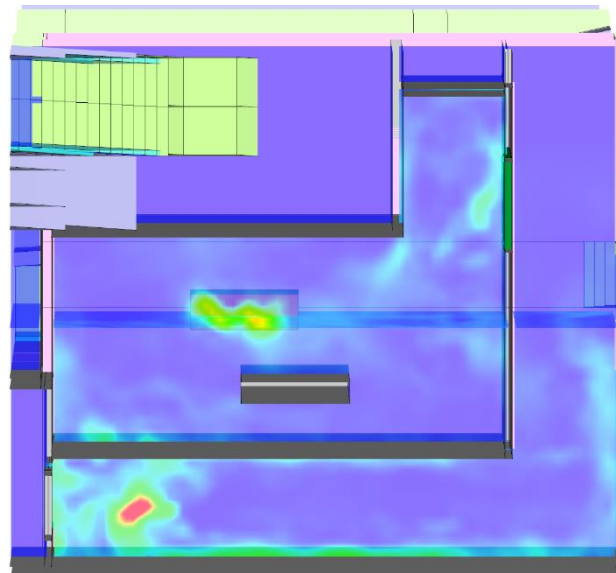
2.4.6.4 VELOCITÀ



t = 1 minuto



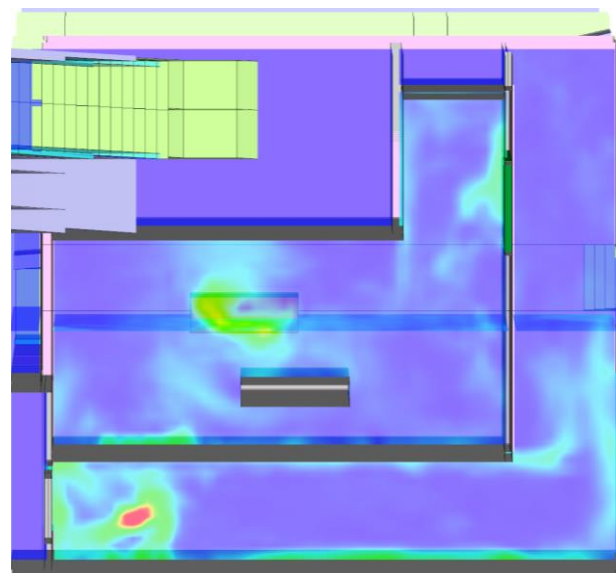
t = 2 minuti



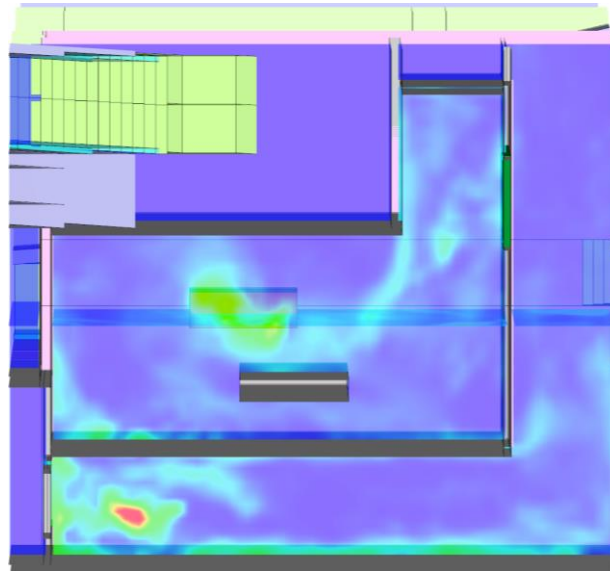
vel
(m/s)



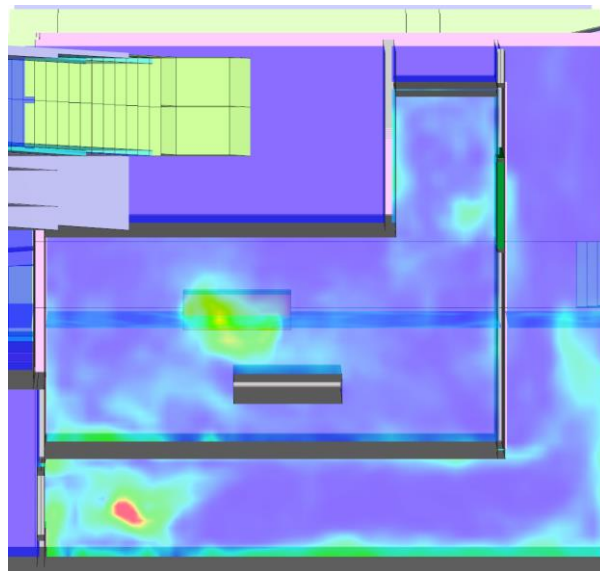
t = 3 minuti



t = 4 minuti



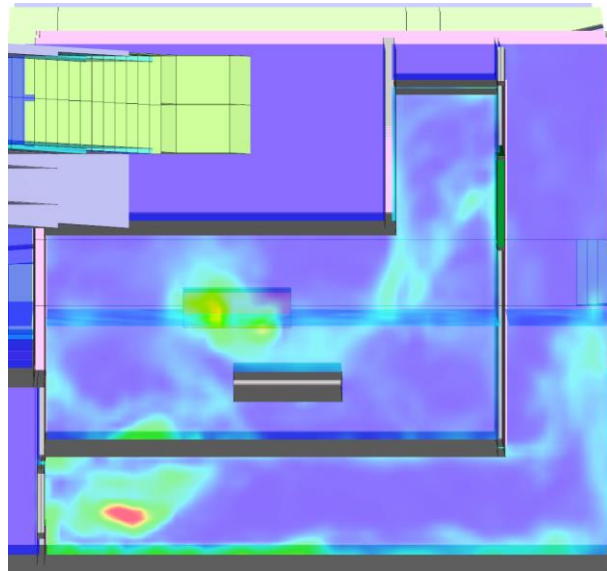
t = 5 minuti



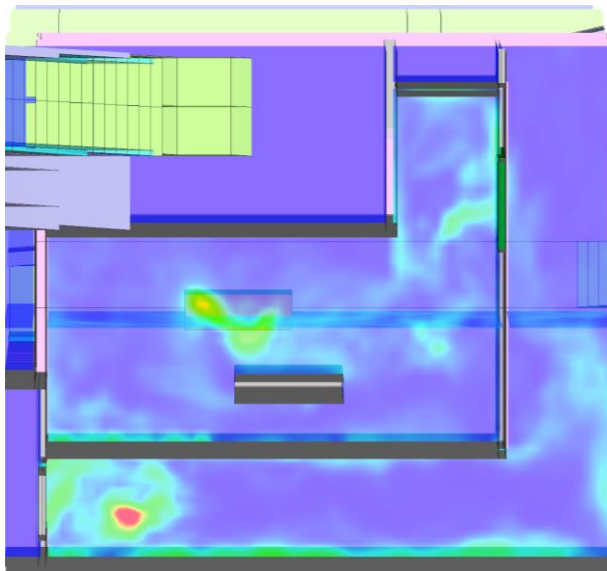
t = 6 minuti

vel
(m/s)





t = 7 minuti



t = 8 minuti

vel
(m/s)

2.5

2.25

2

1.75

1.5

1.25

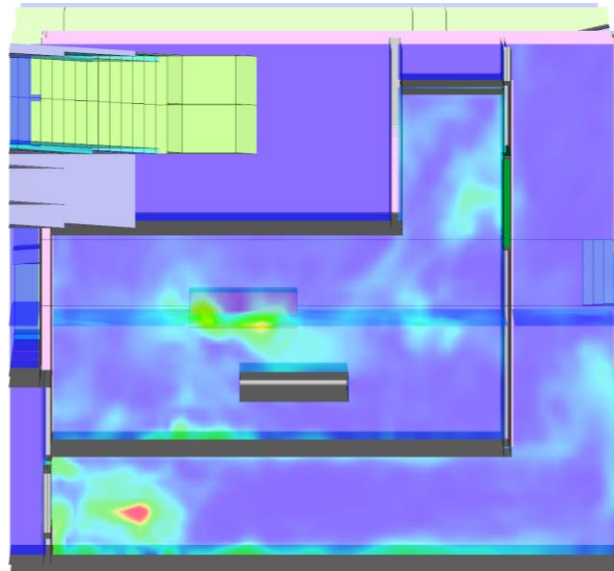
1

0.75

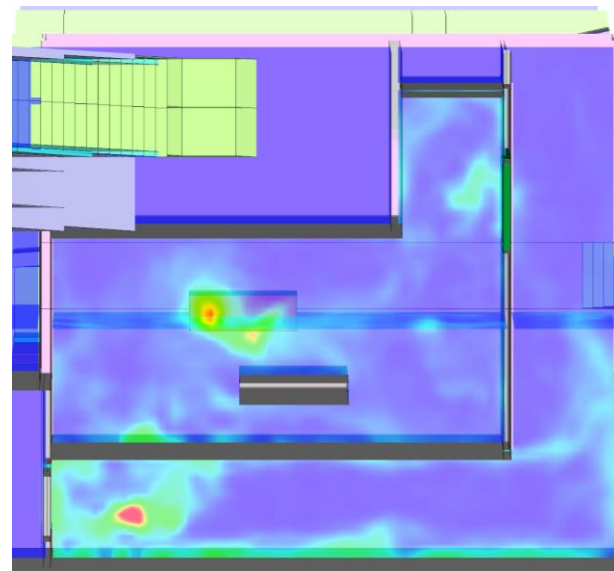
0.5

0.25

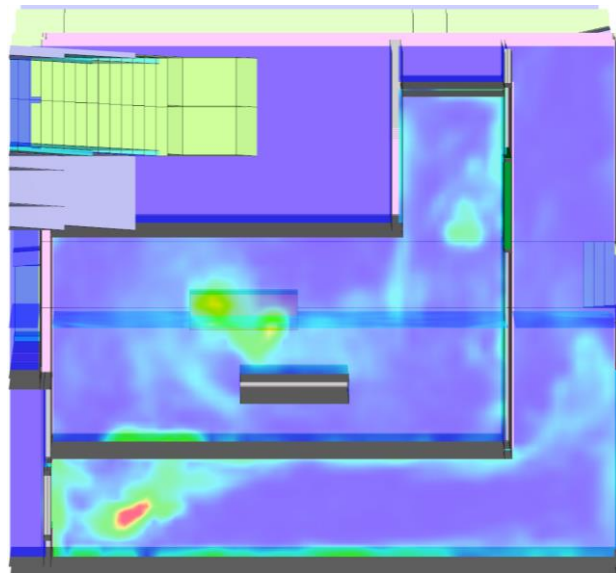
0



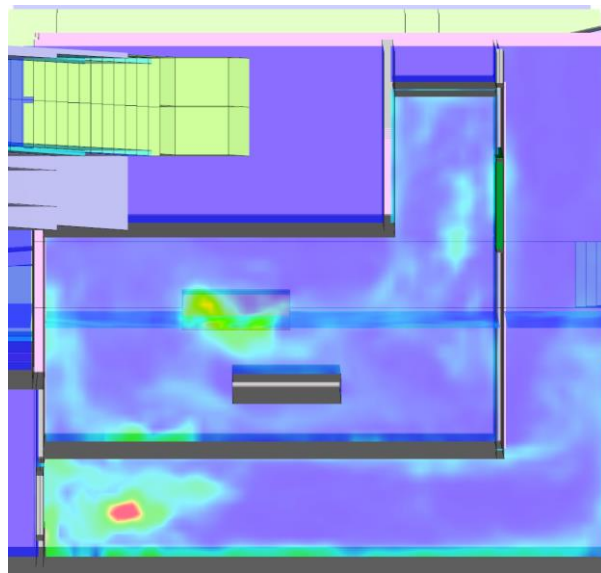
t = 9 minuti



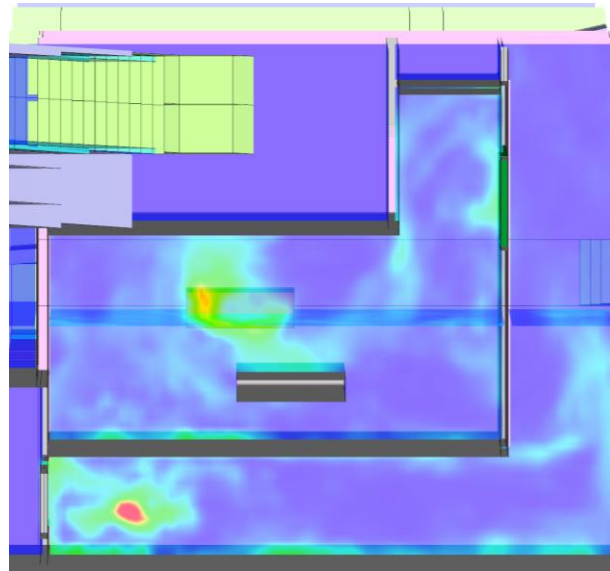
t = 10 minuti



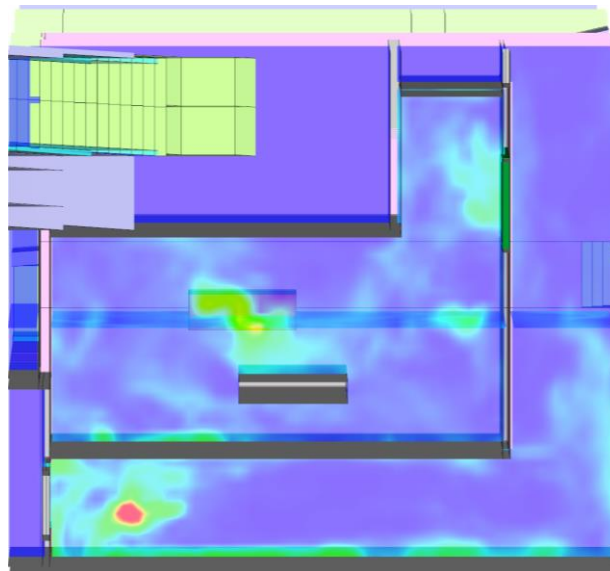
t = 11 minuti



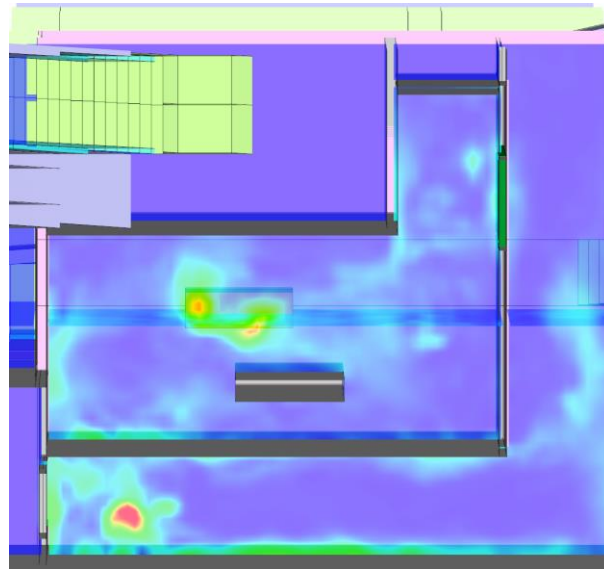
t = 12 minuti



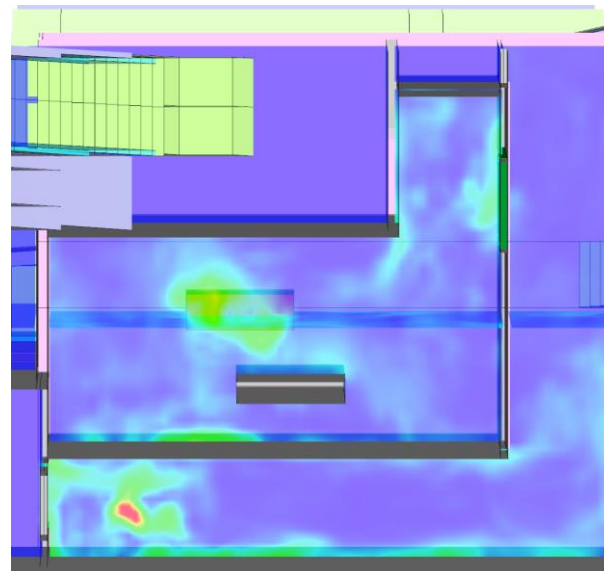
t = 13 minuti



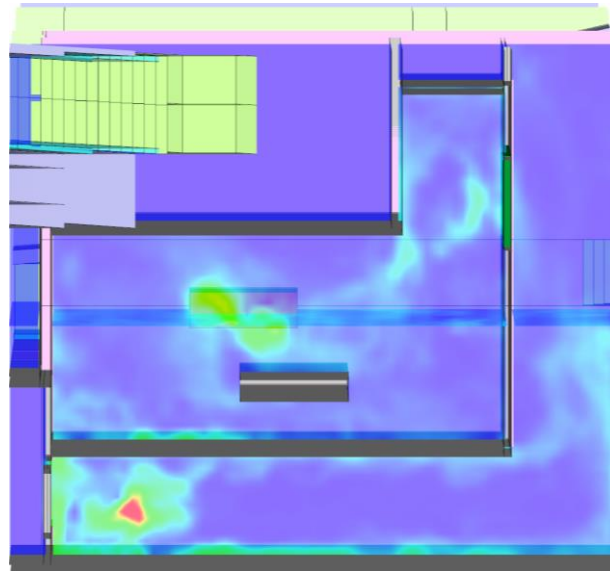
t = 14 minuti



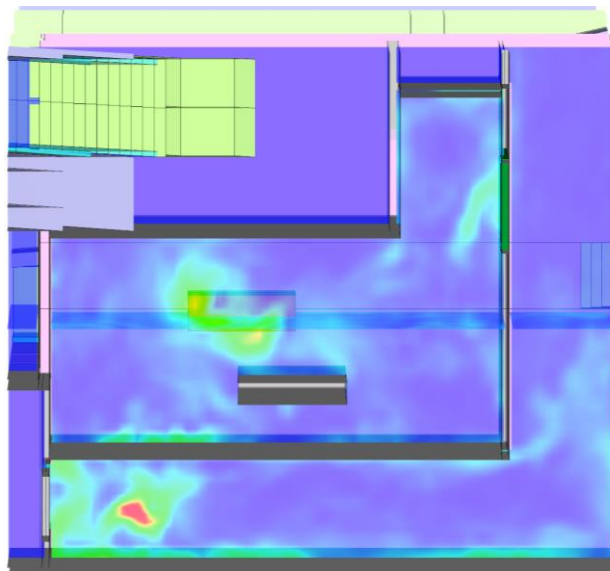
t = 15 minuti



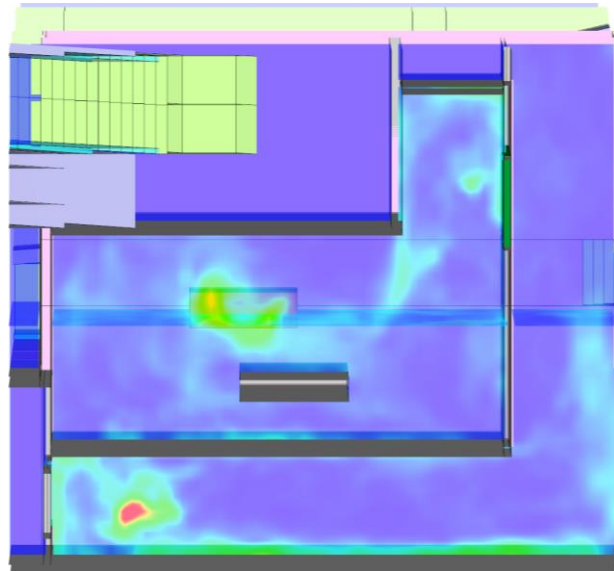
t = 16 minuti



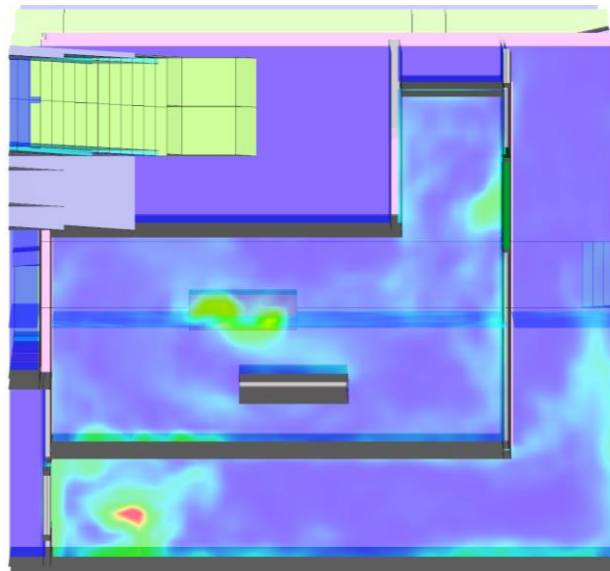
t = 17 minuti



t = 18 minuti



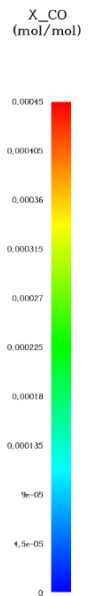
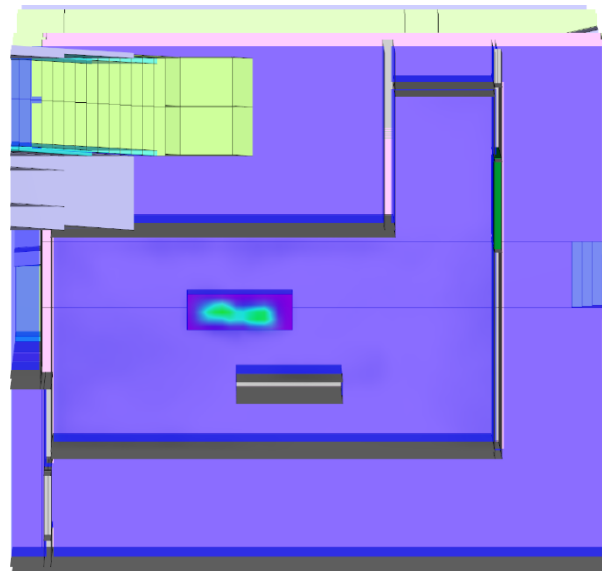
t = 19 minuti



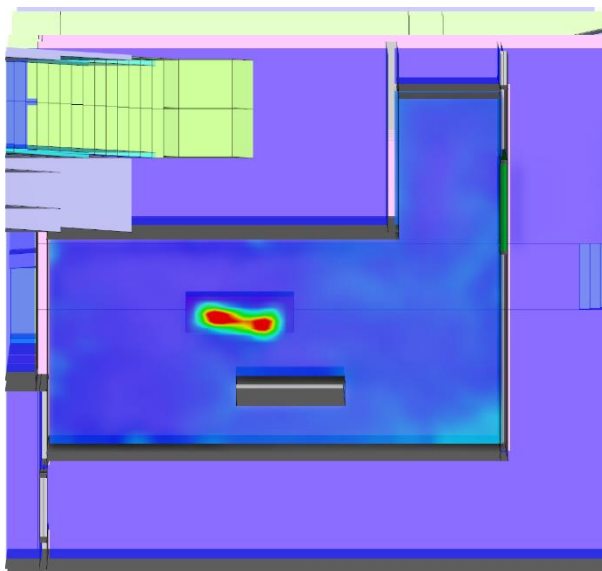
t = 20 minuti



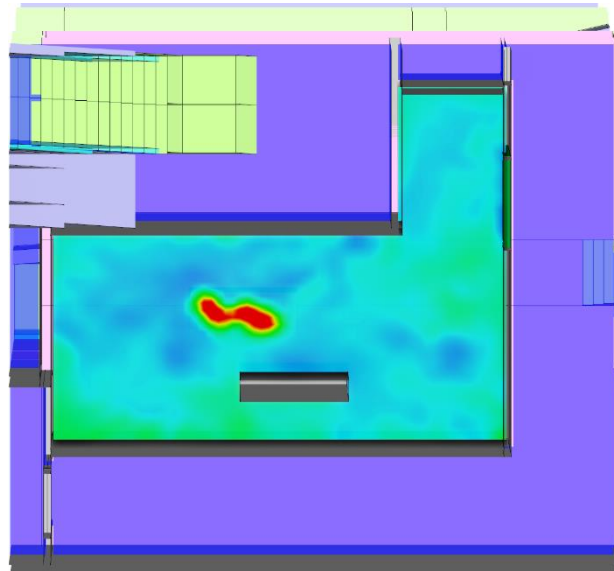
2.4.6.5 CONCENTRAZIONE CO



t = 1 minuto



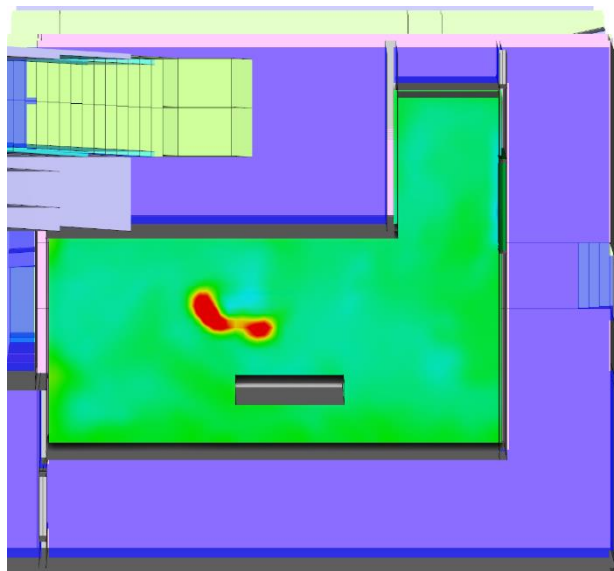
t = 2 minuti



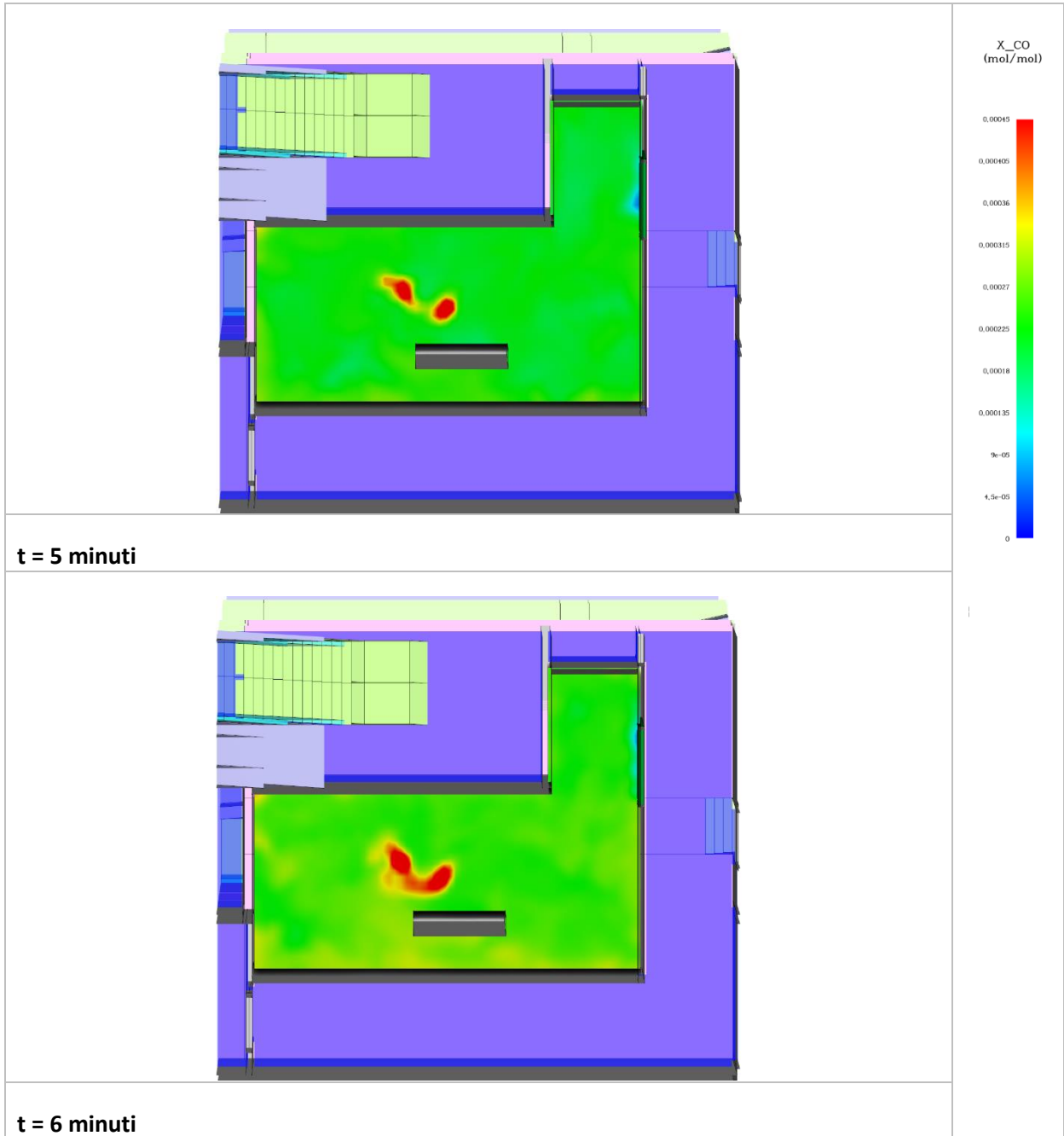
X_CO
(mol/mol)

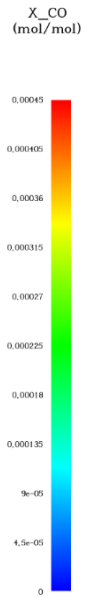
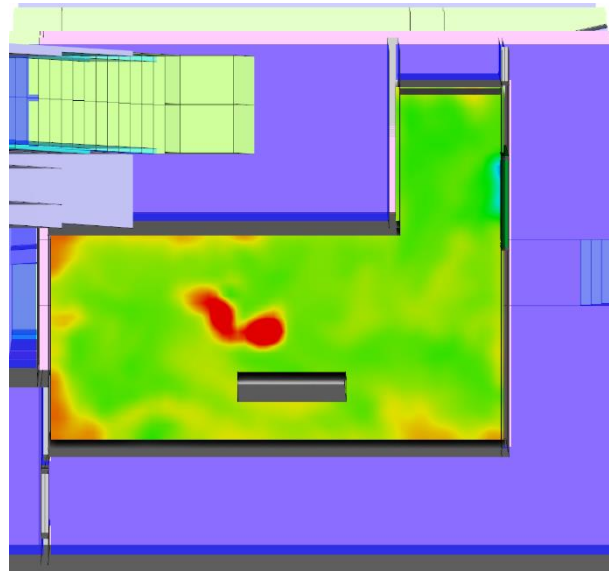


t = 3 minuti

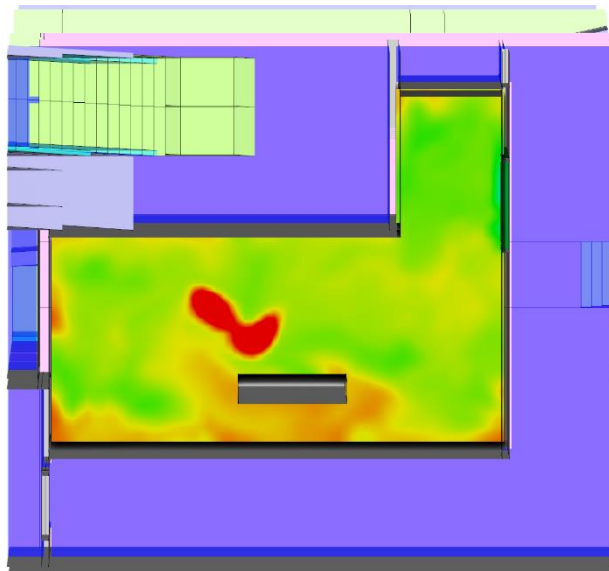


t = 4 minuti

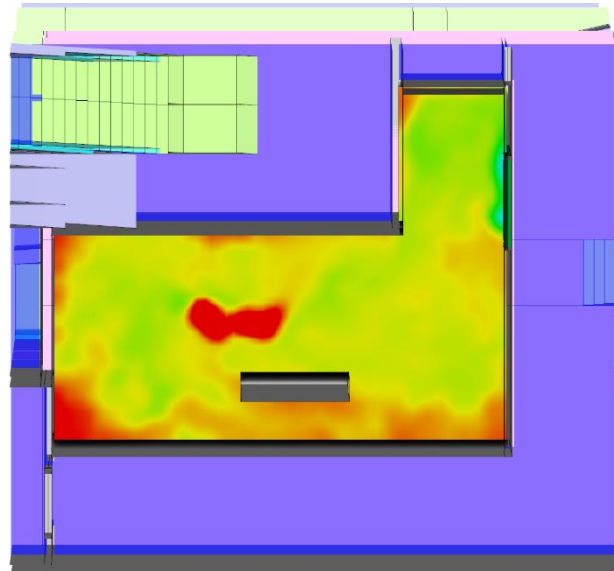




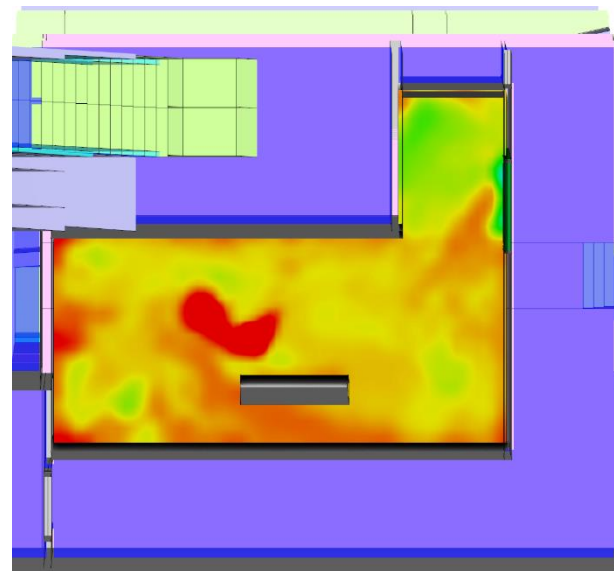
t = 7 minuti



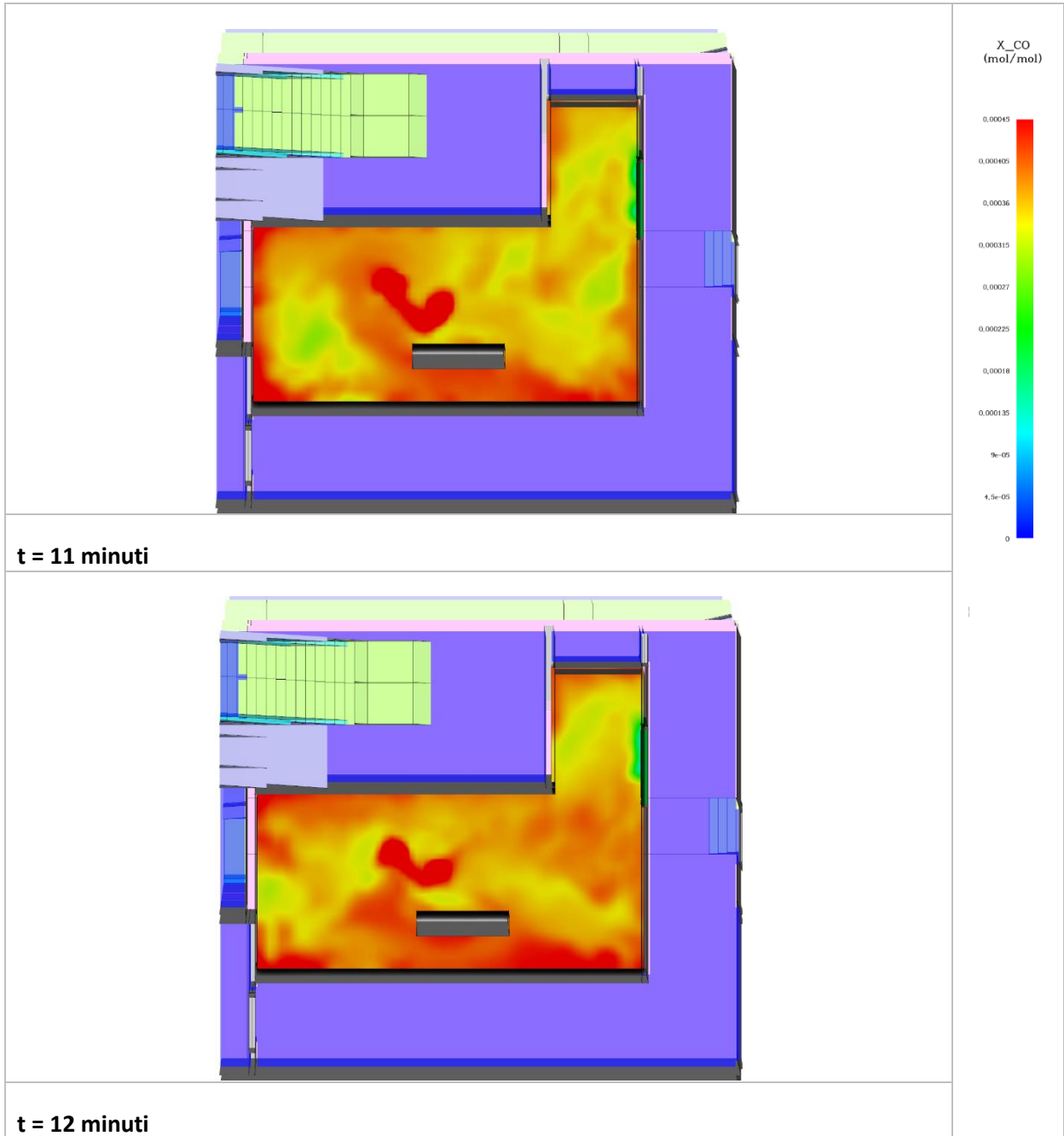
t = 8 minuti

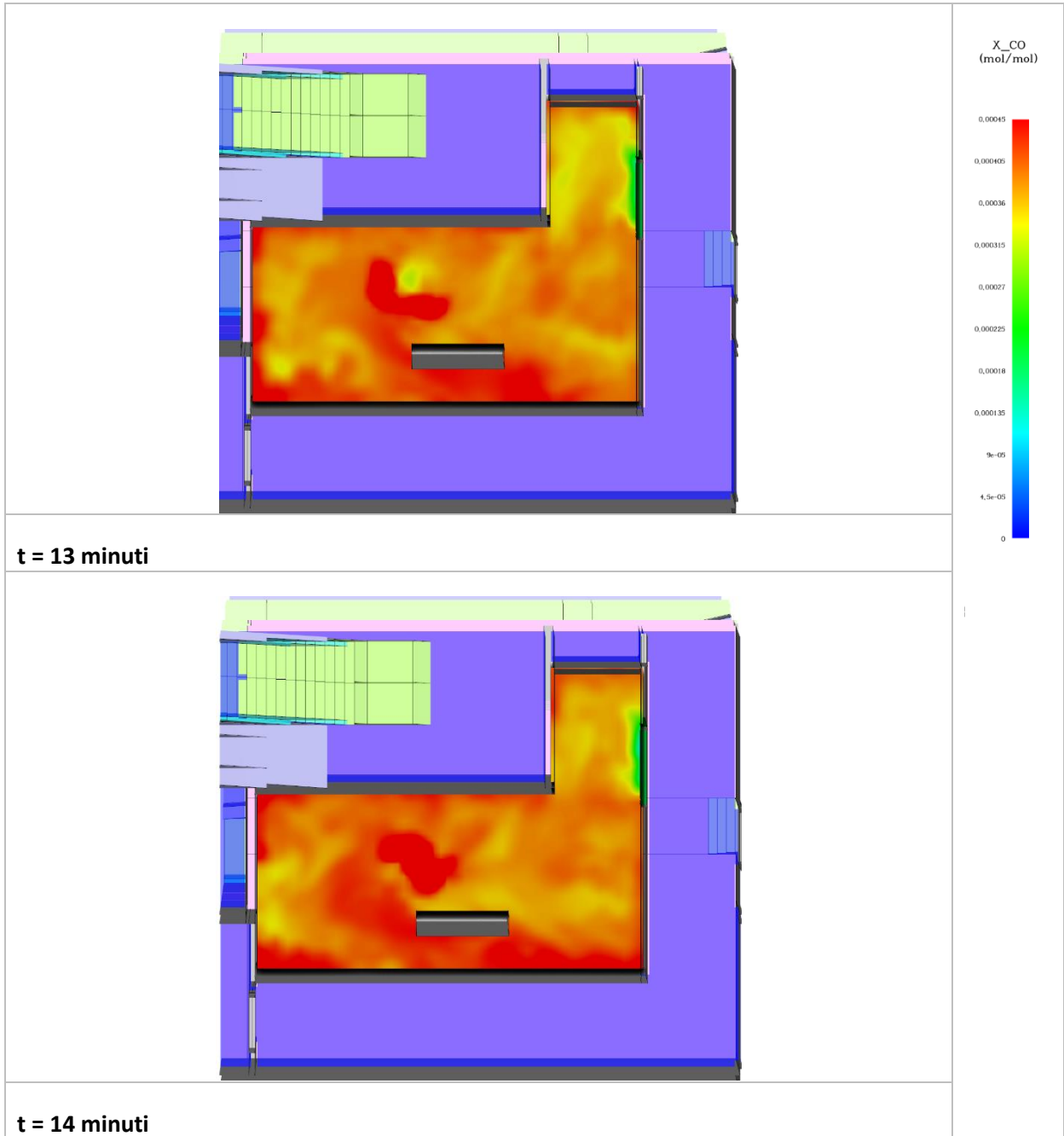


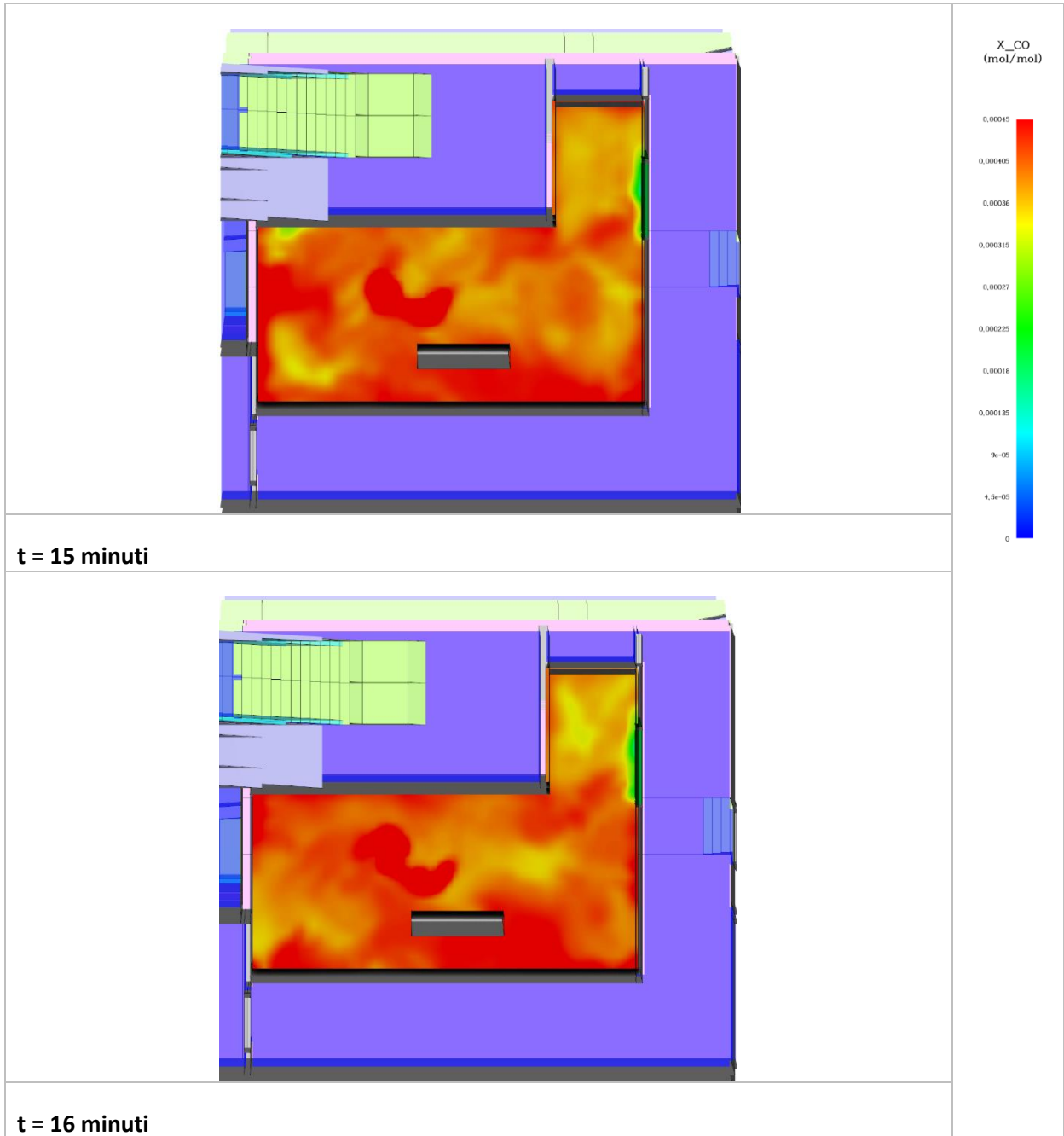
t = 9 minuti

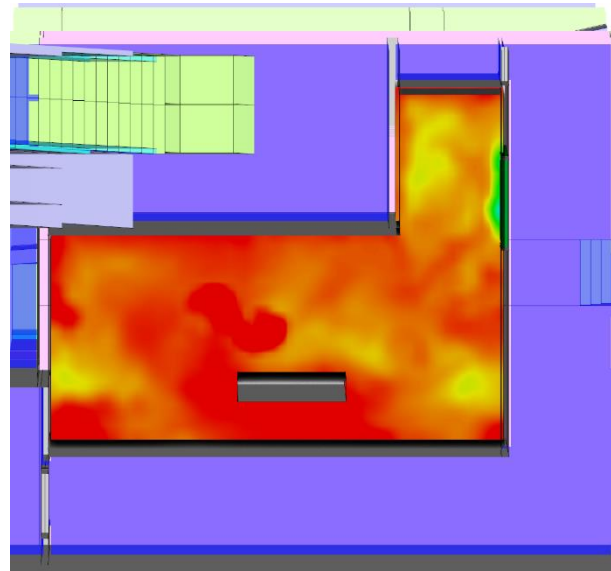


t = 10 minuti

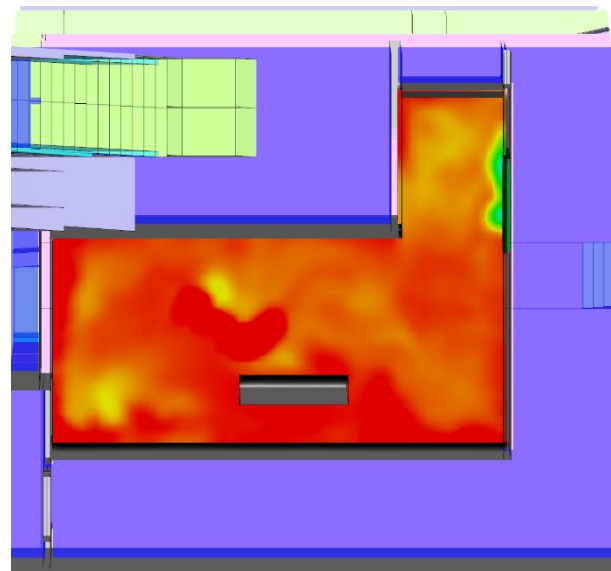




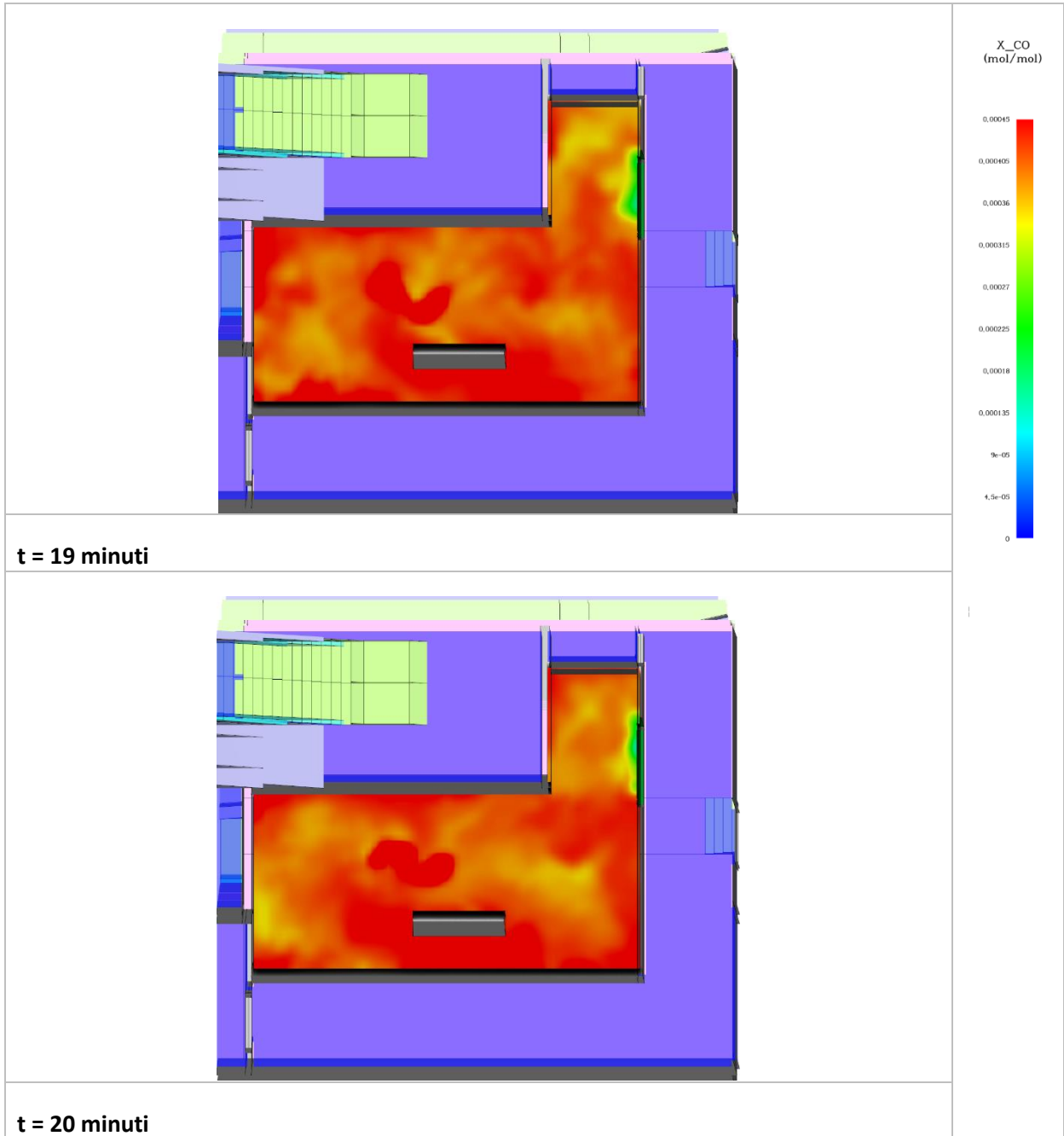




t = 17 minuti

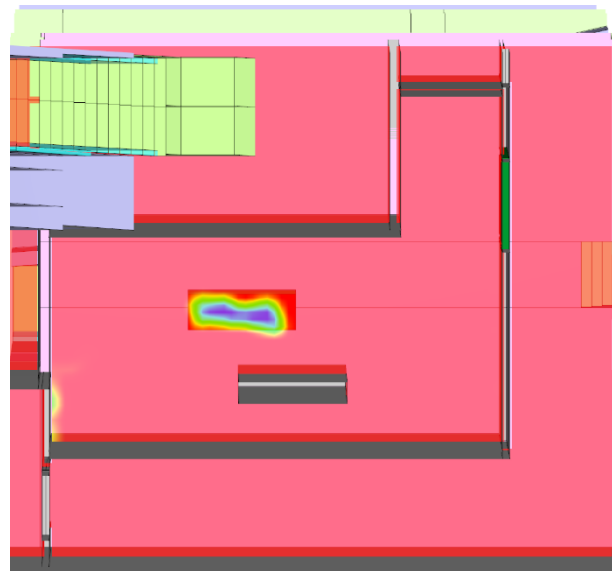


t = 18 minuti

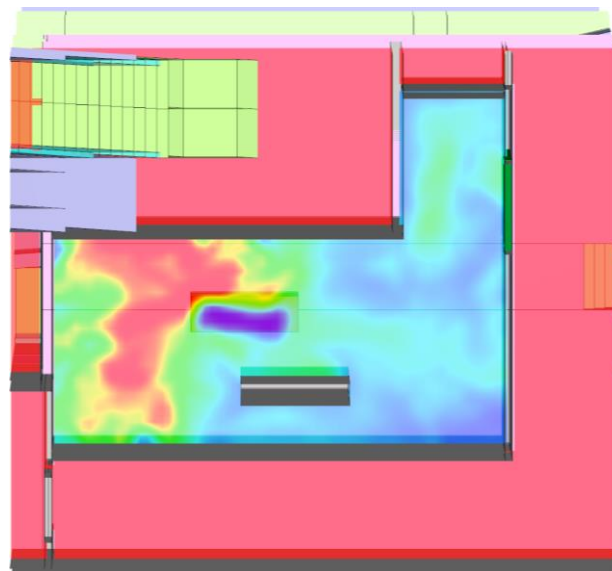




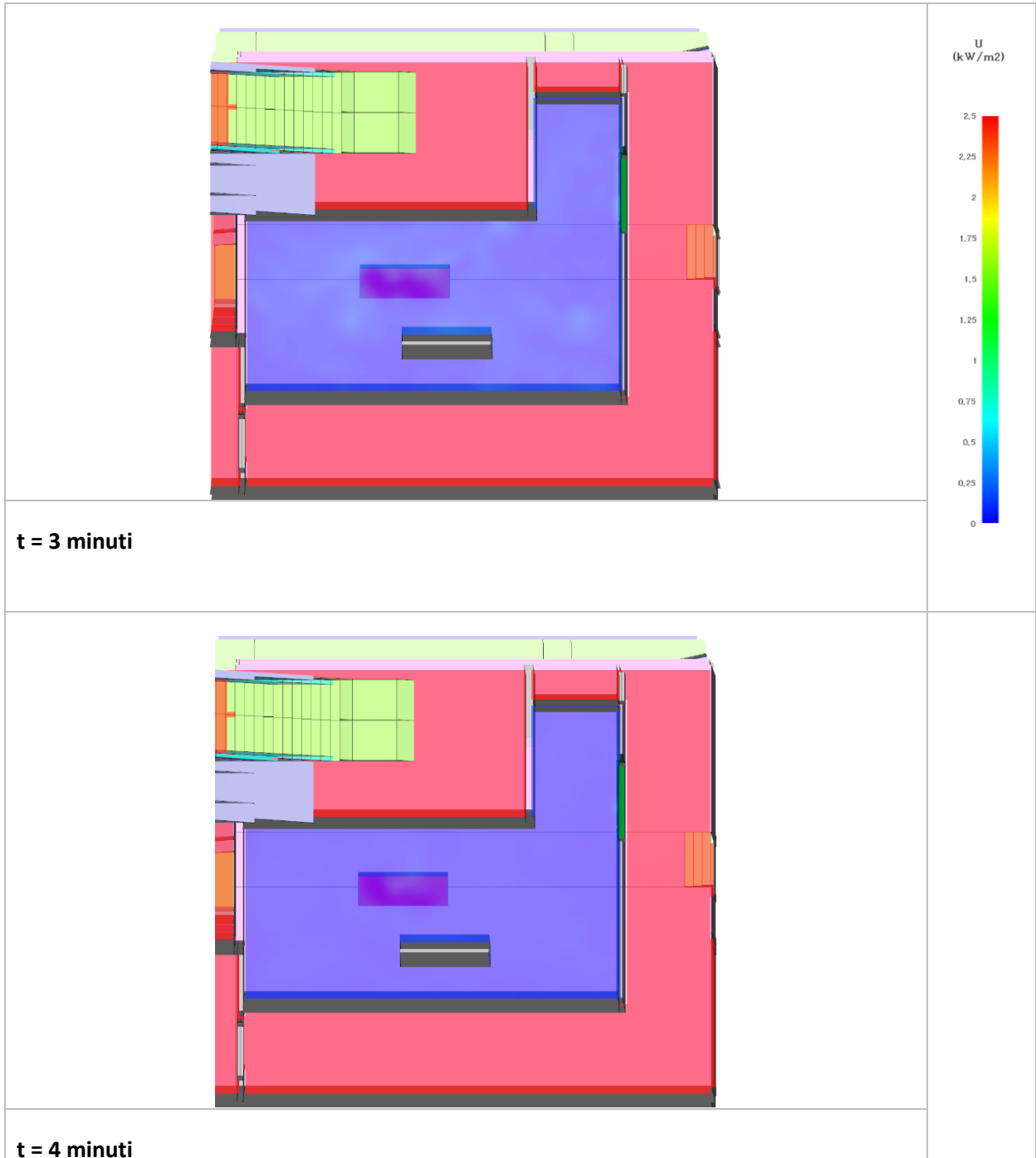
2.4.6.6 IRRAGGIAMENTO TERMICO

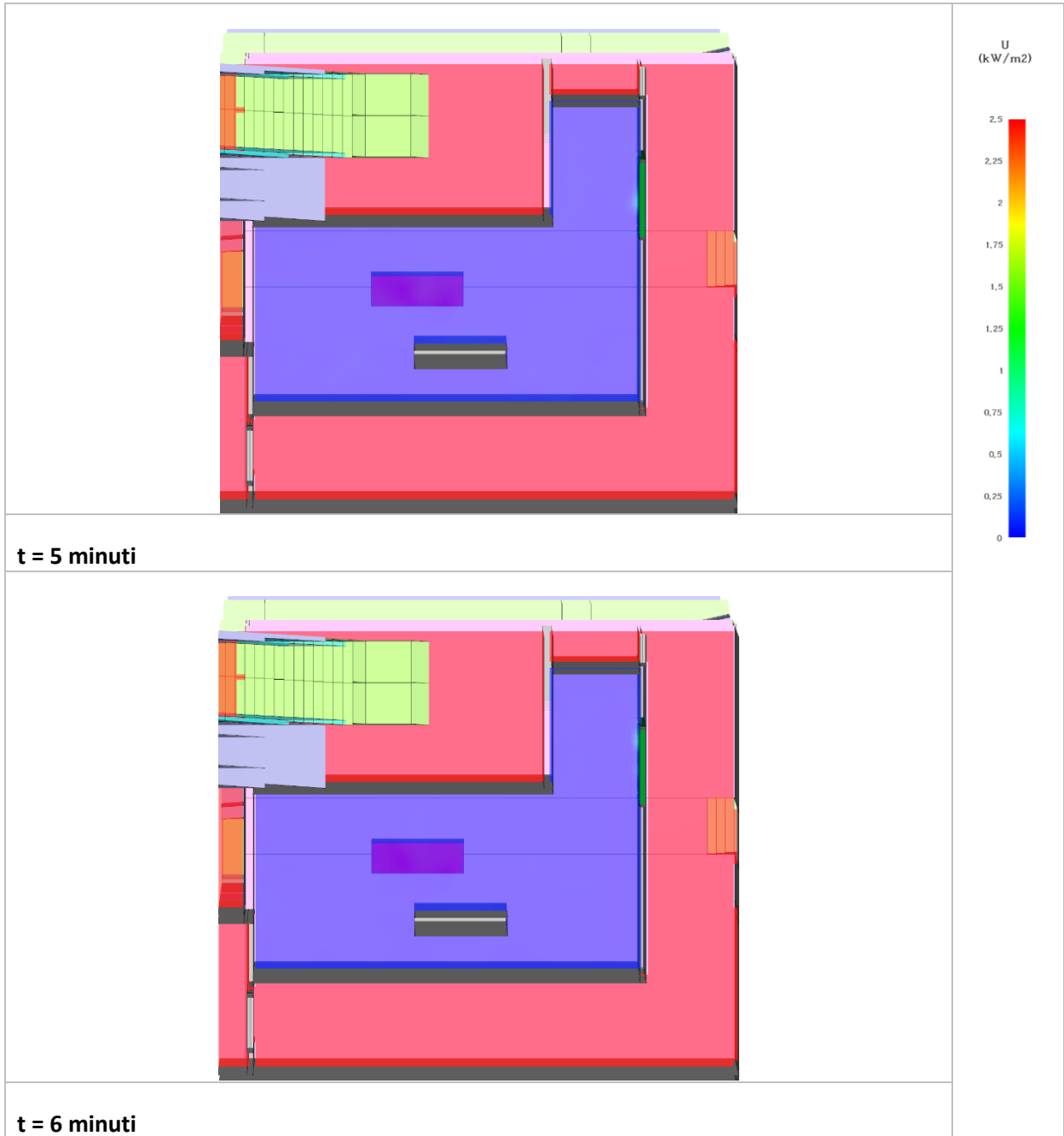


t = 1 minuto



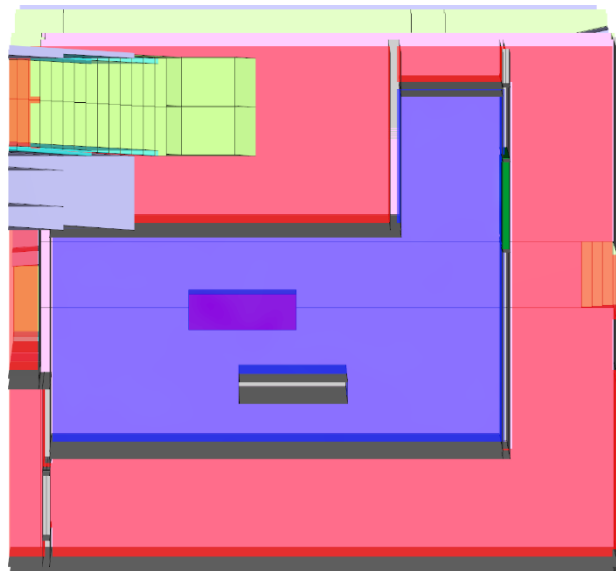
t = 2 minuti



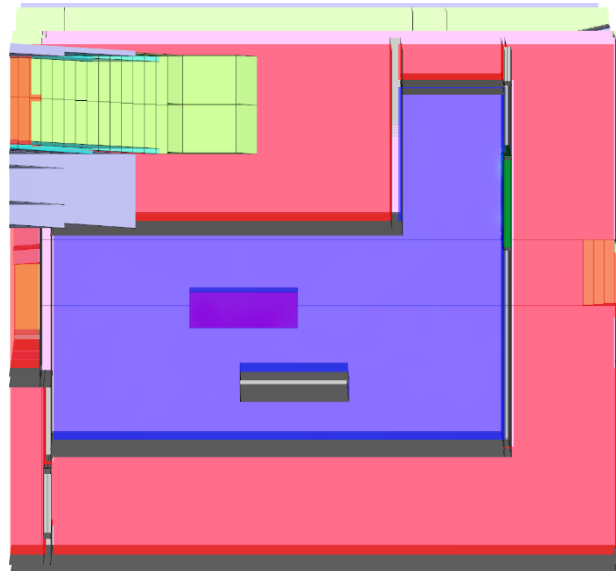




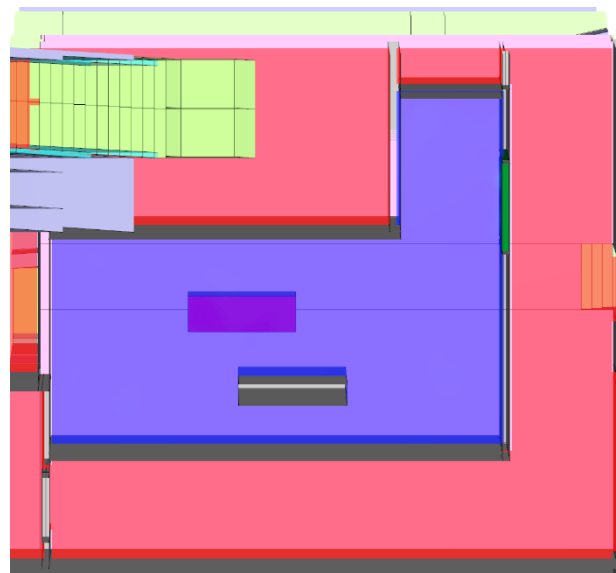
t = 7 minuti



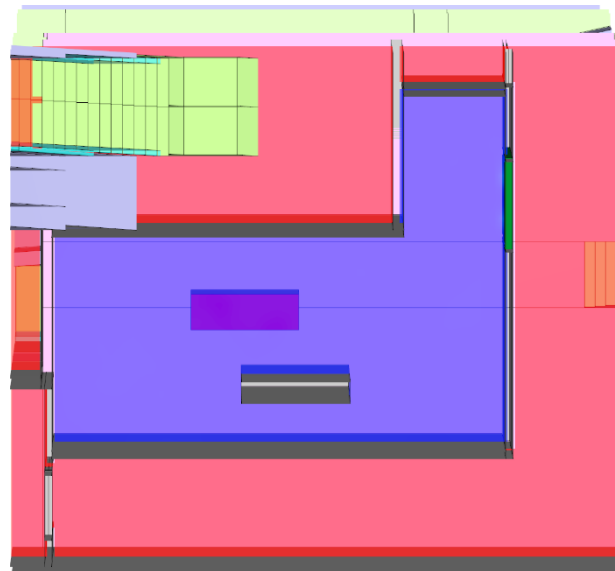
t = 8 minuti



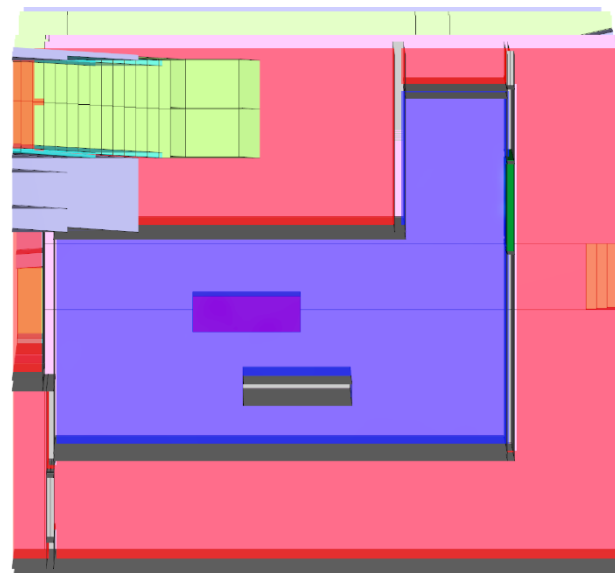
t = 9 minuti



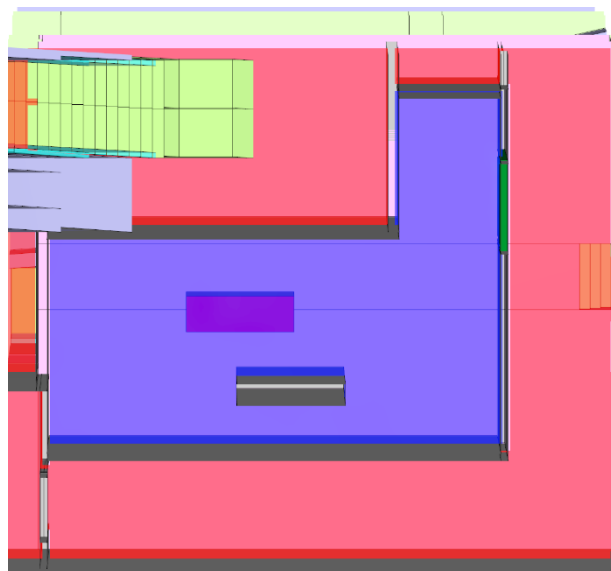
t = 10 minuti



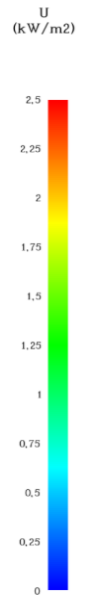
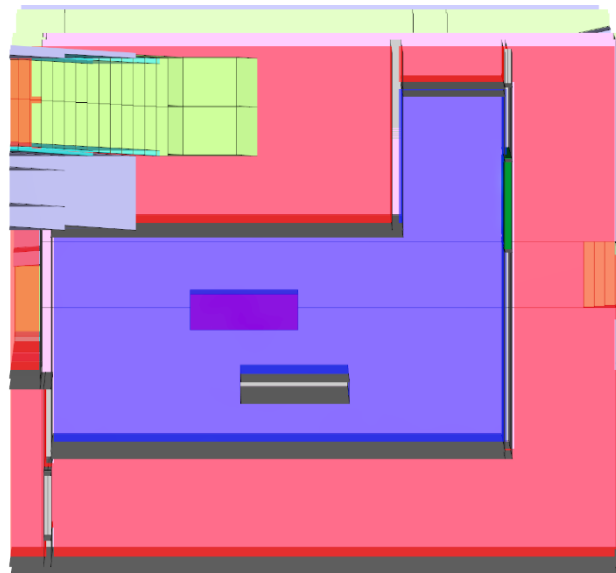
t = 11 minuti



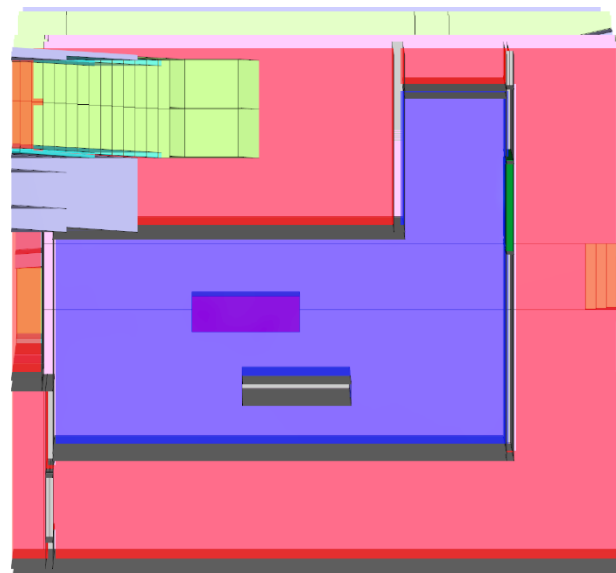
t = 12 minuti



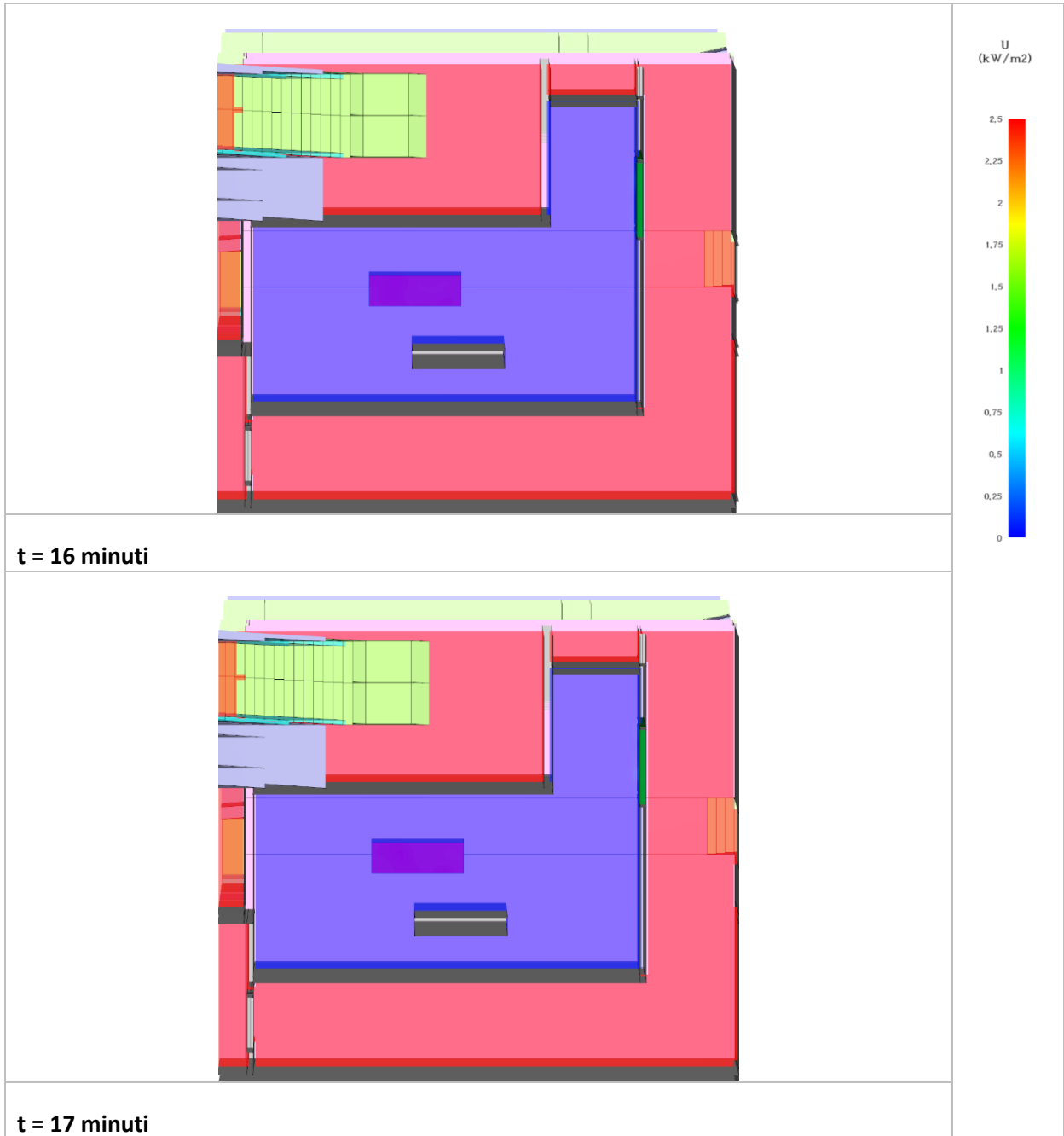
t = 13 minuti

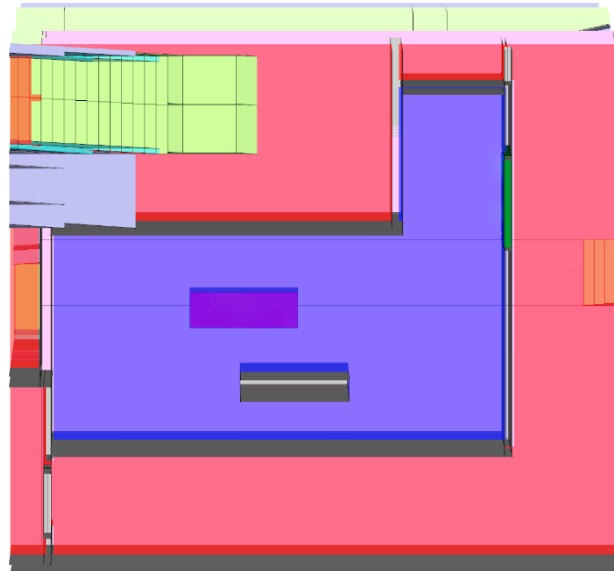


t = 14 minuti



t = 15 minuti

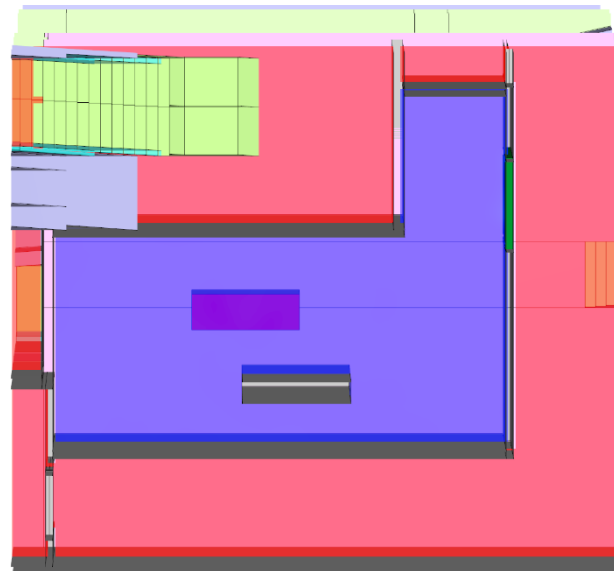




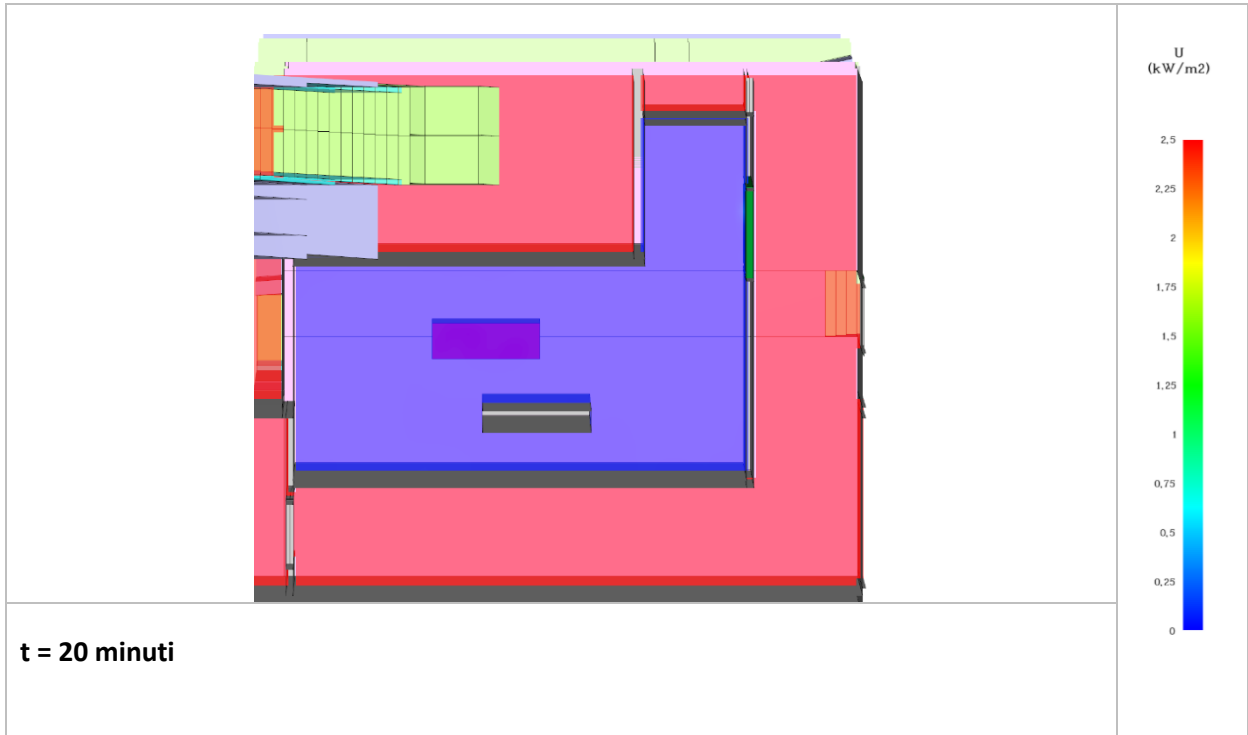
U
(kW/m²)



t = 18 minuti

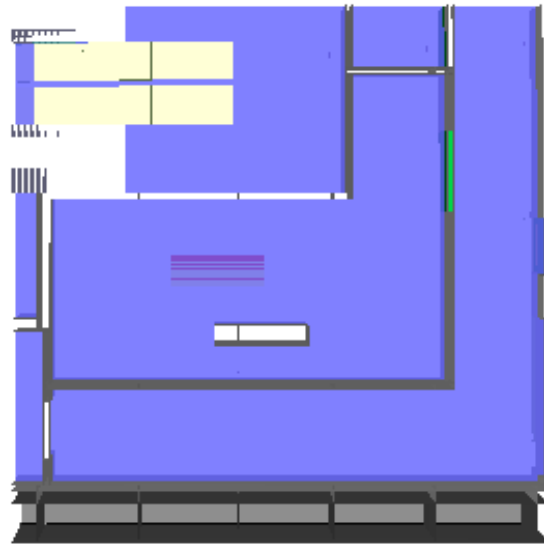


t = 19 minuti

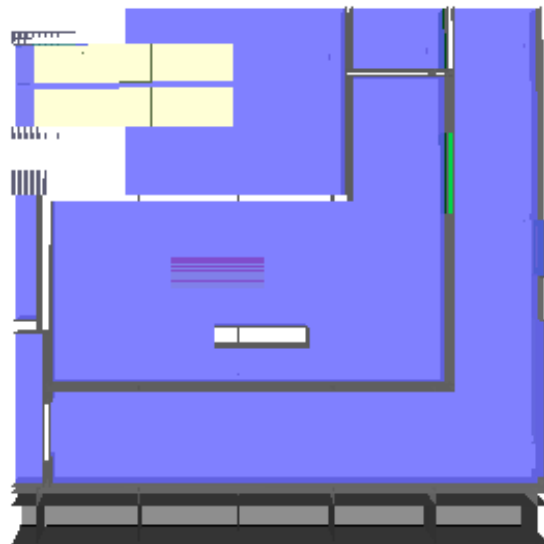




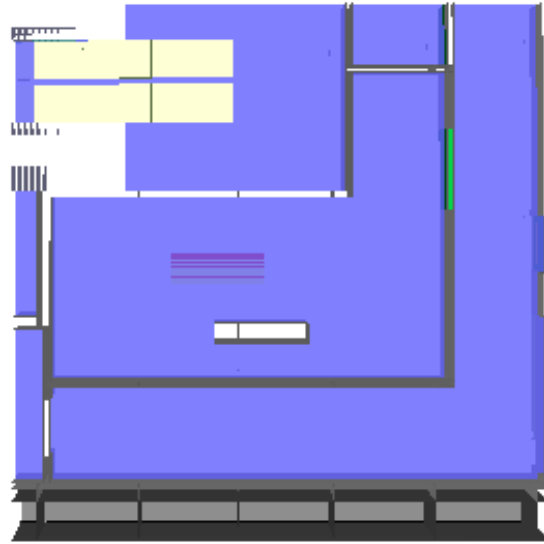
2.4.6.7 FED



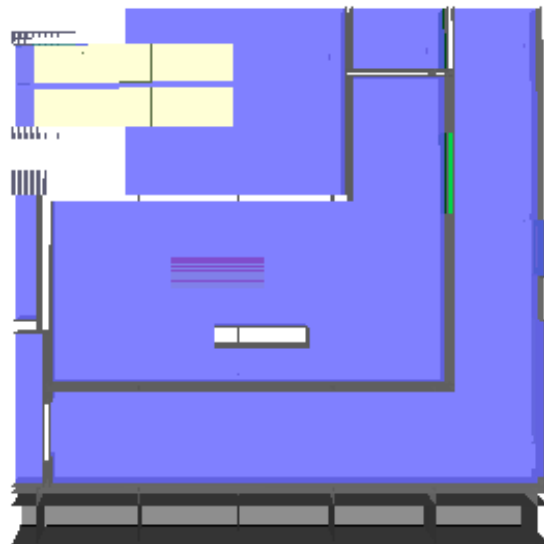
t = 1 minuto



t = 2 minuti



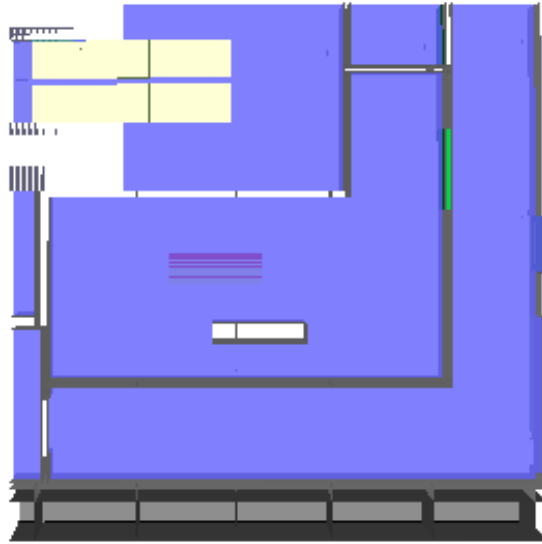
t = 3 minuti



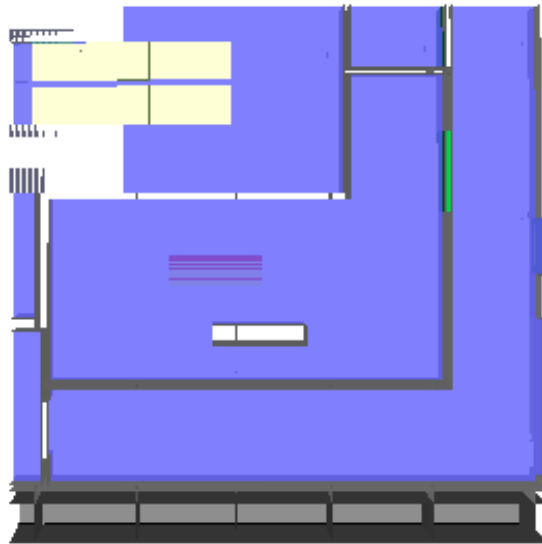
Scale
FED



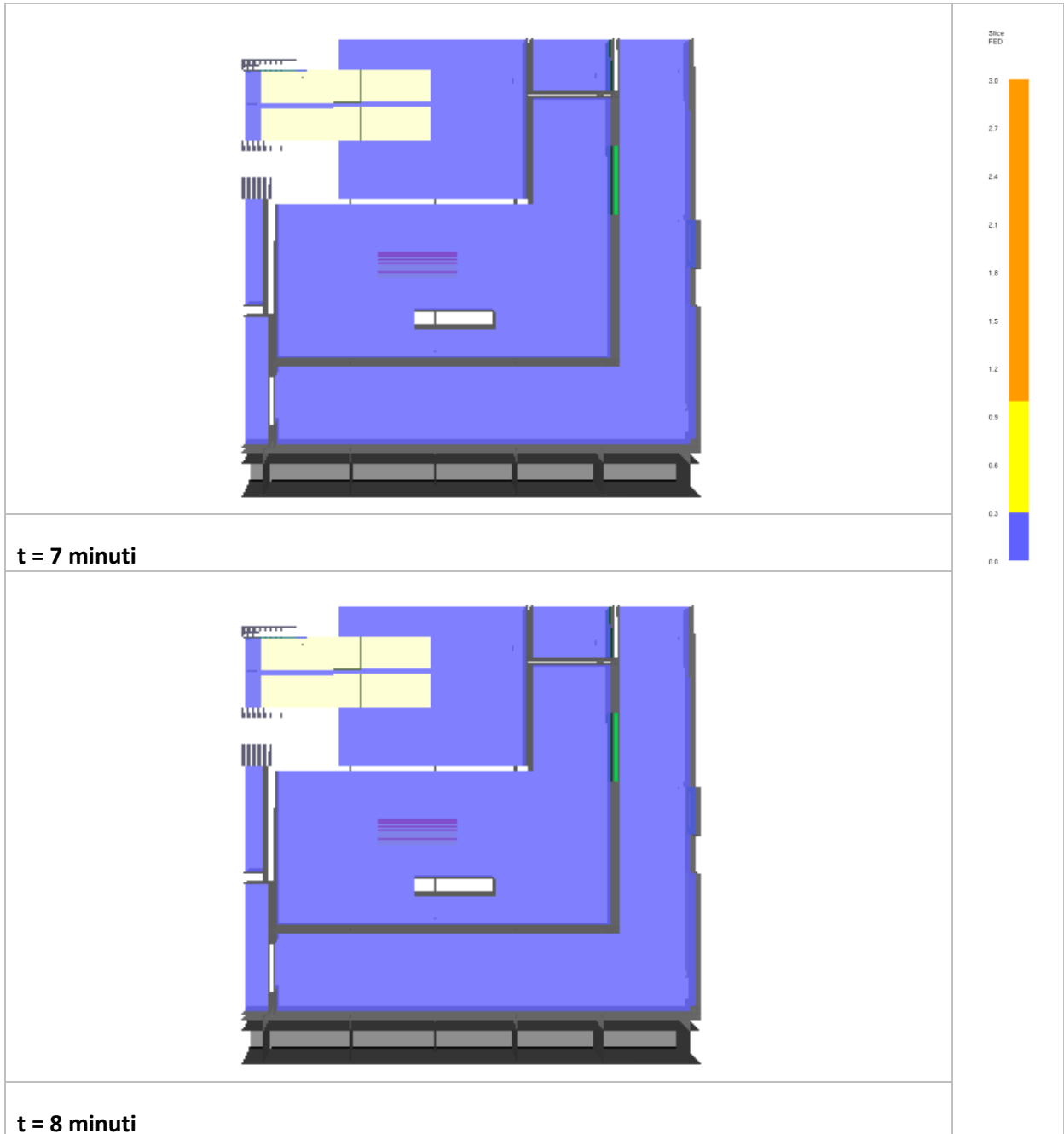
t = 4 minuti

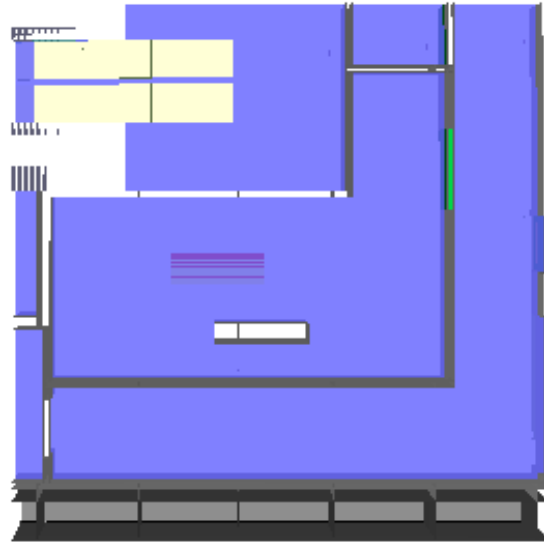


t = 5 minuti

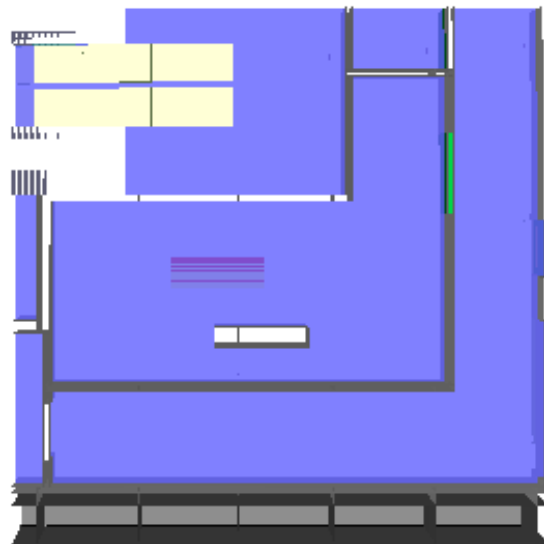


t = 6 minuti





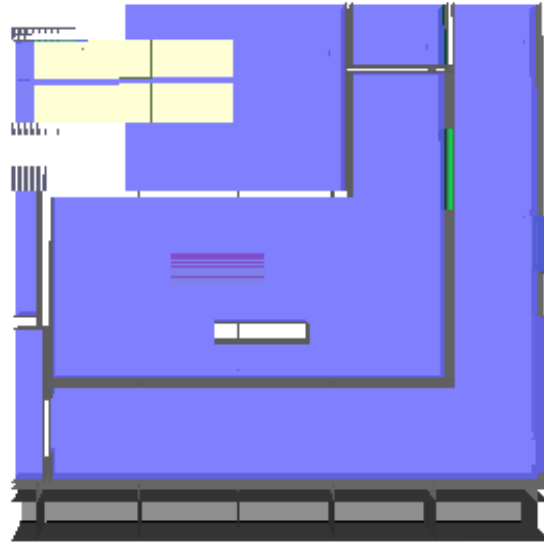
t = 9 minuti



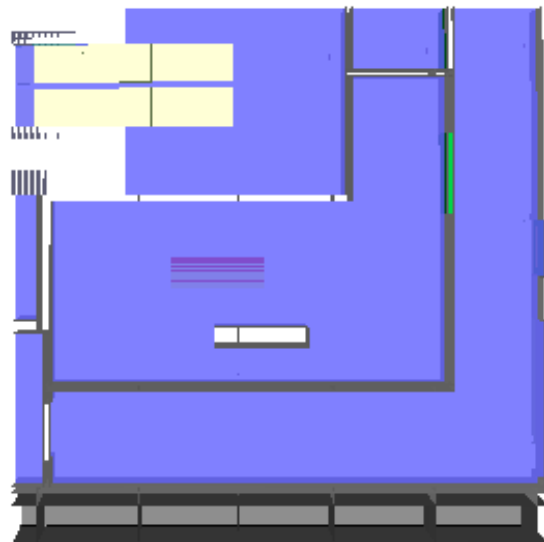
t = 10 minuti

Scale
FED

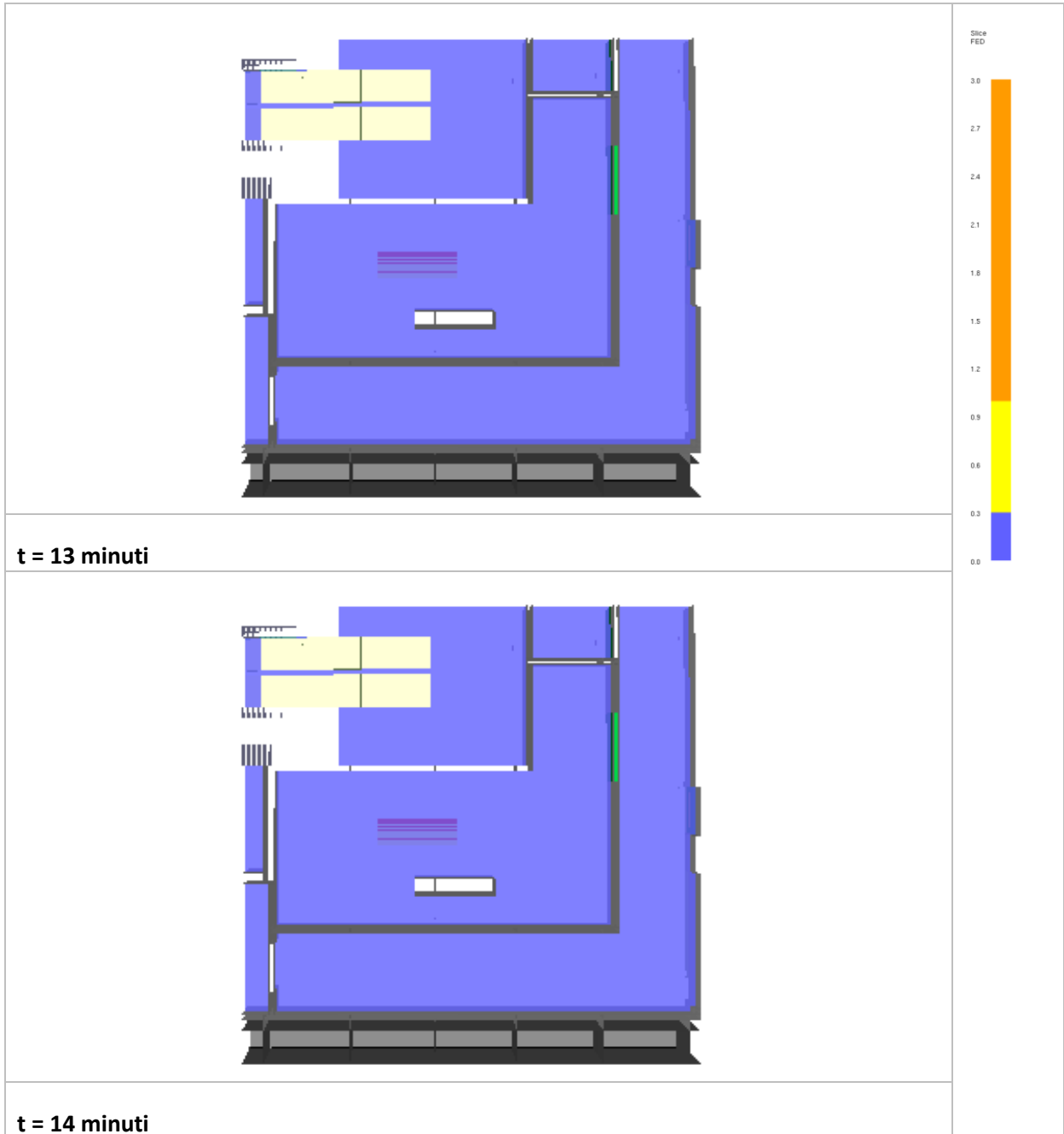


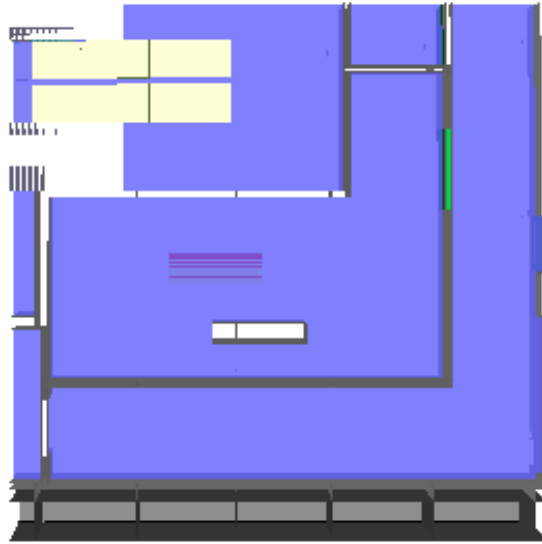


t = 11 minuti

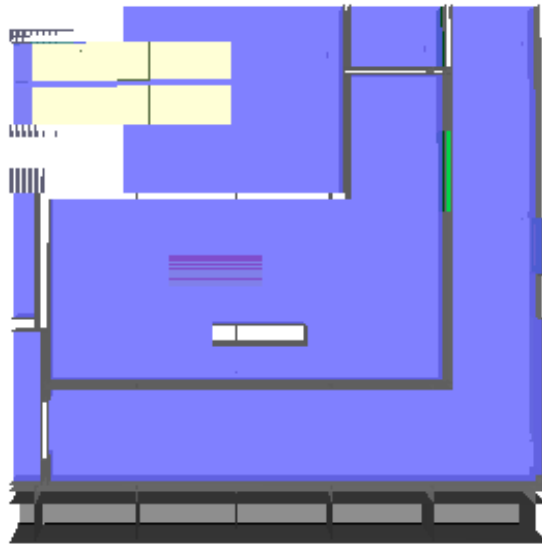


t = 12 minuti

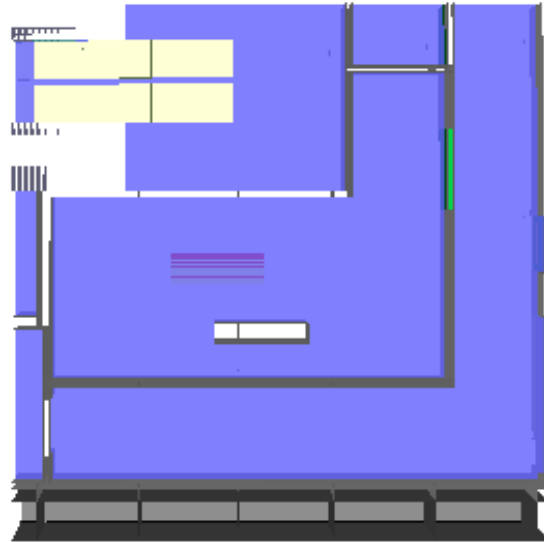




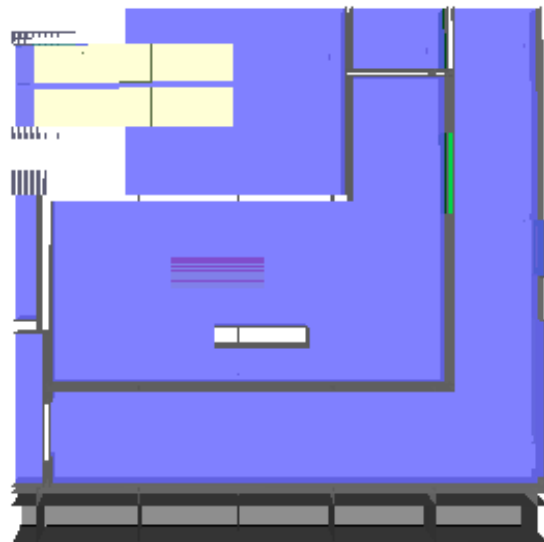
t = 15 minuti



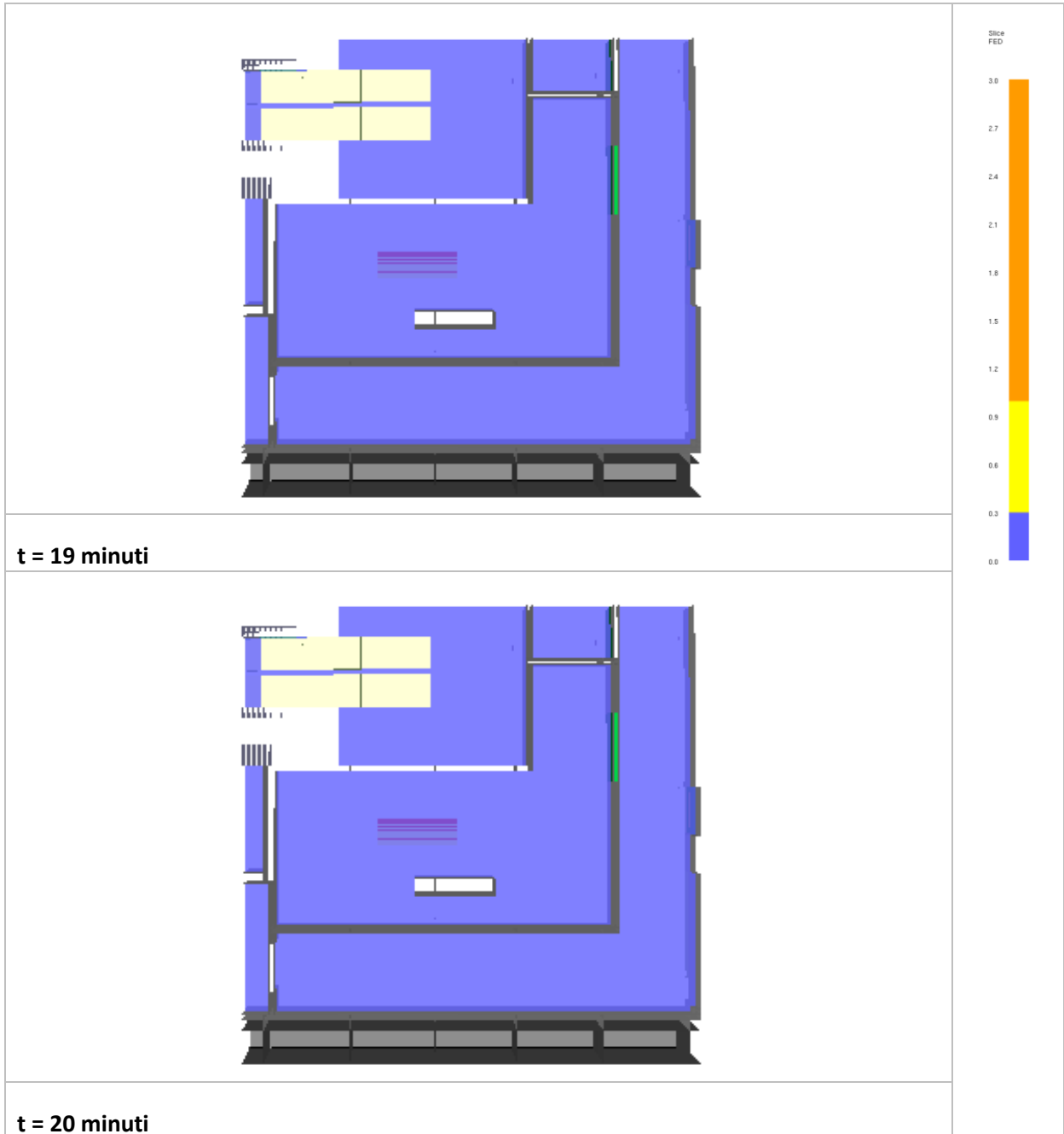
t = 16 minuti




t = 17 minuti



t = 18 minuti



 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
Scenario 4 - Relazione	109_MTL2T1A0DVVFGENR021-0-0.DOCX

2.5 Commento ai risultati (Tipologico incendio in un locale tecnico)

Per il tipologico “locale UPS” le analisi di scenario, ottemperanti le previsioni del DM 21/10/2015, restituiscono una condizione di conformità ed adeguatezza delle ipotesi progettuali anche in relazione alla richiesta verifica di salvabilità degli esposti in caso di incendio che verifica:

- la non propagazione dei fumi lungo i percorsi di esodo (cfr. § 5.1.1 DM 21/10/2015)


Per lo scenario di incendio 4, le simulazioni effettuate in ottemperanza al Capo I, § 1.1.4 dell’Allegato del DM 21/10/2015, definiscono condizioni di sviluppo e propagazione dell’incendio controllate dagli impianti meccanici di sicurezza (ventilazione e spegnimento¹) le cui modalità di dimensionamento e funzionamento sono richiamate nelle tabelle seguenti:

SCENARIO 4: strategia ventilazione 1 – Incendio tipologico UPS al piano atrio	
Ventilazione	Portata [m ³ /s]
estrazione	0.25

SCENARIO 4: strategia ventilazione 2 – Incendio tipologico UPS al piano atrio	
Ventilazione	Portata [m ³ /s]
estrazione	0.25
immissione	0.125

SCENARIO 4 – Incendio tipologico SSE al piano mezzanino
--

¹ con riferimento al solo Scenario 4

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
Scenario 4 - Relazione	109_MTL2T1A0DVVFGENR021-0-0.DOCX

Ventilazione	Portata [m ³ /s]
estrazione	0.66
immissione	0.22

con il timing specifico, indicato nelle tabelle seguenti, adottato per tarare il modello CFD ai fini delle verifiche:

SCENARIO 4 TIPOLOGICO UPS:


TIME STEP [s]	EVENTO	RIFERIMENTI ED ASSUNTI
0	SI VERIFICA L'INNESCO	Il focolaio è posizionato nel tipologico "locale tecnico UPS" posto al piano atrio
90	ATTIVAZIONE DELLA VENTILAZIONE – strategia 1	La ventilazione è a regime
120	ATTIVAZIONE DELLA VENTILAZIONE – strategia 2	La ventilazione è a regime

SCENARIO 4 TIPOLOGICO SSE:

TIME STEP [s]	EVENTO	RIFERIMENTI ED ASSUNTI
0	INNESCO DEL FOCOLAIO	Il focolaio è posizionato nel locale tecnico
120	ATTIVAZIONE DELLA VENTILAZIONE	La ventilazione è a regime

Per gli scenari analizzati, verificata la possibilità che i locali siano in comunicazione con percorsi d'esodo, su questi ultimi risultano rispettati i limiti di esposizione a: flusso termico radiante, temperatura dell'aria, visibilità e concentrazione di CO coerenti con le prescrizioni del Decreto:

- **l'esposizione delle persone ad un flusso termico radiante pari a 2.5 kW/m² determinato da stratificazioni di fumo caldo;**

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
Scenario 4 - Relazione	109_MTL2T1A0DVVFGENR021-0-0.DOCX

- la **massima temperatura di bulbo secco** non eccede i **60 °C** per tempi superiori a 10 minuti (la condizione è verificata per un tempo di simulazione pari a 20 minuti);
- la **visibilità**, riferita alla percezione delle uscite dalla galleria di stazione, pari a **15 m** (misurata ad un'altezza di 1.8 m dal piano di calpestio);
- il **livello medio della FED** (Fractional Effective Dose) non superiore a **0.3**, calcolata considerando il solo contributo equivalente del monossido di carbonio.

Per quanto attiene la ventilazione del tipologico "locale tecnico UPS" le portate in immissione devono essere minimizzate e comunque non devono superare il 50% delle portate in estrazione. Per quanto attiene la ventilazione del tipologico "locale tecnico SSE" le portate in immissione non devono superare il 50% delle portate in estrazione.