

POLITECNICO DI TORINO

Facoltà di Ingegneria

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile



Fire Safety Engineering: Analisi e verifiche dei requisiti delle aperture di smaltimento fumo e calore in autorimesse interrato

Relatori:

Prof. Ing. Vancetti Roberto

Ing. Cardone Rossana

Candidato:

Andrea Porru

Anno Accademico 2021/2022

Ai miei genitori

Abstract

La prevenzione incendi, grazie alla continua definizione di normative specifiche di settore, si sta evolvendo con grande velocità in questi ultimi decenni, e sta assumendo un ruolo sempre più fondamentale nella progettazione in ambito civile e industriale.

Il presente elaborato riporta una progettazione della sicurezza antincendio applicata ad un'autorimessa, sviluppata su due piani interrati, situata nella zona *Borgo Vittoria* della città di Torino. L'elaborato contiene una parte introduttiva in cui viene analizzata la normativa italiana in ambito di prevenzione incendi in Italia, in cui viene descritto il Codice di Prevenzione Incendi, sviluppando con particolare cura l'ultimo aggiornamento relativo alle autorimesse, ovvero il D.M. 15 Maggio 2020, che definisce la *Regola Tecnica Verticale* per questa tipologia di attività. Successivamente vengono analizzate le più comuni criticità legate alla progettazione antincendio delle autorimesse e vengono riportati alcuni esempi da letteratura.

Il caso studio è analizzato secondo le modalità previste dal Codice di Prevenzione Incendi, ovvero con approccio semi-prescrittivo, e successivamente con approccio prestazionale per la verifica dei requisiti di smaltimento dei fumi e del calore. Quest'ultimo sviluppo è necessario in quanto con il solo approccio semi-prescrittivo non è possibile dimostrare l'indipendenza del sistema di smaltimento dei fumi del primo piano interrato rispetto a quello del secondo piano interrato. L'approccio prestazionale richiede la definizione di un obiettivo, che permette poi l'individuazione delle soglie di prestazione corrispondenti da considerare nelle simulazioni. Dopodiché si ipotizzano tutti i possibili scenari di incendio e si scelgono i più gravosi da analizzare.

Le simulazioni sono state svolte tramite l'utilizzo di due software di modellazione FDS (*Fire Dynamics Simulator*), *Pyrosim* per le modellazioni dell'incendio e *Pathfinder* per la modellazione dell'esodo. Una volta analizzati tutti gli scenari di progetto sono stati ricavati i valori di ASET (*Available Safe Escape Time*), ovvero il tempo disponibile per l'esodo, e di RSET (*Required Safe Escape Time*), ovvero il tempo richiesto per l'esodo. La verifica finale consiste nella dimostrazione che i valori di ASET sono maggiori dei valori di RSET.

INDICE

Sommario

Abstract	3
INDICE.....	5
INDICE DELLE FIGURE	7
INDICE DELLE TABELLE.....	13
1. INTRODUZIONE.....	15
2. LA PREVENZIONE INCENDI.....	17
2.1 LA PREVENZIONE INCENDI IN ITALIA	17
2.2 DALL'APPROCCIO PRESCRITTIVO ALL'APPROCCIO PRESTAZIONALE	21
2.3 L'EVOLUZIONE DELLE NORMATIVE ANTINCENDIO PER LE AUTORIMESSE.....	24
3. CRITICITA' DELLE AUTORIMESSE INTERRATE.....	25
3.1 ESODO.....	25
3.2 CONTROLLO FUMI E CALORE.....	25
4. ESEMPI DA LETTERATURA	27
5. IL CASO STUDIO: AUTORIMESSA INTERRATA DI UN EDIFICIO DI CIVILE ABITAZIONE	32
5.1 DESCRIZIONE DEL PROGETTO	32
5.2 ATTIVITA' SOGGETTE E PRATICHE PRECEDENTI	33
5.3 D.M. 16 MAGGIO 1987 E D.M. 25 GENNAIO 2019	35
5.4 CODICE DI PREVENZIONE INCENDI - D.M. 03/08/2015	41
5.4.1 CLASSIFICAZIONE	41
5.4.2 VALUTAZIONE DEL RISCHIO	42
5.4.3 STRATEGIA ANTINCENDIO	44
6. FIRE SAFETY ENGINEERING - APPROCCIO PRESTAZIONALE	77
6.1 ANALISI PRELIMINARE	77
6.1.1 INDIVIDUAZIONE DELLA CRITICITA'	77
6.1.2 DEFINIZIONE DEGLI OBIETTIVI DI SICUREZZA ANTINCENDIO	77
6.1.3 DEFINIZIONE DELLE SOGLIE DI PRESTAZIONE.....	80
6.1.4 INDIVIDUAZIONE DEGLI SCENARI D'INCENDIO DI PROGETTO	81
6.2 MODELLAZIONE DELL'INCENDIO	82
6.2.1 CREAZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO FDS.....	82
6.2.2 CURVE HRR	87
In questo modo si è ottenuto la seguente curva HRR.....	92

6.2.3 DATI DI INPUT DEL MODELLO.....	92
6.3 MODELLAZIONE DELL'ESODO.....	97
6.4 DEFINIZIONE DEI VALORI DI ASET E RSET.....	106
6.5 ANALISI DEGLI SCENARI DI INCENDIO DI PROGETTO.....	108
6.5.1 SCENARIO 1.....	108
6.5.2 SCENARIO 2.....	125
6.5.3 SCENARIO 3.....	143
6.5.4 SCENARIO 4.....	162
6.6 SOVRAPPOSIZIONE DEI RISULTATI.....	180
6.7 REQUISITI AGGIUNTIVI PER LA GESTIONE DELLA SICUREZZA ANTINCENDIO.....	181
7. CONCLUSIONI.....	182
8. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI E SITOGRAFICI.....	184
9. ALLEGATI.....	186

INDICE DELLE FIGURE

FIGURA 1. VISTA 3D DELL'AUTORIMESSA DA MODELLO REVIT.....	16
FIGURA 2. WORKFLOW DI MODELLAZIONE.....	16
FIGURA 3. FLOW CHART DEL METODO FSE (ISO 23932).....	22
FIGURA 4. FOTO DELL'INCENDIO DEL PARCHEGGIO MULTIPIANO DI LIVERPOOL.....	27
FIGURA 5. FOTO DELL'INCENDIO DEL PARCHEGGIO MULTIPIANO DI STAVANGER.....	28
FIGURA 6. FOTO DELL'INCENDIO DEL PARCHEGGIO INTERRATO DI PARIGI.....	29
FIGURA 7. FOTO DELL'INCENDIO DEL SINDIKA MARKET DI MOSCA.....	29
FIGURA 8. FOTO DELL'INCENDIO DEL PARCHEGGIO INTERRATO DI FRIBURGO.....	30
FIGURA 9. FOTO DELL'INCENDIO DEL PARCHEGGIO MULTIPIANO DI CORK.....	31
FIGURA 10. FOTO DELL'INCENDIO DEL PARCHEGGIO DI GRASSOBBIO.....	31
FIGURA 11. VISTA AEREA DELL'EDIFICIO DI CIVILE ABITAZIONE.....	32
FIGURA 12. ATTIVITÀ SOGGETTA N. 75 DA D.P.R.151/2011.....	34
FIGURA 13. ATTIVITÀ SOGGETTA N. 77 DA D.P.R. 151/2011.....	34
FIGURA 14. REQUISITI MINIMI DEGLI ACCESSI ALL'ATTIVITÀ DA PUBBLICA VIA PER MEZZI DI SOCCORSO.....	74
FIGURA 15. SVILUPPO AUTOSCALA E POSIZIONI ACCESSIBILI.....	74
FIGURA 16. MODALITÀ PROGETTUALI PER SOLUZIONI ALTERNATIVE.....	79
FIGURA 17. POSIZIONE DEI FOCOLARI DEI 4 SCENARI DI INCENDIO DI PROGETTO.....	81
FIGURA 18. RAPPRESENTAZIONE MODELLI A ZONE E MODELLI DI CAMPO.....	82
FIGURA 19. DATI DI INPUT DEL CALCOLATORE.....	83
FIGURA 20. SOLUZIONE GROSSOLANA.....	84
FIGURA 21. SOLUZIONE MODERATA.....	84
FIGURA 22. SOLUZIONE PRECISA.....	85
FIGURA 23. DIMENSIONI DELLA MESH L-G.....	85
FIGURA 24. RAPPRESENTAZIONE DI PARTE DELL'AUTORIMESSA.....	86
FIGURA 25. FUNZIONE DI CONTROLLO DEI PORTONI TAGLIAFUOCO.....	87
FIGURA 26. CURVA HRR PER UN AUTOVEICOLO (CODICE).....	87
FIGURA 27. CURVA HRR SCENARIO 1.....	87
FIGURA 28. CURVE HRR DELL'INERIS.....	88
FIGURA 29. CURVA HRR DELL'AUTO A COMBUSTIONE INTERNA.....	89
FIGURA 30. CURVA HRR DELL'AUTO ELETTRICA.....	89
FIGURA 31. CURVE HRR RISULTANTE.....	90
FIGURA 32. FOCOLARE PREDEFINITO.....	91
FIGURA 33. CURVA HRR DEL FOCOLARE PREDEFINTO.....	92
FIGURA 34. MODELLAZIONE DELLA SUPERFICIE DEL FOCOLARE.....	92
FIGURA 35. MODELLAZIONE DELLA CURVA RHR.....	93
FIGURA 36. VALORI DI COMPOSIZIONE DELLA SCHIUMA DI POLIURETANO FLESSIBILE.....	93
FIGURA 37. CARATTERISTICHE DELLA SCHIUMA DI POLIURETANO FLESSIBILE A SEGUITO DI UN INCENDIO.....	94
FIGURA 38. VISTA 2D DELL'AUTORIMESSA DA PYROSIM DELLO SCENARIO 2.....	94
FIGURA 39. CARATTERISTICHE DI ATTIVAZIONE DEGLI SPRINKLER.....	95
FIGURA 40. CARATTERISTICHE DELLA TESTINA DELLO SPRINKLER.....	95
FIGURA 41. SLICES DI CALCOLO.....	96
FIGURA 42. PLOT3D DATA.....	96
FIGURA 43. ROOMS E DOORS NEL MODELLO.....	97
FIGURA 44. VISUALIZZAZIONE DELLE DUE ROOMS.....	97
FIGURA 45. FINESTRA DI INSERIMENTO DEGLI OCCUPANTI.....	98
FIGURA 46: PROFILI DEGLI OCCUPANTI.....	98
FIGURA 47. VELOCITÀ DI MOVIMENTO.....	99
FIGURA 48. COMPORAMENTI DEGLI OCCUPANTI.....	100

FIGURA 49. PROFILO DELL'OCCUPANTE ADULTO	101
FIGURA 50. INITIAL DELAY DELL'OCCUPANTE ADULTO	101
FIGURA 51. PROFILO DELL'OCCUPANTE ANZIANO	102
FIGURA 52. INITIAL DELAY DELL'OCCUPANTE ANZIANO	102
FIGURA 53. PROFILO DELL'OCCUPANTE BAMBINO	103
FIGURA 54. INITIAL DELAY DELL'OCCUPANTE BAMBINO	103
FIGURA 55. PROFILO DELL'OCCUPANTE VICINO AL FOCOLARE	104
FIGURA 56. INITIAL DELAY DELL'OCCUPANTE DENTRO IL BOX CONTENENTE IL FOCOLARE	104
FIGURA 57. INITIAL DELAY DEGLI OCCUPANTI NEI PRESSI DEL FOCOLARE	105
FIGURA 58. INITIAL DELAY DEGLI OCCUPANTI NEI PRESSI DEL FOCOLARE MA PIÙ DISTANTI	105
FIGURA 59. INITIAL DELAY DEGLI OCCUPANTI NEI PRESSI DEL FOCOLARE AL PRIMO PIANO	105
FIGURA 60. OCCUPANTI PRESENTI NEL MODELLO PATHFINDER	105
FIGURA 61. SOGLIE DI PRESTAZIONE	107
FIGURA 62. CURVA RHR - SCENARIO 1	108
FIGURA 63. SLICE DI VISIBILITÀ IN DIREZIONE X E Y A 30 SECONDI	109
FIGURA 64. SLICE DI VISIBILITÀ AL PRIMO E AL SECONDO PIANO INTERRATO A 30 SECONDI	109
FIGURA 65. SLICE DI VISIBILITÀ IN DIREZIONE X E Y A 60 SECONDI	109
FIGURA 66. SLICE DI VISIBILITÀ AL PRIMO E AL SECONDO PIANO INTERRATO A 60 SECONDI	109
FIGURA 67. SLICE DI VISIBILITÀ IN DIREZIONE X E Y A 90 SECONDI	110
FIGURA 68. SLICE DI VISIBILITÀ AL PRIMO E AL SECONDO PIANO INTERRATO A 90 SECONDI	110
FIGURA 69. SLICE DI VISIBILITÀ IN DIREZIONE X E Y A 120 SECONDI	110
FIGURA 70. SLICE DI VISIBILITÀ AL PRIMO E AL SECONDO PIANO INTERRATO A 120 SECONDI	110
FIGURA 71. SLICE DI VISIBILITÀ IN DIREZIONE X E Y A 180 SECONDI	111
FIGURA 72. SLICE DI VISIBILITÀ AL PRIMO E AL SECONDO PIANO INTERRATO A 180 SECONDI	111
FIGURA 73. SLICE DI VISIBILITÀ IN DIREZIONE X E Y A 240 SECONDI	111
FIGURA 74. SLICE DI VISIBILITÀ AL PRIMO E AL SECONDO PIANO INTERRATO A 240 SECONDI	111
FIGURA 75. SLICE DI VISIBILITÀ IN DIREZIONE X E Y A 300 SECONDI	112
FIGURA 76. SLICE DI VISIBILITÀ AL PRIMO E AL SECONDO PIANO INTERRATO A 300 SECONDI	112
FIGURA 77. SLICE DI VISIBILITÀ IN DIREZIONE X E Y A 360 SECONDI	112
FIGURA 78. SLICE DI VISIBILITÀ AL PRIMO E AL SECONDO PIANO INTERRATO A 360 SECONDI	112
FIGURA 79. SLICE DI VISIBILITÀ IN DIREZIONE X E Y A 600 SECONDI	113
FIGURA 80. SLICE DI VISIBILITÀ AL PRIMO E AL SECONDO PIANO INTERRATO A 600 SECONDI	113
FIGURA 81. SLICE DI VISIBILITÀ IN DIREZIONE X E Y A 900 SECONDI	113
FIGURA 82. SLICE DI VISIBILITÀ AL PRIMO E AL SECONDO PIANO INTERRATO A 900 SECONDI	113
FIGURA 83. SLICE DI VISIBILITÀ IN DIREZIONE X E Y A 1200 SECONDI	114
FIGURA 84. SLICE DI VISIBILITÀ AL PRIMO E AL SECONDO PIANO INTERRATO A 1200 SECONDI	114
FIGURA 85. SLICE DI VISIBILITÀ IN DIREZIONE X E Y A 1350 SECONDI	114
FIGURA 86. SLICE DI VISIBILITÀ AL PRIMO E AL SECONDO PIANO INTERRATO A 1350 SECONDI	114
FIGURA 87. ISOSUPERFICI DI VISIBILITÀ A 10 METRI IN DIREZIONE X E Y A 30 SECONDI	115
FIGURA 88. ISOSUPERFICI DI VISIBILITÀ A 10 METRI IN DIREZIONE X E Y A 60 SECONDI	115
FIGURA 89. ISOSUPERFICI DI VISIBILITÀ A 10 METRI IN DIREZIONE X E Y A 90 SECONDI	115
FIGURA 90. ISOSUPERFICI DI VISIBILITÀ A 10 METRI IN DIREZIONE X E Y A 120 SECONDI	116
FIGURA 91. ISOSUPERFICI DI VISIBILITÀ A 10 METRI IN DIREZIONE X E Y A 180 SECONDI	116
FIGURA 92. ISOSUPERFICI DI VISIBILITÀ A 10 METRI IN DIREZIONE X E Y A 240 SECONDI	116
FIGURA 93. ISOSUPERFICI DI VISIBILITÀ A 10 METRI IN DIREZIONE X E Y A 300 SECONDI	116
FIGURA 94. ISOSUPERFICI DI VISIBILITÀ A 10 METRI IN DIREZIONE X E Y A 360 SECONDI	117
FIGURA 95. ISOSUPERFICI DI VISIBILITÀ A 5 METRI IN DIREZIONE X E Y A 120 SECONDI	117
FIGURA 96. ISOSUPERFICI DI VISIBILITÀ A 5 METRI IN DIREZIONE X E Y A 240 SECONDI	117
FIGURA 97. ISOSUPERFICI DI VISIBILITÀ A 5 METRI IN DIREZIONE X E Y A 300 SECONDI	117
FIGURA 98. ISOSUPERFICI DI VISIBILITÀ A 5 METRI IN DIREZIONE X E Y A 600 SECONDI	118
FIGURA 99. ISOSUPERFICI DI VISIBILITÀ A 5 METRI IN DIREZIONE X E Y A 900 SECONDI	118

FIGURA 100. ISOSUPERFICI DI VISIBILITÀ A 5 METRI IN DIREZIONE X E Y A 1200 SECONDI	118
FIGURA 101. ISOSUPERFICI DI VISIBILITÀ A 5 METRI IN DIREZIONE X E Y A 1350 SECONDI	118
FIGURA 102. ATTIVAZIONE DEGLI SPRINKLER - SCENARIO 1.....	119
FIGURA 103. MODELLO DEL CALORE - TEMPERATURA - SCENARIO 1	120
FIGURA 104. MODELLO DEL CALORE - IRRAGGIAMENTO - SCENARIO 1.....	121
FIGURA 105. MODELLO DEI GAS TOSSICI - SCENARIO 1	122
FIGURA 106. MODELLO DI OSCURAMENTO DELLA VISIBILITÀ - SCENARIO 1	123
FIGURA 107. ESODO DEGLI OCCUPANTI - SCENARIO 1	124
FIGURA 108. ESODO DELL'ULTIMO OCCUPANTE. Istanti: 260 e 270 secondi	124
FIGURA 109. ESODO DELL'ULTIMO OCCUPANTE. Istanti: 280 e 290 secondi	124
FIGURA 110. ESODO DELL'ULTIMO OCCUPANTE. Istanti: 300 e 310 secondi	125
FIGURA 111. CURVA HRR - SCENARIO 2	125
FIGURA 112. SLICE DI VISIBILITÀ IN DIREZIONE X E Y A 30 SECONDI	126
FIGURA 113. SLICE DI VISIBILITÀ AL PRIMO E AL SECONDO PIANO INTERRATO A 30 SECONDI	126
FIGURA 114. SLICE DI VISIBILITÀ IN DIREZIONE X E Y A 60 SECONDI	126
FIGURA 115. SLICE DI VISIBILITÀ AL PRIMO E AL SECONDO PIANO INTERRATO A 60 SECONDI	127
FIGURA 116. SLICE DI VISIBILITÀ IN DIREZIONE X E Y A 90 SECONDI	127
FIGURA 117. SLICE DI VISIBILITÀ AL PRIMO E AL SECONDO PIANO INTERRATO A 90 SECONDI	127
FIGURA 118. SLICE DI VISIBILITÀ IN DIREZIONE X E Y A 120 SECONDI	128
FIGURA 119. SLICE DI VISIBILITÀ AL PRIMO E AL SECONDO PIANO INTERRATO A 120 SECONDI	128
FIGURA 120. SLICE DI VISIBILITÀ IN DIREZIONE X E Y A 180 SECONDI	128
FIGURA 121. SLICE DI VISIBILITÀ AL PRIMO E AL SECONDO PIANO INTERRATO A 180 SECONDI	128
FIGURA 122. SLICE DI VISIBILITÀ IN DIREZIONE X E Y A 240 SECONDI	129
FIGURA 123. SLICE DI VISIBILITÀ AL PRIMO E AL SECONDO PIANO INTERRATO A 240 SECONDI	129
FIGURA 124. SLICE DI VISIBILITÀ IN DIREZIONE X E Y A 300 SECONDI	129
FIGURA 125. SLICE DI VISIBILITÀ AL PRIMO E AL SECONDO PIANO INTERRATO A 300 SECONDI	130
FIGURA 126. SLICE DI VISIBILITÀ IN DIREZIONE X E Y A 360 SECONDI	130
FIGURA 127. SLICE DI VISIBILITÀ AL PRIMO E AL SECONDO PIANO INTERRATO A 360 SECONDI	130
FIGURA 128. SLICE DI VISIBILITÀ IN DIREZIONE X E Y A 600 SECONDI	131
FIGURA 129. SLICE DI VISIBILITÀ AL PRIMO E AL SECONDO PIANO INTERRATO A 600 SECONDI	131
FIGURA 130. SLICE DI VISIBILITÀ IN DIREZIONE X E Y A 900 SECONDI	131
FIGURA 131. SLICE DI VISIBILITÀ AL PRIMO E AL SECONDO PIANO INTERRATO A 900 SECONDI	131
FIGURA 132. SLICE DI VISIBILITÀ IN DIREZIONE X E Y A 1200 SECONDI	132
FIGURA 133. SLICE DI VISIBILITÀ AL PRIMO E AL SECONDO PIANO INTERRATO A 1200 SECONDI	132
FIGURA 134. SLICE DI VISIBILITÀ IN DIREZIONE X E Y A 1350 SECONDI	132
FIGURA 135. SLICE DI VISIBILITÀ AL PRIMO E AL SECONDO PIANO INTERRATO A 1350 SECONDI	133
FIGURA 136. ISOSUPERFICI DI VISIBILITÀ A 10 METRI IN DIREZIONE X E Y A 30 SECONDI	133
FIGURA 137. ISOSUPERFICI DI VISIBILITÀ A 10 METRI IN DIREZIONE X E Y A 60 SECONDI	133
FIGURA 138. ISOSUPERFICI DI VISIBILITÀ A 10 METRI IN DIREZIONE X E Y A 90 SECONDI	134
FIGURA 139. ISOSUPERFICI DI VISIBILITÀ A 10 METRI IN DIREZIONE X E Y A 120 SECONDI	134
FIGURA 140. ISOSUPERFICI DI VISIBILITÀ A 10 METRI IN DIREZIONE X E Y A 180 SECONDI	134
FIGURA 141. ISOSUPERFICI DI VISIBILITÀ A 10 METRI IN DIREZIONE X E Y A 240 SECONDI	134
FIGURA 142. ISOSUPERFICI DI VISIBILITÀ A 10 METRI IN DIREZIONE X E Y A 300 SECONDI	135
FIGURA 143. ISOSUPERFICI DI VISIBILITÀ A 10 METRI IN DIREZIONE X E Y A 360 SECONDI	135
FIGURA 144. ISOSUPERFICI DI VISIBILITÀ A 5 METRI IN DIREZIONE X E Y A 120 SECONDI	135
FIGURA 145. ISOSUPERFICI DI VISIBILITÀ A 5 METRI IN DIREZIONE X E Y A 240 SECONDI	135
FIGURA 146. ISOSUPERFICI DI VISIBILITÀ A 5 METRI IN DIREZIONE X E Y A 300 SECONDI	136
FIGURA 147. ISOSUPERFICI DI VISIBILITÀ A 5 METRI IN DIREZIONE X E Y A 360 SECONDI	136
FIGURA 148. ISOSUPERFICI DI VISIBILITÀ A 5 METRI IN DIREZIONE X E Y A 600 SECONDI	136
FIGURA 149. ISOSUPERFICI DI VISIBILITÀ A 5 METRI IN DIREZIONE X E Y A 900 SECONDI	136
FIGURA 150. ISOSUPERFICI DI VISIBILITÀ A 5 METRI IN DIREZIONE X E Y A 1200 SECONDI	137

FIGURA 151. ISOSUPERFICI DI VISIBILITÀ A 5 METRI IN DIREZIONE X E Y A 1350 SECONDI	137
FIGURA 152. ATTIVAZIONE DEGLI SPRINKLER - SCENARIO 2.....	137
FIGURA 153. MODELLO DEL CALORE - TEMPERATURA - SCENARIO 2	138
FIGURA 154. MODELLO DEL CALORE - IRRAGGIAMENTO - SCENARIO 2.....	139
FIGURA 155. MODELLO DEI GAS TOSSICI - SCENARIO 2	139
FIGURA 156. MODELLO DI OSCURAMENTO DELLA VISIBILITÀ	141
FIGURA 157. ESODO DEGLI OCCUPANTI - SCENARIO 2	141
FIGURA 158. ESODO DELL'ULTIMO OCCUPANTE. Istanti: 260 e 270 secondi	142
FIGURA 159. ESODO DELL'ULTIMO OCCUPANTE. Istanti: 280 e 290 secondi	142
FIGURA 160. ESODO DELL'ULTIMO OCCUPANTE. Istanti: 300 e 305 secondi	142
FIGURA 161. CURVA HRR - SCENARIO 3	143
FIGURA 162. SLICE DI VISIBILITÀ IN DIREZIONE X A 30 SECONDI.....	144
FIGURA 163. SLICE DI VISIBILITÀ IN DIREZIONE Y A 30 SECONDI.....	144
FIGURA 164. SLICE DI VISIBILITÀ AL PRIMO E AL SECONDO PIANO INTERRATO A 30 SECONDI	144
FIGURA 165. SLICE DI VISIBILITÀ IN DIREZIONE X A 60 SECONDI.....	144
FIGURA 166. SLICE DI VISIBILITÀ IN DIREZIONE Y A 60 SECONDI.....	145
FIGURA 167. SLICE DI VISIBILITÀ AL PRIMO E AL SECONDO PIANO INTERRATO A 60 SECONDI	145
FIGURA 168. SLICE DI VISIBILITÀ IN DIREZIONE X A 90 SECONDI.....	145
FIGURA 169. SLICE DI VISIBILITÀ IN DIREZIONE Y A 90 SECONDI.....	145
FIGURA 170. SLICE DI VISIBILITÀ AL PRIMO E AL SECONDO PIANO INTERRATO A 90 SECONDI	146
FIGURA 171. SLICE DI VISIBILITÀ IN DIREZIONE X A 120 SECONDI.....	146
FIGURA 172. SLICE DI VISIBILITÀ IN DIREZIONE Y A 120 SECONDI.....	146
FIGURA 173. SLICE DI VISIBILITÀ AL PRIMO E AL SECONDO PIANO INTERRATO A 120 SECONDI	146
FIGURA 174. SLICE DI VISIBILITÀ IN DIREZIONE X A 180 SECONDI.....	147
FIGURA 175. SLICE DI VISIBILITÀ IN DIREZIONE Y A 180 SECONDI.....	147
FIGURA 176. SLICE DI VISIBILITÀ AL PRIMO E AL SECONDO PIANO INTERRATO A 180 SECONDI	147
FIGURA 177. SLICE DI VISIBILITÀ IN DIREZIONE X A 240 SECONDI.....	147
FIGURA 178. SLICE DI VISIBILITÀ IN DIREZIONE Y A 240 SECONDI.....	148
FIGURA 179. SLICE DI VISIBILITÀ AL PRIMO E AL SECONDO PIANO INTERRATO A 240 SECONDI	148
FIGURA 180. SLICE DI VISIBILITÀ IN DIREZIONE X A 300 SECONDI.....	148
FIGURA 181. SLICE DI VISIBILITÀ IN DIREZIONE Y A 300 SECONDI.....	148
FIGURA 182. SLICE DI VISIBILITÀ AL PRIMO E AL SECONDO PIANO INTERRATO A 300 SECONDI	149
FIGURA 183. SLICE DI VISIBILITÀ IN DIREZIONE X A 360 SECONDI.....	149
FIGURA 184. SLICE DI VISIBILITÀ IN DIREZIONE Y A 360 SECONDI.....	149
FIGURA 185. SLICE DI VISIBILITÀ AL PRIMO E AL SECONDO PIANO INTERRATO A 360 SECONDI	149
FIGURA 186. SLICE DI VISIBILITÀ IN DIREZIONE X A 600 SECONDI.....	150
FIGURA 187. SLICE DI VISIBILITÀ IN DIREZIONE Y A 600 SECONDI.....	150
FIGURA 188. SLICE DI VISIBILITÀ AL PRIMO E AL SECONDO PIANO INTERRATO A 600 SECONDI	150
FIGURA 189. SLICE DI VISIBILITÀ IN DIREZIONE X A 900 SECONDI.....	151
FIGURA 190. SLICE DI VISIBILITÀ IN DIREZIONE Y A 900 SECONDI.....	151
FIGURA 191. SLICE DI VISIBILITÀ AL PRIMO E AL SECONDO PIANO INTERRATO A 900 SECONDI	151
FIGURA 192. SLICE DI VISIBILITÀ IN DIREZIONE X A 1200 SECONDI.....	151
FIGURA 193. SLICE DI VISIBILITÀ IN DIREZIONE Y A 1200 SECONDI.....	152
FIGURA 194. SLICE DI VISIBILITÀ AL PRIMO E AL SECONDO PIANO INTERRATO A 1200 SECONDI	152
FIGURA 195. SLICE DI VISIBILITÀ IN DIREZIONE X A 1350 SECONDI.....	152
FIGURA 196. SLICE DI VISIBILITÀ IN DIREZIONE Y A 1350 SECONDI.....	152
FIGURA 197. SLICE DI VISIBILITÀ AL PRIMO E AL SECONDO PIANO INTERRATO A 1350 SECONDI	153
FIGURA 198. ISOSUPERFICI DI VISIBILITÀ A 10 METRI IN DIREZIONE X E Y A 30 SECONDI	153
FIGURA 199. ISOSUPERFICI DI VISIBILITÀ A 10 METRI IN DIREZIONE X E Y A 60 SECONDI	153
FIGURA 200. ISOSUPERFICI DI VISIBILITÀ A 10 METRI IN DIREZIONE X E Y A 90 SECONDI	154
FIGURA 201. ISOSUPERFICI DI VISIBILITÀ A 10 METRI IN DIREZIONE X E Y A 120 SECONDI	154

FIGURA 202. ISOSUPERFICI DI VISIBILITÀ A 10 METRI IN DIREZIONE X E Y A 180 SECONDI	154
FIGURA 203. ISOSUPERFICI DI VISIBILITÀ A 10 METRI IN DIREZIONE X E Y A 240 SECONDI	154
FIGURA 204. ISOSUPERFICI DI VISIBILITÀ A 10 METRI IN DIREZIONE X E Y A 300 SECONDI	155
FIGURA 205. ISOSUPERFICI DI VISIBILITÀ A 10 METRI IN DIREZIONE X E Y A 360 SECONDI	155
FIGURA 206. ISOSUPERFICI DI VISIBILITÀ A 5 METRI IN DIREZIONE X E Y A 120 SECONDI	155
FIGURA 207. ISOSUPERFICI DI VISIBILITÀ A 5 METRI IN DIREZIONE X E Y A 180 SECONDI	155
FIGURA 208. ISOSUPERFICI DI VISIBILITÀ A 5 METRI IN DIREZIONE X E Y A 240 SECONDI	156
FIGURA 209. ISOSUPERFICI DI VISIBILITÀ A 5 METRI IN DIREZIONE X E Y A 300 SECONDI	156
FIGURA 210. ISOSUPERFICI DI VISIBILITÀ A 5 METRI IN DIREZIONE X E Y A 360 SECONDI	156
FIGURA 211. ISOSUPERFICI DI VISIBILITÀ A 5 METRI IN DIREZIONE X E Y A 600 SECONDI	156
FIGURA 212. ISOSUPERFICI DI VISIBILITÀ A 5 METRI IN DIREZIONE X E Y A 900 SECONDI	157
FIGURA 213. ISOSUPERFICI DI VISIBILITÀ A 5 METRI IN DIREZIONE X E Y A 1200 SECONDI	157
FIGURA 214. ISOSUPERFICI DI VISIBILITÀ A 5 METRI IN DIREZIONE X E Y A 1350 SECONDI	157
FIGURA 215. ATTIVAZIONE SPRINKLER - SCENARIO 3	158
FIGURA 216. MODELLO DEL CALORE - TEMPERATURA - SCENARIO 3	158
FIGURA 217. MODELLO DEL CALORE - IRRAGGIAMENTO - SCENARIO 3.....	159
FIGURA 218. MODELLO DEI GAS TOSSICI - SCENARIO 3	160
FIGURA 219. MODELLO DI OSCURAMENTO DELLA VISIBILITÀ - SCENARIO 3	160
FIGURA 220. ESODO DEGLI OCCUPANTI - SCENARIO 3	161
FIGURA 221. ESODO DELL'ULTIMO OCCUPANTE. Istanti: 260 e 265 secondi	162
FIGURA 222. ESODO DELL'ULTIMO OCCUPANTE. Istanti: 270 e 275 secondi	162
FIGURA 223. ESODO DELL'ULTIMO OCCUPANTE. Istanti: 280 e 290 secondi	162
FIGURA 224. CURVA HRR - SCENARIO 4	163
FIGURA 225. SLICE DI VISIBILITÀ IN DIREZIONE X E Y A 30 SECONDI	164
FIGURA 226. SLICE DI VISIBILITÀ AL PRIMO E AL SECONDO PIANO INTERRATO A 30 SECONDI	164
FIGURA 227. SLICE DI VISIBILITÀ IN DIREZIONE X E Y A 60 SECONDI	164
FIGURA 228. SLICE DI VISIBILITÀ AL PRIMO E AL SECONDO PIANO INTERRATO A 60 SECONDI	164
FIGURA 229. SLICE DI VISIBILITÀ IN DIREZIONE X E Y A 90 SECONDI	165
FIGURA 230. SLICE DI VISIBILITÀ AL PRIMO E AL SECONDO PIANO INTERRATO A 90 SECONDI	165
FIGURA 231. SLICE DI VISIBILITÀ IN DIREZIONE X E Y A 120 SECONDI	165
FIGURA 232. SLICE DI VISIBILITÀ AL PRIMO E AL SECONDO PIANO INTERRATO A 120 SECONDI	165
FIGURA 233. SLICE DI VISIBILITÀ IN DIREZIONE X E Y A 180 SECONDI	166
FIGURA 234. SLICE DI VISIBILITÀ AL PRIMO E AL SECONDO PIANO INTERRATO A 180 SECONDI	166
FIGURA 235. SLICE DI VISIBILITÀ IN DIREZIONE X E Y A 240 SECONDI	166
FIGURA 236. SLICE DI VISIBILITÀ AL PRIMO E AL SECONDO PIANO INTERRATO A 240 SECONDI	167
FIGURA 237. SLICE DI VISIBILITÀ IN DIREZIONE X E Y A 300 SECONDI	167
FIGURA 238. SLICE DI VISIBILITÀ AL PRIMO E AL SECONDO PIANO INTERRATO A 300 SECONDI	167
FIGURA 239. SLICE DI VISIBILITÀ IN DIREZIONE X E Y A 360 SECONDI	168
FIGURA 240. SLICE DI VISIBILITÀ AL PRIMO E AL SECONDO PIANO INTERRATO A 360 SECONDI	168
FIGURA 241. SLICE DI VISIBILITÀ IN DIREZIONE X E Y A 600 SECONDI	168
FIGURA 242. SLICE DI VISIBILITÀ AL PRIMO E AL SECONDO PIANO INTERRATO A 600 SECONDI	169
FIGURA 243. SLICE DI VISIBILITÀ IN DIREZIONE X E Y A 670 SECONDI	169
FIGURA 244. SLICE DI VISIBILITÀ AL PRIMO E AL SECONDO PIANO INTERRATO A 670 SECONDI	169
FIGURA 245. ISOSUPERFICI DI VISIBILITÀ A 10 METRI IN DIREZIONE X E Y A 30 SECONDI	170
FIGURA 246. ISOSUPERFICI DI VISIBILITÀ A 10 METRI IN DIREZIONE X E Y A 60 SECONDI	170
FIGURA 247. ISOSUPERFICI DI VISIBILITÀ A 10 METRI IN DIREZIONE X E Y A 90 SECONDI	170
FIGURA 248. ISOSUPERFICI DI VISIBILITÀ A 10 METRI IN DIREZIONE X E Y A 120 SECONDI	170
FIGURA 249. ISOSUPERFICI DI VISIBILITÀ A 10 METRI IN DIREZIONE X E Y A 180 SECONDI	171
FIGURA 250. ISOSUPERFICI DI VISIBILITÀ A 10 METRI IN DIREZIONE X E Y A 240 SECONDI	171
FIGURA 251. ISOSUPERFICI DI VISIBILITÀ A 10 METRI IN DIREZIONE X E Y A 300 SECONDI	171
FIGURA 252. ISOSUPERFICI DI VISIBILITÀ A 10 METRI IN DIREZIONE X E Y A 360 SECONDI	171

FIGURA 253. ISOSUPERFICI DI VISIBILITÀ A 5 METRI IN DIREZIONE X E Y A 120 SECONDI	172
FIGURA 254. ISOSUPERFICI DI VISIBILITÀ A 5 METRI IN DIREZIONE X E Y A 240 SECONDI	172
FIGURA 255. ISOSUPERFICI DI VISIBILITÀ A 5 METRI IN DIREZIONE X E Y A 300 SECONDI	172
FIGURA 256. ISOSUPERFICI DI VISIBILITÀ A 5 METRI IN DIREZIONE X E Y A 360 SECONDI	172
FIGURA 257. ISOSUPERFICI DI VISIBILITÀ A 5 METRI IN DIREZIONE X E Y A 600 SECONDI	173
FIGURA 258. ISOSUPERFICI DI VISIBILITÀ A 5 METRI IN DIREZIONE X E Y A 670 SECONDI	173
FIGURA 259. ATTIVAZIONE SPRINKLER - SCENARIO 4	174
FIGURA 260. MODELLO DEL CALORE - TEMPERATURA - SCENARIO 4	175
FIGURA 261. MODELLO DEL CALORE - IRRAGGIAMENTO - SCENARIO 4.....	175
FIGURA 262. MODELLO DEI GAS TOSSICI - SCENARIO 4	176
FIGURA 263. MODELLO DI OSCURAMENTO DELLA VISIBILITÀ - SCENARIO 4	177
FIGURA 264. ESODO DEGLI OCCUPANTI - SCENARIO 4	178
FIGURA 265. ESODO DELL'ULTIMO OCCUPANTE. Istanti: 268 e 270 secondi	178
FIGURA 266. ESODO DELL'ULTIMO OCCUPANTE. Istanti: 280 e 290 secondi	179
FIGURA 267. ESODO DELL'ULTIMO OCCUPANTE. Istanti: 295 e 297 secondi	179

INDICE DELLE TABELLE

TABELLA 1. CLASSIFICAZIONE TIPOLOGIE EDIFICI SECONDO IL D.M. 16/05/1987	35
TABELLA 2. TIPOLOGIE DI COMUNICAZIONI	38
TABELLA 3. TIPOLOGIE DI COMBUSTIBILI	38
TABELLA 4. LIVELLI DI PRESTAZIONE SECONDO IL D.M. 16/05/1987	39
TABELLA 5. CARATTERISTICHE PREVALENTI DEGLI OCCUPANTI	41
TABELLA 6. VELOCITÀ CARATTERISTICA PREVALENTE DI CRESCITA DELL'INCENDIO	42
TABELLA 7. DEFINIZIONE PROFILO DI RISCHIO RVITA	43
TABELLA 8. ESEMPI PRATICI DI PROFILI DI RISCHIO RVITA.....	43
TABELLA 9. DETERMINAZIONE PROFILO DI RISCHIO RBENI	44
TABELLA 10. CRITERI DI ATTRIBUZIONE DEI LIVELLI DI PRESTAZIONE ALLE VIE D'ESODO DELL'ATTIVITÀ.....	45
TABELLA 11. CRITERI DI ATTRIBUZIONE DEI LIVELLI DI PRESTAZIONE AD ALTRI LOCALI DELL'ATTIVITÀ	45
TABELLA 12. LIVELLI DI PRESTAZIONE S.1	45
TABELLA 13. DETERMINAZIONE CLASSE DI RESISTENZA AL FUOCO SECONDO LA RTV	46
TABELLA 14. CRITERI DI ATTRIBUZIONE DEI LIVELLI DI PRESTAZIONE S.2	47
TABELLA 15. LIVELLI DI PRESTAZIONE S.2	47
TABELLA 16. CLASSE MINIMA DI RESISTENZA AL FUOCO SECONDO LA RTO	48
TABELLA 17. CARATTERISTICHE MINIME DELLE COMUNICAZIONI TRA COMPARTIMENTI	49
TABELLA 18. CRITERI DI ATTRIBUZIONE DEI LIVELLI DI PRESTAZIONE S.3	49
TABELLA 19. LIVELLI DI PRESTAZIONE S.3	50
TABELLA 20. SUPERFICIE LORDA MASSIMA DEL COMPARTIMENTO	51
TABELLA 21. CRITERI DI ATTRIBUZIONE DEI LIVELLI DI PRESTAZIONE S.4	52
TABELLA 22. LIVELLI DI PRESTAZIONE S.4	52
TABELLA 23. AFFOLLAMENTO PER TIPOLOGIA DI ATTIVITÀ	52
TABELLA 24. QUOTE DEI PIANI SOGLIA PER DUE VIE DI ESODO INDIPENDENTI	53
TABELLA 25. NUMERO MINIMO DI USCITE INDIPENDENTI DA LOCALE O SPAZIO A CIELO LIBERO	54
TABELLA 26. CONDIZIONI PER IL CORRIDOIO CIECO	54
TABELLA 27. MASSIME LUNGHEZZE D'ESODO	55
TABELLA 28. LARGHEZZE UNITARIE PER VIE DI ESODO ORIZZONTALI.....	55
TABELLA 29. LARGHEZZE MINIME PER VIE DI ESODO ORIZZONTALI.....	56
TABELLA 30. LARGHEZZE UNITARIE PER VIE DI ESODO VERTICALI	56
TABELLA 31. LARGHEZZE MINIME PER VIE DI ESODO VERTICALI.....	57
TABELLA 32. CRITERI DI ATTRIBUZIONE DEI LIVELLI DI PRESTAZIONE S.5	59
TABELLA 33. LIVELLI DI PRESTAZIONE S.5	59
TABELLA 34. COMPITI DI PROGETTISTA E RESPONSABILE DELL'ATTIVITÀ IN MATERIA DI PROGETTAZIONE DELLA GSA	60
TABELLA 35. NORME E TS PER VERIFICA, CONTROLLO E MANUTENZIONE DI IMPIANTI E ATTREZZATURE ANTINCENDIO	61
TABELLA 36. PREPARAZIONE ALL'EMERGENZA	62
TABELLA 37. LIVELLI DI PRESTAZIONE S.6 DA RTV.....	63
TABELLA 38. PARAMETRI PROGETTUALI PER LA RETE IDRANTI SECONDO UNI 10779	63
TABELLA 39. CRITERI DI ATTRIBUZIONE DEI LIVELLI DI PRESTAZIONE S.6	64
TABELLA 40. LIVELLI DI PRESTAZIONE S.6	64
TABELLA 41. CRITERI PER L'INSTALLAZIONE DEGLI ESTINTORI	65
TABELLA 42. NORME TS E TR DI RIFERIMENTO PER I SISTEMI DI INIBIZIONE, CONTROLLO O ESTINZIONE DELL'INCENDI	66
TABELLA 43. CRITERI DI ATTRIBUZIONE DEI LIVELLI DI PRESTAZIONE S.7	67
TABELLA 44. LIVELLI DI PRESTAZIONE S.7	67
TABELLA 45. SOLUZIONI CONFORMI PER RIVELAZIONE ED ALLARME INCENDIO	68
TABELLA 46. FUNZIONI PRINCIPALI DEGLI IRAI SECONDO EN 54-1 E UNI 9795.....	68
TABELLA 47. CRITERI DI ATTRIBUZIONE DEI LIVELLI DI PRESTAZIONE S.8	69
TABELLA 48. LIVELLI DI PRESTAZIONE S.8	70
TABELLA 49. MODALITÀ PROGETTUALI PER SOLUZIONI ALTERNATIVE S.8	71

TABELLA 50. CRITERI DI DIMENSIONAMENTO PER LE APERTURE DI SMALTIMENTO	71
TABELLA 51. CRITERI DI ATTRIBUZIONE DEI LIVELLI DI PRESTAZIONE S.9	73
TABELLA 52. LIVELLI DI PRESTAZIONE S.9	73
TABELLA 53. LIVELLI DI PRESTAZIONE S.10	75
TABELLA 54. AUTONOMIA MINIMA E INTERRUZIONE DELL'ALIMENTAZIONE ELETTRICA DI SICUREZZA.....	76
TABELLA 55. OBIETTIVI DI SICUREZZA E DURATA MINIMA DEGLI SCENARI D'INCENDIO DI PROGETTO	78
TABELLA 56. TABELLA DALL'ANNUARIO STATISTICO DEI VIGILI DEL FUOCO (2020)	78
TABELLA 57. SOGLIE DI PRESTAZIONE PER IL METODO DI CALCOLO AVANZATO	80
TABELLA 58. SCENARI DI INCENDIO DI PROGETTO	81
TABELLA 59. VALLORI HRR E DI FRAZIONE	88
TABELLA 60. SOMMA DELLE DUE CURVE HRR	90
TABELLA 61. COSTRUZIONE DELLA CURVA HRR DEL FOCOLARE PREDEFINITO	91
TABELLA 62. VELOCITÀ DI MOVIMENTO MASSIMA PER PERCORSI ORIZZONTALI O SCALE	99
TABELLA 63. TEMPO DI PRE-MOVIMENTO	100
TABELLA 64. TEMPO DI RIVELAZIONE E DI ALLARME	100
TABELLA 65. SOVRAPPOSIZIONE DEI RISULTATI	180

1. INTRODUZIONE

La continua evoluzione degli standard di progettazione della sicurezza antincendio ci permette oggi di trattare tali tematiche con livelli di approfondimento più dettagliati e vicini alla realtà, attraverso l'utilizzo di programmi di calcolo di fluidodinamica computazionale.

Il tema della progettazione della sicurezza antincendio delle autorimesse è particolarmente interessante, ma soprattutto attuale in quanto nel 15 Maggio 2020 è stato pubblicato nella Gazzetta Ufficiale un decreto ministeriale contenente la nuova regola tecnica verticale per queste attività.

L'obiettivo del presente elaborato è la verifica della conformità antincendio di un'autorimessa interrata, ma nello specifico si è prestata maggiore attenzione nell'applicazione dell'approccio ingegneristico, seguendo la procedura definita nel Codice di Prevenzione Incendi. L'approccio prestazionale è stato sfruttato per verificare in soluzione alternativa che la mancata indipendenza tra le aperture di smaltimento dei fumi dei due piani interrati, non influenzasse l'esodo e le operazioni dei soccorritori, qualora presenti.

Per effettuare una progettazione integrale di questa attività si è fatto riferimento non solo al D.M. 3 Agosto 2015, ovvero il Codice di Prevenzione Incendi, aggiornato il 15 Maggio 2020, ma anche al D.M. 16 Maggio 1987, aggiornato con il D.M. 25 Gennaio 2019, ovvero le *"Norme di sicurezza antincendi per gli edifici di civile abitazione"*. Per quanto riguarda lo sviluppo della parte relativa alla FSE è stato seguito il procedimento indicato dal Codice, ma per ottenere una simulazione il più possibile vicina alla realtà sono state effettuate diverse ricerche consultando siti internet e articoli di settore.

Il caso oggetto di studio è un'autorimessa, sviluppata in due piani interrati, di pertinenza di un edificio di civile abitazione con altezza antincendio pari a 31,3 m. I due piani interrati hanno una superficie superiore a 3000 m², per un totale di 6892 m². L'autorimessa è composta da un'ampia zona di manovra e da 210 box auto. Inoltre sono presenti ai confini di tali superfici numerose cantine private. L'accesso al primo piano interrato può avvenire da due rampe, una su Via Ala di Stura e l'altra su Via Veronese, e i due piani interrati sono collegati con 3 rampe carrabili.

L'analisi secondo la sezione S del Codice di Prevenzione Incendi non ha riscontrato criticità, se non quella legata all'indipendenza dei sistemi di smaltimento. Lo stesso discorso vale per le norme di progettazione per gli edifici di civile abitazione, per il quale tutti i requisiti sono rispettati.

Per verificare la soluzione alternativa sono stati analizzati 4 scenari d'incendio e di esodo, nei quali gli obiettivi sono sempre stati raggiunti, nonostante siano stati considerati incendi notevolmente più gravosi di quelli che permette di utilizzare il Codice.

La metodologia applicativa della Fire Safety Engineering è stata sviluppata in chiave BIM. Il primo passaggio è stato quello di riordinare i vari file cad ottenuti dagli studi di progettazione che hanno precedentemente lavorato al progetto in modo da avere una base solida con il quale sviluppare

un'ideale modellazione 3D dell'autoimessa. La modellazione 3D è stata effettuata tramite l'utilizzo del software Autodesk Revit.

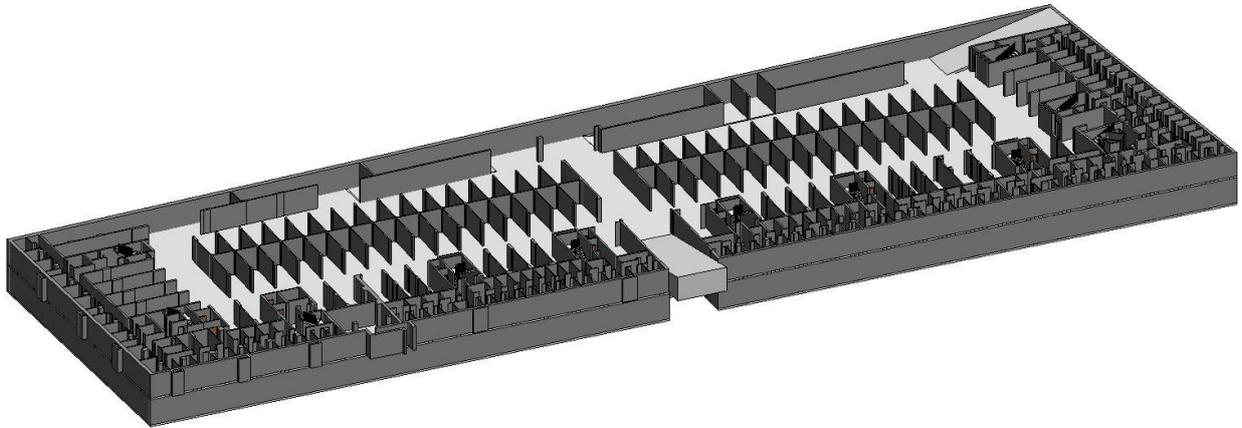


Figura 1. Vista 3D dell'autoimessa da modello Revit

Una volta sviluppato il modello 3D, ed effettuata l'analisi preliminare indicata nella sezione M del Codice di Prevenzione Incendi, è stato esportato da Revit il file in formato .ifc (*Industry Foundation Classes*), il quale può essere importato all'interno dei software di simulazione antincendio.



Figura 2. Workflow di modellazione

2. LA PREVENZIONE INCENDI

Il presente capitolo illustra l'evoluzione della normativa italiana relativamente ai temi di Prevenzione Incendi, fino alla pubblicazione del Testo Unico di Prevenzione Incendi, il D.M. 3 Agosto 2015, e le sue successive integrazioni, tramite la pubblicazione delle regole tecniche verticali.

2.1 LA PREVENZIONE INCENDI IN ITALIA

In Italia si parlò per la prima volta di "prevenzione incendi" nel D.P.R. n. 577 promulgato il 29/07/1982, *"Regolamento concernente norme sui servizi di prevenzione incendi"*, in cui nei primi due articoli vengono fornite tali definizioni:

"La prevenzione incendi costituisce servizio di interesse pubblico per il conseguimento di obiettivi di sicurezza della vita umana e incolumità delle persone e di tutela dei beni e dell'ambiente secondo criteri applicativi uniformi nel territorio nazionale. Il servizio di prevenzione incendi costituisce compito istituzionale del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco."

"Per prevenzione incendi si intende la materia di rilevanza interdisciplinare, nel cui ambito vengono promossi, studiati, predisposti e sperimentati misure, provvedimenti, accorgimenti e modi di azione intesi ad evitare, secondo le norme emanate dagli organi competenti, l'insorgenza di un incendio e a limitarne le conseguenze."

Ma la storia della sicurezza antincendio è iniziata 43 anni prima, con l'istituzione del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco, formalizzato con la pubblicazione del Regio Decreto legge del 27/02/1939. Precedentemente a tale decreto il Corpo dei Vigili del Fuoco veniva concepito esclusivamente a livello provinciale. Al tempo il loro obiettivo era quello di "tutelare l'incolumità delle persone e la salvezza delle cose, mediante la prevenzione e l'estinzione degli incendi e l'apporto di servizi tecnici in genere, anche ai fini della protezione antiaerea". L'unione di tutti i corpi provinciali fu ufficializzata con la Legge n. 1570 del 27/12/1941, *"Istituzione dell'unione di tutti i Corpi Provinciali e Civili dei Pompieri"*. Tale legge prevedeva che il comandante dei Vigili del Fuoco dovesse eseguire controlli ai locali adibiti a depositi, industrie pericolose e pubblico spettacolo, e rilasciare, a seguito dell'avvenuta ispezione, la licenza di esercizio.

Con il D.P.R. n. 547 del 27/04/1955, *"Norme per la prevenzione degli infortuni sul lavoro"*, i progetti di edifici di nuova costruzione o di nuovi impianti devono essere sottoposti al controllo da parte dei Vigili del Fuoco, e una volta realizzati, deve essere effettuata una visita di collaudo. Quattro anni dopo, con il D.P.R. n. 689 del 26/05/1959, *"Determinazione delle aziende e lavorazioni soggette, ai fini della prevenzione degli incendi, al controllo del comando dei Vigili del Fuoco"*, si iniziarono a definire aziende e lavorazioni soggette, oggi definite *attività soggette*. Nel 13/05/1961 fu emanata la Legge n. 469, *"Ordinamento dei servizi antincendi e del Corpo nazionale dei Vigili del Fuoco e stato giuridico e trattamento economico del personale dei sottufficiali, vigili scelti e vigili del Corpo nazionale dei Vigili del Fuoco"*, con il quale vennero ben

definiti i ruoli in merito al personale dei Vigili del Fuoco, dei Comandi Provinciali e dei Comandanti Provinciali.

Fondamentale fu la Legge n. 966 del 26/07/1965, *"Disciplina delle tariffe, delle modalità di pagamento e dei compensi al personale del Corpo nazionale dei Vigili del Fuoco per i servizi a pagamento"*, con il quale venne istituito il Certificato di Prevenzione Incendi (C.P.I.), e vennero identificate 100 attività soggette a precisi requisiti antincendio. Queste ultime vennero poi inserite all'interno di un elenco ufficiale con il D.M. n. 1973 del 27/09/1965, *"Determinazione delle attività soggette alle visite di prevenzione incendi"*, in cui furono divise in base ai tempi necessari di visita da parte dei Vigili del Fuoco. Da questo momento in poi l'ente pubblico o il privato sono costretti a richiedere il C.P.I. e le visite di accertamento della rispondenza alle prescrizioni progettuali.

Il D.M. 27/09/1965 è stato modificato con l'emanazione del D.M. 16/02/1982, *"Modificazioni del D.M. 27 settembre 1965, concernente la determinazione delle attività soggette alle visite di prevenzione incendi"*, con il quale le attività soggette passarono da 100 a 97, e furono modificate anche le tempistiche di visita da parte dei Vigili del Fuoco. Questo decreto è rimasto in vigore fino al 2015, quando fu emanato il D.P.R. n. 151.

Sempre nel 1982 è stato pubblicato un Decreto del Presidente della Repubblica molto importante, il D.P.R. n. 577 del 27/07/1982, *"Approvazione del regolamento concernente l'espletamento dei servizi antincendio"*, con il quale viene istituito il Comitato Centrale Tecnico-Scientifico, con competenze dovute all'introduzione della deroga. In quel periodo solo il 30 % delle attività pericolose possedeva realmente il C.P.I. in quanto ancora non era prevista la responsabilizzazione diretta al titolare dell'attività, ma questo non era l'unico motivo. Le attività soggette ai controlli erano ben definite e gli interventi di adeguamento antincendio continuavano ad aumentare. Nonostante ciò le richieste verso i Vigili del Fuoco diventarono troppe e si arrivò ad una congestione delle risposte, dei controlli e delle emissioni dei C.P.I.

Nel 1983 accadde una tragedia che colpì l'intera nazione e che fece dubitare sull'efficienza dei sistemi di controllo dei Vigili del Fuoco in vigore. Il 13 febbraio di quell'anno un incendio colpì il Cinema Statuto di Torino, che provocò la morte di 64 persone, principalmente a causa di intossicazione da fumi e ustioni. Le fiamme partirono da alcune tende e le persone in fuga trovarono le uscite di sicurezza chiuse, non riuscendo così a scappare.

Nel tentativo di perfezionare la normativa antincendio italiana fu emanata la Legge n. 818 del 07/12/1984, *"Nulla-osta provvisorio per le attività soggette ai controlli di prevenzione incendi, modifica degli articoli 2 e 3 delle legge 4 marzo 1982, n.66, e norme integrative dell'ordinamento del Corpo nazionale dei Vigili del Fuoco"*. Con questa legge viene introdotta la figura del *"professionista iscritto in albi ministeriali"*. Il N.O.P. (nulla osta provvisorio) veniva rilasciato per quelle attività che ancora non possedevano il C.P.I., in cambio della garanzia di adempiere alla sua richiesta e di adeguare le attività almeno agli aspetti antincendi più urgenti. Questa legge prevedeva, in caso di mancata richiesta di rilascio o rinnovo del C.P.I. o del N.O.P., sanzioni penali a carico del titolare dell'attività.

Nel 19/09/1994 nacque la legge n. 626, *"Attuazione delle direttive riguardanti il miglioramento della sicurezza e della salute dei lavoratori durante il lavoro"*, nel quale è stata rimarcata l'importanza al rispetto dei requisiti di prevenzione incendi, soprattutto in termini di valutazione dei rischi per la salute e la sicurezza dei lavoratori, programmazione della gestione della sicurezza, identificazione dei soggetti coinvolti nella gestione delle emergenze e la redazione dei piani di evacuazione ed emergenza.

Con l'obiettivo di snellire l'attività amministrativa della prevenzione incendi venne pubblicato il D.P.R. n. 37 del 12/01/1998, in cui sono stati modificati i tempi di risposta da parte del Comando dei Vigili del Fuoco all'esame del progetto. Questo decreto presentava la seguente procedura: il titolare dell'attività presentava la richiesta di esame del progetto, alla quale seguiva l'esame e l'emissione del parere positivo entro 45 giorni da parte del Comando VVF; una volta ottenuto il parere positivo iniziavano i lavori, terminati i quali era necessario presentare una richiesta di sopralluogo, con allegate certificazioni dei prodotti da costruzione e dichiarazioni di conformità degli impianti; in caso di esito positivo del sopralluogo i Vigili del Fuoco rilasciavano il C.P.I., altrimenti occorreva adeguare il progetto, effettuare i lavori e richiedere nuovamente il sopralluogo finale.

Con il D. Lgs. n. 139 del 08/03/2006, *"Riassetto delle disposizioni relative alle funzioni ed ai compiti del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco"*, sono stati ripresi tutti i concetti fondamentali della Prevenzione Incendi e fu aumentata la responsabilità in capo ai professionisti abilitati iscritti nell'Elenco ministeriale dei professionisti antincendio. Il Corpo nazionale dei Vigili del Fuoco assume il ruolo di struttura dello Stato ad ordinamento civile, inserita nel Ministero dell'Interno come Dipartimento dei Vigili del Fuoco, del soccorso pubblico e della difesa civile. Inoltre in questo decreto viene abrogata la Legge n. 818 del 07/12/1984.

Nel D.M. 09/05/2007, *"Direttive per l'attuazione dell'approccio ingegneristico alla sicurezza antincendio"*, si parla per la prima volta in Italia di approccio ingegneristico ai fini della prevenzione incendi. Tale introduzione causò notevoli incomprensioni di carattere interpretativo in quanto si trattava una metodologia sconosciuta per la maggior parte dei professionisti antincendio. Fu quindi necessario redigere diverse linee guida che andassero a spiegare alcuni procedimenti e le possibili modalità di applicazione.

Nell'ottica di semplificare e snellire ulteriormente l'azione amministrativa del Comando dei Vigili del Fuoco fu emanato il D.P.R. n. 151 del 01/08/2011, *"Regolamento recante semplificazione della disciplina dei procedimenti relativi alla prevenzione degli incendi"*. Questo decreto presenta notevoli cambiamenti, tra cui la ridefinizione delle attività soggette ai controlli da parte dei Vigili del Fuoco, che da 97 diventano 80, l'abolizione del C.P.I. e sostituzione con la SCIA e l'asseverazione da parte del professionista antincendio, l'attestazione del rinnovo periodico ogni 5 o 10 anni e l'inasprimento delle sanzioni amministrative e penali. Fino a quel momento le vecchie procedure non prevedevano proporzionalità tra il livello di rischio di un'attività soggetta e gli adempimenti di prevenzione incendi, infatti le operazioni di verifica e controllo da parte dei Vigili del Fuoco venivano eseguite indistintamente su tutte le 97 attività.

Il D.P.R. 151/2011 introduce il principio di proporzionalità, con il quale gli adempimenti di prevenzione incendi vengono ben differenziati in funzione del livello di rischio dell'attività. L'introduzione di questo principio ha permesso di ottimizzare notevolmente il lavoro di Vigili del Fuoco, i quali a partire da questo decreto hanno potuto eseguire i controlli in tempi più rapidi per le attività che presentavano un livello di rischio più basso e concentrarsi maggiormente su quelle attività che necessitavano di verifiche e controlli più approfondite. Tale principio prevede una suddivisione per ogni attività in tre categorie (A,B,C) in funzione delle dimensioni, del settore di attività o della presenza di specifiche regole tecniche. In particolare la classificazione consisteva nella seguente suddivisione

- A (attività semplici): applicazione dei principi della SCIA e visite a campione successive;
- B (attività mediamente complesse): esame progetto entro 60 giorni, presentazione della SCIA e visite a campione successive;
- C (attività complesse): esame progetto entro 60 giorni, presentazione della SCIA e visite certe.

Fondamentale è stata l'abolizione del C.P.I., lasciando il posto alla SCIA, "*Segnalazione Certificata di Inizio Attività*", che rappresenta il titolo autorizzativo all'esercizio dell'attività soggetta ai controlli di Prevenzione Incendi. Come già detto precedentemente la SCIA è corredata dalla asseverazione firmata da professionista antincendio. Questa asseverazione ha l'obiettivo di attestare la conformità dell'opera alla regola tecnica. Alla asseverazione sono allegati certificati e dichiarazioni ministeriali a firma del professionista antincendio.

Nel 2015 sono state aggiornate e semplificate le norme tecniche di prevenzione incendi, con l'obiettivo di realizzare il "*Testo Unico della Prevenzione Incendi*" per dare un unico riferimento normativo, è nato il D.M. 3/08/2015. Il progetto di semplificazione delle norme di prevenzione incendi fu avviato presso la Direzione Centrale per la Prevenzione e Sicurezza Tecnica del Dipartimento dei Vigili del Fuoco alla fine del 2013. Oltre a voler realizzare un unico riferimento e semplificare la normativa, il Codice fu responsabile di adempiere ad altri obiettivi altrettanto importanti: adottare regole meno prescrittive e più prestazionali; definire regole sostenibili, proporzionate al rischio reale; assicurarsi che l'unico tema del testo siano le normative antincendio; fornire la possibilità di scelta tra diverse soluzioni possibili; favorire l'utilizzo dell'ingegneria della sicurezza antincendio.

Il Codice di Prevenzione Incendi è suddiviso in 4 sezioni:

- **Sezione G ("*Generalità*")**: contiene i principi sui quali si fonda la progettazione della sicurezza antincendio. Si compone di tre capitoli che definiscono termini, definizioni e simboli grafici, la progettazione per la sicurezza antincendio e la determinazione dei profili di rischio delle attività.
- **Sezione S ("*Strategia antincendio*")**: in cui vengono descritte le dieci misure antincendio e i rispettivi livelli di prestazione, ed illustrate le possibili soluzioni progettuali. Per ciascun livello di prestazione vengono proposte le corrispondenti soluzioni conformi, che non

necessitano una verifica specifica, e le possibili soluzioni alternative, di cui il progettista è tenuto a dimostrarne l'efficienza.

- **Sezione V ("Regole tecniche verticali"):** contiene le regole tecniche specifiche per determinate attività o sue porzioni. Queste regole tecniche sono da assumere come un'integrazione di quelle generali illustrate nella sezione S. Questa sezione è sicuramente quella che subisce il numero maggiore di aggiornamenti, infatti le attività per il quale viene definita una RTV diventano sempre di più.
- **Sezione M ("Metodi"):** contiene la metodologia di applicazione dell'ingegneria della sicurezza antincendio. La presenza di questa sezione definisce il passaggio da una normativa prescrittiva ad una "semi-prescrittiva", in cui il progettista ha la possibilità di scegliere quale soluzione applicare ad una determinata misura antincendio.

2.2 DALL'APPROCCIO PRESCRITTIVO ALL'APPROCCIO PRESTAZIONALE

Dal 1955, con l'uscita del D.P.R. n. 547, l'unico approccio utilizzato per la prevenzione incendi era quello prescrittivo, costituito da regole tecniche che indicavano preventivamente le misure antincendio da applicare al fine di raggiungere i requisiti di sicurezza antincendio. Questo approccio è molto rigido ma allo stesso tempo di facile applicazione per strutture regolari e standardizzate.

L'evoluzione tecnologica nel mondo della sicurezza antincendio e delle costruzioni ha richiesto il passaggio ad un approccio differente, in cui lo strumento di verifica di adatti al caso studio analizzato. Questo approccio è proprio l'approccio ingegneristico, o prestazionale, in cui, una volta definiti i livelli di prestazione per la specifica misura antincendio, permette il loro soddisfacimento mediante l'applicazione di diverse soluzioni.

L'approccio di tipo ingegneristico (*Fire Safety Engineering - FSE*) è applicato già da tempo in vari paesi europei, in quanto permette una più coerente aderenza delle misure di sicurezza antincendio al rischio specifico della costruzione, determinando una più accurata verifica dei livelli di prestazione prefissati e consentendo una maggiore libertà nelle scelte progettuali possibili.

Nel Codice di Prevenzione Incendi la metodologia di progettazione prestazionale viene scomposta in due fasi:

- analisi preliminare, che si compone di quattro parti:
 1. Definizione del progetto, con eventuale definizione dei vincoli progettuali derivanti da previsioni normative e dei pericoli di incendio connessi alla destinazione d'uso prevista;
 2. Identificazione degli obiettivi di sicurezza antincendio (salvaguardia dell'incolumità degli occupanti o dei soccorritori, mantenimento della capacità portante, continuità d'esercizio);
 3. Definizione delle soglie di prestazione in funzione dell'obiettivo prefissato;
 4. Individuazione degli scenari di incendio di progetto;

- analisi quantitativa, che si compone di tre parti:
 1. Elaborazione delle soluzioni progettuali;
 2. Valutazione delle soluzioni progettuali;
 3. Selezione delle soluzioni progettuali idonee.

Nel quadro normativo europeo l'iter progettuale dell'approccio prestazionale viene definito nella ISO 23932 con il *flow chart* riportato in figura.

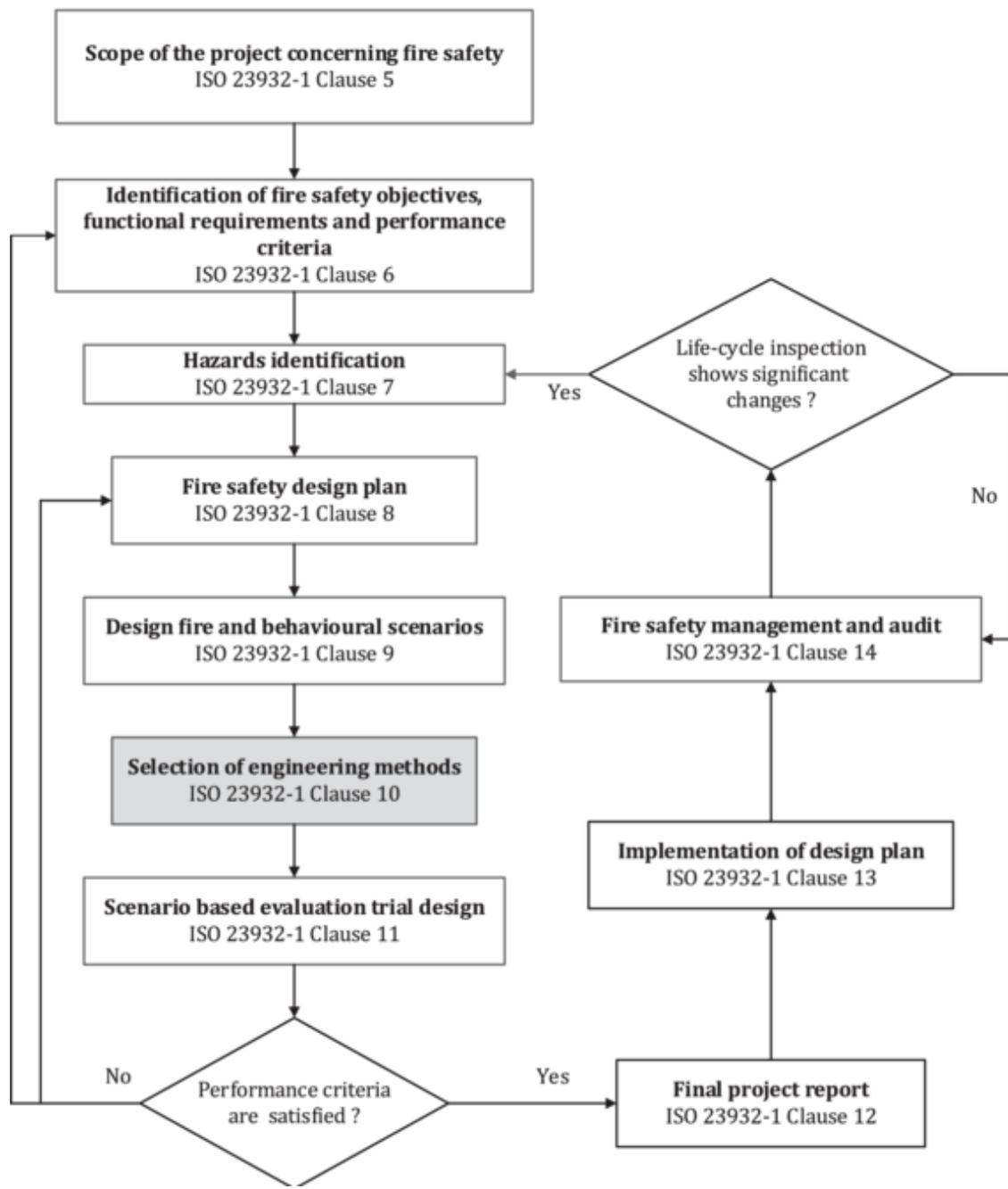


Figura 3. Flow chart del metodo FSE (ISO 23932)

Da un punto di vista più pratico, il procedimento metodologico è molto semplice ed è costituito da quattro macrofasi, spiegate nella sezione G del Codice:

1. individuazione dei pericoli di incendio;
2. valutazione del rischio di incendio mediante i tre profili di rischio;
3. definizione delle misure antincendio e attribuzione dei corrispondenti livelli di prestazione;
4. adozione di una soluzione per ogni misura antincendio, che questa sia conforme, alternativa o in deroga.

Il procedimento di valutazione del rischio viene definito nella sezione G del Codice e prevede l'associazione di un valore ai tre profili di rischio: R_{vita} (salvaguardia della vita umana), R_{beni} (salvaguardia dei beni economici) e $R_{ambiente}$ (tutela dell'ambiente). Il profilo R_{vita} viene definito in funzione delle caratteristiche degli occupanti e delle caratteristiche di incendio legate alla specifica attività. Il profilo R_{beni} è funzione della sola tipologia dell'attività. Il profilo $R_{ambiente}$ è funzione dell'ubicazione dell'attività, della tipologia e dei quantitativi di materiali combustibili presenti. Una volta definiti anche i livelli di prestazione deve essere adottata una tipologia di soluzione tra le tre previste dal Codice:

- soluzioni conformi: costituite da quegli adempimenti progettuali prescrittivi che garantiscono il soddisfacimento del livello di prestazione richiesto senza la necessità di effettuare verifiche tecniche;
- soluzioni alternative: in cui il progettista si impegna a dimostrare il raggiungimento del livello di prestazione impiegando uno dei metodi ordinari previsti: utilizzo di normative o documenti tecnici di organismi europei o internazionali; applicazione di prodotti o di tecnologie innovative; applicazione dei metodi dell'ingegneria della sicurezza antincendio seguendo le procedure illustrate nella sezione M del Codice;
- soluzioni in deroga: il loro utilizzo è previsto esclusivamente qualora non possano essere efficacemente applicate né le soluzioni conformi né quelle alternative. In questo caso il progettista deve dimostrare il raggiungimento degli obiettivi di prevenzione incendi applicando i metodi aggiuntivi di progettazione della sicurezza antincendio: prove sperimentali approvate dal personale dei Vigili del Fuoco; analisi e progettazione secondo giudizio esperto; applicazione dell'ingegneria della progettazione antincendio, esente dai vincoli di scelta delle ipotesi e dei limiti contenuti nella sezione M.

In conclusione si può affermare che, mentre l'approccio prescrittivo si occupa di imporre l'adeguamento ad una soluzione prefissata, quello prestazionale si basa sulla verifica dei requisiti stabiliti sulla base dell'obiettivo imposto secondo una valutazione quantitativa, nel rispetto delle soglie di prestazione previste. L'approccio prescrittivo può facilitare il lavoro del progettista per l'analisi di opere regolari, mentre l'approccio ingegneristico permette lo studio delle opere più complesse sia in termini dimensionali che tecnologici. Per quanto riguarda i costi, l'approccio prestazionale può richiedere notevoli spese per l'applicazione di software di simulazione e per la formazione di progettisti preparati in tale ambito, ma ciò porta sicuramente dei risparmi sui costi operativi.

2.3 L'EVOLUZIONE DELLE NORMATIVE ANTINCENDIO PER LE AUTORIMESSE

Fino all'anno 2020 il decreto a cui si faceva riferimento per la progettazione antincendio delle autorimesse era il D.M. 01/02/1986, "*Norme di sicurezza antincendi per la costruzione e l'esercizio di autorimesse e simili*", strutturato nella forma tradizionale delle regole tecniche verticali di prevenzione incendi ante codice, ovvero basato su un approccio prescrittivo.

Nonostante questo decreto sia rimasto in vigore per oltre trent'anni, è possibile rilevare alcuni elementi di criticità:

- disposizioni e definizioni espresse in modo poco chiaro, come la stessa definizione di autorimessa;
- presenza di prescrizioni in contraddizione tra loro;
- errata valutazione dei livelli di rischio a monte, e conseguente sovrastima dei livelli di prestazione ai fini antincendio;
- presenza di disposizioni non attinenti con i temi della sicurezza antincendio, come le indicazioni progettuali relative alle caratteristiche geometriche delle autorimesse.

Queste criticità portarono molto spesso al ricorso alla procedura della deroga per superare le prescrizioni rigide del decreto, spesso relative ad aspetti di scarsa rilevanza ai fini antincendio.

Questo decreto venne abrogato con l'entrata in vigore del D.M. 21/02/2017, "*Approvazione di norme tecniche di prevenzione incendi per le attività di autorimessa*", che fu la prima versione della regola tecnica verticale dedicata a questa tipologia di attività. Tale decreto ha subito due ulteriori modifiche, fino all'emanazione del D.M. 15/05/2020, che rappresenta la terza versione della regola tecnica verticale. Questa versione si integra perfettamente con la versione aggiornata del Codice del 18/10/2019, consentendo l'utilizzo coordinato dell'intero Codice stesso.

La V.6 si presenta esattamente come tutte le altre regole tecniche verticali nella forma. Per quanto riguarda il capitolo relativo alla *Strategia antincendio* si concentra in particolare sulle seguenti misure: reazione al fuoco; resistenza al fuoco; compartimentazione; esodo; gestione della sicurezza antincendio; controllo dell'incendio; controllo di fumi e calore; sicurezza impianti tecnologici e di servizio.

La classificazione delle autorimessa viene svolta in funzione delle seguenti caratteristiche:

- caratteristiche prevalenti degli occupanti;
- superficie lorda dell'autorimessa, considerata al netto delle pertinenze compartimentate;
- quota di tutti i piani, intesa come dislivello tra il piano considerato ed il piano di riferimento del compartimento cui appartiene, ovvero il piano del luogo esterno verso cui avviene prevalentemente l'esodo degli occupanti del compartimento e da cui accedono i soccorritori.

3. CRITICITA' DELLE AUTORIMESSE INTERRATE

Le autorimesse, soprattutto quelle interrato, sono spesso vittime di criticità molto comuni per questa tipologia di attività. Le cause possono essere ricercate in diversi aspetti, come per esempio l'evoluzione del quadro normativo stesso, o i permessi rilasciati dai Vigili del Fuoco in passato che attualmente non vengono più considerati idonei al fine della garanzia della sicurezza antincendio. Quest'ultimo caso è esattamente ciò che è capitato al caso studio che verrà presentato nei capitoli successivi, infatti la necessità di verifica della soluzione alternativa per le aperture di smaltimento di fumo e calore nasce dalla mancata indipendenza dei sistemi dei due piani interrati, in quanto le griglie di aerazione che dovrebbero garantire la fuoriuscita dei fumi si trovano una sopra l'altra e questo le rende dipendenti le une dalle altre. Tale soluzione veniva ampiamente approvata dal Comando dei Vigili del Fuoco in passato, ma diversamente avviene nel presente, in cui viene sempre richiesta la verifica in soluzione alternativa.

In generale si può affermare che le criticità più comuni sono legate a due specifiche strategie antincendio, ovvero quelle relative all'esodo e al controllo di fumi e calore.

3.1 ESODO

Il vecchio D.M. 01/02/1986 illustrava le misure antincendio relative all'esodo nel capitolo 3.10 *"Misure per lo sfollamento delle persone in caso di emergenza"*, in cui venivano fornite indicazioni riguardanti la densità di affollamento, la capacità di deflusso, le vie di uscita e il loro dimensionamento, la larghezza delle vie di uscita, l'ubicazione ed il numero delle uscite finali. La prima differenza fondamentale con il nuovo D.M. 3/08/2015 la si trova relativamente al concetto di densità di affollamento, in quanto nel decreto del 1986 questo valore veniva definito in funzione della superficie lorda del pavimento dell'autorimessa (stimando una persona ogni 10 m²), mentre attualmente viene definita in funzione del numero parcheggi presenti (stimando una persona per ogni auto parcheggiata). Questa differenza è sostanziale perché lo studio e la modellazione dell'esodo degli occupanti si basa sul numero degli stessi. Per quanto riguarda la larghezza delle vie di uscita prima dovevano semplicemente essere superiori a 1,2 m (che poteva essere ridotta a 0,6 m nel caso di presenza di due o più uscite), mentre nel Codice le larghezze delle vie orizzontali e verticali vengono dimensionate sulla base di valori unitari che vengono moltiplicati per il numero degli occupanti previsti nella condizione di maggiore affollamento. Oltre a queste differenze nel Codice vengono trattati alcuni aspetti che nel vecchio decreto non erano presenti, per esempio la presenza di luoghi sicuri, luoghi sicuri temporanei e spazi calmi, oltre al dimensionamento della lunghezza e dell'altezza delle vie di esodo, sempre in funzione del numero di occupanti stimato, e al concetto di corridoio cieco.

3.2 CONTROLLO FUMI E CALORE

Nel decreto del 1986 le indicazioni riguardanti il controllo dei fumi e del calore erano riportate nel capitolo 3.9 *"Ventilazione"*, in cui al primo paragrafo è scritto: *"Le autorimesse devono essere munite di un sistema di aerazione naturale costituito da aperture ricavate nelle pareti e/o nei*

soffitti e disposte in modo da consentire un efficace ricambio dell'aria ambiente, nonché lo smaltimento del calore e dei fumi di un eventuale incendio. Al fine di assicurare una uniforme ventilazione dei locali, le aperture di aerazione devono essere distribuite il più possibile uniformemente e a distanza reciproca non superiore a 40 m". Inoltre veniva imposta l'indipendenza dei sistemi di ventilazione per ogni piano. Tale indipendenza però non sempre veniva assicurata e, nonostante ciò, molto spesso i Vigili del Fuoco esprimevano parere positivo sui progetti e, a seguito dei collaudi, sull'opera realizzata. Per la sua natura prescrittiva, in modo da garantire un dimensionamento a favore di sicurezza, le aperture di aerazione naturale dovevano essere non inferiori ad 1/25 della superficie in pianta del compartimento, mentre nel Codice viene riportato un valore di riferimento pari a 1/40 della superficie lorda, e quindi decisamente minore. Per quanto riguarda i sistemi di ventilazione meccanica, dovevano essere installati nel caso in cui il numero dei parcheggi superasse una soglia prefissata (125 per il primo piano, 100 per il secondo, 75 per il terzo, 50 oltre il terzo), e veniva poi fornita una serie di indicazioni prescrittive che l'impianto doveva possedere. Nel Codice invece non viene imposta la necessità di inserimento di una sistema di ventilazione meccanica (definita "forzata" nel Codice), ma viene riportata la possibilità di progettarelo *"per uno o più dei seguenti obiettivi di sicurezza in caso di incendio:*

- a. fornire condizioni tenibili per le squadre di soccorso da un punto di accesso sino alla posizione dell'incendio;*
- b. proteggere le vie di esodo, ad esclusione di quelle nel compartimento di primo innesco;*
- c. agevolare lo smaltimento di fumo e calore dall'attività dopo l'incendio e ripristinare rapidamente le condizioni di sicurezza."*

Inoltre viene riportato a parte un ulteriore capitolo in cui si parla dei sistemi per l'evacuazione di fumo e calore (SEFC), che hanno l'obiettivo di creare e mantenere uno strato d'aria sostanzialmente indisturbato nella porzione inferiore dell'ambiente protetto. e possono essere ad evacuazione naturale o forzata.

Queste sono le principali misure che generano criticità nella progettazione e nell'adeguamento ai fini della sicurezza antincendio delle autorimesse. Ovviamente poi per ogni caso specifico è necessaria un'analisi a parte e le criticità potrebbero essere riscontrate in merito a misure antincendio differenti.

4. ESEMPI DA LETTERATURA

In questo capitolo sono riportati alcuni esempi di letteratura di incendi che hanno colpito dei parcheggi, principalmente interrati, per evidenziare la pericolosità che questi possono avere in termini economici, di danni alle strutture adiacenti, ambientali, e non solo.

Incendio di un parcheggio multipiano a Liverpool - 31/12/2017

L'incendio originatosi da un'automobile posteggiata al terzo piano della struttura, si è propagato all'intero fabbricato che ospitava un parcheggio multipiano, coinvolgendo la quasi totalità delle autovetture presenti. I danni materiali sono enormi poiché non solo sono andate distrutte circa 1400 autovetture ma l'intero fabbricato risulta ormai inagibile ed è stato demolito. Infatti alcuni solai hanno ceduto a causa della sollecitazione dell'incendio. L'impatto ambientale dei fumi e delle sostanze prodotte dall'incendio è stato sicuramente pesante. Quello che sicuramente ha colpito tutti i professionisti antincendio è stata la rapida progressione dell'incendio, che non è stato possibile contenere ed estinguere neppure grazie all'intervento tempestivo dei Vigili del Fuoco, probabilmente a causa della mancanza di idonee misure protettive e contenitive. Nonostante ciò, non sono state registrate vittime né feriti.

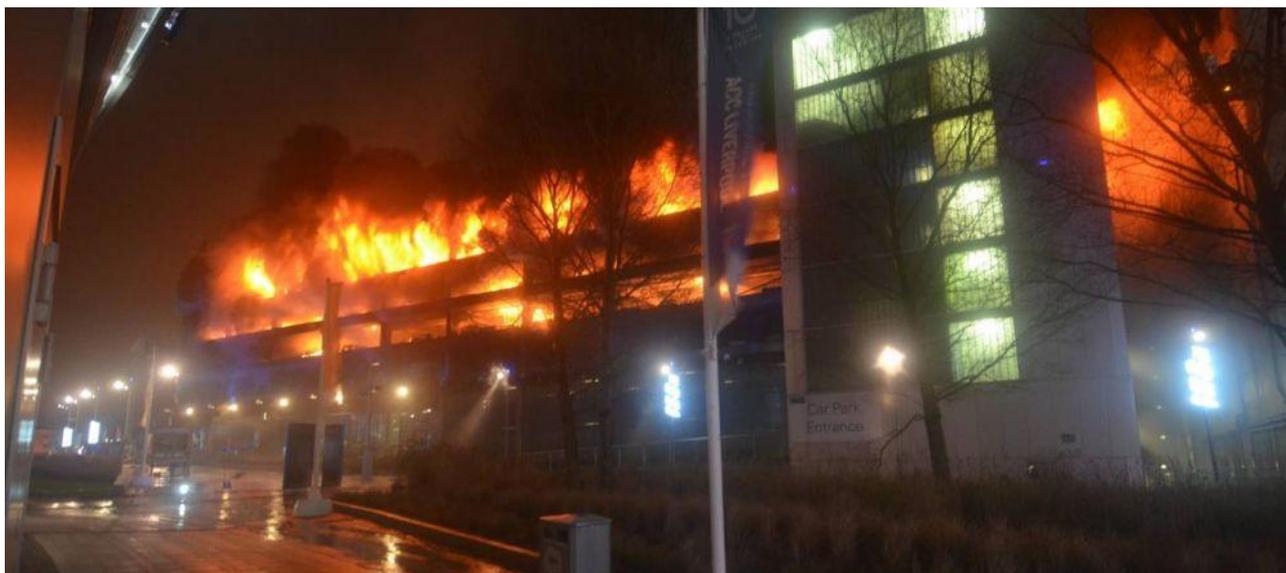


Figura 4. Foto dell'incendio del parcheggio multipiano di Liverpool

Il fenomeno è stato analizzato attraverso gli strumenti della *Fire Safety Engineering* dall'ingegner Filippo Cosi, che ha modellato l'intero fabbricato e ha simulato le diverse fasi dell'incendio sviluppando due scenari, con e senza la presenza di un impianto di spegnimento sprinkler. Dal suo studio è emerso che *"nelle simulazioni effettuate, ..., non si raggiungono le condizioni del flash-over (incendio generalizzato nel quale tutto il materiale combustibile presente viene innescato contemporaneamente), almeno nei primi 30 minuti. Si segnala che la notevole superficie di aerazione naturale possa escludere che sia avvenuto un vero e proprio flash-over, quanto piuttosto un incendio generalizzato (seppur con sviluppo rapido) che ha registrato una progressione senza alcun arresto, pertanto le conseguenze finali sono paragonabili a quelle di un incendio con flash-over"*.

Incendio del parcheggio multipiano dell'aeroporto di Stavanger (Norvegia) - 07/01/2020

Anche in questo caso l'incendio è partito da un'autovettura e si è propagato rapidamente arrivando a coinvolgere oltre 300 automobili e facendo collassare parte della struttura. Il violento incendio ha provocato una densa colonna di fumo ed è stato necessario fermare l'attività aeronautica. L'allarme è scattato intorno alle 16.30 ma l'incendio è stato domato grazie all'intervento dei Vigili del Fuoco solo in serata. Fortunatamente non sono stati registrati morti o feriti, grazie all'immediata applicazione delle procedure di evacuazione della zona.



Figura 5. Foto dell'incendio del parcheggio multipiano di Stavanger

Incendio del parcheggio interrato dell'Hotel Ritz (Parigi) - 08/03/2012

L'incendio è partito dal secondo piano interrato del parcheggio dell'hotel, composto da cinque piani interrati, che si trova esattamente sotto la famosa *Place Vendome*, che è stata invasa dal fumo ed è stata prontamente evacuata grazie all'intervento dei Vigili del Fuoco. Anche in questo caso fortunatamente non sono stati registrati morti o feriti gravi. L'incendio è scoppiato verso le ore cinque del pomeriggio ma le squadre di soccorso sono riuscite a domarlo solo intorno alle 21.00. L'intervento ha richiesto la presenza di centinaia di Vigili del Fuoco, in quanto gli aspetti critici in questo caso erano principalmente due:

1. l'incendio non poteva espandersi fino a coinvolgere tutti i piani del parcheggio interrato, infatti ha coinvolto solamente i primi due;
2. le strutture circostanti fanno parte dei beni storici della città di Parigi. La stessa struttura dell'Hotel Ritz fu costruita nel XVIII secolo. Quindi la perdita di questi beni sarebbe stata irreversibile.



Figura 6. Foto dell'incendio del parcheggio interrato di Parigi

Incendio del parcheggio interrato del Sindika Market (Mosca) - 08/10/2017

L'incendio che coinvolse l'intero Sindika Market partì dal parcheggio interrato, dove alcune autovetture presero fuoco ed esplosero, avvolgendo nelle fiamme l'intera autorimessa. Si stima che circa 400 metri quadri della struttura siano crollati. L'intervento dei Vigili del Fuoco ha richiesto la presenza straordinaria degli elicotteri per domare le fiamme. Il pronto intervento delle squadre di soccorso ha permesso l'evacuazione di oltre 3000 persone, e non è stato registrato nessun morto. Purtroppo questo evento ha causato alcuni feriti gravi, principalmente ricoverati per intossicazione da fumi.



Figura 7. Foto dell'incendio del Sindika Market di Mosca

Incendio del parcheggio interrato di Villars-sur-Glane (Friburgo) - 15/05/2021

In questo caso parliamo di un incendio di un parcheggio interrato di un edificio di civile abitazione. Le fiamme sarebbero partite da un'automobile e l'allerta sarebbe giunta verso le 00.30. I Vigili del Fuoco sono riusciti a circoscrivere e domare le fiamme, e, dopo aver evacuato una trentina di persone e aver ventilato tutti i locali, hanno permesso l'ingresso nello stabile ai residenti. Non sono stati registrati morti o feriti gravi. Anche le auto danneggiate non sono state particolarmente numerose, i notiziari indicarono quattro veicoli incendiati e qualche altro danneggiato.

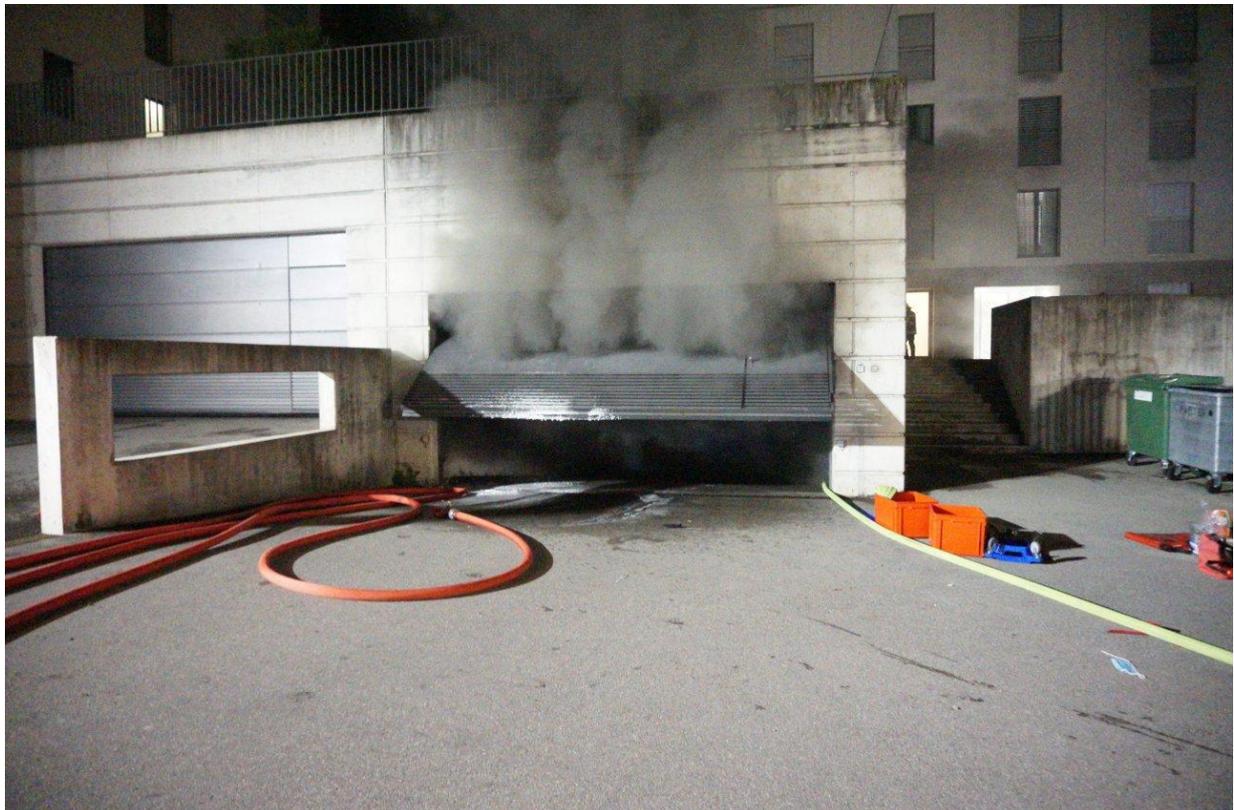


Figura 8. Foto dell'incendio del parcheggio interrato di Friburgo

Incendio del Douglas Village Shopping Centre (Cork) - 02/09/2019

L'incendio è partito anche in questo caso da un'autovettura, nel primo livello del parcheggio multipiano del Douglas Village Shopping Centre. Le fiamme si sarebbero propagate rapidamente coinvolgendo numerose automobili anche al secondo livello, recando danni ai componenti strutturali del fabbricato. Per domare l'incendio è stato necessario l'intervento di dodici mezzi antincendio, e alcuni Vigili del Fuoco sono rimasti gravemente feriti. L'ufficiale dei Vigili del Fuoco della città di Cork ha affermato che l'incendio ha raggiunto temperature comprese tra i 600 e i 1000 °C, causando così la deformazione plastica di alcune travi in acciaio.



Figura 9. Foto dell'incendio del parcheggio multipiano di Cork

Incendio del Parcheggio Blu di Grassobbio (Bergamo) - 15/06/2017

Questo evento è forse uno dei più gravosi avvenuti in territorio nazionale. L'incendio si pensava potesse essere stato causato da un cortocircuito alla batteria di un'autovettura, ma anni dopo si scoprì la sua natura dolosa. Le fiamme coinvolsero oltre 50 veicoli nella notte e ci vollero 3 ore e 3 squadre di Vigili del Fuoco per domarle. Fortunatamente non ci sono stati morti né feriti.



Figura 10. Foto dell'incendio del parcheggio di Grassobbio

5. IL CASO STUDIO: AUTORIMESSA INTERRATA DI UN EDIFICIO DI CIVILE ABITAZIONE

5.1 DESCRIZIONE DEL PROGETTO

Il caso studio analizzato consiste in un'autorimessa interrata di esclusiva pertinenza di un edificio di civile abitazione, situato all'angolo tra via Paolo Veronese e Via Ala di Stura, nella zona *Borgo Vittoria* di Torino. L'edificio di civile abitazione è costituito da 11 piani fuoriterra e, in riferimento alle indicazioni del Codice di Prevenzione Incendi, ha un'altezza antincendio pari a 31,3 m. Il fabbricato ha una forma particolare e altezze differenti in quanto è stato realizzato per lotti in periodi differenti. Dalla Figura 11 si può notare un ampio cortile interno, accessibile anche per le macchine, dove sono presenti le griglie di aerazione che permettono lo smaltimento dei fumi dai piani interrati. L'autorimessa invece si sviluppa su due piani interrati. Il primo piano interrato ha due rampe carrabili di accesso che si affacciano una su via Paolo Veronese e l'altra su Via Ala di Stura, mentre il secondo piano interrato è collegato al primo mediante 3 rampe carrabili.

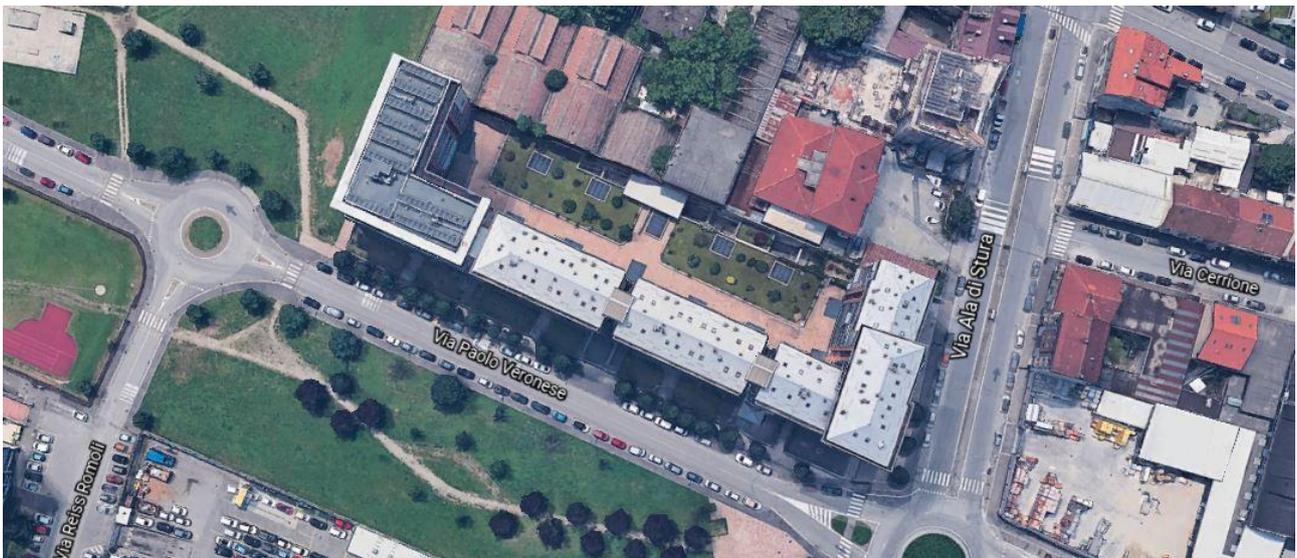


Figura 11. Vista aerea dell'edificio di civile abitazione

L'autorimessa, escludendo i locali cantinati e i locali tecnici, ha una superficie complessiva di quasi 7000 metri quadri, che comprendono esclusivamente le corsie di manovra, i box auto e le rampe carrabili. I piani interrati sono collegati ai piani fuori terra tramite 11 rampe di scale. Il primo piano interrato si trova a -3,00 m dal piano campagna, mentre il secondo piano interrato si trova a -6,00 m. A tutte le rampe di scale è associato un ascensore che dal secondo piano interrato arriva fino all'ultimo piano del fabbricato.

All'interno dell'autorimessa sono presenti 214 posti auto, 108 al secondo piano interrato e 106 nel primo. Di tutti i box auto presenti solo quattro sono doppi, ovvero con una superficie interna abbastanza grande da poter contenere due auto.

Il progetto consiste nell'adeguamento antincendio della sola autorimessa interrata. L'analisi che verrà presentata nei capitoli successivi, partirà con l'individuazione delle attività soggette ai

controlli da parte dei Vigili del Fuoco, per poi passare alla analisi delle misure antincendio secondo quanto riportato nel Codice di Prevenzione Incendi e nel D.M. 16 maggio 1987, relativo alle *"Norme di sicurezza antincendi per gli edifici di civile abitazione"*.

5.2 ATTIVITA' SOGGETTE E PRATICHE PRECEDENTI

Il D.P.R. n. 151 del 1 agosto 2011 regola la disciplina dei procedimenti relativi alla prevenzione degli incendi. Il documento è composto da 13 articoli più un allegato.

Gli articoli riportano indicazioni riguardanti:

1. Definizioni;
2. Finalità ed ambito di applicazione;
3. Valutazione dei progetti;
4. Controlli di prevenzione incendi;
5. Attestazione di rinnovo periodico di conformità antincendio;
6. Obblighi connessi con l'esercizio dell'attività;
7. Deroghe;
8. Nulla osta di fattibilità;
9. Verifiche in corso d'opera;
10. Raccordo con le procedure dello sportello unico per le attività produttive (SUAP);
11. Disposizioni transitorie e finali;
12. Abrogazioni;
13. Clausola di neutralità finanziaria.

Nell'allegato è riportato invece l'elenco di tutte le attività soggette ai controlli da parte dei Vigili del Fuoco, per ognuna delle quali viene indicata una classificazione. Tale classificazione viene indicata tramite tre indicatori: il primo valore identifica l'attività stessa (da 1 a 80); il secondo valore identifica la sottoclasse (da 1 a 3), e in questo caso bisogna fare attenzione perché non tutte le attività hanno tre sottoclassi disponibili, in quanto risultano essere in funzione del numero di categorie disponibili per quella specifica attività; infine la lettera finale indica la categoria di appartenenza (da A a C), che distingue le attività semplici da quelle mediamente complesse e complesse sulla base di opportune caratteristiche, che variano in funzione dell'attività stessa (per esempio: dimensione della superficie, numero di lavoratori specializzati, volumetria, peso dei materiali depositati, numero di persone presenti, ecc.).

Analizzando il decreto è quindi possibile individuare quali sono le attività soggette, considerando la totalità del fabbricato. Nel caso oggetto di studio sono presenti due attività soggette: l'autorimessa e l'edificio destinato ad uso civile.

Per essere più precisi l'autorimessa è un'attività classificata come 75/3/C, in quanto la superficie complessiva è superiore a 3000 m².

75	92	Autorimesse pubbliche e private, parcheggi pluriplano e meccanizzati di superficie complessiva coperta superiore a 300 m ² ; locali adibiti al ricovero di natanti ed aeromobili di superficie superiore a 500 m ² ; depositi di mezzi rotabili (treni, tram ecc.) di superficie coperta superiore a 1.000 m ² .	Autorimesse fino a 1.000 m ²	Autorimesse oltre 1.000 m ² e fino a 3.000 m ² ; ricovero di natanti ed aeromobili oltre 500 m ² e fino a 1000 m ²	Autorimesse oltre 3000 m ² ; ricovero di natanti ed aeromobili di superficie oltre i 1000 m ² ; depositi di mezzi rotabili
----	----	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Figura 12. Attività soggetta n. 75 da D.P.R.151/2011

Ricadendo nella tipologia C, deve essere definita come attività complessa, che sarà sicuramente sottoposta ai controlli dettagliati da parte dei Vigili del Fuoco.

L'edificio di civile abitazione è invece un'attività classificata 77/1/A, in quanto ha altezza antincendio superiore a 24 metri ma inferiore a 32. Di conseguenza risulta essere un'attività semplice, che subirà possibili controlli a campione.

77	94	Edifici destinati ad uso civile con altezza antincendio superiore a 24 m	fino a 32 m	oltre 32 m e fino a 54 m	oltre 54 m
----	----	--------------------------------------------------------------------------	-------------	--------------------------	------------

Figura 13. Attività soggetta n. 77 da D.P.R. 151/2011

Essendo quindi un'attività soggetta, il fabbricato con destinazione civile verrà analizzato con l'unica normativa italiana in vigore che regola la prevenzione e la sicurezza antincendio, ovvero il D.M. 16 maggio 1987, in quanto la nuova regola tecnica verticale per gli edifici di civile abitazione risulta essere ancora in fase di elaborazione e di conseguenza è disponibile solamente una prima bozza non ufficiale.

Quando verrà pubblicata la suddetta regola tecnica sarà necessario verificare il rispetto di tutti i requisiti imposti (o eventualmente effettuare l'analisi con il metodo prestazionale per garantirne la conformità).

Per quanto riguarda l'aspetto amministrativo il condominio purtroppo non possiede una ricca storia di pratiche precedenti. Nel 03 ottobre 2005 è stata presentata una pratica al Comando Provinciale dei Vigili del Fuoco, chiedendo l'esame del progetto al fine di ottenere il parere di conformità antincendio per tutto l'edificio residenziale, che presentava tre attività soggette, in quanto faceva riferimento al vecchio D.M. 16/02/1982. Queste attività erano:

1. Attività 92.3 - Autorimessa con capacità di parcheggio tra 50 e 300 autoveicoli;
2. Attività 94.2 - Edifici destinati a civile abitazione con altezza in gronda superiore a 24 metri (tipo C);
3. Attività 95.2 - Vani di ascensori e montacarichi in servizio privato, aventi corsa sopra il piano terreno maggiore di 20 metri, installati in edifici civili aventi altezza in gronda maggiore di 24 metri.

La risposta da parte del Comando dei Vigili del Fuoco arrivò in data 29 dicembre 2005, con il quale non si comunicava un esito positivo, in quanto il geometra al quale era stata affidata tale pratica avanzò una richiesta di documentazione integrativa. Evidentemente il progetto presentato nel 2005 non risultava contenere la verifica a tutti i requisiti normativi.

Da questo punto in poi non sono state presentate ulteriori richieste per ottenere la conformità antincendio, quindi il presente progetto ha l'obiettivo di rispondere alle nuove prescrizioni

normative, nell'ottica di richiedere la valutazione del progetto sulla base del Codice di Prevenzione Incendi e delle altre normative citate precedentemente.

5.3 D.M. 16 MAGGIO 1987 E D.M. 25 GENNAIO 2019

Per quanto riguarda le caratteristiche di assoggettabilità ai controlli per gli edifici di civile abitazione il D.M. 16/05/1987 fa riferimento al D.M. 06 febbraio 1982, che definiva come attività soggette tutti gli edifici destinati a civile abitazione con altezza in gronda superiore a 24 metri. La definizione di altezza in gronda viene fornita al punto 2.b) della circolare n.25 del 02/06/1982, in cui viene descritta come *"l'altezza massima misurata dal piano esterno accessibile ai mezzi di soccorso dei vigili del fuoco all'intradosso del soffitto del più elevato locale abitabile"*. Il decreto del 1987 è stato aggiornato poi con il D.M. 25/01/2019, *"Modifiche ed integrazioni all'allegato del decreto 16 maggio 1987, n. 246 concernente norme di sicurezza antincendi per gli edifici di civile abitazione"*, in modo tale da uniformare determinati concetti con Il D.P.R. n. 151 del 1 agosto 2011.

Nel primo capitolo del decreto sono riportate le generalità, ovvero lo scopo e il campo di applicazione.

Nel secondo capitolo sono indicate tutte le caratteristiche costruttive. La prima parte è relativa alla classificazione dell'edificio che si sta analizzando secondo la tabella A riportata di seguito. Nel presente studio l'edificio di civile abitazione si divide in due parti, di cui una classificata con tipologia "b" e l'altra con tipologia "c".

TABELLA A					
Tipo di edificio	Altezza Antincendi ⁽¹⁰⁾	Massima superficie del compartimento (m ²)	Massima superficie (m ²) di competenza di ogni scala per piano	Tipo di vani scala e di almeno un vano ascensore	Caratteristiche "REI" dei vani scala e ascensore, filtri, porte, elementi di suddivisione tra i compartimenti
a ⁽¹¹⁾	da 12 m a 24 m	8000	500	Nessuna prescrizione	60 (**)
			500	Almeno protetto se non sono osservati i requisiti del punto 2.2.1.	60
			550	Almeno a prova di fumo interno	60
			600	A prova di fumo	60
b	da oltre 24 m a 32 m	6000	500	Nessuna prescrizione	60 (**)
			500	Almeno a prova di fumo interno se non sono osservati i requisiti del punto 2.2.1.	60
			550	Almeno a prova di fumo interno	60
			600	A prova di fumo	60
c	da oltre 32 m a 54 m	5000	500	Almeno a prova di fumo interno	90
d	da oltre 54 m a 80 m	4000	500	Almeno a prova di fumo interno con filtro avente camino di ventilazione di sezione non inferiore 0,36 m ²	90
e	oltre 80 m	2000	350 (*)	Almeno a prova di fumo interno con filtro avente camino di ventilazione di sezione non inferiore a 0,36 m ²	120

Tabella 1. Classificazione tipologie edifici secondo il D.M. 16/05/1987

La parte di struttura che rientra nella classe c è quella in cui è presente l'11° piano, e che supera quindi i 32 metri di altezza antincendio. In tutta la struttura è rispettata la massima superficie del compartimento, considerando un compartimento per ogni piano si ottengono circa 2300 m² per la parte di classe b e circa 267 m² per la parte di classe c. Anche il criterio di massima superficie di competenza di ogni scala per piano viene ampiamente dimostrato, calcolando tale superficie con il rapporto tra la superficie lorda del comparto e il numero delle rampe di scale presenti. I risultati ottenuti sono di 256 m² per la parte di tipo b e 134 m² per la parte di tipo c.

Come riportato in tabella i vani scala e il vano ascensore devono possedere le seguenti caratteristiche:

- non viene indicata nessuna prescrizione per la parte di tipo b;
- devono essere almeno a prova di fumo per la parte di tipo c.

Per rispondere a tale prescrizione per la parte di struttura di tipologia c, in cui ricadono due rampe di scale, sono stati predisposti i suddetti filtri a prova di fumo sia per gli accessi dai locali cantinati che per gli accessi dalle corsie di manovra. Dove possibile, al primo piano interrato, sono stati realizzati tramite delle griglie di aerazione su cielo aperto; dove invece questo non era possibile sono stati predisposti degli impianti di sovrappressione, che garantendo una pressione maggiore all'interno del vano scala non permettono ai fumi di entrare.

Per quanto riguarda le caratteristiche REI dei vani scala e ascensore, delle porte, dei filtri e degli elementi di separazione tra i compartimenti viene indicata la misura REI 60 per la parte di tipo b e REI 90 per la parte di tipo c. Nel progetto però sono stati predisposti tutti muri REI 90 per rispondere alle prescrizioni del Codice di Prevenzione Incendi, come verrà analizzato nel capitolo successivo. Le uniche partizioni progettate come REI 60 sono quelle dei disimpegni che collegano i locali cantinati con l'autorimessa nella parte di struttura di tipo b.

Nel secondo capitolo vengono analizzate le caratteristiche del comportamento al fuoco. La prima caratteristica analizzata è quella della resistenza al fuoco delle strutture. Facendo riferimento al D.M. 09/03/2007 si considera un valore del carico d'incendio specifico medio pari a 780 MJ/m², che ci conduce al requisito di resistenza almeno REI 30, in quanto inferiore a 900 MJ/m². La seconda caratteristica è quella di reazione al fuoco dei materiali, che rimanda al D.M. 26/06/1984, in cui viene sottolineata l'importanza di richiedere la certificazione di prova dei materiali tramite invio della documentazione necessaria al Centro Studi ed Esperienze del Ministero dell'Interno (C.S.E.) o a laboratori legalmente riconosciuti.

Nel terzo capitolo vengono trattati i concetti relativi alla scelta dell'area. Il primo argomento trattato è quello dell'accesso all'area, che deve avere i seguenti requisiti minimi:

- larghezza: 3,50 m;
- altezza libera: 4,00 m;
- raggio di volta: 13,00 m;
- pendenza: non superiore al 10%;

- resistenza al carico: almeno 20 tonnellate (8 sull'asse anteriore e 12 sull'asse posteriore; passo 4,00 m).

Al secondo punto si parla dell'accostamento delle autoscale dei Vigili del Fuoco e si impone, per gli edifici di tipo "a" e "b", di garantire la possibilità di accostamento almeno ad una qualsiasi finestra o balcone di ogni piano. Nel presente progetto questo requisito è ampiamente soddisfatto in quanto sia su Via Paolo Veronese sia su Via Ala di Stura si ha la possibilità di raggiungere tutti i piani dalla via pubblica.

Nel terzo capitolo si tratta la compartimentazione, ma si rimanda semplicemente alla tabella A, analizzata precedentemente, in cui tale requisito viene pienamente espresso in modo chiaro.

Nel quarto capitolo si parla delle scale. Per gli edifici di tipo "a", "b" e "c" viene imposta una larghezza minima pari a 1,05 m. Le rampe devono essere preferibilmente rettilinee, e nel caso in cui non lo fossero devono essere presenti pianerottoli di riposo e la pedata del gradino deve essere almeno 30 cm misurata a 40 cm dal montante centrale o dal parapetto interno. Nel presente progetto le rampe delle scale non sono mai completamente rettilinee ma tutte hanno il pianerottolo di riposo e la pedata risponde ai requisiti imposti. Viene inoltre richiesto un altro requisito, ovvero che ogni vano scala abbia una superficie netta di aerazione permanente in sommità non inferiore ad 1 m². Anche in questo caso il requisito viene dimostrato in quanto per ogni rampa sono presenti due aperture sulla copertura di dimensioni pari a 90x130 cm.

Il quinto capitolo si occupa invece degli ascensori, il cui vano corsa deve possedere le caratteristiche di resistenza al fuoco indicate nella tabella A. Per quanto riguarda le aperture sono ammesse le seguenti soluzioni:

- accessi alle porte di piano;
- aperture permanenti consentite dalle specifiche normative fra il vano corsa e il locale macchine e/o delle pulegge di rinvio;
- portelli d'ispezione e/o portate di soccorso con le stesse caratteristiche di resistenza al fuoco del vano corsa;
- aperture di aerazione e di scarico dei prodotti di combustione come di seguito indicato.

Il vano corsa deve avere superficie netta di aerazione permanente in sommità non inferiore al 3% dell'aera della sezione orizzontale del vano stesso, e comunque non inferiore a 0,20 m². Tale aerazione può essere ottenuta anche tramite camini, purché realizzati con elementi di resistenza al fuoco equivalente a quella del vano corsa. Per verificare la presenza di tali aperture sarà necessario effettuare una visita di controllo. Viene poi dedicato un punto anche al locale macchine, in cui si indica che deve essere separato dagli altri ambienti dell'edificio con strutture di resistenza al fuoco equivalente a quella del vano corsa, che l'accesso deve avere le stesse caratteristiche del vano corsa e che deve avere una superficie netta di aerazione permanente non inferiore al 3% della superficie del pavimento, con un minimo di 0,5 m². Nel caso oggetto di studio non sono presenti locali macchine.

Il sesto capitolo tratta le comunicazioni. Per le comunicazioni con le aree a rischio specifico devono applicarsi le disposizioni emanate con le relative normative. Sono consentite le comunicazioni tra scale, ascensori e locali cantinati pertinenti le abitazioni dell'edificio secondo le indicazioni riportate nella seguente tabella.

TABELLA B

Tipo di edificio	Tipo di comunicazione
a	Diretta
b	Tramite disimpegno con pareti REI 60 e porte REI 60
c	Tramite filtro a prova di fumo con pareti REI 60 e porte REI 60
d, e	Accesso diretto esclusivamente da spazio scoperto

Tabella 2. Tipologie di comunicazioni

Quindi, come già detto precedentemente, per le rampe di scale presenti nella parte di tipo "b" sarà necessario realizzare un disimpegno tra le scale e i locali cantinati con caratteristiche di resistenza al fuoco almeno REI 60, mentre per le rampe presenti nella parte di tipo "c" risulta essere necessaria la presenza di una filtro a prova di fumo con caratteristiche di resistenza al fuoco almeno REI 60, ma che sono state previste REI 90 per quanto indicato nella tabella A.

Nel settimo ed ultimo capitolo delle caratteristiche costruttive si parla di scale, androni e passaggi comuni in termini di reazione al fuoco dei materiali. Questi locali devono essere realizzati con materiali di classe 0. Solo per la parte di tipo "b" viene indicata la possibilità di utilizzo di materiali di rivestimento di classe 1.

Gli ultimi capitoli sono dedicate alle diverse tipologie impiantistiche. L'impianto di produzione di calore non può essere installato entro il volume degli edifici di impianti a gas con densità rispetto all'aria maggiore o uguale a 0,8, come riportato nella seguente tabella.

TABELLA C

TIPO DI COMBUSTIBILE

Tipo di edificio	Liquido o solido	Gas con densità rispetto all'aria < 0,8	Gas con densità rispetto all'aria ≥ 0,8
a	△	△	▲
b	△	△	●
c	△	△	●
d	●	■	●
e	●	■	●

- = divieto di installazione entro il volume degli edifici
- = divieto di installazione entro il volume degli edifici ma ammesso sul terrazzo più elevato
- ▲ = divieto di installazione nei piani interrati
- △ = ammesso entro il volume degli edifici

Tabella 3. Tipologie di combustibili

Per quanto riguarda gli impianti elettrici, questi devono essere realizzati in conformità della legge 1 marzo 1968, n. 186. Per la parte di tipo "b" non sono indicate prescrizioni, mentre per la parte di tipo "c" deve essere installato un sistema di illuminazione di sicurezza con alimentazione autonoma, centralizzata o localizzata, che garantisca un'affidabile illuminazione e segnalazione delle vie di esodo e che consenta quindi un'ordinato sfollamento.

Per l'impiego di gas combustibili sono ammessi attraversamenti di locali purché le tubazioni siano poste in guaina metallica aperta alle due estremità comunicante con l'esterno e di diametro superiore di almeno 2 cm rispetto al diametro della tubazione interna.

Vengono fornite anche alcune specifiche per gli impianti antincendi. In particolare viene imposta la predisposizione di una colonna montante in ogni vano scala, da cui deve essere derivato per ogni piano almeno un idrante con attacco 45 UNI 804. Inoltre al piede di ogni colonna montante deve essere installato un idoneo attacco di mandata per autopompa.

Nella parte finale del decreto è dedicato alla gestione della sicurezza antincendio, in cui vengono attribuiti i livelli di prestazione in funzione della tipologia di edificio.

- L.P. 0	→ per edifici di tipo a)	(altezza antincendi da 12 m a 24 m);
- L.P. 1	→ per edifici di tipo b) e c)	(altezza antincendi oltre 24 m <i>fino a 54 m</i>);
- L.P. 2	→ per edifici di tipo d)	(altezza antincendi oltre 54 m fino a 80);
- L.P. 3	→ per edifici di tipo e)	(altezza antincendi oltre 80 m);

Tabella 4. Livelli di prestazione secondo il D.M. 16/05/1987

Il presente edificio viene classificato con livello di prestazione (L.P.) 1, per il quale vengono fornite le seguenti indicazioni.

Il responsabile dell'attività organizza la GSA attraverso:

- predisposizione e verifica periodica della pianificazione d'emergenza;
- informazione agli occupanti su procedure di emergenza da adottare in caso d'incendio e sulle misure antincendio preventive che essi devono osservare;
- mantenimento in efficienza dei sistemi, dispositivi, attrezzature e delle altre misure antincendio adottate, effettuando verifiche di controllo ed interventi di manutenzione, riportando gli esiti in un registro dei controlli;
- esposizione di foglio informativo e cartellonistica riportante divieti e precauzioni da osservare, numeri telefonici per l'attivazione dei servizi di emergenza, nonché riportante istruzioni per garantire l'esodo in caso d'incendio;
- verifica, per le aree comuni, dell'osservanza dei divieti, delle limitazioni e delle condizioni normali di esercizio;
- adozione delle misure antincendio preventive.

Gli occupanti, in condizioni ordinarie, osservano le disposizioni della GSA, in particolare:

- osservano le misure antincendio preventive, predisposte dal Responsabile dell'attività;

- non alterano la fruibilità delle vie di esodo e l'efficacia delle misure di protezione attiva e passiva;

In condizioni d'emergenza, attuano quanto previsto nella pianificazione di emergenza, in particolare:

- attuano le procedure di allarme e comunicazioni;
- attuano l'evacuazione secondo le procedure della pianificazione di emergenza.

Le misure antincendio preventive consistono in:

- corretto deposito ed impiego dei materiali combustibili, delle sostanze infiammabili liquide e gassose;
- mantenimento della disponibilità di vie di esodo sgombre e sicuramente fruibili;
- corretta chiusura delle porte tagliafuoco nei varchi tra compartimenti;
- riduzione delle sorgenti di innesco (es. limitazioni nell'uso di fiamme libere senza le opportune precauzioni, divieto di fumo in aree ove sia vietato, divieto di impiego di apparecchiature elettriche malfunzionanti o impropriamente impiegate);
- gestione dei lavori di manutenzione, e valutazione delle sorgenti di rischio aggiuntive, in particolare: operazioni pericolose, temporanea disattivazione impianti di sicurezza, temporanea sospensione della continuità di compartimentazione, impiego delle sostanze o miscele pericolose;
- valutazione dei rischi di incendio in caso di modifiche alle strutture, alle finiture, al rivestimento delle facciate, all'isolamento termico e acustico e agli impianti;

La pianificazione dell'emergenza può essere limitata all'informazione agli occupanti sui comportamenti da tenere. Tali informazioni potranno essere trasmesse anche semplicemente con avvisi in bacheca, ove presente, o secondo le modalità ritenute più opportune. Essa deve riguardare:

- istruzioni per la chiamata di soccorso e le informazioni da fornire per consentire un efficace soccorso;
- informazioni da fornire alle squadre di soccorso intervenute sul posto;
- azioni da effettuarsi per la messa in sicurezza di apparecchiature ed impianti;
- istruzioni per l'esodo degli occupanti, anche in relazione alla presenza di persone con limitate capacità motorie, ove presenti;
- divieto di utilizzo degli ascensori per l'evacuazione in caso d'incendio, ad eccezione degli eventuali ascensori antincendio da utilizzare con le modalità di cui al D.M. 15 settembre 2005;
- ove presente l'impianto di rivelazione automatica o manuale dell'incendio, dovranno essere previste apposite istruzioni di impiego e attivazione dell'allarme.

5.4 CODICE DI PREVENZIONE INCENDI - D.M. 03/08/2015

Il Codice di Prevenzione Incendi è sicuramente il regolamento principe della sicurezza antincendio in Italia. Per le autorimesse è presente una regola tecnica verticale (V.6) che deve essere osservata in parallelo alle regole tecniche orizzontali.

5.4.1 CLASSIFICAZIONE

La progettazione è partita proprio dal capitolo V.6 effettuando una classificazione dell'attività. Le autorimesse vengono classificate sulla base di tre criteri:

1. in relazione alle caratteristiche prevalenti degli occupanti. Quindi risulta subito necessario saltare al capitolo G.3, in cui vengono determinati i profili di rischio, per ottenere il coefficiente δ_{occ} dalla seguente tabella

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

[1] Quando nel presente documento si usa C la relativa indicazione è valida per Ci, Cii, Ciii

Tabella 5. Caratteristiche prevalenti degli occupanti

Le autorimesse private hanno sempre un δ_{occ} pari ad A in quanto si ipotizza che gli occupanti siano sempre in stato di veglia ed abbiano familiarità con la struttura.

Sulla base di questo l'autorimessa viene classificata come SA.

2. in relazione alla superficie lorda, considerando la definizione fornita dal Codice: "*superficie dell'autorimessa al netto delle pertinenze compartimentate*". Considerando la somma della superficie lorda dei due piani interrati si ottiene un valore pari a 6892 m², quindi l'autorimessa viene classificata come AC, ovvero con superficie lorda compresa tra 5000 e 10000 m².
3. in relazione alla quota di tutti i piani, dove la quota dei piani viene definita come "*dislivello tra il piano ed il relativo piano di riferimento del compartimento cui appartiene*". Il secondo piano interrato dell'autorimessa si trova a -6,0 m dal piano di campagna quindi l'attività può essere classificata come HB. In teoria la classe HB sarebbe riservata per quelle autorimesse con quota di tutti i piani compresa tra i -5 e i 12 metri, ma il Codice permette, per le autorimesse con al massimo 2 piani interrati, di estendere la soglia inferiore a -6 m.

Terminata la classificazione è fondamentale individuare tutte le diverse aree presenti all'interno della struttura. Nell'autorimessa sono presenti tre tipologie di aree:

- TA: aree destinate al ricovero, alla sosta ed alla manovra di veicoli;
- TM1: depositi di materiale combustibile, con esclusione di sostanze o miscele pericolose, con carico di incendio specifico $q_f \leq 300 \text{ MJ/m}^2$ e superficie lorda $\leq 25 \text{ m}^2$ (ad esempio aree o locali destinati a cantine di civili abitazioni);
- TT: locali tecnici rilevanti ai fini della sicurezza antincendio.

5.4.2 VALUTAZIONE DEL RISCHIO

A questo punto si procede con la valutazione del rischio, passando dalla sezione V alla sezione G. Questa valutazione viene fatta individuando i tre profili di rischio:

- R_{vita} : profilo di rischio relativo alla salvaguardia della vita umana;
- R_{beni} : profilo di rischio relativo alla salvaguardia dei beni economici;
- $R_{ambiente}$: profilo di rischio relativo alla tutela dell'ambiente.

Il profilo R_{vita} deve essere attribuito ad ogni compartimento mentre i profili R_{beni} ed $R_{ambiente}$ devono essere attribuiti all'intera attività.

Il profilo R_{vita} viene definito sulla base delle caratteristiche prevalenti degli occupanti δ_{occ} e della velocità caratteristica prevalente di crescita dell'incendio δ_a . Avendo già definito il δ_{occ} , rimane da individuare il valore di δ_a . Anche in questo caso il Codice fornisce una tabella.

δ_a	t_a [1]	Criteri
1	600 s lenta	Ambiti di attività con carico di incendio specifico $q_f \leq 200 \text{ MJ/m}^2$, oppure ove siano presenti prevalentemente materiali o altri combustibili che contribuiscono in modo trascurabile all'incendio.
2	300 s media	Ambiti di attività ove siano presenti prevalentemente materiali o altri combustibili che contribuiscono in modo moderato all'incendio.
3	150 s rapida	Ambiti con presenza di significative quantità di materiali plastici impilati, prodotti tessili sintetici, apparecchiature elettriche e elettroniche, materiali combustibili non classificati per reazione al fuoco (capitolo S.1). Ambiti ove avvenga impilamento verticale di significative quantità di materiali combustibili con $3,0 \text{ m} < h \leq 5,0 \text{ m}$ [2]. Stoccaggi classificati HHS3 oppure attività classificate HHP1, secondo la norma UNI EN 12845. Ambiti con impianti tecnologici o di processo che impiegano significative quantità di materiali combustibili. Ambiti con contemporanea presenza di materiali combustibili e lavorazioni pericolose ai fini dell'incendio.
4	75 s ultra- rapida	Ambiti ove avvenga impilamento verticale di significative quantità di materiali combustibili con $h > 5,0 \text{ m}$ [2]. Stoccaggi classificati HHS4 oppure attività classificate HHP2, HHP3 o HHP4, secondo la norma UNI EN 12845. Ambiti ove siano presenti o in lavorazione significative quantità di sostanze o miscele pericolose ai fini dell'incendio, oppure materiali plastici cellulari/espansi o schiume combustibili non classificati per la reazione al fuoco.
<p>A meno di valutazioni più approfondite da parte del progettista (es. dati di letteratura, misure dirette, ...), si ritengono <i>non significative</i> ai fini della presente classificazione almeno le quantità di materiali nei compartimenti con carico di incendio specifico $q_f \leq 200 \text{ MJ/m}^2$.</p> <p>[1] Velocità caratteristica prevalente di crescita dell'incendio. [2] Con h altezza d'impilamento.</p>		

Tabella 6. Velocità caratteristica prevalente di crescita dell'incendio

Il valore di δ_a è pari a 2, in quanto ha un valore del carico d'incendio specifico superiore a 200 MJ/m², ma non possiede i requisiti per stimare una velocità di crescita dell'incendio rapida o ultra-rapida.

In conclusione si può quindi affermare che l'autorimessa abbia un profilo di rischio R_{vita} uguale a A2.

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

[1] Per raggiungere un valore ammesso, δ_a può essere ridotto di un livello come specificato nel comma 3 del paragrafo G.3.2.1.

[2] Quando nel presente documento si usa il valore C1 la relativa indicazione è valida per Ci1, Cii1 e Ciii1. Se si usa C2 l'indicazione è valida per Ci2, Cii2 e Ciii2. Se si usa C3 l'indicazione è valida per Ci3, Cii3 e Ciii3.

Tabella 7. Definizione profilo di rischio R_{vita}

Questo risultato viene anche espressamente consigliato dallo stesso Codice nella tabella in cui riporta dei valori prefissati del profilo di rischio per specifiche attività.

Tipologie di destinazione d'uso	R_{vita}
Palestra scolastica	A1
Autorimessa privata	A2
Ufficio non aperto al pubblico, sala mensa, aula scolastica, sala riunioni aziendale, archivio, deposito librario, centro sportivo privato	A2-A3
Attività commerciale non aperta al pubblico (es. all'ingrosso, ...)	A2-A4
Laboratorio scolastico, sala server	A3
Attività produttive, attività artigianali, impianti di processo, laboratorio di ricerca, magazzino, officina meccanica	A1-A4
Depositi sostanze o miscele pericolose	A4
Galleria d'arte, sala d'attesa, ristorante, studio medico, ambulatorio medico	B1-B2
Autorimessa pubblica	B2
Ufficio aperto al pubblico, centro sportivo pubblico, sala conferenze aperta al pubblico, discoteca, museo, teatro, cinema, locale di trattenimento, area lettura di biblioteca, attività espositiva, autosalone	B2-B3
Attività commerciale aperta al pubblico (es. al dettaglio, ...)	B2-B4 [1]
Civile abitazione	Ci2-Ci3
Dormitorio, residence, studentato, residenza per persone autosufficienti	Cii2-Cii3
Camera d'albergo	Ciii2-Ciii3
Degenza ospedaliera, terapia intensiva, sala operatoria, residenza per persone non autosufficienti e con assistenza sanitaria	D2
Stazione ferroviaria, aeroporto, stazione metropolitana	E2

[1] Per raggiungere un valore ammesso fra quelli indicati alla tabella G.3-3, δ_a può essere ridotto di un livello come specificato nel comma 3 del paragrafo G.3.2.1.

Tabella 8. Esempi pratici di profili di rischio R_{vita}

Il profilo di rischio R_{beni} viene attribuito in funzione del carattere strategico dell'intera attività o degli ambiti che costituiscono l'attività, e dell'eventuale valore storico, culturale, architettonico o artistico delle stesse e dei beni in esse contenuti. Anche in questo caso il Codice fornisce una tabella che guida il progettista nella determinazione del profilo di rischio.

		Attività o ambito vincolato	
		No	Sì
Attività o ambito strategico	No	$R_{beni} = 1$	$R_{beni} = 2$
	Sì	$R_{beni} = 3$	$R_{beni} = 4$

Tabella 9. Determinazione profilo di rischio R_{beni}

L'autorimessa non risulta essere un'attività né vincolata né strategica.

La valutazione del profilo di rischio $R_{ambiente}$ deve tenere conto dell'ubicazione dell'attività, della tipologia e della quantità di materiali combustibili presenti, dei prodotti della combustione da questi sviluppati in caso d'incendio e delle misure di prevenzione e protezione antincendio adottate. Questo profilo di rischio, se non diversamente indicato nel Codice o determinato in esito a specifica valutazione dello stesso, è ritenuto non significativo sia negli ambiti protetti da impianti o sistemi automatici di completa estinzione dell'incendio, sia nelle attività civili. Nella presente progettazione non si ritiene che l'attività possa rappresentare un rischio importante per l'ambiente quindi si ritiene non significativo.

5.4.3 STRATEGIA ANTINCENDIO

La progettazione delle misure di strategia antincendio deve essere effettuata osservando prima la RTV specifica delle autorimesse e poi completando la valutazione tramite le RTO. Nel capitolo V.6 sono presenti due strategie antincendio in meno rispetto alla sezione S; le due strategie mancanti sono "Rivelazione ed allarme" e "Operatività antincendio". Procediamo adesso con l'analisi, valutando una ad una ogni strategia antincendio del Codice di Prevenzione Incendi.

REAZIONE AL FUOCO

Per la seguente misura antincendio la RTV non ammette per le aree TA il livello di prestazione I ad eccezione delle pavimentazioni. Nella sezione S invece vengono riportati i criteri di attribuzione dei livelli di prestazione e le soluzioni conformi ed alternative. Di seguito sono riportate le tabelle in cui sono illustrati i criteri di attribuzione, che per questa strategia si dividono per le vie di esodo e gli altri locali dell'attività.

Livello di prestazione	Criteri di attribuzione
I	Vie d'esodo [1] non ricomprese negli altri criteri di attribuzione.
II	Vie d'esodo [1] dei compartimenti con profilo di rischio R_{vita} in B1.
III	Vie d'esodo [1] dei compartimenti con profilo di rischio R_{vita} in B2, B3, Cii1, Cii2, Cii3, Ciii1, Ciii2, Ciii3, E1, E2, E3.
IV	Vie d'esodo [1] dei compartimenti con profilo di rischio R_{vita} in D1, D2.
[1] Limitatamente a vie d'esodo verticali, percorsi d'esodo (corridoi, atri, filtri, ...) e spazi calmi.	

Tabella 10. Criteri di attribuzione dei livelli di prestazione alle vie d'esodo dell'attività

Livello di prestazione	Criteri di attribuzione
I	Locali non ricompresi negli altri criteri di attribuzione.
II	Locali di compartimenti con profilo di rischio R_{vita} in B2, B3, Cii1, Cii2, Cii3, Ciii1, Ciii2, Ciii3, E1, E2, E3.
III	Locali di compartimenti con profilo di rischio R_{vita} in D1, D2.
IV	Su specifica richiesta del committente, previsti da capitolati tecnici di progetto, richiesti dalla autorità competente per costruzioni destinate ad attività di particolare importanza.

Tabella 11. Criteri di attribuzione dei livelli di prestazione ad altri locali dell'attività

Essendo i criteri di attribuzione in funzione del solo profilo di rischio R_{vita} , si ricade in entrambi i casi nel livello di prestazione I, ma ricordando che questo livello non è ammesso per le aree TA, per queste si è considerato il livello di prestazione II.

Livello di prestazione	Descrizione
I	Il contributo all'incendio dei materiali non è valutato
II	I materiali contribuiscono in modo significativo all'incendio
III	I materiali contribuiscono in modo moderato all'incendio
IV	I materiali contribuiscono in modo quasi trascurabile all'incendio
Per contributo all'incendio si intende l'energia rilasciata dai materiali che influenza la crescita e lo sviluppo dell'incendio in condizioni pre e post incendio generalizzato (flashover) secondo EN 13501-1.	

Tabella 12. Livelli di prestazione S.1

Indipendentemente dalle soluzioni conformi adottate per i rivestimenti, sono comunque ammessi materiali compresi nel gruppo di materiali GM4, per una superficie $\leq 5\%$ della superficie lorda interna delle vie di esodo o dei locali dell'attività. Per quanto riguarda invece l'area di manovra TA, per il quale è previsto un livello di prestazione II, il Codice ammette l'impiego di materiali compresi del gruppo GM3.

Nel Codice sono presenti alcune tabelle esemplificative per facilitare l'individuazione dei corretti materiali ammessi, altrimenti si può fare riferimento direttamente sulla normativa specifica, D.M. 26/06/1984, "Classificazione di reazione al fuoco ed omologazione dei materiali ai fini della prevenzione incendi", dove i materiali sono classificati con una scala numerica, da 0 (non combustibilità) a 5. Nel Codice è ovviamente presente, nelle tabelle sopra citate, anche tale classificazione.

RESISTENZA AL FUOCO

La finalità della resistenza al fuoco è quella di garantire la capacità portante delle strutture in condizioni di incendio nonché la capacità di compartimentazione, per un tempo minimo necessario al raggiungimento degli obiettivi di sicurezza di prevenzione incendi.

La RTV fornisce in questo caso una tabella che accompagna il progettista nella definizione della classe minima di resistenza al fuoco. Questa tabella fornisce la classe in funzione della tipologia di autorimessa e della sua classificazione.

Autorimessa	Autorimessa SA; SB	
	Aperta	Chiusa
HA	30 [1]	60 [2]
HB	60	60 [2]
HC	60	90
HD	60	90

[1] Classe 60 in caso di altezza antincendi dell'opera da costruzione di cui fa parte l'autorimessa > 24 m
[2] Classe 90 in caso di altezza antincendi dell'opera da costruzione di cui fa parte l'autorimessa > 24 m

Tabella 13. Determinazione classe di resistenza al fuoco secondo la RTV

Questa tabella può essere utilizzata solamente per le autorimesse isolate, ovvero per autorimesse situate in opere da costruzione esclusivamente destinate a tale uso ed eventualmente adiacenti ad opere da costruzione destinate ad altri usi, strutturalmente e funzionalmente separate da queste. Inoltre è da verificare se l'autorimessa sia aperta o chiusa. Un'autorimessa viene definita aperta se munita di aperture SEa (ovvero perennemente aperte) di superficie utile non inferiore al 15% della superficie lorda del compartimento, distribuite secondo le prescrizioni fornite dal Codice. Questa autorimessa non rispetta tale requisito quindi si tratta di un'autorimessa chiusa e di conseguenza la classe di resistenza al fuoco da rispettare è REI 90, in quanto l'altezza antincendio è superiore di 24 metri.

Osservando la RTO e la tabella dei criteri di attribuzione, il livello di prestazione corrispondente alle caratteristiche dell'attività è il II, in quanto la quota dei piani rientra nei -6 m di quota.

Livello di prestazione	Criteri di attribuzione
I	Opere da costruzione, comprensive di eventuali manufatti di servizio adiacenti nonché dei relativi impianti tecnologici di servizio, dove sono verificate <i>tutte</i> le seguenti condizioni: <ul style="list-style-type: none"> • compartimentate rispetto ad altre opere da costruzione eventualmente adiacenti e strutturalmente separate da esse e tali che l'eventuale cedimento strutturale non arrechi danni ad altre opere da costruzione o all'esterno del confine dell'area su cui sorge l'attività medesima; • adibite ad attività afferenti ad un solo <i>responsabile dell'attività</i> e con profilo di rischio R_{beni} pari ad 1; • non adibite ad attività che comportino presenza di occupanti, ad esclusione di quella occasionale e di breve durata di personale addetto.
II	Opere da costruzione o porzioni di opere da costruzione, comprensive di eventuali manufatti di servizio adiacenti nonché dei relativi impianti tecnologici di servizio, dove sono verificate <i>tutte</i> le seguenti condizioni: <ul style="list-style-type: none"> • compartimentate rispetto ad altre opere da costruzione eventualmente adiacenti; • strutturalmente separate da altre opere da costruzione e tali che l'eventuale cedimento strutturale non arrechi danni alle stesse o all'esterno del confine dell'area su cui sorge l'attività medesima; oppure, in caso di assenza di separazione strutturale, tali che l'eventuale cedimento della porzione non arrechi danni al resto dell'opera da costruzione o all'esterno del confine dell'area su cui sorge l'attività medesima; • adibite ad attività afferenti ad un solo <i>responsabile dell'attività</i> e con i seguenti profili di rischio: <ul style="list-style-type: none"> ◦ R_{vita} compresi in A1, A2, A3, A4; ◦ R_{beni} pari ad 1; • densità di affollamento $\leq 0,2$ persone/m²; • non prevalentemente destinate ad occupanti con disabilità; • aventi piani situati a quota compresa tra -5 m e 12 m.
III	Opere da costruzione non ricomprese negli altri criteri di attribuzione.
IV, V	Su specifica richiesta del committente, previsti da capitolati tecnici di progetto, richiesti dalla autorità competente per opere da costruzione destinate ad attività di particolare importanza.

Tabella 14. Criteri di attribuzione dei livelli di prestazione S.2

Per tale livello di prestazione il comportamento richiesto è il mantenimento dei requisiti di resistenza al fuoco per un periodo sufficiente all'evacuazione degli occupanti in luogo sicuro all'esterno della costruzione.

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 15. Livelli di prestazione S.2

Per le attività con questo livello di prestazione il Codice fornisce una tabella per l'individuazione della classe minima di resistenza al fuoco in funzione del carico d'incendio specifico di progetto. Per quanto riguarda le autorimesse è ammesso stimare un carico d'incendio specifico di progetto pari a 350 MJ/m².

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

Tabella 16. Classe minima di resistenza al fuoco secondo la RTO

Per attività con carico d'incendio specifico $\leq 450 \text{ MJ/m}^2$ la RTO prevede una classe minima di resistenza al fuoco pari a 30, quindi più bassa rispetto a quella prevista dalla RTV.

Per rispettare tale criterio tutte le pareti che separano il compartimento dell'autorimessa da quello dei locali cantinati sono state progettate con resistenza al fuoco EI 90. Le uniche pareti con resistenza al fuoco inferiore (EI 60) sono quelle dei disimpegni che collegano i locali cantinati con i vani scale ed ascensori, in quanto questo era ciò che veniva richiesto dalla normativa relativa agli edifici di civile abitazione analizzata precedentemente. Inoltre, essendo presente al primo piano interrato un locale caldaia rilevante ai fini della sicurezza antincendio, questo è stato compartimentato con pareti EI 120, in modo tale da rispettare i requisiti imposti dalla normativa relativa alle centrali termiche.

COMPARTIMENTAZIONE

La finalità della compartimentazione è di limitare la propagazione dell'incendio e dei suoi effetti verso altre attività, afferenti ad altro responsabile dell'attività o di diversa tipologia, e all'interno della stessa attività. La compartimentazione viene realizzata mediante compartimenti antincendio, ubicati all'interno della stessa opera da costruzione, e attraverso l'interposizione di distanze di separazione, tra opera da costruzione o altri bersagli combustibili, anche ubicati in spazio a cielo libero.

Nella RTV viene subito specificato che i locali TM1, TM2, TT ed SC devono sempre costituire compartimento distinto ad eccezione delle aree TM1 inserite in compartimenti SA,AB,HB, quindi non nel caso della presente autorimessa.

Le comunicazioni con l'autorimessa vengono disciplinate secondo la tabella 17.

Tipologia autorimessa	Verso le pertinenze dell'autorimessa	Verso compartimenti di altre attività		Vie d'esodo comuni con altre attività	
	TM1 [1]; TM2; TT; TZ	In prevalenza non aperti al pubblico	In prevalenza aperti al pubblico	In prevalenza aperte al pubblico	In prevalenza non aperte al pubblico
SA, AB, HB [2]	Protetta come da paragrafo V.6.5.2	Filtro [3]	Filtro	[4]	Filtro [5]
Altre	Come da paragrafo V.6.5.2	Filtro [3]	Filtro	[4]	
SC	Protetta come da capitolo S.2	Filtro [3]	A prova di fumo	Non ammessa alcuna comunicazione	

[1] Solo se l'area TM1 è inserita in compartimento distinto.
[2] In caso di altezza antincendi dell'opera da costruzione di cui fa parte l'autorimessa ≤ 24 m.
[3] Il requisito S_a per le porte non è richiesto.
[4] Via d'esodo a prova di fumo proveniente dall'autorimessa.
[5] Per autorimesse AA la comunicazione può avvenire mediante porta E 30.

Tabella 17. Caratteristiche minime delle comunicazioni tra compartimenti

L'autorimessa oggetto di studio ricade, in questa tabella, nella tipologia "Altre", quindi verso i locali TM1, TM2, TT e TZ sarà compartimentata con la stessa classe prevista nel capitolo relativo alla resistenza al fuoco; verso compartimenti di altre attività (in questo caso quindi verso l'edificio di civile abitazione), considerando la voce "in prevalenza non aperti al pubblico", deve essere presente un filtro, dove il requisito di tenuta ai fumi freddi non è richiesto, ma nell'autorimessa in questione non sono presenti dei collegamenti diretti con i locali cantinati, in quanto tutti avvengono tramite passaggio per il locale in cui sono presenti le scale e gli ascensori; per quanto riguarda le vie di esodo comuni con altre attività, quindi le rampe di scale, queste devono essere protette tramite un filtro a prova di fumo con porte almeno E 30 proveniente dall'autorimessa, sia al primo piano interrato (realizzato tramite griglie di aerazione su spazio a cielo libero) sia al secondo piano interrato (realizzato sempre tramite griglie di aerazione). Mentre dal lato dei locali cantinati le porte d'ingresso al disimpegno mantengono una classe di resistenza REI 60, mentre le porte di ingresso al locale contenente le scale devono proseguire la compartimentazione e quindi devono essere E 90.

Osservando la RTO, la tabella dei criteri di attribuzione porta ad assegnare un livello di prestazione pari a II.

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

Tabella 18. Criteri di attribuzione dei livelli di prestazione S.3

Per il quale è previsto che la propagazione dell'incendio sia contrastata per un periodo congruo con la durata dell'incendio stesso sia verso altre attività, sia all'interno dell'attività stessa.

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

Tabella 19. Livelli di prestazione S.3

Le soluzioni conformi per il livello di prestazione II prevedono:

1. al fine di limitare la propagazione dell'incendio verso altre attività deve essere impiegata almeno una delle seguenti soluzioni: inserire le diverse attività in compartimenti antincendio distinti oppure interporre distanze di separazione su spazio a cielo libero tra le diverse attività;
2. al fine di limitare la propagazione dell'incendio all'interno della stessa attività deve essere impiegata almeno una delle seguenti soluzioni: suddividere la volumetria dell'opera da costruzione contenente l'attività in compartimenti antincendio, oppure interporre distanze di separazione su spazio a cielo libero tra ambiti della stessa attività;
3. l'ubicazione delle diverse attività, di cui è ammessa la comunicazione nella stessa opera da costruzione realizzata con specifiche limitazioni, deve essere stabilita secondo quanto previsto dal Codice;

Nel presente progetto non si possono attuare soluzioni che prevedono distanze di separazione su spazio a cielo libero, in quanto l'autorimessa è interrata. Le uniche soluzioni applicabili sono quelle che prevedono la compartimentazione dei due piani interrati, separando i locali cantinati e i locali tecnici dall'area che contiene le corsie di manovra e i box auto, e separando anche i due piani interrati in due compartimenti distinti tramite la predisposizione di due portoni tagliafuoco REI 90 all'inizio delle rampe carrabili al secondo piano interrato, inglobando così le due rampe nel compartimento del primo piano interrato. I due piani interrati devono essere necessariamente separati in due compartimenti perché la somma delle due superfici supera la superficie massima ammissibile per un compartimento con una quota inferiore ai 5 metri.

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

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

Tabella 20. Superficie lorda massima del compartimento

Il risultato di tale analisi può essere visionato negli Allegati I, II, III, IV.

ESODO

La finalità del sistema di esodo è di assicurare che gli occupanti dell'attività possano raggiungere un luogo sicuro o permanere al sicuro, autonomamente o con assistenza, prima che l'incendio determini condizioni incapacitanti negli ambiti dell'attività ove si trovano. Il sistema di esodo deve assicurare la prestazione richiesta a prescindere dell'intervento dei Vigili del Fuoco.

L'unica indicazione fornita nelle RTV dice che nei compartimenti SC non è ammessa presenza di occupanti, ad esclusione di quella occasionale e di breve durata di personale addetto. L'autorimessa oggetto di studio è stata classificata SA quindi tale indicazione può non essere presa in considerazione.

Osservando la tabella dei criteri di attribuzione dei livelli di prestazione nelle RTO si ottiene un livello di prestazione pari a I.

Livello di prestazione	Criteri di attribuzione
I	Tutte le attività
II	Ambiti per i quali non sia possibile assicurare il livello di prestazione I (es. a causa di dimensione, ubicazione, abilità degli occupanti, tipologia dell'attività, caratteristiche geometriche particolari, vincoli architettonici, ...)

Tabella 21. Criteri di attribuzione dei livelli di prestazione S.4

Per questo livello di prestazione si prevede che gli occupanti raggiungano un luogo sicuro prima che l'incendio determini condizioni incapacitanti negli ambiti dell'attività attraversati durante l'esodo.

Livello di prestazione	Descrizione
I	Gli occupanti raggiungono un <i>luogo sicuro</i> prima che l'incendio determini condizioni incapacitanti negli ambiti dell'attività attraversati durante l'esodo.
II	Gli occupanti sono protetti dagli effetti dell'incendio nel luogo in cui si trovano.

Tabella 22. Livelli di prestazione S.4

Le soluzioni conformi corrispondenti a questo livello di prestazione prevedono che si esegua la seguente progettazione iterativa:

1. si definiscono i dati di ingresso: profilo di rischio R_{vita} e affollamento;
2. si garantisce il rispetto dei requisiti antincendio minimi;
3. si definisce lo schema delle vie di esodo fino al luogo sicuro e lo si dimensiona tenendo conto delle seguenti grandezze: numero di vie di esodo ed uscite, corridoi ciechi, luoghi sicuri temporanei e lunghezze di esodo, larghezza delle vie di esodo ed uscite finali, superficie dei luoghi sicuri e degli spazi calmi, ecc.;
4. si verifica la rispondenza del sistema di esodo alle caratteristiche indicate nel Codice. Qualora la verifica non sia soddisfatta si reitera la procedura.

I dati di ingresso vengono definiti secondo quanto previsto al capitolo S.4.6 del Codice. Il profilo di rischio R_{vita} è già stato determinato precedentemente. L'affollamento massimo di ciascun locale può essere determinato moltiplicando la densità di affollamento per la superficie lorda del locale stesso, oppure seguendo le indicazioni fornite in tabella 23.

Tipologia di attività	Criteri
Autorimesse pubbliche	2 persone per veicolo parchato
Autorimesse private	1 persona per veicolo parchato
Degenza	1 degente e 2 accompagnatori per posto letto + addetti
Ambiti con posti a sedere o posti letto (es. sale riunioni, aule scolastiche, dormitori, ...)	Numero posti + addetti
Altri ambiti	Numero massimo presenti (addetti + pubblico)

Tabella 23. Affollamento per tipologia di attività

Considerando che nell'autorimessa sono presenti 210 box auto, di cui quattro sono doppi, si è considerato un affollamento pari a 214 persone. Ovviamente è pressoché impossibile che dentro un'autorimessa siano presenti contemporaneamente 214 persone, ma il Codice spinge il progettista ad affrontare la situazione peggiore possibile che possa accadere.

Per quanto riguarda invece i requisiti antincendio minimi si fa riferimento al capitolo S.4.7. Prima di eseguire la progettazione del sistema di esodo, questo capitolo fornisce le seguenti indicazioni preliminari che devono essere necessariamente rispettate:

1. Il numero di vie di esodo verticali ed orizzontali per ciascun ambito dell'attività è determinato in relazione ai vincoli imposti per il numero delle vie di esodo e per l'ammissibilità dei corridoi ciechi;
2. al fine di evitare la diffusione degli effluenti dell'incendio alle vie d'esodo, le vie di esodo verticali che collegano i compartimenti dell'attività devono essere protette da vani con resistenza al fuoco determinata nel capitolo specifico e comunque non inferiore alla classe 30 con chiusure dei varchi di comunicazione almeno E 30-S_a(la sigla S_a indica una tenuta al passaggio dei gas o dei fumi garantita a temperatura ambiente). Mentre per le vie di esodo verticali a prova di fumo proveniente dai compartimenti collegati è ammesso l'impiego di chiusure dei varchi di comunicazione almeno E 30;
3. al fine di evitare la diffusione degli effluenti dell'incendio alle vie d'esodo fuori terra, qualora l'edificio abbia piani a quota < -5 m, le vie d'esodo interrato, se non a prova di fumo, devono essere inserite in compartimento distinto dalle vie di esodo fuori terra;
4. per assicurare l'esodo degli occupanti dai piani più remoti dell'opera da costruzione, in funzione del profilo di rischio R_{vita} di riferimento, qualora esistano piani a quota superiore rispetto a quella prevista dalla tabella riportata di seguito, tutti i piani fuori terra devono essere serviti da almeno due vie d'esodo indipendenti. Lo stesso requisito viene richiesto nel caso in cui dovessero essere presenti piani a quota inferiore;

R _{vita}	Piani a quota inferiore	Piani a quota superiore
B1, B2, B3	< -5 m	> 32 m
B1 [1], B2 [1], B3 [1], D1, D2	< -1 m	> 12 m
Cii1, Cii2, Cii3, Ciii1, Ciii2, Ciii3	< -1 m	> 32 m
Altri casi	< -5 m	> 54 m
[1] Ambiti con densità d'affollamento > 0,4 p/m ²		

Tabella 24. Quote dei piani soglia per due vie di esodo indipendenti

5. le vie di esodo da ambiti aperti al pubblico non devono attraversare ambiti non aperti al pubblico, se non esclusivamente dedicati all'esodo, a meno di specifica valutazione del rischio e di misure aggiuntive al fine di consentire che tale passaggio avvenga in sicurezza in ogni condizione d'esercizio;
6. per quanto possibile, il sistema d'esodo dovrebbe essere concepito tenendo conto che, in caso di emergenza, gli occupanti che non hanno familiarità con l'attività tendono solitamente ad uscire percorrendo in senso inverso la via che hanno impiegato per entrare;

7. la convergenza dei flussi di occupanti da distinte vie d'esodo non deve essere ostacolata;
8. in condizioni di elevato affollamento o densità di affollamento, deve essere evitato per quanto possibile il controflusso di soccorritori o di occupanti lungo le vie di esodo. A tal fine possono essere previsti percorsi separati per le specifiche necessità.

Avendo realizzato tutte le compartimentazioni ed essendo presenti un numero molto elevato di vie di esodo verticali, tutti questi requisiti sono soddisfatti nell'autorimessa oggetto di studio.

La progettazione del sistema delle vie di esodo parte dall'individuazione del numero minimo delle uscite indipendenti, ritenute tali quando è minimizzata la probabilità che possano essere contemporaneamente rese indisponibili dagli effetti dell'incendio. Per determinare questo requisito il Codice fornisce una tabella, in funzione del profilo di rischio R_{vita} e del numero di occupanti.

R_{vita}	Affollamento dell'ambito servito	Numero minimo uscite indipendenti
Qualsiasi	> 500 occupanti	3
B1 [1], B2 [1], B3 [1]	> 150 occupanti	
Altri casi		2
Se ammesso corridoio cieco secondo le prescrizioni del paragrafo S.4.8.2.		1
[1] Ambiti con densità d'affollamento > 0,4 p/m ²		

Tabella 25. Numero minimo di uscite indipendenti da locale o spazio a cielo libero

Avendo un profilo di rischio A2 ma un numero di occupanti nettamente inferiore a 500 persone, il numero minimo di uscite indipendenti deve essere pari a due. Tale requisito risulta verificato in quanto avendo un totale di 11 rampe di scale, pur considerando che l'incendio possa renderne indisponibili un massimo di tre, rimarrebbero sempre 8 uscite indipendenti disponibili.

Successivamente si ricava la lunghezza massima dei corridoi ciechi, ovvero di quei tratti di via di esodo in cui gli occupanti hanno a disposizione una sola direzione senza alternative. Anche in questo caso il Codice fornisce una tabella in funzione del profilo R_{vita} .

R_{vita}	Max affollamento	Max lunghezza L_{cc}	R_{vita}	Max affollamento	Max lunghezza L_{cc}
A1		≤ 45 m	B1, E1	≤ 50 occupanti	≤ 25 m
A2	≤ 100 occupanti	≤ 30 m	B2, E2		≤ 20 m
A3		≤ 15 m	B3, E3		≤ 15 m
A4		≤ 10 m	Cii1, Ciii1		≤ 20 m
D1	≤ 50 occupanti	≤ 20 m	Cii2, Ciii2		≤ 15 m
D2		≤ 15 m	Cii3, Ciii3		≤ 10 m
I valori delle massime lunghezze di corridoio cieco di riferimento L_{cc} possono essere incrementati in relazione a requisiti antincendio aggiuntivi, secondo la metodologia del paragrafo S.4.10.					

Tabella 26. Condizioni per il corridoio cieco

In questo caso i corridoi ciechi non possono superare i 30 metri di lunghezza. Questo requisito risulta pienamente rispettato, come si può vedere negli Allegato I e II. Il corridoio cieco più lungo tra quelli ipotizzati risulta essere pari a 14,9 metri, quindi pari alla metà del massimo imposto.

La seguente tabella invece viene fornita per la determinazione della lunghezza massima delle vie di esodo, compresi i corridoi ciechi.

R _{vita}	Max lunghezza d'esodo L _{es}	R _{vita}	Max lunghezza d'esodo L _{es}
A1	≤ 70 m	B1, E1	≤ 60 m
A2	≤ 60 m	B2, E2	≤ 50 m
A3	≤ 45 m	B3, E3	≤ 40 m
A4	≤ 30 m	Cii1, Ciii1	≤ 40 m
D1	≤ 30 m	Cii2, Ciii2	≤ 30 m
D2	≤ 20 m	Cii3, Ciii3	≤ 20 m

I valori delle massime lunghezze d'esodo di riferimento possono essere incrementati in relazione a requisiti antincendio aggiuntivi, secondo la metodologia del paragrafo S.4.10.

Tabella 27. Massime lunghezze d'esodo

Anche in questo caso il requisito viene rispettato. Per le vie di esodo ipotizzate nel progetto la massima lunghezza ottenuta è pari a 56,7 metri.

Per quanto riguarda l'altezza utile dei locali, il Codice impone una soglia minima di 2 metri, ovviamente rispettata nell'autorimessa.

La determinazione della larghezza delle vie di esodo viene svolta separatamente per le quelle verticali e per quelle orizzontali. In entrambi i casi si moltiplica un valore di larghezza unitaria per il numero degli occupanti. i valori unitari sono tabellati in funzione del profilo di rischio R_{vita}. Per il calcolo della larghezza minima delle vie di esodo orizzontali la tabella di riferimento è la seguente.

R _{vita}	Larghezza unitaria	Δt _{coda}	R _{vita}	Larghezza unitaria	Δt _{coda}
A1	3,40	330 s	B1, C1, E1	3,60	310 s
A2	3,80	290 s	B2, C2, D1, E2	4,10	270 s
A3	4,60	240 s	B3, C3, D2, E3	6,20	180 s
A4	12,30	90 s	-	-	-

I valori delle larghezze unitarie sono espressi in mm/persona ed assicurano una durata dell'attesa in coda, per gli occupanti che impiegano la specifica via d'esodo, non superiore a Δt_{coda}.

Tabella 28. Larghezze unitarie per vie di esodo orizzontali

Quindi moltiplicando 3,80 per 214 si ottiene un valore minimo pari a 813,2 mm. Oltre a questa è però presente un'altra tabella che impone dei valori prefissati di larghezza minima. In questa tabella il valore minimo imposto risulta essere maggiore rispetto a quello calcolato con il valore unitario, quindi è quello da prendere come riferimento. Quindi le vie di esodo orizzontali non possono avere larghezza inferiore a 900 mm.

Larghezza	Criterio
≥ 1200 mm	Affollamento dell'ambito servito > 1000 occupanti
≥ 1000 mm	Affollamento dell'ambito servito > 300 occupanti
≥ 900 mm	Affollamento dell'ambito servito ≤ 300 occupanti Larghezza adatta anche a coloro che impiegano ausili per il movimento
≥ 800 mm	Varchi da ambito servito con affollamento ≤ 50 occupanti
≥ 700 mm	Varchi da ambito servito con affollamento ≤ 10 occupanti (es. singoli uffici, camere d'albergo, locali di abitazione, appartamenti, ...)
≥ 600 mm	Ambito servito ove vi sia esclusiva presenza di personale specificamente formato, oppure occasionale e di breve durata di un numero limitato di occupanti (es. locali impianti o di servizio, piccoli depositi, ...).

L'affollamento dell'ambito servito corrisponde al totale degli occupanti che impiegano ciascuna delle vie d'esodo che si dipartono da tale ambito.

Tabella 29. Larghezze minime per vie di esodo orizzontali

Mentre per la larghezza delle vie di esodo verticali si fa riferimento alla Tabella 30.

R_{vita}	Numero totale dei piani serviti dalla via d'esodo verticale										Δt_{coda}
	1	2 [F]	3	4	5	6	7	8	9	> 9	
A1	4,00	3,60	3,25	3,00	2,75	2,55	2,40	2,25	2,10	2,00	330 s
B1, C1, E1	4,25	3,80	3,40	3,10	2,85	2,65	2,45	2,30	2,15	2,05	310 s
A2	4,55	4,00	3,60	3,25	3,00	2,75	2,55	2,40	2,25	2,10	290 s
B2, C2, D1, E2	4,90	4,30	3,80	3,45	3,15	2,90	2,65	2,50	2,30	2,15	270 s
A3	5,50	4,75	4,20	3,75	3,35	3,10	2,85	2,60	2,45	2,30	240 s
B3, C3, D2, E3	7,30	6,40	5,70	5,15	4,70	4,30	4,00	3,70	3,45	3,25	180 s
A4	14,60	11,40	9,35	7,95	6,90	6,10	5,45	4,95	4,50	4,15	90 s

I valori delle larghezze unitarie sono espressi in mm/persona ed assicurano una durata dell'attesa in coda, per gli occupanti che impiegano la specifica via d'esodo, non superiore a Δt_{coda} .

I valori delle larghezze unitarie devono essere incrementati per le scale secondo le indicazioni della tabella S.4-30, oppure per le rampe secondo le indicazioni della tabella Tabella S.4-31.

[F] Impiegato anche nell'esodo per fasi

Tabella 30. Larghezze unitarie per vie di esodo verticali

In questo caso il valore unitario è pari a 4,00, che moltiplicato per 214 fornisce una larghezza minima pari a 856 mm. A questo valore non si aggiungono le maggiorazioni previste dal Codice in quanto i gradini delle rampe di scale hanno pedata pari a 30 cm ealzata pari a 17 cm, mentre le rampe carrabili, avrebbero una pendenza tale per cui andrebbero considerate, ma non rientrano nel calcolo in quanto non sono state considerate come vie di esodo. Anche in questo caso è presente un'ulteriore tabella che fornisce direttamente i valori minimi di larghezza delle vie di esodo.

Anche in questo caso il valore di riferimento è pari a 900 mm. Nell'autorimessa tutte le rampe di scale hanno una larghezza pari a 1200 mm, quindi il requisito risulta soddisfatto.

Larghezza	Criterio
≥ 1200 mm	Affollamento dell'ambito servito > 1000 occupanti
≥ 1000 mm	Affollamento dell'ambito servito > 300 occupanti
≥ 900 mm	Affollamento dell'ambito servito ≤ 300 occupanti
≥ 600 mm	Ambito servito ove vi sia esclusiva presenza di personale specificamente formato, oppure occasionale e di breve durata di un numero limitato di occupanti (es. locali impianti o di servizio, piccoli depositi, ...).
L'affollamento dell'ambito servito corrisponde al totale degli occupanti che impiegano ciascuna delle vie d'esodo che si dipartono da tale ambito.	

Tabella 31. Larghezze minime per vie di esodo verticali

A questo punto si può procedere con il calcolo della larghezza minima delle uscite finali.

Questa viene calcolata sommando tutte le larghezza orizzontali e verticali presenti per raggiungere il luogo sicuro. In questo caso si somma la larghezza minima delle vie di esodo orizzontali con la larghezza minima delle vie di esodo verticali moltiplicata per 11, ovvero per il numero di rampe presenti. In questo modo si ottiene un valore pari a 10229 mm. Per calcolare la somma di tutte le uscite finali presenti si è fatto riferimento al disegno CAD e si è ottenuto un valore pari a 13800 mm, dato dalla somma di 6 uscite da 900 mm e 3 uscite da 2800 mm.

Il Codice di Prevenzione Incendi richiede una verifica fondamentale nella progettazione del sistema di esodo: la verifica di ridondanza. Questa consiste nel verificare che, rendendo indisponibile una via di esodo alla volta, le restanti vie di esodo indipendenti abbiano larghezza complessiva sufficiente a garantire l'esodo degli occupanti, e quindi maggiore del valore minimo calcolato. In questo caso la verifica risulta soddisfatta in tutte le condizioni.

Sono stati previsti anche alcuni spazi calmi in prossimità delle rampe di scale, che verranno opportunamente segnalati, in cui le persone che hanno necessità di richiedere assistenza possano sostare in un luogo sicuro temporaneo fino all'arrivo delle squadre di soccorso.

Avendo soddisfatto tutti i requisiti richiesti in soluzione conforme non è necessario entrare in soluzione alternativa per la verifica del sistema di esodo.

GESTIONE DELLA SICUREZZA ANTINCENDIO

La gestione della sicurezza antincendio (GSA) rappresenta la misura antincendio organizzativa e gestionale dell'attività atta a garantirne, nel tempo, un adeguato livello di sicurezza in caso di incendio.

La RTV fornisce le seguenti indicazioni prescrittive che devono essere seguite dagli occupanti in condizioni di normale esercizio dell'attività.

Nelle autorimesse è vietato:

1. fumare;
2. l'uso di fiamme libere o l'esecuzione di lavorazioni a caldo e l'effettuazione di lavorazioni pericolose ai fini dell'incendio;
3. eseguire manutenzione, riparazioni dei veicoli o prove di motori, al di fuori delle aree TB (aree destinate ai servizi annessi all'autorimessa);
4. il deposito o il travaso di fluidi infiammabili o carburante;
5. la presenza di sostanze o miscele pericolose in quantità significative;
6. il riempimento o lo svuotamento di serbatoi di carburante;
7. l'accesso o il parcheggiamento di veicoli con perdite di carburante;
8. il parcheggiamento di veicoli trasportanti sostanze o miscele pericolose se non in presenza di specifica valutazione del rischio;
9. il parcheggiamento di un numero di veicoli superiore a quello previsto;
10. il parcheggiamento di veicoli alimentati a GPL muniti del sistema di sicurezza conforme al regolamento ECE/ONU 67-01 ai piani inferiori a -6 m;
11. il parcheggiamento di veicoli con motori endotermici non in regola con gli obblighi di revisione periodica a meno che non siano provvisti di quantitativi limitati di carburante.

Nelle autorimesse è obbligatorio:

1. individuare i posti auto distinti per tipologia indicando l'eventuale presenza di infrastrutture per la ricarica di veicoli elettrici o impianti similari;
2. in presenza di montauto, esporre all'esterno dell'autorimessa, in prossimità del vano di caricamento, il regolamento per l'utilizzazione dell'impianto con le limitazioni e le prescrizioni di esercizio.

Queste informazioni devono essere riportate in idonea cartellonistica o segnaletica riferita agli specifici obblighi e divieti da osservare.

Osservando la RTO è possibile attribuire il livello di prestazione I alla presente attività, per il quale è richiesto il mantenimento delle condizioni di esercizio e di risposta all'emergenza.

Livello di prestazione	Criteri di attribuzione
I	Attività ove siano verificate <i>tutte</i> le seguenti condizioni: <ul style="list-style-type: none"> • profili di rischio: <ul style="list-style-type: none"> ◦ R_{vita} compresi in A1, A2; ◦ R_{beni} pari a 1; ◦ $R_{ambiente}$ non significativo; • non prevalentemente destinata ad occupanti con disabilità; • tutti i piani dell'attività situati a quota compresa tra -10 m e 54 m; • carico di incendio specifico $q_r \leq 1200 \text{ MJ/m}^2$; • non si detengono o trattano sostanze o miscele pericolose in quantità significative; • non si effettuano lavorazioni pericolose ai fini dell'incendio.
II	Attività non ricomprese negli altri criteri di attribuzione
III	Attività ove sia verificato <i>almeno una</i> delle seguenti condizioni: <ul style="list-style-type: none"> • profilo di rischio R_{beni} compreso in 3, 4; • se aperta al pubblico: affollamento complessivo > 300 occupanti; • se non aperta al pubblico: affollamento complessivo > 1000 occupanti; • numero complessivo di posti letto > 100 e profili di rischio R_{vita} compresi in D1, D2, Ciii1, Ciii2, Ciii3; • si detengono o trattano sostanze o miscele pericolose in quantità significative ed affollamento complessivo > 25 occupanti; • si effettuano lavorazioni pericolose ai fini dell'incendio ed affollamento complessivo > 25 occupanti.

Tabella 32. Criteri di attribuzione dei livelli di prestazione S.5

Livello di prestazione	Descrizione
I	Gestione della sicurezza antincendio per il mantenimento delle condizioni di esercizio e di risposta all'emergenza
II	Gestione della sicurezza antincendio per il mantenimento delle condizioni di esercizio e di risposta all'emergenza con struttura di supporto
III	Gestione della sicurezza antincendio per il mantenimento delle condizioni di esercizio e di risposta all'emergenza con struttura di supporto dedicata

Tabella 33. Livelli di prestazione S.5

Le soluzioni conformi per il livello di prestazione I prevedono che il responsabile dell'attività organizzi la GSA in esercizio ed in emergenza, secondo quanto previsto dal Codice. Le altre indicazioni presenti tra le soluzioni conformi non sono state prese in considerazione per questo studio in quanto non si tratta di un'attività lavorativa.

Il Codice di Prevenzione Incendi riporta anche alcune misure elementari di prevenzione incendi che dovrebbero essere seguite in qualunque condizione:

1. pulizia dei luoghi ed ordine ai fini della riduzione sostanziale della probabilità di innesco di incendi e della velocità di crescita dei focolari;
2. riduzione degli inneschi;
3. riduzione del carico di incendio;

4. sostituzione di materiali combustibili con velocità di propagazione dell'incendio rapida, con altri con velocità d'incendio più lenta;
5. controllo e manutenzione regolare dei sistemi, dispositivi, attrezzature e degli impianti rilevanti ai fini della sicurezza antincendio;
6. controllo degli accessi e sorveglianza, senza che ciò possa limitare la disponibilità del sistema di esodo;
7. gestione dei lavori di manutenzione o di modifica dell'attività; il rischio d'incendio aumenta notevolmente quando si effettuano lavori di manutenzione ordinaria e straordinaria e di modifica, in quanto possono essere: condotte operazioni pericolose, o disattivati temporaneamente gli impianti di sicurezza, o sospesa temporaneamente la continuità di compartimentazione, o impiegate sostanze o miscele pericolose.
8. in attività lavorative, formazione ed informazione del personale ai rischi specifici dell'attività, secondo la normativa vigente;
9. istruzioni e segnaletica contenenti i divieti e le precauzioni da osservare.

La corretta progettazione della gestione della sicurezza implica uno scambio di informazioni tra il progettista ed il responsabile dell'attività, secondo quanto previsto dalla tabella 34, in cui sono riassunti i loro compiti i termini di progettazione della GSA.

Responsabile dell'attività	Progettista
Fornisce al progettista le informazioni relative ai pericoli di incendio e tutti gli altri dati di input sull'attività necessari ai fini della valutazione del rischio di incendio (capitolo G.2). [1]	Riceve le informazioni dal responsabile dell'attività
Valutano congiuntamente le misure di prevenzione incendi come da paragrafo S.5.5 [1]	
Valutano il rischio di incendio dell'attività e ne definiscono la strategia antincendio [1]	
Contribuisce all'attività di progettazione della GSA. [1]	Definisce e documenta il modello della GSA.
Attua le limitazioni e le modalità d'esercizio ammesse per l'appropriata gestione della sicurezza antincendio dell'attività, al fine di limitare la probabilità d'incendio, garantire il corretto funzionamento dei sistemi di sicurezza e la gestione dell'emergenza qualora si sviluppi un incendio,	Fornisce al responsabile dell'attività le indicazioni, le limitazioni e le modalità d'esercizio ammesse per l'appropriata gestione della sicurezza antincendio dell'attività, al fine di limitare la probabilità d'incendio, garantire il corretto funzionamento dei sistemi di sicurezza e la gestione dell'emergenza qualora si sviluppi un incendio,
[1] Il committente si relaziona direttamente con il progettista nel caso in cui il responsabile dell'attività non sia noto in fase di progettazione.	

Tabella 34. Compiti di progettista e responsabile dell'attività in materia di progettazione della GSA

La gestione della sicurezza antincendio durante le condizioni di esercizio contribuisce all'efficacia delle altre misure antincendio adottate. Questa deve prevedere almeno:

1. la riduzione della probabilità di insorgenza di un incendio, adottando misure di prevenzione incendi, buona pratica nell'esercizio e programmazione della manutenzione;
2. il controllo e la manutenzione di impianti a attrezzature antincendio;
3. la preparazione alla gestione dell'emergenza, tramite la pianificazione delle azioni da eseguire in caso di emergenza, esercitazioni antincendio e prove d'evacuazione periodiche.

Il responsabile dell'attività ha il dovere di predisporre un registro dei controlli periodici dove siano annotati non solo i controlli, le verifiche, gli interventi di manutenzione e le misure antincendio adottate, ma anche le attività di informazione, formazione ed addestramento e le prove di evacuazione effettuate.

Un altro aspetto fondamentale per la progettazione della GSA è il controllo e la manutenzione degli impianti e delle attrezzature antincendio, che devono essere effettuati nel rispetto delle disposizioni legislative e regolamentari vigenti, secondo la regola dell'arte in accordo a norme, TS e TR pertinenti, ed al manuale di uso e manutenzione dell'impianto e dell'attrezzatura. Tutte le operazioni di manutenzione sugli impianti e sulle attrezzature antincendio devono essere svolte da personale esperto, che ne garantisca la corretta esecuzione.

Il Codice fornisce una tabella in cui sono riportate tutte le principali normative di riferimento per la manutenzione ed il controllo di impianti ed attrezzature antincendio.

Impianto o attrezzatura antincendio	Norme e TS per verifica, controllo, manutenzione
Estintori	UNI 9994-1
RI	UNI 10779, UNI EN 671-3, UNI EN 12845
SPK	UNI EN 12845
IRAI	UNI 11224
SEFC	UNI 9494-3
Sistemi a pressione differenziale	UNI EN 12101-6
Sistemi a polvere	UNI EN 12416-2
Sistemi a schiuma	UNI EN 13565-2
Sistemi spray ad acqua	UNI CEN/TS 14816
Sistema estinguente ad aerosol condensato	UNI ISO 15779
Sistemi a riduzione di ossigeno	UNI EN 16750
Porte e finestre apribili resistenti al fuoco	UNI 11473
Sistemi di spegnimento ad estinguente gassoso	UNI 11280

Tabella 35. Norme e TS per verifica, controllo e manutenzione di impianti e attrezzature antincendio

Il Codice pone particolare attenzione anche sulla preparazione all'emergenza, che nell'ambito della gestione della sicurezza antincendio si esplica tramite la pianificazione delle azioni da eseguire in caso di emergenza, in risposta agli scenari incidentali ipotizzati. La preparazione all'emergenza deve includere planimetrie e documenti nei quali siano riportate tutte le informazioni necessarie alla gestione dell'emergenza, comprese le istruzioni o le procedure per l'esodo degli occupanti.

In prossimità degli accessi di ciascun piano dell'attività, devono essere esposte sia le planimetrie esplicative del sistema di esodo e dell'ubicazione delle attrezzature antincendio, sia le istruzioni sul comportamento degli occupanti in caso di emergenza.

Nella tabella riportata di seguito sono indicati tutti gli adempimenti minimi per la preparazione all'emergenza.

Livello di prestazione	Preparazione all'emergenza
I	<p>La preparazione all'emergenza può essere limitata all'informazione al personale ed agli occupanti sui comportamenti da tenere. Essa deve comprendere:</p> <ul style="list-style-type: none"> • istruzioni per la chiamata del soccorso pubblico e le informazioni da fornire per consentire un efficace soccorso; • istruzioni di primo intervento antincendio, attraverso: <ul style="list-style-type: none"> ◦ azioni del responsabile dell'attività in rapporto alle squadre di soccorso; ◦ azioni degli eventuali addetti antincendio in riferimento alla lotta antincendio ed all'esodo, ivi compreso l'impiego di dispositivi di protezione ed attrezzature; ◦ azioni per la messa in sicurezza di apparecchiature ed impianti; • istruzioni per l'esodo degli occupanti, anche per mezzo di idonea segnaletica; • istruzioni generali per prestare assistenza agli occupanti con specifiche necessità; • istruzioni specifiche per prestare assistenza agli occupanti con specifiche necessità, in caso di presenza non occasionale; • Istruzioni per il ripristino delle condizioni di sicurezza dopo l'emergenza.
II, III	<p>La preparazione all'emergenza deve prevedere le procedure per la gestione dell'emergenza. In particolare:</p> <ul style="list-style-type: none"> • procedure di allarme: modalità di allarme, informazione agli occupanti, modalità di diffusione dell'ordine di evacuazione; • procedure di attivazione del centro di gestione delle emergenze, se previsto; • procedure di comunicazione interna e verso gli enti di soccorso pubblico: devono essere chiaramente definite le modalità e strumenti di comunicazione tra gli addetti del servizio antincendio e il centro di gestione dell'emergenza, ove previsto, individuate le modalità di chiamata del soccorso pubblico e le informazioni da fornire alle squadre di soccorso; • procedure di primo intervento antincendio, che devono prevedere le azioni della squadra antincendio per lo spegnimento di un principio di incendio, per l'assistenza degli occupanti nella evacuazione, per la messa in sicurezza delle apparecchiature o impianti; • procedure per l'esodo degli occupanti e le azioni di facilitazione dell'esodo; • procedure per assistere occupanti con ridotte o impedito capacità motorie, sensoriali e cognitive o con specifiche necessità; • procedure di messa in sicurezza di apparecchiature ed impianti: in funzione della tipologia di impianto e della natura dell'attività, occorre definire apposite sequenze e operazioni per la messa in sicurezza delle apparecchiature o impianti; • procedure il ripristino delle condizioni di sicurezza al termine dell'emergenza: in funzione della complessità della struttura devono essere definite le modalità con le quali garantirne il rientro in condizioni di sicurezza degli occupanti ed il ripristino dei processi ordinari dell'attività.

Tabella 36. Preparazione all'emergenza

Il Codice indica anche la necessità di sottoporre a revisione periodica a cadenza stabilita tutti i documenti della GSA, che in ogni caso devono comunque essere sempre aggiornati in occasione delle modifiche dell'attività.

Per quanto riguarda invece la gestione della sicurezza in condizioni di emergenza, questa deve almeno prevedere l'attivazione dei servizi di soccorso pubblico, l'esodo degli occupanti e la messa in sicurezza di apparecchiature ed impianti. Le procedure di emergenza generalmente dovrebbero partire nel momento in cui viene rivelato, manualmente o automaticamente, l'incendio.

CONTROLLO DELL'INCENDIO

La presente misura antincendio ha come scopo l'individuazione dei presidi antincendio da installare nell'attività per:

1. la protezione nei confronti di un principio di incendio;
2. la protezione manuale o automatica, finalizzata all'inibizione o al controllo dell'incendio;
3. la protezione mediante completa estinzione di un incendio.

In questo caso la RTV accompagna il progettista nell'attribuzione del livello di prestazione.

Autorimessa	Autorimessa								SC
	SA				SB				
	AA	AB	AC	AD	AA	AB	AC	AD	
HA	II	II [1]	III [1]	IV	II	III	III [1]	IV	IV
HB	II	III	III [1]	IV	II	III	III	IV	
HC; HD	IV				IV				

[1] Incremento di un livello di prestazione per autorimesse chiuse.

Tabella 37. Livelli di prestazione S.6 da RTV

Inoltre, sempre nella RTV, viene fornita un'altra tabella che fornisce ulteriori indicazioni per la progettazione dei sistemi di controllo dell'incendio, in particolare relative al sistema di reti idranti.

Classificazione attività		Livello di pericolosità	Protezione esterna	Caratteristiche alimentazione idrica (UNI EN 12845)
Superficie lorda	Quota dei piani			
AA	HA, HB	---	---	---
	HC, HD	1	Non richiesta	Singola [1]
AB	HA, HB, HC	1	Non richiesta	Singola [1]
	HD	2	Non richiesta	Singola superiore [2]
AC	HA, HB, HC	2	Sì [3]	Singola
	HD	2	Sì [3]	Singola superiore
AD	Qualsiasi	3	Sì [4]	Singola superiore

[1] Per le autorimesse SA è ammessa l'alimentazione promiscua.
 [2] Per le autorimesse SA è ammessa l'alimentazione singola.
 [3] Protezione esterna non richiesta se si adotta livello di pericolosità 3.
 [4] Protezione esterna non richiesta per autorimesse isolate e completamente interrato se si adotta livello di pericolosità 3.

Tabella 38. Parametri progettuali per la rete idranti secondo UNI 10779

Essendo stato attribuito il livello di prestazione tramite la tabella fornita nella RTV non è necessario osservare la tabella che riporta i criteri di attribuzione dei livelli di prestazione, dal quale si sarebbe ottenuto il livello di prestazione III, quindi più basso rispetto a quello previsto dalla RTV.

Livello di prestazione	Criteri di attribuzione
I	Non ammesso nelle attività soggette
II	Ambiti dove siano verificate <i>tutte</i> le seguenti condizioni: <ul style="list-style-type: none"> • profili di rischio: <ul style="list-style-type: none"> ◦ R_{vita} compresi in A1, A2, B1, B2, Cii1, Cii2, Ciii1, Ciii2; ◦ R_{beni} pari a 1, 2; ◦ $R_{ambiente}$ non significativo; • tutti i piani dell'attività situati a quota compresa tra -5 m e 32 m; • carico di incendio specifico $q_f \leq 600 \text{ MJ/m}^2$; • per compartimenti con $q_f > 200 \text{ MJ/m}^2$: superficie lorda $\leq 4000 \text{ m}^2$; • per compartimenti con $q_f \leq 200 \text{ MJ/m}^2$: superficie lorda qualsiasi; • non si detengono o trattano sostanze o miscele pericolose in quantità significative; • non si effettuano lavorazioni pericolose ai fini dell'incendio.
III	Ambiti non ricompresi negli altri criteri di attribuzione.
IV	In relazione alle risultanze della valutazione del rischio nell'ambito e in ambiti limitrofi della stessa attività (es. ambiti di attività con elevato affollamento, ambiti di attività con geometria complessa o piani interrati, elevato carico di incendio specifico q_f , presenza di sostanze o miscele pericolose in quantità significative, presenza di lavorazioni pericolose ai fini dell'incendio, ...).
V	Su specifica richiesta del committente, previsti da capitolati tecnici di progetto, richiesti dalla autorità competente per costruzioni destinate ad attività di particolare importanza, previsti da regola tecnica verticale.

Tabella 39. Criteri di attribuzione dei livelli di prestazione S.6

Livello di prestazione	Descrizione
I	Nessun requisito
II	Estinzione di un principio di incendio
III	Controllo o estinzione manuale dell'incendio
IV	Inibizione, controllo o estinzione dell'incendio con sistemi automatici estesi a porzioni di attività
V	Inibizione, controllo o estinzione dell'incendio con sistemi automatici estesi a tutta l'attività

Tabella 40. Livelli di prestazione S.6

Dalla tabella 40 si evince che nell'autorimessa, o almeno in alcune porzioni di essa, debba essere presente un impianto automatico di inibizione, controllo o estinzione dell'incendio.

Le soluzioni conformi al livello di prestazione IV prevedono l'installazione dei seguenti sistemi di controllo ed estinzione dell'incendio:

- estintori d'incendio a protezione dell'intera attività;
- rete di idranti a protezione dell'intera attività o di singoli compartimenti in relazione alla valutazione del rischio;
- sistema automatico di inibizione, controllo o estinzione dell'incendio a protezione di ambiti dell'attività in relazione alla valutazione del rischio.

Entrambi i sistemi di controllo dell'incendio sono stati previsti e la loro posizione è visionabile negli Allegati I e II. L'impianto di estinzione non è presente nei disegni perché attualmente non esiste e deve essere ancora progettato.

Il Codice riporta le seguenti caratteristiche elementari degli estintori:

1. sono presidi di base complementari alle altre misure di protezione attiva e di sicurezza in caso d'incendio;
2. il loro impiego è riferibile solo ad un principio d'incendio e l'entità della capacità estinguente ad esso associata fornisce un grado complessivo della semplicità nelle operazioni di estinzione;
3. la loro carica non può essere superiore a 6 kg o 6 litri; estintori con cariche superiori sono utilizzabili solo negli ambienti destinati ad attività di processo non accessibili al pubblico se non permanentemente accompagnato.

Gli estintori devono essere sempre disponibili per l'uso immediato, pertanto devono essere collocati in posizione facilmente visibile e raggiungibile, ovvero lungo i percorsi di esodo in prossimità delle uscite dei locali, di piano o finali, e in prossimità delle aree a rischio specifico.

Per quanto riguarda la tipologia è stato considerato il tradizionale estintore 34 A 233 B C, ovvero un estintore polivalente, rispettando i requisiti indicati nella seguente tabella.

Profilo di rischio R _{vita}	Max distanza di raggiungimento	Minima capacità estinguente	Minima carica nominale
A1, A2	40 m	13 A	6 litri o 6 kg
A3, B1, B2, C1, C2, D1, D2, E1, E2	30 m	21 A	
A4, B3, C3, E3	20 m	27 A	

Tabella 41. Criteri per l'installazione degli estintori

Sono stati posizionati 25 estintori, di cui 12 si trovano nel secondo piano interrato e 13 nel primo. La massima distanza di raggiungimento risulta ampiamente soddisfatta. Principalmente sono stati posizionati in prossimità degli accessi dei filtri a prova di fumo che dirigono verso le scale ma, proprio per rispettare il criterio della massima distanza di raggiungimento, sono stati inseriti anche in posizioni più centrali.

La rete idranti è costituita da un sistema di tubazioni per l'alimentazione idrica di uno o più apparecchi di erogazione. In questa attività verranno applicate RI ordinarie, destinate alla protezione di attività ubicate all'interno di opere da costruzione.

Tra i sistemi automatici di controllo o estinzione dell'incendio si annoverano quelli che basano il loro funzionamento su agenti estinguenti di tipo gassoso, ad aerosol, a polvere, a schiuma o ad acqua nebulizzata o frazionata e a diluvio.

I sistemi sprinkler sono impianti antincendio automatici in grado di erogare acqua secondo appropriate configurazioni. Questi sistemi sono progettati per rilevare la presenza di un incendio

ed estinguerlo nello stadio iniziale, oppure per tenerlo sotto controllo così che l'estinzione possa essere completata con altri mezzi. Gli erogatori sprinkler iniziano l'erogazione dell'acqua a temperature prefissate. Solitamente la loro temperatura di intervento viene definita in modo tale che si adatti alle ordinarie condizioni di temperatura dell'ambiente di installazione garantendone quindi l'attivazione solo in prossimità dell'incendio.

Il Codice fornisce anche in questo caso una tabella in cui sono riportate tutte le normative specifiche per la progettazione dei diversi sistemi automatici.

Tipo	Riferimento	Sistema di inibizione, controllo o estinzione
Norma tecnica	UNI EN 12845	Sistemi sprinkler
Norma tecnica	UNI EN 15004-1	Sistemi a estinguenti gassosi
Norma tecnica	UNI EN 12416-2	Sistemi a polvere
Norma tecnica	UNI EN 13565-2	Sistemi a schiuma
TS	UNI CEN/TS 14816	Sistemi spray ad acqua
TS	UNI CEN/TS 14972	Sistemi ad acqua nebulizzata (water mist)
TS	UNI/TS 11512	Componenti per impianti di estinzione a gas - Requisiti e metodi di prova per la compatibilità
Norma tecnica	UNI ISO 15779	Sistema estinguente ad aerosol condensato
Norma tecnica	UNI EN 16750	Sistemi a riduzione di ossigeno - Progettazione, installazione, pianificazione e manutenzione

Tabella 42. Norme TS e TR di riferimento per i sistemi di inibizione, controllo o estinzione dell'incendi

RIVELAZIONE ED ALLARME

Gli impianti di rivelazione incendio e segnalazione allarme di incendi (IRAI) sono realizzati con l'obiettivo di sorvegliare gli ambiti di un'attività, rivelare precocemente un incendio e diffondere l'allarme al fine di attivare le misure protettive e gestionali.

Per questa strategia antincendio non è presente nessuna indicazione nella RTV quindi l'analisi è stata effettuata sulla base della sola RTO.

Dalla tabella dei criteri di attribuzione dei livelli di prestazione si ottiene un livello di prestazione I.

Livello di prestazione	Criteri di attribuzione
I	<p>Ambiti dove siano verificate <i>tutte</i> le seguenti condizioni:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● profili di rischio: <ul style="list-style-type: none"> ○ R_{vita} compresi in A1, A2; ○ R_{beni} pari a 1; ○ $R_{ambiente}$ non significativo; ● attività non aperta al pubblico; ● densità di affollamento $\leq 0,2$ persone/m²; ● non prevalentemente destinata ad occupanti con disabilità; ● tutti i piani dell'attività situati a quota compresa tra -5 m e 12 m; ● carico di incendio specifico $q_f \leq 600$ MJ/m²; ● superficie lorda di ciascun compartimento ≤ 4000 m²; ● non si detengono o trattano sostanze o miscele pericolose in quantità significative; ● non si effettuano lavorazioni pericolose ai fini dell'incendio.
II	<p>Ambiti dove siano verificate <i>tutte</i> le seguenti condizioni:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● profili di rischio: <ul style="list-style-type: none"> ○ R_{vita} compresi in A1, A2, B1, B2; ○ R_{beni} pari a 1; ○ $R_{ambiente}$ non significativo; ● densità di affollamento $\leq 0,7$ persone/m²; ● tutti i piani dell'attività situati a quota compresa tra -10 m e 54 m; ● carico di incendio specifico $q_f \leq 600$ MJ/m²; ● non si detengono o trattano sostanze o miscele pericolose in quantità significative; ● non si effettuano lavorazioni pericolose ai fini dell'incendio.
III	Ambiti non ricompresi negli altri criteri di attribuzione.
IV	In relazione alle risultanze della valutazione del rischio nell'ambito e in ambiti limitrofi della stessa attività (es. ambiti o attività con elevato affollamento, ambiti o attività con geometria complessa o piani interrati, elevato carico di incendio specifico q_f , presenza di sostanze o miscele pericolose in quantità significative, presenza di lavorazioni pericolose ai fini dell'incendio, presenza di inneschi significativi,...).

Tabella 43. Criteri di attribuzione dei livelli di prestazione S.7

Livello di prestazione	Descrizione
I	Rivelazione e diffusione dell'allarme di incendio mediante sorveglianza degli ambiti da parte degli occupanti dell'attività.
II	Rivelazione manuale dell'incendio mediante sorveglianza degli ambiti da parte degli occupanti dell'attività e conseguente diffusione dell'allarme.
III	Rivelazione automatica dell'incendio e diffusione dell'allarme mediante sorveglianza di ambiti dell'attività.
IV	Rivelazione automatica dell'incendio e diffusione dell'allarme mediante sorveglianza dell'intera attività.

Tabella 44. Livelli di prestazione S.7

Il livello di prestazione I non prevede la realizzazione di un sistema di rivelazione manuale o automatico dell'incendio e conseguente diffusione dell'allarme, ma la rivelazione e diffusione dell'allarme di incendio mediante sorveglianza da parte degli occupanti dell'attività.

La soluzione conforme al livello di prestazione I prevede la soddisfazione delle prescrizioni riportate nella seguente tabella, dove vengono riportate tutte le funzioni che deve o non deve possedere l'eventuale IRAI in funzione del livello di prestazione determinato.

Livello di prestazione	Aree sorvegliate	Funzioni minime degli IRAI		Funzioni di evacuazione ed allarme	Funzioni di impianti [1]
		Funzioni principali	Funzioni secondarie		
I	-	[2]		[3]	[4]
II	-	B, D, L, C	-	[9]	[4]
III	[12]	A, B, D, L, C	E, F [5], G, H, N [6]	[9]	[4] o [11]
IV	Tutte	A, B, D, L, C	E, F [5], G, H, M [7], N, O [8]	[9] o [10]	[11]

[1] Funzioni di avvio protezione attiva ed arresto o controllo di altri impianti o sistemi.
 [2] Non sono previste funzioni, la rivelazione e l'allarme sono demandate agli occupanti.
 [3] L'allarme è trasmesso tramite segnali convenzionali codificati nelle procedure di emergenza (es. a voce, suono di campana, accensione di segnali luminosi, ...) comunque percepibili da parte degli occupanti.
 [4] Demandate a procedure operative nella pianificazione d'emergenza.
 [5] Funzioni E ed F previste solo quando è necessario trasmettere e ricevere l'allarme incendio.
 [6] Funzioni G, H ed N non previste ove l'avvio dei sistemi di protezione attiva e controllo o arresto altri impianti sia demandato a procedure operative nella pianificazione d'emergenza.
 [7] Funzione M prevista solo se richiesta l'installazione di un EVAC.
 [8] Funzione O prevista solo in attività dove si prevedono applicazioni domotiche (*building automation*).
 [9] Con dispositivi di diffusione visuale e sonora o altri dispositivi adeguati alle capacità percettive degli occupanti ed alle condizioni ambientali (es. segnalazione di allarme ottica, a vibrazione, ...).
 [10] Per elevati affollamenti, geometrie complesse, può essere previsto un sistema EVAC secondo norma UNI ISO 7240-19.
 [11] Automatiche su comando della centrale o mediante centrali autonome di azionamento (asservite alla centrale master), richiede le funzioni secondarie E, F, G, H ed N della EN 54-1.
 [12] Spazi comuni, vie d'esodo (anche facenti parte di sistema d'esodo comune) e spazi limitrofi, compartimenti con profili di rischio R_{vta} in Cii1, Cii2, Cii3, Ciii1, Ciii2, Ciii3, D1 e D2, aree dei beni da proteggere, aree a rischio specifico.

Tabella 45. Soluzioni conformi per rivelazione ed allarme incendio

Le funzioni principali sono spiegate nella seguente tabella.

A, Rivelazione automatica dell'incendio
B, Funzione di controllo e segnalazione
D, Funzione di segnalazione manuale
L, Funzione di alimentazione
C, Funzione di allarme incendio

Tabella 46. Funzioni principali degli IRAI secondo EN 54-1 e UNI 9795

Per la rivelazione e la diffusione dell'allarme incendio non sono previste funzioni, l'operazione viene demandata alla sorveglianza da parte degli occupanti devono essere codificate idonee procedure finalizzate al rapido e sicuro allertamento degli occupanti in caso di incendio nella procedure di emergenza. Mentre per quanto riguarda la funzione di evacuazione ed allarme questo viene trasmesso tramite segnali convenzionali codificati nelle procedure di emergenza (es. a voce, suono di campana, accensione di segnali luminosi).

Per le funzioni degli impianti, ovvero per le funzioni di avvio dei sistemi di protezione attiva ed arresto o controllo di altri impianti o sistemi, si rimanda alle procedure operative nella pianificazione dell'emergenza.

CONTROLLO DI FUMI E CALORE

La presene misura antincendio ha come scopo l'individuazione dei presidi antincendio da installare nell'attività per consentire il controllo, l'evacuazione o lo smaltimento dei prodotti della combustione in caso d'incendio.

La RTV fornisce le seguenti indicazioni:

1. Ciascuna apertura di smaltimento deve avere superficie utile minima commisurata alla superficie lorda del compartimento e, comunque, non inferiore a $0,2 \text{ m}^2$.
2. Almeno il 10% di SE deve essere di tipo SEa, SEb o SEc. L'uniforme distribuzione di tali aperture di smaltimento può essere verificata con $R_{offset} = 30 \text{ m}$.
3. In presenza di box auto privi di aperture di smaltimento, provvedere gli eventuali serramenti di aperture in alto e in basso di superficie utile complessiva non inferiore a 1/100 della superficie lorda in pianta del box.

Passando alla RTO si determina il livello di prestazione dalla seguente tabella.

Livello di prestazione	Criteri di attribuzione
I	Compartimenti dove siano verificate <i>tutte</i> le seguenti condizioni: <ul style="list-style-type: none"> • non adibiti ad attività che comportino presenza di occupanti, ad esclusione di quella occasionale e di breve durata di personale addetto; • carico di incendio specifico $q_f \leq 600 \text{ MJ/m}^2$; • per compartimenti con $q_f > 200 \text{ MJ/m}^2$: superficie lorda $\leq 25 \text{ m}^2$; • per compartimenti con $q_f \leq 200 \text{ MJ/m}^2$: superficie lorda $\leq 100 \text{ m}^2$; • non si detengono o trattano sostanze o miscele pericolose in quantità significative; • non si effettuano lavorazioni pericolose ai fini dell'incendio.
II	Compartimento non ricompreso negli altri criteri di attribuzione.
III	In relazione alle risultanze della valutazione del rischio nell'ambito e in ambiti limitrofi della stessa attività (es. attività con elevato affollamento, attività con geometria complessa o piani interrati, elevato carico di incendio specifico q_f , presenza di sostanze o miscele pericolose in quantità significative, presenza di lavorazioni pericolose ai fini dell'incendio, ...).

Tabella 47. Criteri di attribuzione dei livelli di prestazione S.8

Livello di prestazione	Descrizione
I	Nessun requisito
II	Deve essere possibile smaltire fumi e calore dell'incendio dai compartimenti al fine di facilitare le operazioni delle squadre di soccorso.
III	Deve essere mantenuto nel compartimento uno strato libero dai fumi che permetta: <ul style="list-style-type: none"> • la salvaguardia degli occupanti e delle squadre di soccorso, • la protezione dei beni, se richiesta. Fumi e calore generati nel compartimento non devono propagarsi ai compartimenti limitrofi.

Tabella 48. Livelli di prestazione S.8

Le soluzioni conformi prevedono che per ogni compartimento sia possibile effettuare lo smaltimento di fumo e calore d'emergenza in modo tale che faciliti le operazioni di estinzione dei soccorritori.

Le aperture di smaltimento devono essere tali da:

1. smaltire fumo e calore da tutti gli ambiti del compartimento;
2. non permettere che fumo e calore smaltiti non interferiscano con il sistema delle vie di esodo e non propaghino l'incendio verso altri locali, piani o compartimenti.

Considerando le aperture già presenti nell'autorimessa, quest'ultimo requisito non è soddisfatto. Le griglie di aerazione presenti nel solaio del secondo piano interrato potrebbero causare la propagazione dei fumi verso il primo piano interrato, e questo sicuramente non faciliterebbe le operazioni dei soccorritori.

In questo caso è quindi necessario affrontare la soluzione del problema in soluzione alternativa, tramite l'applicazione del metodo della Fire Safety Engineering, e quindi applicando la procedura illustrata nella sezione M del Codice, verificando che sia sempre garantita l'accessibilità protetta per i soccorritori a tutti i piani dell'attività e la disponibilità in prossimità di attrezzature e dispositivi di protezione antincendio.

Oggetto della soluzione	Modalità progettuale
Aperture di smaltimento di fumo e calore d'emergenza (§ S.8.5)	Si dimostri, anche con metodi analitici, che i soccorritori possano smaltire fumo e calore dell'incendio nella configurazione considerata o grazie ad un impianto di smaltimento meccanico. Possono essere impiegati i metodi di progettazione descritti nell'Appendice G "Smaltimento di fumo e calore di emergenza" della norma UNI 9494-1 e nell'Appendice H "Requisiti dei sistemi meccanici per lo smaltimento del fumo e calore di emergenza" della norma UNI 9494-2.
Distribuzione uniforme delle aperture di smaltimento (§ S.8.5.3)	Sia garantita l'accessibilità protetta per i soccorritori a tutti i piani dell'attività e la disponibilità in prossimità di attrezzature e dispositivi di protezione antincendio, oppure si dimostri il raggiungimento degli obiettivi di sicurezza per i soccorritori impiegando i metodi di cui al capitolo M.3.
Caratteristiche degli SVOF (§ S.8.6)	In assenza di norme, TS o TR adottati dall'ente nazionale di normazione, possono essere utilizzati i principi di progettazione e le modalità di installazione e gestione contenute in prCEN/TS 12101-11.
Tutti i casi	Si dimostri il raggiungimento degli obiettivi di sicurezza per gli occupanti ed i soccorritori impiegando i metodi di cui al capitolo M.3.

Tabella 49. Modalità progettuali per soluzioni alternative S.8

Tale procedimento verrà presentato nel capitolo successivo del presente documento, una volta terminata l'analisi di tutte le strategie antincendio previste dal Codice nella sezione S.

Deve comunque essere verificato il requisito relativo alla dimensione delle aperture di smaltimento.

Nella tabella 50 è riportato tale requisito, espresso in funzione del carico d'incendio specifico di progetto dell'attività.

Tipo di dimensionamento	Carico di incendio specifico q_f	SE [1] [2]	Requisiti aggiuntivi
SE1	$q_f \leq 600 \text{ MJ/m}^2$	$A / 40$	-
SE2	$600 < q_f \leq 1200 \text{ MJ/m}^2$	$A \cdot q_f / 40000 + A / 100$	-
SE3	$q_f > 1200 \text{ MJ/m}^2$	$A / 25$	10% di SE di tipo SEa o SEb o SEc
[1] Con SE superficie utile delle aperture di smaltimento in m^2			
[2] Con A superficie lorda di ciascun piano del compartimento in m^2			

Tabella 50. Criteri di dimensionamento per le aperture di smaltimento

Considerando che l'autorimessa ha un carico d'incendio specifico di progetto $< 600 \text{ MJ/m}^2$, il requisito da rispettare prevede che la superficie complessiva data dalla somma di tutte le aperture di smaltimento sia maggiore rispetto alle superficie lorda dell'autorimessa divisa per 40.

Le aperture presenti nel solaio del secondo piano interrato non possono essere prese in considerazione in questo calcolo in quanto non permettono lo smaltimento dei fumi dall'autorimessa, ma solo il passaggio dal secondo piano interrato al primo. Rimangono quindi le aperture presenti nel solaio del primo piano interrato e le aperture delle rampe di accesso all'autorimessa. Le due rampe di accesso dal piano terra hanno una superficie verticale pari rispettivamente a $3,3 \times 4,5 \text{ m}$ e $2,8 \times 6,0 \text{ m}$, per un totale di $31,65 \text{ m}^2$. Inoltre sono presenti altre

aperture su spazio a cielo libero sopra le rampe che collegano i due piani interrati. Queste aperture hanno dimensioni pari a 2,75x3,5 m, 2,85x4,5 m e 3,8x4,5 m. Quest'ultima però si trova di fronte alla rampa di accesso dalla via pubblica e l'aria entra nell'autorimessa attraverso una terza apertura che si trova a valle delle prime due, e che è stata considerata quindi per il calcolo; la sua dimensione è pari a 2,75x8 m. La somma di tutte le aperture di smaltimento grigliate presenti nel solaio è pari a 296 m². Si ottiene quindi una superficie complessiva di smaltimento dei fumi pari a 357,3 m², che deve essere confrontata con il seguente valore:

$$\frac{A}{40} = \frac{6892}{40} = 172,3 \text{ m}^2$$

La verifica risulta soddisfatta.

OPERATIVITA' ANTINCENDIO

L'operatività antincendio ha lo scopo di agevolare l'efficace conduzione di interventi di soccorso dei Vigili de Fuoco.

Come per la strategia della rivelazione ed allarme, anche in questo caso non sono presenti indicazioni nella RTV.

Si determina il livello di prestazione in modo tradizionale dalla RTO, da cui si ottiene un livello di prestazione III.

Livello di prestazione	Criteri di attribuzione
I	Non ammesso nelle attività soggette
II	Opere da costruzione dove siano verificate <i>tutte</i> le seguenti condizioni: <ul style="list-style-type: none"> ● profili di rischio: <ul style="list-style-type: none"> ○ R_{vita} compresi in A1, A2, B1, B2; ○ R_{beni} pari a 1; ○ $R_{ambiente}$ non significativo; ● densità di affollamento $\leq 0,2$ persone/m²; ● tutti i piani dell'attività situati a quota compresa tra -5 m e 12 m; ● carico di incendio specifico $q_f \leq 600$ MJ/m²; ● per compartimenti con $q_f > 200$ MJ/m²: superficie lorda ≤ 4000 m²; ● per compartimenti con $q_f \leq 200$ MJ/m²: superficie lorda qualsiasi; ● non si detengono o trattano sostanze o miscele pericolose in quantità significative; ● non si effettuano lavorazioni pericolose ai fini dell'incendio.
III	Opere da costruzione non ricomprese negli altri criteri di attribuzione.
IV	Opere da costruzione dove sia verificata <i>almeno una</i> delle seguenti condizioni: <ul style="list-style-type: none"> ● profilo di rischio R_{beni} compreso in 3, 4; ● se aperta al pubblico: affollamento complessivo > 300 occupanti; ● se non aperta al pubblico: affollamento complessivo > 1000 occupanti; ● numero totale di posti letto > 100 e profili di rischio R_{vita} compresi in D1, D2, Ciii1, Ciii2, Ciii3; ● si detengono o trattano sostanze o miscele pericolose in quantità significative ed affollamento complessivo > 25 occupanti; ● si effettuano lavorazioni pericolose ai fini dell'incendio ed affollamento complessivo > 25 occupanti.

Tabella 51. Criteri di attribuzione dei livelli di prestazione S.9

Livello di prestazione	Descrizione
I	Nessun requisito
II	Accessibilità per mezzi di soccorso antincendio
III	Accessibilità per mezzi di soccorso antincendio Pronta disponibilità di agenti estinguenti Possibilità di controllare o arrestare gli impianti tecnologici e di servizio dell'attività, compresi gli impianti di sicurezza
IV	Accessibilità per mezzi di soccorso antincendio Pronta disponibilità di agenti estinguenti Possibilità di controllare o arrestare gli impianti tecnologici e di servizio dell'attività, compresi gli impianti di sicurezza Accessibilità protetta per i Vigili del fuoco a tutti i piani dell'attività Possibilità di comunicazione affidabile per soccorritori

Tabella 52. Livelli di prestazione S.9

Le soluzioni conformi prevedono che sia perennemente assicurata la possibilità di avvicinare i mezzi di soccorso antincendio, adeguati al rischio d'incendio, a distanza ≤ 50 m dagli accessi per i soccorritori dell'attività.

Questo requisito viene rispettato in quanto l'edificio affianca due vie pubbliche dove possono sostare i mezzi dei Vigili del Fuoco. Inoltre i quadri elettrici e i pulsanti di sgancio sono posti in posizioni strategiche, protette e facilmente raggiungibili. La loro posizione può essere visionata facilmente negli Allegati I e II.

Per consentire l'intervento dell'autoscala dei Vigili del Fuoco, gli accessi all'attività dalla via pubblica devono possedere i requisiti sintetizzati nella seguente tabella.

<p>Larghezza: 3,50 m; Altezza libera: 4,00 m; Raggio di volta: 13,00 m; Pendenza: $\leq 10\%$; Resistenza al carico: almeno 20 tonnellate, di cui 8 sull'asse anteriore e 12 sull'asse posteriore con passo 4 m.</p>

Figura 14. Requisiti minimi degli accessi all'attività da pubblica via per mezzi di soccorso

Inoltre deve comunque essere assicurata la possibilità d'accostamento agli edifici dell'autoscala sviluppata come in Figura 15 ad almeno una finestra o balcone di ogni piano a quota > 12 m.

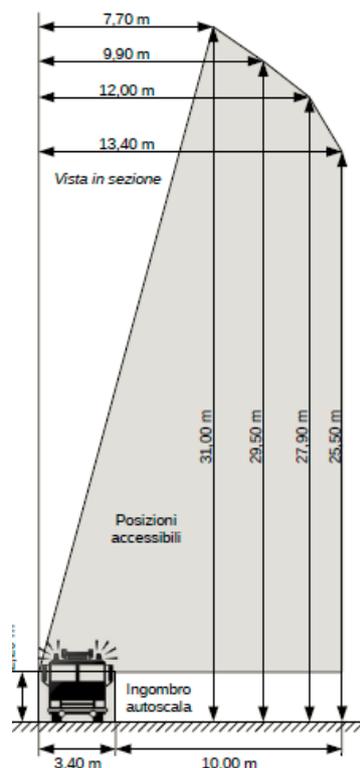


Figura 15. Sviluppo autoscala e posizioni accessibili

SICUREZZA DEGLI IMPIANTI TECNOLOGICI E DI SERVIZIO

Ai fini della sicurezza antincendio devono essere considerati almeno i seguenti impianti tecnologici e di servizio:

- produzione, trasformazione, trasporto, distribuzione e di utilizzazione dell'energia elettrica;
- protezione contro le scariche atmosferiche;

- sollevamento o trasporto di cose e persone;
- deposito, trasporto, distribuzione e utilizzazione di solidi, liquidi e gas combustibili, infiammabili e comburenti;
- riscaldamento, climatizzazione, condizionamento e refrigerazione, comprese le opere di evacuazione dei prodotti della combustione, e di ventilazione ed aerazione dei locali.

Nella RTV vengono fornite alcune indicazioni riguardanti le autorimesse con accesso tramite montauto. Tale soluzione tecnologica non è presente nell'autorimessa oggetto di studio, quindi si è svolta direttamente l'analisi secondo la RTO.

Per questa strategia antincendio è presente un unico livello di prestazione per tutte le attività.

Livello di prestazione	Descrizione
I	Impianti progettati, realizzati, eserciti e mantenuti in efficienza secondo la regola d'arte, in conformità alla regolamentazione vigente, con requisiti di sicurezza antincendio specifici.

Tabella 53. Livelli di prestazione S.10

Le soluzioni conformi indicano l'ammissibilità di tutti gli impianti tecnologici e di servizio progettati, installati, verificati, eserciti e mantenuti a regola d'arte, in conformità alla regolamentazione vigente, secondo le norme applicabili. Questi impianti devono però garantire i seguenti obiettivi di sicurezza antincendio:

1. limitare la probabilità di costituire causa di incendio o di esplosione;
2. limitare la propagazione di un incendio all'interno degli ambienti di installazione e contigui;
3. non rendere inefficaci le altre misure antincendio, con particolare riferimento agli elementi di compartimentazione;
4. consentire agli occupanti di lasciare gli ambienti in condizione di sicurezza;
5. consentire alle squadre di soccorso di operare in condizioni di sicurezza;
6. essere disattivabili, o altrimenti gestibili, a seguito di incendio.

La gestione e la disattivazione di impianti tecnologici e di servizio, anche quelli destinati a rimanere in servizio durante l'emergenza, deve poter essere effettuata da posizioni protette, segnalate e facilmente raggiungibili, e deve essere prevista e descritta nel piano di emergenza.

Oltre a queste indicazioni il Codice prevede delle prescrizioni tecniche aggiuntive di sicurezza antincendio che si applicano alle specifiche tipologie di impianti tecnologici e di servizio.

Gli impianti per la produzione, trasformazione, trasporto, distribuzione e di utilizzazione dell'energia elettrica devono possedere caratteristiche strutturali e possibilità d'intervento, individuate nel piano di emergenza, tali da non costituire pericolo durante le operazioni di estinzione dell'incendio e di messa in sicurezza dell'attività. I quadri elettrici possono essere installati lungo le vie di esodo a condizione che non costituiscano ostacolo al deflusso degli occupanti. Qualora questi siano installati in ambienti aperti al pubblico devono essere protetti almeno con una porta frontale con chiusura a chiave. Nel Codice è presente anche una tabella in

cui sono riportate le autonomie minime e i tempi di interruzione dell'alimentazione elettrica di sicurezza per le diverse tipologie di impianto.

Utenza	Interruzione	Autonomia
Illuminazione di sicurezza, IRAI, sistemi di comunicazione in emergenza	Interruzione breve ($\leq 0,5$ s)	> 30' [1]
Scale e marciapiedi mobili utilizzati per l'esodo [3], ascensori antincendio, SEFC	Interruzione media (≤ 15 s)	> 30' [1]
Sistemi di controllo o estinzione degli incendi	Interruzione media (≤ 15 s)	> 120' [2]
Ascensori di soccorso	Interruzione media (≤ 15 s)	> 120'
Altri Impianti	Interruzione media (≤ 15 s)	> 120'
[1] L'autonomia deve essere comunque congrua con il tempo disponibile per l'esodo dall'attività [2] L'autonomia può essere inferiore e pari al tempo di funzionamento dell'impianto [3] Solo se utilizzate in movimento durante l'esodo		

Tabella 54. Autonomia minima e interruzione dell'alimentazione elettrica di sicurezza

Tutti gli impianti di sollevamento e trasporto di cose e persone non specificatamente progettati per funzionare in caso di incendio, devono essere dotati di accorgimenti gestionali, organizzativi e tecnici che ne impediscano l'utilizzo in caso di emergenza.

Per quanto riguarda gli impianti di distribuzione dei gas combustibili, le condutture principali a valle dei punti di consegna quando raggiungono un'opera da costruzione, devono essere installate a vista ed all'esterno dell'opera da costruzione servita.

Gli impianti di condizionamento o di ventilazione devono possedere requisiti che garantiscano il raggiungimento dei seguenti ulteriori specifici obiettivi:

1. evitare il ricircolo dei prodotti della combustione o di altri gas ritenuti pericolosi;
2. non produrre, a cause di avarie o guasti propri, fumi che si diffondano nei locali serviti;
3. non costituire elemento di propagazione di fumi o fiamme, anche nella fase iniziale degli incendi.

6. FIRE SAFETY ENGINEERING - APPROCCIO PRESTAZIONALE

Come già detto nella trattazione del capitolo S.8, relativo al controllo fumi e calore, nella sezione delle strategie antincendio, non è possibile verificare in soluzione conforme i requisiti di sicurezza antincendio previsti dal Codice di Prevenzione Incendi.

6.1 ANALISI PRELIMINARE

6.1.1 INDIVIDUAZIONE DELLA CRITICITA'

Le soluzioni alternative fornite dal Codice sono quelle rappresentate in Tabella 49. Tra le quattro alternative possibili l'oggetto della soluzione da dimostrare è la "*Distribuzione uniforme delle aperture di smaltimento*", in modo tale che queste assicurino la fuoriuscita dei fumi e del calore dal secondo piano interrato verso spazio scoperto, pur attraversando il primo piano interrato. Per fare ciò il Codice indica due modalità progettuali di verifica:

1. garantire l'accessibilità protetta per i soccorritori a tutti i piani dell'attività e la disponibilità in prossimità di attrezzature e dispositivi di protezione antincendio;
2. dimostrare il raggiungimento degli obiettivi di sicurezza per i soccorritori impiegando i metodi illustrati nel capitolo M.3 del Codice.

La scelta ricade sull'applicazione della Fire Safety Engineering, ricordando che l'obiettivo di sicurezza è sempre legato al livello di prestazione definito precedentemente, che impone la possibilità di smaltire fumi e calore dell'incendio dai compartimenti al fine di facilitare le operazioni delle squadre di soccorso.

6.1.2 DEFINIZIONE DEGLI OBIETTIVI DI SICUREZZA ANTINCENDIO

Dovendo facilitare le operazioni delle squadre di soccorso, l'obiettivo è sicuramente quello della "*Salvaguardia della vita*". Il Codice distingue in due differenti obiettivi la salvaguardia della vita degli occupanti da quella dei soccorritori. In questo caso si dimostrerà la salvaguardia della vita dei soccorritori, prestando comunque attenzione a non raggiungere condizioni sfavorevoli nei primi istanti delle simulazioni, in cui avviene l'esodo degli occupanti, che non devono comunque essere esposti a rischi di incapacitazione per riduzione della visibilità, esposizione a fiamme libere o a temperature elevate, intossicazione da fumi e gas tossici.

Obiettivo di sicurezza antincendio	Durata minima degli scenari di incendio di progetto
Salvaguardia della vita degli occupanti	Dall'evento iniziatore fino al momento in cui tutti gli occupanti dell'attività raggiungono o permangono in un luogo sicuro. Se il luogo sicuro è prossimo o interno all'opera da costruzione, devono essere valutate eventuali interazioni tra il mantenimento della capacità portante dell'opera da costruzione ed il luogo sicuro.
Salvaguardia della vita dei soccorritori	Dall'evento iniziatore fino a 5 minuti dopo il termine delle operazioni previste per i soccorritori o l'arrivo delle squadre dei Vigili del fuoco presso l'attività. Il tempo di riferimento per l'arrivo dei Vigili del fuoco può essere assunto pari alla media dei tempi d'arrivo desunti dall'Annuario statistico dei Vigili del fuoco (http://www.vigilfuoco.it), considerando i dati dell'ultimo anno disponibile, riferiti all'ambito provinciale.
Mantenimento della capacità portante in caso d'incendio	Dall'evento iniziatore fino all'arresto dell'analisi strutturale, in fase di raffreddamento, al momento in cui gli effetti dell'incendio sono ritenuti non significativi in termini di variazione temporale delle caratteristiche della sollecitazione e degli spostamenti

Tabella 55. Obiettivi di sicurezza e durata minima degli scenari d'incendio di progetto

Come si può essere in Tabella 55 il Codice prevede che gli scenari di incendio di progetto sviluppati per verificare la salvaguardia della vita degli occupanti debbano avere una durata complessiva che parte dall'evento iniziatore, ovvero dall'inizio dell'incendio, fino a 5 minuti dopo il termine delle operazioni previste per i soccorritori, se prevista la loro presenza, o dopo l'arrivo delle squadre dei Vigili del Fuoco presso l'attività.

L'autorimessa, non essendo un'attività lavorativa, non ha l'obbligo di presenza di soccorritori, ovvero di personale addetto formato specificatamente per rispondere alle situazioni di emergenza. Per questo motivo si è considerato come istante finale l'arrivo delle squadre dei Vigili, determinato, come consigliato dal Codice, dall'Annuario statistico dei Vigili del Fuoco, considerando l'ultimo anno disponibile (2020), riferito all'ambito provinciale.

Regione	Provincia	Tempi Medi in minuti di Arrivo sul luogo dell'intervento (uscita sede - arrivo sul luogo)				Durate medie in minuti degli interventi di soccorso (inizio-chiusura operazioni)			
		2020	Media (*)	Var % (**)	Var % (***)	2020	Media (*)	Var % (**)	Var % (***)
MOLISE	CAMPOBASSO	17,9	16,8	6,3%	1,7%	54,6	45,7	19,4%	35,2%
	ISERNIA	17,8	16,8	5,9%	1,6%	47,1	46,0	2,4%	4,2%
PIEMONTE	ALESSANDRIA	14,1	12,6	11,9%	5,9%	36,4	35,0	4,0%	4,6%
	ASTI	14,6	13,8	5,8%	7,1%	44,3	37,3	18,9%	29,1%
	BIELLA	14,8	14,6	1,1%	-9,5%	55,3	57,1	-3,1%	-5,6%
	CUNEO	16,9	14,5	16,5%	21,3%	60,6	49,0	23,7%	25,1%
	NOVARA	17,0	16,1	5,4%	2,0%	43,5	43,4	0,2%	3,7%
	TORINO	17,5	17,4	0,4%	-2,5%	48,1	46,1	4,3%	8,4%
	VERBANO-C.-O.	16,5	15,0	10,1%	2,6%	51,4	47,1	9,2%	17,6%
	VERCELLI	14,8	13,7	8,3%	6,7%	44,9	45,0	-0,2%	2,7%

Tabella 56. Tabella dall'Annuario statistico dei Vigili del Fuoco (2020)

L'annuario prevede un aumento del valore medio indicato nella Tabella 56 pari allo 0,4 %. Questo incremento è dovuto ad una variazione % dei valori medi di arrivo sul luogo delle squadre dei Vigili nell'anno di riferimento rispetto ai 5 anni precedenti. Inoltre bisogna aggiungere i 5 minuti di cui parla il Codice nella Tabella 55. Si ottiene quindi un valore pari a 22,47 minuti come fine ultimo degli scenari di incendio di progetto. Per trasformare questo valore in secondi si moltiplica per 60,

ottenendo un valore pari a 1348,2 secondi, quindi tutti gli scenari di incendio di progetto avranno una durata pari a 1350 secondi.

L'obiettivo della presente progettazione prestazionale è la verifica dei requisiti richiesti dal livello di prestazione II della strategia antincendio "*Controllo fumo e calore*". Dimostrando tali requisiti attraverso una soluzione alternativa, il Codice prevede specifiche modalità progettuali in funzione dell'oggetto della soluzione.

Oggetto della soluzione	Modalità progettuale
Aperture di smaltimento di fumo e calore d'emergenza (§ S.8.5)	Si dimostri, anche con metodi analitici, che i soccorritori possano smaltire fumo e calore dell'incendio nella configurazione considerata o grazie ad un impianto di smaltimento meccanico. Possono essere impiegati i metodi di progettazione descritti nell'Appendice G " <i>Smaltimento di fumo e calore di emergenza</i> " della norma UNI 9494-1 e nell'Appendice H " <i>Requisiti dei sistemi meccanici per lo smaltimento del fumo e calore di emergenza</i> " della norma UNI 9494-2.
Distribuzione uniforme delle aperture di smaltimento (§ S.8.5.3)	Sia garantita l'accessibilità protetta per i soccorritori a tutti i piani dell'attività e la disponibilità in prossimità di attrezzature e dispositivi di protezione antincendio, oppure si dimostri il raggiungimento degli obiettivi di sicurezza per i soccorritori impiegando i metodi di cui al capitolo M.3.
Caratteristiche degli SVOF (§ S.8.6)	In assenza di norme, TS o TR adottati dall'ente nazionale di normazione, possono essere utilizzati i principi di progettazione e le modalità di installazione e gestione contenute in prCEN/TS 12101-11.
Tutti i casi	Si dimostri il raggiungimento degli obiettivi di sicurezza per gli occupanti ed i soccorritori impiegando i metodi di cui al capitolo M.3.

Figura 16. Modalità progettuali per soluzioni alternative

L'oggetto della soluzione in questione è la distribuzione uniforme delle aperture di smaltimento, per il quale viene richiesta la garanzia di un'accessibilità protetta per i soccorritori a tutti i piani dell'attività e la disponibilità in prossimità di attrezzature e dispositivi di protezione antincendio. Tale requisito può essere dimostrato, congiuntamente al raggiungimento dell'obiettivo relativo allo specifico livello di prestazione, applicando i metodi illustrati nella sezione M del Codice.

In conclusione, l'obiettivo ultimo di questa progettazione è quello di verificare che, considerando i tempi di arrivo sul posto delle squadre dei Vigili del Fuoco, queste abbiano la possibilità di entrate tramite un ingresso protetto a tutti i piani dell'attività. Per fare questo si deve verificare che, qualunque sia la posizione del focolare, resti sempre disponibile almeno un accesso a tutti i piani dell'attività.

6.1.3 DEFINIZIONE DELLE SOGLIE DI PRESTAZIONE

Nella Tabella 57 vengono riportate le soglie previste nel Codice di Prevenzione Incendi per i diversi modelli, considerando il modello di calcolo avanzato. Le soglie si differenziano tra gli obiettivi di salvaguardia della vita degli occupanti e dei soccorritori.

Modello	Prestazione	Soglia di prestazione	Riferimento
Oscuramento della visibilità da fumo	Visibilità minima di pannelli riflettenti, non retroilluminati, valutata ad altezza 1,80 m dal piano di calpestio	Occupanti: 10 m Occupanti in locali di superficie lorda < 100m ² : 5 m	ISO 13571:2012
		Soccorritori: 5 m Soccorritori n locali di superficie lorda < 100m ² : 2,5 m	[1]
Gas tossici	FED, <i>fractional effective dose</i> e FEC, <i>fractional effective concentration</i> per esposizione a gas tossici e gas irritanti, valutata ad altezza 1,80 m dal piano di calpestio	Occupanti: 0,1	ISO 13571:2012, limitando a 1,1% la porzione di occupanti incapacitati al raggiungimento della soglia
		Soccorritori: nessuna valutazione	-
Calore	Temperatura massima di esposizione	Occupanti: 60°C	ISO 13571:2012
		Soccorritori: 80°C	[1]
Calore	Irraggiamento termico massimo da tutte le sorgenti (incendio, effluenti dell'incendio, struttura) di esposizione degli occupanti	Occupanti: 2,5 kW/m ²	ISO 13571:2012, per esposizioni inferiori a 30 minuti
		Soccorritori: 3 kW/m ²	[1]
[1] Ai fini di questa tabella, per soccorritori si intendono i componenti delle squadre aziendali opportunamente protetti ed addestrati alla lotta antincendio, all'uso dei dispositivi di protezione delle vie aeree, ad operare in condizioni di scarsa visibilità. Ulteriori indicazioni possono essere desunte ad esempio da documenti dell'Australian Fire Authorities Council (AFAC) per hazardous conditions.			

Tabella 57. Soglie di prestazione per il metodo di calcolo avanzato

Gli scenari di incendio di progetto verranno quindi verificati con riferimento alle soglie di prestazione riferite all'obiettivo di salvaguardia della vita dei soccorritori, ma si verificherà anche, mediante la modellazione delle simulazioni d'esodo, che durante l'evacuazione non vengano raggiunte le soglie di prestazione relative all'obiettivo di salvaguardia della vita degli occupanti nelle loro vicinanze.

La verifica di non raggiungimento di queste soglie di prestazione è stata analizzata tramite la predisposizione di *device* nel modello dell'incendio, che registrano ad intervalli regolari i valori di temperatura, visibilità, irraggiamento e FED. I risultati vengono poi forniti da *Pyrosim* in formato CSV, dove si possono verificare le variazioni nei diversi ambiti dell'attività.

6.1.4 INDIVIDUAZIONE DEGLI SCENARI D'INCENDIO DI PROGETTO

Analizzando tutti i possibili scenari di incendio come consiglia il Codice di Prevenzione Incendi, sono stati individuati quattro scenari di incendio di progetto, che rappresentano le quattro situazioni peggiori che potrebbero verificarsi all'interno dell'autorimessa. Il rischio di incendio preso in considerazione è esclusivamente quello legato ad un possibile corto circuito di un'automobile. I quattro scenari di progetto ipotizzano lo sviluppo dell'incendio in posizioni differenti dell'autorimessa, ma sempre al secondo piano interrato.

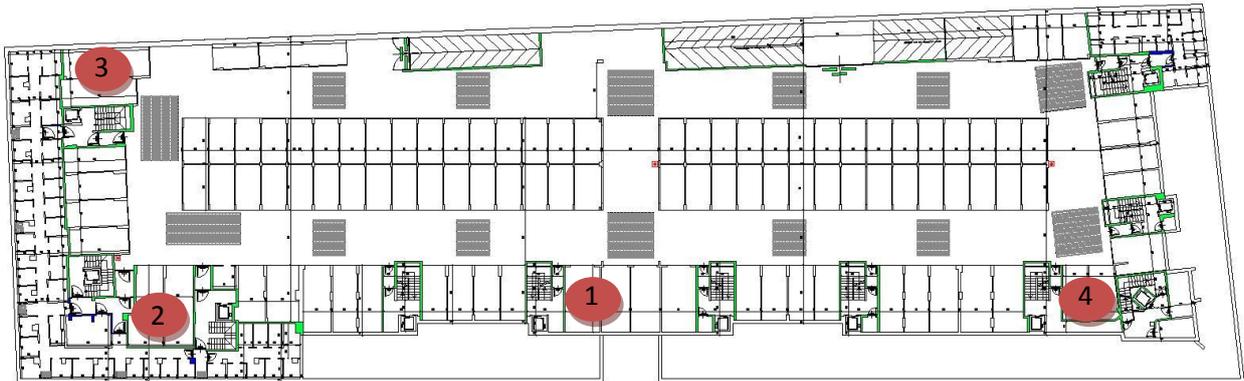


Figura 17. Posizione dei focolari dei 4 scenari di incendio di progetto

I quattro scenari di progetto non sono caratterizzati dallo stesso focolare.

Lo scenario 1 si sviluppa in un box auto singolo e il focolare è caratterizzato dalla curva RHR fornita dal Codice di Prevenzione incendi nella RTV V.6.

Gli scenari 2 e 3 si sviluppano in box auto doppi ed è stata considerata la presenza al loro interno di due macchine, una a combustione interna e l'altra elettrica. Il focolare è quindi caratterizzato da una curva RHR data dalla somma di due curve RHR, una per ogni auto, sfasate di 12 minuti, come prevede il Codice. In questo caso sono state considerate le curve RHR fornite da uno studio dell'INERIS, "National Institute of Industrial Environment and Risks", intitolato "Comparison of the fire consequences of an electric vehicle and an internal combustion engine vehicle".

Lo scenario 4 si sviluppa in un box singolo e il focolare in questo caso è quello predefinito del Codice di Prevenzione Incendi. Il focolare predefinito è stato considerato perché cresce più rapidamente rispetto ai focolari utilizzati negli altri scenari, pur arrivando ad un picco massimo di kW inferiore. Il Codice però non prevede la determinazione del tratto successivo al flashover per gli obiettivi di questa progettazione, quindi lo scenario viene analizzato per verificare esclusivamente la salvaguardia della vita degli occupanti in una situazione più gravosa nei primi istanti rispetto alle altre ipotizzate.

I quattro scenari sono riassunti nella seguente tabella.

N. SCENARIO	Tipologia curva HRR
SCENARIO 1	Curva HRR auto
SCENARIO 2	Curva HRR auto + auto elettrica
SCENARIO 3	Curva HRR auto + auto elettrica
SCENARIO 4	Focolare predefinito

Tabella 58. Scenari di incendio di progetto

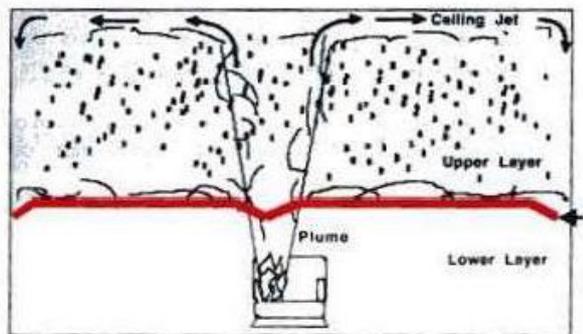
6.2 MODELLAZIONE DELL'INCENDIO

La modellazione è partita da alcuni disegni CAD, da cui è stata realizzato il modello 3D con il software Autodesk Revit. Finito il modello 3D e concluse le varie analisi delle normative, il passaggio successivo è stato quello della modellazione dell'incendio, in modo da verificare la soluzione alternativa per le aperture di smaltimento fumo e calore.

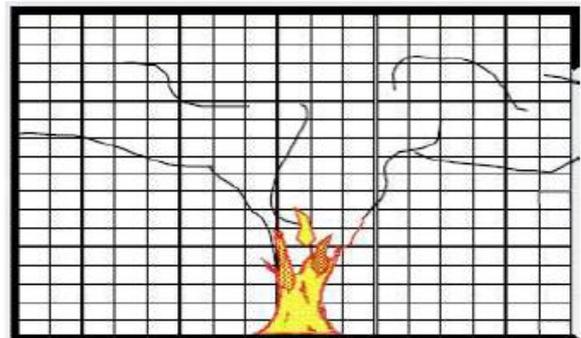
6.2.1 CREAZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO FDS

L'importazione del modello 3D all'interno del software Pyrosim è stata fatta mediante un file .ifc esportato direttamente da Revit. In questo modo tutti gli elementi geometrici del modello sono stati importati sul software di modellazione dell'incendio.

La modellazione dell'incendio può svolgersi attraverso l'utilizzo di modelli analitici o numerici. In questa analisi sono stati utilizzati i modelli numerici. Per quanto riguarda la simulazione dell'incendio esistono due modelli: "a zone" e "di campo".



Modello a zone



Modello di campo

Figura 18. Rappresentazione modelli a zone e modelli di campo

I modelli a zone sono più semplici e solitamente vengono utilizzati per ambienti confinati. Questa tipologia di modello simula la dinamica dell'incendio risolvendo le equazioni di conservazione della massa e dell'energia considerando principalmente due zone omogenee: quella superiore, dove ovviamente sono presenti i fumi e tutti i prodotti della combustione, e quella inferiore libera dai fumi e caratterizzata da una temperatura inferiore. In queste due zone quindi vengono considerate costanti alcune grandezze, come la temperatura, assumendo accettabile una semplificazione talmente grande da pregiudicarne decisamente i risultati. Proprio per questo i modelli a zone non sono idonei per sistemi complessi.

I modelli di campo invece sono i più adatti per svolgere studi su geometrie complesse. Questi modelli stimano l'incendio dividendo lo spazio in un numero di celle tridimensionali, che varia in base alla loro dimensione (definita dal progettista mediante apposito calcolo), all'interno delle quali vengono risolte le equazioni di conservazione della massa e dell'energia. I risultati sono sicuramente più precisi di quelli forniti dai modelli a zone, ma dipendono dalla dimensione delle celle; più sono piccole le celle, migliori sono i risultati, e ovviamente più lunghi diventano i tempi di simulazione.

Per quanto riguarda invece la simulazione dell'esodo esistono tre tipologie di modelli: il modello idraulico, il modello comportamentale e il modello di simulazione dell'esodo.

Il modello idraulico assimila l'occupante ad una particella di fluido e svolge l'analisi mediante applicazione delle leggi della fluidodinamica.

Il modello comportamentale si basa sulla previsione del comportamento degli occupanti tra sé stessi e con l'ambiente circostante, secondo alcune leggi comportamentali. Questo metodo è legato alla criticità intrinseca del comportamento umano, del tutto probabilistico ed irrazionale.

Il modello di simulazione dell'esodo si basa sia sul movimento che sul comportamento degli occupanti, andando a definire il movimento degli occupanti, o impostandolo in modo del tutto casuale, e cercando di caratterizzare ogni singolo occupanti sulla base delle sue caratteristiche biologiche, della posizione all'interno del compartimento e quindi rispetto al focolare ipotizzato.

Per lo studio di questa analisi si è svolta la simulazione dell'incendio attraverso il modello di campo, utilizzando il software Pyrosim, e la simulazione dell'esodo attraverso il modello di simulazione, utilizzando il software Pathfinder. Entrambi questi software sono stati realizzati dal NIST, "*National Institute of Standards and Technology*".

Pyrosim può essere definita come un'interfaccia grafica per Fire Dynamics Simulator (FDS).

FDS è un modello di calcolo di fluidodinamica computazionale (CFD), elaborato dal NIST. L'obiettivo di questi software è quello di prevedere gli incendi attraverso l'analisi delle seguenti grandezze: temperatura, fumo, monossido di carbonio, ecc.

Il primo passaggio per la definizione del modello FDS è il calcolo della dimensione delle celle, che formano la *mesh*, ovvero il dominio computazionale del modello. Sul web si trovano in diversi siti dei calcolatori precisi che forniscono in output la dimensione della cella, differenziando tre possibili soluzioni: grossolana, media, precisa. Per questa analisi si è deciso di utilizzare una dimensione della *mesh* pari alla soluzione grossolana, in quanto, dopo aver provato la soluzione media, ci si è accorti che i tempi di simulazione superavano le 72 ore, ed il processo sarebbe diventato troppo lungo a causa delle elevate dimensioni del fabbricato.

Di seguito sono riportate in figura le variabili in input per il calcolo delle celle e le tre soluzioni fornite dal calcolatore.

Enter the x, y, z dimensions (meters) and your expected HRR

X _{min}	<input type="text" value="0"/>	X _{max}	<input type="text" value="125.5"/>
Y _{min}	<input type="text" value="-2"/>	Y _{max}	<input type="text" value="42"/>
Z _{min}	<input type="text" value="-6"/>	Z _{max}	<input type="text" value="0"/>
Heat Release Rate (Q)	<input type="text" value="8100"/> kW		
Density (ρ _a)	<input type="text" value="1.204"/> kg / m ³		
Specific Heat (c _p)	<input type="text" value="1.005"/> kJ / kg-K		
Ambient Temperature (T _a)	<input type="text" value="293"/> K		
Gravity (g)	<input type="text" value="9.81"/> m / s ²		

Figura 19. Dati di input del calcolatore

The characteristic fire diameter D^* is 2.214

Coarse



When $D^*/dx = 4$: the suggested coarse cell size is 55.35 cm

Your MESH line for FDS is:

```
&MESH IJK=240,80,10, XB=0,125.5,-2,42,-6,0 /
```

You entered:

X_{min} : 0 X_{max} : 125.5

Y_{min} : -2 Y_{max} : 42

Z_{min} : -6 Z_{max} : 0

dx: 0.554

Your actual dx(es) are 0.523 0.55 0.6 (meters)

Your distances are 125.5 44 6 (meters)

Your total number of cells is 192,000

Figura 20. Soluzione grossolana

Moderate



When $D^*/dx = 10$: the suggested moderate cell size is 22.14 cm

Your MESH line for FDS is:

```
&MESH IJK=576,200,27, XB=0,125.5,-2,42,-6,0 /
```

You entered:

X_{min} : 0 X_{max} : 125.5

Y_{min} : -2 Y_{max} : 42

Z_{min} : -6 Z_{max} : 0

dx: 0.221

Your actual dx(es) are 0.218 0.22 0.222 (meters)

Your distances are 125.5 44 6 (meters)

Your total number of cells is 3,110,400

Figura 21. Soluzione moderata

Fine



When $D^*dx = 16$, the suggested fine cell size is 13.84 cm

Your MESH line for FDS is:

```
&MESH IJK=960,320,45, XB=0,125.5,-2,42,-6,0 /
```

You entered:

$X_{min}: 0$ $X_{max}: 125.5$

$Y_{min}: -2$ $Y_{max}: 42$

$Z_{min}: -6$ $Z_{max}: 0$

$dx: 0.138$

Your actual dx(es) are 0.131 0.138 0.133 (meters)

Your distances are 125.5 44 6 (meters)

Your total number of cells is 13,824,000

Figura 22. Soluzione precisa

La dimensione è stata quindi impostata pari a 0,5 m di lato di ogni cella quadrata. Il modello è stato diviso in più celle, in modo tale da poter sfruttare il comando *"Run Parallel"* in fase di lancio delle simulazioni, che permette di utilizzare i diversi processori del computer a suddividere l'analisi delle molteplici mesh nei vari processi, accelerando quindi il tempo di simulazione.

In Figura 23 è riportata a titolo esemplificativo le caratteristiche dimensionali di una delle *mesh* modellate.

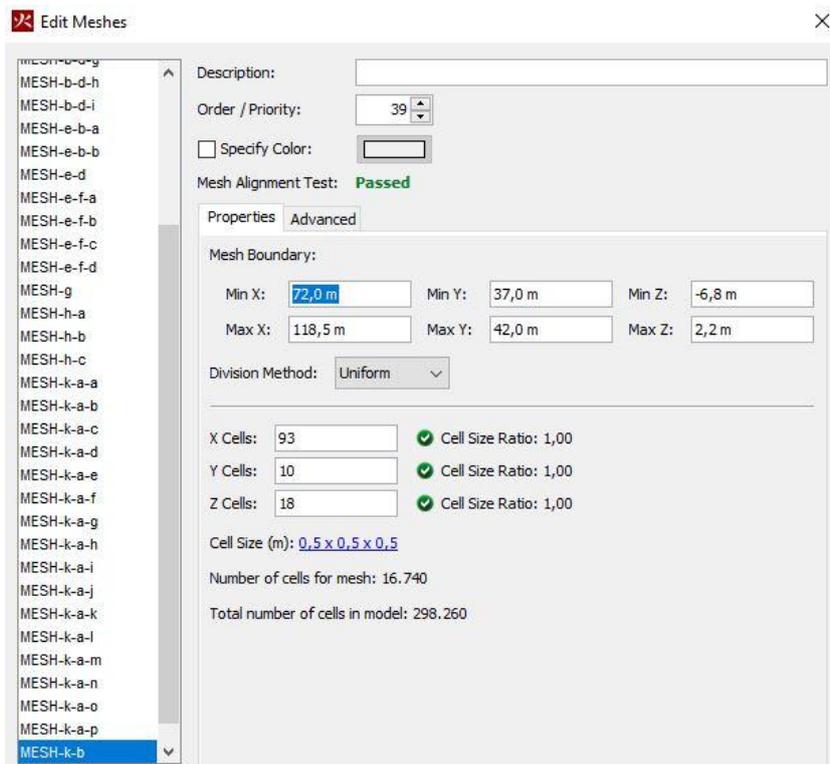


Figura 23. Dimensioni della mesh I-g

Le dimensioni sono state impostate pari a 0,5 m anche perché si è notata che impostando nei pressi del focolare una *mesh* di dimensioni pari a 0,25 m i risultati non contenevano differenze apprezzabili.

Successivamente attraverso il comando "*Open Mesh Boundaries*" sono state create le superfici di ventilazione sul confine esterno della *mesh*. Questo comando permette di modellare queste superfici su tutti i lati della *mesh*, ma essendo l'oggetto caso di studio un autorimessa interrata, l'unica fondamentale per i risultati è quella superiore (Zmax).

Per modellare le aperture di smaltimento dei fumi presenti nei solai dei piani interrati è stata utilizzata la funzione "*Hole*", attraverso il quale vengono realizzati dei veri e propri buchi nelle ostruzioni del modello.

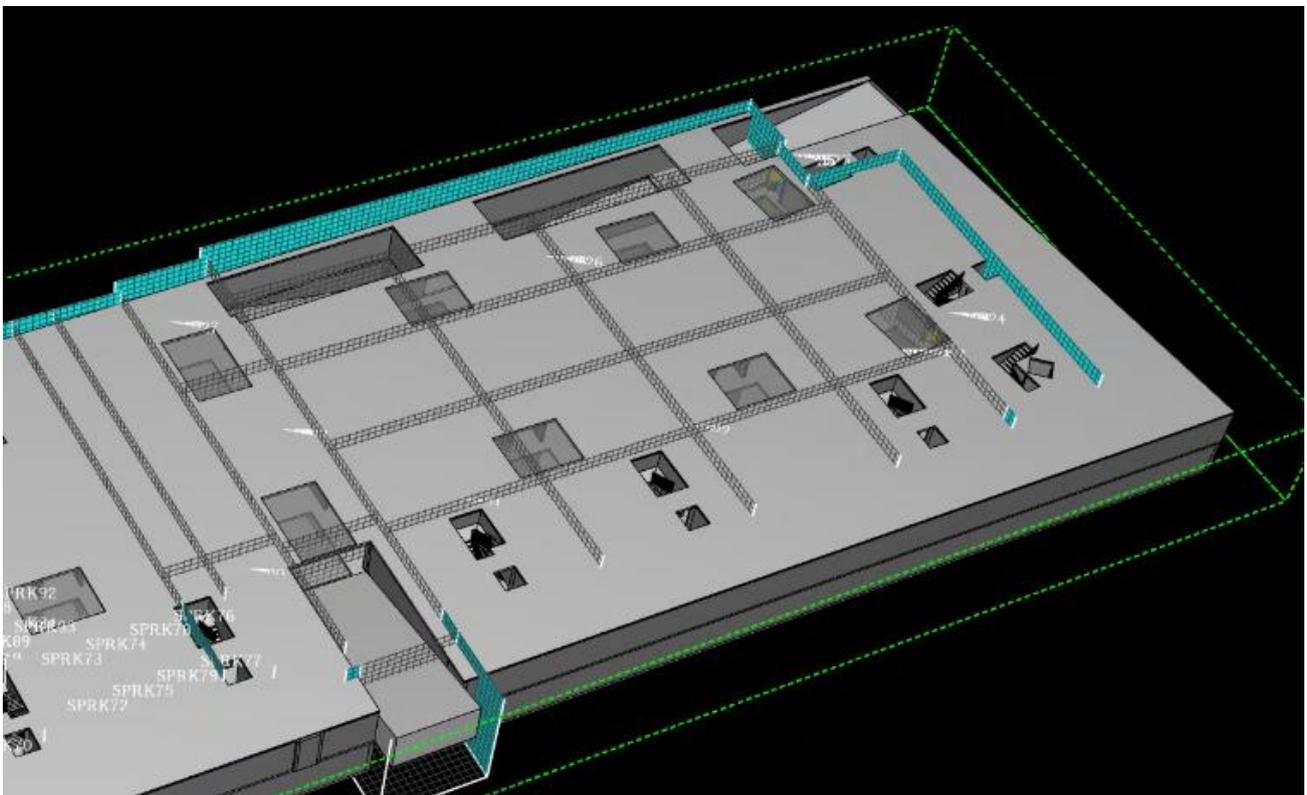


Figura 24. Rappresentazione di parte dell'autorimessa

Questa funzione è stata utilizzata anche per la modellazione dei portoni tagliafuoco inseriti seguendo le prescrizioni del Codice di Prevenzione Incendi al secondo piano interrato davanti alle rampe carrabili. In questo caso i "*Hole*" che rappresentano i portoni sono stati legati ad un "*Controllo*", che ne permette la chiusura in funzione dell'attivazione di un sensore di temperatura, posto nei pressi del portone tagliafuoco, come rappresentato il Figura 25.

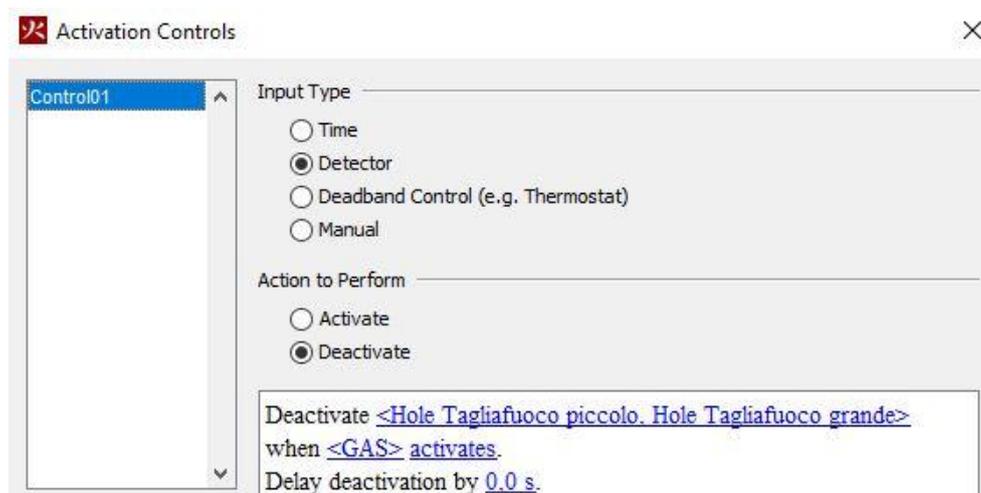


Figura 25. Funzione di controllo dei portoni tagliafuoco

6.2.2 CURVE HRR

Per lo svolgimento dei quattro scenari di incendio di progetto sono state utilizzate tre curve HRR differenti. Di seguito verranno riportate le fonti, la definizione e la costruzione delle curve stesse, e il loro inserimento all'interno del modello FDS.

SCENARIO 1

Per il primo scenario di incendio di progetto è stata utilizzata la curva presentata nel Codice di Prevenzione Incendi.

Tempo dopo l'innescio [s]	0	240	960	1440	1500	1620	2280	4200
RHR(t) [kW]	0	1400	1400	5500	8300	4500	1000	0

Figura 26. Curva HRR per un autoveicolo (Codice)

Questa risulta essere la curva più dannosa in termini di picco massimo, in quanto entro i 1500 secondi arriva ad un picco di 8300 kW. La curva è stata ricostruita, mediante l'utilizzo di un foglio di lavoro Excel.

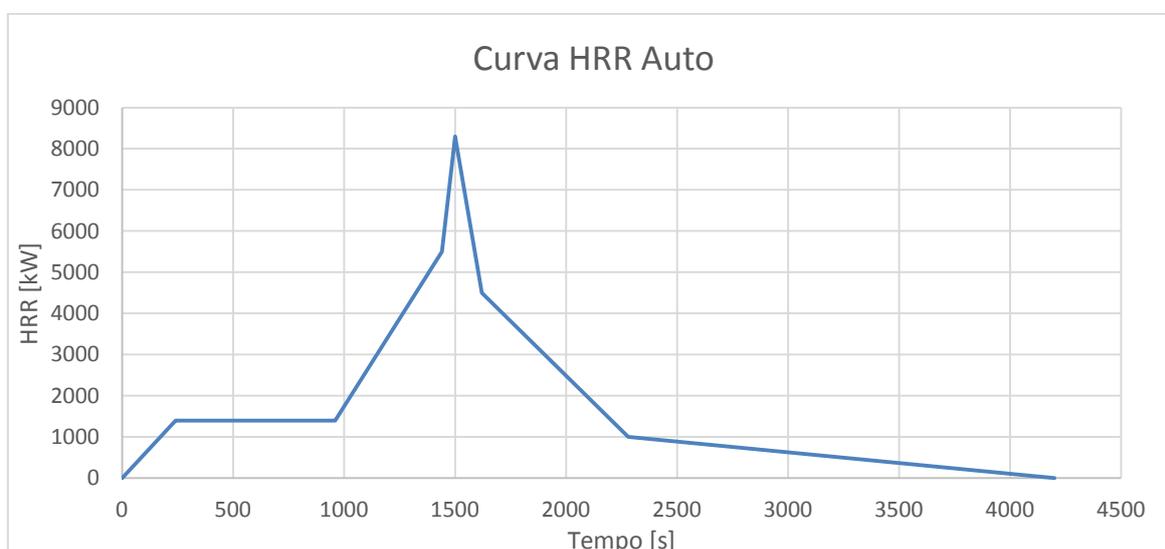


Figura 27. Curva HRR scenario 1

Di seguito sono riportati i valori di frazione utilizzati per l'inserimento all'interno del modello.

AUTO		
t	HRR	Frazione
0	0	0
240	1400	0.1686747
960	1400	0.1686747
1440	5500	0.6626506
1500	8300	1

Tabella 59. Vallori HRR e di Frazione

SCENARI 2 E 3

Per gli scenari 2 e 3 è stata utilizzata la stessa curva HRR. Questa curva è stata ritrovata in uno studio dell'INERIS ed è rappresentata nella seguente figura.

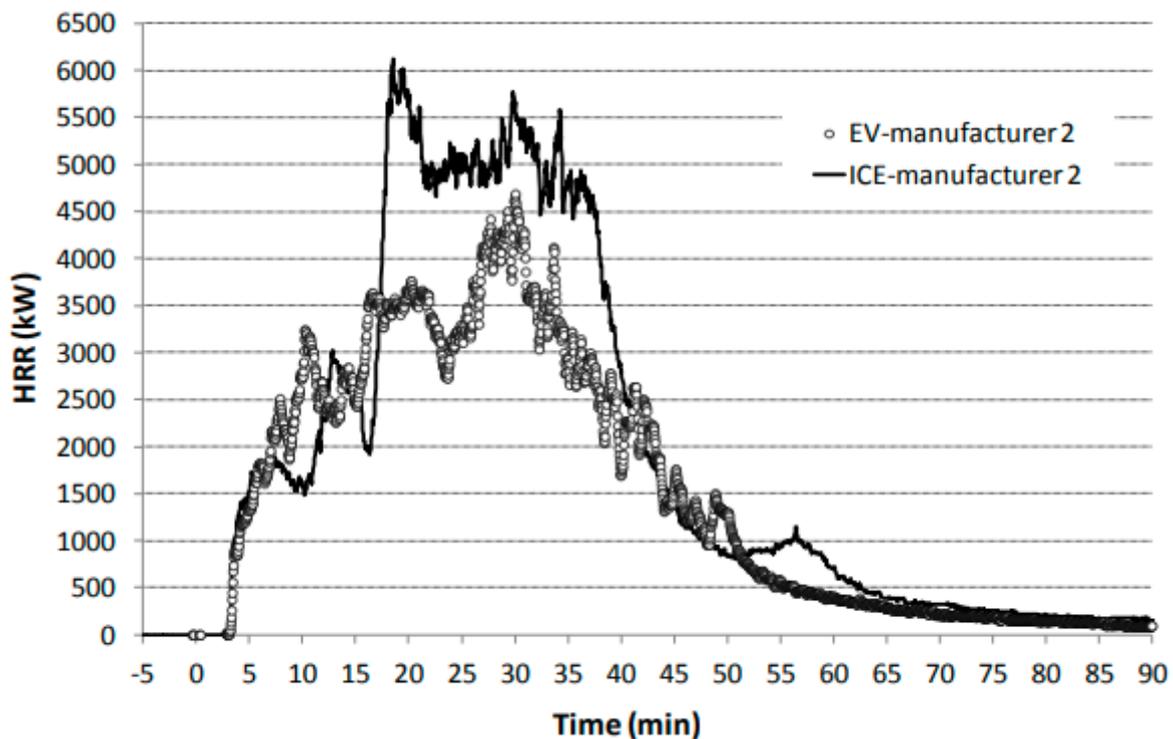


Figura 28. Curve HRR dell'INERIS

Queste curve appartengono ad un incendio relativo ad un'auto a combustione interna ed una elettrica. Per ricavare i valori di tali curve è stato realizzato un grafico, identificando i diversi valori nei due assi del grafico. Ovviamente in questo modo le curve sono state semplificate, ma questo non ha influenzato il modello FDS.

Auto INERIS	
t	HRR
0	0
180	500
300	1500
420	2000
600	1500
750	3000
960	2000
1110	6100
1290	5000
1350	4700
1530	5000
1800	5750
1920	4500
2070	5550
2150	4500
2190	4900
2340	3500
2520	2000
2850	1000
3060	850
3360	1100
3750	500
4200	250
5400	0

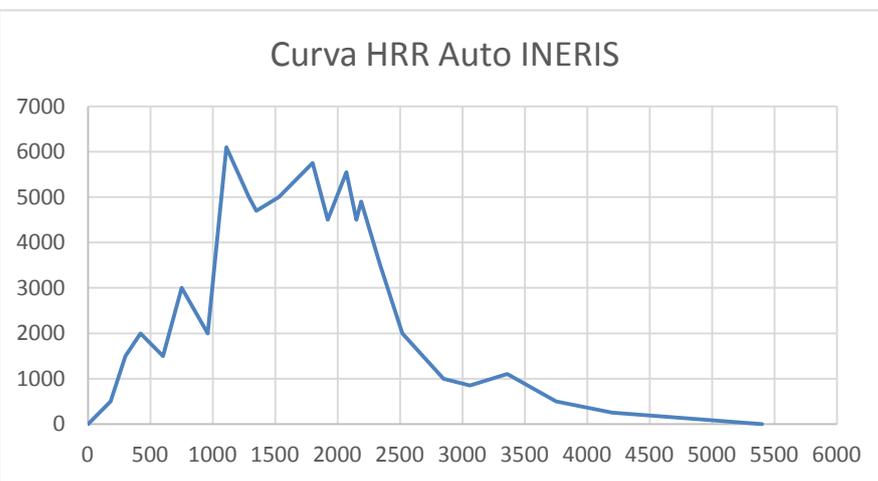


Figura 29. Curva HRR dell'auto a combustione interna

Auto elettrica INERIS	
t	HRR
0	0
180	500
300	1500
420	2000
600	2600
700	3000
720	2750
750	2500
960	3000
1110	3500
1290	3500
1350	3250
1450	2750
1530	3250
1800	4500
1920	3500
2070	3250
2150	3000
2190	3000
2340	2500
2520	2000
2850	1000
3060	850
3360	500
3750	400
4200	250
5400	0

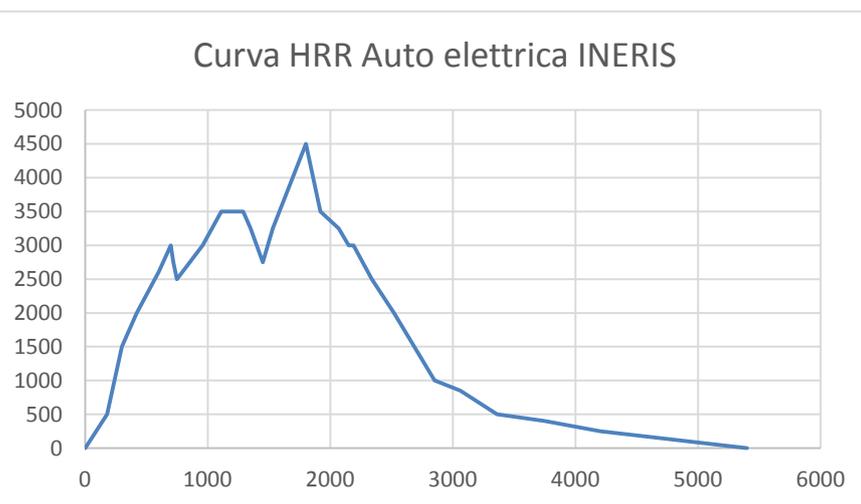


Figura 30. Curva HRR dell'auto elettrica

Queste due curve sono state utilizzate per simulare un incendio all'interno di due box doppi, in cui erano presenti entrambe le autovetture. Quindi è stato necessario sommare le due curve, seguendo le indicazioni fornite dal Codice di Prevenzione Incendi, ovvero sfasando la seconda di 12 minuti rispetto all'innesco della prima.

In Tabella 60 sono riportati i valori di HRR TOT e di Frazione.

CURVA HRR AUTO + AUTO ELETTRICA (INERIS)				
t	HRR AUTO	HRR AUTO EL	HRR TOT	Frazione
0	0	0	0	0
180	500	0	500	0.061728
300	1500	0	1500	0.185185
420	2000	0	2000	0.246914
600	1500	0	1500	0.185185
700	2100	0	2100	0.259259
720	2500	0	2500	0.308642
750	3000	500	3500	0.432099
960	2000	1500	3500	0.432099
1110	6100	2000	8100	1
1290	5000	2600	7600	0.938272
1350	4700	3000	7700	0.950617
1450	4900	2750	7650	0.944444
1530	5000	2500	7500	0.925926

Tabella 60. Somma delle due curve HRR

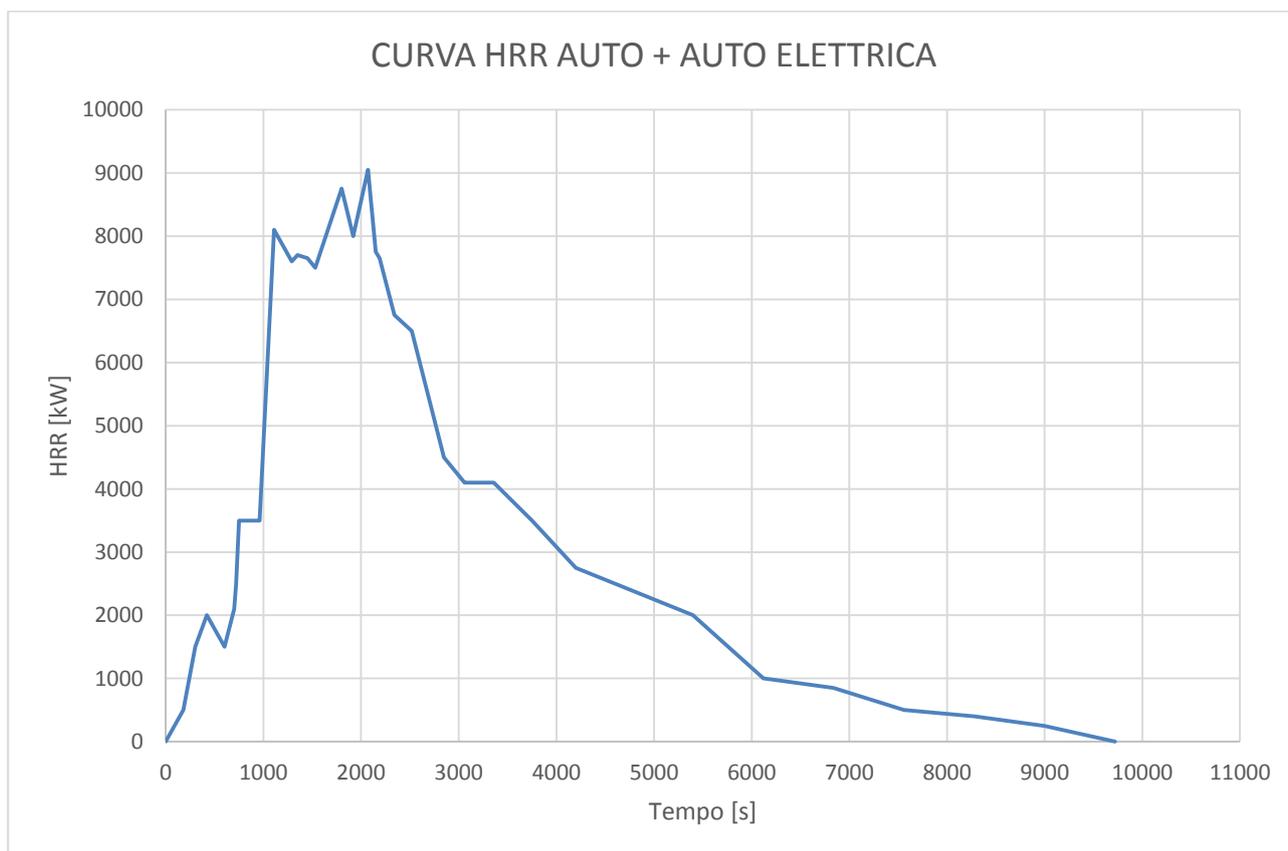


Figura 31. Curve HRR risultante

SCENARIO 4

Per il focolare del quarto scenario è stato utilizzato quello predefinito fornito dal Codice, in quanto negli istanti iniziali è caratterizzato da una velocità di propagazione maggiore rispetto agli altri focolari utilizzati.

In Figura 32 sono riportate tutte le caratteristiche del focolare predefinito.

Parametro	Focolare predefinito	
	per attività civile	per altre attività
Velocità caratt. di crescita dell'incendio t_α	150 s (fast)	75 s (ultra-fast)
RHR _{max} totale RHR _{max} per m ² di superficie del focolare	5 MW 250-500 kW/m ² [1]	50 MW 500 -1000 kW/m ² [1]
Resa in particolato Y _{soot}	Pre flashover: 0,07 kg/kg [2,3] Post flashover: 0,14 kg/kg [2,3]	Pre flashover: 0,18 kg/kg [4] Post flashover: 0,36 kg/kg [4]
Resa in monossido di carbonio Y _{CO}	Pre flashover: 0,10 kg/kg [5] Post flashover: 0,40 kg/kg [5]	
Calore di combustione effettivo ΔH _c	20 MJ/kg [3]	
Resa in biossido di carbonio Y _{CO2}	1,5 kg/kg [3,6]	
Resa in acqua Y _{H2O}	0,82 kg/kg [3,6]	
Frazione di RHR in irraggiamento (Radiative fraction)	35% [3]	
<p>[1] Da impiegare in alternativa all'RHR_{max} totale, considerando la massima superficie del focolare, pari al compartimento antincendio nel caso di carico di incendio uniformemente distribuito, ma che può essere un valore inferiore nel caso d'incendio localizzato.</p> <p>[2] Robbins A P, Wade C A, Study Report no 185 "Soot Yield Values for Modelling Purposes - Residential Occupancies", BRANZ, 2008</p> <p>[3] "C/VM2 Verification method: Framework for fire safety design", New Zealand Building Code</p> <p>[4] "SFPE handbook of fire protection engineering", NFPA, 4th ed., 2008. Tabella 3-4.16, pag. 3-142, da polyurethane flexible foams.</p> <p>[5] Stec A A, Hull T R, "Fire Toxicity", Woodhead Pub., 2010. § 2.4 con Φ = 1,25 (underventilated fire)</p> <p>[6] In alternativa alle rese Y_{CO2} e Y_{H2O}, si può imporre nel codice di calcolo il combustibile generico CH₂O_{0,5}.</p>		

Figura 32. Focolare predefinito

Per la ricostruzione della curva HRR è stato considerato un valore di t_α pari a 300 secondi, considerando quindi una velocità caratteristica prevalente di crescita dell'incendio media, in linea con quanto riportata in Tabella 6.

Considerando questo valore, è stata ricostruita la prima parte della curva HRR applicando la formula

$$HRR(t) = 1000 \left(\frac{t}{t_\alpha} \right)^2$$

ottenendo i risultati riportati nella Tabella 61.

FOCOLARE PREDEFINITO			
	t	HRR	Frazione
	0	0	0
	60	40	0.008
	120	160	0.032
	180	360	0.072
	240	640	0.128
t alfa	300	1000	0.2
	360	1440	0.288
	420	1960	0.392
	480	2560	0.512
	540	3240	0.648
	600	4000	0.8
	660	4840	0.968
	670.82	5000.0	1

Tabella 61. Costruzione della curva HRR del focolare predefinito

In questo modo si è ottenuto la seguente curva HRR.

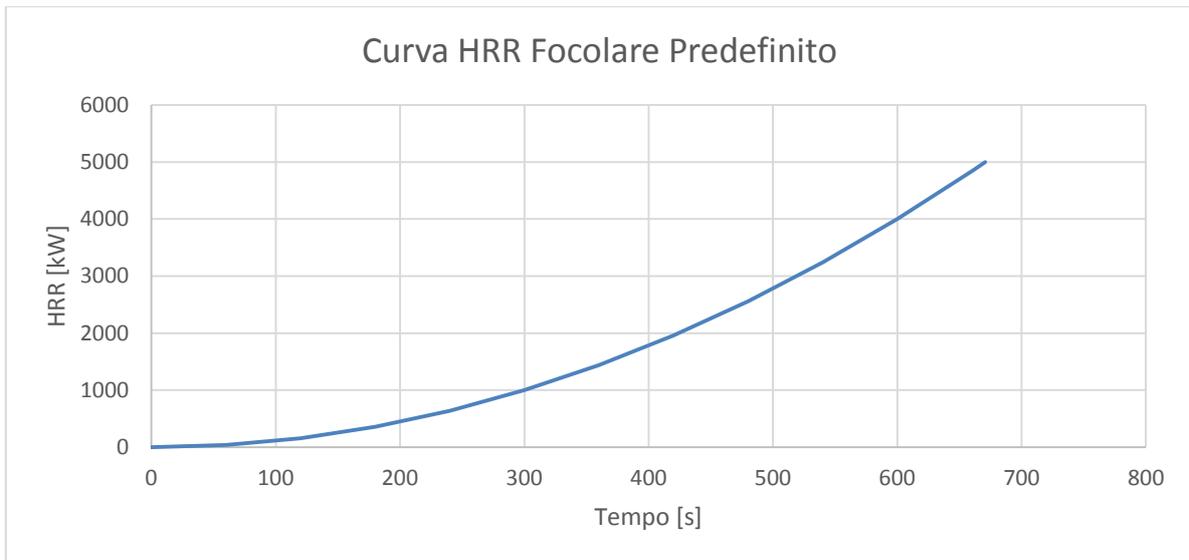


Figura 33. Curva HRR del focolare predefinito

6.2.3 DATI DI INPUT DEL MODELLO

Per definire le caratteristiche del focolare è stata modellata una nuova superficie, chiamata "Focolare", in cui sono stati riportati i dati rappresentati nelle seguenti immagini. Nella Figura 23 sono rappresentati i primi dati di input, ovvero la tipologia di superficie ("Burner"), il valore di HRRPUA, ovvero il picco massimo, che varia in funzione della curva RHR considerata. Nella Figura 24 invece sono riportati i valori che definiscono la curva RHR stessa, inserendo i tempi e le frazioni, ovvero i rapporti tra i valori della curva nell'istante e il valore del picco massimo.

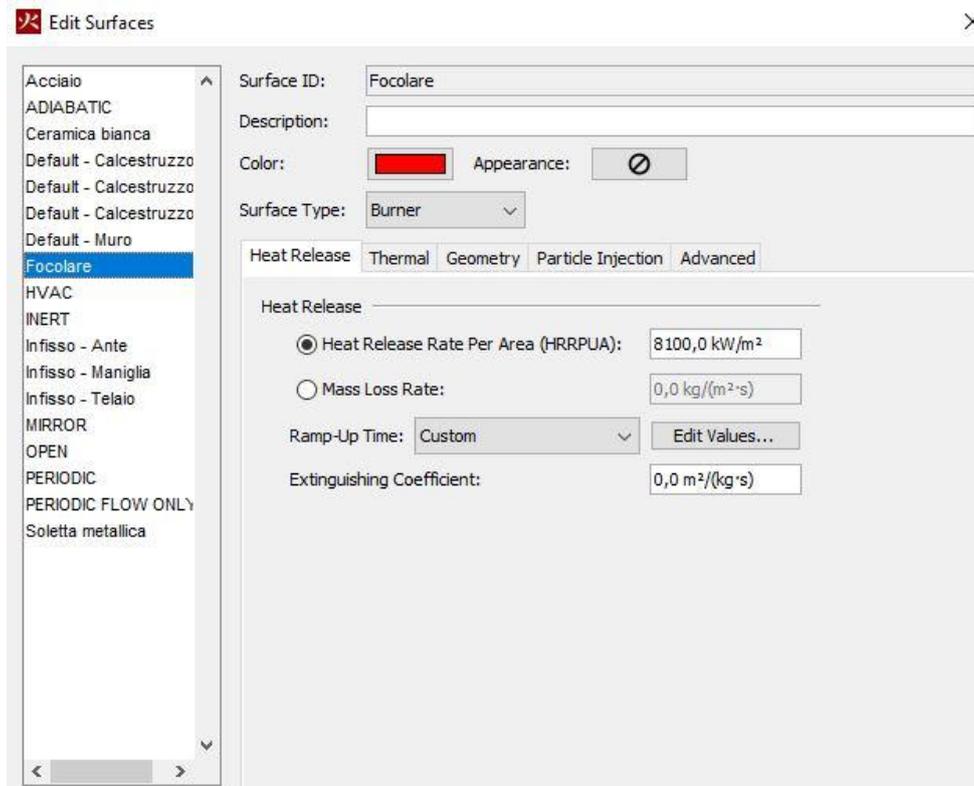


Figura 34. Modellazione della superficie del focolare

	Time (s)	Fraction
1	0,0	0,0
2	180,0	0,0617
3	300,0	0,1851
4	420,0	0,2469
5	600,0	0,1851
6	700,0	0,2592
7	720,0	0,3086
8	750,0	0,432
9	960,0	0,432
10	1110,0	1,0
11	1290,0	0,9382
12	1350,0	0,9506
13	1450,0	0,9444
*		

Figura 35. Modellazione della curva RHR

Nel paragrafo successivo verranno presentate tutte le curve RHR utilizzate per le simulazioni. Nelle Figure 23 e 24 si riportano a titolo esemplificativo due schermate relative al secondo scenario di incendio di progetto.

Per quanto riguarda i materiali che reagiscono all'incendio è stato considerato uno studio che riporta i valori caratteristici di molti materiali tra i quali la schiuma di poliuretano flessibile, presente in diverse componenti delle auto, è sicuramente il reagente più pericoloso. Lo studio di cui si parla è il "Study Report no.185. Soot yield values for modelling purposes - Residential occupancies" del Department of Building and Housing of BRANZ.

Di seguito sono riportati i valori di input inseriti nel modello.

Description: Schiuma di poliuretano

Reaction Type: Simple Chemistry

Fuel Type: Simple Chemistry Model

Fuel assumed to contain only C, O, H, and N.

Composition

Carbon atoms: 1,0

Hydrogen atoms: 1,8

Oxygen atoms: 0,35

Nitrogen atoms: 0,06

Figura 36. Valori di composizione della schiuma di poliuretano flessibile

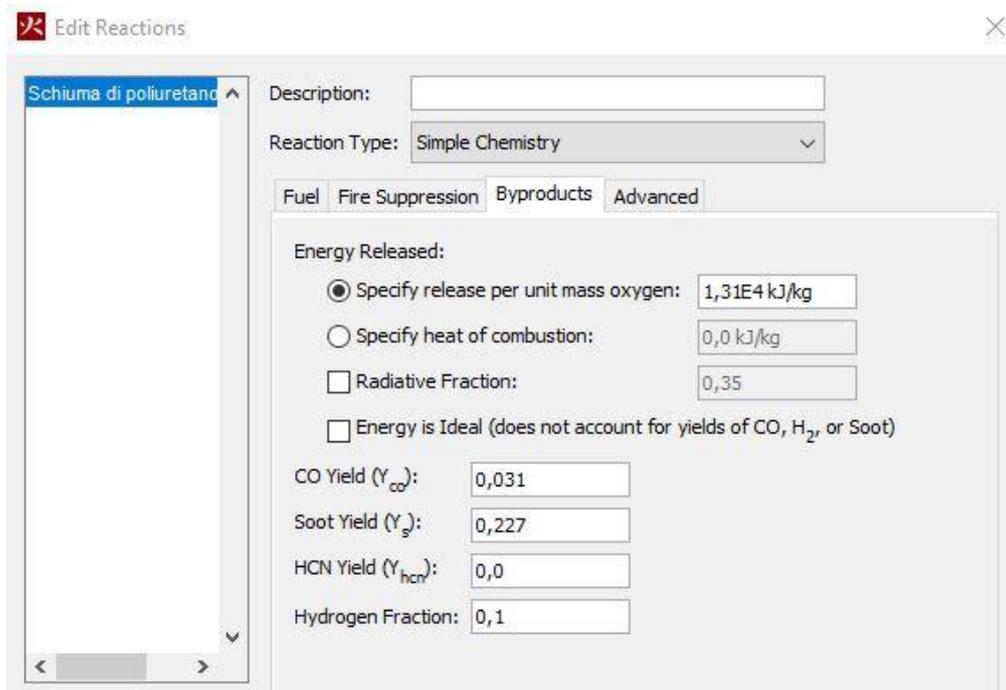


Figura 37. Caratteristiche della schiuma di poliuretano flessibile a seguito di un incendio

Per verificare il rispetto di tutte le soglie di prestazione sono stati inseriti i "Device", ovvero dei dispositivi che registrano ad intervalli regolari i valori di temperatura, visibilità, irraggiamento e FED. Questi dispositivi sono stati inseriti più o meno nella stessa posizione al primo e al secondo piano interrato, come si può osservare in Figura 37.



Figura 38. Vista 2D dell'autorimessa da Pyrosim dello scenario 2

I device in questione sono rappresentati dai quadrati gialli. I quadrati blu indicano invece gli sprinkler, che sono per ogni scenario in prossimità del focolare, al primo e al secondo piano interrato, anche in questo caso nella stessa posizione.

Le caratteristiche degli sprinkler sono riportate nelle Figure 38 e 39.

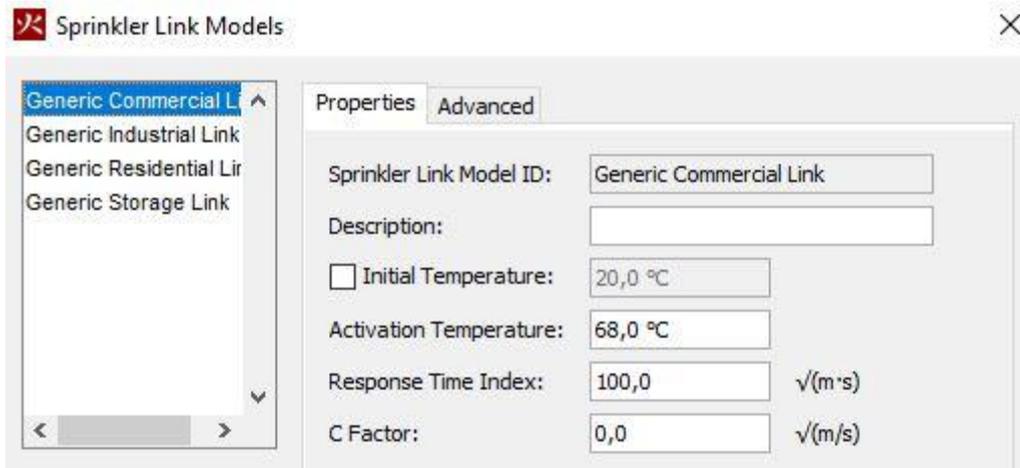


Figura 39. Caratteristiche di attivazione degli sprinkler

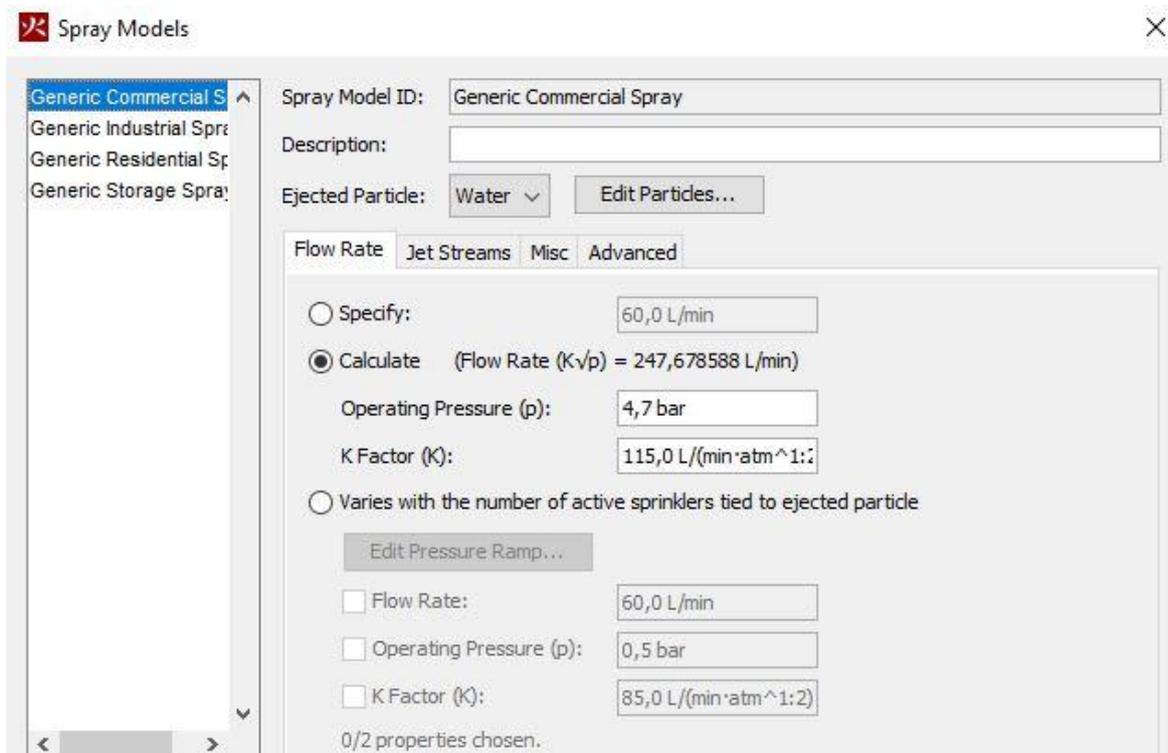


Figura 40. Caratteristiche della testina dello sprinkler

Per ottenere i risultati in output, oltre ai device, sono state inserite anche le "slice" e le isosuperfici, in entrambi i casi sia di temperatura che di visibilità. Le slice sono state inserite in posizioni strategiche in modo tale da ottenere in output l'andamento su diversi piani (in direzione x, y e z) della temperatura e della riduzione della visibilità. Le slice che verranno analizzate per i vari scenari sono ovviamente quelle in prossimità del focolare, ovvero le più significative. Le isosuperfici invece non hanno bisogno di essere posizionate, in quanto rappresentano l'andamento tridimensionale delle medesime grandezze nello spazio.

In Figura 40 sono rappresentate le slice in direzione x ed y. Le uniche slice inserite sul piano z hanno una quota pari a -4,6 e -1,2 metri.

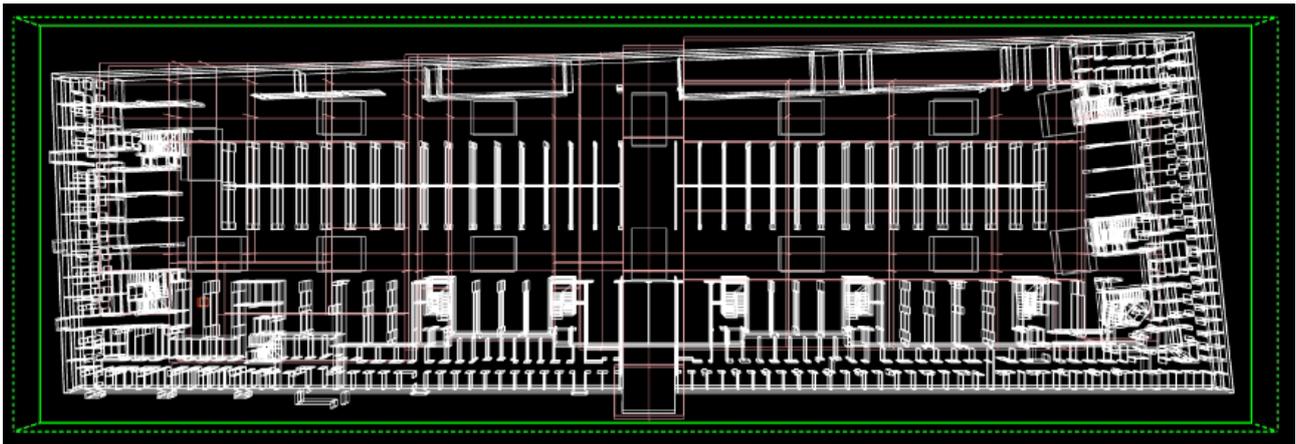


Figura 41. Slices di calcolo

Gli ultimi parametri da impostare sono quelli di output. Dovendo sviluppare anche il modello di simulazione dell'esodo è fondamentale unire i risultati dei due modelli in un modello finale quindi i risultati di Pyrosim devono essere compatibili con il modello di Pathfinder. Per fare questo è necessario importare i plot3D data come rappresentato in Figura 41.

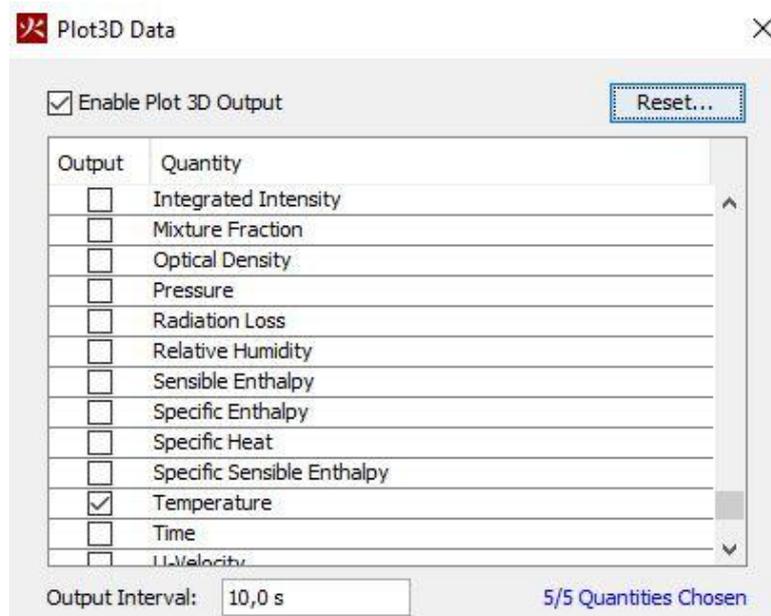


Figura 42. Plot3D Data

Aperto la finestra in alto a destra è stato selezionata l'opzione "*Pathfinder Quantities*", alla quale è stata poi aggiunta la variabile temperatura, che non è prevista tra quelle preimpostate.

Oltre a questo è fondamentale impostare un tempo di simulazione, in questo caso si sono considerati tempi pari a 1400 secondi per il primo scenario, 1450 secondi per il secondo e per il terzo e 670 per il quarto scenario.

6.3 MODELLAZIONE DELL'ESODO

Attraverso il comando "Import file" è stato importato il modello da Pyrosim in Pathfinder. In questo modo Pathfinder possiede tutte le geometrie necessarie per sviluppare il modello dell'esodo. Il passo successivo è stato quello di definire le "Room", ovvero le stanze sul quale è possibile inserire gli occupanti. In questo caso sono state modellate due Rooms principali, una per ogni piano interrato, da cui sono state differenziate le rampe carrabili perché non sono state considerate come vie di esodo.

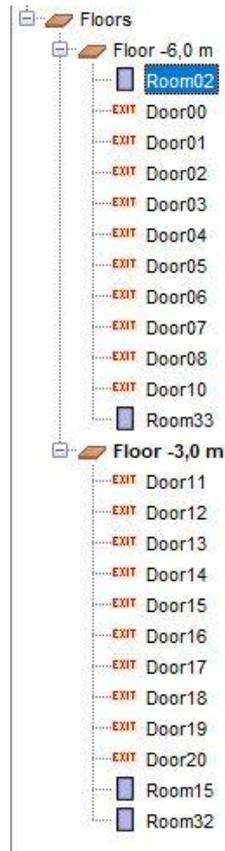


Figura 43. Rooms e Doors nel modello

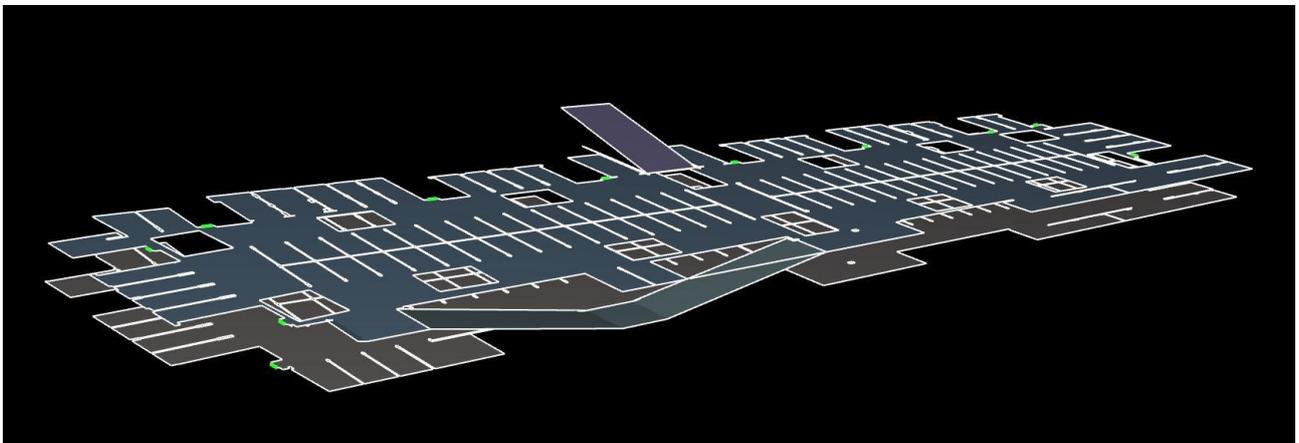


Figura 44. Visualizzazione delle due rooms

Nelle Rooms è stato poi possibile modellare le "Doors", ovvero le porte, che in questo caso sono tutte porte di uscita, infatti Pathfinder le imposta in automatico come "Exit Door". Le porte sono

un elemento fondamentale nel modello, in quanto permettono agli occupanti di uscire e poi perché Pathfinder permette di impostare la loro chiusura ad un determinato istante. Questa funzione ci permette, a seguito delle prime simulazioni di prova, di rendere alcune porte impraticabili e ottenere una simulazione finale più vicina alla realtà.

Per inserire gli occupanti è stato scelto l'opzione "Random", definendo solo il numero totale di occupanti. Sono presenti 210 occupanti divisi tra il primo ed il secondo piano interrato.



Figura 45. Finestra di inserimento degli occupanti

In questo modo il software posiziona le persone in modo del tutto casuale. Una volta inseriti gli occupanti è fondamentale caratterizzarli con profili ("Profiles") e comportamenti ("Behaviors"). I profili sono fondamentali per definire le velocità di percorrenza dei vari occupanti presenti, mentre i comportamenti sono altrettanto fondamentali per impostare il ritardo del movimento, ovvero la differenza di tempo tra il momento in cui si innesca l'incendio e il momento in cui l'occupante inizia a muoversi per evacuare. I profili definiti per la caratterizzazione sono cinque, riportati nella figura seguente.

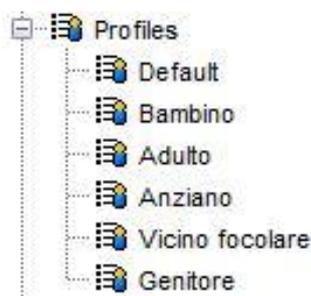


Figura 46: Profili degli occupanti

Le velocità sono state impostate sulla base delle indicazioni fornite dalla norma ISO TR 16739, considerando il valore medio pari a 1,25 m/s in condizioni normali, e modificandolo per gli anziani, che ovviamente si sposteranno più lentamente.

Type of situation		Measured travel speeds m/s (ft/min)				
Population density is reportedly not a factor	Transport terminals [51]	1,35 (265) on walkways				
	Average under "normal conditions" [55]	1,0				
	Experiment with disabled subjects [13]	Min.	1st quartile	3rd quartile	Max.	Mean
	On horizontal surfaces:					
	All disabled subjects	0,10	0,71	1,28	1,77	1,00
	With locomotion disability	0,10	0,57	1,02	1,68	0,80
	No aid	0,24	0,70	1,02	1,68	0,95
	Crutches	0,63	0,67	1,24	1,35	0,94
	Cane	0,26	0,49	1,08	1,60	0,81
	Walker/rollator	0,10	0,34	0,83	1,02	0,57
	Without locomotion disability	0,82	1,05	1,34	1,77	1,25
	Unassisted wheelchair	0,85	—	—	0,93	0,89
	Assisted ambulant	0,21	0,58	0,92	1,40	0,78
	Assisted wheelchair	0,84	1,02	1,59	1,98	1,30
On upward incline:						
All disabled subjects	0,21	0,42	0,74	1,32	0,62	
With locomotion disability	0,21	0,42	0,72	1,08	0,59	
No aid	0,30	0,48	0,87	1,08	0,68	
Crutches	0,35	—	—	0,53	0,46	
Cane	0,21	0,38	0,70	1,05	0,52	
Walker/rollator	0,30	—	—	0,42	0,35	
Without locomotion disability	0,70	—	—	1,32	1,01	
Unassisted wheelchair	0,70	—	—	—	—	
Assisted ambulant	0,23	0,42	0,70	0,72	0,53	
Assisted wheelchair	0,53	0,70	1,05	1,05	0,89	

Figura 47. Velocità di movimento

Exit route element		k^a	Travel speed m/s	Maximum specific flow F_{Smax} persons/m/s of effective width
Corridor, aisle, ramp, doorway		1,40	1,19	1,19
Stair riser mm	Stair tread mm	—	—	—
191	254	1,00	0,85	0,94
178	279	1,08	0,95	1,01
165	305	1,16	1,00	1,09
165	330	1,23	1,05	1,16

^a Constants for Equation (G.1), effects of density on travel speed.

Tabella 62. Velocità di movimento massima per percorsi orizzontali o scale

I comportamenti definiti sono quelli mostrati in Figura 47. Per ogni comportamento è stato definito un "Initial Delay", ovvero un ritardo iniziale, anche in questo caso sulla base della ISO TR 16739 per quanto riguarda il tempo di pre-movimento. All'interno del modello, al tempo di pre-movimento è stato sommato anche il tempo di rivelazione e di allarme, in questo caso sulla base di ciò che è riportato nel libro di settore "Ingegneria della sicurezza antincendio. Guida all'utilizzo di FDS (Fire Dynamics Simulator)".



Figura 48. Comportamenti degli occupanti

Scenario category and modifier levels ^a	First occupants <i>t</i> _{pre} (1st percentile)	Occupant distribution <i>t</i> _{pre} (99th percentile)
A: Awake and familiar		
M1 B1 – B2 A1 – A2 ^a	0,5	1,5
M2 B1 – B2 A1 – A2	1	3
M3 B1 – B2 A1 – A3	> 15 ^b	> 30 ^b
For B3, add 0,5 for way-finding.	—	—
M1 normally requires a voice alarm/PA if unfamiliar visitors likely to be present.	—	—
B: Awake and unfamiliar		
M1 B1 A1 – A2	0,5	2,5
M2 B1 A1 – A2	1,0	4,0
M3 B1 A1 – A3	> 15 ^b	> 30 ^b
For B2, add 0,5 for way-finding.	—	—
For B3, add 1,0 for way-finding.	—	—
M1 normally requires a voice alarm/PA.	—	—

Tabella 63. Tempo di pre-movimento

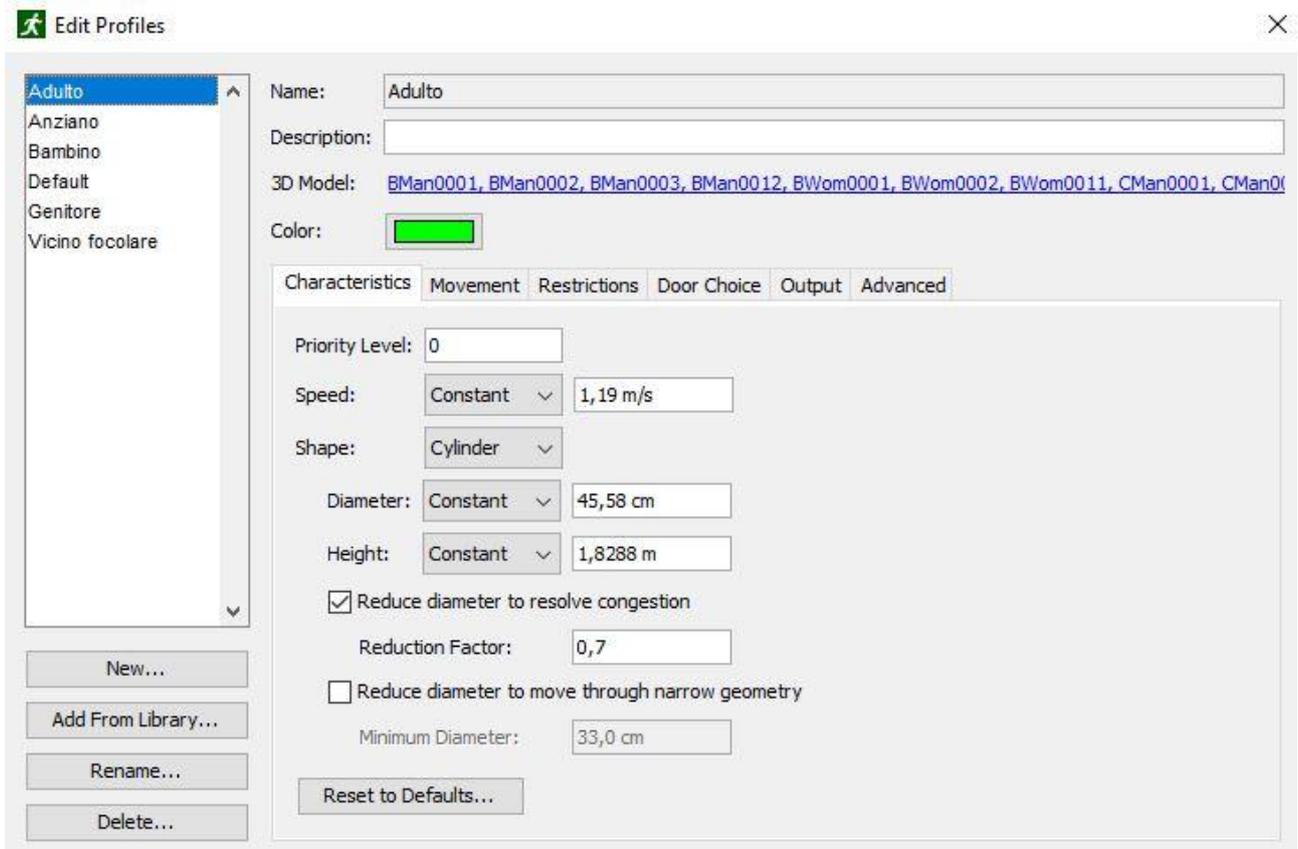
Rvita	<i>t</i> _{det} + <i>t</i> _a	Descrizione
A1	360	Attività a basso rischio, probabilmente sprovviste di IRAI, basso livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio.
A2	180	Attività probabilmente provviste di IRAI, livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio medio.
A3	120	Attività dotate di IRAI, livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio medio-elevato, addetti formati al rischio antincendio, compartimenti di ridotte dimensioni.

Tabella 64. Tempo di rivelazione e di allarme

I somma dei tempi di rivelazione, allarme e pre-movimento è stata assegnata ad ogni occupante attraverso un comportamento. Questi tempi sono stati inseriti con la modalità log-normale, in modo tale che gli occupanti non iniziassero a muoversi tutti insieme, situazione sicuramente poco probabile, ma che si spostassero in istanti diversi ma tutti all'interno di un intervallo temporale ben definito.

Di seguito è riportata la caratterizzazione di tutti gli occupanti presenti nel modello.

Adulto

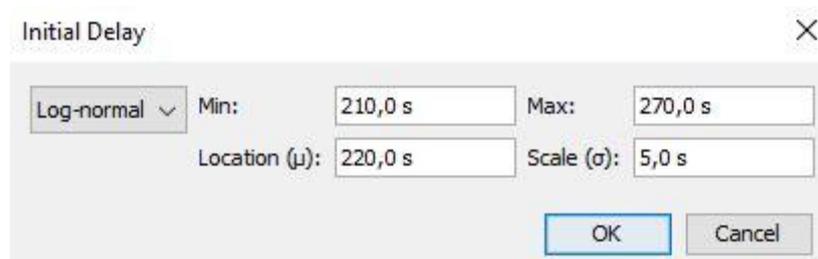


The 'Edit Profiles' dialog box is shown with the 'Adulto' profile selected. The 'Name' field is 'Adulto'. The 'Description' field is empty. The '3D Model' field contains a list of model IDs: BMan0001, BMan0002, BMan0003, BMan0012, BWom0001, BWom0002, BWom0011, CMan0001, CMan0002. The 'Color' field is a green square. The 'Characteristics' tab is active, showing the following settings:

- Priority Level: 0
- Speed: Constant, 1,19 m/s
- Shape: Cylinder
- Diameter: Constant, 45,58 cm
- Height: Constant, 1,8288 m
- Reduce diameter to resolve congestion
- Reduction Factor: 0,7
- Reduce diameter to move through narrow geometry
- Minimum Diameter: 33,0 cm

Buttons at the bottom left: New..., Add From Library..., Rename..., Delete... Button at the bottom center: Reset to Defaults...

Figura 49. Profilo dell'occupante adulto



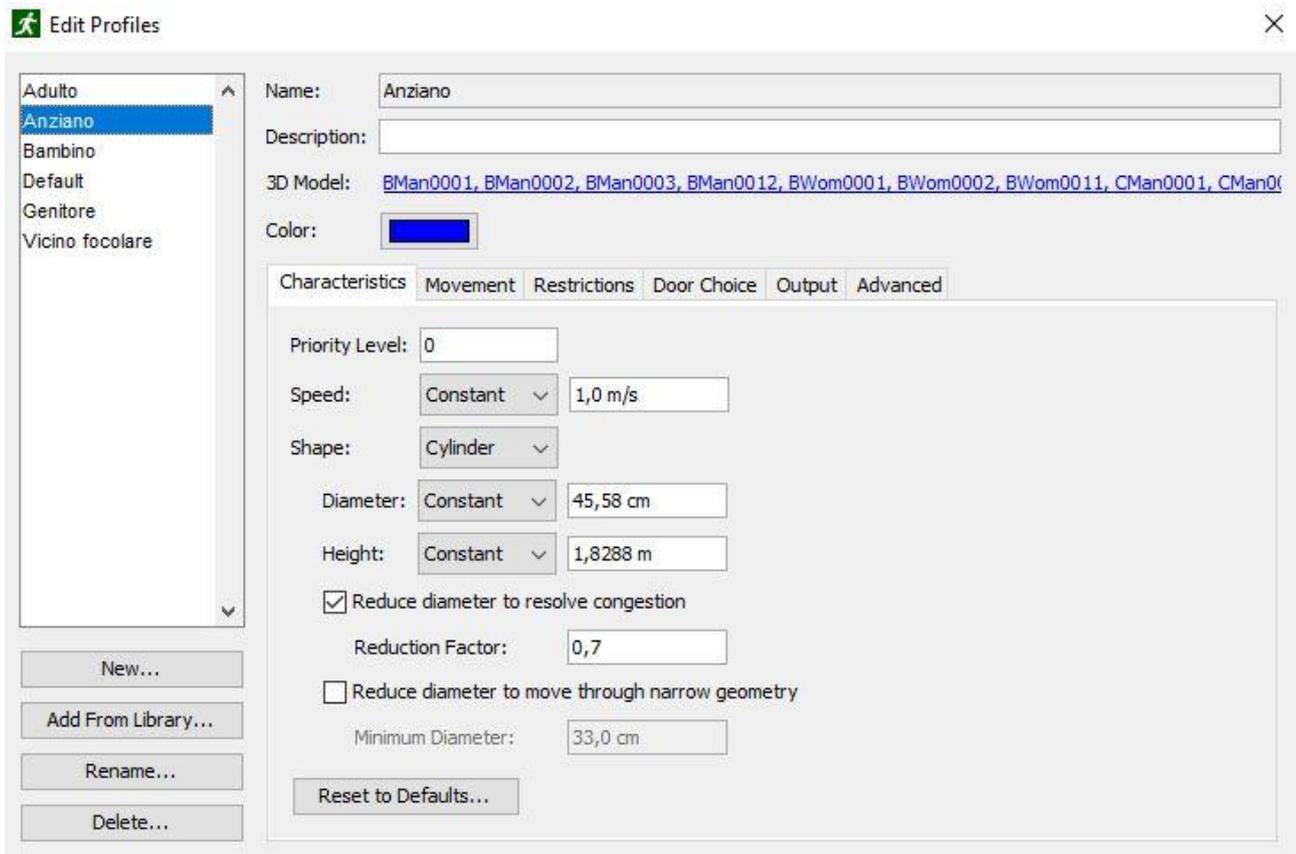
The 'Initial Delay' dialog box is shown with the following settings:

- Distribution: Log-normal
- Min: 210,0 s
- Max: 270,0 s
- Location (μ): 220,0 s
- Scale (σ): 5,0 s

Buttons at the bottom: OK, Cancel

Figura 50. Initial Delay dell'occupante adulto

Anziano



The 'Edit Profiles' dialog box is shown with the 'Anziano' profile selected. The left sidebar lists profiles: Adulto, Anziano (selected), Bambino, Default, Genitore, and Vicino focolare. Below the sidebar are buttons for 'New...', 'Add From Library...', 'Rename...', and 'Delete...'. The main area shows the profile name 'Anziano' and a description field. The '3D Model' field contains a list of model IDs. A color selection box is set to blue. Below this are tabs for 'Characteristics', 'Movement', 'Restrictions', 'Door Choice', 'Output', and 'Advanced'. The 'Characteristics' tab is active, showing settings for Priority Level (0), Speed (Constant, 1,0 m/s), Shape (Cylinder), Diameter (Constant, 45,58 cm), and Height (Constant, 1,8288 m). There are two checkboxes: 'Reduce diameter to resolve congestion' (checked) with a Reduction Factor of 0,7, and 'Reduce diameter to move through narrow geometry' (unchecked) with a Minimum Diameter of 33,0 cm. A 'Reset to Defaults...' button is at the bottom.

Name: Anziano

Description:

3D Model: BMan0001, BMan0002, BMan0003, BMan0012, BWom0001, BWom0002, BWom0011, CMan0001, CMan0002

Color:

Characteristics Movement Restrictions Door Choice Output Advanced

Priority Level: 0

Speed: Constant 1,0 m/s

Shape: Cylinder

Diameter: Constant 45,58 cm

Height: Constant 1,8288 m

Reduce diameter to resolve congestion

Reduction Factor: 0,7

Reduce diameter to move through narrow geometry

Minimum Diameter: 33,0 cm

Reset to Defaults...

Figura 51. Profilo dell'occupante anziano



The 'Initial Delay' dialog box is shown with a close button in the top right. It features a dropdown menu set to 'Log-normal'. The 'Min' field is 210,0 s and the 'Max' field is 270,0 s. The 'Location (μ)' field is 220,0 s and the 'Scale (σ)' field is 25,0 s. 'OK' and 'Cancel' buttons are at the bottom.

Initial Delay

Log-normal Min: 210,0 s Max: 270,0 s

Location (μ): 220,0 s Scale (σ): 25,0 s

OK Cancel

Figura 52. Initial delay dell'occupante anziano

Bambino

Edit Profiles [Close]

Name: Bambino

Description:

3D Model: [BMan0001](#), [BMan0002](#), [BMan0003](#), [BMan0012](#), [BWom0001](#), [BWom0002](#), [BWom0011](#), [CMan0001](#), [CMan0002](#)

Color:

Characteristics | Movement | Restrictions | Door Choice | Output | Advanced

Priority Level: 0

Speed: Constant ▾ 1,25 m/s

Shape: Cylinder ▾

Diameter: Constant ▾ 45,58 cm

Height: Constant ▾ 1,8288 m

Reduce diameter to resolve congestion

Reduction Factor: 0,7

Reduce diameter to move through narrow geometry

Minimum Diameter: 33,0 cm

Reset to Defaults...

Buttons: New..., Add From Library..., Rename..., Delete...

Figura 53. Profilo dell'occupante bambino

Initial Delay [Close]

Log-normal ▾

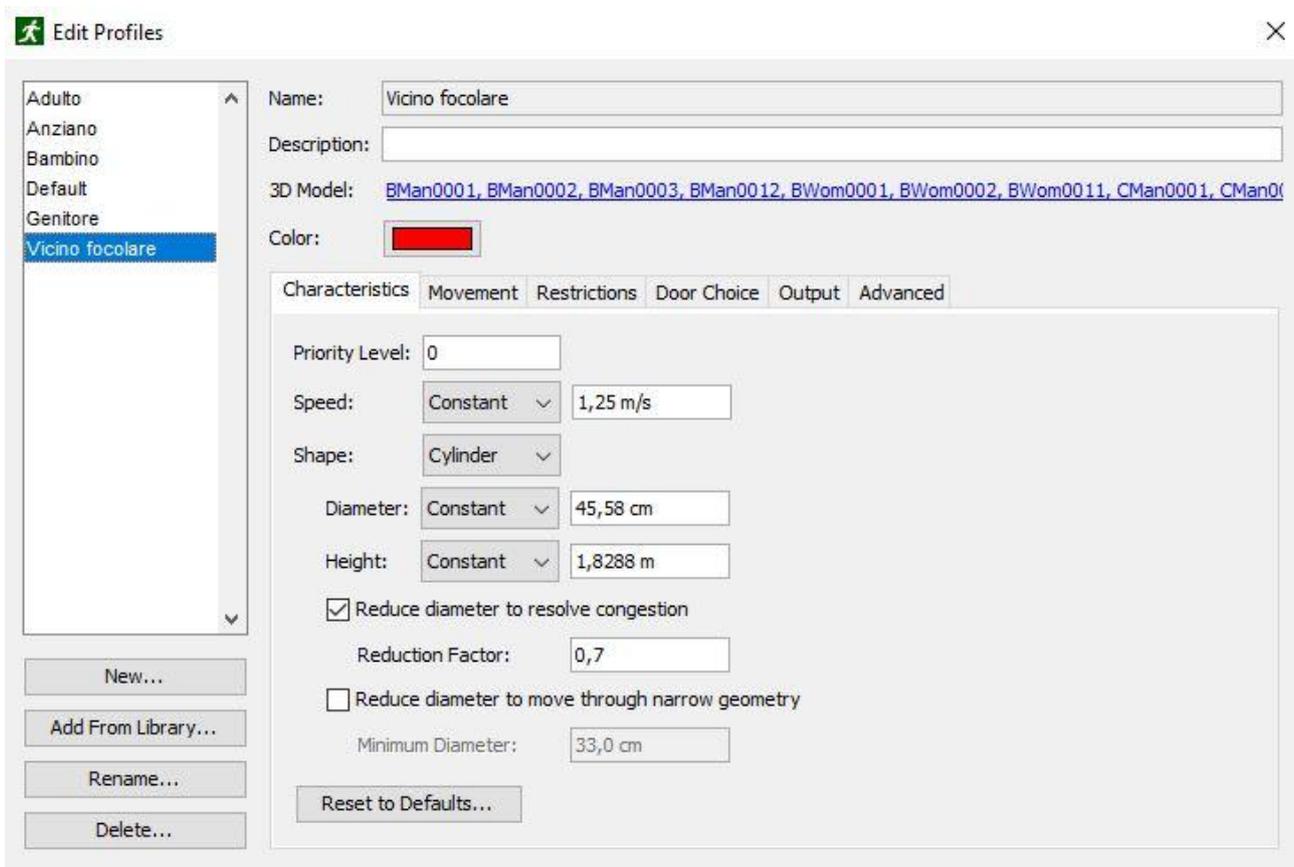
Min: 210,0 s Max: 270,0 s

Location (μ): 220,0 s Scale (σ): 25,0 s

OK Cancel

Figura 54. Initial delay dell'occupante bambino

Occupante vicino al focolare



Edit Profiles

Name: Vicino focolare

Description:

3D Model: [BMan0001](#), [BMan0002](#), [BMan0003](#), [BMan0012](#), [BWom0001](#), [BWom0002](#), [BWom0011](#), [CMan0001](#), [CMan0002](#)

Color:

Characteristics Movement Restrictions Door Choice Output Advanced

Priority Level: 0

Speed: Constant 1,25 m/s

Shape: Cylinder

Diameter: Constant 45,58 cm

Height: Constant 1,8288 m

Reduce diameter to resolve congestion

Reduction Factor: 0,7

Reduce diameter to move through narrow geometry

Minimum Diameter: 33,0 cm

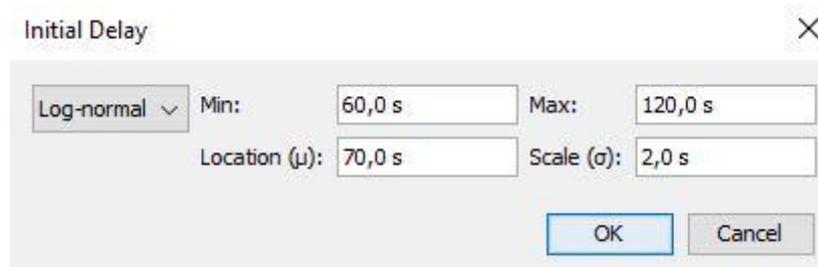
Reset to Defaults...

New...
Add From Library...
Rename...
Delete...

Figura 55. Profilo dell'occupante vicino al focolare

Per questo profilo di occupanti sono stati definiti molteplici comportamenti in funzione della posizione del singolo occupante.

L'occupante che si trova all'interno del box nel quale si innesca l'incendio ovviamente ha un ritardo iniziale molto più piccolo rispetto a tutti gli altri occupanti.



Initial Delay

Log-normal Min: 60,0 s Max: 120,0 s

Location (μ): 70,0 s Scale (σ): 2,0 s

OK Cancel

Figura 56. Initial delay dell'occupante dentro il box contenente il focolare

Gli occupanti che si trovano nel piano in cui si innesca l'incendio, nei pressi del focolare, sono soggetti ad un ritardo più grande.

Initial Delay ✕

Log-normal
 Location (μ): Scale (σ):

Figura 57. Initial delay degli occupanti nei pressi del focolare

E quelli più distanti avranno un ritardo ancora maggiore.

Initial Delay ✕

Log-normal
 Location (μ): Scale (σ):

Figura 58. Initial delay degli occupanti nei pressi del focolare ma più distanti

Ovviamente quelli che si trovano al primo piano sono più distanti dal focolare. Gli occupanti che si trovano vicino alle griglie di aerazione poste in corrispondenza del focolare situato al piano inferiore possiedono un ritardo iniziale pari a quello di tutti gli altri occupanti distanti dal focolare.

Initial Delay ✕

Log-normal
 Location (μ): Scale (σ):

Figura 59. Initial delay degli occupanti nei pressi del focolare al primo piano

Di seguito è riportata un'immagine in cui è possibile osservare tutti gli occupanti.

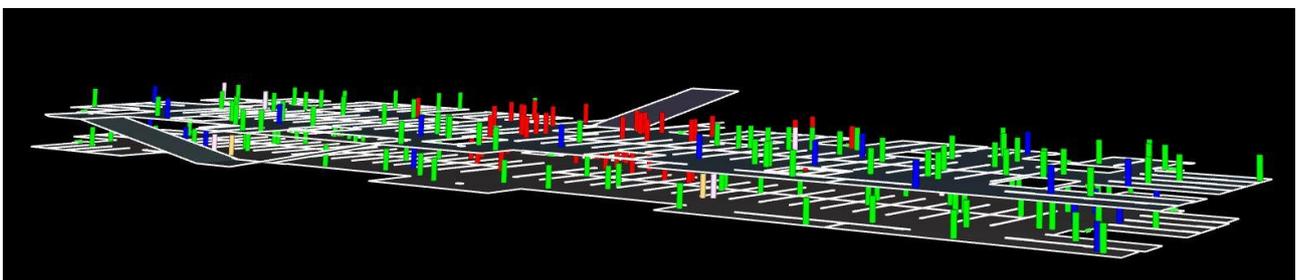


Figura 60. Occupanti presenti nel modello Pathfinder

6.4 DEFINIZIONE DEI VALORI DI ASET E RSET

L'ASET (*Available Safe Escape Time*) è il tempo disponibile per l'esodo, ovvero il tempo dopo il quale gli occupanti non hanno più la possibilità di uscire dal compartimento, solitamente a causa della presenza dei fumi o delle temperature troppo elevate.

L'RSET (*Required Safe Escape Time*) è il tempo richiesto per l'esodo, ovvero il tempo che gli occupanti impiegano per uscire dal compartimento.

Il criterio per verificare che nello scenario di incendio di progetto ipotizzato tutti gli occupanti riescano ad uscire prima di essere incapacitati per farlo in sicurezza, consiste nella seguente disequazione:

$$ASET > RSET$$

Oltre a questo il Codice introduce anche un tempo di margine, che rappresenta il margine di sicurezza della progettazione prestazionale per la salvaguardia della vita, e si ottiene con la seguente formula:

$$t_{marg} = ASET - RSET$$

Il professionista antincendio ha come obiettivo quello di massimizzare tale valore, in modo da rendere il progetto il più sicuro possibile. A meno di specifiche valutazioni si assume $t_{marg} \geq 100\% RSET$, ma in caso di specifiche valutazioni sull'affidabilità dei dati di input impiegati nella progettazione prestazionale è consentito assumere $t_{marg} \geq 10\% RSET$. In ogni caso questo valore deve essere sempre maggiore o uguale a 30 secondi.

Il valore di ASET si può determinare con due metodi: il metodo di calcolo avanzato e quello semplificato.

Nel metodo di calcolo semplificato il professionista antincendio impiega due soglie di prestazione molto conservative:

- altezza minima dei fumi stratificati dal piano di calpestio pari a 2 metri, al di sotto del quale permanga lo strato d'aria indisturbata
- temperatura media dello strato di fumi caldi $\leq 200^{\circ}\text{C}$.

Nel metodo di calcolo avanzato invece si impiegano quattro modelli:

- modello dei gas tossici: impiega il concetto di dose di aria inalata (*exposure dose*) e di FED (*fractional effective dose*). La exposure dose è definita come la misura della dose di un gas tossico disponibile per inalazione. La FED è il rapporto tra questa exposure dose e la dose del gas tossico che determina effetti incapacitanti sul soggetto medio esposto. Il soggetto si considera incapacitato quando $FED=1$.
- modello dei gas irritanti: impiega il concetto di FEC (*Fractional effective concentration*). La FED è il rapporto tra la concentrazione di un gas irritante disponibile per inalazione e la

concentrazione dello stesso gas che determina effetti incapacitanti sul soggetto medio esposto. La verifica di questo modello viene spesso omessa qualora negli scenari di incendio di progetto non siano identificati nel focolare materiali combustibili suscettibili di costituire specifica sorgente di gas irritanti.

- modello del calore: Per semplificare il modello del calore si assumono due soglie di prestazione che corrisponderebbero ad un ASET oltre i 30 minuti per qualsiasi condizione di abbigliamento, ovvero un valore di irraggiamento sugli occupanti $\leq 2,5 \text{ kW/m}^2$ ed un valore di temperatura ambiente sugli occupanti $\leq 60^\circ\text{C}$.
- modello dell'oscuramento della visibilità da fumo: è basato sul concetto del minimo contrasto percettibile, cioè la minima differenza di luminosità visibile tra un oggetto e lo sfondo.

Per ognuno di questi modelli si fissa una o più soglie di prestazione. Il valore di ASET viene definito come il più piccolo tra gli ASET calcolati con questi quattro modelli. Le soglie di prestazione si differenziano in funzione dell'obiettivo della progettazione prestazionale: se l'obiettivo è la salvaguardia della vita degli occupanti le soglie sono più cautelative, mentre se l'obiettivo è la salvaguardia della vita dei soccorritori, considerando che questi avranno a loro disposizione gli attrezzi adatti ad affrontare l'emergenza, le soglie sono meno cautelative.

Modello	Prestazione	Soglia di prestazione	Riferimento
Oscuramento della visibilità da fumo	Visibilità minima di pannelli riflettenti, non retroilluminati, valutata ad altezza 1,80 m dal piano di calpestio	Occupanti: 10 m Occupanti in locali di superficie lorda < 100m ² : 5 m	ISO 13571:2012
		Soccorritori: 5 m Soccorritori in locali di superficie lorda < 100m ² : 2,5 m	[1]
Gas tossici	FED, <i>fractional effective dose</i> e FEC, <i>fractional effective concentration</i> per esposizione a gas tossici e gas irritanti, valutata ad altezza 1,80 m dal piano di calpestio	Occupanti: 0,1	ISO 13571:2012, limitando a 1,1% la porzione di occupanti incapaci al raggiungimento della soglia
		Soccorritori: nessuna valutazione	-
Calore	Temperatura massima di esposizione	Occupanti: 60°C	ISO 13571:2012
		Soccorritori: 80°C	[1]
Calore	Irraggiamento termico massimo da tutte le sorgenti (incendio, effluenti dell'incendio, struttura) di esposizione degli occupanti	Occupanti: 2,5 kW/m ²	ISO 13571:2012, per esposizioni inferiori a 30 minuti
		Soccorritori: 3 kW/m ²	[1]
[1] Ai fini di questa tabella, per soccorritori si intendono i componenti delle squadre aziendali opportunamente protetti ed addestrati alla lotta antincendio, all'uso dei dispositivi di protezione delle vie aeree, ad operare in condizioni di scarsa visibilità. Ulteriori indicazioni possono essere desunte ad esempio da documenti dell'Australian Fire Authorities Council (AFAC) per hazardous conditions.			

Figura 61. Soglie di prestazione

Il valore dell'ASET coincide con il valore che oltrepassa la soglia di prestazione prefissata per quel modello. In questa progettazione prestazionale è stato utilizzato il modello di calcolo avanzato.

Il valore di RSET invece si ottiene grazie alla simulazione dell'esodo e corrisponde alla somma del tempo di rivelazione, di allarme, di pre-movimento e di movimento. I primi tre tempi si ottengono facilmente dalla norma o da letteratura di settore ma il tempo di movimento deve essere necessariamente simulato.

6.5 ANALISI DEGLI SCENARI DI INCENDIO DI PROGETTO

6.5.1 SCENARIO 1

Nel primo scenario si è ipotizzato un focolare all'interno di un box auto singolo nel secondo piano interrato. In questo scenario l'incendio si sviluppa gradualmente, interessando principalmente una porzione del secondo piano interrato fino ai 300 secondi, permettendo l'esodo in sicurezza di tutti gli occupanti. Solo dopo i 300 secondi il fumo sviluppato dall'incendio inizia ad occupare significativamente anche una porzione del primo piano interrato, rendendo quella porzione impossibile da percorrere. Nonostante questo, arrivati ai 1350 secondi solamente una rampa di scale viene resa impraticabile in entrambi i piani dell'attività. Questo significa che le squadre di soccorso hanno a disposizione ancora nove rampe protette per accedere ad entrambi i piani dell'autorimessa.

La curva RHR restituita in output dal software è perfettamente congruente con quella costruita tramite un foglio di calcolo Excel e presentata al paragrafo 6.2.2 del presente elaborato.

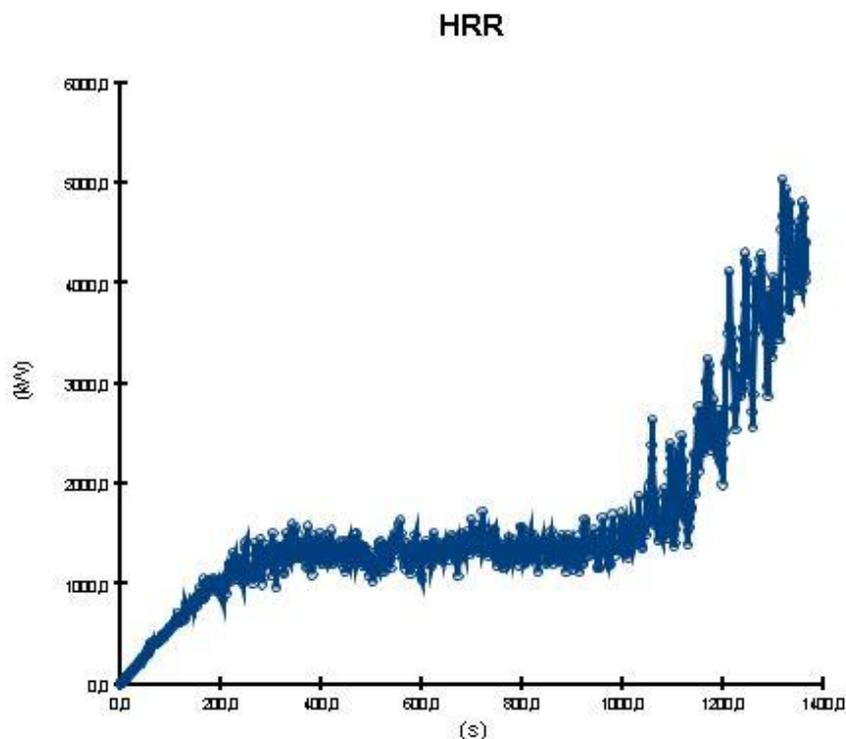


Figura 62. Curva RHR - Scenario 1

Di seguito sono riportate alcune immagini in cui sono rappresentate le *slice* di calcolo, in cui è possibile vedere come si è sviluppato l'incendio nei due piani dell'attività, da diverse angolazioni.

SLICE DI VISIBILITA'

Nelle *slice* sono evidenziati in nero i punti con valore pari a 5 metri.

Dopo 30 secondi dall'innesco il fumo ha occupato tutto il box in cui si è generato ed inizia a salire al primo piano interrato.

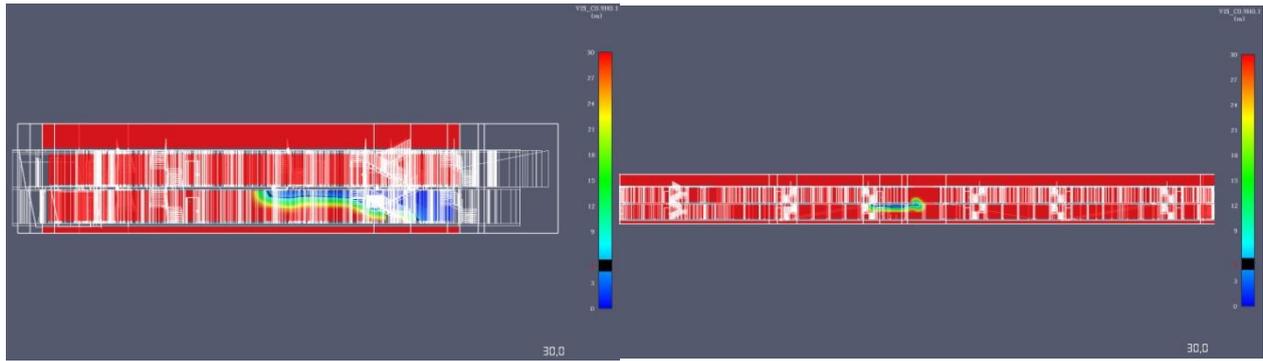


Figura 63. Slice di visibilità in direzione x e y a 30 secondi

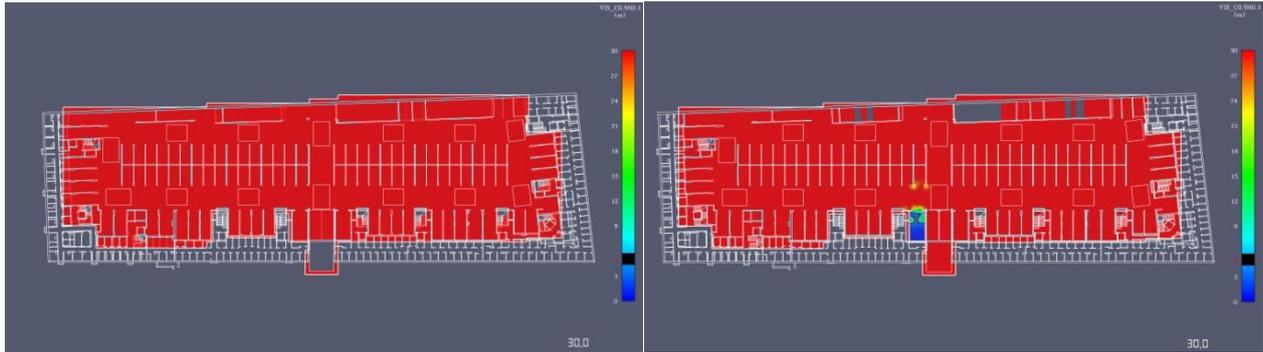


Figura 64. Slice di visibilità al primo e al secondo piano interrato a 30 secondi

Dopo 60 secondi il fumo raggiunge la prima griglia di aerazione su spazio a cielo libero e i due box auto davanti a quello contenente il focolare si riempiono di fumo.

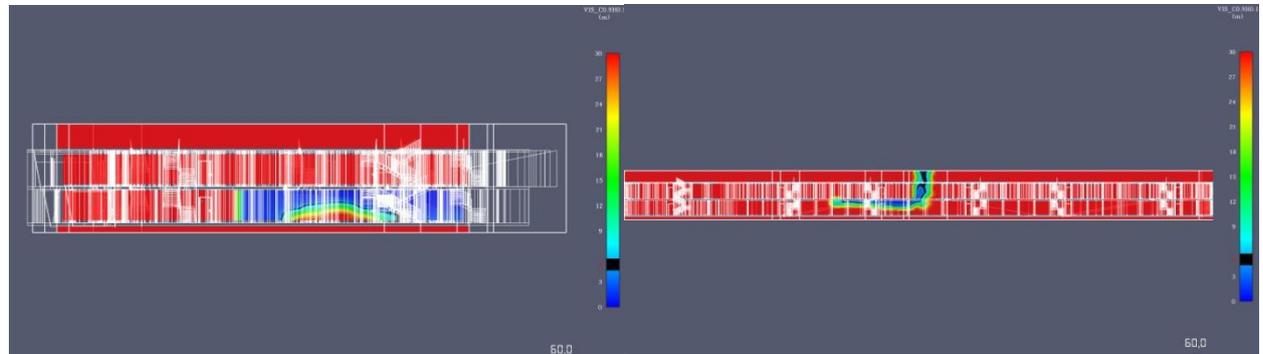


Figura 65. Slice di visibilità in direzione x e y a 60 secondi

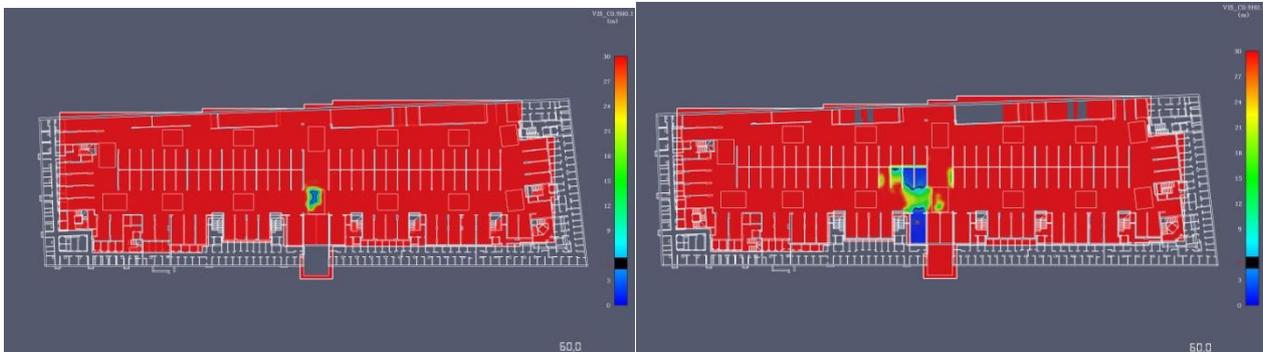


Figura 66. Slice di visibilità al primo e al secondo piano interrato a 60 secondi

Dopo 90 secondi il fumo raggiunge la seconda griglia di aerazione su spazio a cielo libero e un altro box auto di fronte a quello dell'innesco viene completamente oscurato.

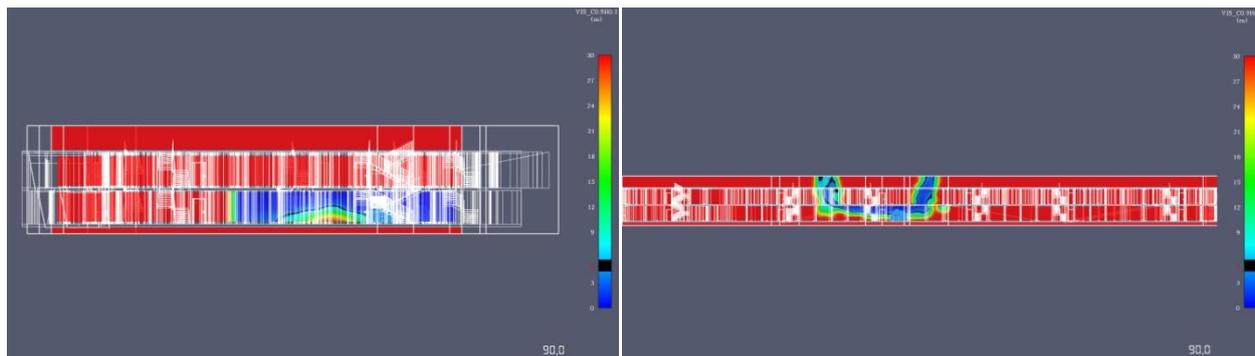


Figura 67. Slice di visibilità in direzione x e y a 90 secondi

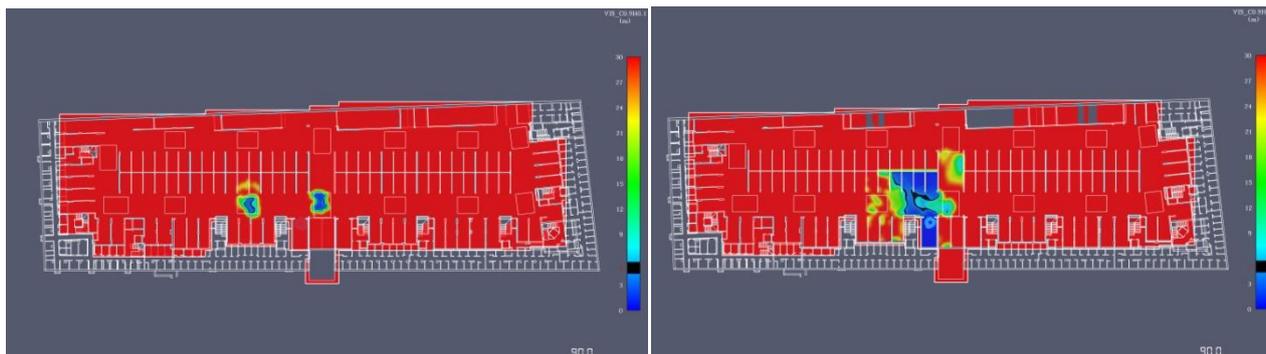


Figura 68. Slice di visibilità al primo e al secondo piano interrato a 90 secondi

Dopo 120 secondi il fumo ha completamente invaso la porzione del secondo piano interrato nei pressi del box in cui si è innescato l'incendio. All'interno del box auto in cui è iniziato l'incendio si attiva il primo sprinkler.

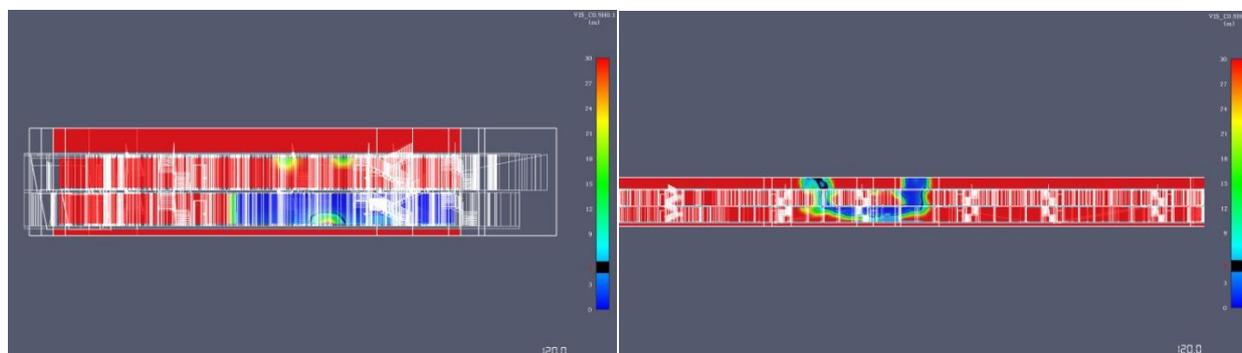


Figura 69. Slice di visibilità in direzione x e y a 120 secondi

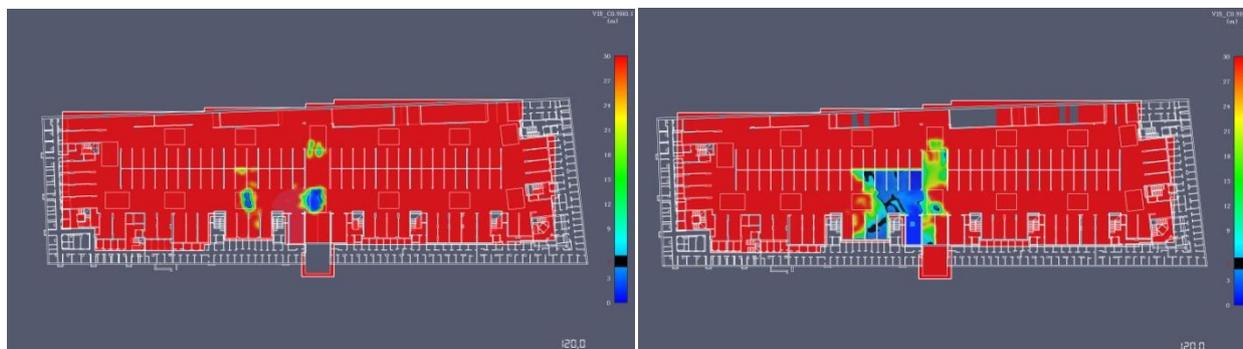


Figura 70. Slice di visibilità al primo e al secondo piano interrato a 120 secondi

Dopo 180 secondi il fumo inizia ad occupare la parte superiore del primo piano interrato. Al secondo piano interrato continua ad espandersi e raggiunge la terza griglia di aerazione come si può vedere in Figura 71. All'interno del box in cui è iniziato l'incendio si attiva il secondo sprinkler.

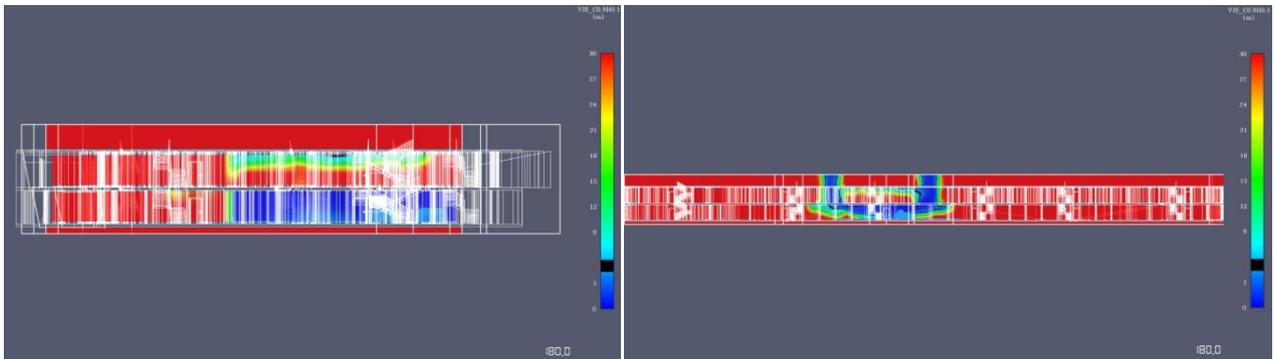


Figura 71. Slice di visibilità in direzione x e y a 180 secondi

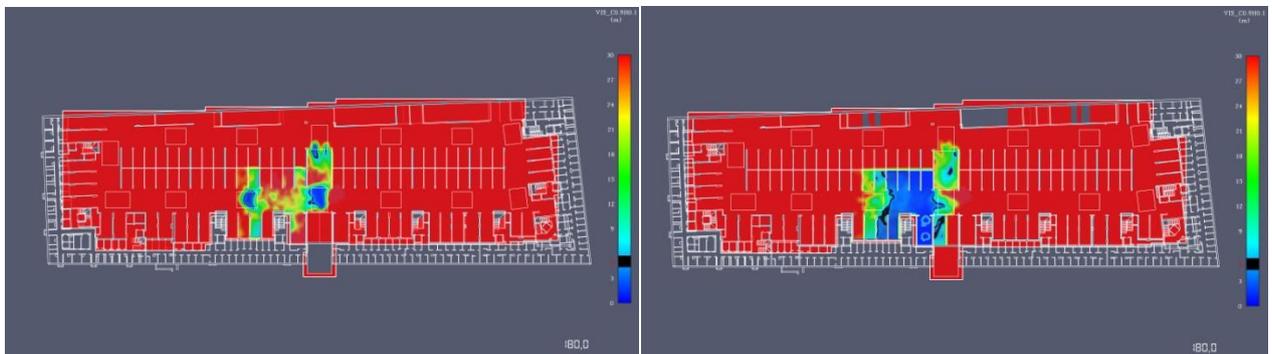


Figura 72. Slice di visibilità al primo e al secondo piano interrato a 180 secondi

Dopo 240 secondi il corridoio di fronte alla rampa carrabile di accesso al primo piano interrato risulta quasi interamente oscurato dai fumi. Al secondo piano interrato si attiva il terzo sprinkler.

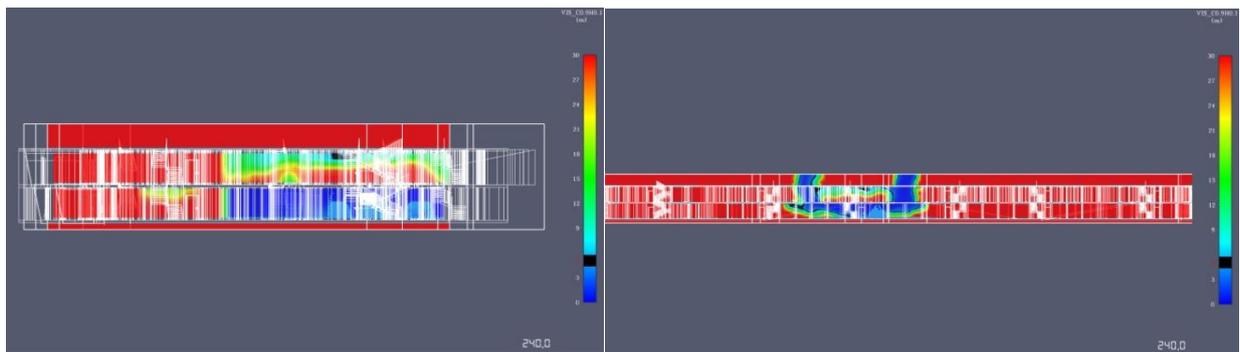


Figura 73. Slice di visibilità in direzione x e y a 240 secondi

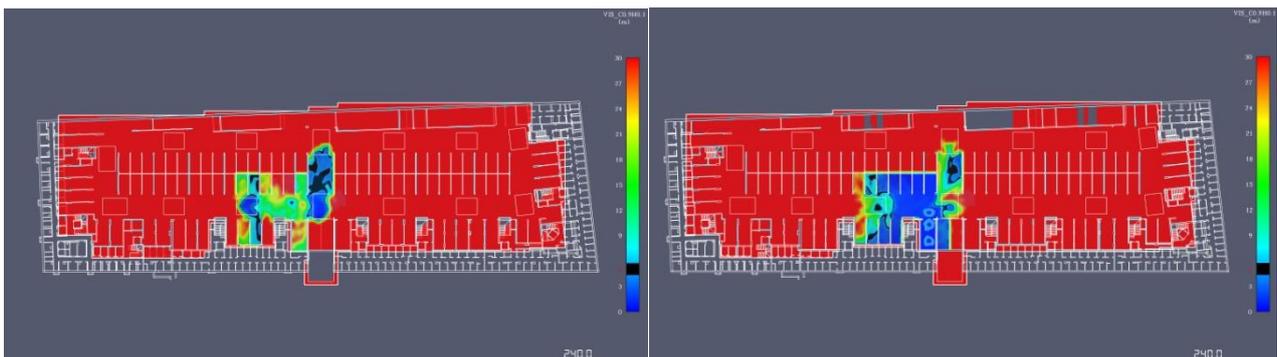


Figura 74. Slice di visibilità al primo e al secondo piano interrato a 240 secondi

Dopo 300 secondi il corridoio di fronte alla rampa carrabili inizia a liberarsi dai fumi, ma il tratto di corsia di manovra di fronte al box auto dell'innescò viene oscurato ulteriormente. Al primo piano interrato non è più praticabile la rampa di scale sulla destra rispetto alla rampa carrabile.

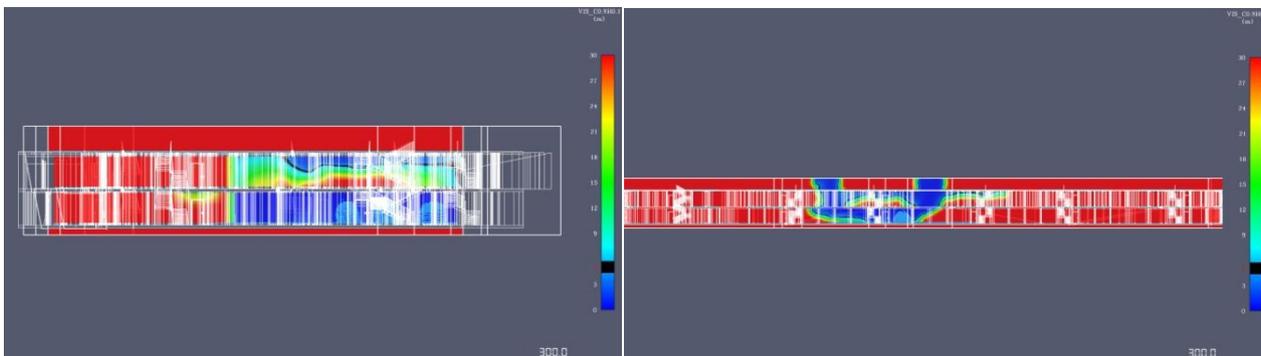


Figura 75. Slice di visibilità in direzione x e y a 300 secondi

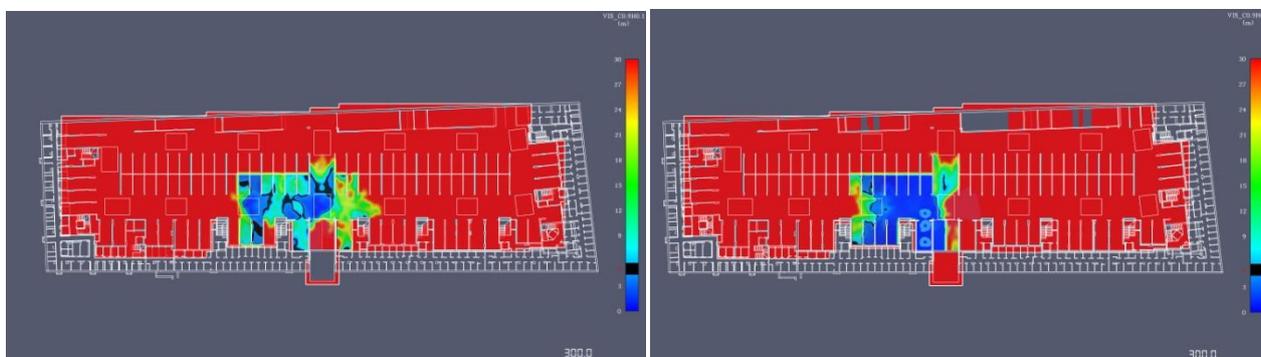


Figura 76. Slice di visibilità al primo e al secondo piano interrato a 300 secondi

Dopo 360 secondi anche il tratto di corsia di manovra al primo piano interrato risulta completamente impraticabile.

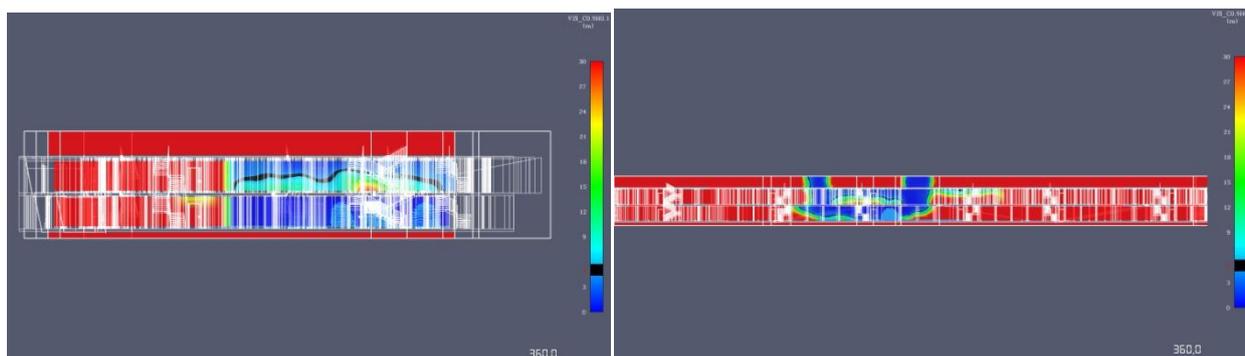


Figura 77. Slice di visibilità in direzione x e y a 360 secondi

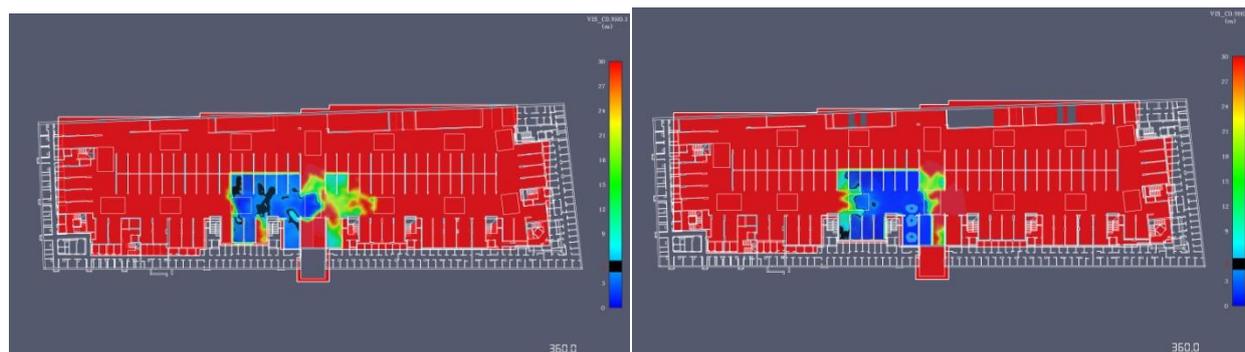


Figura 78. Slice di visibilità al primo e al secondo piano interrato a 360 secondi

Dopo 600 secondi il fumo continua ad espandersi nella parte superiore del primo piano interrato.

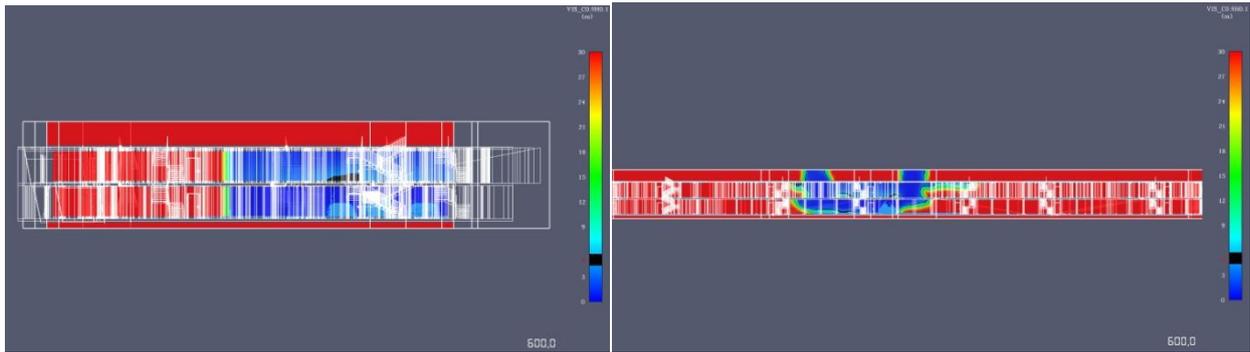


Figura 79. Slice di visibilità in direzione x e y a 600 secondi

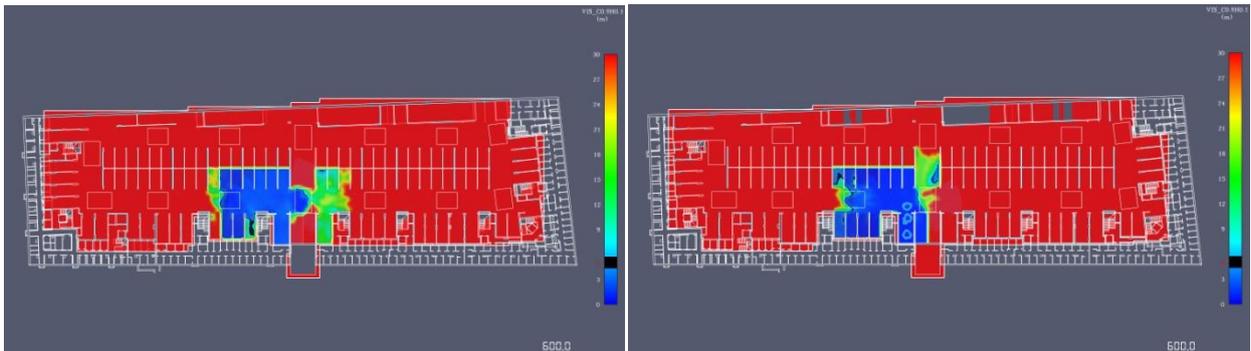


Figura 80. Slice di visibilità al primo e al secondo piano interrato a 600 secondi

Dopo 900 secondi si attiva un altro sprinkler nella corsia di manovra e il fumo raggiunge il primo box auto al secondo piano interrato dalla parte opposta rispetto ai primi oscurati.

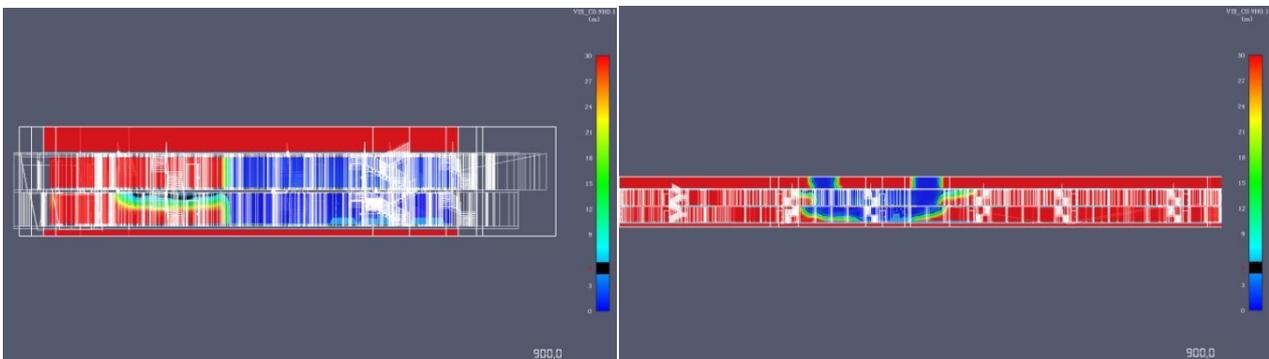


Figura 81. Slice di visibilità in direzione x e y a 900 secondi

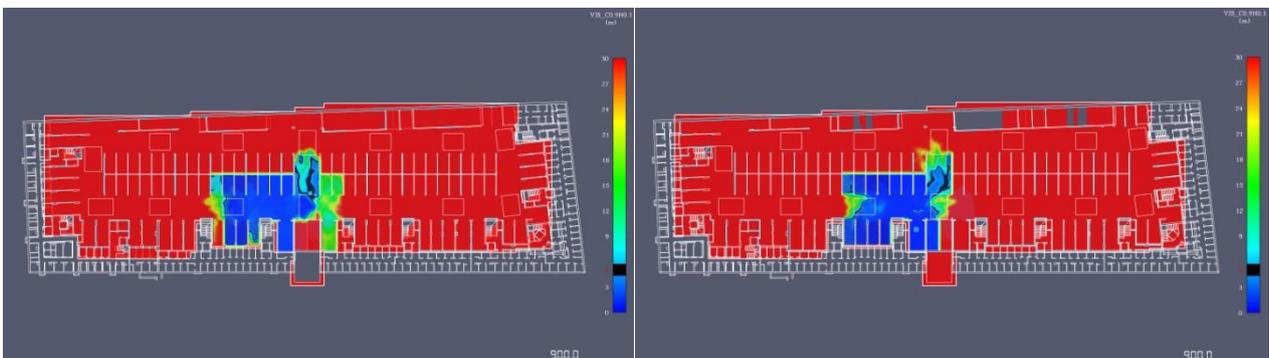


Figura 82. Slice di visibilità al primo e al secondo piano interrato a 900 secondi

Dopo 1200 secondi ben sei testine sprinkler stanno erogando acqua al secondo piano interrato.

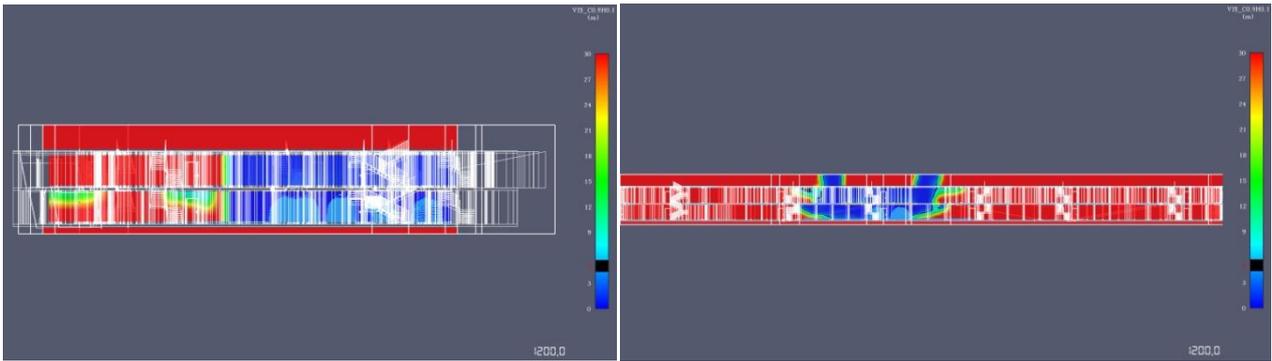


Figura 83. Slice di visibilità in direzione x e y a 1200 secondi

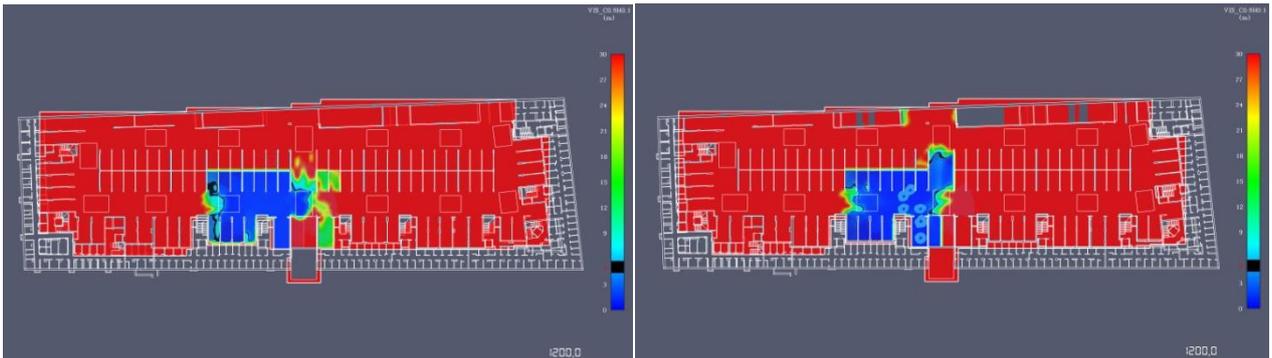


Figura 84. Slice di visibilità al primo e al secondo piano interrato a 1200 secondi

Dopo 1350 secondi sono attivi nove sprinkler e solo una rampa di scale risulta impraticabile.

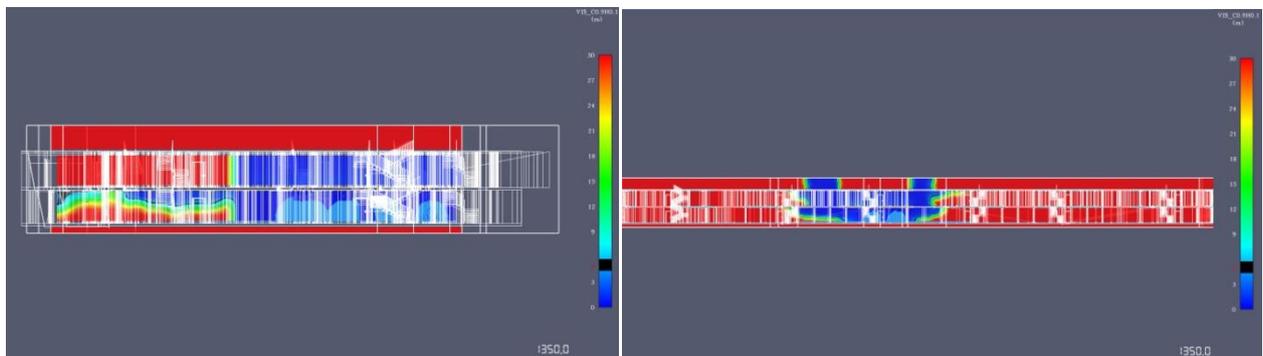


Figura 85. Slice di visibilità in direzione x e y a 1350 secondi

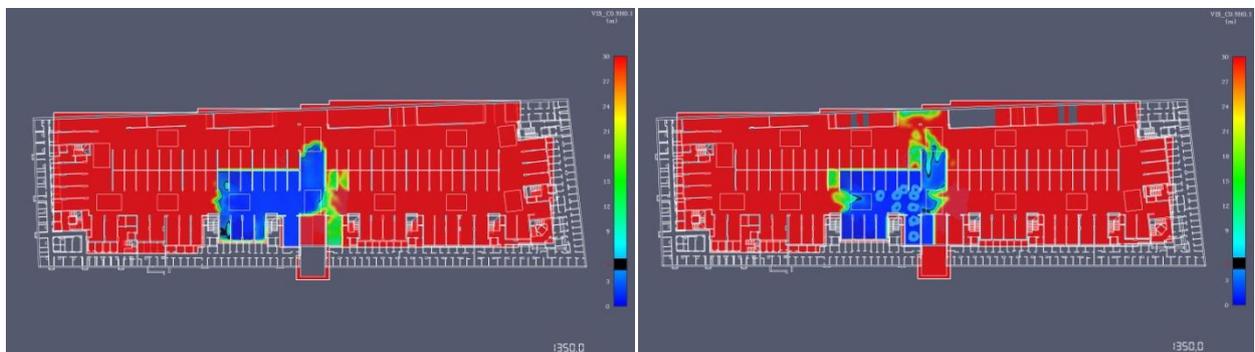


Figura 86. Slice di visibilità al primo e al secondo piano interrato a 1350 secondi

ISOSUPERFICI DI OSCURAMENTO DELLA VISIBILITA'

Le isosuperfici di oscuramento della visibilità rappresentano le zone dello spazio in cui la visibilità scende sotto una determinata soglia. Per la presente progettazione sono state analizzate le isosuperfici con soglia pari a 10 e a 5 metri. Le prime per i primi 360 secondi della simulazione, in modo tale da poter analizzare l'esodo degli occupanti. Le seconde fino ai 1350 secondi, così da poter verificare la possibilità di accesso delle squadre di soccorso.

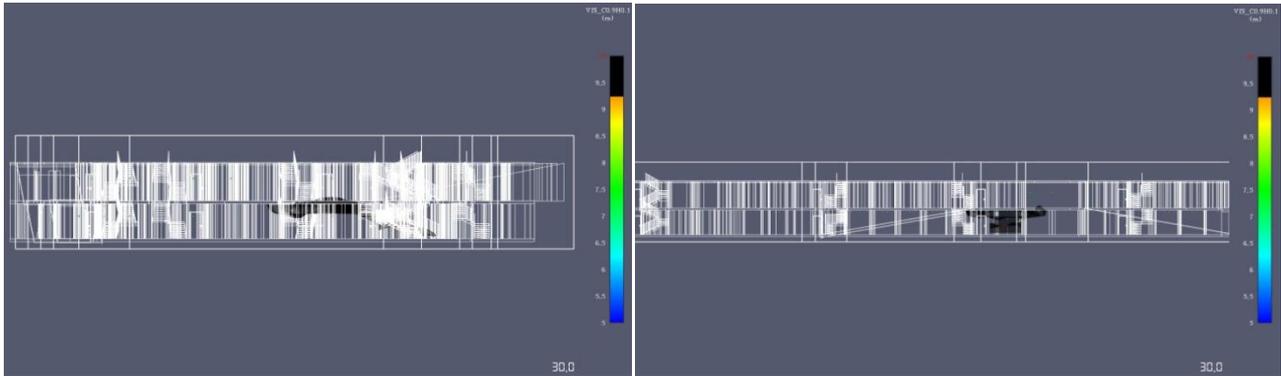


Figura 87. Isosuperfici di visibilità a 10 metri in direzione x e y a 30 secondi

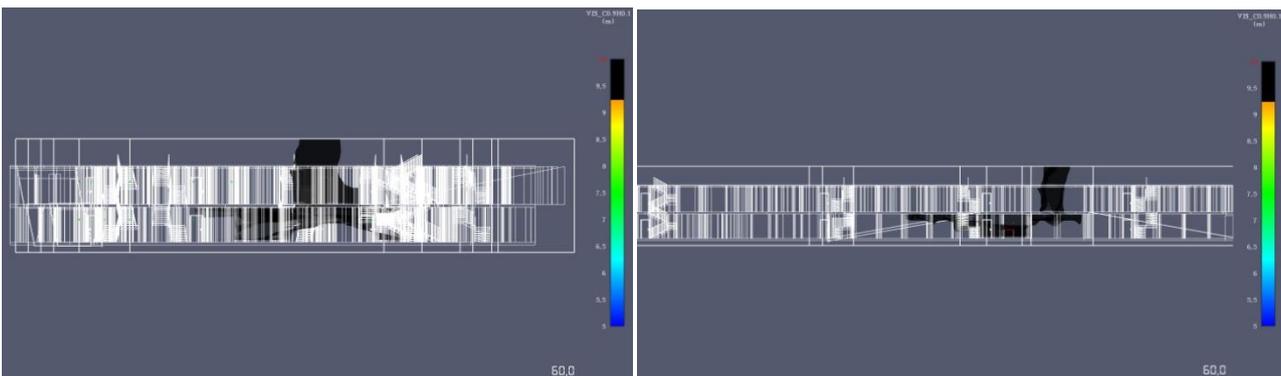


Figura 88. Isosuperfici di visibilità a 10 metri in direzione x e y a 60 secondi

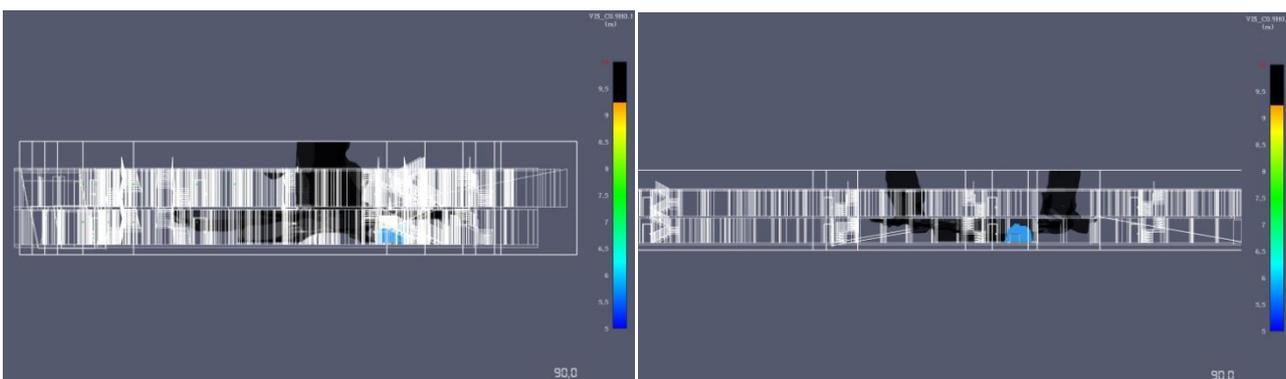


Figura 89. Isosuperfici di visibilità a 10 metri in direzione x e y a 90 secondi

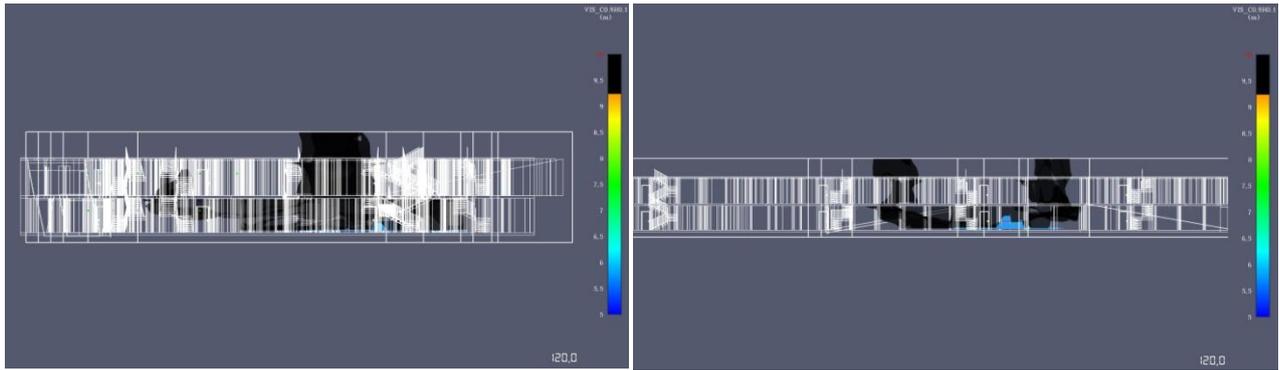


Figura 90. Isosuperfici di visibilità a 10 metri in direzione x e y a 120 secondi

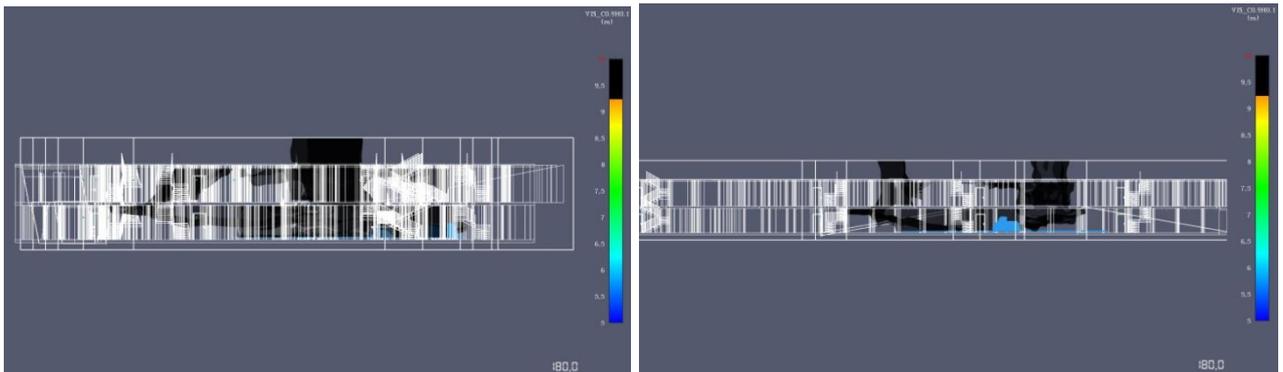


Figura 91. Isosuperfici di visibilità a 10 metri in direzione x e y a 180 secondi

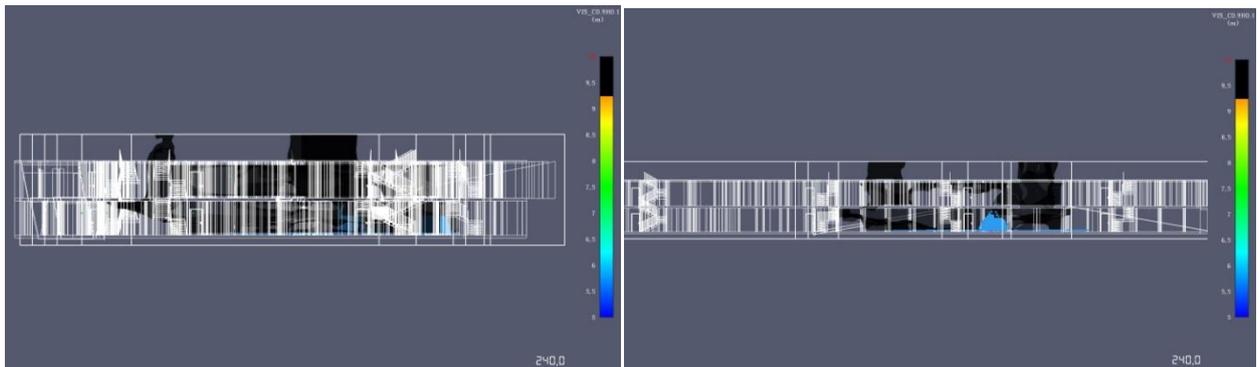


Figura 92. Isosuperfici di visibilità a 10 metri in direzione x e y a 240 secondi

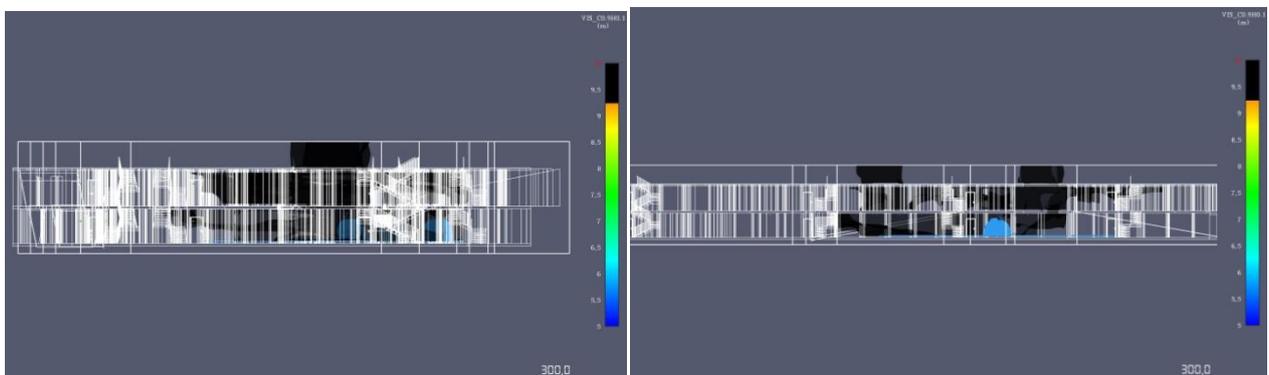


Figura 93. Isosuperfici di visibilità a 10 metri in direzione x e y a 300 secondi

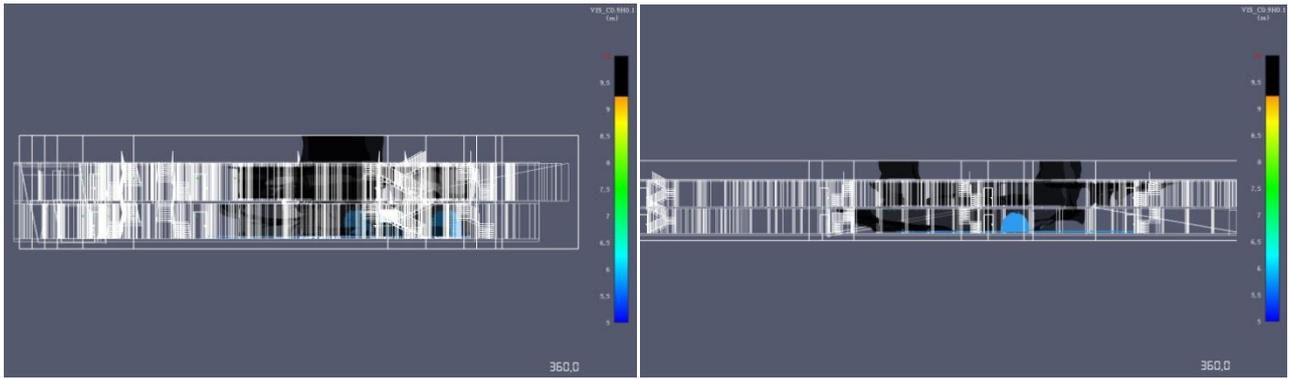


Figura 94. Isosuperfici di visibilità a 10 metri in direzione x e y a 360 secondi

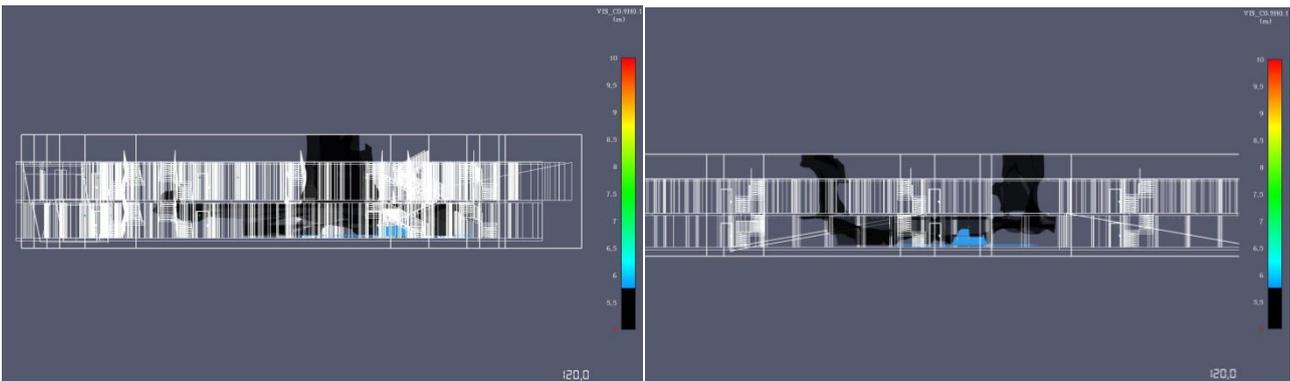


Figura 95. Isosuperfici di visibilità a 5 metri in direzione x e y a 120 secondi

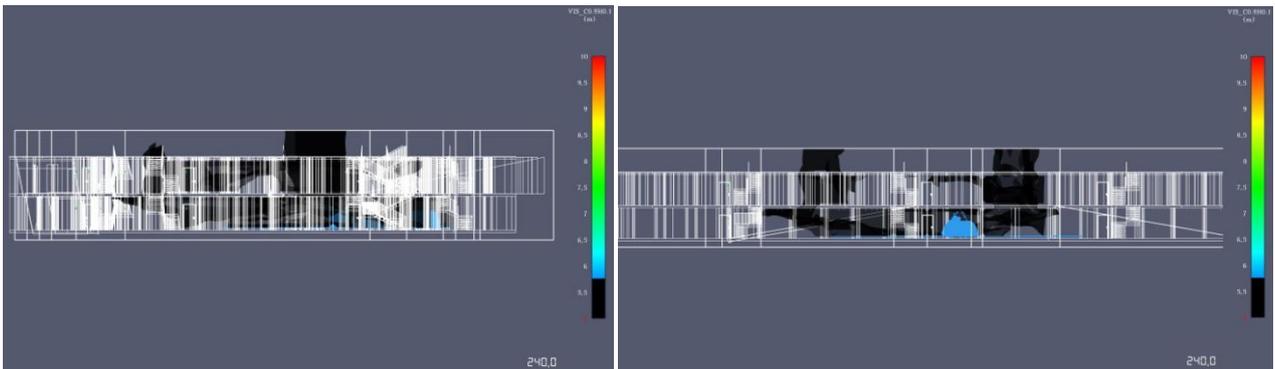


Figura 96. Isosuperfici di visibilità a 5 metri in direzione x e y a 240 secondi

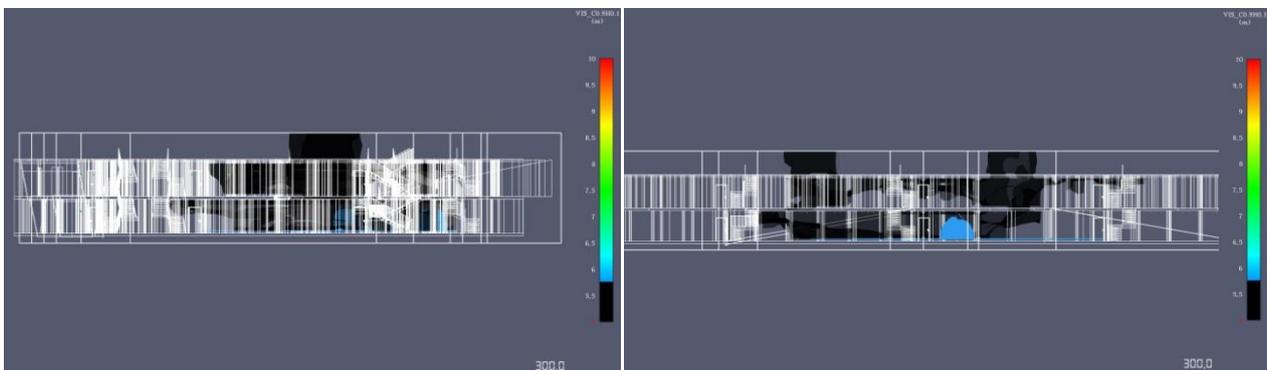


Figura 97. Isosuperfici di visibilità a 5 metri in direzione x e y a 300 secondi

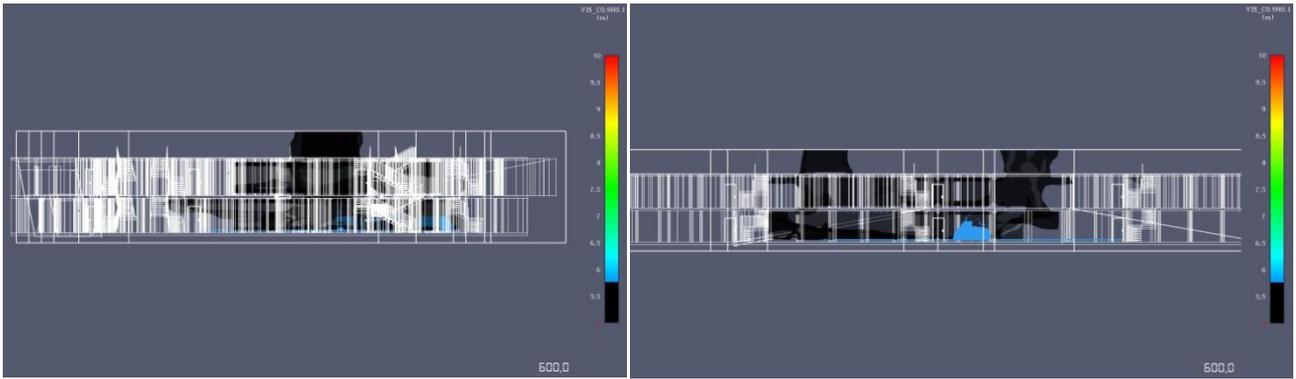


Figura 98. Isosuperfici di visibilità a 5 metri in direzione x e y a 600 secondi

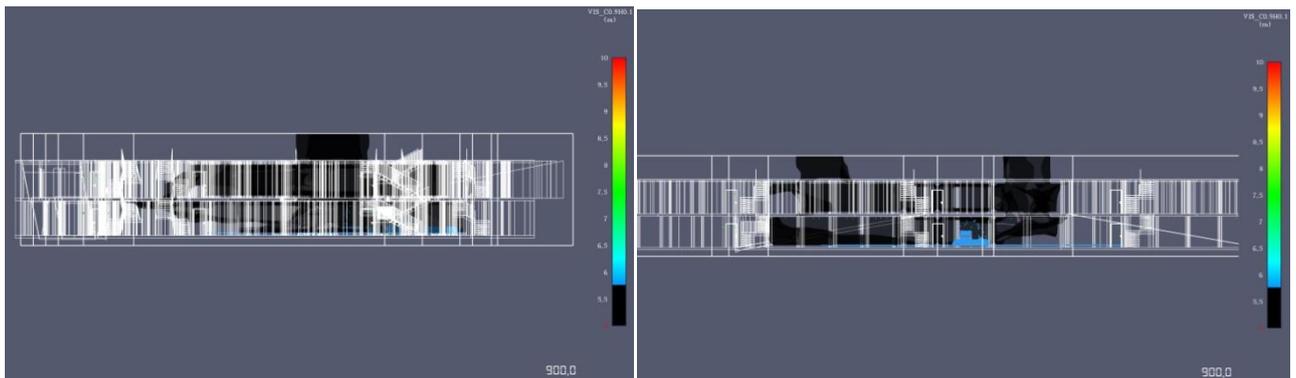


Figura 99. Isosuperfici di visibilità a 5 metri in direzione x e y a 900 secondi

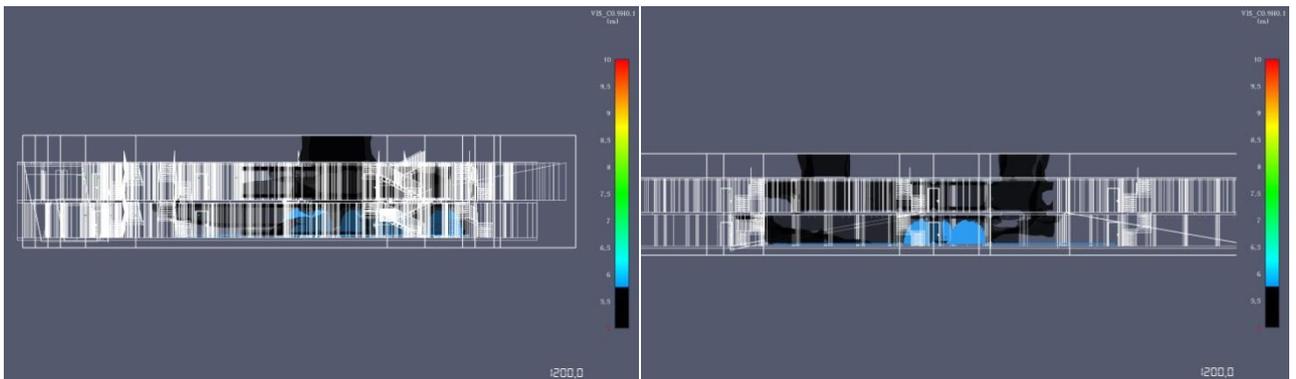


Figura 100. Isosuperfici di visibilità a 5 metri in direzione x e y a 1200 secondi

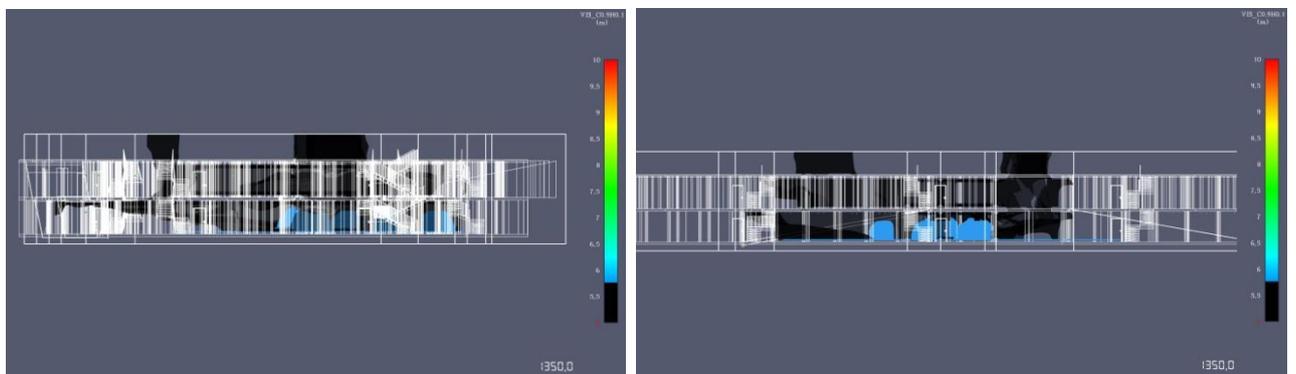


Figura 101. Isosuperfici di visibilità a 5 metri in direzione x e y a 1350 secondi

ATTIVAZIONE DELLE TESTINE DEGLI SPRINKLER

Gli sprinkler sono stati inseriti nel modello in quanto il Codice prevede la loro presenza, almeno in ambiti dell'attività definiti a seguito di specifica valutazione del rischio, nella strategia antincendio "Controllo dell'incendio".

Per effettuare le diverse simulazioni sono state predisposte numerose testine nei pressi del focolare.

Di seguito è riportato un grafico che illustra il numero di sprinkler attivati per lo scenario 1 e il loro tempo di attivazione.

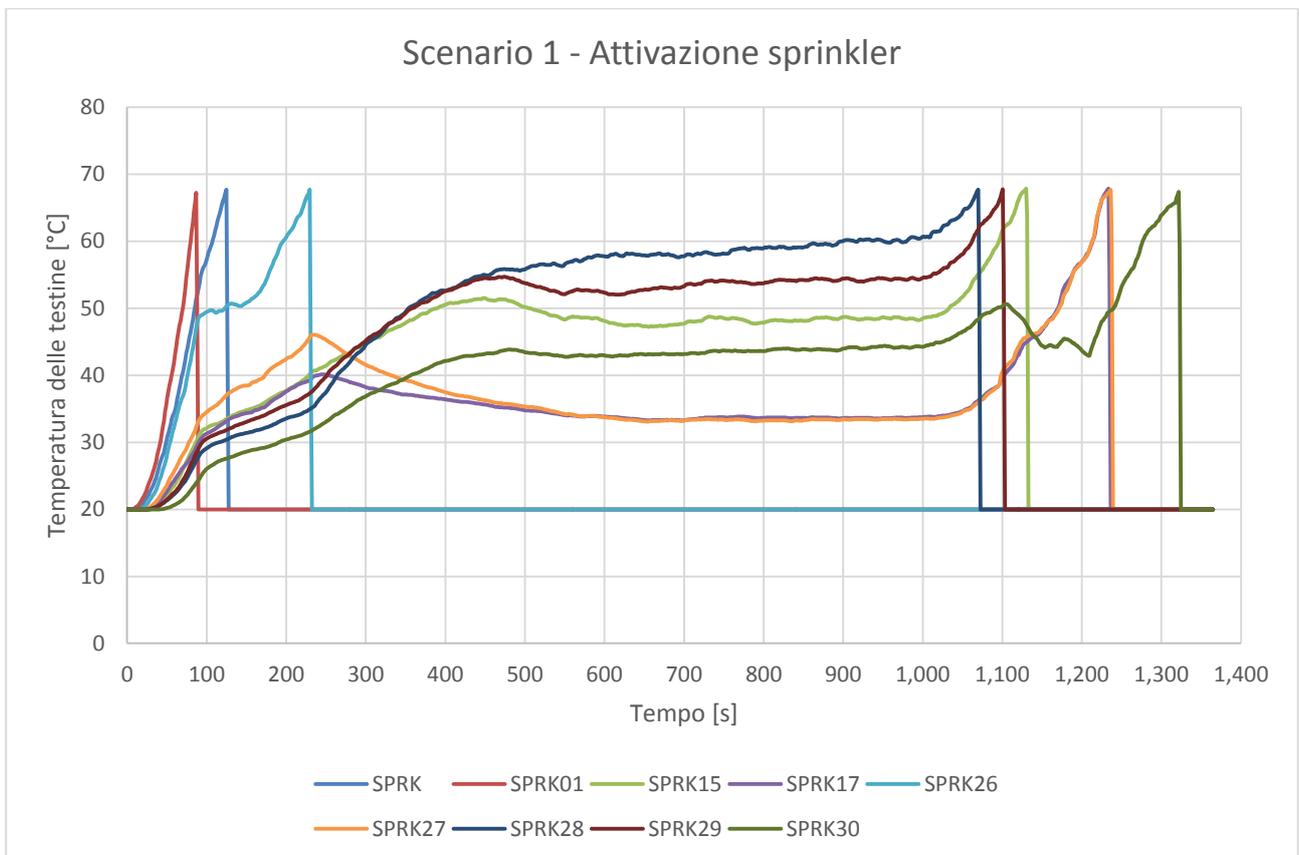


Figura 102. Attivazione degli sprinkler - Scenario 1

I primi tre sprinkler ad attivarsi sono quelli all'interno del box in cui si è innescato l'incendio è quello di fronte alla basculante del medesimo box auto. Gli altri sprinkler si attivano solo una volta superati i 1000 secondi, e sono quelli presenti nella corsia di manovra e nei box auto di fronte a quello in cui è stato inserito il focolare.

CALCOLO ASET

Per definire un valore dell'ASET è stato utilizzato il metodo di calcolo avanzato, secondo cui si analizzano almeno tre modelli (del calore, di oscuramento della visibilità e dei gas tossici) e si verifica che non vengano superati i valori delle soglie di prestazione. Per fare ciò sono stati inseriti i *device* nel modello ad una quota ben definita nel Codice di Prevenzione Incendi, ovvero a 1,80 m dal piano di calpestio.

MODELLO DEL CALORE

Il modello del calore analizza due grandezze: temperatura e irraggiamento.

Per quanto riguarda la temperatura, osservando la Figura 103, si evince che solamente due dispositivi registrano temperature superiori alla soglia di prestazione fissata a 60°C. Questi dispositivi sono il TEMP05 e il TEMP13, che sono rispettivamente quello davanti alla basculante del box auto in cui è contenuto il focolare e quello all'interno del medesimo box. Inoltre solo il *device* TEMP13 supera la soglia durante l'esodo degli occupanti, ma questo risulta perfettamente normale considerando che il dispositivo si trova sopra il focolare. Questi due *device* definiscono quindi due valori di ASET che non sono stati presi in considerazione in quanto troppo vicini al focolare. Risulta però interessante osservare a quale temperatura arriva l'ambiente all'interno del box auto, che supera i 500°C dopo 1200 secondi dall'innesco. Dal punto di vista strutturale questo non comporta nessun pericolo in quanto i blocchi usati per la realizzazione delle partizioni tra i box auto sono certificati per resistere al fuoco per almeno 90 minuti.

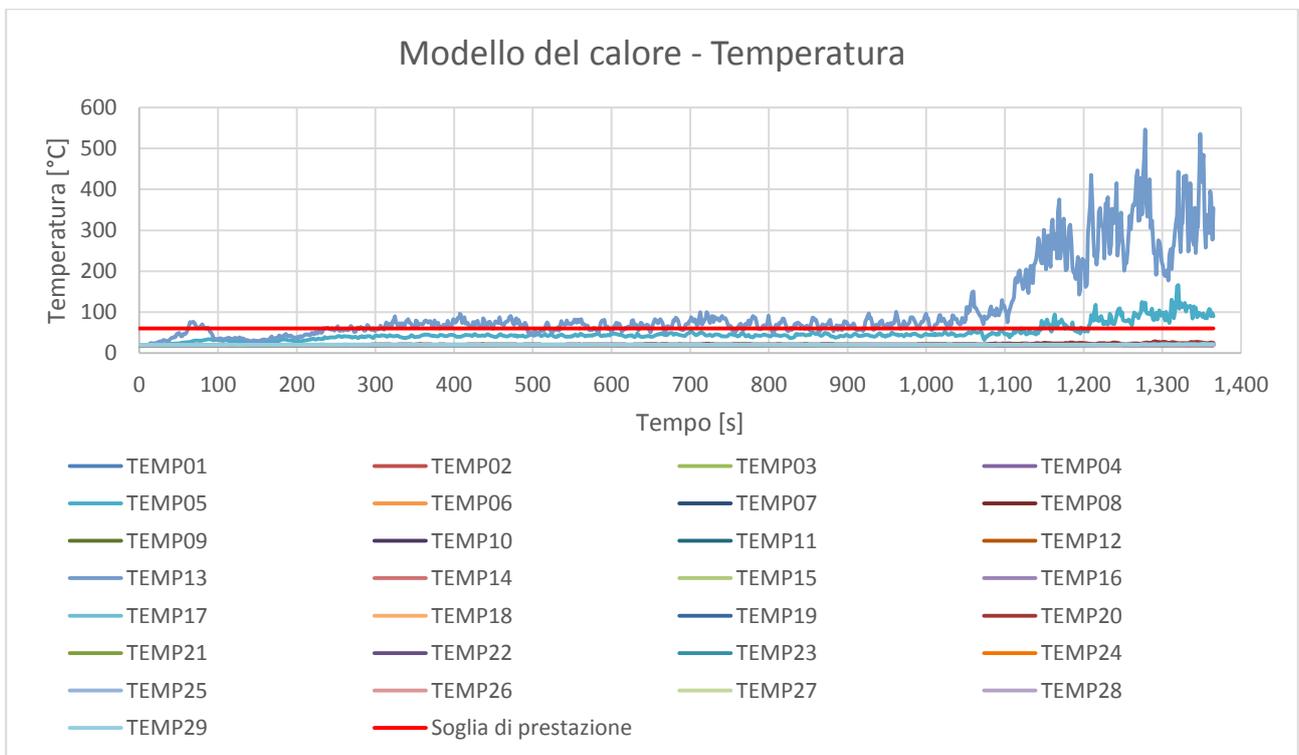


Figura 103. Modello del calore - Temperatura - Scenario 1

Per analizzare invece l'irraggiamento bisogna osservare la Figura 104. In questo caso solo il *device* IRR13, posizionato sopra il focolare, supera la soglia di prestazione entro i 1350. Ovviamente anche in questo caso il valore di ASET definito da questo dispositivo non viene preso in considerazione. Può essere interessante osservare cosa succede all'interno del box auto in cui è presente il focolare: tra i 650 e i 800 secondi ci sono alcuni istanti in cui i valori di irraggiamento iniziano a diventare pericolosi per gli occupanti (che sono già tutti usciti dall'autorimessa) e anche per i soccorritori che dovranno prestare particolare attenzione quando si avvicineranno in quel punto.

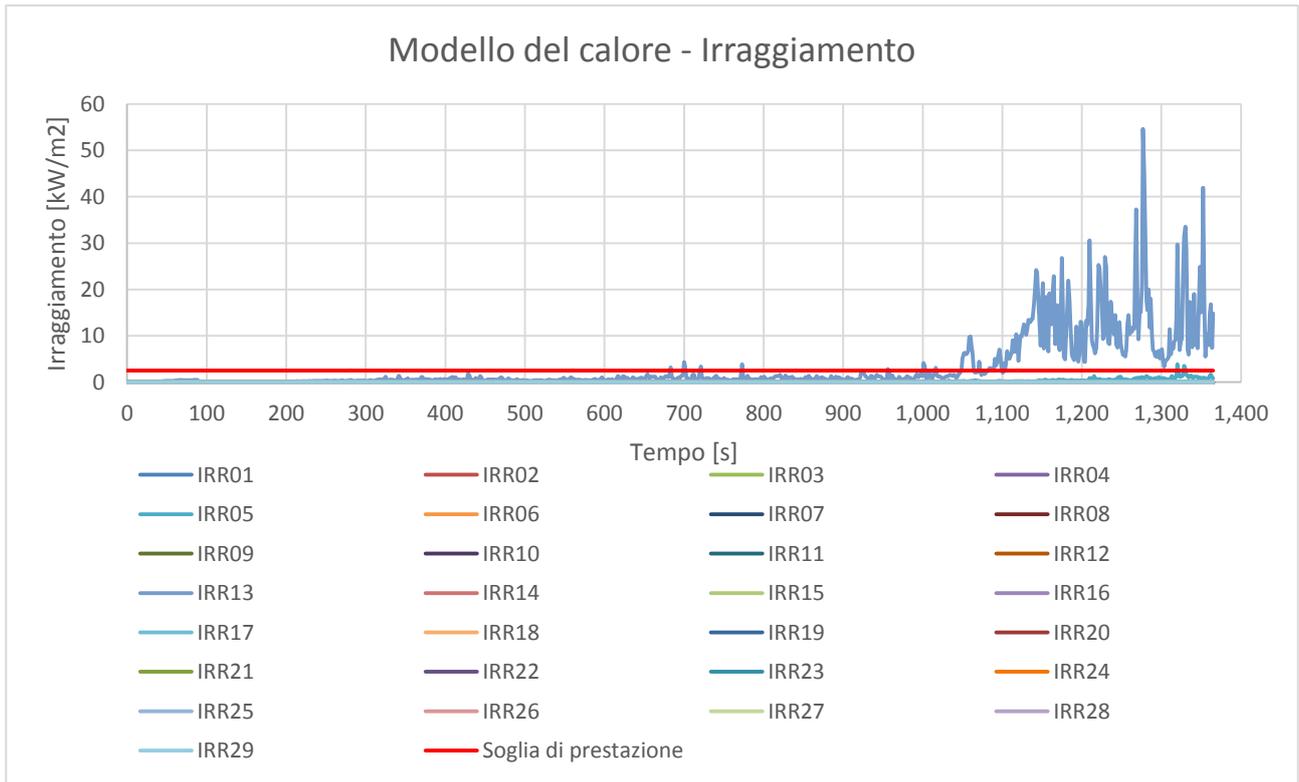


Figura 104. Modello del calore - Irraggiamento - Scenario 1

MODELLO DEI GAS TOSSICI

Per l'analisi di questo modello si riporta il grafico in Figura 105. I *device* che registrano valori superiori alla soglia di prestazione (fissata a 0,1) sono sempre FED05 e FED13, ovvero gli stessi che superano anche la soglia di prestazione della temperatura. La conclusione quindi è sempre quella di escludere i valori registrati da tali *device* dal calcolo dell'ASET.

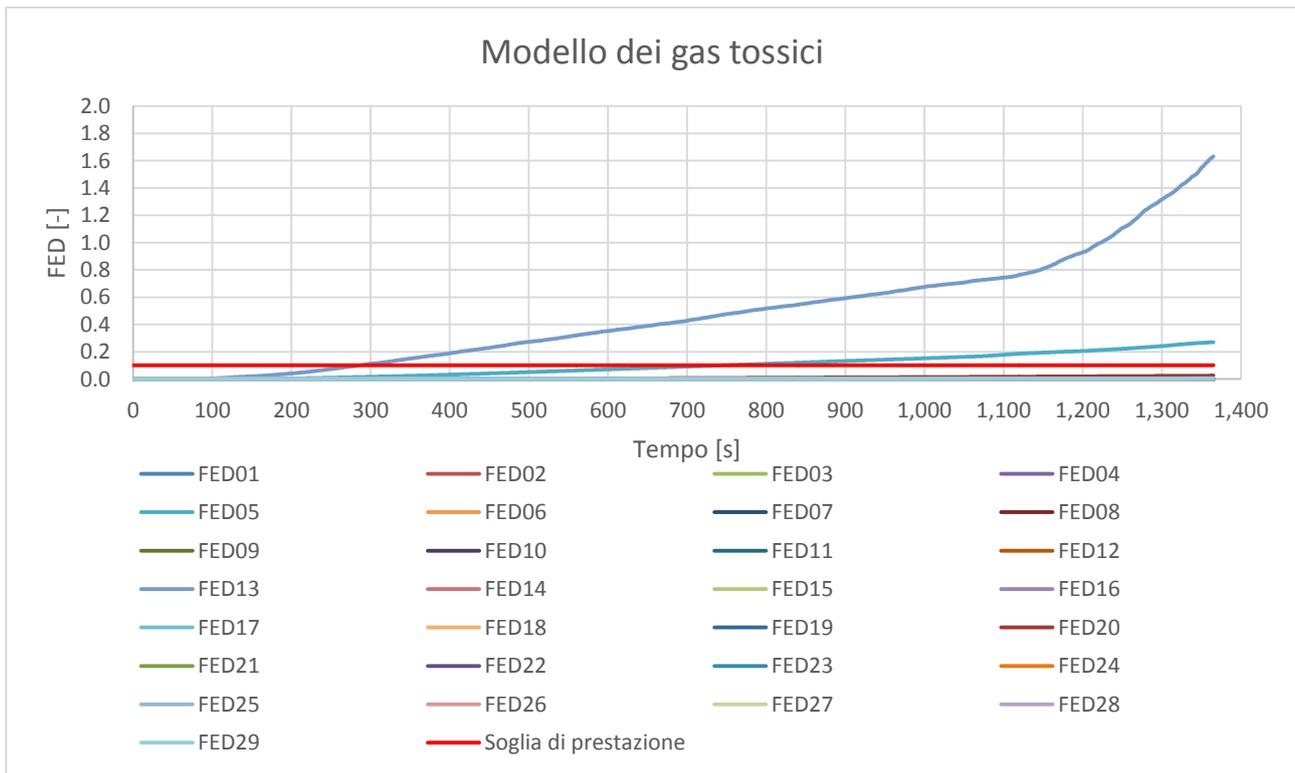


Figura 105. Modello dei gas tossici - Scenario 1

MODELLO DI OSCURAMENTO DELLA VISIBILITA'

Il modello di oscuramento della visibilità risulta in questa analisi fondamentale, anche perché è sicuramente il maggiormente significativo tra i quattro per analizzare la conformità delle aperture di smaltimento dei fumi e del calore. Per l'analisi bisogna osservare la Figura 106. I primi *device* a registrare valori di visibilità inferiori alla soglia di prestazione (fissata a 10 metri per gli occupanti e 5 metri per i soccorritori) sono i medesimi dei modelli precedentemente analizzati, cioè VIS05 e VIS13. Nei pressi di questi dispositivi la visibilità scende rapidamente al di sotto dei 10 metri e tende a zero; tale tendenza ci dimostra che il box auto che contiene il focolare e la parte di corsia di manovra subito davanti al box sono definitivamente non percorribili. Questi *device* non sono stati considerati nel calcolo dell'ASET. Tra i 200 e i 300 secondi avviene un fatto molto interessante, il *device* VIS29 registra valori di visibilità al di sotto dei 10 metri ma dopo i 300 secondi tende a tornare ai valori di partenza, per poi tornare al di sotto della soglia tra i 750 e i 950 secondi e circa tra i 1000 e i 1200 secondi. Questo fatto può accadere a causa delle grandi aperture di aerazione che permettono un buon ricambio d'aria, ma anche a causa della presenza degli sprinkler, che immettendo minuscole goccioline d'acqua favoriscono lo sviluppo di fumo freddi e densi che tendono a permanere in basso, piuttosto che salire rapidamente come i fumi caldi. Questo *device* infatti non si trova nei pressi di un'apertura di aerazione ma in corrispondenza di un corridoio tra due aperture al primo piano interrato. Data la natura altalenante di questi valori, il *device* VIS29 non è stato considerato nel calcolo dell'ASET. Per il medesimo motivo non è stato considerato neanche il *device* VIS21 (nell'immagine colorato in verde), che registra valori inferiori alla soglia di prestazione tra i 260 e i 320 secondi e tra i 540 e i 600 secondi. Superati i 600 secondi i valori di visibilità tendono a salire a 30 metri, e una volta raggiunti a circa 1100 secondi non scendono più. Il *device* VIS20 (colorato in marrone nell'immagine) non è stato considerato in

quanto si trova al primo piano interrato in corrispondenza del *device* VIS05, quindi in corrispondenza del box auto in cui è contenuto il focolare. Il *device* considerato per la definizione del valore dell'ASET è stato il VIS19 (colorato in blu nell'immagine), che registra valori pari a 30 metri di visibilità fino ai 1150 secondi circa, istante in cui registrano un abbassamento repentino fino ai 20 metri per poi tornare a 30 con lo stesso andamento. Superati i 1350 secondi registra un valore bassissimo per il quale l'andamento crolla quasi verticalmente al di sotto dei 5 metri di visibilità. Questo *device* si trova al primo piano interrato davanti alla porta di accesso all'autorimessa dalla rampa di scale sulla sinistra rispetto a quella che risulta oscurata, e quindi di particolare importanza per i soccorritori che accederanno al primo interrato passando per un'altra rampa di scale.

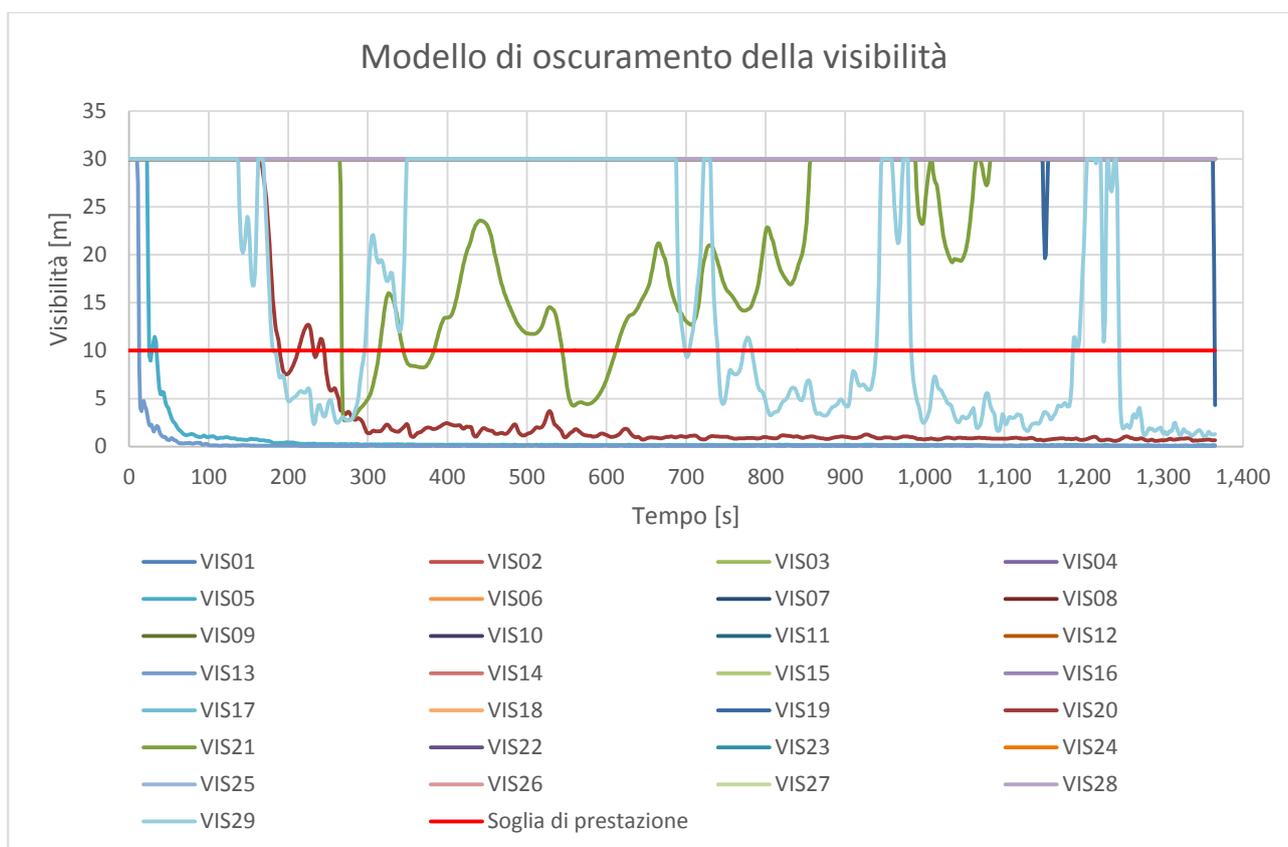


Figura 106. Modello di oscuramento della visibilità - Scenario 1

L'istante preciso in cui viene registrato tale valore è pari a 1370 secondi, e questo rappresenta l'ASET del primo scenario di incendio di progetto.

CALCOLO RSET

Il valore di RSET viene definito considerando l'ultimo occupante che esce in sicurezza dall'attività.

In figura 107 è riportato un grafico in cui è rappresentato l'esodo degli occupanti, riportando nelle ordinate il valore del numero di occupanti e in ascissa il tempo in secondi. Da questa immagine si capisce quanto siano lunghi i tempi di rivelazione ed allarme ipotizzati, ma una volta superati quelli tutti gli occupanti riescono ad uscire in circa 120 secondi.

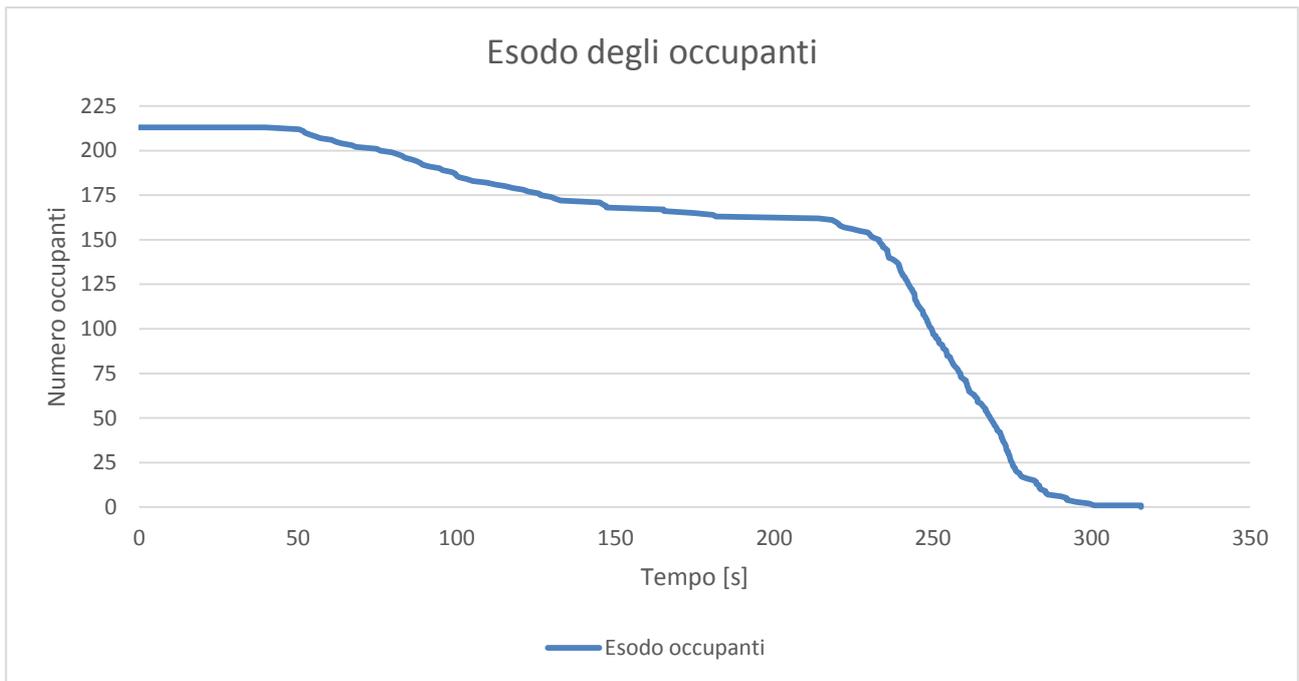


Figura 107. Esodo degli occupanti - Scenario 1

Il primo occupante ad uscire è quello presente all'interno del box auto in cui si innesca l'incendio. Questo occupante esce a 40 secondi dall'innesco, Mentre l'ultimo occupante esce a circa 310,5 secondi. In seguito sono riportate alcune immagini che mostrano l'esodo dell'ultimo occupante. In queste immagini sono rappresentate alcune *slice* che raffigurano uno scenario in totale sicurezza, non essendo presenti tracce di fumo.

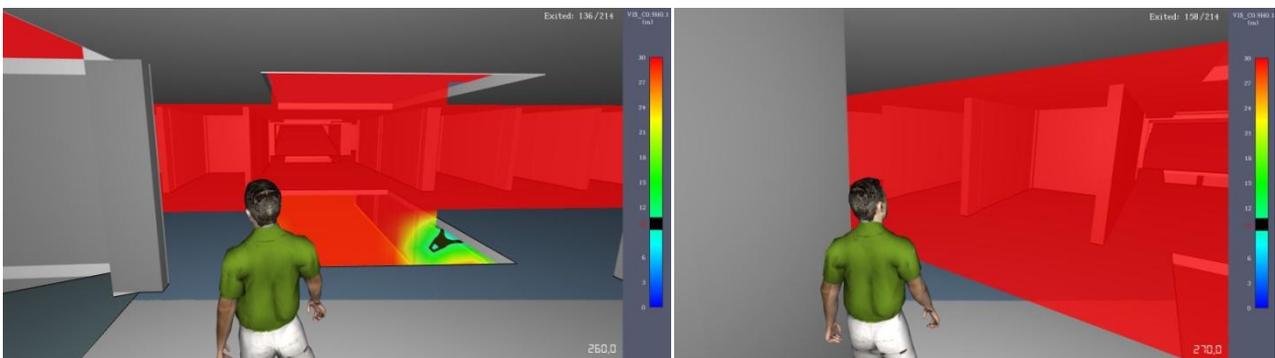


Figura 108. Esodo dell'ultimo occupante. Istanti: 260 e 270 secondi

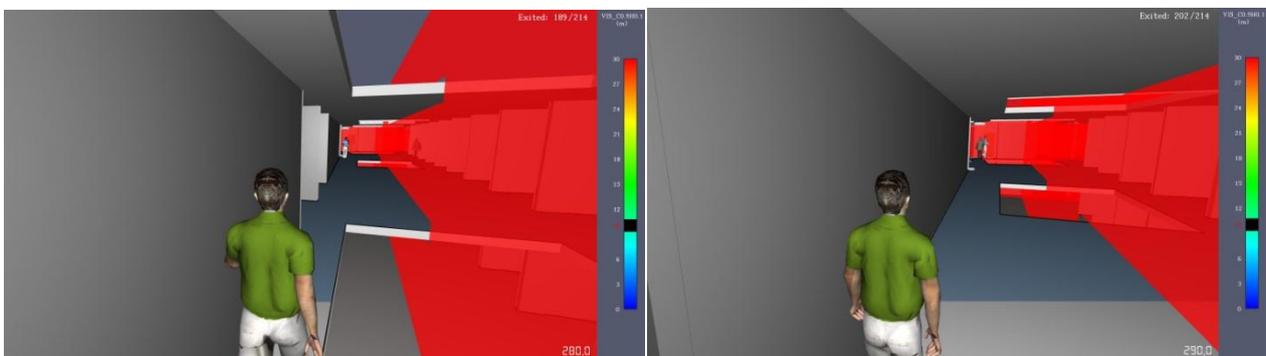


Figura 109. Esodo dell'ultimo occupante. Istanti: 280 e 290 secondi

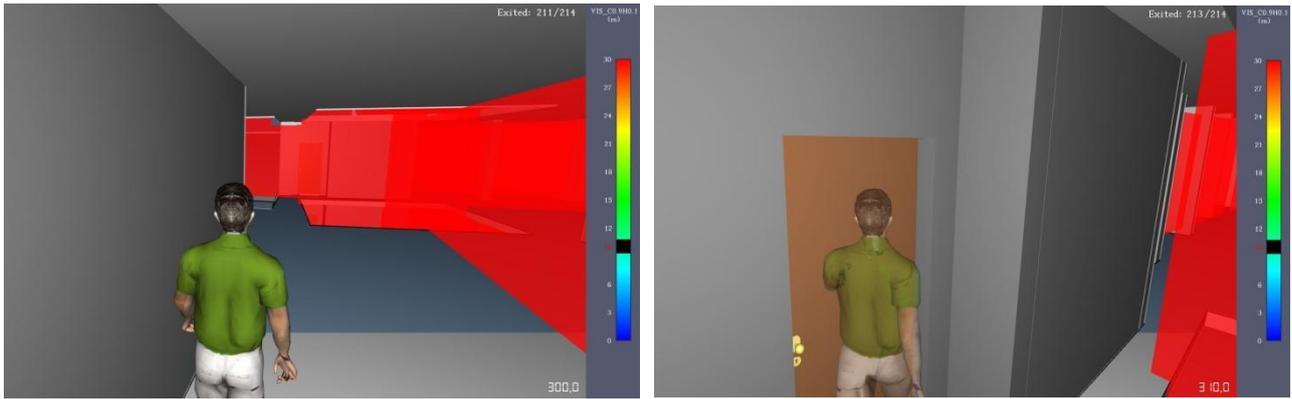


Figura 110. Esodo dell'ultimo occupante. Istanti: 300 e 310 secondi

Quindi il valore di RSET è pari a 310,5 secondi.

Il criterio $ASET > RSET$ viene ampiamente soddisfatto, sviluppando un tempo di margine pari a 1059,5 secondi, che corrisponde a circa il 341% dell'RSET.

6.5.2 SCENARIO 2

Nel secondo scenario si è ipotizzato un incendio in un box auto doppio, contenente due automobili. Questo scenario è decisamente più pericoloso del primo analizzato. In questo caso il fumo invade completamente una porzione del secondo piano interrato ma anche il primo risulta decisamente interessato dalla presenza di fumi. Dopo 1350 secondi tre rampe di scale risultano impraticabili sia al primo che al secondo piano interrato, quindi rimangono praticabili sette rampe di scale per l'accesso protetto delle squadre di soccorso.

La curva RHR restituita in output dal software *Pyrosim* è coerente con quella riportata al paragrafo 6.2.2 del presente elaborato.

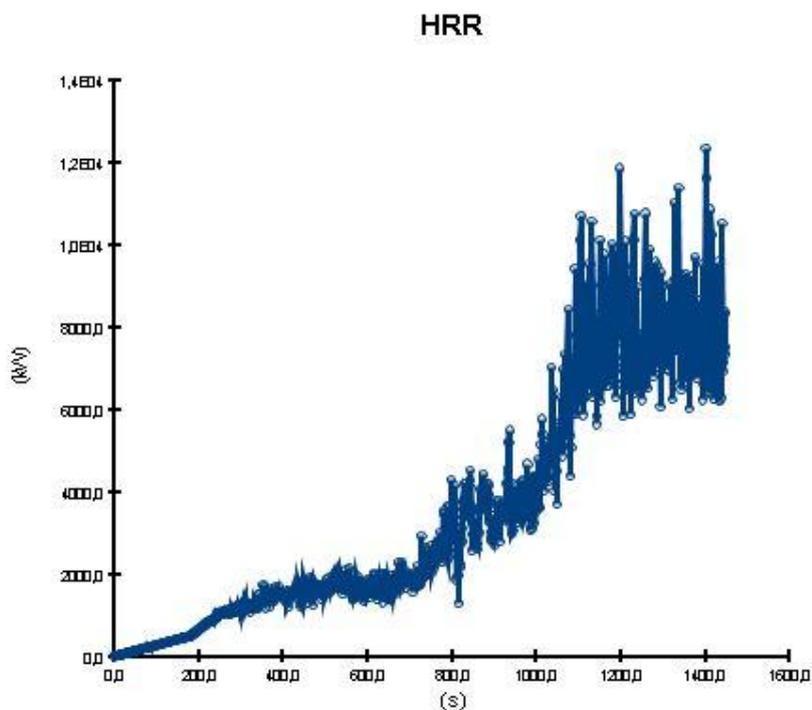


Figura 111. Curva HRR - Scenario 2

SLICE DI VISIBILITA'

Le *slice* sono evidenziate le zone in cui la visibilità assume valori pari a 5 metri.

Dopo 30 secondi è già possibile notare quanto si più pericoloso questo scenario. Infatti, al contrario del primo scenario analizzato, in questo caso i fumi raggiungono subito la prima griglia di aerazione al primo piano interrato su spazio a cielo libero. Il box in cui si è innescato l'incendio si riempie subito di fumo ed inizia la sua salita verso l'esterno.

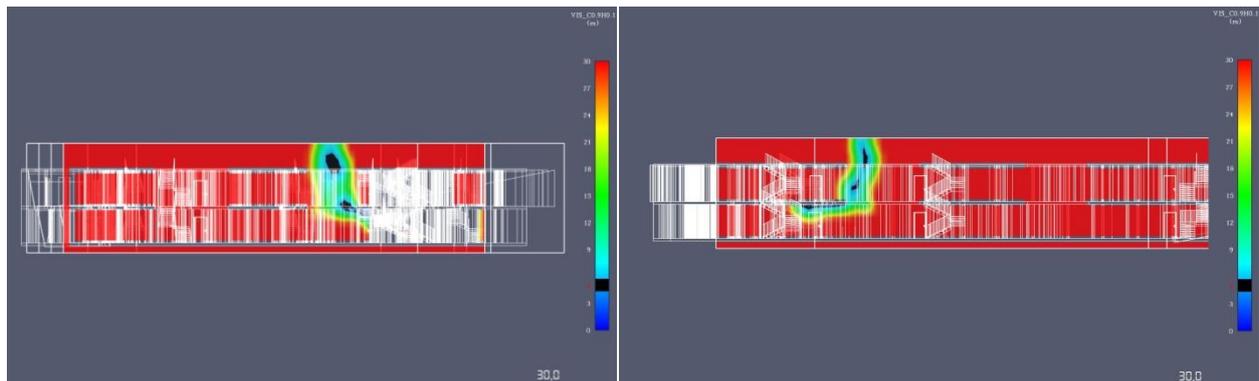


Figura 112. Slice di visibilità in direzione x e y a 30 secondi

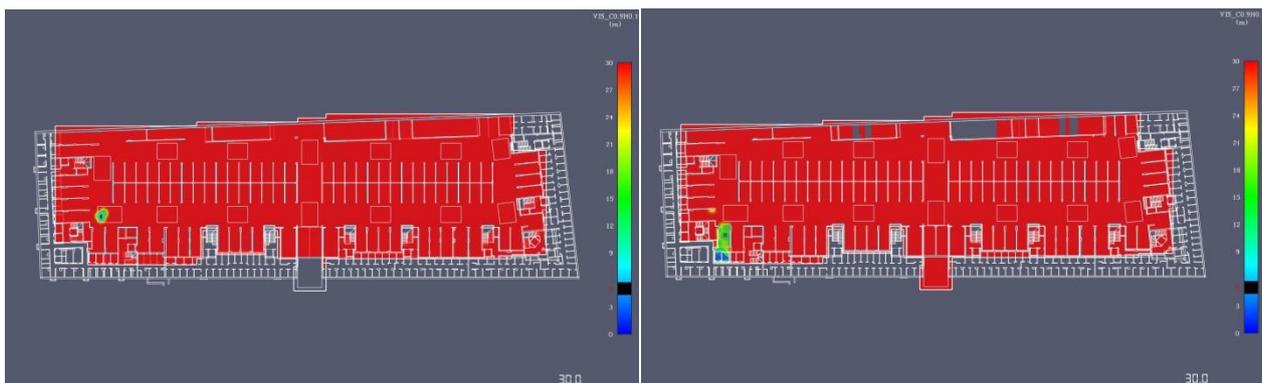


Figura 113. Slice di visibilità al primo e al secondo piano interrato a 30 secondi

Dopo 60 secondi il fumo inizia a propagarsi nel secondo piano interrato, invadendo il secondo box auto adiacente alla rampa di scale nei pressi del focolare. Quella rampe di scale diventa subito impraticabile al secondo piano interrato. Al contrario risulta ancora utilizzabile al primo piano interrato, in quanto i fumi risultano concentrati nel tunnel d'aria generato dalle due aperture di smaltimento nei solai.

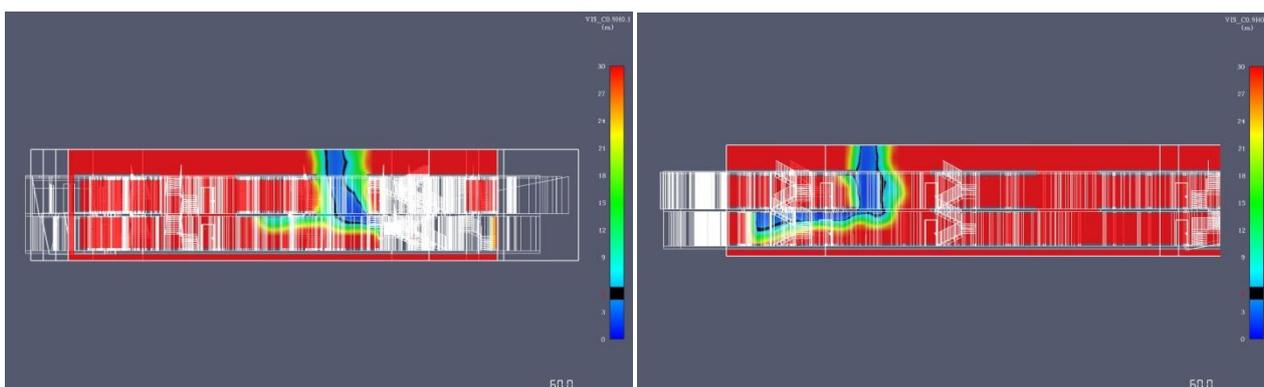


Figura 114. Slice di visibilità in direzione x e y a 60 secondi

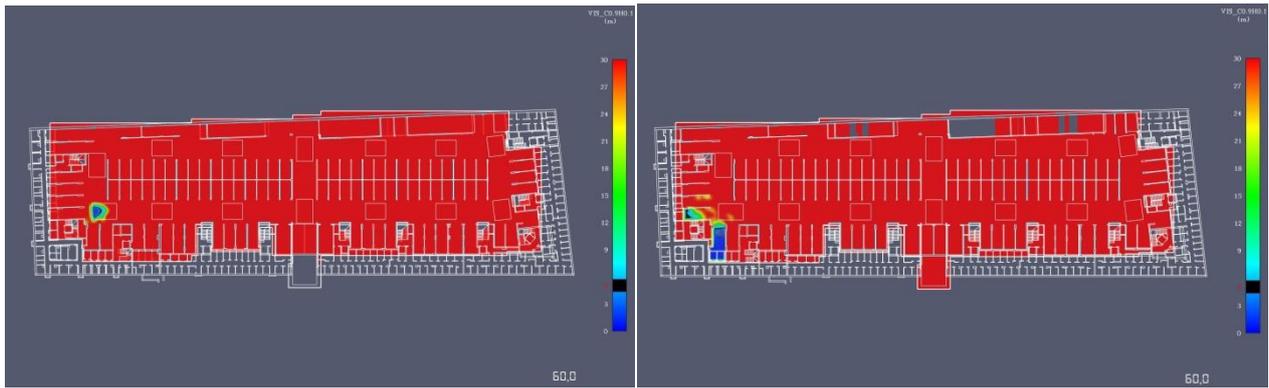


Figura 115. Slice di visibilità al primo e al secondo piano interrato a 60 secondi

Dopo 90 secondi il fumo invade anche il terzo box auto. La situazione al primo piano interrato non varia sostanzialmente.

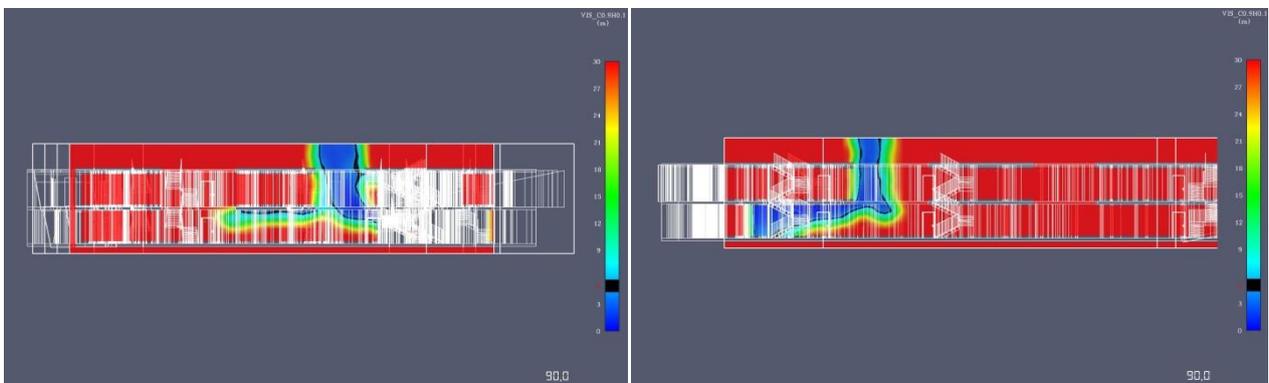


Figura 116. Slice di visibilità in direzione x e y a 90 secondi

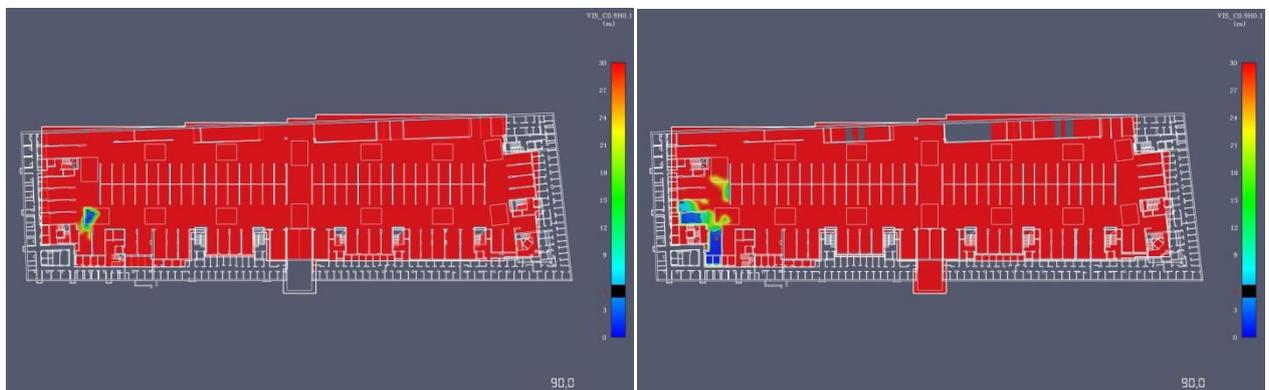


Figura 117. Slice di visibilità al primo e al secondo piano interrato a 90 secondi

Dopo 120 secondi si attiva il primo sprinkler al secondo piano interrato dentro il box auto in cui è contenuto il focolare. Questo genera ovviamente un improvviso aumento dei fumi che invadono il quarto box e raggiungono la seconda griglia di aerazione per il passaggio al primo piano interrato.

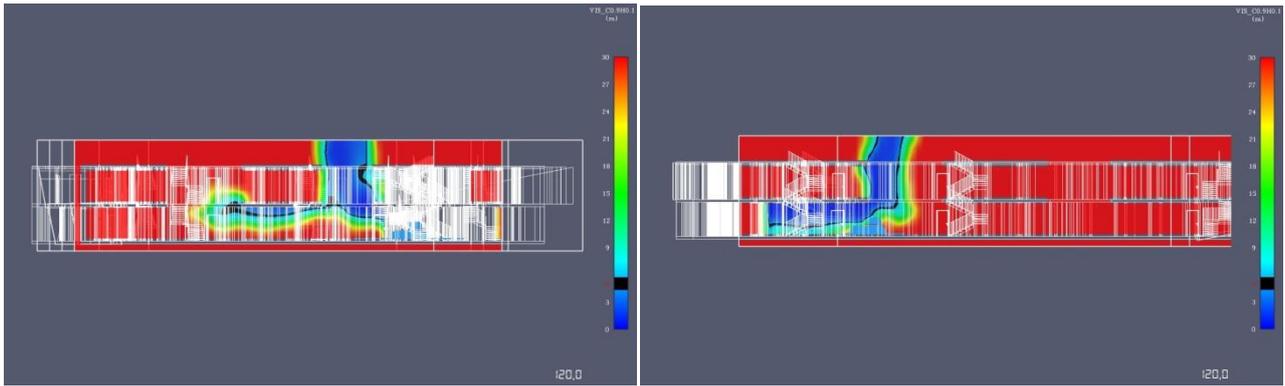


Figura 118. Slice di visibilità in direzione x e y a 120 secondi

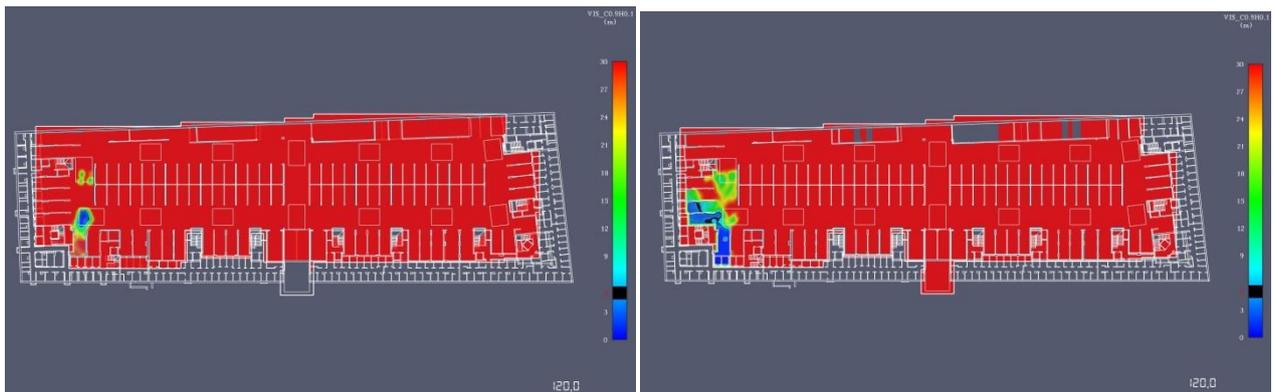


Figura 119. Slice di visibilità al primo e al secondo piano interrato a 120 secondi

Dopo 180 secondi il fumo raggiunge il quarto box al secondo piano interrato e la seconda griglia di aerazione su spazio a cielo libero.

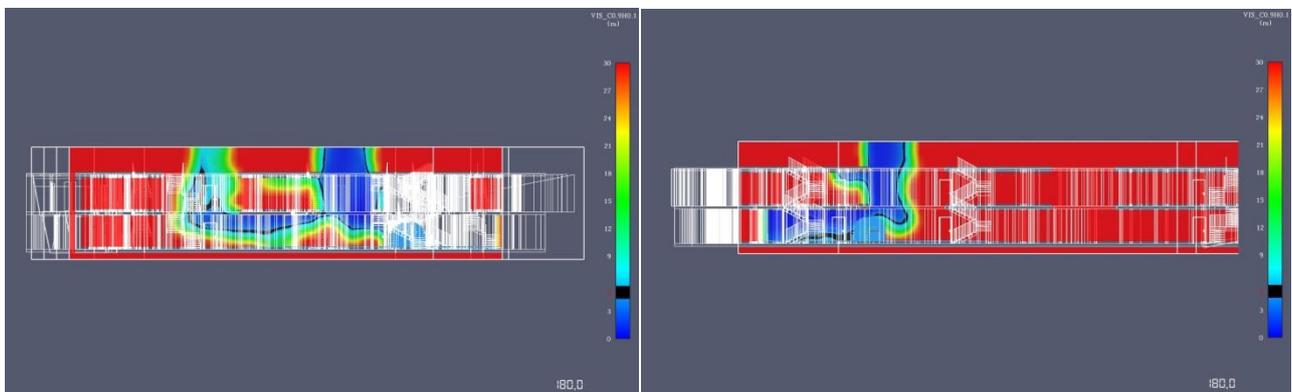


Figura 120. Slice di visibilità in direzione x e y a 180 secondi

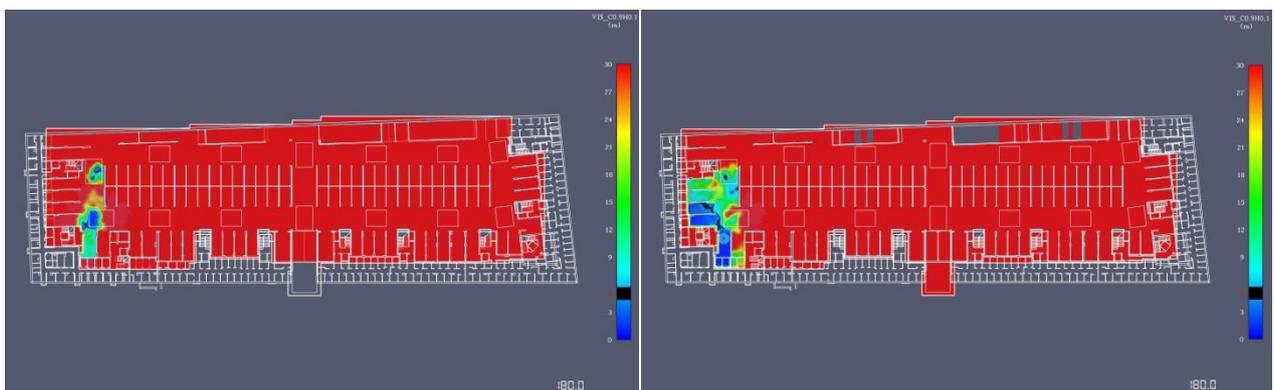


Figura 121. Slice di visibilità al primo e al secondo piano interrato a 180 secondi

Dopo 240 secondi la seconda rampa di scale sulla sinistra del fabbricato risulta impraticabile in entrambe i piani e il corridoio al primo piano interrato inizia a riempirsi di fumo nella parte superiore.

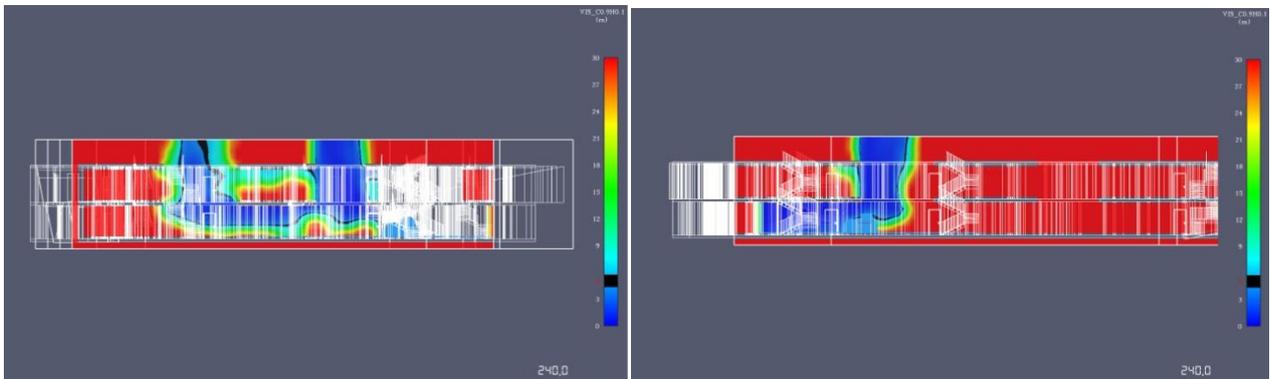


Figura 122. Slice di visibilità in direzione x e y a 240 secondi

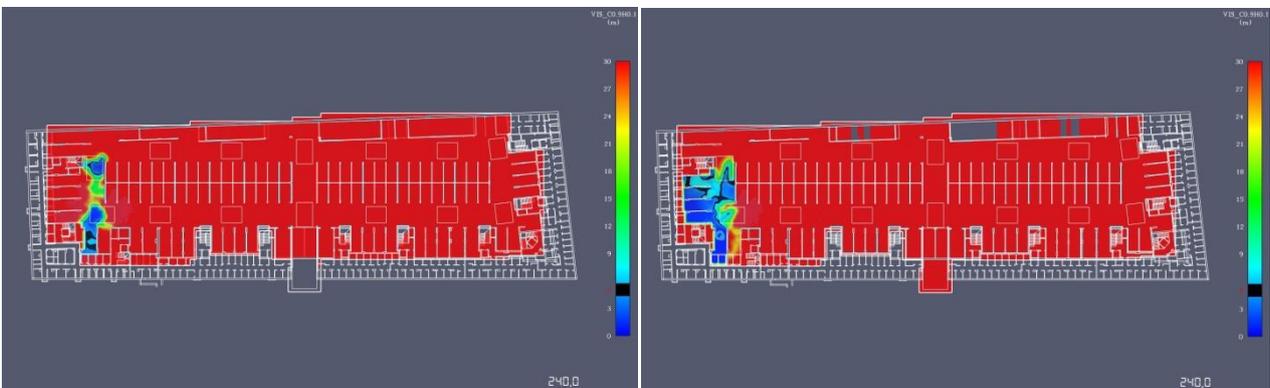


Figura 123. Slice di visibilità al primo e al secondo piano interrato a 240 secondi

Passati 300 secondi il corridoio al primo piano interrato si libera dai fumi, che si concentrano in corrispondenza delle aperture di aerazione. Il box auto che si trova sopra quello da cui è partito l'incendio si riempie di fumo. Intanto al secondo piano interrato continua ad espandersi.

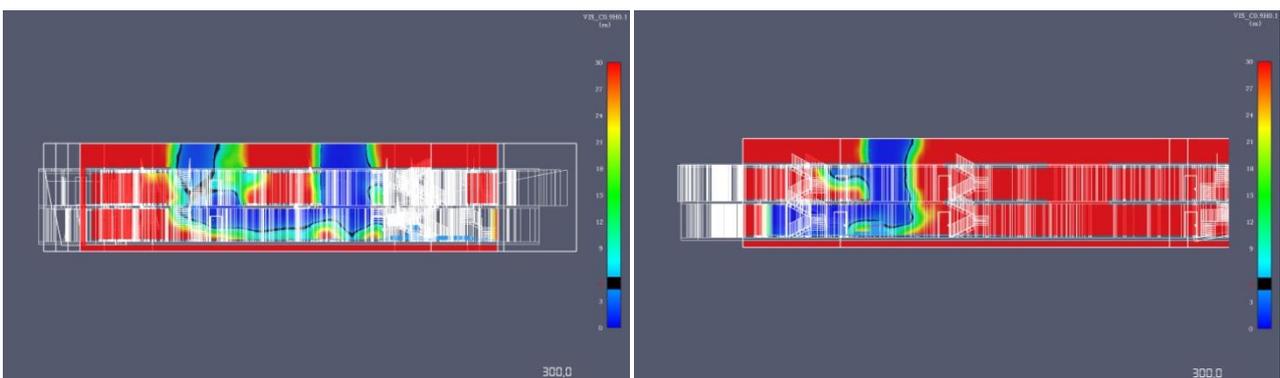


Figura 124. Slice di visibilità in direzione x e y a 300 secondi

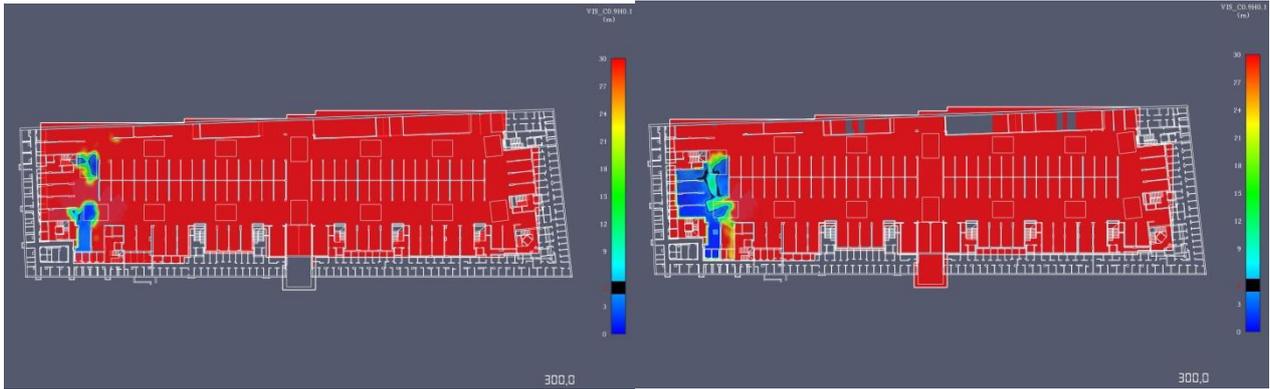


Figura 125. Slice di visibilità al primo e al secondo piano interrato a 300 secondi

Dopo 360 secondi i fumi iniziano ad espandersi al primo piano interrato. Inoltre si attiva il secondo sprinkler all'interno del box in cui è contenuto il focolare. Il fumo inizia ad invadere anche il box auto sulla destra rispetto a quello del focolare.

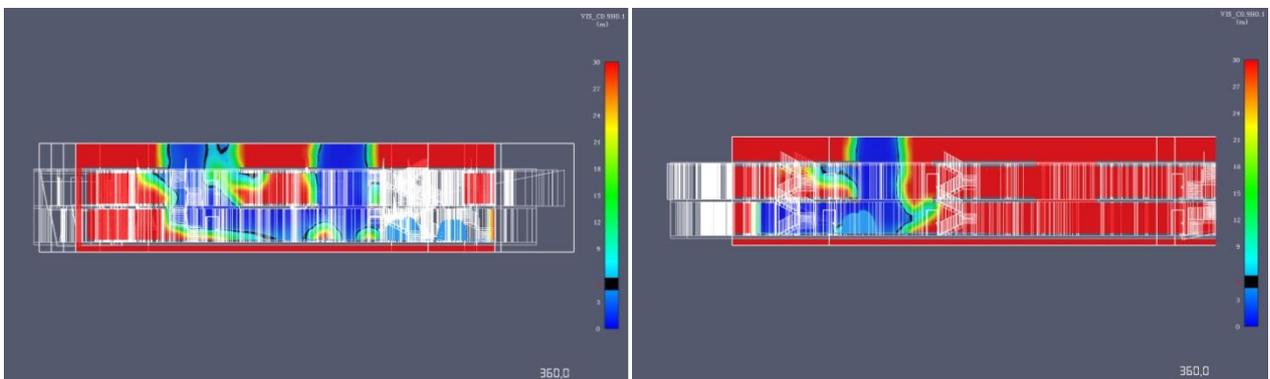


Figura 126. Slice di visibilità in direzione x e y a 360 secondi

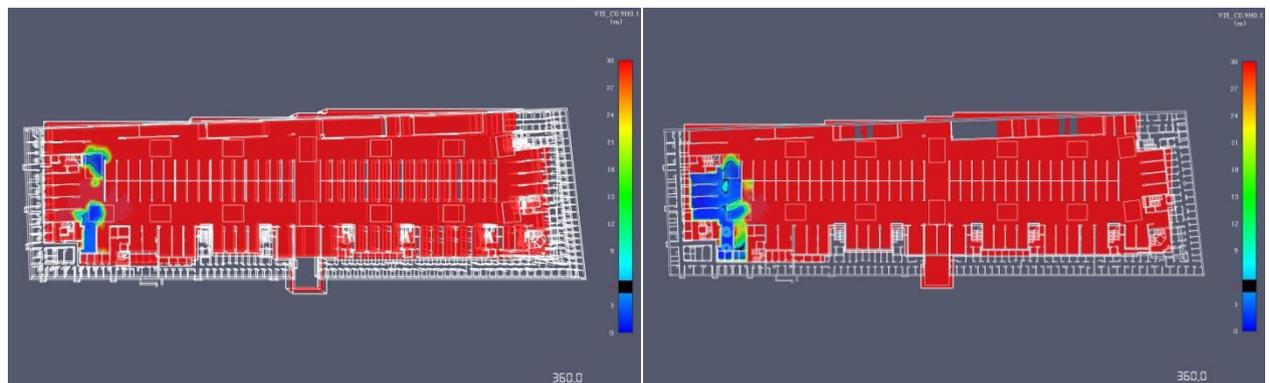


Figura 127. Slice di visibilità al primo e al secondo piano interrato a 360 secondi

Dopo 600 secondi la situazione risulta notevolmente peggiorata. Il fumo raggiunge la terza griglia di aerazione per arrivare al primo piano interrato, in cui inizia ad espandersi rapidamente occupando sette box auto nel lato opposto rispetto al punto di partenza dell'incendio. Si attiva il terzo sprinkler nel secondo box invaso.

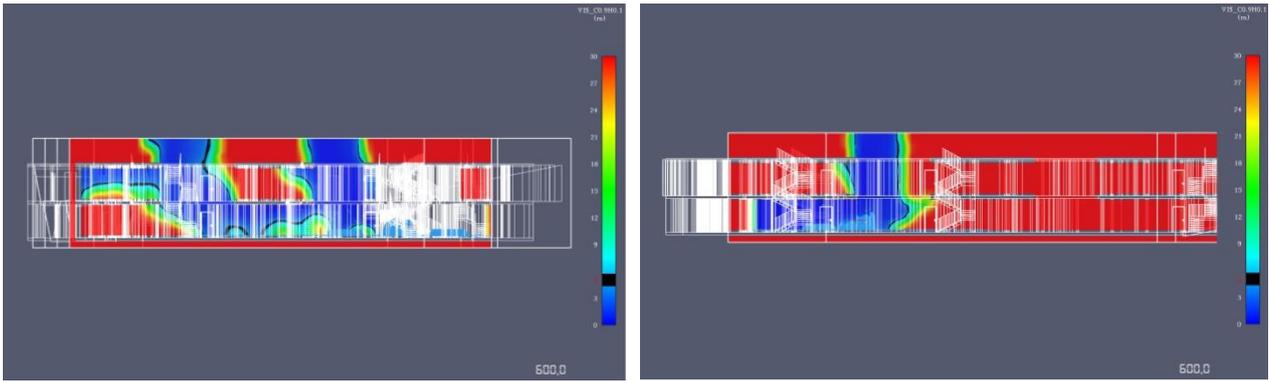


Figura 128. Slice di visibilità in direzione x e y a 600 secondi

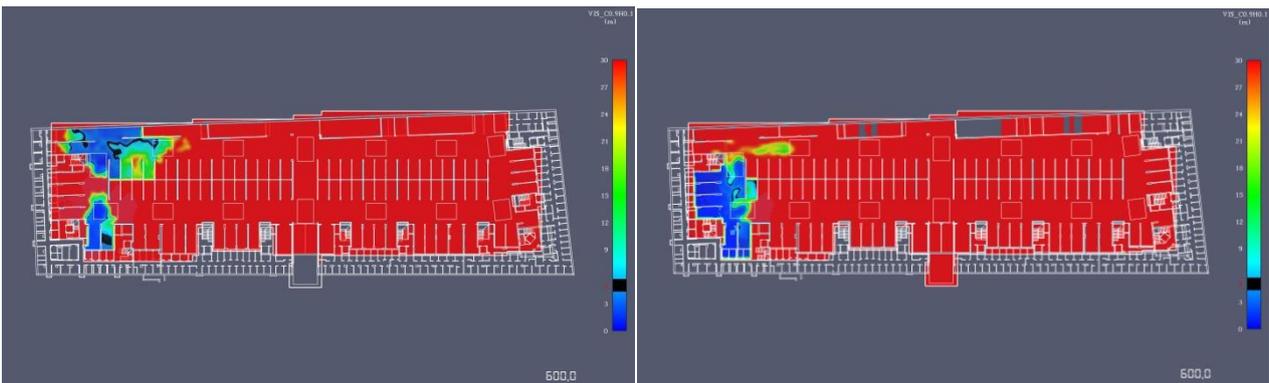


Figura 129. Slice di visibilità al primo e al secondo piano interrato a 600 secondi

Dopo 900 secondi si attiva il quarto sprinkler nel terzo box invaso dai fumi al secondo piano interrato. Il fumo continua ad espandersi in entrambi i piani ma si nota una maggiore rapidità di espansione nel primo, in cui sempre più box vengono resi impraticabili.

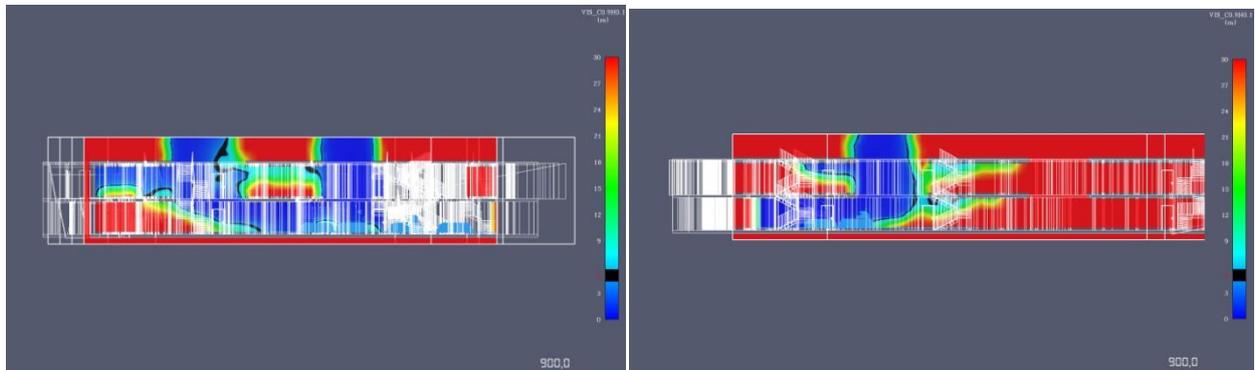


Figura 130. Slice di visibilità in direzione x e y a 900 secondi

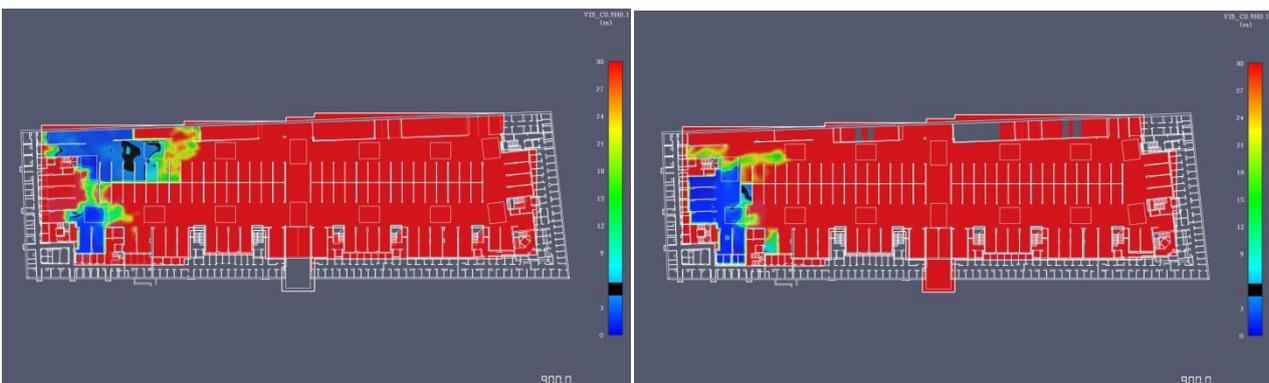


Figura 131. Slice di visibilità al primo e al secondo piano interrato a 900 secondi

Dopo 1200 secondi numerosi sprinkler risultano attivati, uno dei quali si trova nel primo piano interrato. Al secondo piano interrato un altro box auto viene invaso dai fumi, ma non si notano sostanziali variazioni. Nel primo piano interrato invece la situazione sempre migliorare in quanto i fumi continuano costantemente ad uscire dalle aperture su spazio a cielo libero.

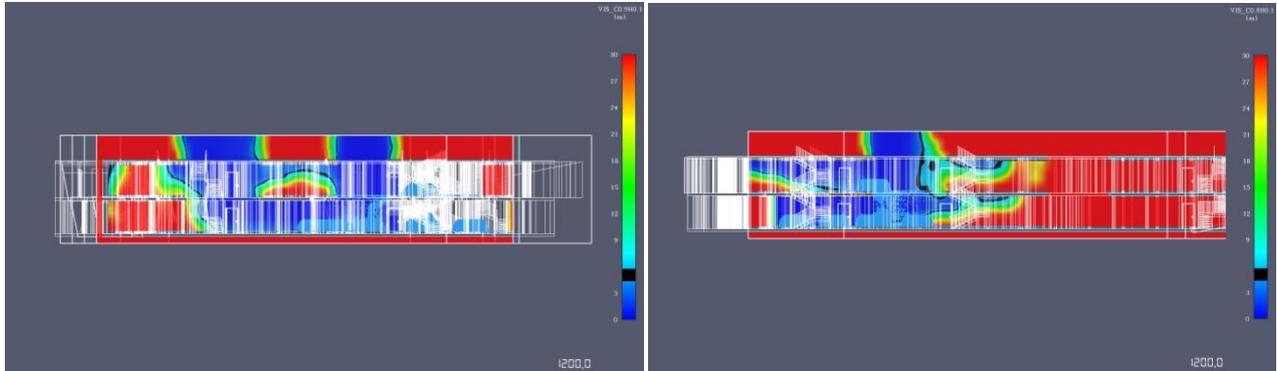


Figura 132. Slice di visibilità in direzione x e y a 1200 secondi

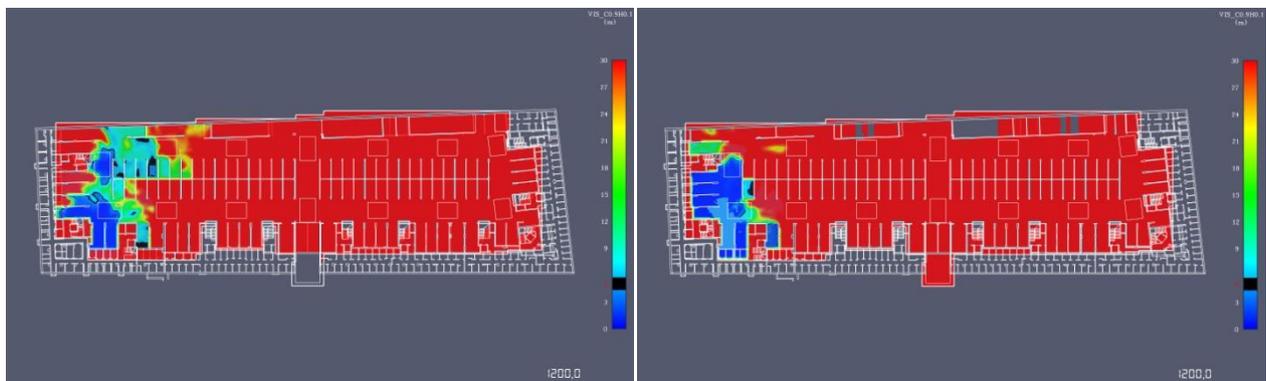


Figura 133. Slice di visibilità al primo e al secondo piano interrato a 1200 secondi

Arrivati ai 1350 secondi gli sprinkler attivi continuano d aumentare in quanto l'incendio continua la sua espansione e le temperature non cessano il loro incremento. Nonostante questo, e la continua espansione dei fumi, non si notano sostanziali variazioni rispetto all'istante analizzato precedentemente.

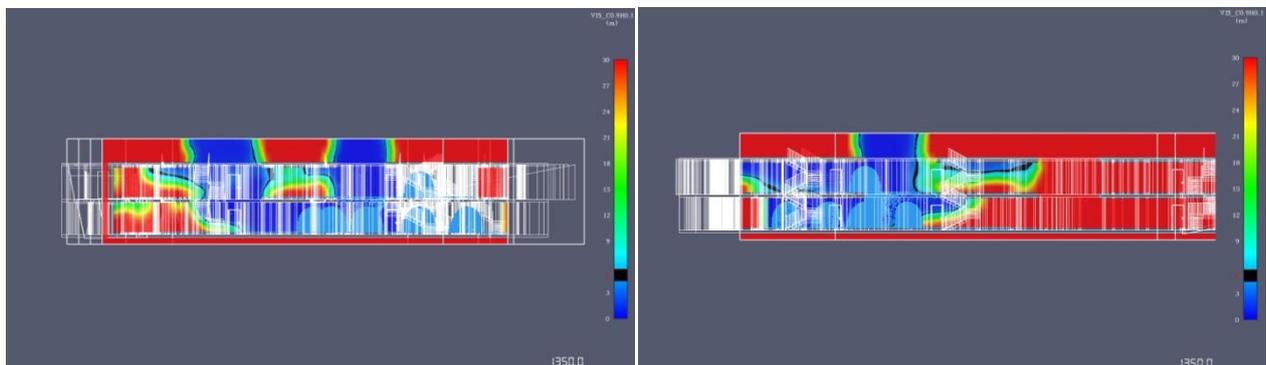


Figura 134. Slice di visibilità in direzione x e y a 1350 secondi

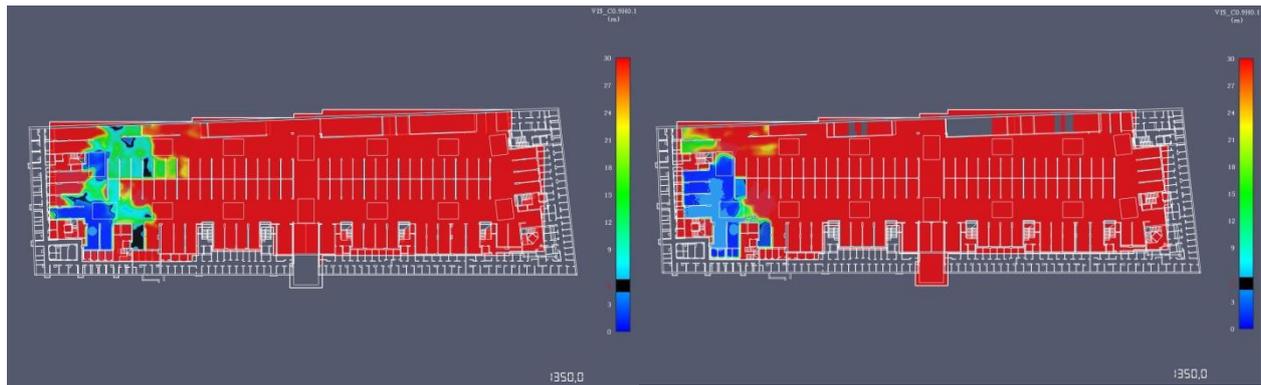


Figura 135. Slice di visibilità al primo e al secondo piano interrato a 1350 secondi

ISOSUPERFICI DI OSCURAMENTO DELLA VISIBILITA'

Le isosuperfici del secondo scenario sono state estrapolate dal software con la medesima logica rispetto a quanto fatto per il primo scenario. Vengono quindi riportate di seguito le isosuperfici a 5 e a 10 metri di visibilità.

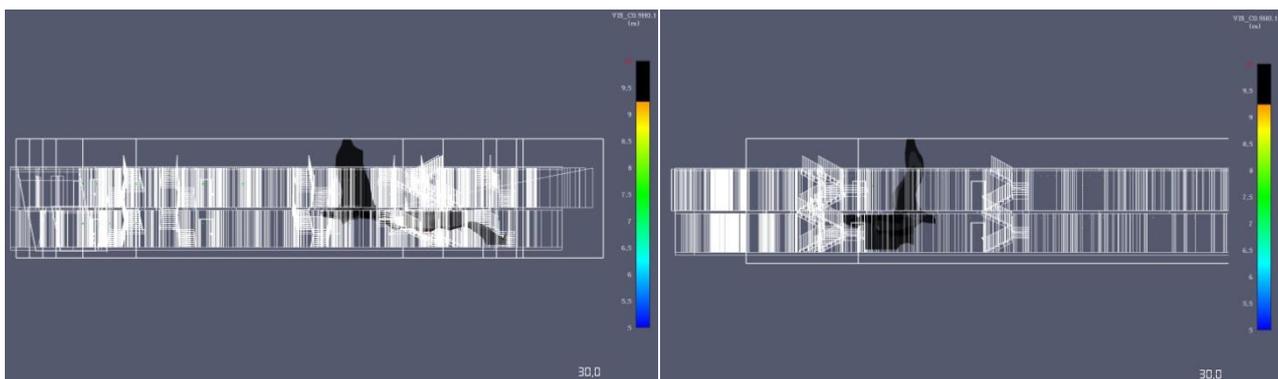


Figura 136. Isosuperfici di visibilità a 10 metri in direzione x e y a 30 secondi

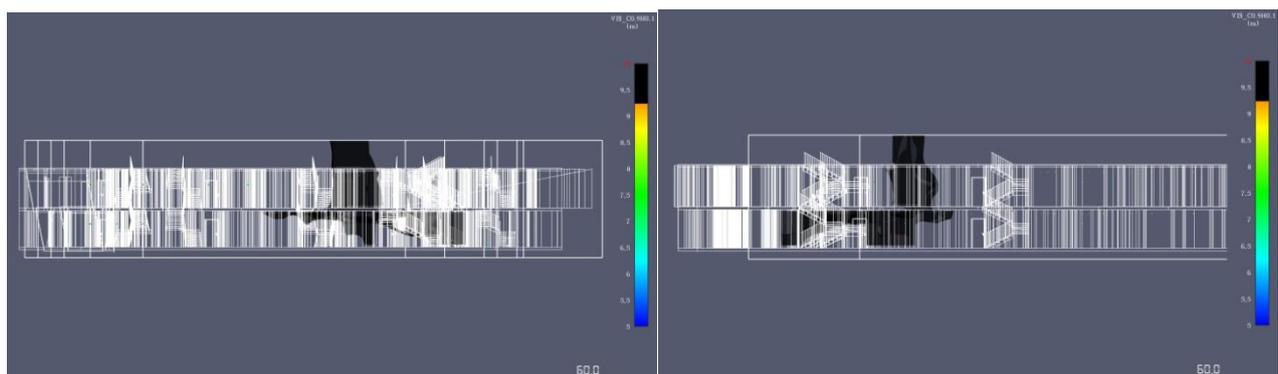


Figura 137. Isosuperfici di visibilità a 10 metri in direzione x e y a 60 secondi

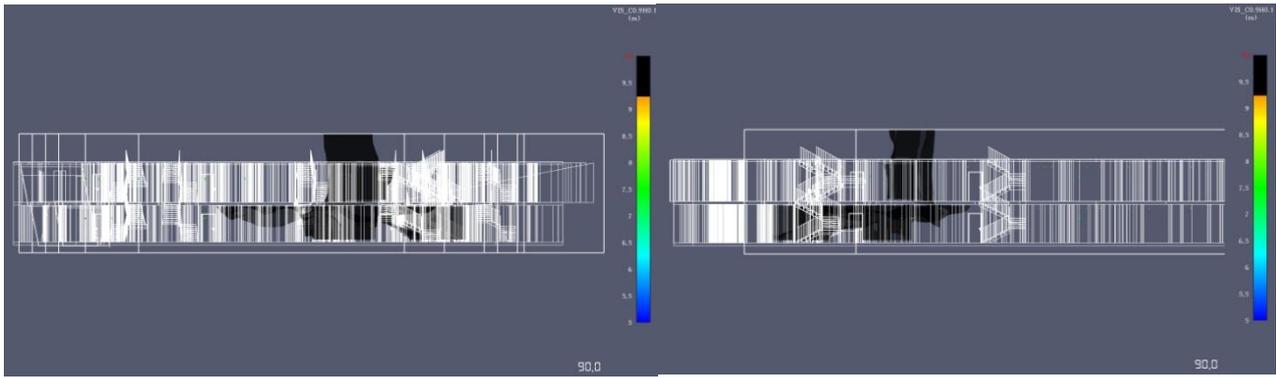


Figura 138. Isosuperfici di visibilità a 10 metri in direzione x e y a 90 secondi

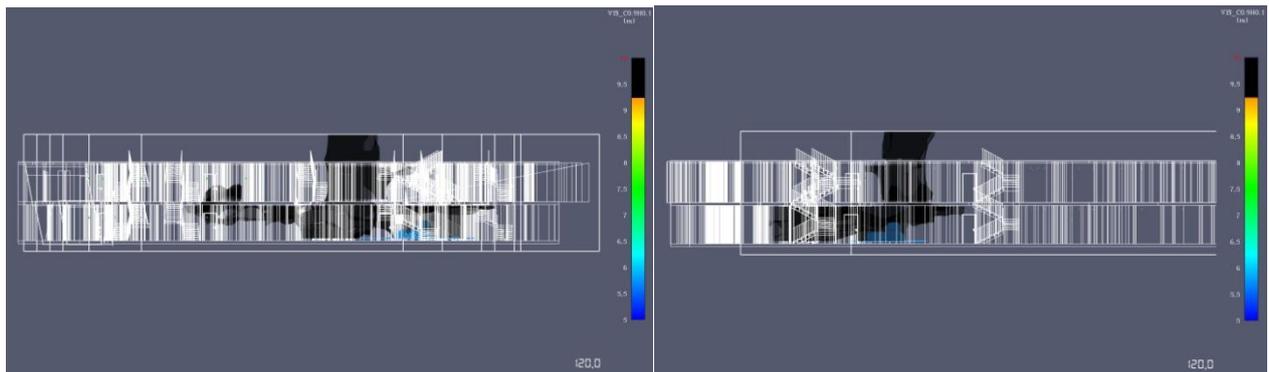


Figura 139. Isosuperfici di visibilità a 10 metri in direzione x e y a 120 secondi

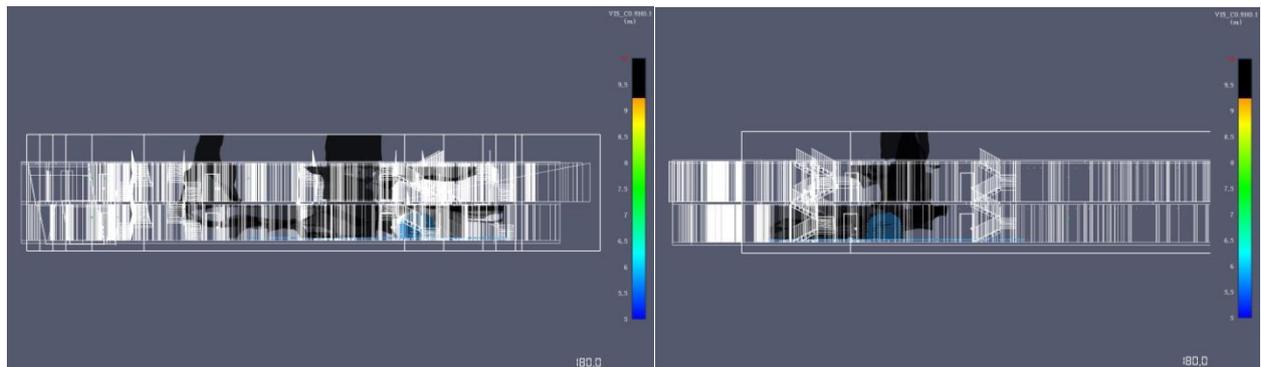


Figura 140. Isosuperfici di visibilità a 10 metri in direzione x e y a 180 secondi

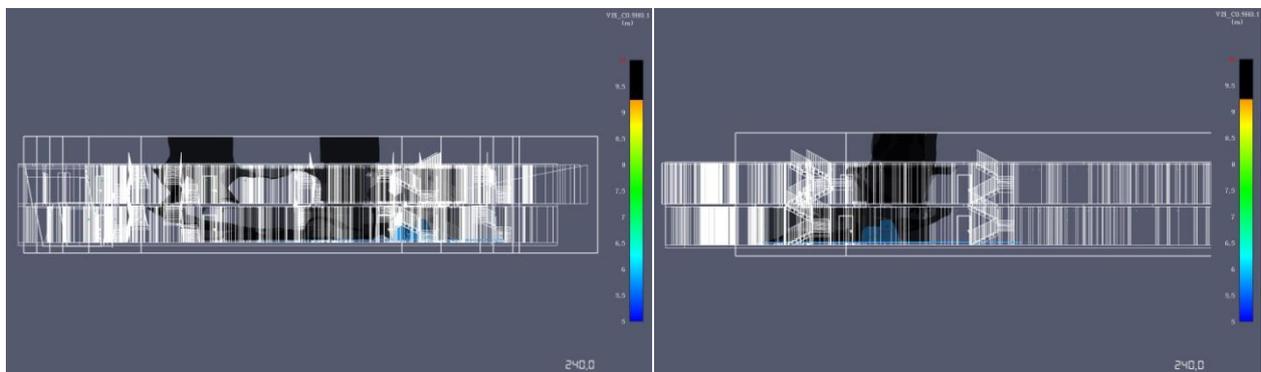


Figura 141. Isosuperfici di visibilità a 10 metri in direzione x e y a 240 secondi

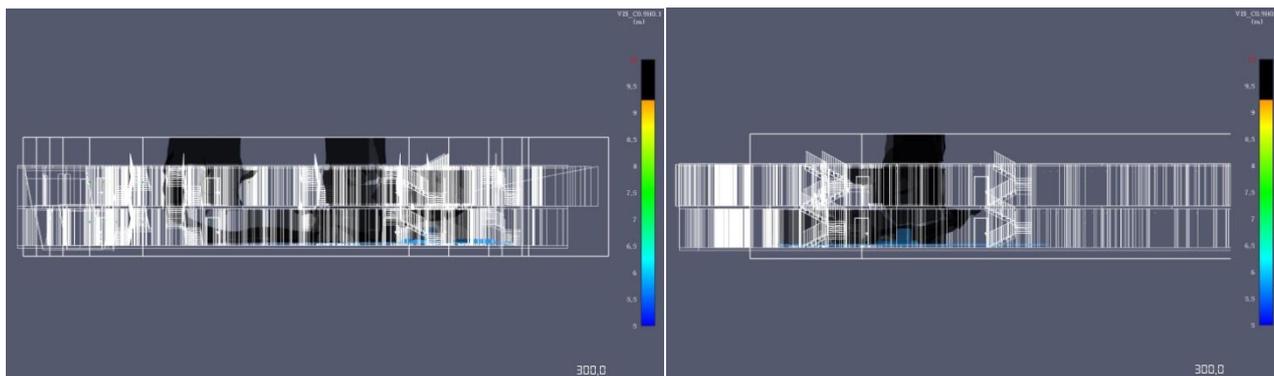


Figura 142. Isosuperfici di visibilità a 10 metri in direzione x e y a 300 secondi

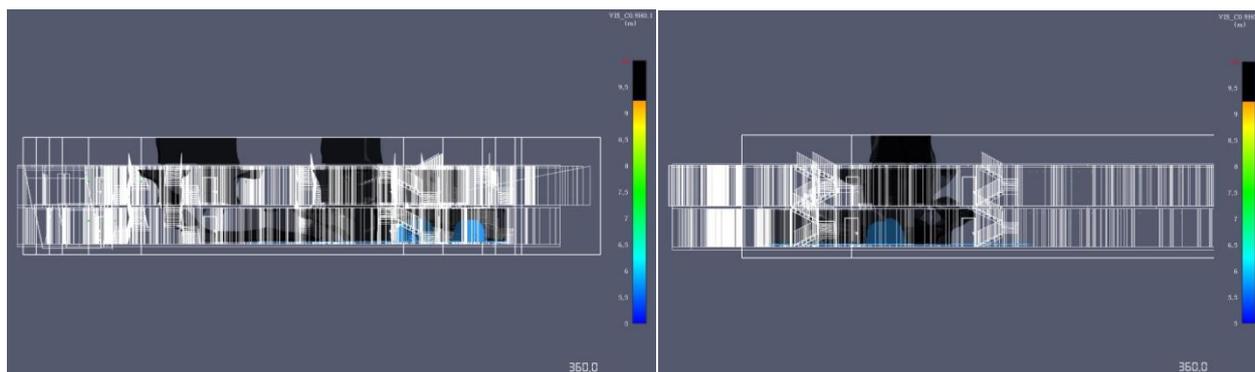


Figura 143. Isosuperfici di visibilità a 10 metri in direzione x e y a 360 secondi

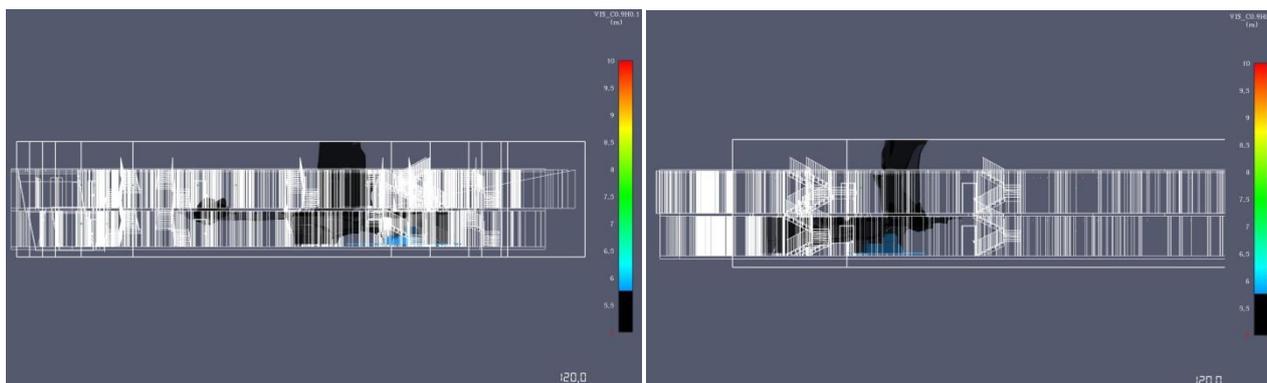


Figura 144. Isosuperfici di visibilità a 5 metri in direzione x e y a 120 secondi

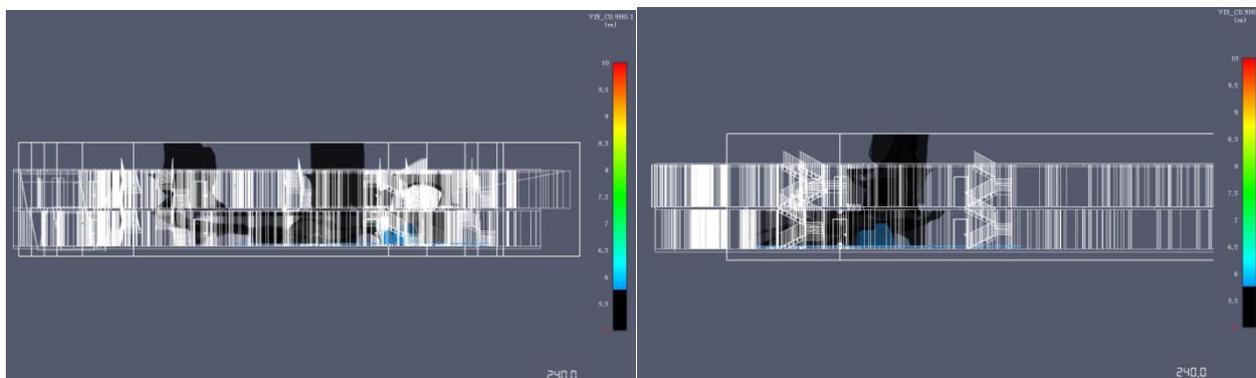


Figura 145. Isosuperfici di visibilità a 5 metri in direzione x e y a 240 secondi

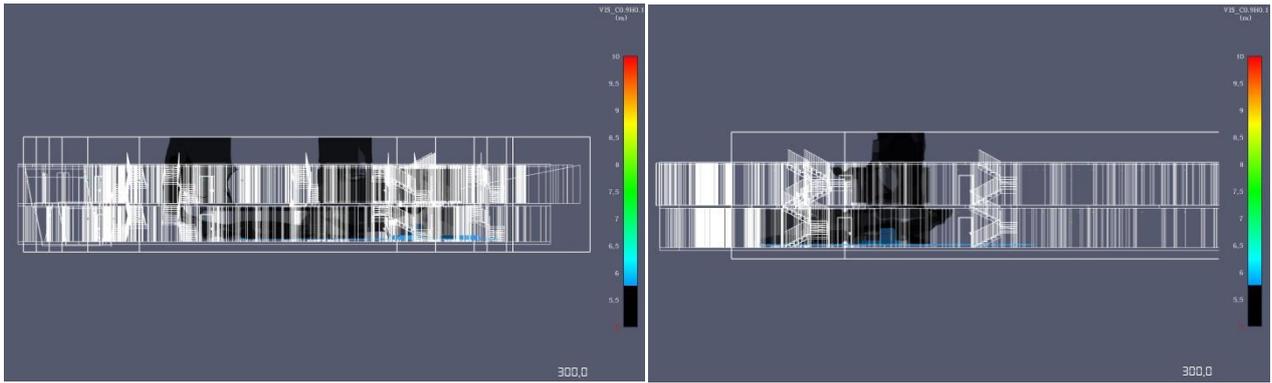


Figura 146. Isosuperfici di visibilità a 5 metri in direzione x e y a 300 secondi

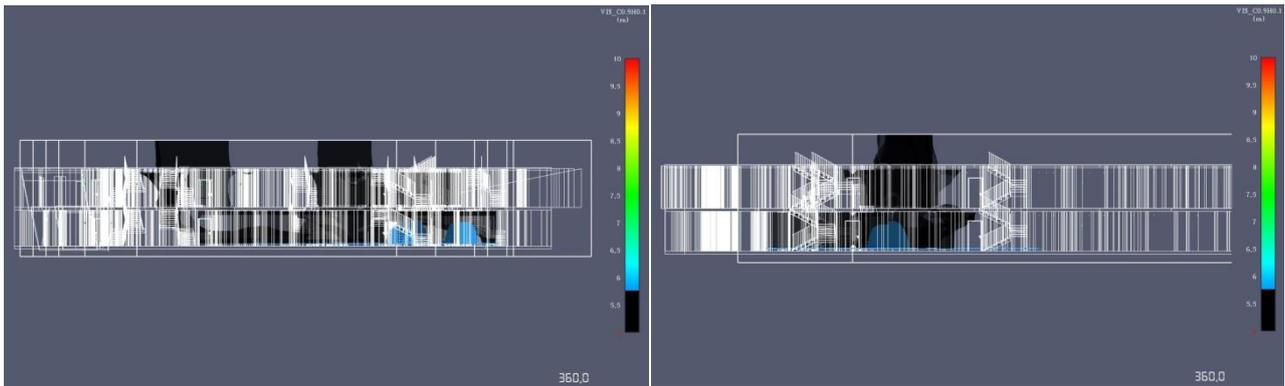


Figura 147. Isosuperfici di visibilità a 5 metri in direzione x e y a 360 secondi

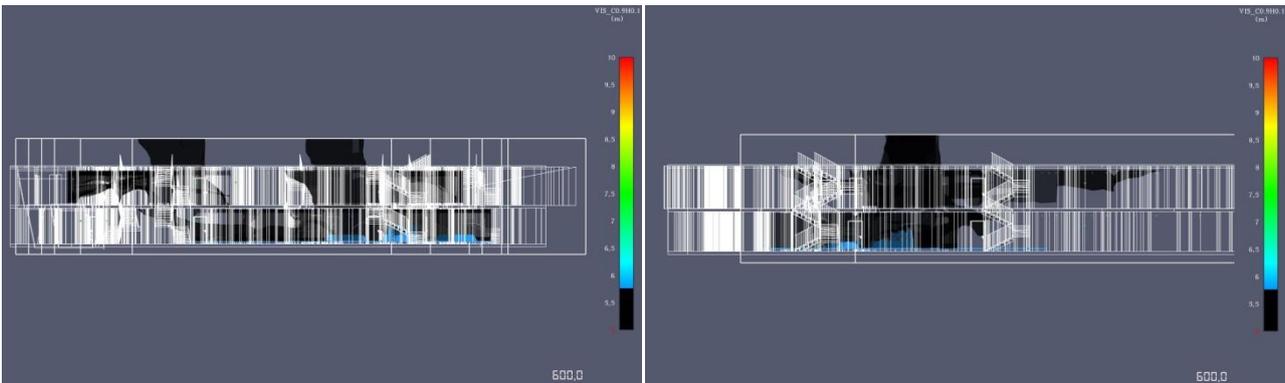


Figura 148. Isosuperfici di visibilità a 5 metri in direzione x e y a 600 secondi

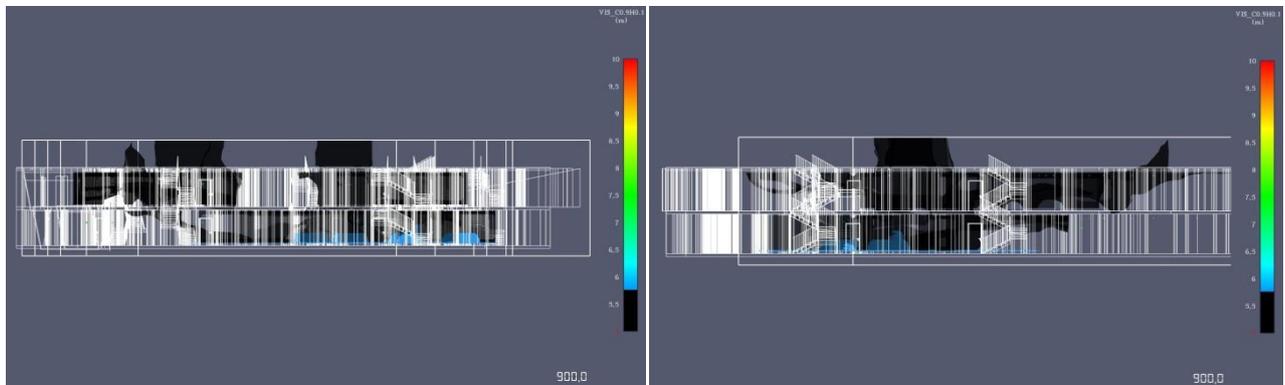


Figura 149. Isosuperfici di visibilità a 5 metri in direzione x e y a 900 secondi

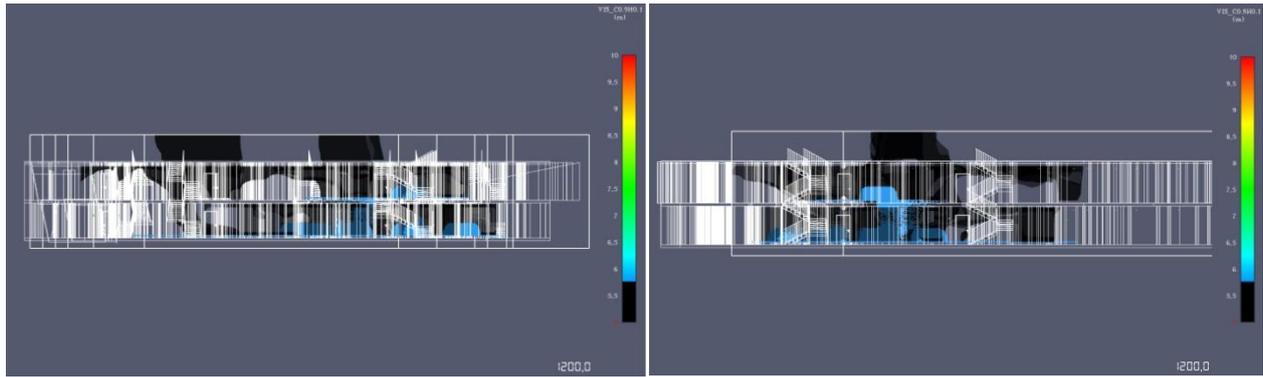


Figura 150. Isosuperfici di visibilità a 5 metri in direzione x e y a 1200 secondi

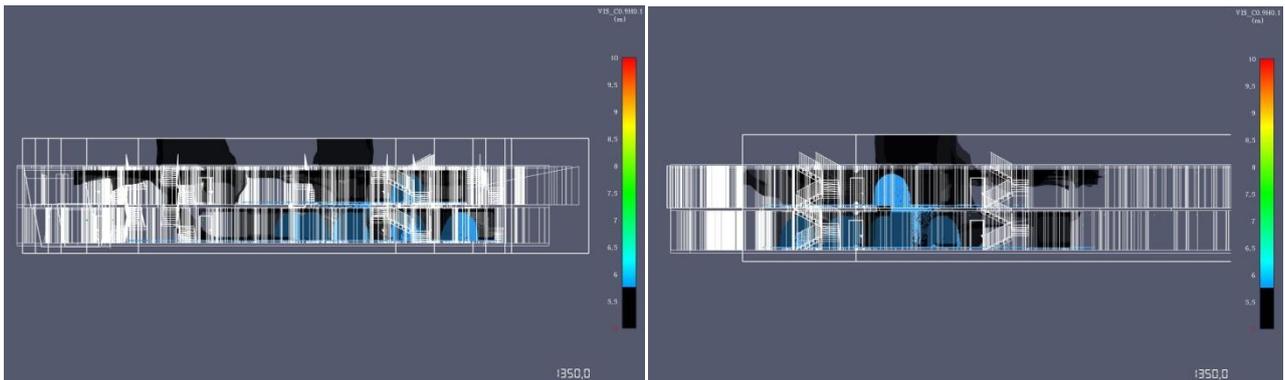


Figura 151. Isosuperfici di visibilità a 5 metri in direzione x e y a 1350 secondi

ATTIVAZIONE DELLE TESTINE DEGLI SPRINKLER

In questo scenario si attivano più o meno lo stesso numero di sprinkler rispetto al primo scenario di incendio di progetto. Per essere più precisi sono 8 le testine che iniziano ad erogare acqua.

In Figura 152 è riportato un grafico che identifica quali sprinkler e in quale istante si attivano.

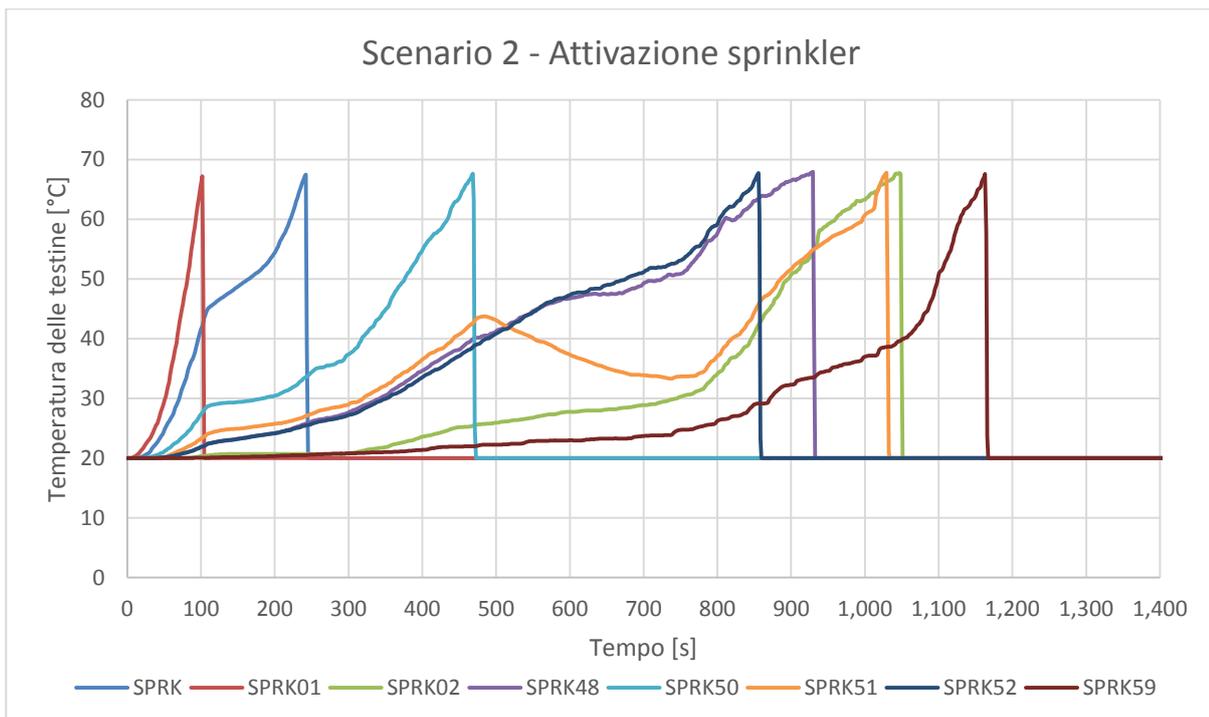


Figura 152. Attivazione degli sprinkler - Scenario 2

In questo caso gli sprinkler si attivano con tempistiche più uniformi rispetto al primo scenario. I primi tre sprinkler attivi sono quelli contenuti all'interno del box da cui è partito l'incendio e quello all'interno del secondo box che viene invaso dai fumi. Dopodiché si attiva quello nel terzo box sempre al secondo piano interrato e poi quello di fronte a quest'ultimo. Dopo i 1000 secondi si attivano il secondo sprinkler contenuto nel secondo box invaso dai fumi e il primo sprinkler contenuto all'interno del box auto adiacente a quello di partenza dell'incendio. Per ultimo si attiva lo sprinkler al primo piano interrato, all'interno del box soprastante quello in cui si è innescato l'incendio.

CALCOLO ASET

MODELLO DEL CALORE

In Figura 153 è riportato il grafico relativo all'analisi del modello del calore in termini di temperatura.

Come si evince dal grafico solamente due *device* registrano valori superiori rispetto alla soglia di prestazione fissata a 60°C prima dei 1000 secondi e un altro successivamente. I primi due *device* che superano la soglia sono TEMP13 e TEMP02 che sono quelli all'interno del box in cui si innesca l'incendio e quello davanti al medesimo box, quindi non vengono considerati nel calcolo dell'ASET. Il terzo *device* che supera la soglia dopo i 1000 secondi è il TEMP17 si trova nel secondo piano interrato esattamente sopra il *device* TEMP02, quindi anche in questo caso il *device* non è stato considerato nel calcolo dell'ASET.

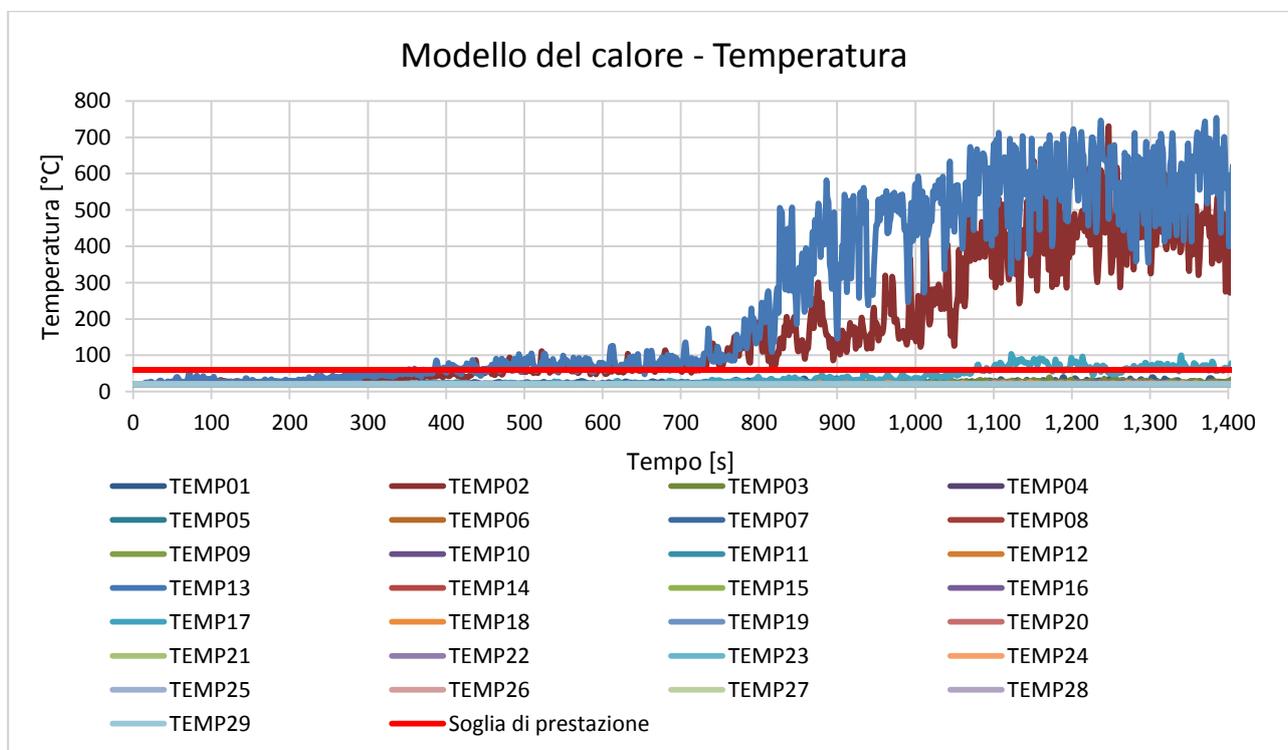


Figura 153. Modello del calore - Temperatura - Scenario 2

Per quanto riguarda invece l'irraggiamento bisogna osservare la Figura 154.

In questo caso solamente due *device* registrano valori superiori alla soglia di prestazione. I *device* in questione sono IRR13 e IRR02, cioè gli stessi che non sono stati considerati analizzando il modello della temperatura. Per le medesime ragioni non vengono considerati neanche per il modello dell'irraggiamento nel calcolo dell'ASET.

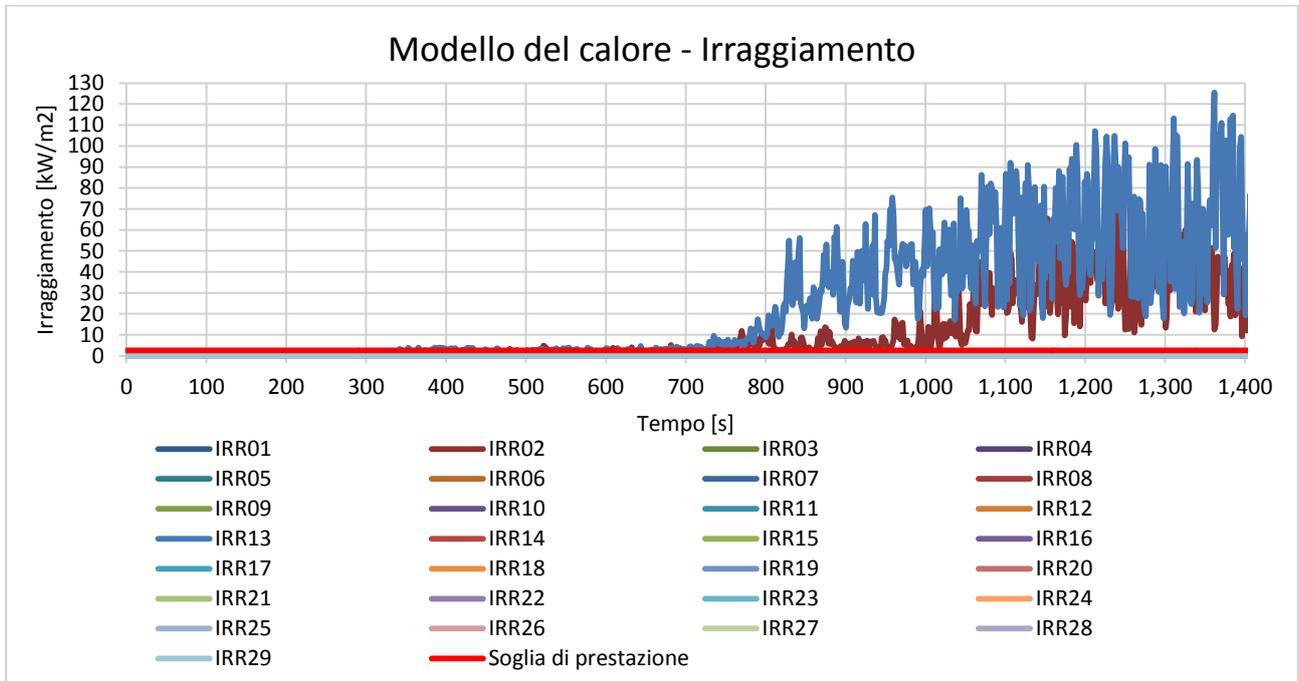


Figura 154. Modello del calore - Irraggiamento - Scenario 2

MODELLO DEI GAS TOSSICI

In Figura 155 è riportato il grafico per l'analisi del modello dei gas tossici.

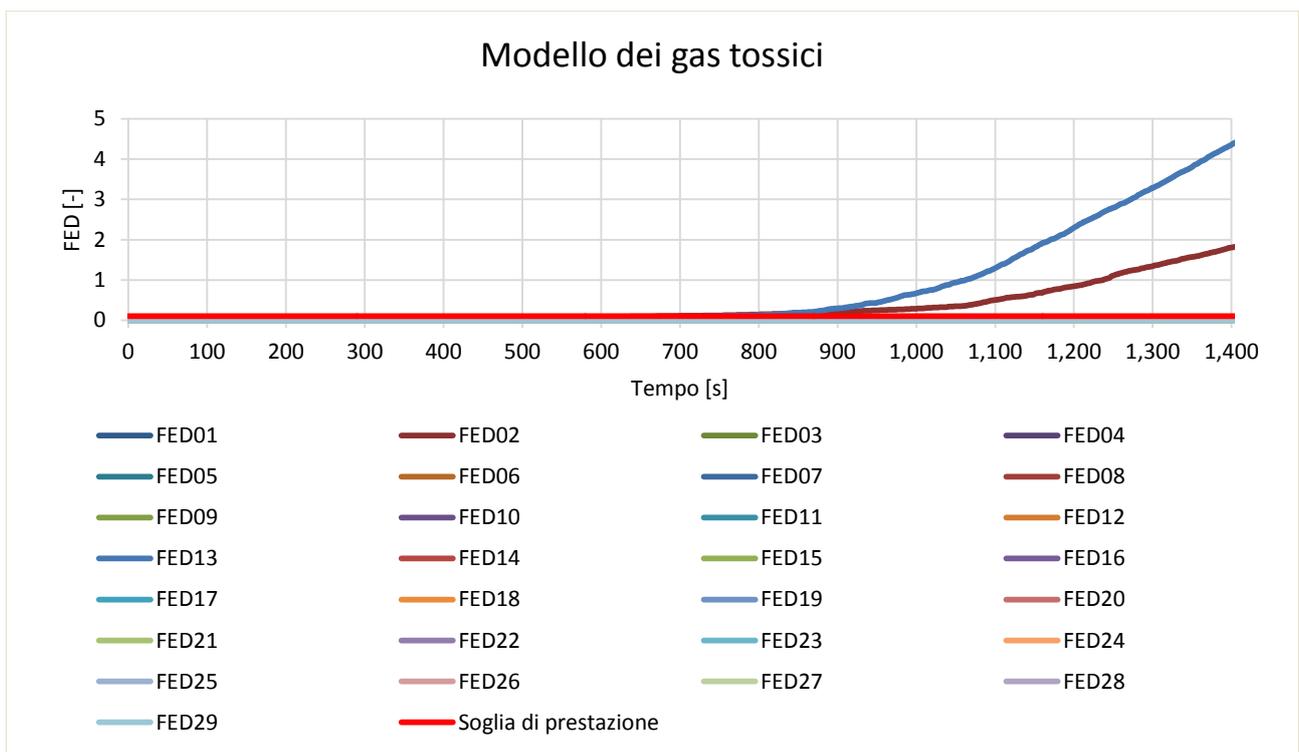


Figura 155. Modello dei gas tossici - Scenario 2

Il discorso fatto per il modello dell'irraggiamento si ripete anche per il modello dei gas tossici, infatti gli unici due device che superano la soglia di prestazione sono FED13 e FED02, cioè quelli troppo vicini al focolare per essere considerati nel calcolo dell'ASET.

MODELLO DI OSCURAMENTO DELLA VISIBILITA'

In Figura 156 è riportato il grafico per l'analisi del modello di oscuramento della visibilità.

I primi due *device* che scendono sotto la soglia dei 10 metri di visibilità sono sempre VIS13 e VIS02, quindi sono stati scartati subito dal calcolo dell'ASET. Il terzo *device* (colorato in blu scuro nel grafico) a registrare valori inferiori alla soglia è il VIS01, che si trova al secondo piano interrato, di fronte alla porta di accesso alla rampa di scale che viene oscurata per seconda, anche in questo caso il *device* si trova troppo vicino al focolare per considerarlo nel calcolo dell'ASET. Il quarto *device* che registra valori sotto la soglia è il VIS17 (colorato in azzurro), che risulta essere lo stesso *device* scartato nell'analisi del modello della temperatura, anch'esso troppo vicino al focolare. Il quinto *device* è il VIS16 (colorato in viola) che si trova nel primo piano interrato esattamente sopra il VIS01 quindi si trova abbastanza lontano dal focolare per poter essere considerata nel calcolo dell'ASET. Inoltre il suo andamento fortemente altalenante termina definitivamente intorno ai 1200 secondi, che potrebbe essere proprio il valore di ASET di questo scenario. Avendo oltrepassato l'istante in cui l'ultimo occupante è uscito in sicurezza dall'attività si considerano dai 300 secondi in poi solamente i *device* che registrano valori inferiori ai 5 metri di visibilità, soglia relativa alla salvaguardia dei soccorritori. Dopo il VIS16, il *device* VIS28 (colorato in violetto) registra valori sotto i 5 metri di visibilità. Questo *device* si trova al primo piano interrato nei pressi di un'apertura di aerazione vicino al focolare, quindi si ritengono normali questi valori e non viene considerato nel calcolo. Il *device* VIS14 (colorato in marroncino) scende sotto i 10 metri ma non arriva ad oltrepassare i 5 metri di visibilità quindi non viene considerato nel calcolo dell'ASET. Il *device* VIS03 (colorato in verde) si trova affianco al *device* VIS02 quindi viene scartato di conseguenza. Il *device* VIS18 (colorato in arancione) registra valori inferiori ai 5 metri per la prima volta intorno ai 850 secondi e da questo istante assume un comportamento molto altalenante intorno a tale valore di visibilità senza mai fermarsi sotto i 5 metri, quindi viene scartato dal calcolo.

Di conseguenza il valore che assume l'ASET per il secondo scenario è pari a 1190 secondi, valore registrato dal *device* VIS16.

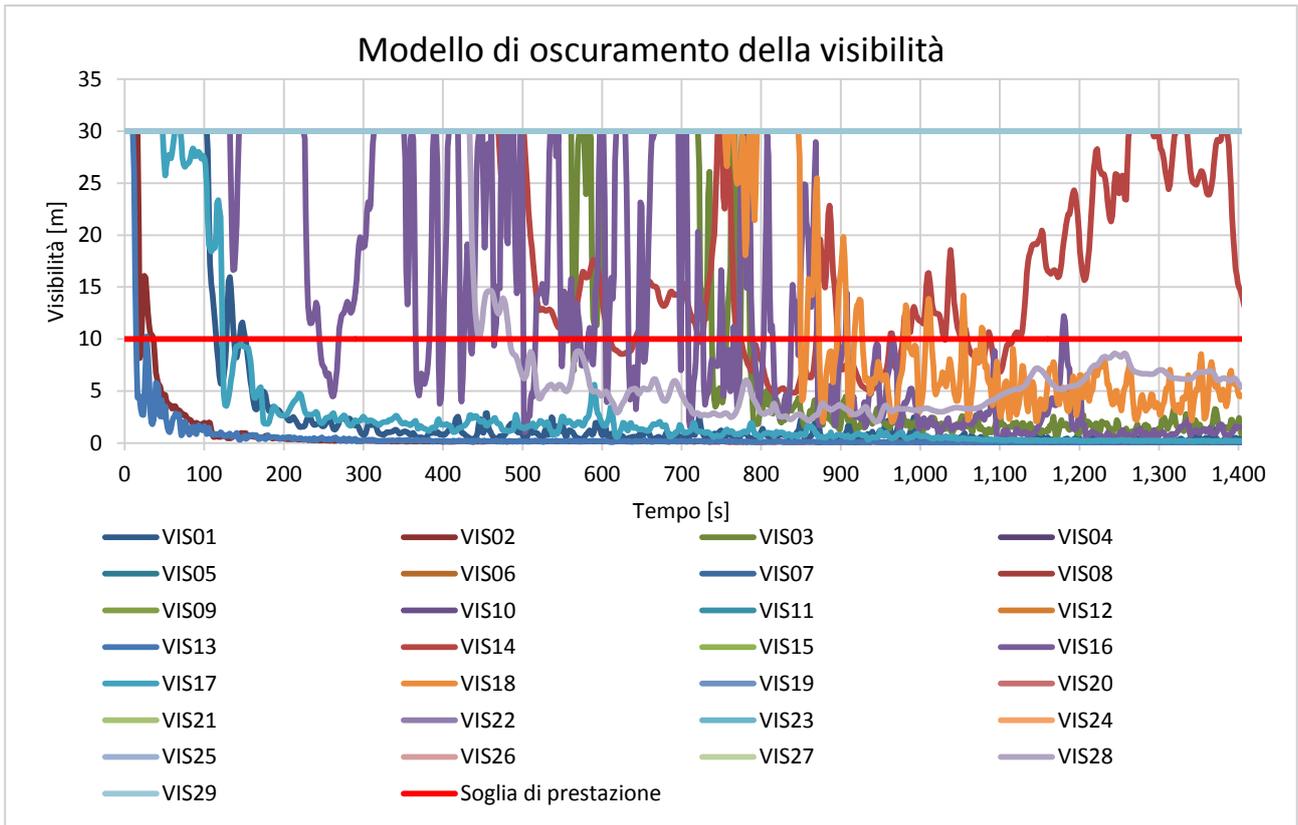


Figura 156. Modello di oscuramento della visibilità

CALCOLO RSET

Come per il primo scenario si riporta in Figura 157 il grafico che illustra la progressione dell'esodo degli occupanti.

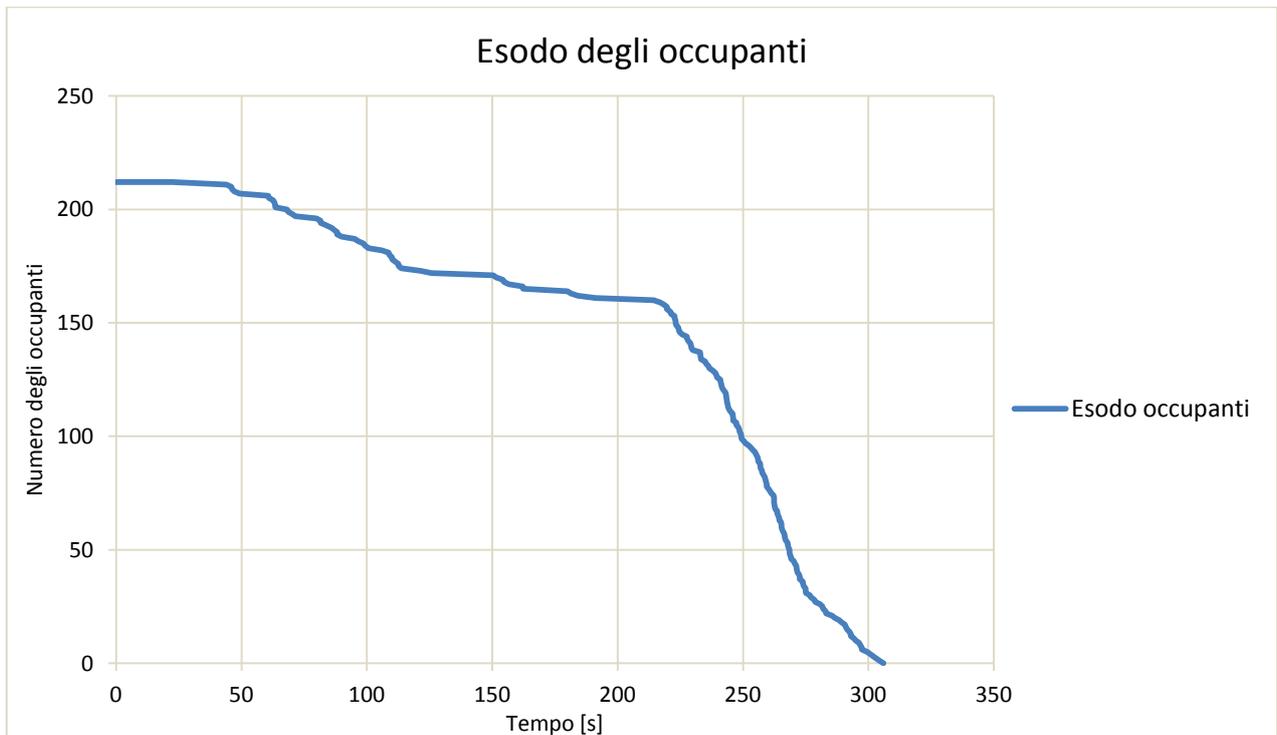


Figura 157. Esodo degli occupanti - Scenario 2

Dalla Figura 157 si evince che gli occupanti riescono ad uscire tutti entro i 300 secondi circa. Nello specifico l'ultimo occupante riesce ad entrare nel filtro a prova di fumo che separa l'autorimessa dalle scale al secondo 306.

Può risultare interessante notare che si crea una netta distinzione tra il primo gruppo di occupanti che esodano ed il secondo. Il primo è quello formato dagli occupanti più prossimi al focolare, sia al primo sia al secondo piano interrato, mentre il secondo è costituito da tutti gli altri occupanti presenti nell'autorimessa, che effettuano il loro esodo circa 100 secondi dopo che il primo gruppo ha concluso l'esodo stesso.

Di seguito sono riportate le immagini che mostrano l'esodo in totale sicurezza dell'ultimo occupante.

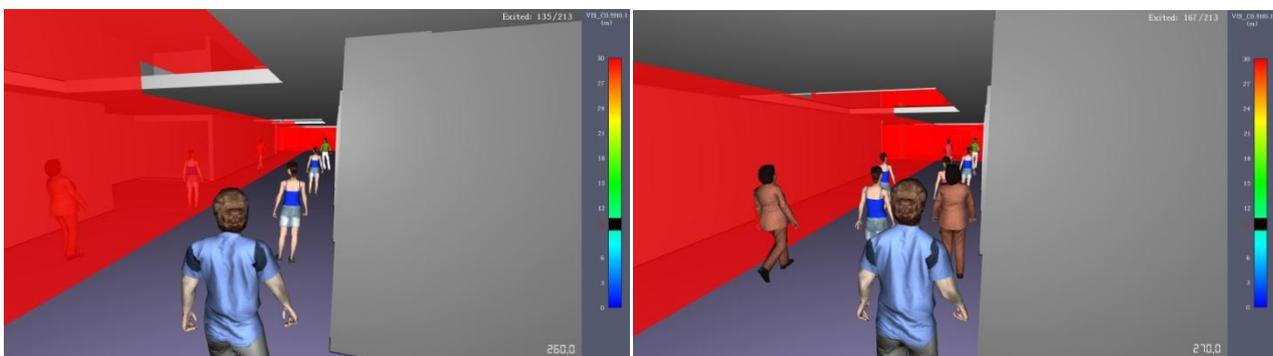


Figura 158. Esodo dell'ultimo occupante. Istanti: 260 e 270 secondi

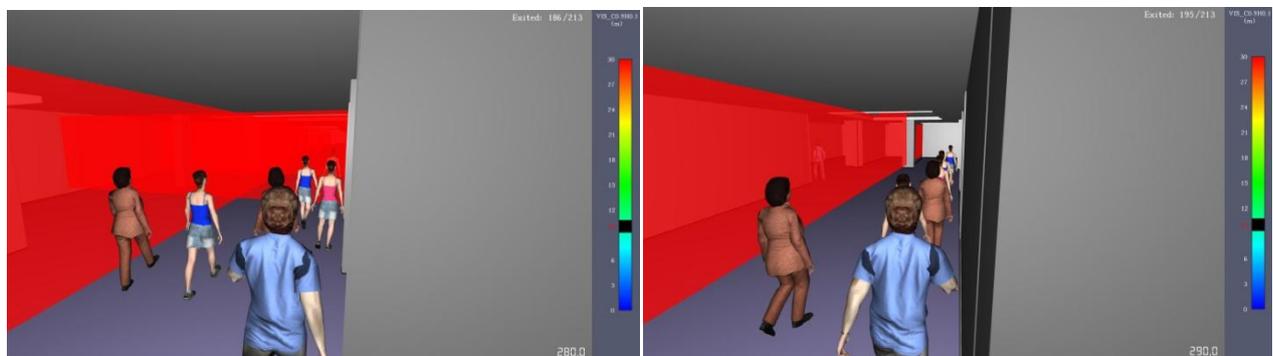


Figura 159. Esodo dell'ultimo occupante. Istanti: 280 e 290 secondi

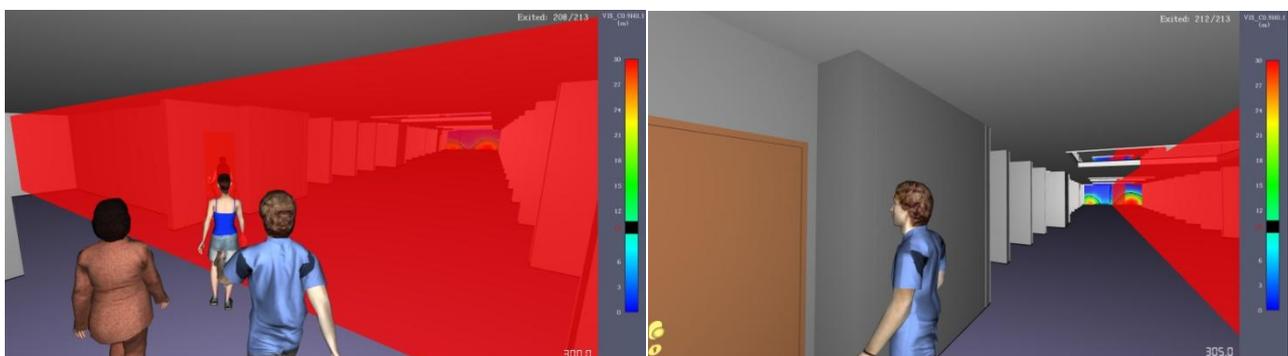


Figura 160. Esodo dell'ultimo occupante. Istanti: 300 e 305 secondi

Quindi il valore di RSET è pari a 306 secondi.

Il criterio $ASET > RSET$ viene ampiamente soddisfatto, sviluppando un tempo di margine pari ad almeno 884 secondi, che corrisponde a circa il 288% dell'RSET.

6.5.3 SCENARIO 3

Nel terzo scenario si è ipotizzato un incendio scoppiato all'interno di un box auto doppio e che ha coinvolto due autovetture. In questo caso il box si trova nello spigolo opposto dell'autorimessa rispetto al box auto in cui è stato ipotizzato il focolare del secondo scenario.

Per lo scenario 3 è stata utilizzata la stessa curva HRR utilizzata nel secondo. In Figura è riportata la curva restituita in output dal software *Pyrosim*.

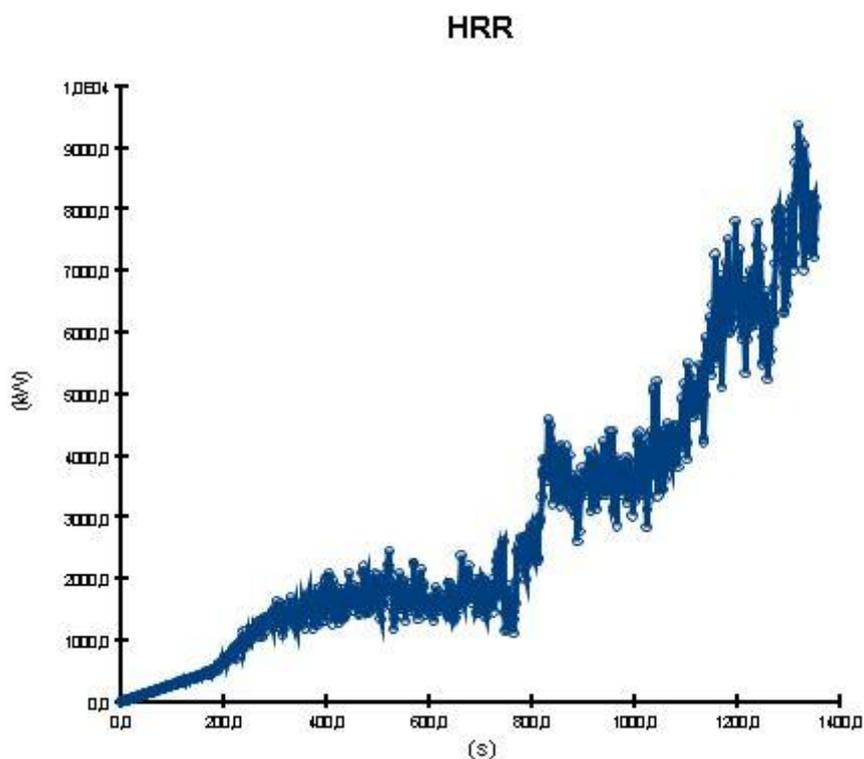


Figura 161. Curva HRR - Scenario 3

SLICE DI VISIBILITA'

Di seguito sono riportate le *slice* di visibilità nei diversi istanti.

In questo caso, essendo la struttura non regolare in pianta, ed essendo focolare e griglie di aerazione non allineate, vengono riportate due *slice* che corrono lungo il lato lungo dell'autorimessa, in modo tale da poter visualizzare al meglio ciò che avviene sia all'interno del box auto in cui è partito l'incendio, che nelle griglie di aerazione.

Dopo 30 secondi il fumo inizia ad invadere il box auto in cui è contenuto il focolare. Inizia anche a dirigersi verso la griglia di aerazione.

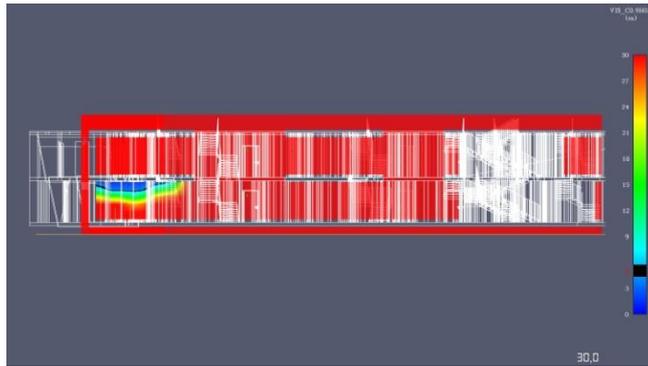


Figura 162. Slice di visibilità in direzione x a 30 secondi

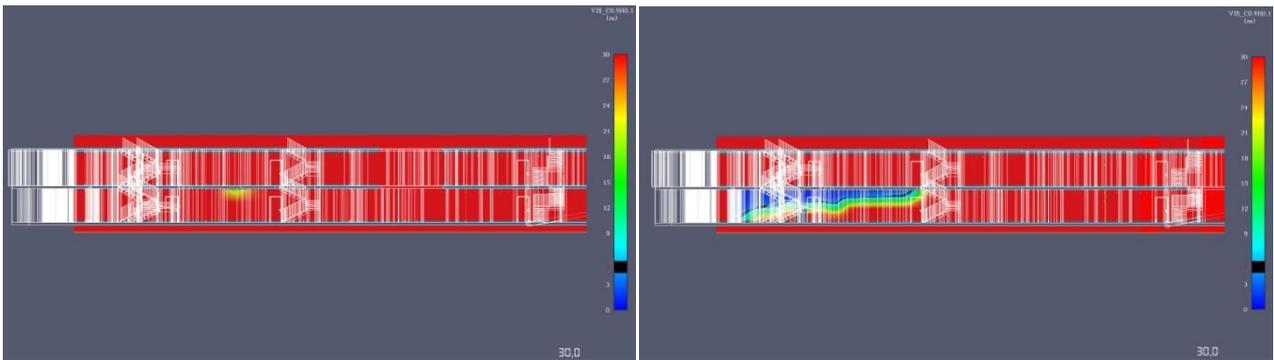


Figura 163. Slice di visibilità in direzione y a 30 secondi

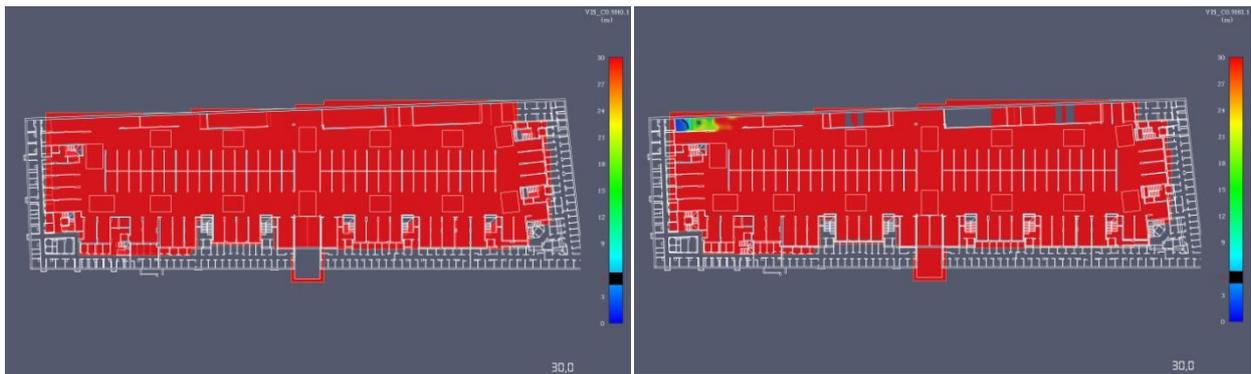


Figura 164. Slice di visibilità al primo e al secondo piano interrato a 30 secondi

Dopo 60 secondi il fumo raggiunge il primo piano interrato ed invade il box auto di fronte a quello in cui è partito l'incendio.

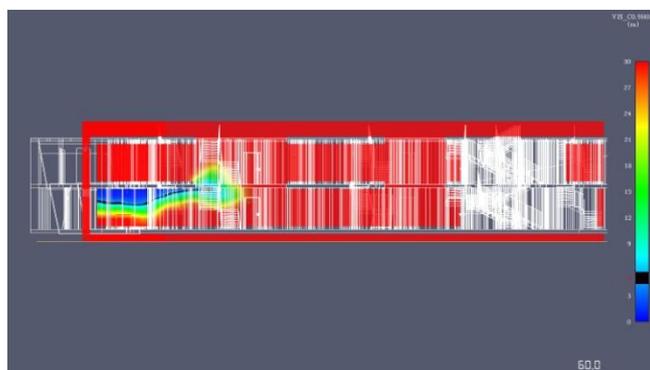


Figura 165. Slice di visibilità in direzione x a 60 secondi

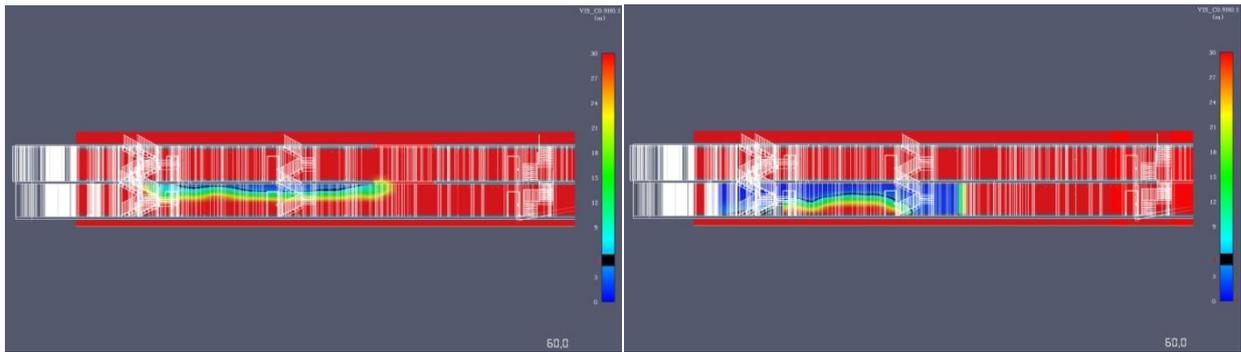


Figura 166. Slice di visibilità in direzione y a 60 secondi

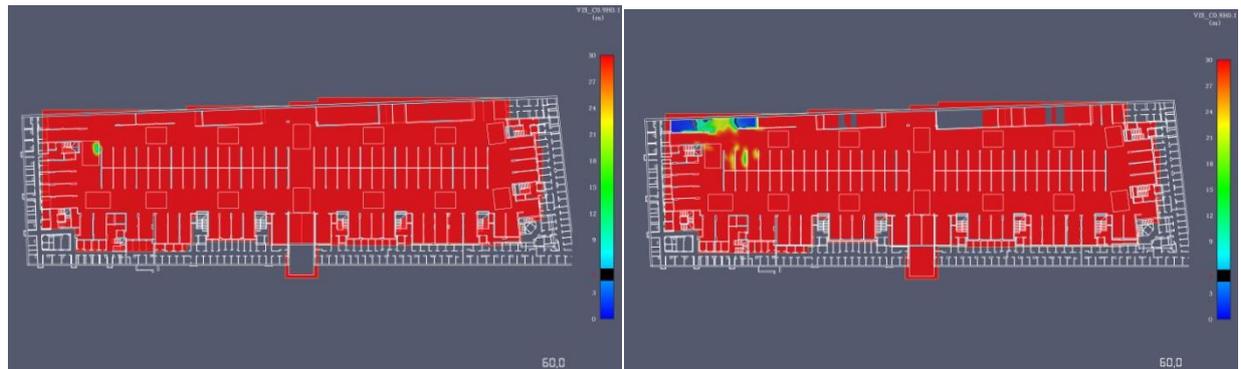


Figura 167. Slice di visibilità al primo e al secondo piano interrato a 60 secondi

Dopo 90 secondi la situazione risulta particolarmente peggiorata. Il fumo ha raggiunto la seconda griglia di aerazione ed ha iniziato ad invadere altri box auto nelle vicinanze.

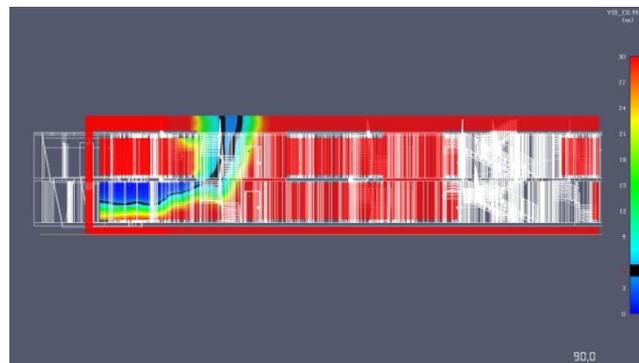


Figura 168. Slice di visibilità in direzione x a 90 secondi

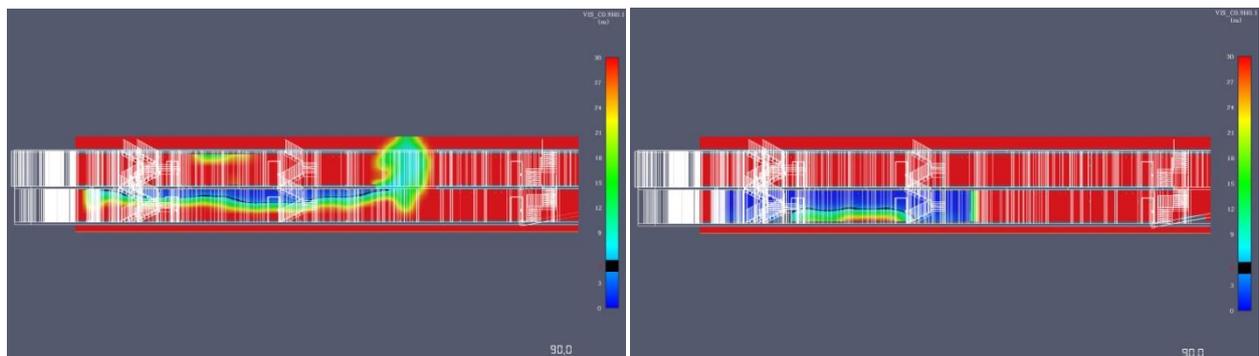


Figura 169. Slice di visibilità in direzione y a 90 secondi

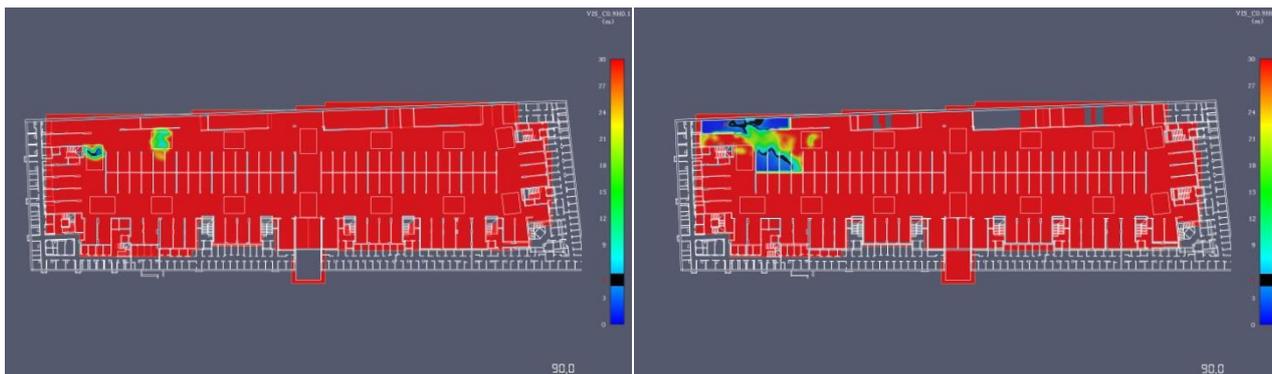


Figura 170. Slice di visibilità al primo e al secondo piano interrato a 90 secondi

Dopo 120 secondi 6 box auto sono completamente invasi dai fumi e altri due iniziano ad essere oscurati.

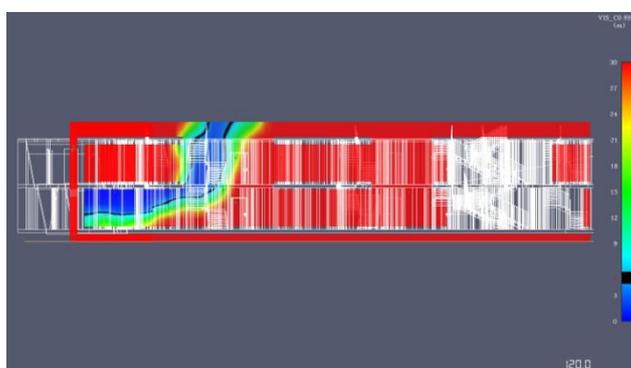


Figura 171. Slice di visibilità in direzione x a 120 secondi

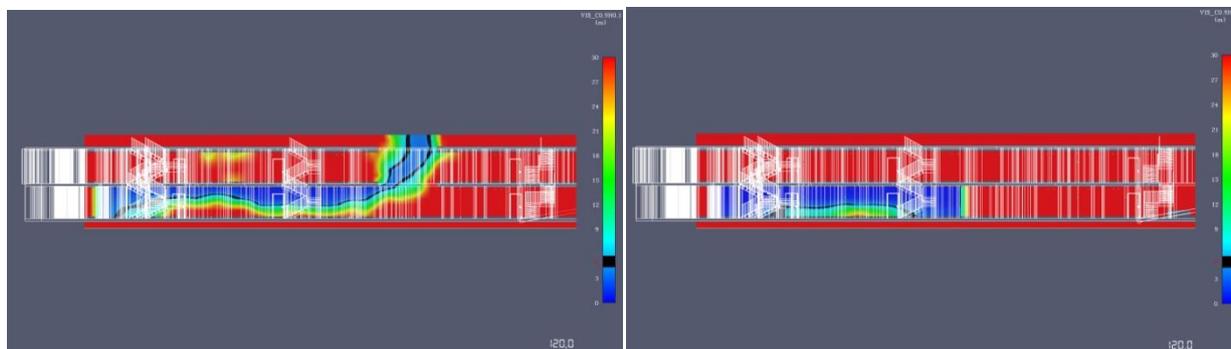


Figura 172. Slice di visibilità in direzione y a 120 secondi

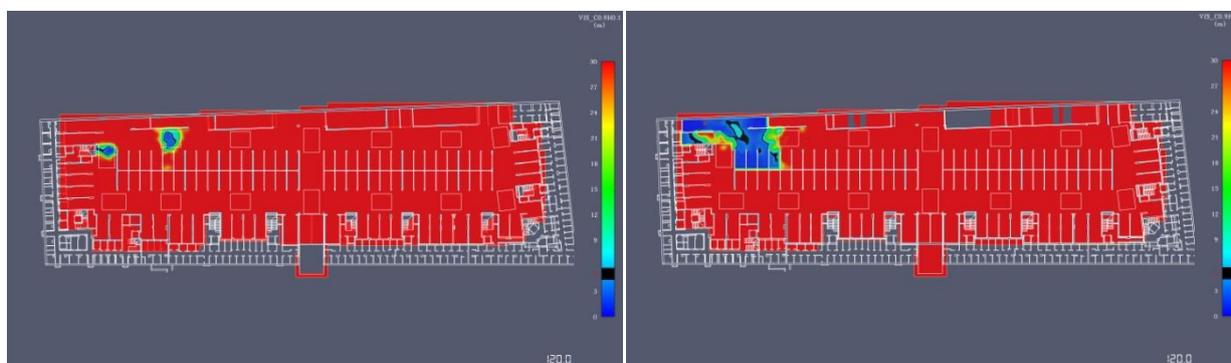


Figura 173. Slice di visibilità al primo e al secondo piano interrato a 120 secondi

Dopo 180 secondi Il primo box auto al primo piano interrato inizia ad essere invaso dai fumi. Intanto una porzione di zona di manovra nel secondo piano interrato è completamente avvolta dai

fumi. Due sprinkler risultano essere attivi e si tratta di quelli presenti all'interno del box auto del focolare.

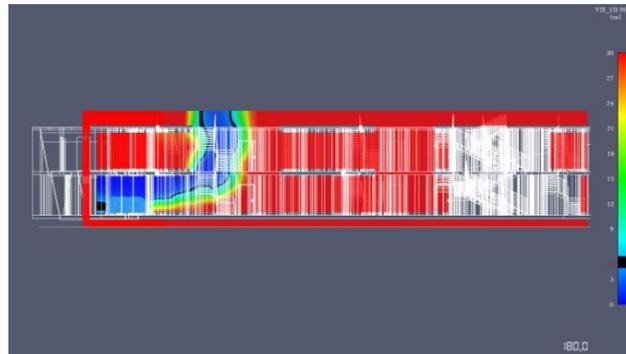


Figura 174. Slice di visibilità in direzione x a 180 secondi

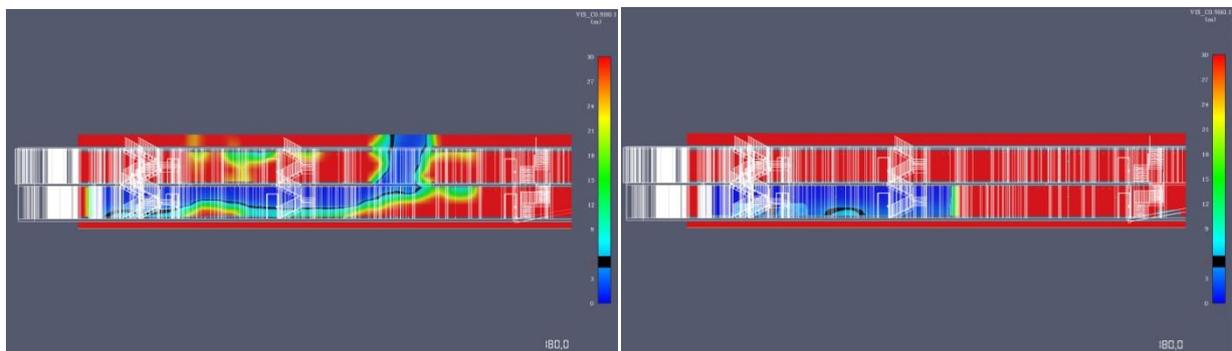


Figura 175. Slice di visibilità in direzione y a 180 secondi

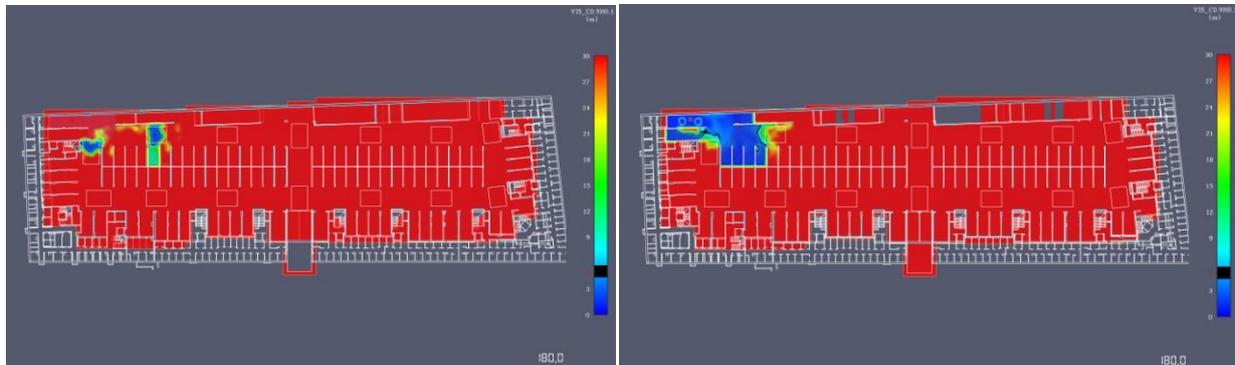


Figura 176. Slice di visibilità al primo e al secondo piano interrato a 180 secondi

Dopo 240 secondi un altro box auto nel primo piano interrato viene invaso dai fumi ed iniziano ad esserci i primi problemi di visibilità in prossimità dell'ingresso alle scale nel primo piano interrato stesso.

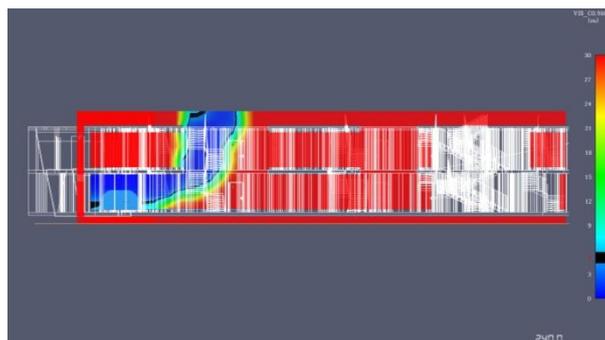


Figura 177. Slice di visibilità in direzione x a 240 secondi

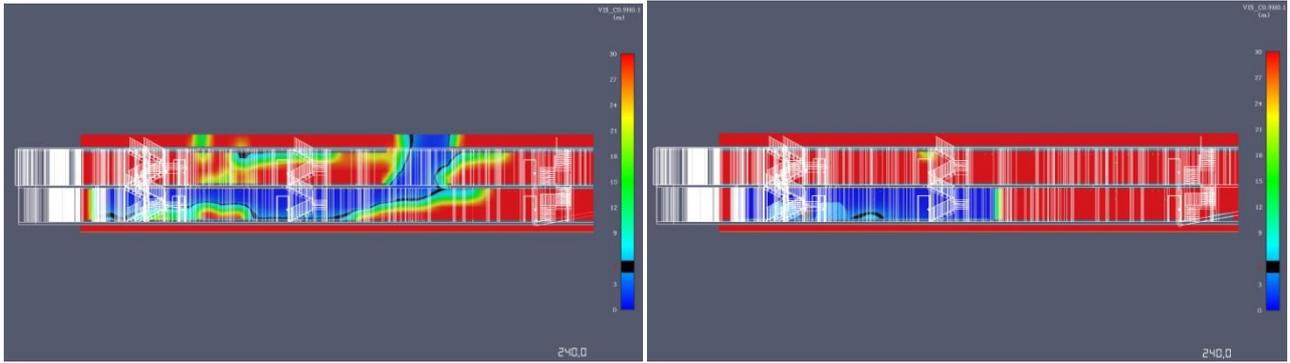


Figura 178. Slice di visibilità in direzione y a 240 secondi

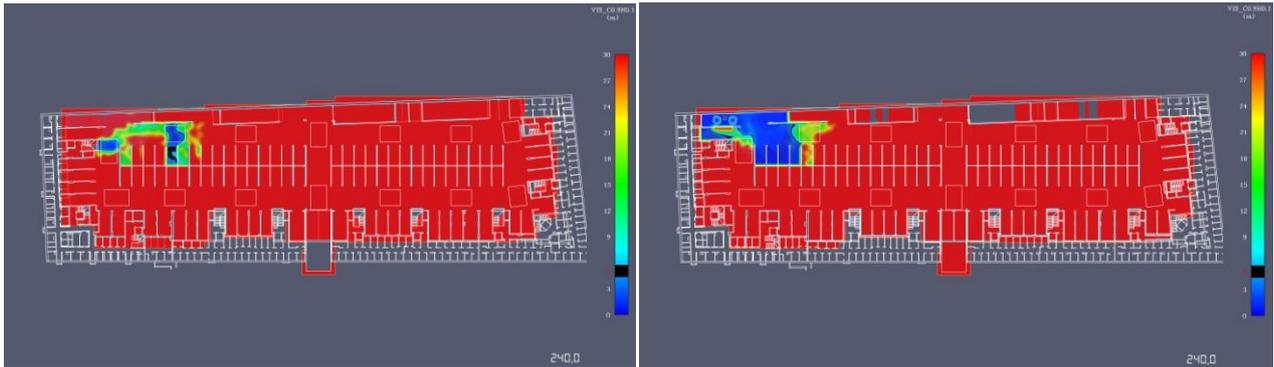


Figura 179. Slice di visibilità al primo e al secondo piano interrato a 240 secondi

Dopo 300 secondi un'altra testina dell'impianto sprinkler si attiva, e si tratta di quella presente nella corsia di manovra davanti al box auto del focolare.

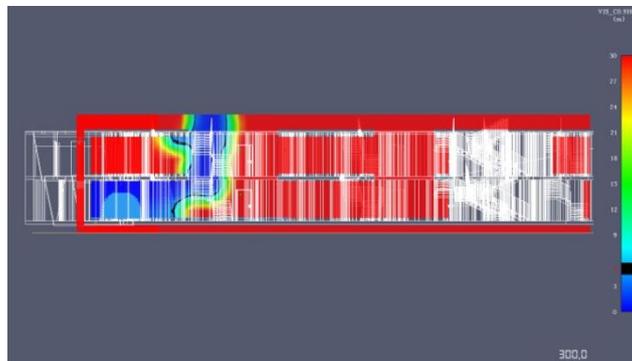


Figura 180. Slice di visibilità in direzione x a 300 secondi

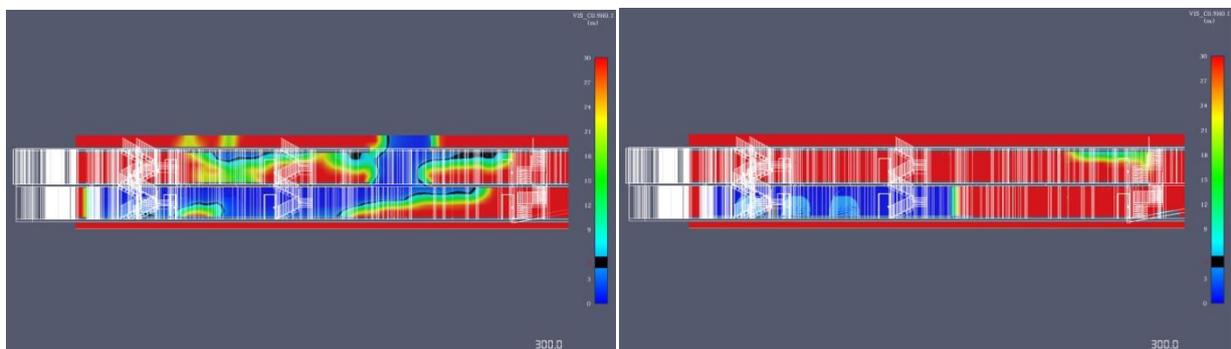


Figura 181. Slice di visibilità in direzione y a 300 secondi

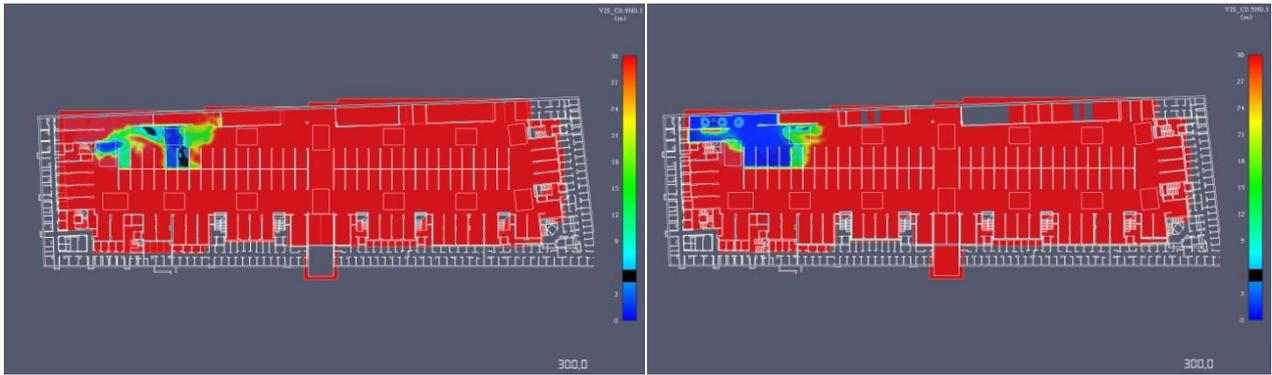


Figura 182. Slice di visibilità al primo e al secondo piano interrato a 300 secondi

Dopo 360 secondi risultano attivi quattro sprinkler, tutti nel secondo piano interrato. Intanto il fumo si espande anche nel primo piano interrato.

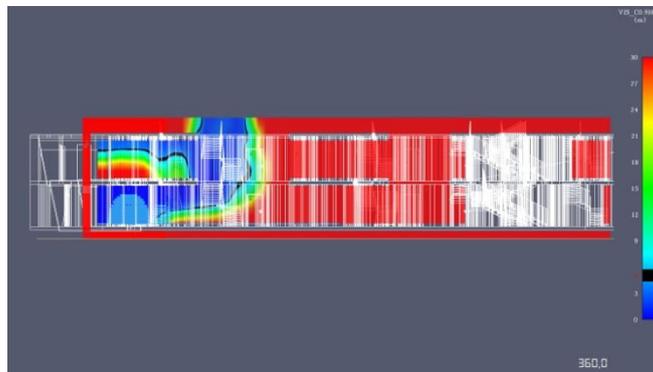


Figura 183. Slice di visibilità in direzione x a 360 secondi

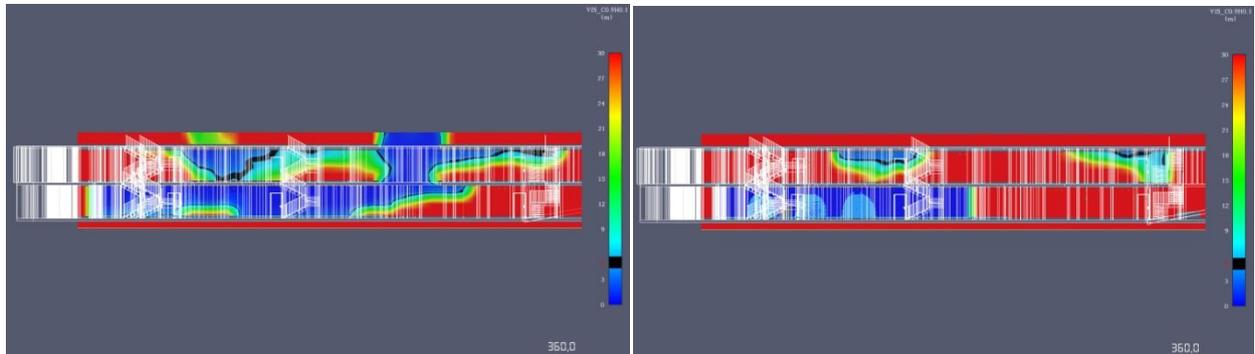


Figura 184. Slice di visibilità in direzione y a 360 secondi

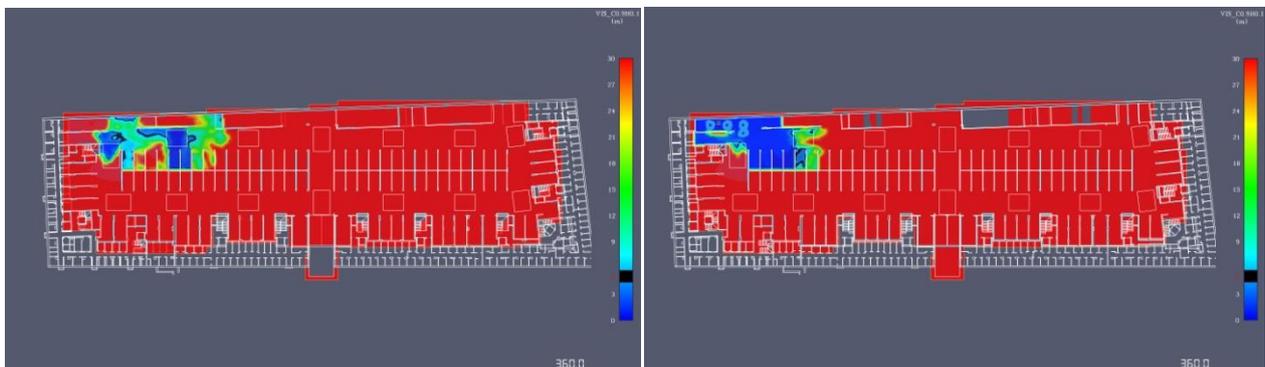


Figura 185. Slice di visibilità al primo e al secondo piano interrato a 360 secondi

Dopo 600 secondi anche lo sprinkler situato nel box di fronte al quello del focolare è attivo. Risulta molto interessante il fatto che il primo piano interrato sia invaso dai fumi molto più rispetto al secondo. La porzione di corsia di manovra in cui si ha una bassissima visibilità è molto maggiore.

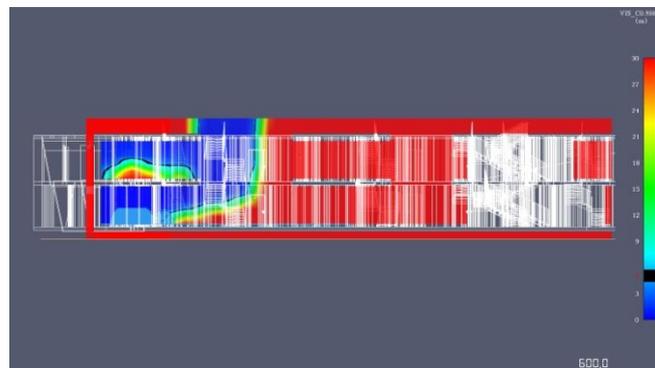


Figura 186. Slice di visibilità in direzione x a 600 secondi

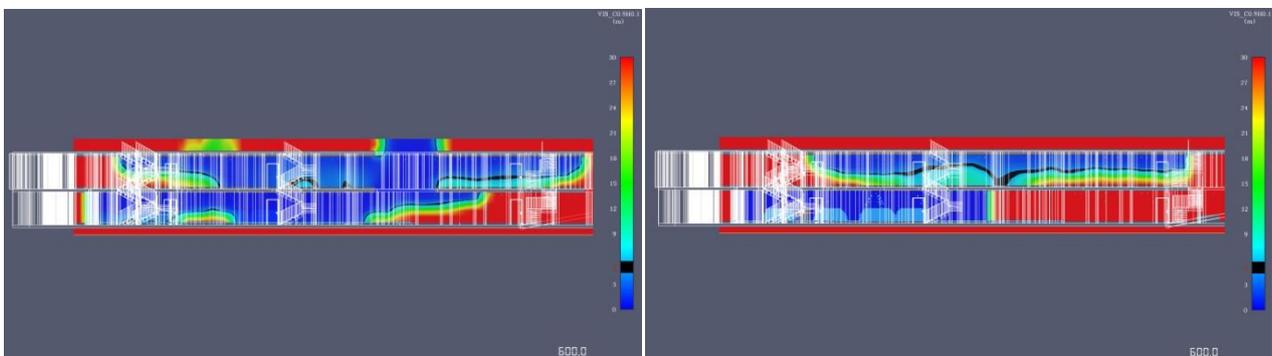


Figura 187. Slice di visibilità in direzione y a 600 secondi

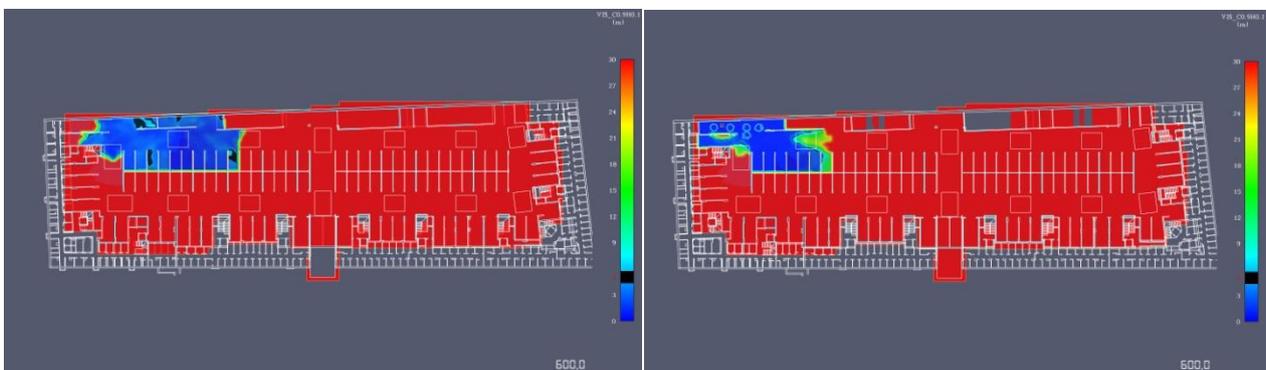


Figura 188. Slice di visibilità al primo e al secondo piano interrato a 600 secondi

Dopo 900 secondi dieci sprinkler sono attivi, tutti nel secondo piano interrato, dei quali sei si trovano nella corsia di manovra di fronte al box auto da cui è partito l'incendio.

Il fumo ha invaso un numero molto alto di box, soprattutto tra quelli presenti in posizione centrale, nello specifico sono oscurati undici box auto nel primo piano interrato, e dieci nel secondo.

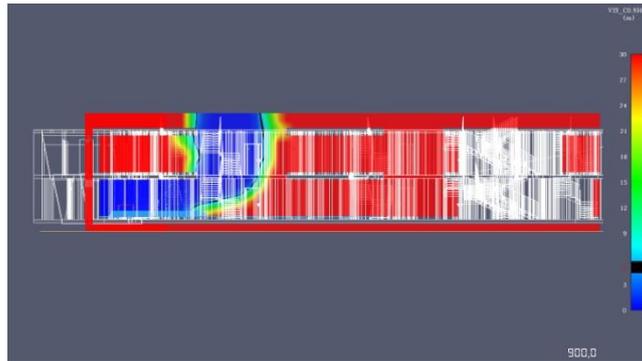


Figura 189. Slice di visibilità in direzione x a 900 secondi

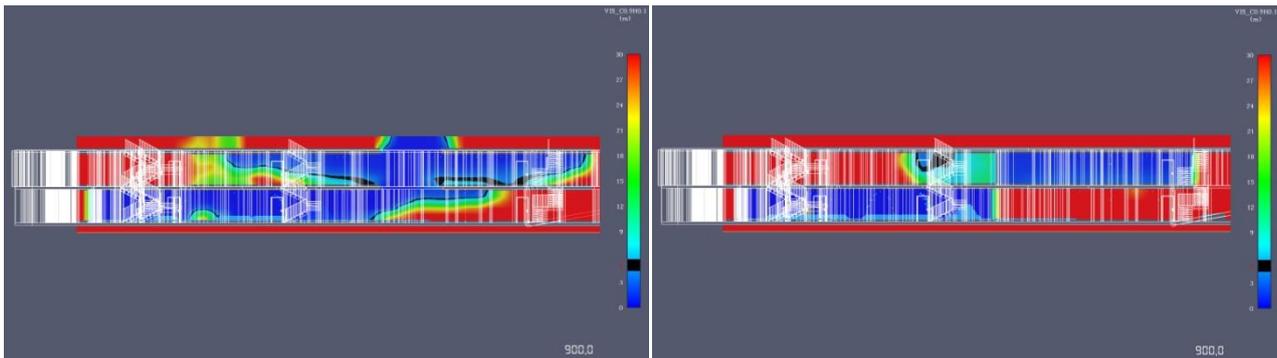


Figura 190. Slice di visibilità in direzione y a 900 secondi

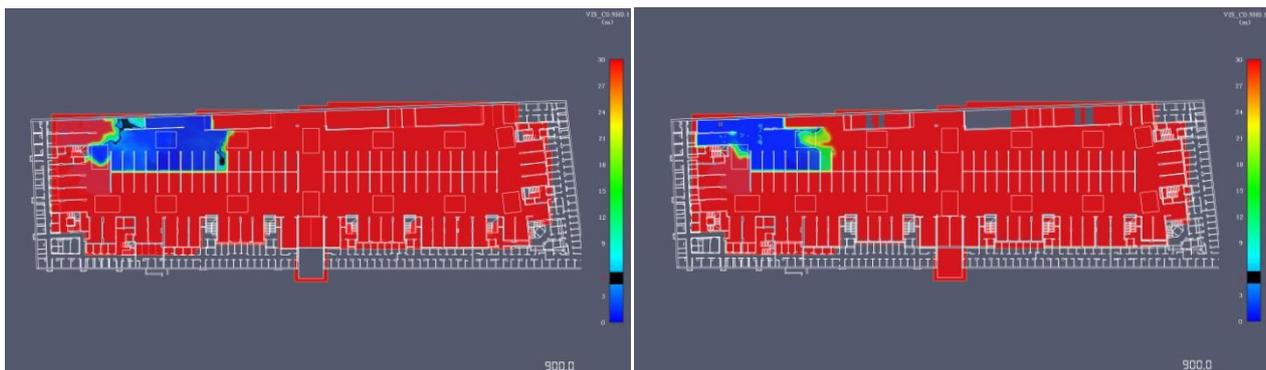


Figura 191. Slice di visibilità al primo e al secondo piano interrato a 900 secondi

Dopo 1200 secondi risultano attivi altri cinque sprinkler nel secondo piano interrato, quattro nella corsia di manovra e uno in un box auto. L'accesso alla scala più prossima al focolare è definitivamente impedito al primo piano interrato, mentre risulta ancora utilizzabile per accedere al secondo.

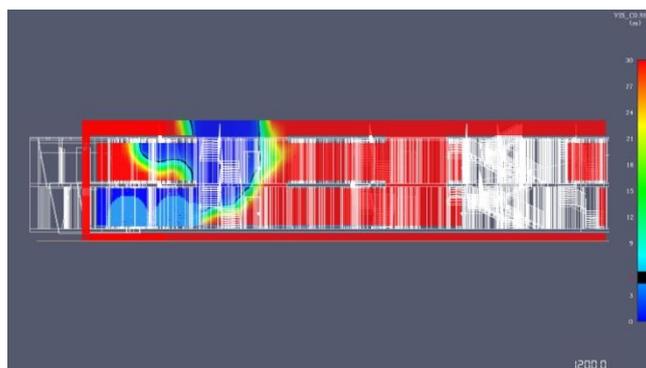


Figura 192. Slice di visibilità in direzione x a 1200 secondi

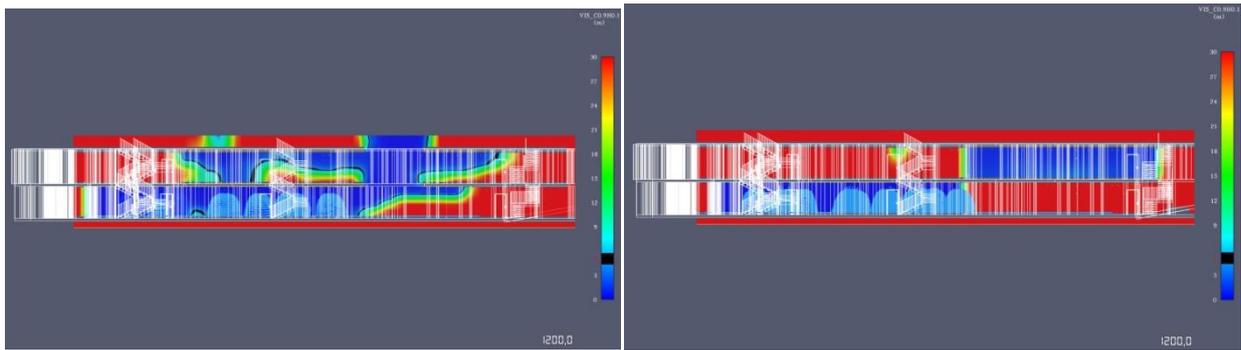


Figura 193. Slice di visibilità in direzione y a 1200 secondi

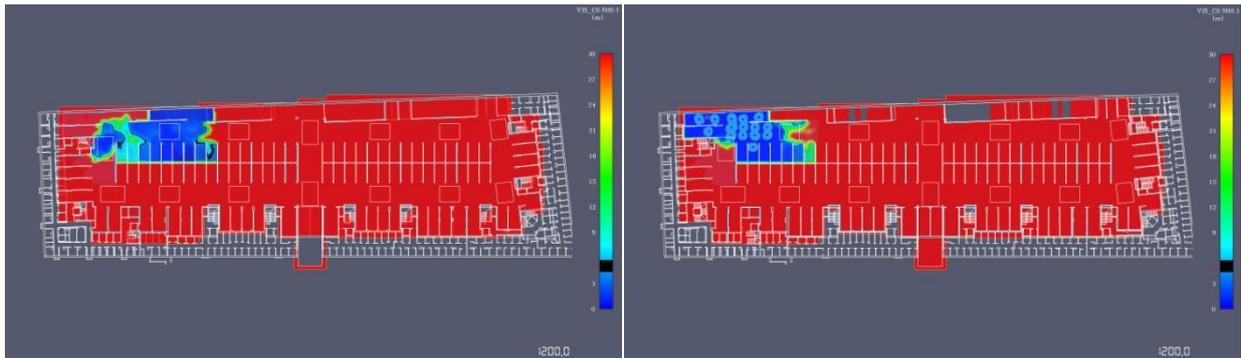


Figura 194. Slice di visibilità al primo e al secondo piano interrato a 1200 secondi

Dopo 1350 secondi risulta attivo il secondo sprinkler presente nel box accanto a quello in cui è partito l'incendio e anche un'altra testina presente in un box auto centrale. La porzione di autorimessa nei pressi del focolare risulta completamente invasa dal fumo ma lo scenario non risulta particolarmente gravoso ai fini della presente progettazione in quanto solamente un accesso all'autorimessa risulta impraticabile.

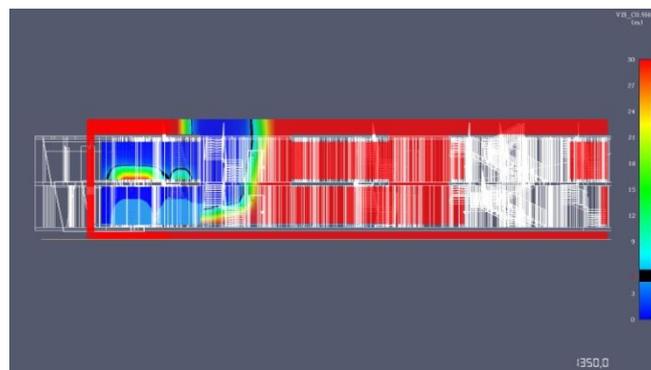


Figura 195. Slice di visibilità in direzione x a 1350 secondi

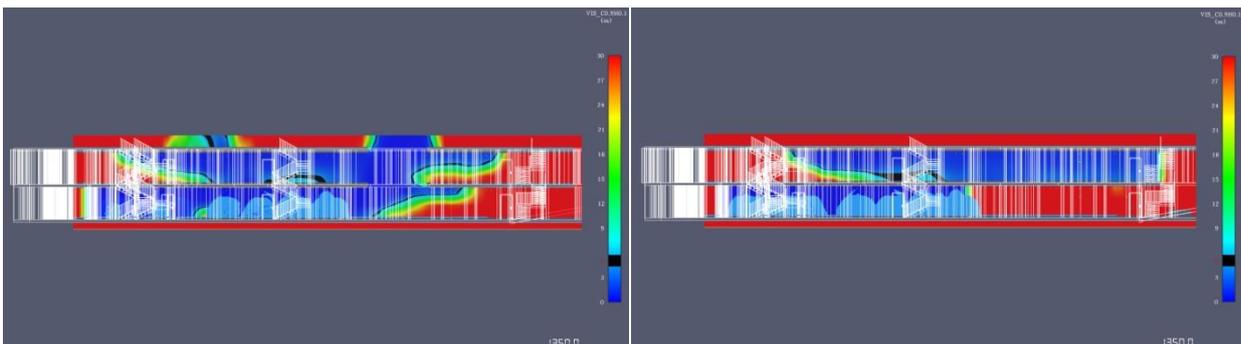


Figura 196. Slice di visibilità in direzione y a 1350 secondi

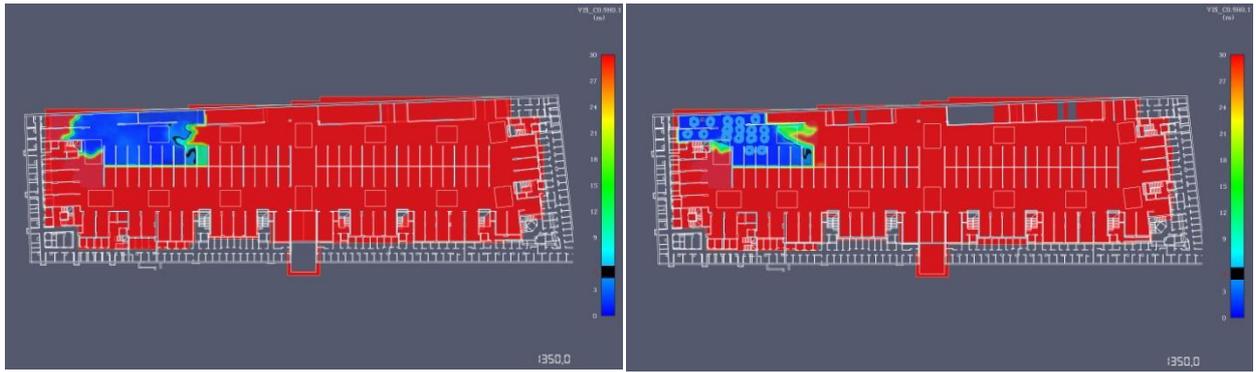


Figura 197. Slice di visibilità al primo e al secondo piano interrato a 1350 secondi

ISOSUPERFICI DI OSCURAMENTO DELLA VISIBILITA'

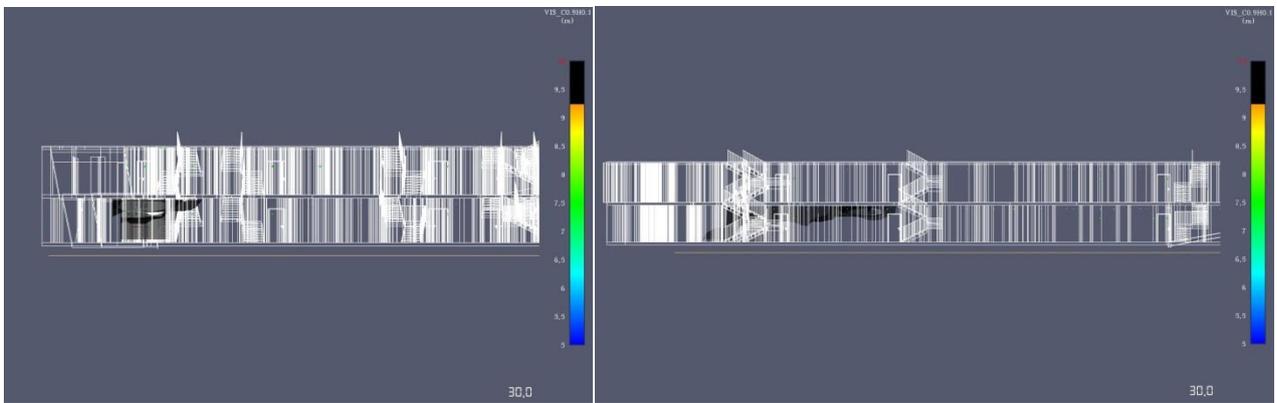


Figura 198. Isosuperfici di visibilità a 10 metri in direzione x e y a 30 secondi

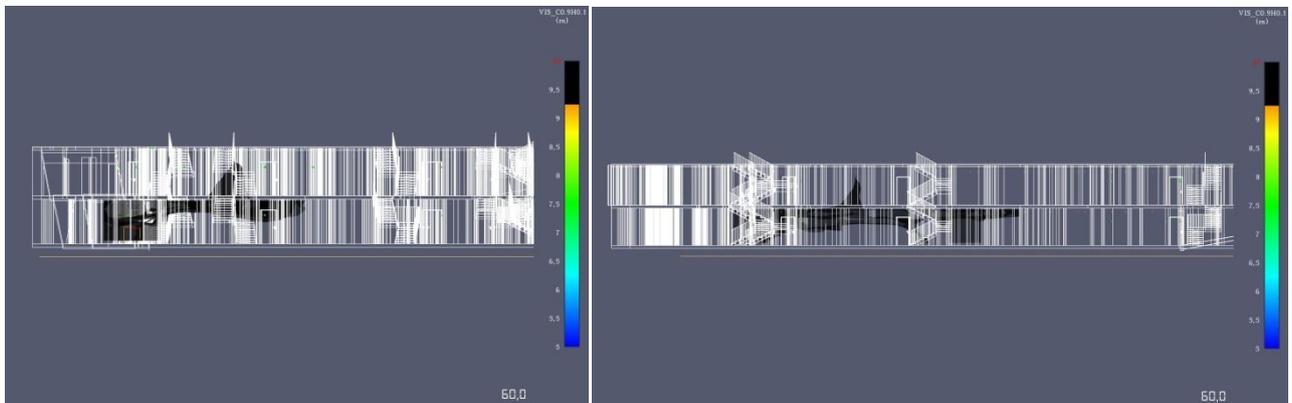


Figura 199. Isosuperfici di visibilità a 10 metri in direzione x e y a 60 secondi

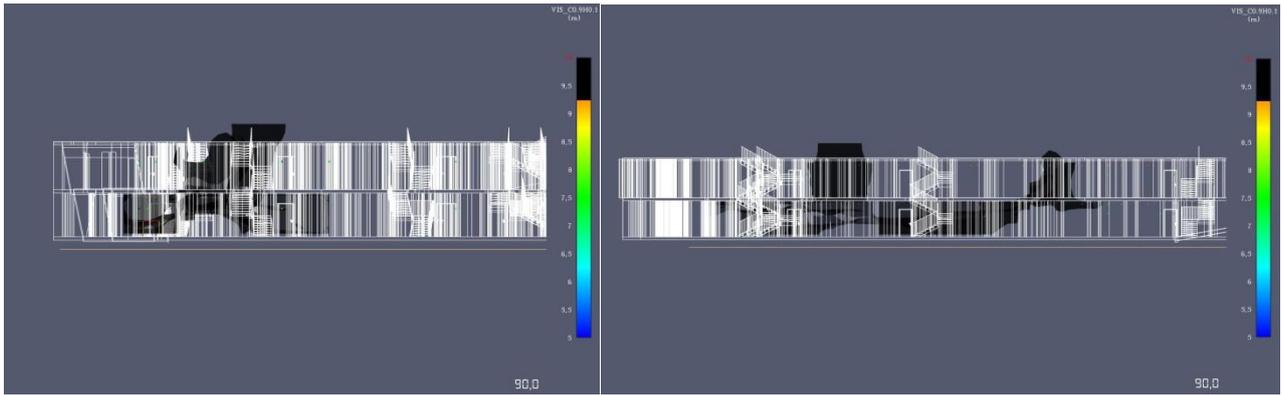


Figura 200. Isosuperfici di visibilità a 10 metri in direzione x e y a 90 secondi

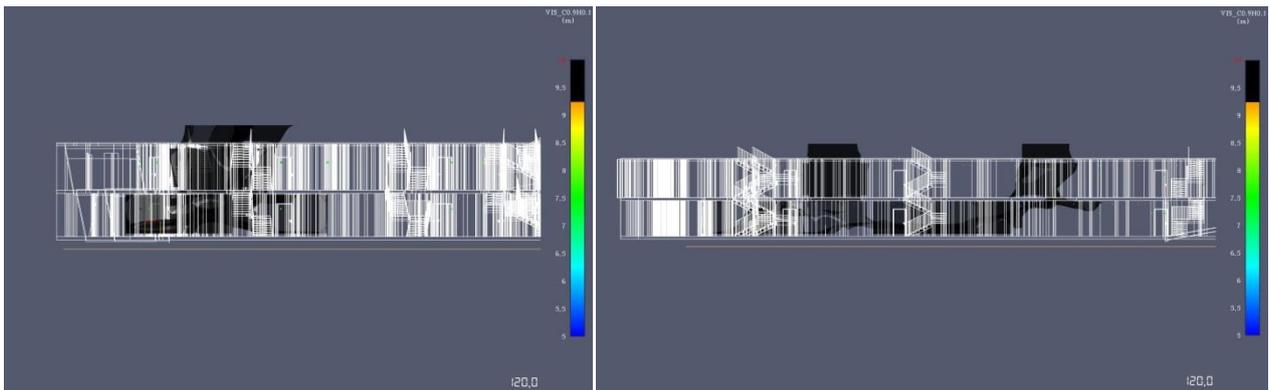


Figura 201. Isosuperfici di visibilità a 10 metri in direzione x e y a 120 secondi

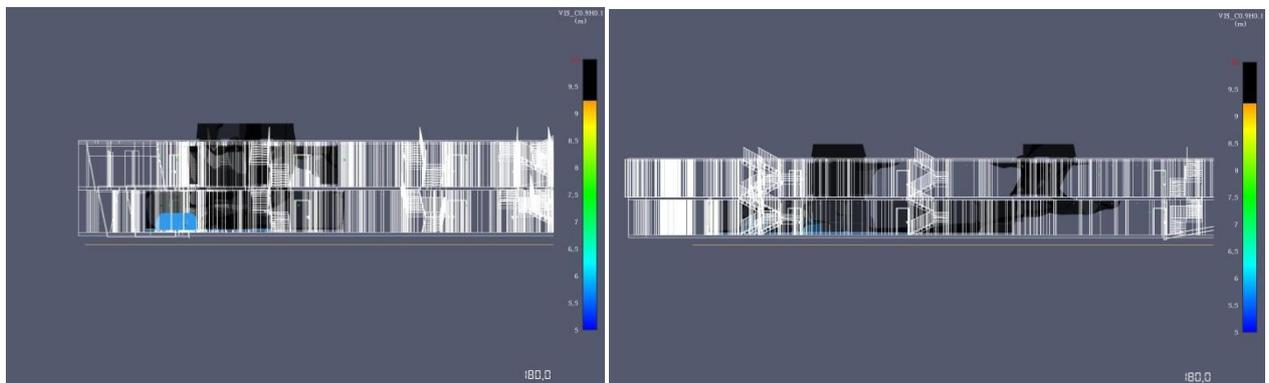


Figura 202. Isosuperfici di visibilità a 10 metri in direzione x e y a 180 secondi

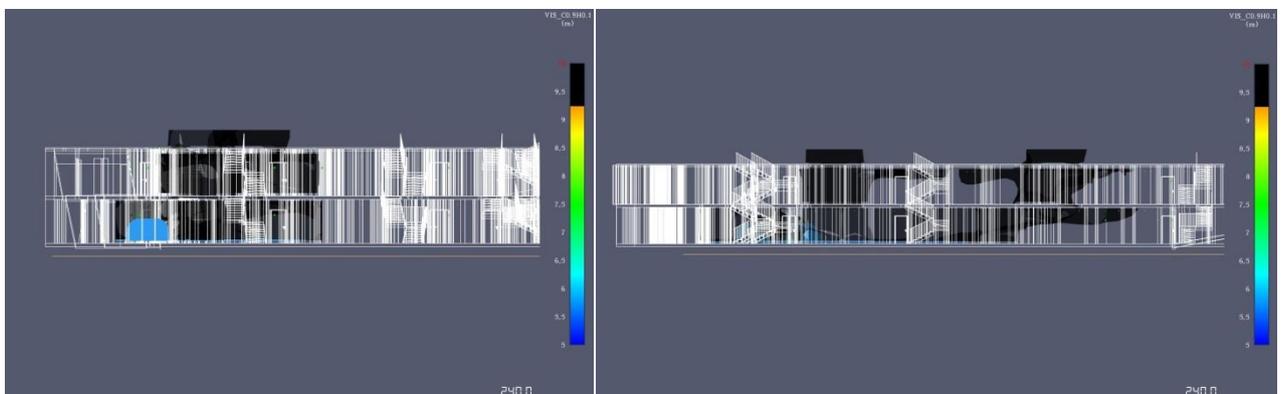


Figura 203. Isosuperfici di visibilità a 10 metri in direzione x e y a 240 secondi

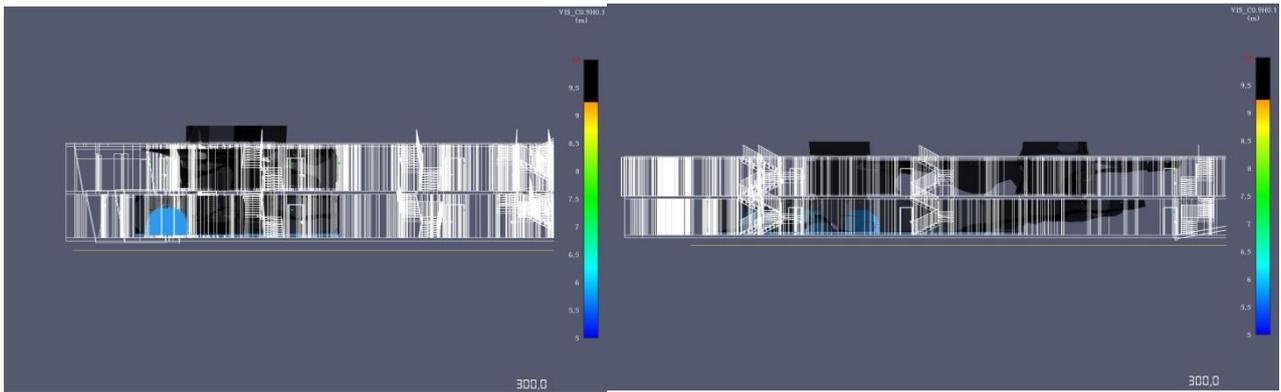


Figura 204. Isosuperfici di visibilità a 10 metri in direzione x e y a 300 secondi

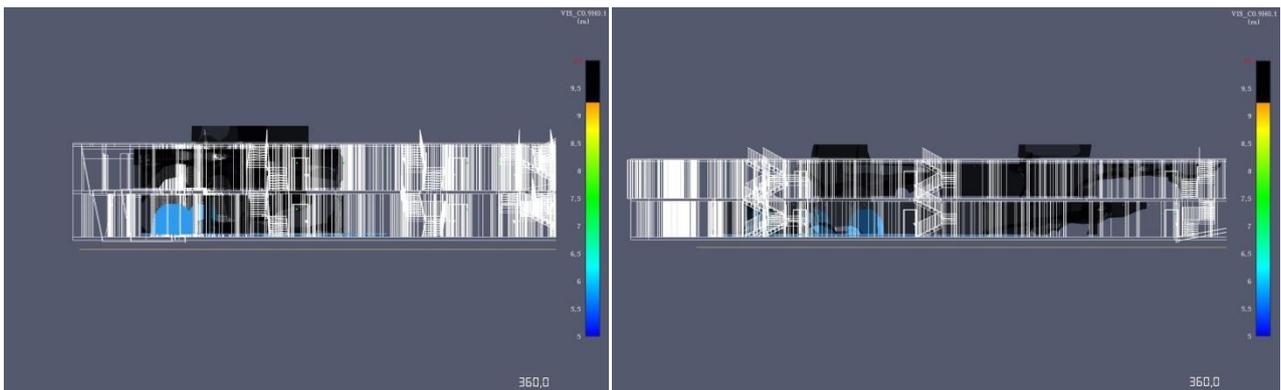


Figura 205. Isosuperfici di visibilità a 10 metri in direzione x e y a 360 secondi

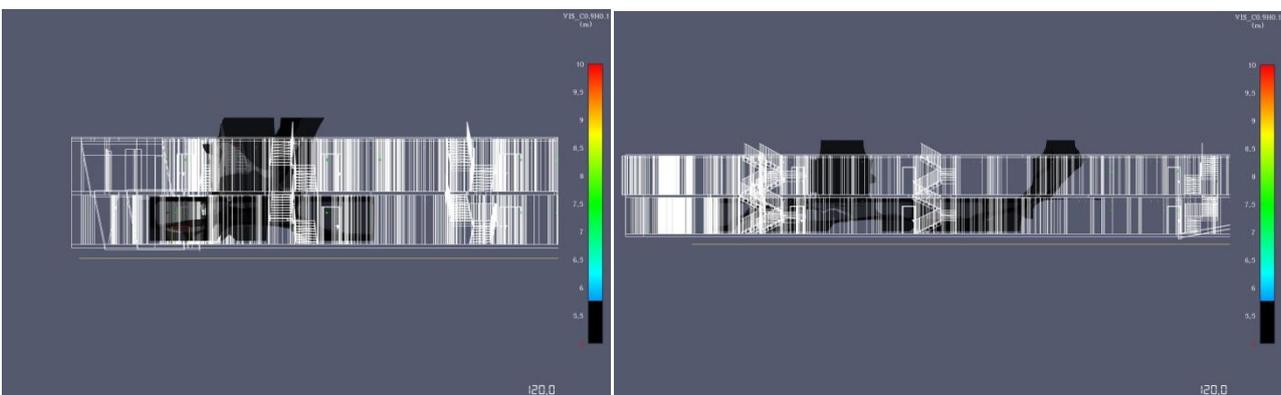


Figura 206. Isosuperfici di visibilità a 5 metri in direzione x e y a 120 secondi

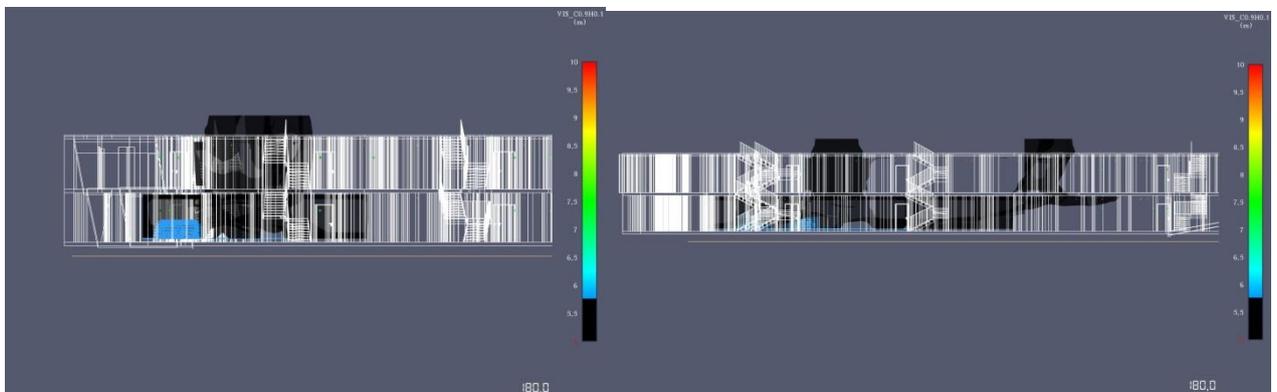


Figura 207. Isosuperfici di visibilità a 5 metri in direzione x e y a 180 secondi

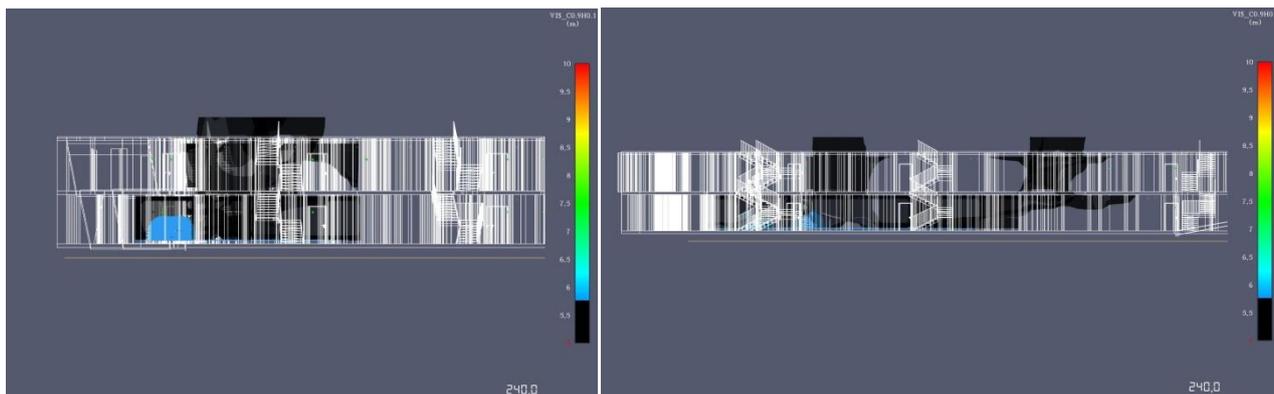


Figura 208. Isosuperfici di visibilità a 5 metri in direzione x e y a 240 secondi

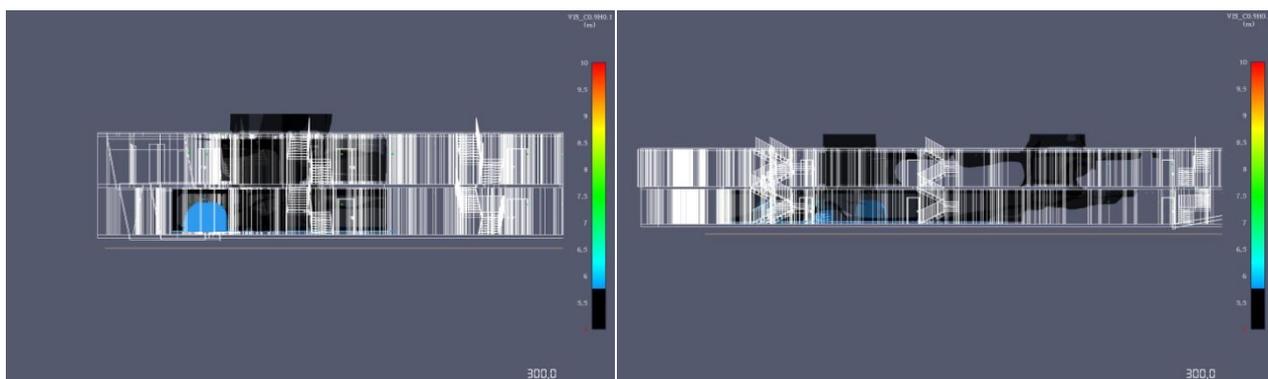


Figura 209. Isosuperfici di visibilità a 5 metri in direzione x e y a 300 secondi

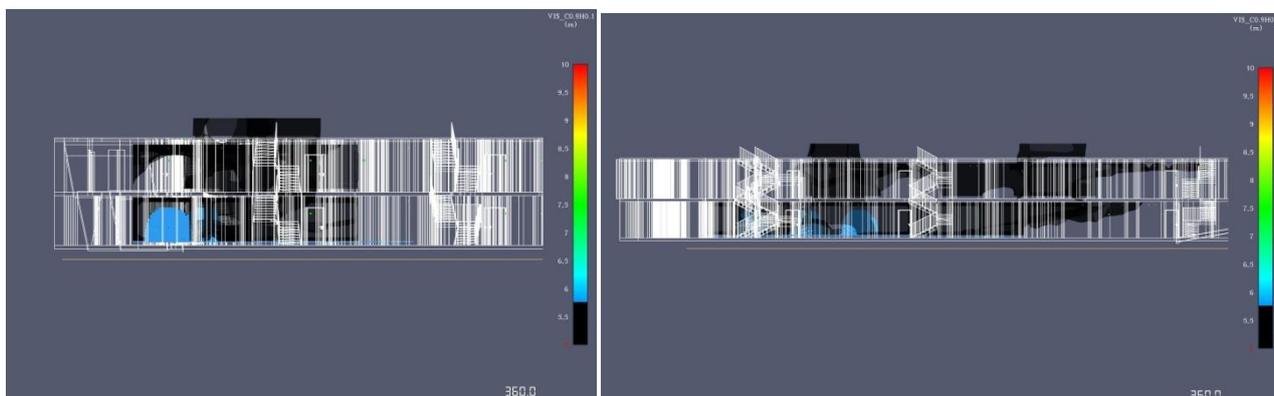


Figura 210. Isosuperfici di visibilità a 5 metri in direzione x e y a 360 secondi

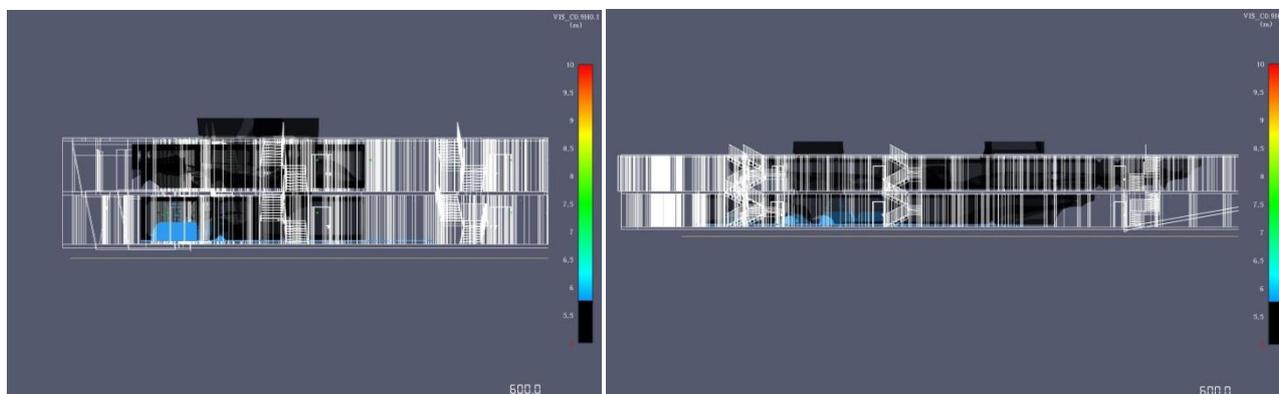


Figura 211. Isosuperfici di visibilità a 5 metri in direzione x e y a 600 secondi

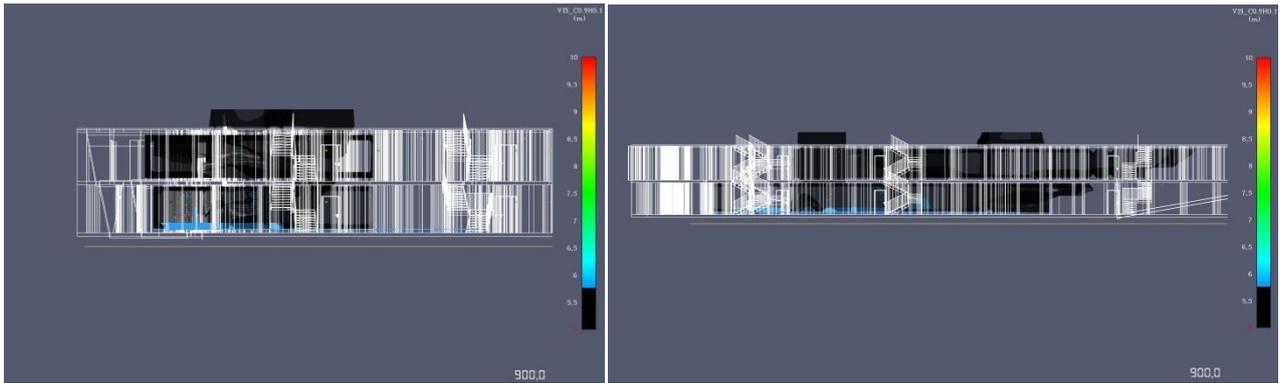


Figura 212. Isosuperfici di visibilità a 5 metri in direzione x e y a 900 secondi

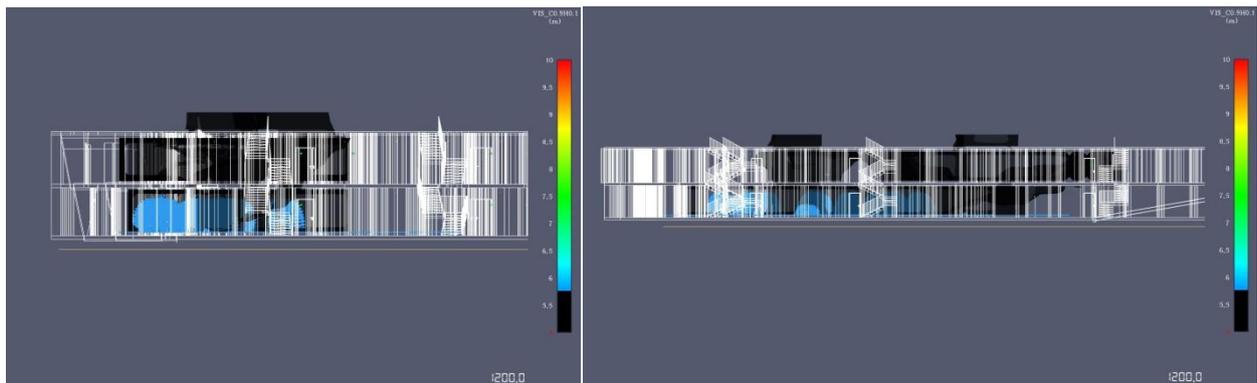


Figura 213. Isosuperfici di visibilità a 5 metri in direzione x e y a 1200 secondi

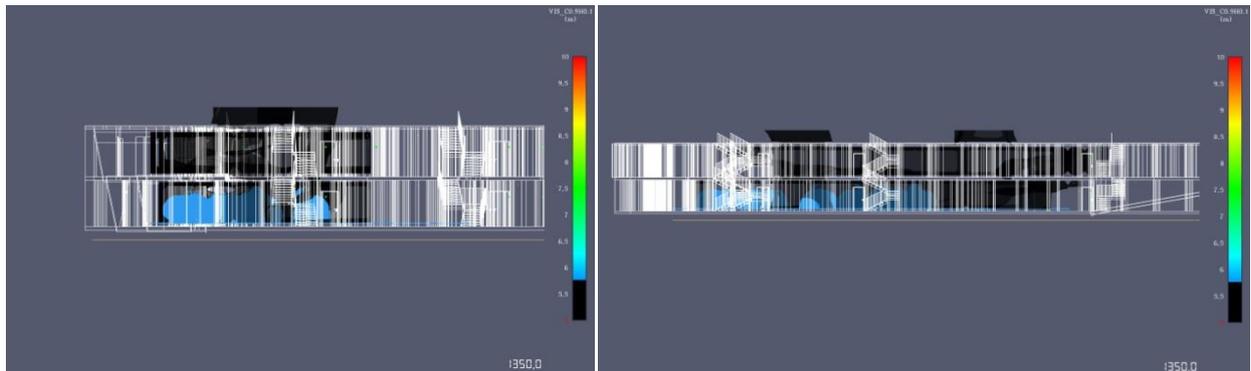


Figura 214. Isosuperfici di visibilità a 5 metri in direzione x e y a 1350 secondi

ATTIVAZIONE DELLE TESTINE DEGLI SPRINKLER

In Figura 215 sono rappresentati i tempi di attivazione degli sprinkler che sono entrati in funzione entro i 1350 secondi.

Questo è lo scenario in cui si è attivato il numero maggiore di sprinkler. Per precisione, si sono attivate 17 testine, tutte nel secondo piano interrato. Di queste, le prime cinque, ben distinguibili dalle altre, sono tutte nei pressi del focolare, nel box auto e nella corsia di manovra. Le altre testine si attivano dopo aver raggiunto i 800 secondi di simulazione.

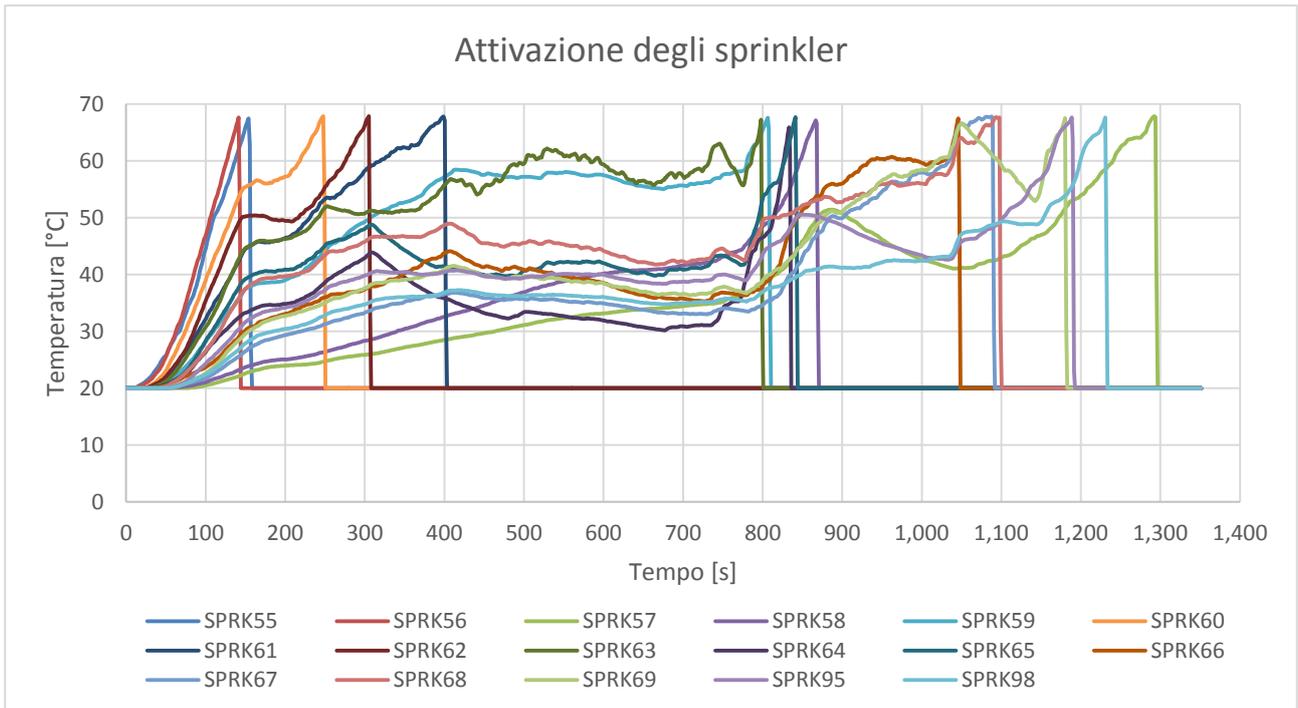


Figura 215. Attivazione sprinkler - Scenario 3

CALCOLO ASET

MODELLO DEL CALORE

In Figura 216 è riportato il grafico per l'analisi del modello del calore in termini di temperatura.

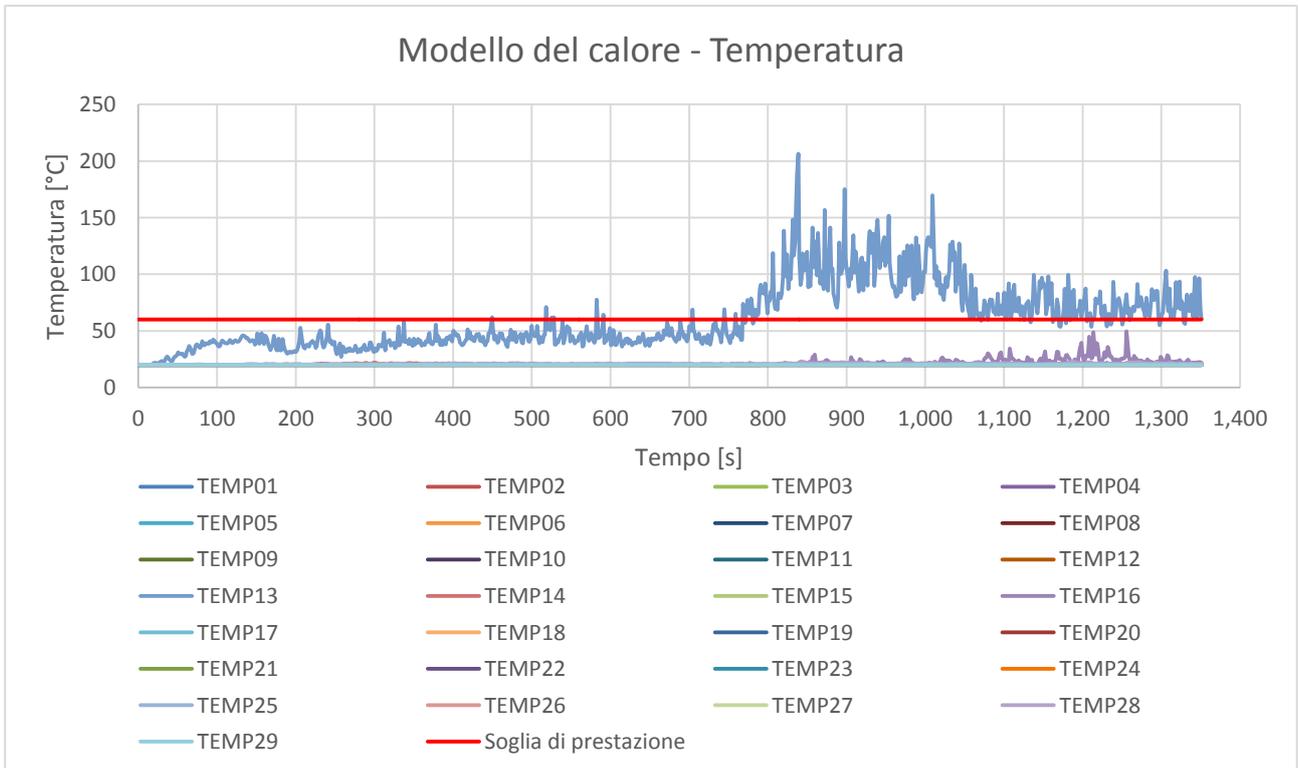


Figura 216. Modello del calore - Temperatura - Scenario 3

Come si può ben osservare nel grafico, solamente un dispositivo registra valori superiori rispetto alla soglia di prestazione. Questo dispositivo è il TEMP13, ovvero quello posto in prossimità del focolare. Per questo motivo non è stato preso in considerazione nel calcolo dell'ASET.

Per il modello del calore in termini di irraggiamento si fa riferimento alla Figura 217.

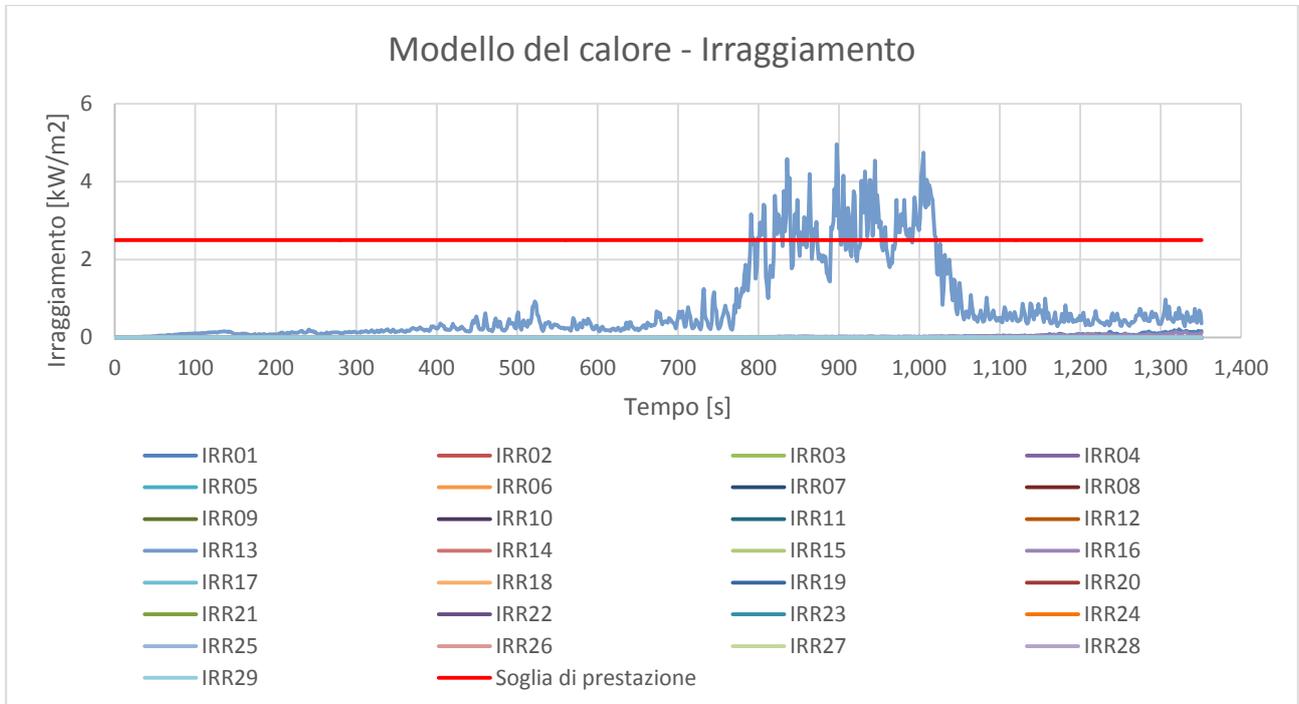


Figura 217. Modello del calore - Irraggiamento - Scenario 3

Anche in questo caso solamente il *device* sopra il focolare registra valori superiori alla soglia di prestazione, quindi per il medesimo ragionamento non è stato considerato nel calcolo dell'ASET.

MODELLO DEI GAS TOSSICI

In Figura 218 è riportato il grafico con tutti i valori registrati dai *device*.

Anche nel modello dei gas tossici solo il dispositivo presente sopra il focolare registra valori superiori alla soglia.

Come è già stato indicato in precedenza, questo scenario non risulta particolarmente gravoso, nonostante l'elevato numero di testine sprinkler attivate.

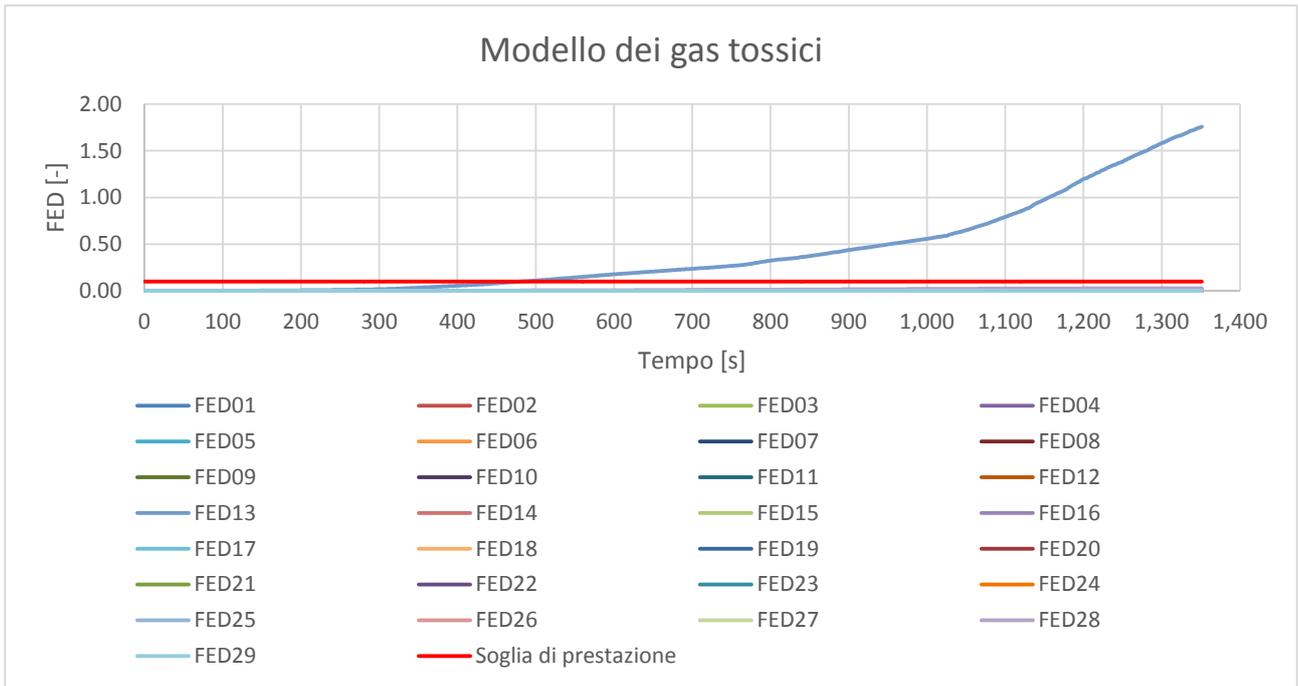


Figura 218. Modello dei gas tossici - Scenario 3

MODELLO DI OSCURAMENTO DELLA VISIBILITA'

In Figura 219 si riporta il grafico per l'analisi del modello di oscuramento della visibilità.

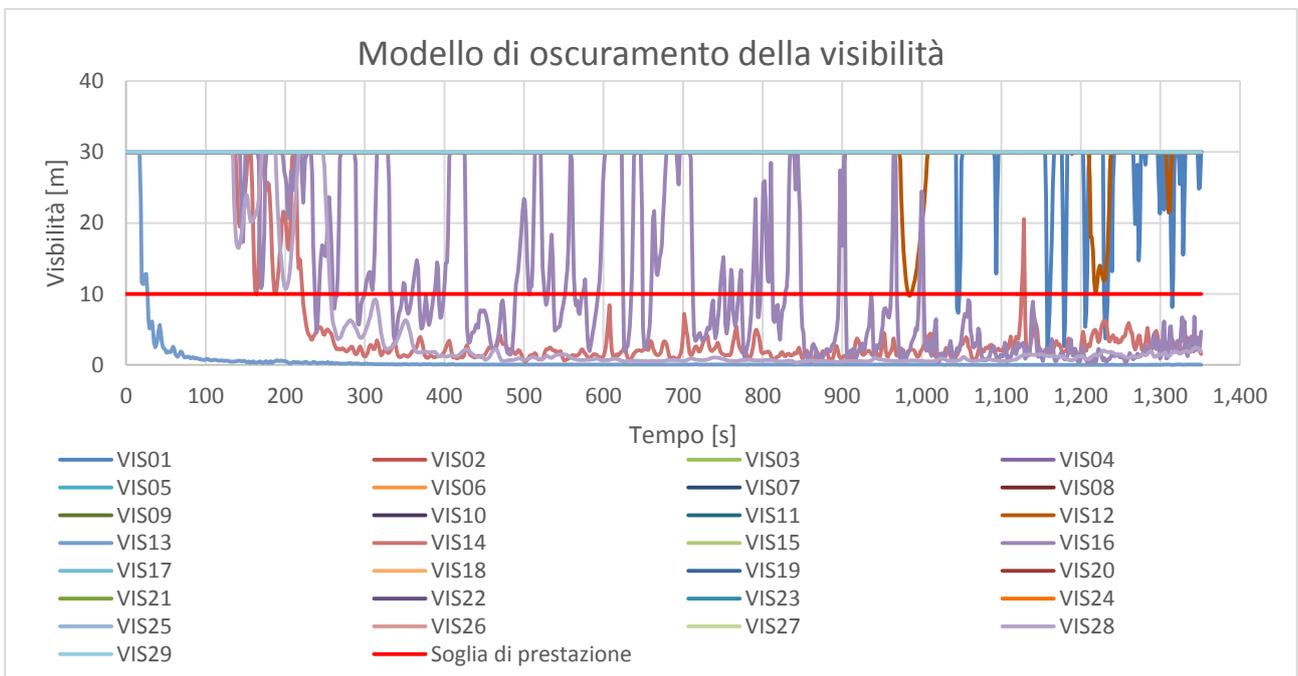


Figura 219. Modello di oscuramento della visibilità - Scenario 3

Lo studio del presente molto risulta molto interessante. Ovviamente il primo dispositivo che registra valori inferiori alla soglia di prestazione è quello sopra il focolare (colorato in azzurro) e quindi non è stato considerato nel calcolo dell'ASET. Il secondo (colorato in rosso porpora) è il VIS14, nei pressi della prima griglia di aerazione verso il quale si dirige il fumo per uscire dall'autorimessa, ancora troppo vicino al focolare per considerarlo nel calcolo. Il terzo dispositivo (colorato in violetto) è il VIS28, che si trova nel primo piano interrato, nella stessa posizione del

VIS14, che invece si trova nel secondo. Anche in questo caso il dispositivo è stato scartato nel calcolo perché la posizione non è utile ai fini della progettazione. Il quarto dispositivo (colorato in viola) è il VIS16, che si trova di fronte alla porta d'ingresso per le scale nel primo piano interrato. Come già detto in precedenza questo ingresso subisce molte variazioni dal punto di vista della visibilità, infatti nel grafico si nota un andamento molto altalenante, che indica il fatto che ci sono stati momenti in cui la porta è risultata utilizzabile intervallati da momenti in cui non lo era. Dato l'andamento dei valori registrati si è considerato come valore dell'ASET l'istante in cui la curva, una volta scesa sotto la soglia di prestazione, non è più salita, ovvero 1003 secondi. Oltre i 1100 secondi un quinto dispositivo ha registrato valori sotto la soglia per qualche breve istante, stabilendosi però poi con valori nella norma, sopra i 15 metri di visibilità, quindi non è stato considerato nella definizione del valore dell'ASET.

CALCOLO RSET

In Figura 220 è riportato il grafico che spiega l'esodo degli occupanti nel tempo.

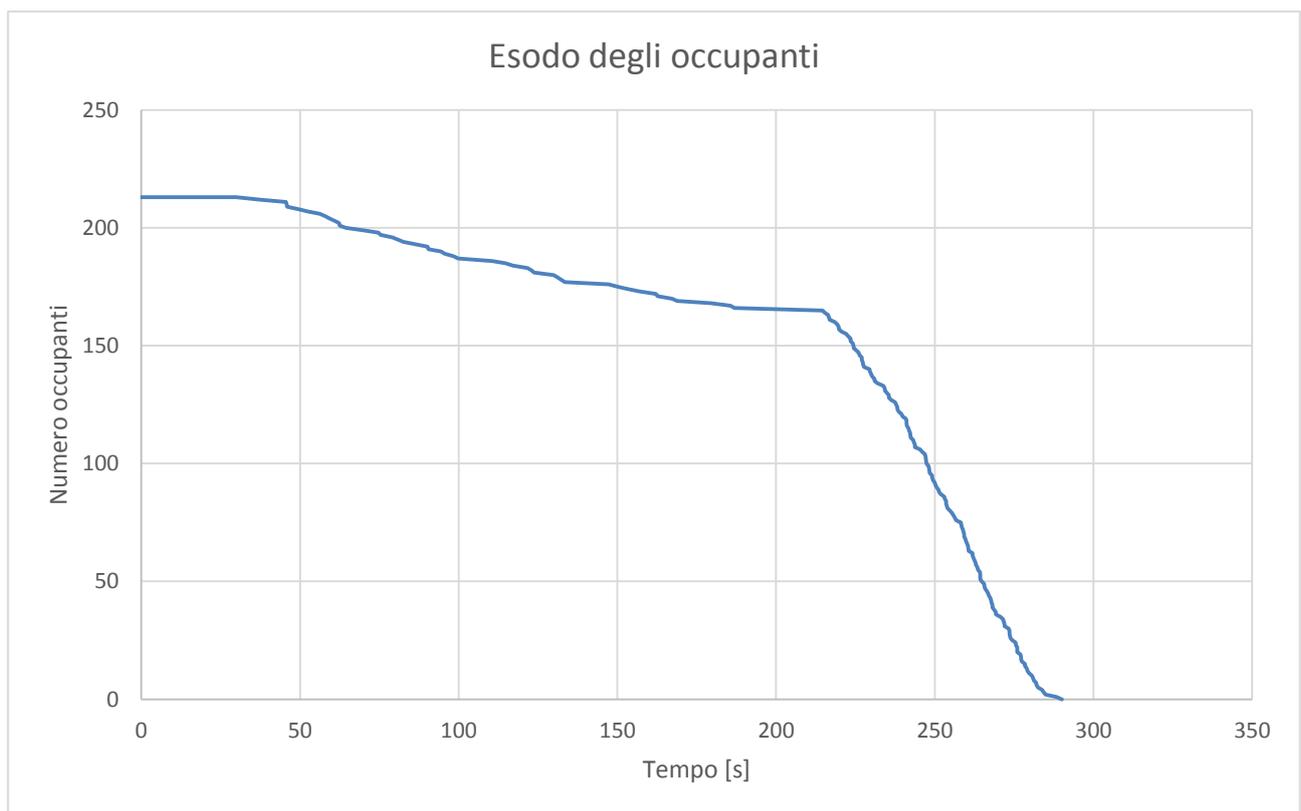


Figura 220. Esodo degli occupanti - Scenario 3

Le persone presenti nell'autorimessa impiegano più o meno lo stesso tempo ad uscire rispetto agli altri scenari. In questo caso si parla di circa 290 secondi.

Di seguito sono riportate le immagini che mostrano l'esodo in totale sicurezza dell'ultimo occupante.

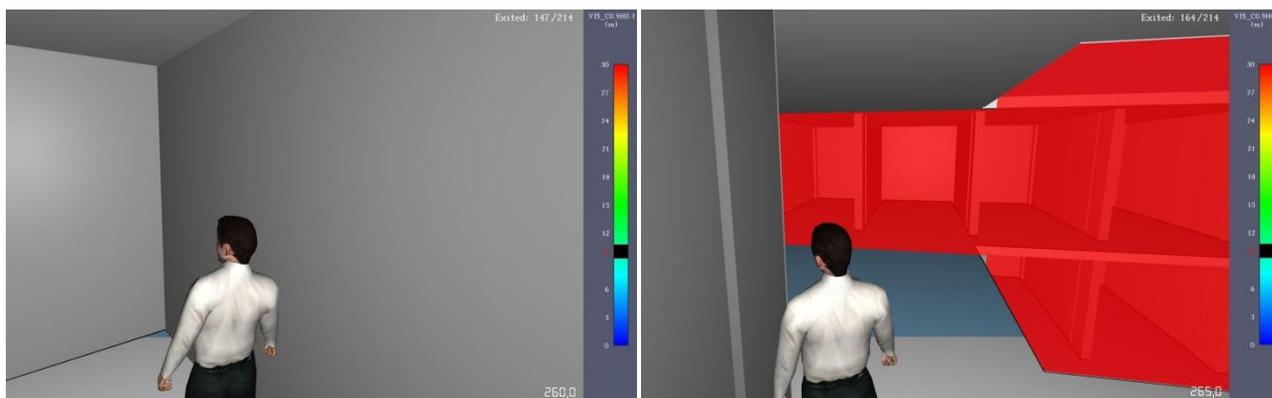


Figura 221. Esodo dell'ultimo occupante. Istanti: 260 e 265 secondi

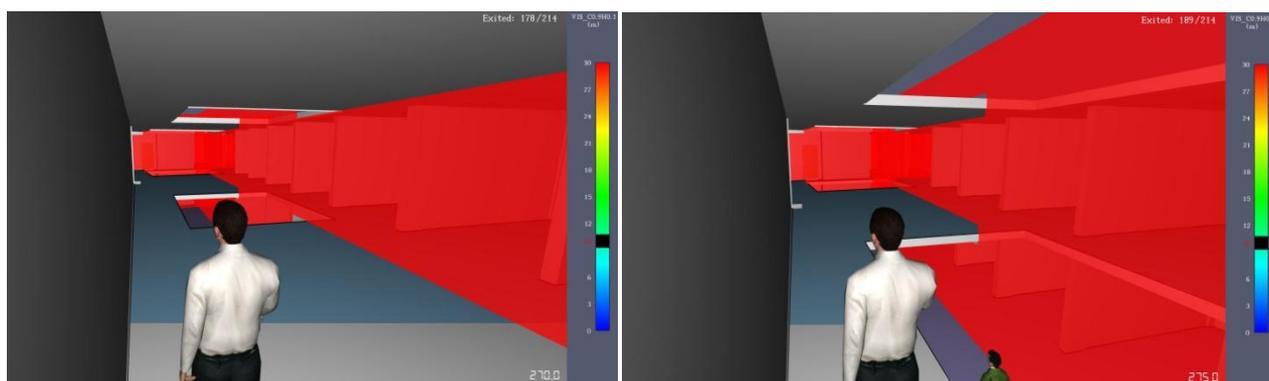


Figura 222. Esodo dell'ultimo occupante. Istanti: 270 e 275 secondi

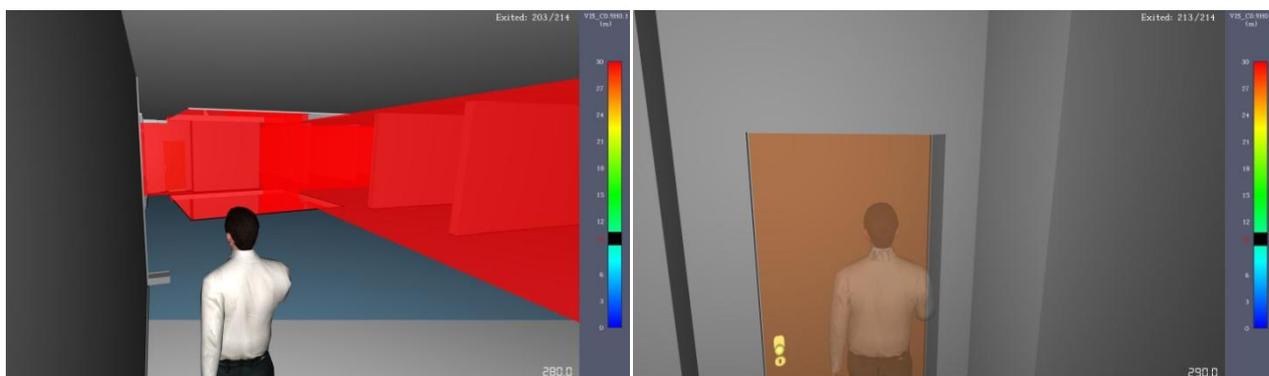


Figura 223. Esodo dell'ultimo occupante. Istanti: 280 e 290 secondi

Quindi il valore di RSET è pari a 290,3 secondi.

Il criterio $ASET > RSET$ viene ampiamente soddisfatto, sviluppando un tempo di margine pari ad almeno 712,7 secondi, che corrisponde a circa il 245% dell'RSET.

6.5.4 SCENARIO 4

Nel quarto scenario si è ipotizzato un incendio in un box auto singolo, in cui le caratteristiche del focolare sono quelle del focolare predefinito riportato nel Codice di Prevenzione Incendi. In questo caso si è sviluppato uno scenario che avesse come obiettivo esclusivamente la salvaguardia della vita degli occupanti. La durata è stata impostata pari a 670 secondi. Alla fine della simulazione entrambe le rampe di scale nei pressi del box in cui è scoppiato l'incendio, risultano impraticabili,

sia al secondo che al primo piano interrato. Si noter  ovviamente una minore espansione dei fumi, data ovviamente dalla durata inferiore rispetto agli altri scenari ma anche dal fatto che il picco massimo raggiunto dalla curva HRR   pari a 5000 kW.

In Figura 224   riportata la curva HRR restituita in output dal software *Pyrosim*.

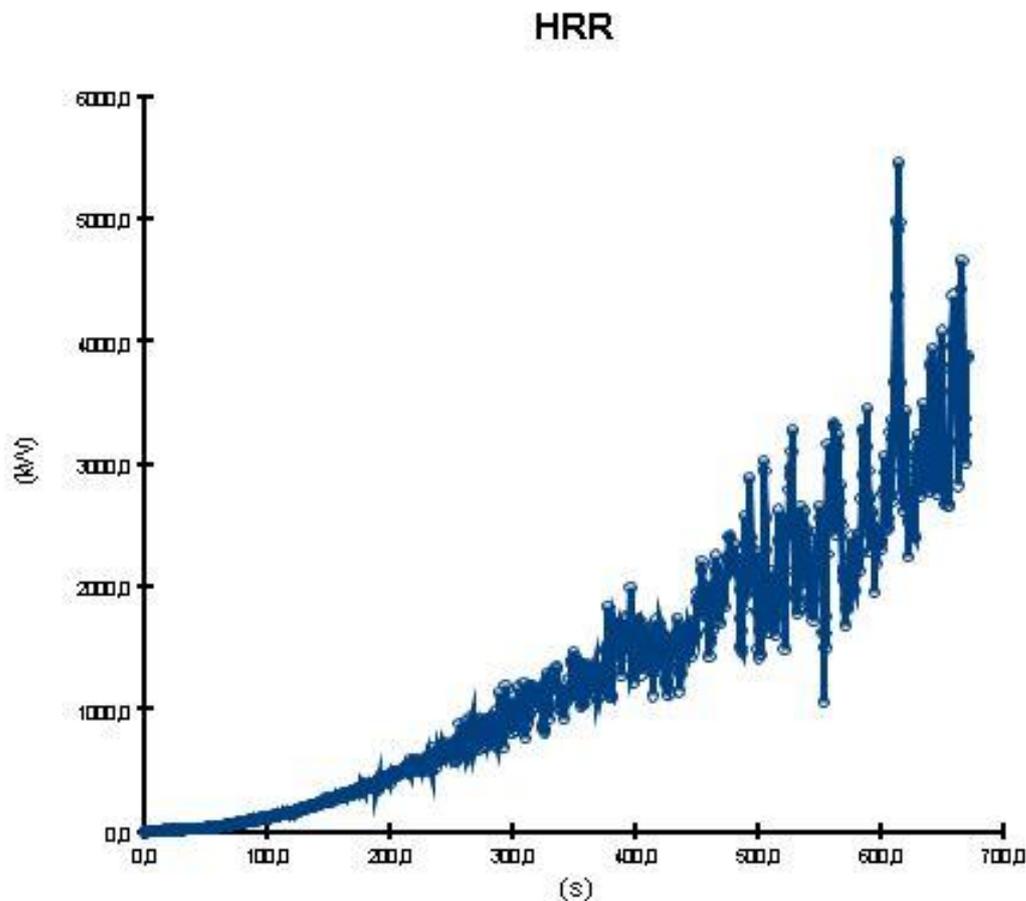


Figura 224. Curva HRR - Scenario 4

SLICE DI VISIBILITA'

In questo caso, essendo l'obiettivo del presente scenario di incendio di progetto la salvaguardia della vita degli occupanti, la soglia di prestazione per l'analisi dei valori di oscuramento della visibilit    pari a 10 metri. Per questo motivo nella *slice* di seguito la zona evidenziata in nero rappresenta quei punti in cui la visibilit  raggiunge i 10 metri.

Dopo 30 secondi il fumo inizia ad invadere il box in cui   contenuto il focolare, e inizia il suo percorso verso la griglia di aerazione pi  vicina al box suddetto.

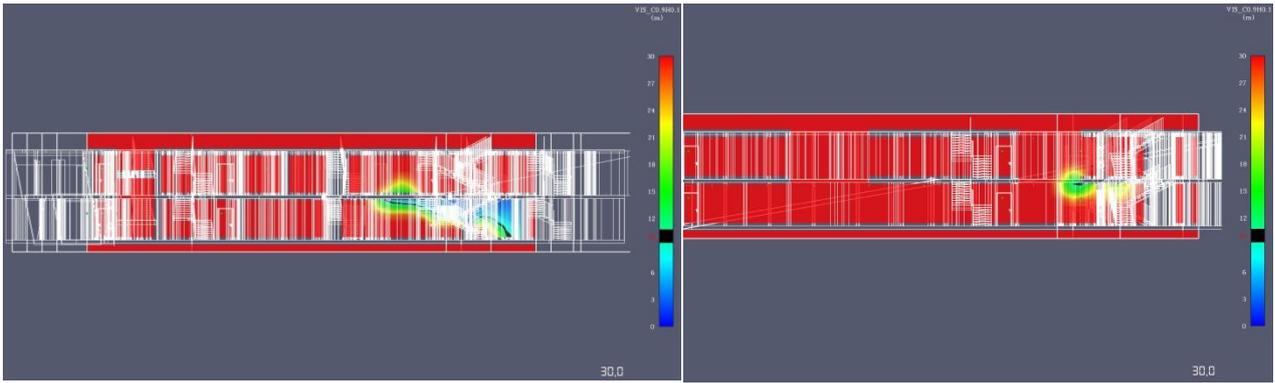


Figura 225. Slice di visibilità in direzione x e y a 30 secondi

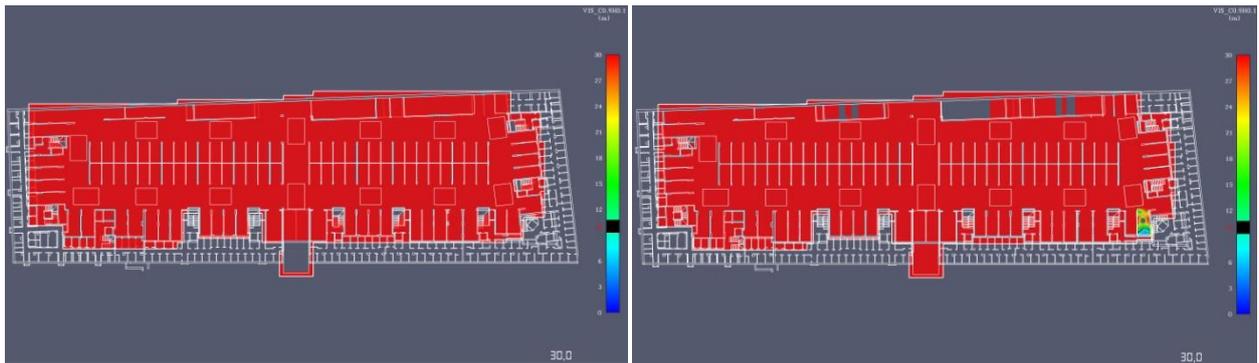


Figura 226. Slice di visibilità al primo e al secondo piano interrato a 30 secondi

Dopo 60 secondi il fumo non solo raggiunge la griglia di aerazione per arrivare al primo piano interrato, ma raggiunge anche quella su spazio a cielo scoperto, iniziando così ad uscire dall'autorimessa. Intanto nel secondo piano interrato anche un altro box auto inizia ad essere invaso dai fumi.

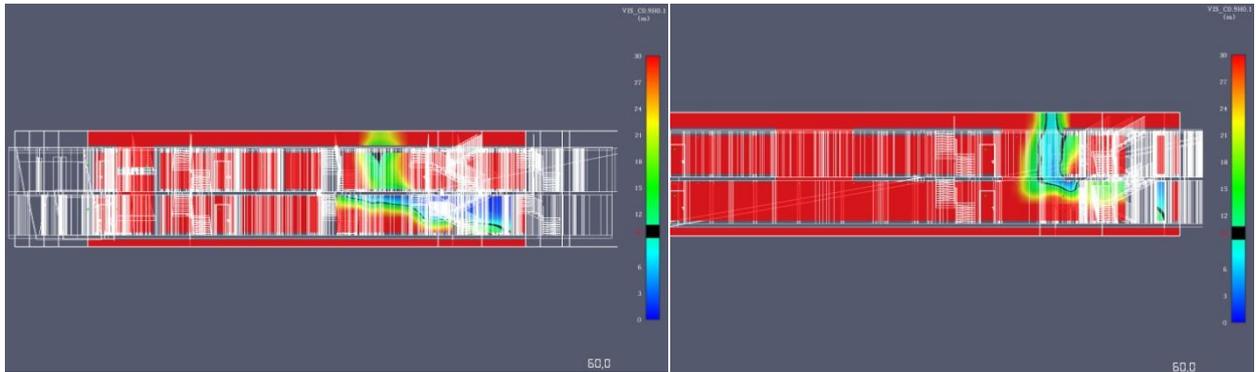


Figura 227. Slice di visibilità in direzione x e y a 60 secondi

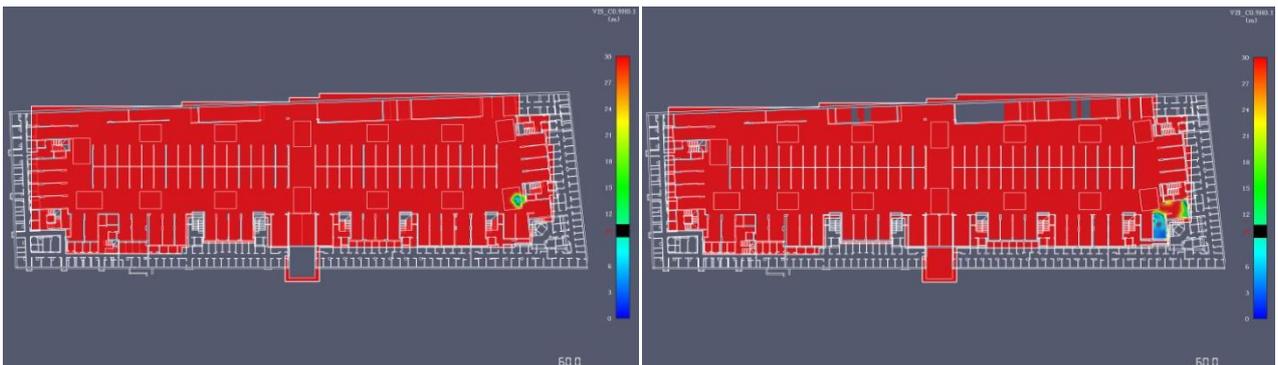


Figura 228. Slice di visibilità al primo e al secondo piano interrato a 60 secondi

Dopo 90 secondi il box auto affianco a quello in cui è presente il focolare è quasi completamente invaso dai fumi. Risulta già impraticabile la prima rampa di scale al primo piano interrato.

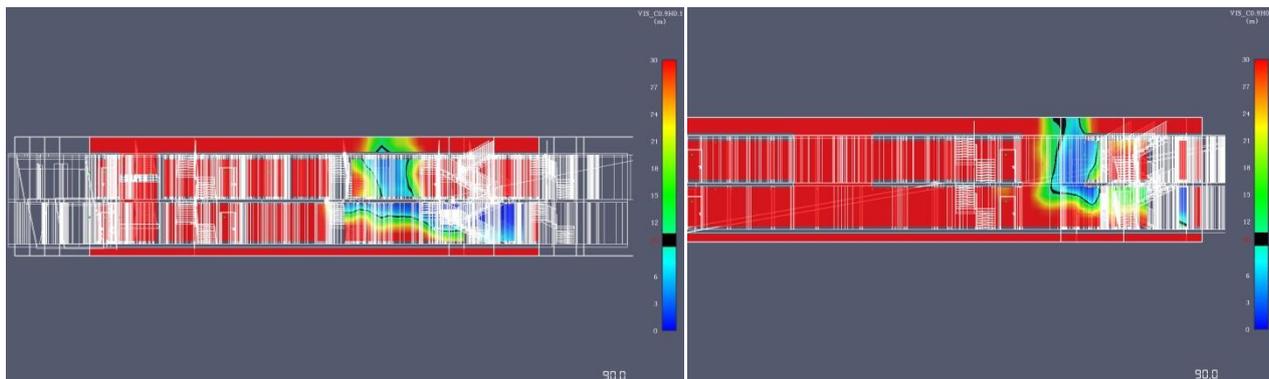


Figura 229. Slice di visibilità in direzione x e y a 90 secondi

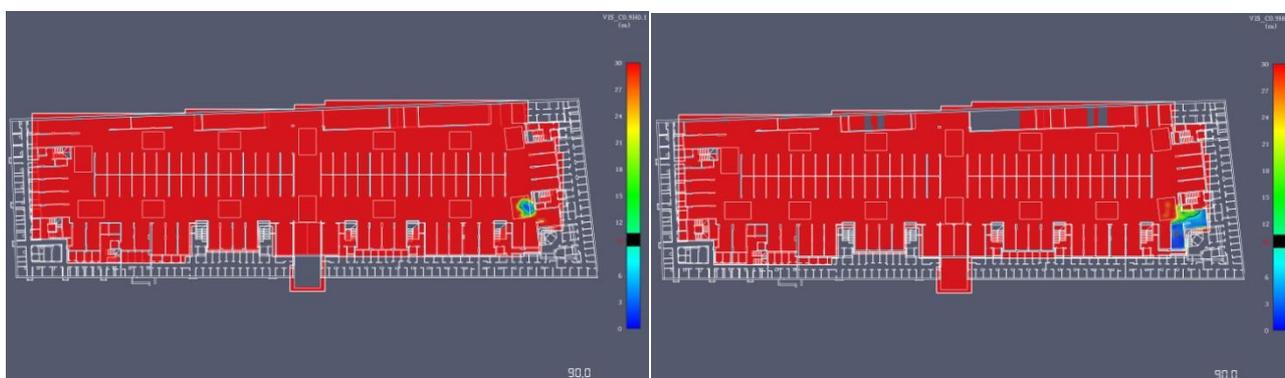


Figura 230. Slice di visibilità al primo e al secondo piano interrato a 90 secondi

Dopo 120 secondi l'altro box auto nei pressi del focolare inizia ad essere invaso dai fumi.

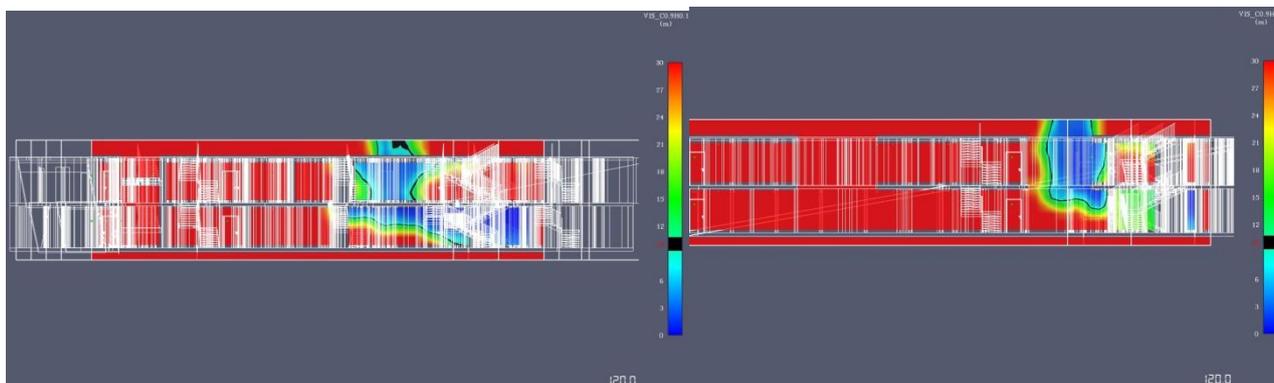


Figura 231. Slice di visibilità in direzione x e y a 120 secondi

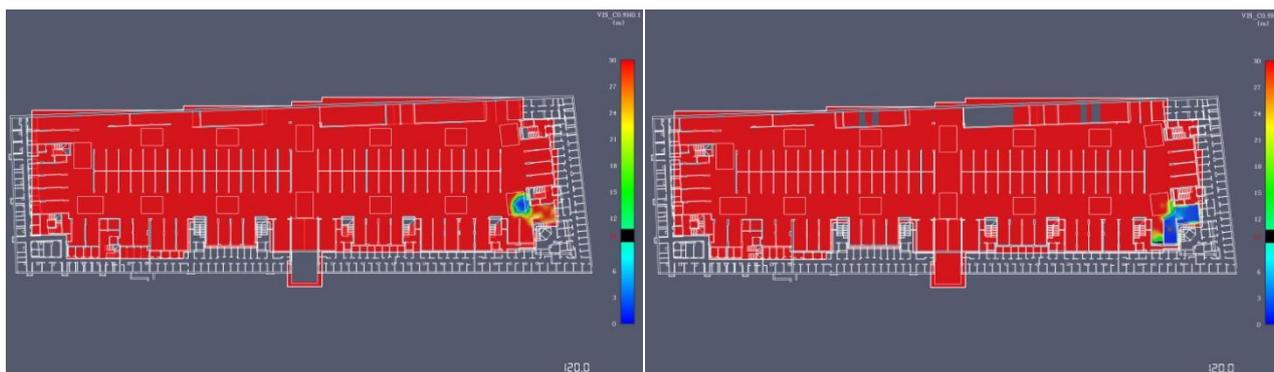


Figura 232. Slice di visibilità al primo e al secondo piano interrato a 120 secondi

Dopo 180 secondi i fumi iniziano ad occupare anche i box auto nel primo piano interrato, rimanendo comunque circoscritti alla zona più prossima alla posizione del focolare. Risulta essere attivo il primo sprinkler, ovvero quello posizionato sopra il focolare, dentro il box auto. Risulta impraticabile la prima rampa di scala di fronte al box auto del focolare, ovvero al secondo piano interrato.

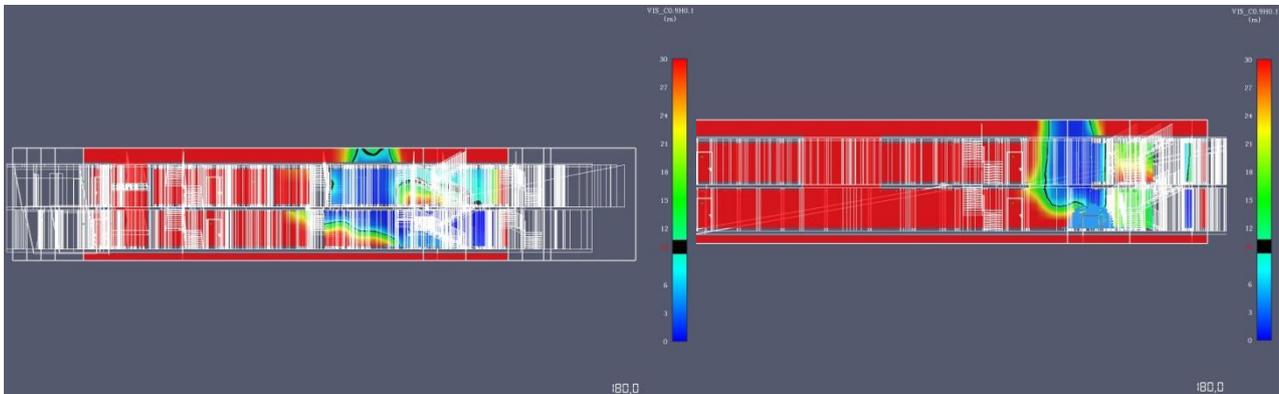


Figura 233. Slice di visibilità in direzione x e y a 180 secondi

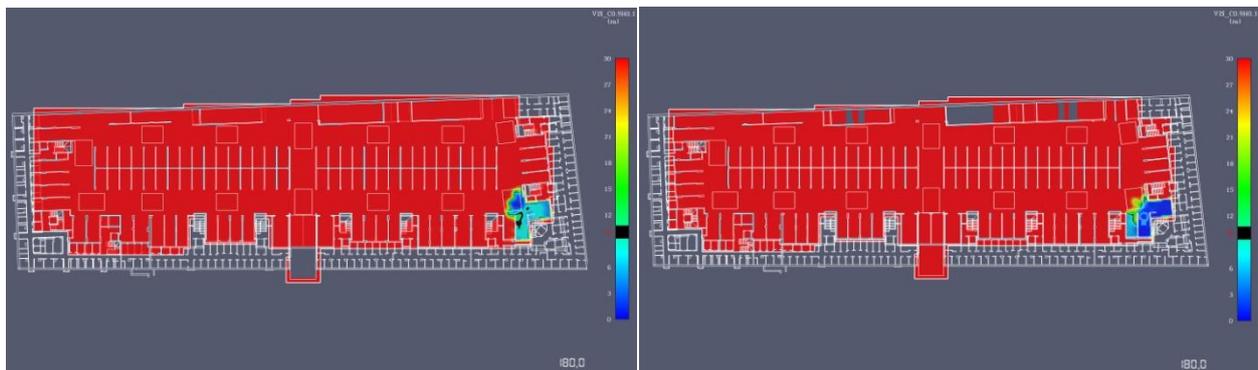


Figura 234. Slice di visibilità al primo e al secondo piano interrato a 180 secondi

Dopo 240 secondi si attiva anche il secondo sprinkler presente nel box auto in cui è partito l'incendio. I fumi continuano a diffondersi senza però comportare situazioni particolarmente rischiose.

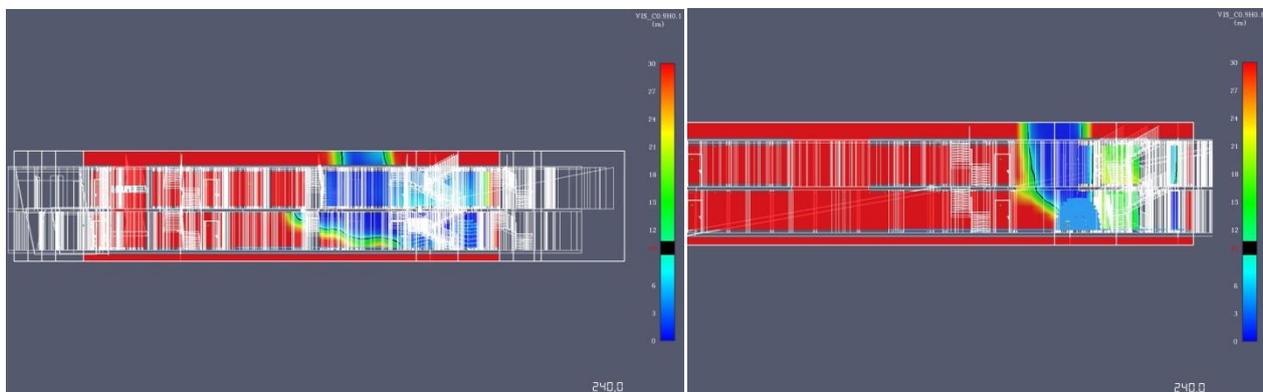


Figura 235. Slice di visibilità in direzione x e y a 240 secondi

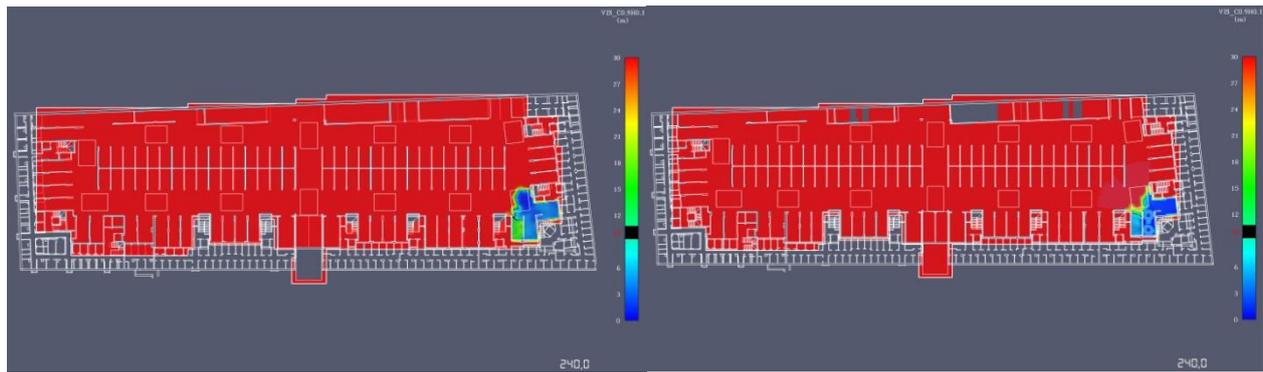


Figura 236. Slice di visibilità al primo e al secondo piano interrato a 240 secondi

Dopo 300 secondi non si osservano particolari variazioni.

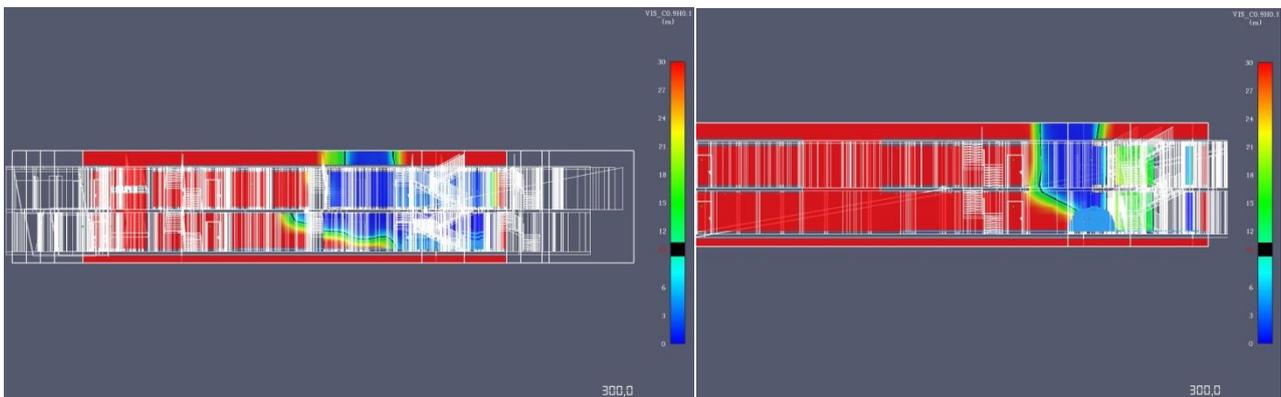


Figura 237. Slice di visibilità in direzione x e y a 300 secondi

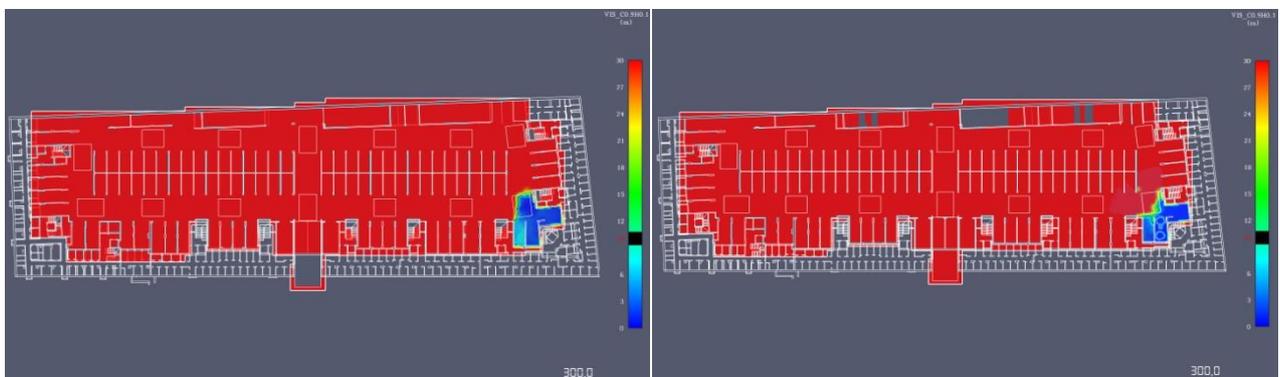


Figura 238. Slice di visibilità al primo e al secondo piano interrato a 300 secondi

Dopo 360 secondi la rampa di scale con accesso di fronte al box auto del focolare continua ad essere impraticabile, mentre quella sulla sinistra potrebbe ancora essere utilizzare per l'esodo, soprattutto dal primo piano interrato.

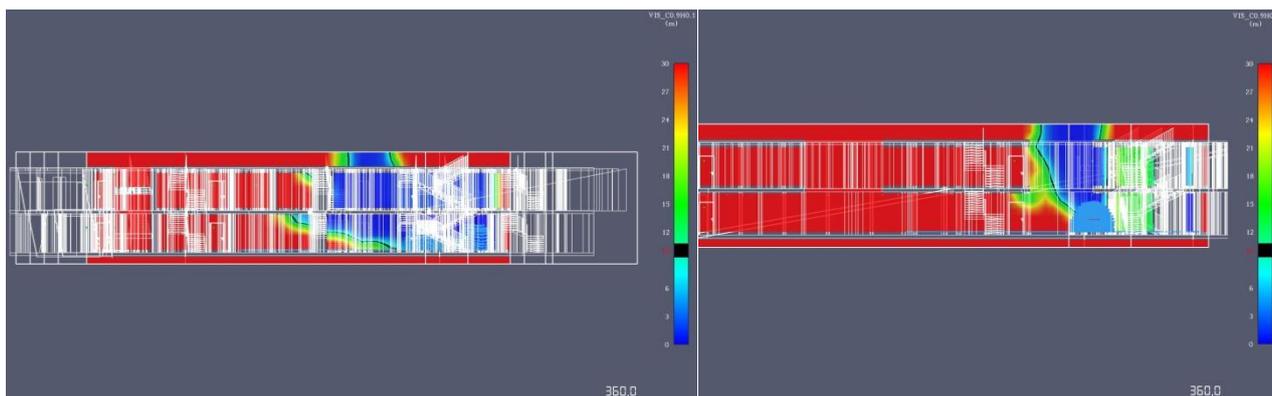


Figura 239. Slice di visibilità in direzione x e y a 360 secondi

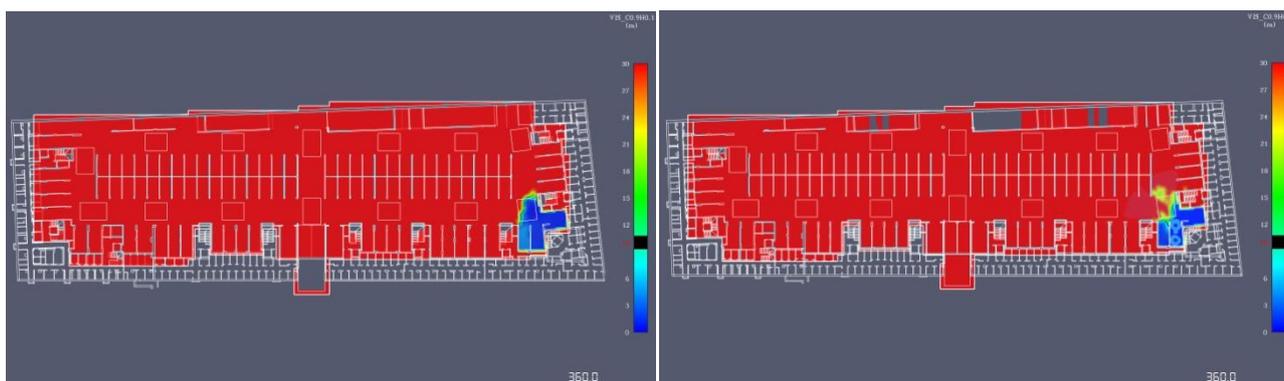


Figura 240. Slice di visibilità al primo e al secondo piano interrato a 360 secondi

Dopo 600 secondi la situazione risulta radicalmente cambiata. Nel secondo piano interrato il fumo risulta essere molto più diffuso rispetto allo step precedente, infatti inizia ad invadere anche i box più distanti dal focolare. Inoltre, sempre al secondo piano interrato, si attiva anche un altro sprinkler, che provocherà ovviamente una maggiore espansione dei fumi freddi, che tenderanno a rimanere più bassi rispetto a quelli caldi.

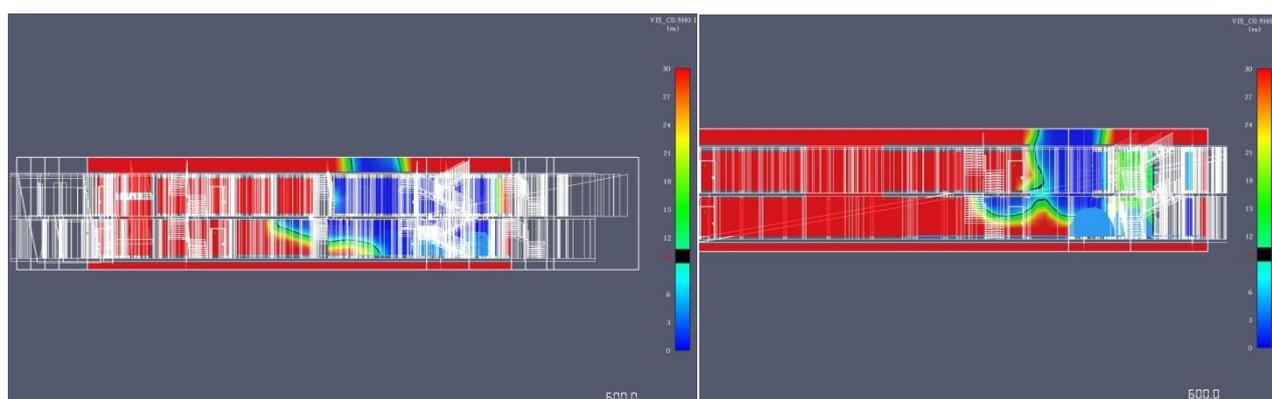


Figura 241. Slice di visibilità in direzione x e y a 600 secondi

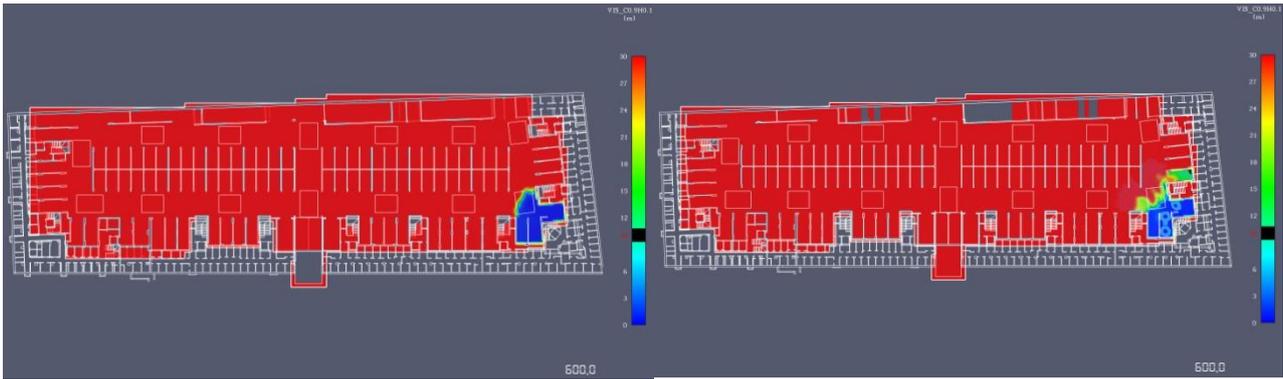


Figura 242. Slice di visibilità al primo e al secondo piano interrato a 600 secondi

Dopo 670 secondi risultano attivi altri due sprinkler al secondo piano interrato, per un totale di cinque testine attive. La rampa di scale sulla sinistra rispetto al focolare risulta ormai impraticabile sia al primo che al secondo piano interrato. Inoltre è facile notare come al secondo piano interrato il fumo si stia propagando con maggiore rapidità, proprio a causa degli sprinkler attivi, arrivando ad occupare anche i box auto in posizione centrale e parte della corsia di manovra. Nonostante questo le zone invase dai fumi risultano notevolmente più piccole rispetto a quelle degli scenari di incendio di progetto precedenti.

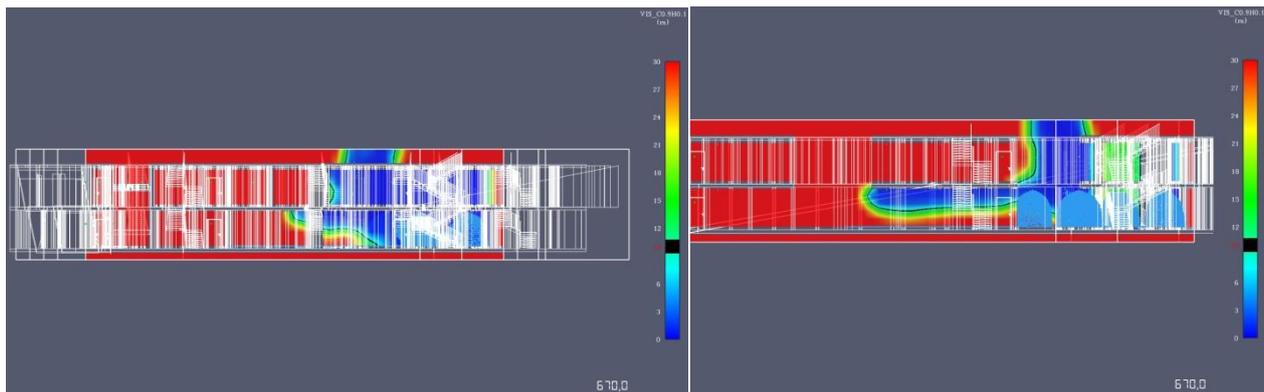


Figura 243. Slice di visibilità in direzione x e y a 670 secondi

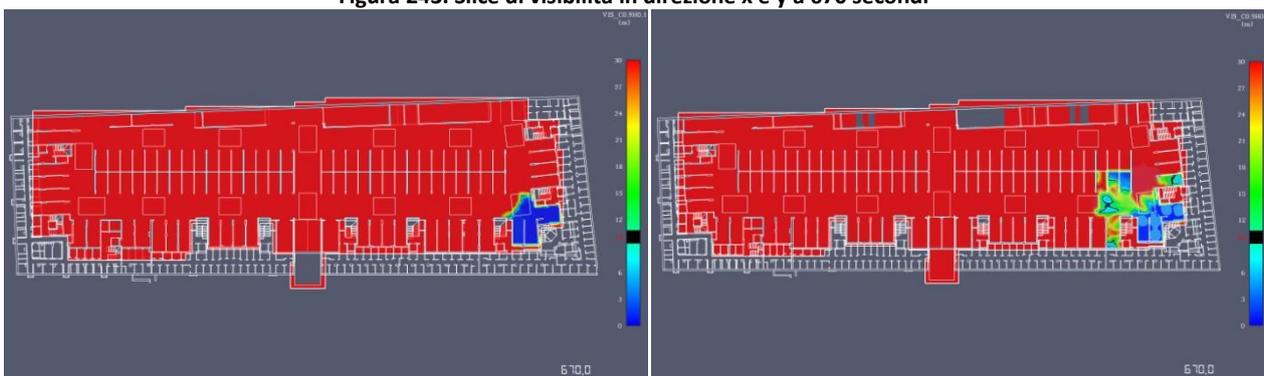


Figura 244. Slice di visibilità al primo e al secondo piano interrato a 670 secondi

ISOSUPERFICI DI OSCURAMENTO DELLA VISIBILITA'

In questo scenario le isosuperfici sono state analizzate allo stesso modo rispetto agli scenari precedenti. Le isosuperfici di visibilità a 10 metri sono state estrapolate fino a 360 secondi, mentre quelle a 5 metri dai 120 fino a 670 secondi.

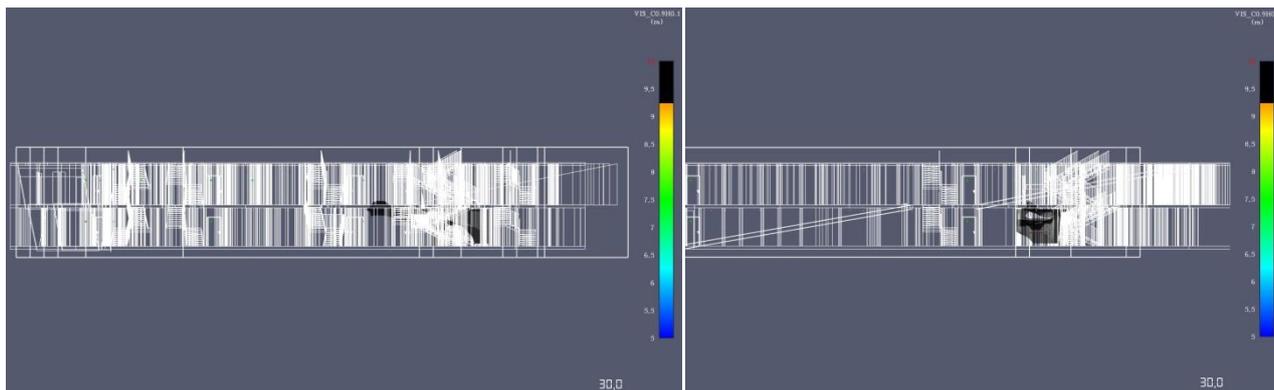


Figura 245. Isosuperfici di visibilità a 10 metri in direzione x e y a 30 secondi

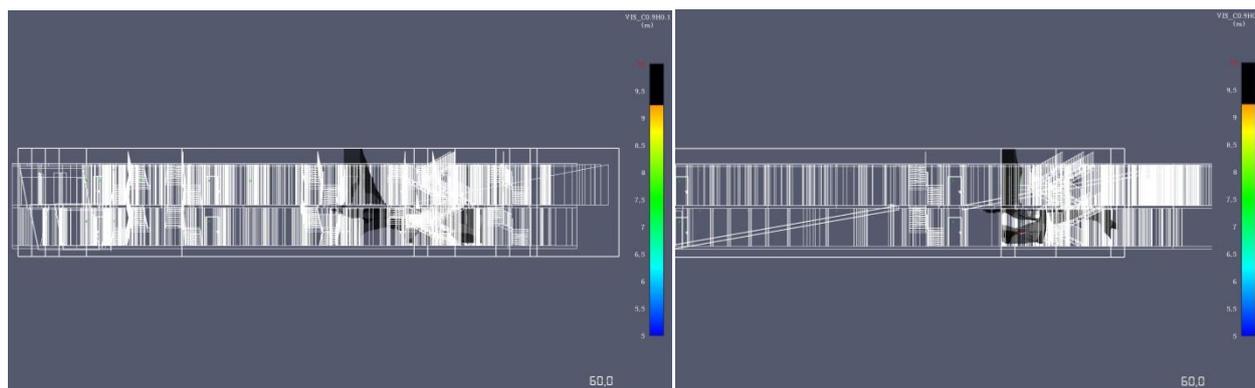


Figura 246. Isosuperfici di visibilità a 10 metri in direzione x e y a 60 secondi

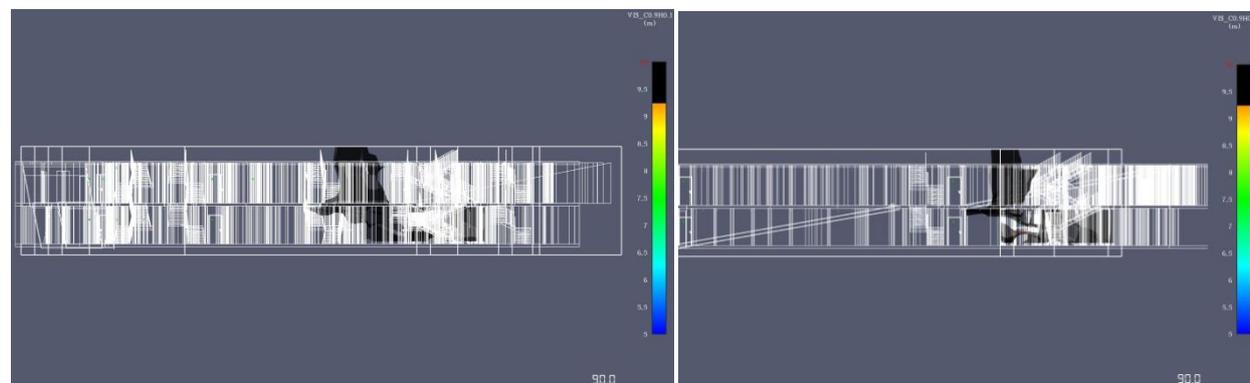


Figura 247. Isosuperfici di visibilità a 10 metri in direzione x e y a 90 secondi

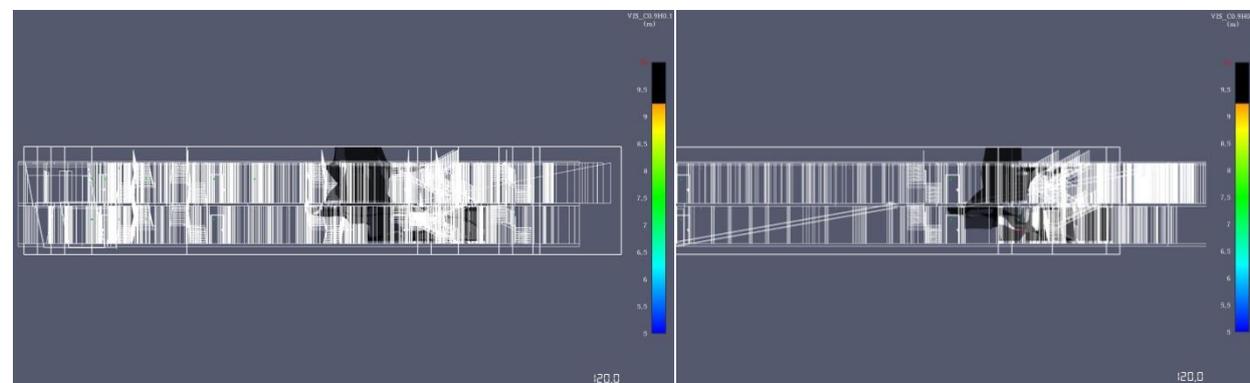


Figura 248. Isosuperfici di visibilità a 10 metri in direzione x e y a 120 secondi

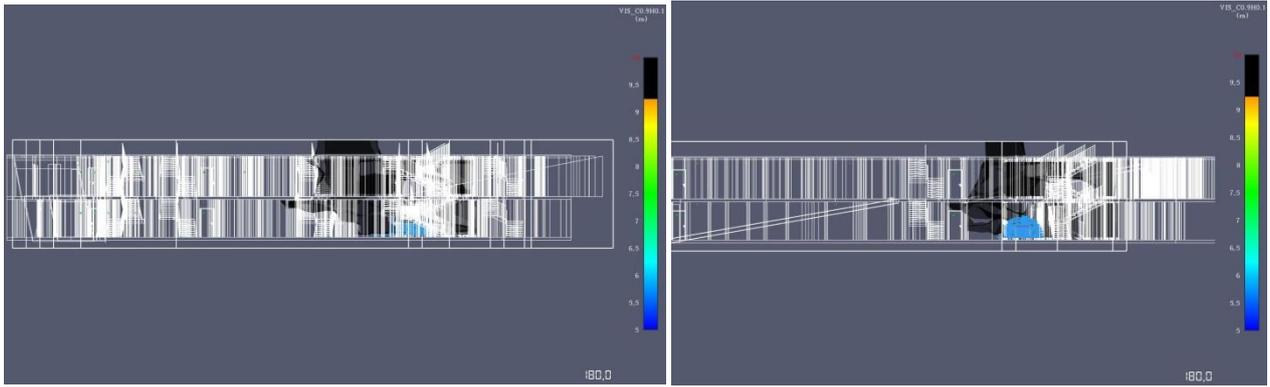


Figura 249. Isosuperfici di visibilità a 10 metri in direzione x e y a 180 secondi

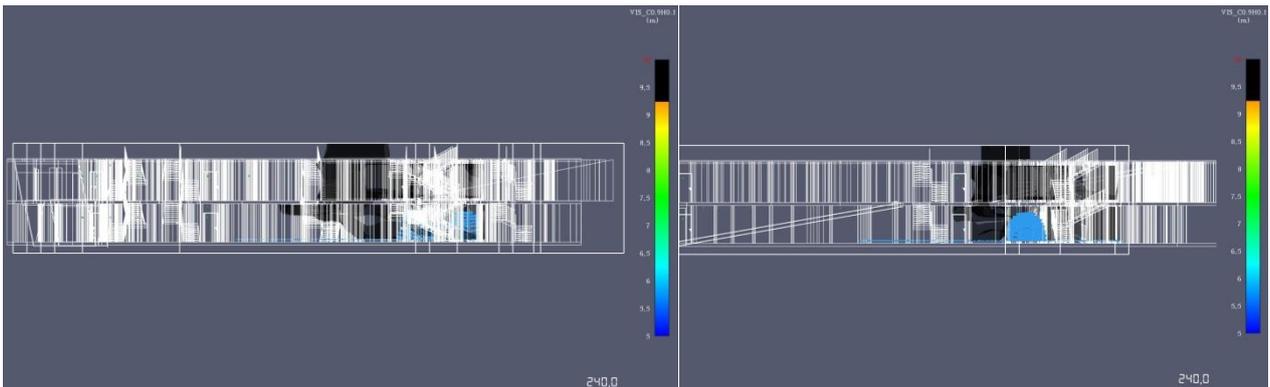


Figura 250. Isosuperfici di visibilità a 10 metri in direzione x e y a 240 secondi



Figura 251. Isosuperfici di visibilità a 10 metri in direzione x e y a 300 secondi

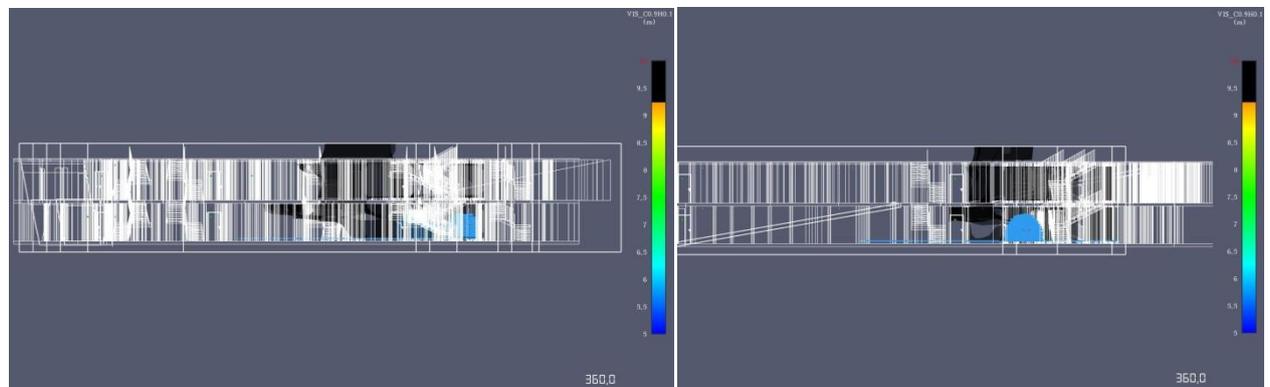


Figura 252. Isosuperfici di visibilità a 10 metri in direzione x e y a 360 secondi

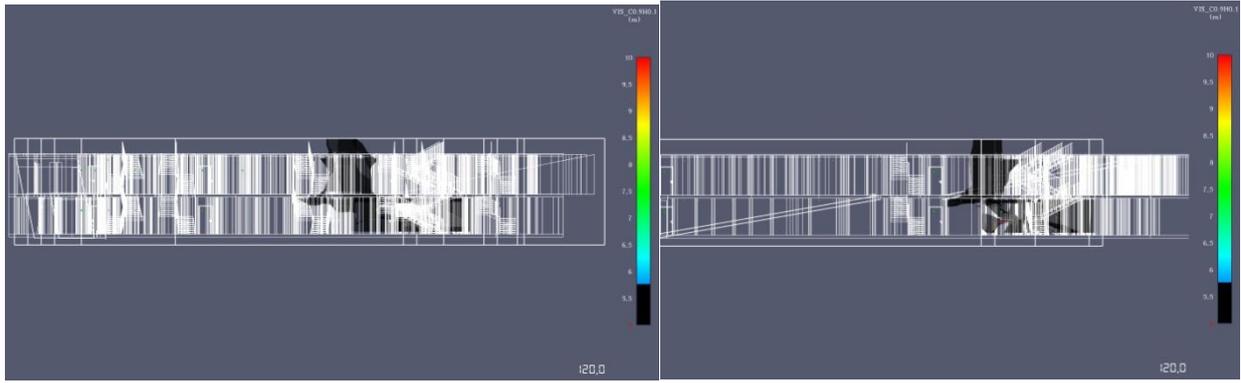


Figura 253. Isosuperfici di visibilità a 5 metri in direzione x e y a 120 secondi

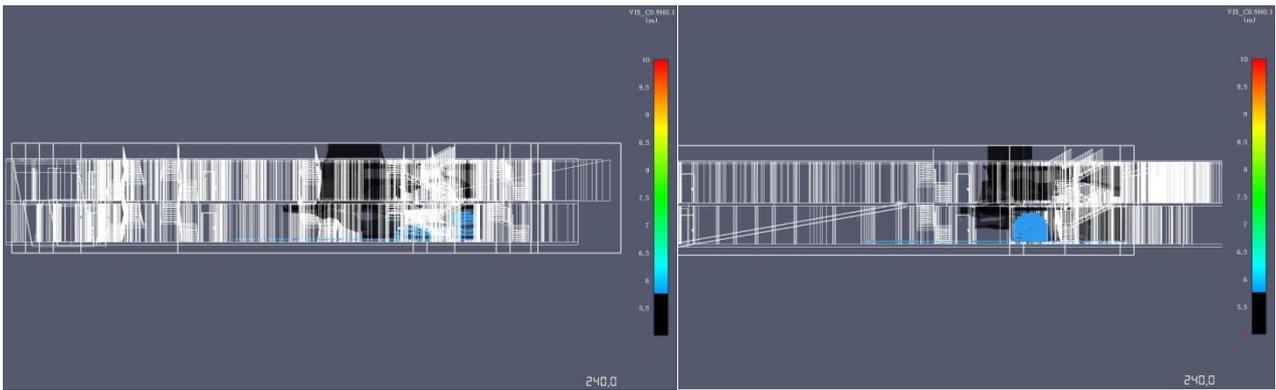


Figura 254. Isosuperfici di visibilità a 5 metri in direzione x e y a 240 secondi

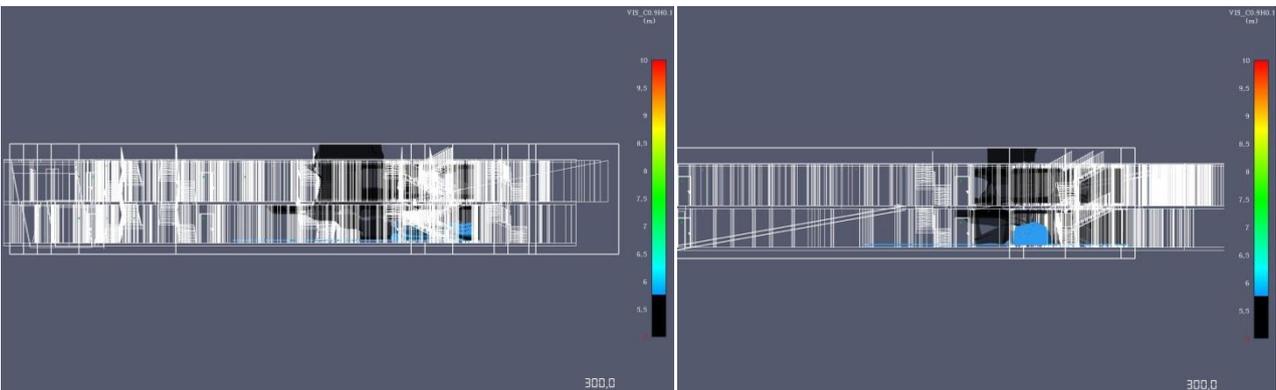


Figura 255. Isosuperfici di visibilità a 5 metri in direzione x e y a 300 secondi



Figura 256. Isosuperfici di visibilità a 5 metri in direzione x e y a 360 secondi



Figura 257. Isosuperfici di visibilità a 5 metri in direzione x e y a 600 secondi

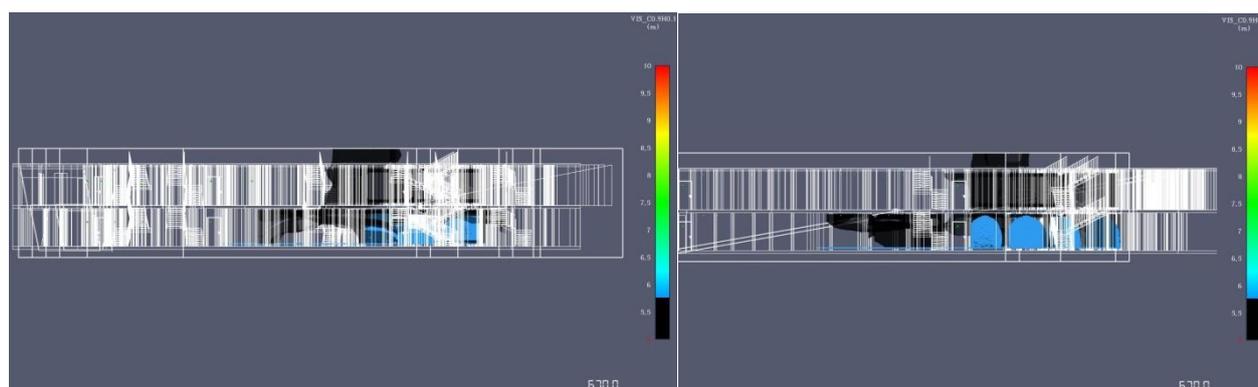


Figura 258. Isosuperfici di visibilità a 5 metri in direzione x e y a 670 secondi

ATTIVAZIONE DELLE TESTINE DEGLI SPRINKLER

Nel quarto scenario sono risultati veritieri i sospetti che potesse essere particolarmente gravoso a causa della rapida velocità di propagazione dell'incendio, infatti a 600 secondi risultano attivi tre sprinkler, che diventano ben cinque a 670 secondi. Anche negli altri scenari si raggiunge l'attivazione di tre testine entro i 600 secondi, ma gli altri scenari sono caratterizzati da curve HRR con valori di potenza maggiori.

In Figura 259 si possono osservare i tempi di attivazione e quali sprinkler si sono attivati. In questo caso parliamo sempre di sprinkler molto vicini al focolare, i primi due sono quelli presenti nel box auto da cui è partito l'incendio, il terzo ed il quinto sono quelli nel box sulla destra rispetto al focolare mentre il quarto e quello presente all'interno del box auto subito adiacente al focolare sulla sinistra. Tutti gli sprinkler attivi sono situati al secondo piano interrato, mentre al primo non si attiva nessuna testina.

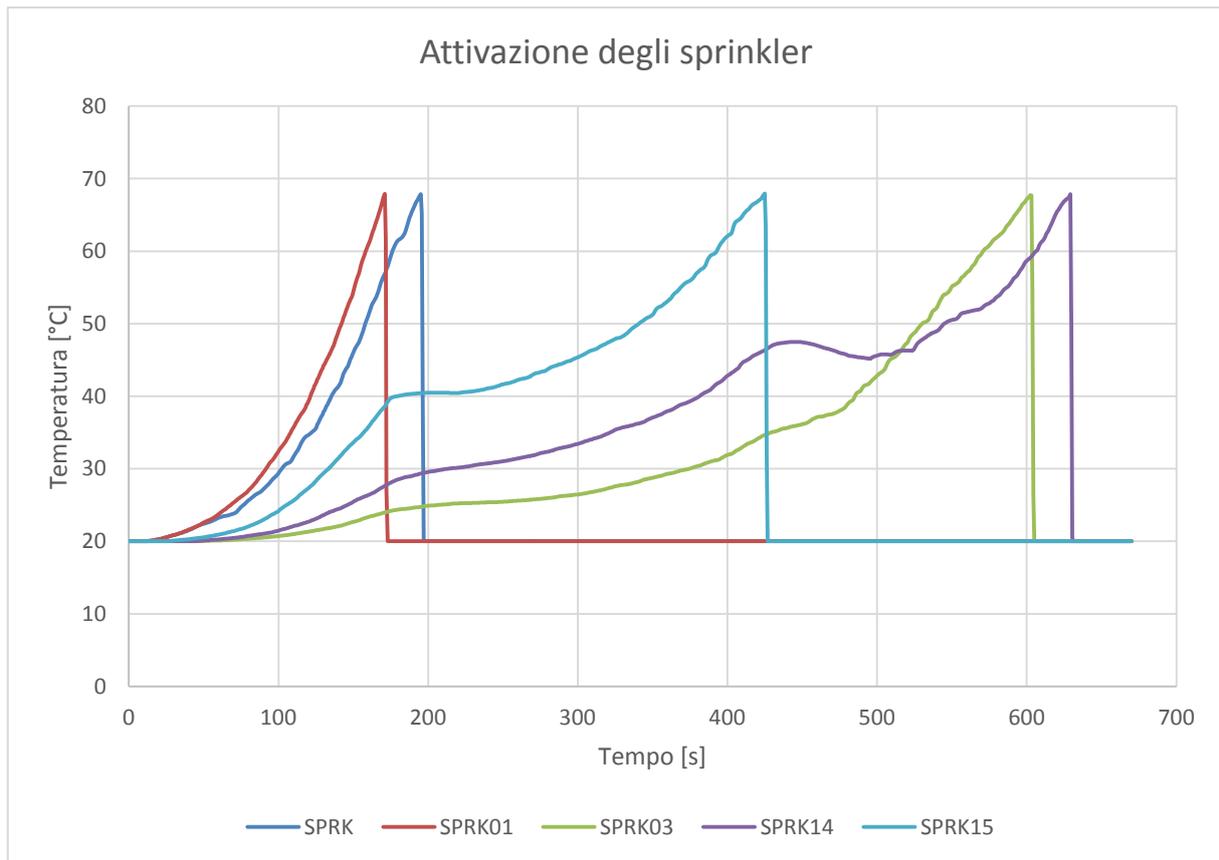


Figura 259. Attivazione sprinkler - Scenario 4

CALCOLO ASET

MODELLO DEL CALORE

In Figura 260 è riportato il diagramma che rappresenta i valori di temperatura misurati a 1,8 metri dal piano di calpestio dai *device*.

Come si evince dal grafico in figura un *device* ha registrato valori notevolmente superiori rispetto alla soglia di prestazione, ovviamente si tratta del device posto in prossimità del focolare e che quindi non sarà considerato nella definizione del valore di ASET. Osservando bene ci sono altri due dispositivi che hanno registrato valori sopra la soglia, anche se di poco. In questo caso si tratta dei *devices* TEMP24 (colorato in arancione) e TEMP09 (colorato in verde), che risultano essere nella stessa posizione in pianta, uno al primo piano interrato (TEMP09) e uno al secondo (TEMP24). Si tratta dei dispositivi posti di fronte alla prima rampa di scala che viene oscurata dai fumi, ovvero la più vicina al focolare. Per questo motivo anche questi valori non possono essere considerati nel calcolo dell'ASET.

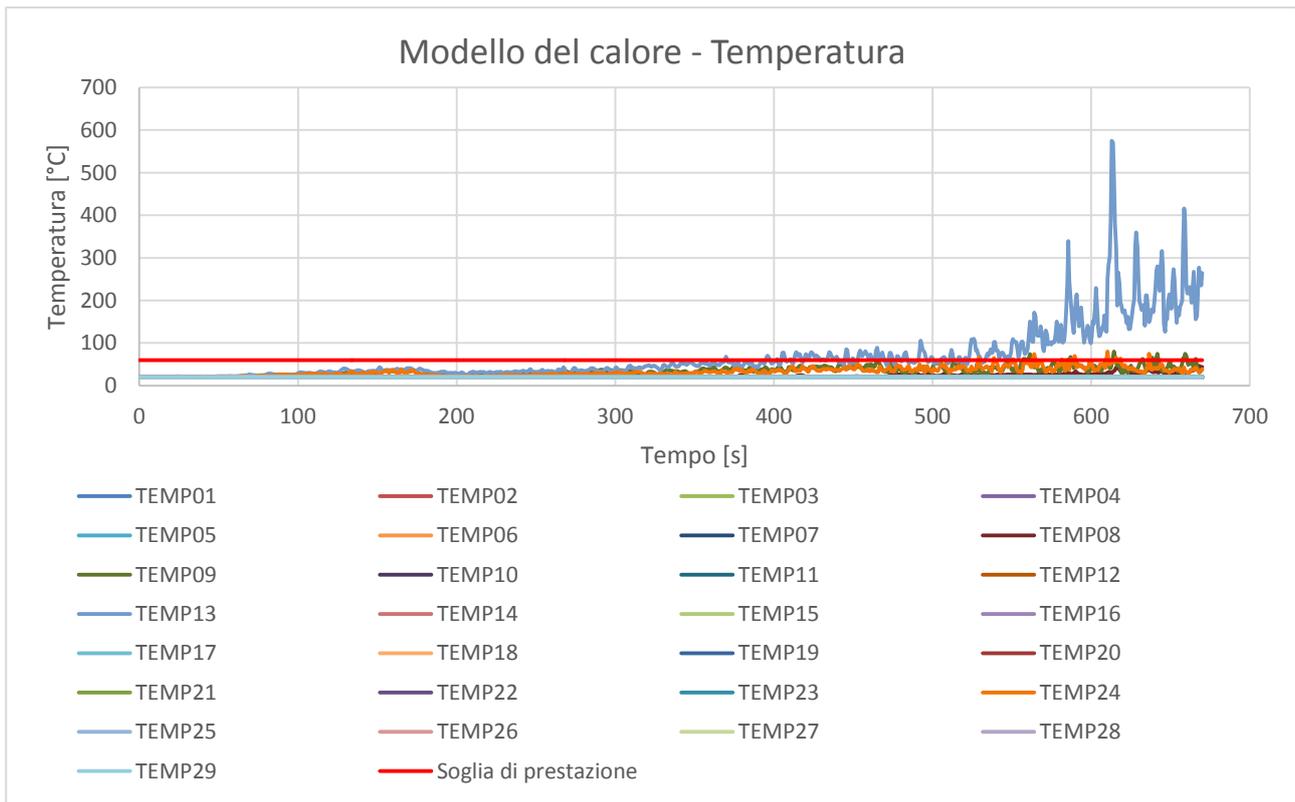


Figura 260. Modello del calore - Temperatura - Scenario 4

Per quanto riguarda l'irraggiamento si osserva la Figura 261, in cui è riportato il grafico con i valori registrati da tutti i dispositivi, e la soglia di prestazione posta pari a 2,5 kW/m².

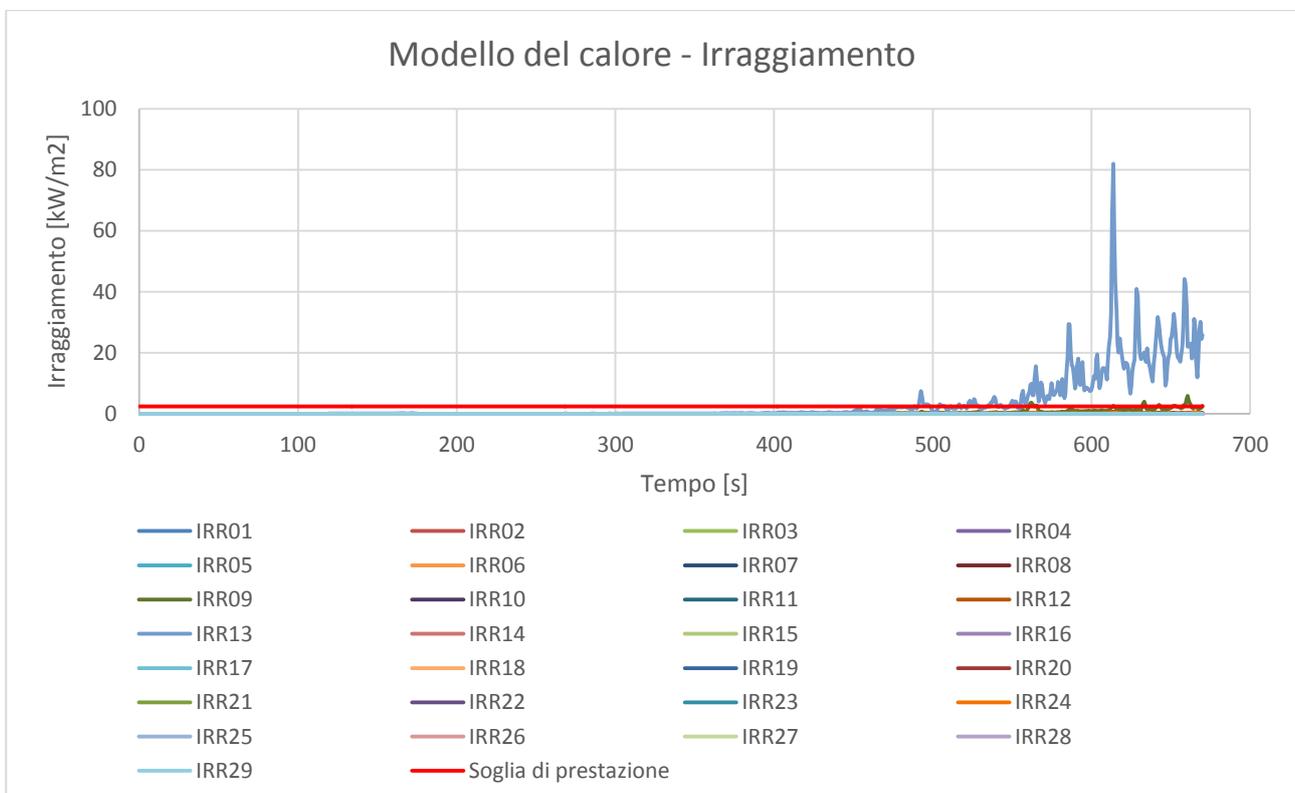


Figura 261. Modello del calore - Irraggiamento - Scenario 4

Anche in questo caso si nota subito il superamento della soglia di prestazione da parte dei valori registrati dal *device* posto sopra il focolare ovvero il IRR13 (colorato in celeste). Superati i 600 secondi però si nota un altro dispositivo che registra lo stesso comportamento. Questo dispositivo sarebbe di nuovo il IRR09, ovvero lo stesso che non è stato considerato nel calcolo dell'ASET nel modello della temperatura.

MODELLO DEI GAS TOSSICI

Per l'analisi del modello dei gas tossici si osserva il grafico rappresentato in Figura 262.

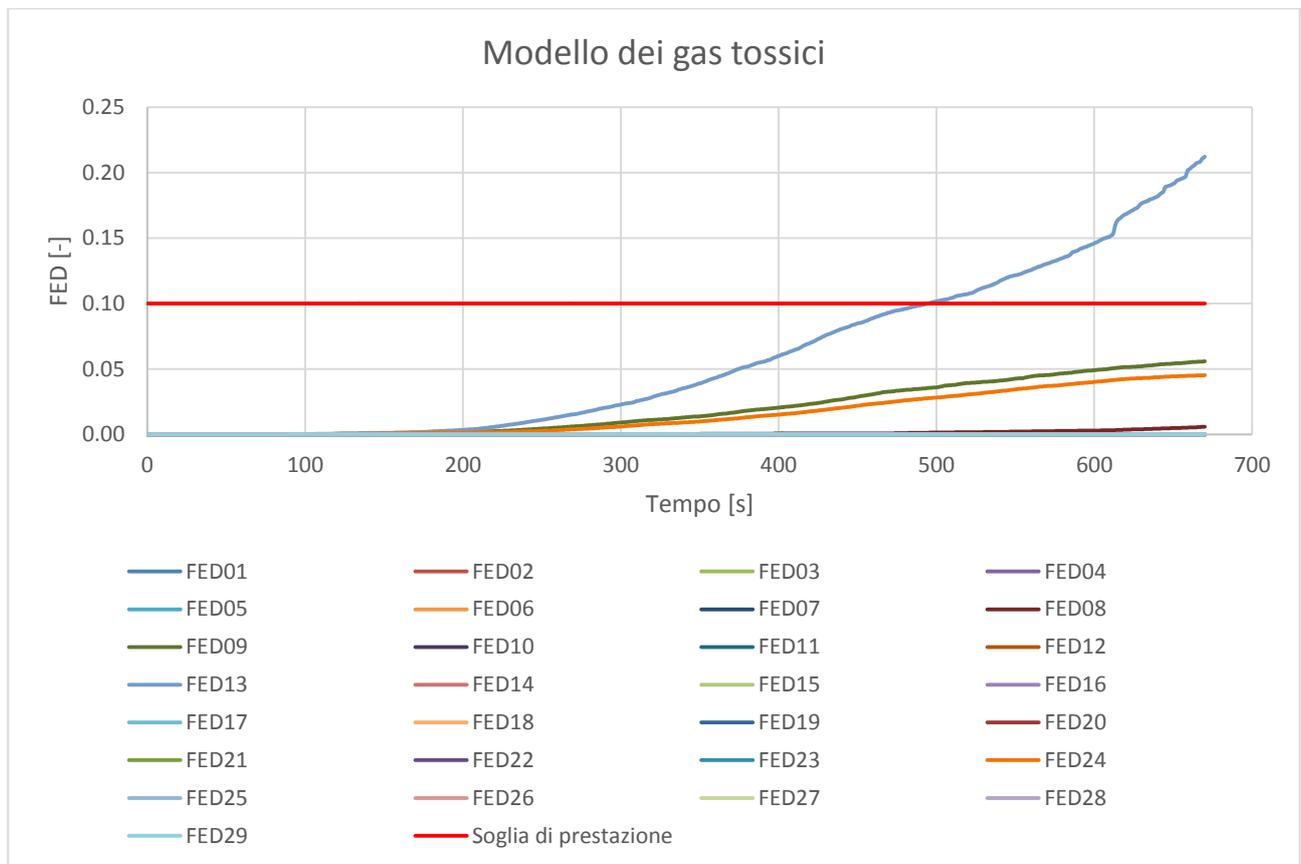


Figura 262. Modello dei gas tossici - Scenario 4

Analizzando la FED solamente il dispositivo posto sopra il focolare registra valori superiori alla soglia di prestazione, e come sempre non verrà considerato nel calcolo dell'ASET.

Anche per quanto riguarda lo scenario 4 si determina il valore dell'ASET attraverso l'analisi del modello di oscuramento della visibilità.

MODELLO DI OSCURAMENTO DELLA VISIBILITA'

In Figura 263 è riportato il grafico per l'analisi del modello di oscuramento della visibilità.

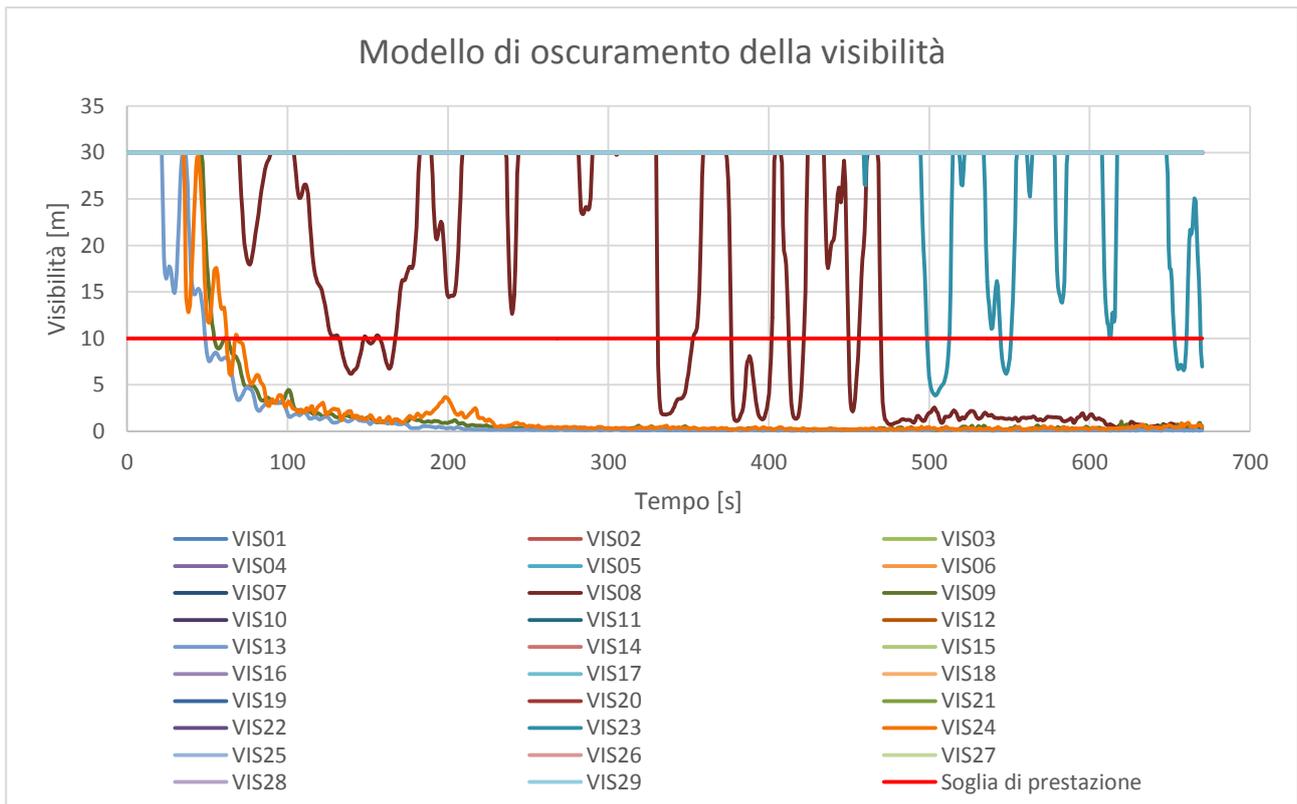


Figura 263. Modello di oscuramento della visibilità - Scenario 4

In questo modello, oltre al *device* posto sopra il focolare che ovviamente scende sotto la soglia per primo, ci sono altri quattro dispositivi che registrano comportamenti analoghi. Il secondo *device* che registra valori inferiori alla soglia di prestazione è il VIS09 (colorato in verde), *device* che in precedenza è già stata scartato dall'analisi. Il terzo *device* è il VIS24 (colorato in arancione) che non viene considerato per lo stesso motivo. Il quarto *device*, che assume inizialmente un comportamento particolarmente altalenante, è il VIS08 (colorato in marrone). Questo *device* è posto davanti all'ingresso della rampa di scale subito sulla sinistra rispetto al focolare nel secondo piano interrato, ovvero la seconda che viene oscurata durante la simulazione. Anche in questo caso il *device* è troppo vicino al focolare per poter essere considerato nel calcolo dell'ASET. L'ultimo dispositivo che registra valori sotto la soglia, oltre che fortemente altalenanti, è il *device* VIS23 (colorato il azzurro) che si trova in corrispondenza del VIS08, ma nel primo piano interrato. Per lo stesso motivo non viene considerato nel calcolo dell'ASET.

In conclusione, analizzando 670 secondi, non si ricava nessun valore dell'ASET, considerando le soglie di prestazione per la salvaguardia della vista degli occupanti. Probabilmente analizzando simulazioni caratterizzate da durate maggiori si potrebbe ricavare tale valore. Per questo motivo in questo caso si è considerato un valore dell'ASET pari alla durata della simulazione stessa, ovvero 670 secondi. Tale valore viene assunto esclusivamente per verificare il criterio $ASET > RSET$, e non perché sperimentalmente determinato.

CALCOLO RSET

In Figura 264 è riportato il grafico che illustra le tempistiche di esodo degli occupanti.



Figura 264. Esodo degli occupanti - Scenario 4

Come si evince dal grafico, anche in questo caso gli occupanti riescono a completare l'esodo in circa 300 secondi. In questo caso si hanno molte meno persone nei pressi del focolare, infatti circa il 75% di questi esce dall'autorimessa dopo i 200 secondi dall'inizio dell'incendio.

Di seguito sono riportate le immagini che mostrano l'esodo in totale sicurezza dell'ultimo occupante che riesce ad entrare nel filtro a prova di fumo.

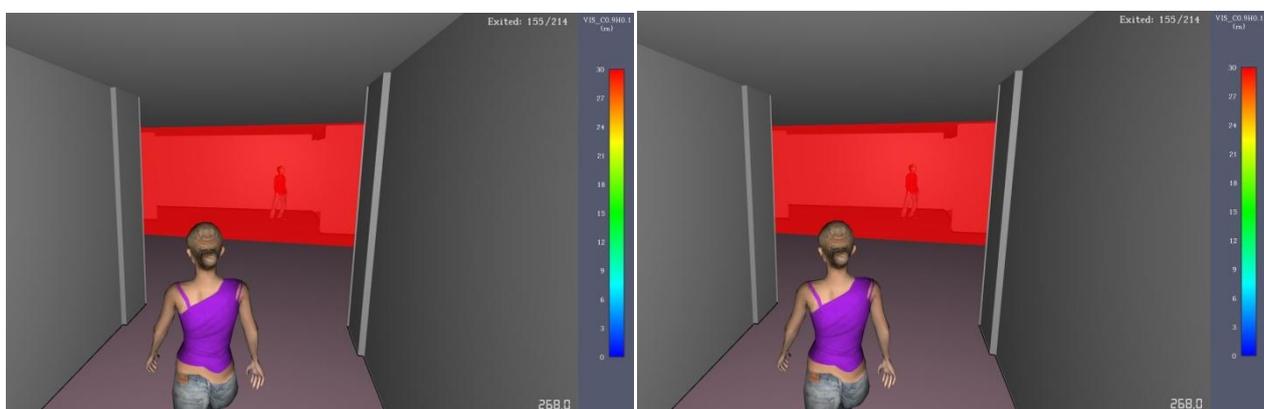


Figura 265. Esodo dell'ultimo occupante. Istanti: 268 e 270 secondi

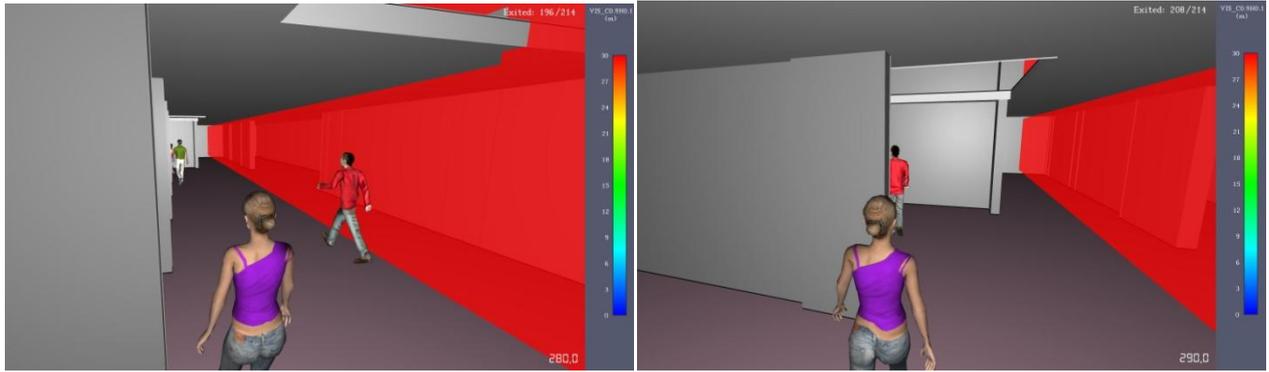


Figura 266. Esodo dell'ultimo occupante. Istanti: 280 e 290 secondi

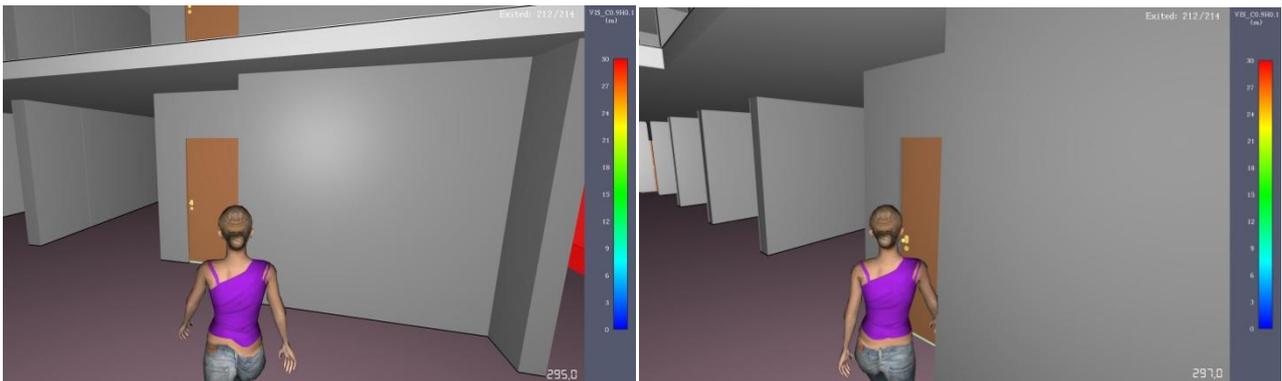


Figura 267. Esodo dell'ultimo occupante. Istanti: 295 e 297 secondi

Quindi il valore di RSET è pari a 298,5 secondi.

Il criterio $ASET > RSET$ viene ampiamente soddisfatto, sviluppando un tempo di margine pari ad almeno 371,5 secondi, che corrisponde a circa il 124% dell'RSET.

6.6 SOVRAPPOSIZIONE DEI RISULTATI

VALORI ASET E RSET								
SCENARIO	DEVICE	QUANTITA'	ASET [s]	VALORE	RSET [s]	t_marg [s]		VERIFICA
1	VIS19	VISIBILITA'	1370	4.31 m	310.5	1059.5	341% RSET	SODDISFATTA
2	VIS16	VISIBILITA'	1190	3.79 m	306	884	288% RSET	SODDISFATTA
3	VIS16	VISIBILITA'	1003	2.72 m	290.3	712.7	245% RSET	SODDISFATTA
4	[-]	[-]	670	[-]	298.5	371.5	124% RSET	SODDISFATTA

Tabella 65. Sovrapposizione dei risultati

In Tabella 65 è riportata la sovrapposizione dei risultati dei quattro scenari.

La verifica $ASET > RSET$ è stata fatta direttamente in riferimento alle soglie di prestazione riferite alla salvaguardia della vita dei soccorritori, in quanto i *device* considerati per la definizione dei valori di ASET superano nello stesso intervallo di tempo le due soglie di prestazione.

In tutti gli scenari la verifica risulta essere soddisfatta pienamente. Lo scenario che presenta il tempo di margine inferiore è il quarto, pur essendo lo scenario in cui non si raggiungono i valori di soglia nei quattro modelli di calcolo. La ragione di ciò si può ricercare nella ridotta durata della simulazione, che risulta essere di poco superiore al doppio del tempo che gli occupanti impiegano per effettuare l'esodo.

Nei primi tre scenari si ottiene un tempo di margine particolarmente alto, superiore al 100% dell'RSET. Questo è un ottimo risultato, ed è dovuto all'elevata estensione in pianta dell'autorimessa e alle notevoli dimensioni delle griglie di aerazione che non permettono al fumo di espandersi eccessivamente.

Concentrandosi sull'obiettivo della presente progettazione prestazionale, ovvero la garanzia di un'accessibilità protetta per le squadre di soccorso, lo scenario più gravoso è sicuramente il secondo, nel quale vengo oscurate tre rampe di scale prima dell'arrivo stimato dei Vigili del Fuoco.

In termini di sicurezza durante l'esodo, pur ipotizzando un numero molto elevato di occupanti, come prevede il Codice di Prevenzione Incendi, in tutti gli scenari si ottiene un RSET pari circa a 300 secondi, il che rende molto vicino alla realtà tale valore. Il fatto che questo valore di RSET sia estremamente basso rispetto ai valori di ASET in tutti gli scenari permette di considerare una maggiore sicurezza della progettazione, in quanto, nel caso in cui dovesse risultare un tempo di margine inferiore nella realtà, questo risulterebbe comunque molto elevato e garantirebbe la salvaguardia della vita umana, sia degli occupanti che dei soccorritori.

6.7 REQUISITI AGGIUNTIVI PER LA GESTIONE DELLA SICUREZZA ANTINCENDIO

Quando si applica il metodo prestazionale per la verifica del raggiungimento degli obiettivi della progettazione, devono essere previste specifiche misure di gestione della sicurezza antincendio, affinché non si verifichi la riduzione del livello di sicurezza assicurato inizialmente.

Queste misure specifiche di gestione della sicurezza antincendio devono essere riferite agli aspetti trattati nella progettazione prestazionale, facendo particolare attenzione alle soluzioni progettuali e alle misure antincendio di prevenzione e protezione adottate, al mantenimento delle condizioni di esercizio da cui discendono i valori dei parametri di ingresso nella progettazione.

Nell'ambito del programma per l'attuazione della gestione della sicurezza antincendio devono essere valutati ed esplicitati i provvedimenti presi relativamente ai seguenti punti:

- a. organizzazione del personale;
- b. identificazione e valutazione dei pericoli derivanti dall'attività;
- c. controllo operativo;
- d. gestione delle modifiche;
- e. pianificazione di emergenza;
- f. sicurezza delle squadre di soccorso;
- g. controllo delle prestazioni;
- h. manutenzione dei sistemi di protezione;
- i. controllo e revisione.

Con l'applicazione di questi requisiti aggiuntivi per la gestione della sicurezza antincendio, il Codice prevede un maggiore livello di sicurezza nel lavoro svolto dal progettista. La progettazione prestazionale permette una maggiore libertà nello sviluppo del progetto, e soprattutto nei dati di input inseriti nei vari modelli, e questo può portare spesso ad abbassare il grado di sicurezza del progetto stesso.

Per questo motivo i dati di input inseriti nei modelli devono sempre essere *"a favore di sicurezza"*, per esempio i focolari utilizzati devono essere quelli più gravosi che può offrire la letteratura di settore, i materiali considerati che potrebbero reagire all'incendio devono essere quelli che comportano un rischio peggiore in termini di propagazione delle fiamme e dei fumi, ecc.

A riguardo si potrebbe citare una frase che tutti i professionisti che utilizzano dei modelli di simulazione nei diversi settori conoscono. Tale citazione si riferisce al famoso statistico britannico George Edward Pelham Box:

"Tutti i modelli sono sbagliati, ma alcuni sono utili."

7. CONCLUSIONI

La presenza degli sprinkler risulta essere di fondamentale importanza in questa progettazione prestazionale. Le prescrizioni del Codice di Prevenzione Incendi nella capitolo S.8 impongono la presenza di un impianto di spegnimento di tipo sprinkler, esteso almeno ad alcuni ambiti dell'attività. L'unico modo per evitare la posa di tale impianto è quello di dimostrare, tramite soluzione alternativa, il raggiungimento degli obiettivi previsti per lo specifico livello di prestazione con altre tipologie impiantistiche, che molto spesso risultano anche più costose.

L'obiettivo di un impianto sprinkler è quello di spegnere le fiamme ed abbassare notevolmente la temperatura dell'aria. Nonostante questo vi è anche un aspetto negativo che non può essere trascurato, soprattutto quando, come in questo caso, la soluzione alternativa da dimostrare è relativa proprio al capitolo *"Controllo di fumo e calore"*. Gli sprinkler erogano acqua in forma di microscopiche goccioline che al contatto con le fiamme, o ancor prima in caso di incendi caratterizzati da potenze termiche molto elevate, evaporano. Questo fenomeno porta quindi ad una condizione in cui i fumi, invece di diminuire, aumentano notevolmente, ma questo non è tutto. Il fumo che si crea a seguito dell'evaporazione è molto più freddo rispetto a quello prodotto dalla combustione di materiale solido o liquido infiammabile, e quindi tenderà a rimanere in una porzione più bassa dell'attività, causando ulteriori problemi per l'esodo degli occupanti, in quanto non permette di sfruttare la maggiore visibilità fornita proprio in queste porzioni durante gli incendi.

In fase preliminare sono state svolte alcune simulazioni senza impianto sprinkler ed effettivamente l'espansione dei fumi risulta essere in questi casi fortemente ridotta. Anche per questo motivo sono stati considerati nel presente elaborato esclusivamente gli scenari con impianto sprinkler.

Nonostante non fosse l'obiettivo della presente progettazione, la simulazione dell'esodo è stata curata con dettaglio, con una specifica e studiata caratterizzazione degli occupanti, in quanto la si ritiene sempre da garantire la salvaguardia della vita degli occupanti. In questa progettazione si è dimostrato più volte il fatto che l'autorimessa risulta avere un'estensione in pianta molto elevata con undici rampe di scale e quindi risulta quasi impossibile che tutte risultino impraticabili. Sicuramente il comportamento umano non è prevedibile e spesso non è ragionato, ma in termini progettuali l'attività risulta essere attrezzata per garantire un esodo in totale sicurezza.

Come già detto nel capitolo 6.6 *"Sovrapposizione dei risultati"* lo scenario più gravoso per il raggiungimento degli obiettivi di questa progettazione è il secondo, ma nonostante il numero elevato di accessi resi impraticabili, risultano comunque maggiori in numero le rampe di scale ancora disponibili per l'accesso delle squadre di soccorso.

Inizialmente il raggiungimento dell'obiettivo si ipotizzava molto arduo da ottenere, soprattutto a causa della presenza degli sprinkler, che peggiorano il rischio in termini di visibilità. Inoltre molto spesso accade che una disposizione delle griglie di aerazione come quella presente nell'autorimessa oggetto di studio non porti a risultati ottimali di smaltimento dei fumi.

Senza dubbio l'elevata estensione in pianta dell'autorimessa e la notevole grandezza delle griglie di aerazione hanno permesso il raggiungimento degli obiettivi prefissati.

Inoltre tutta la progettazione si è svolta *a favore di sicurezza* in quanto non sono stati considerati alcuni aspetti che avrebbe reso ancora più sicuro il raggiungimento degli obiettivi. Infatti non sono mai state considerate le rampe carrabili, né come vie di esodo né come aperture di smaltimento di fumi e calore. Le rampe carrabili che collegano i due piani interrati non sarebbero comunque potute essere considerate per lo smaltimento dei fumi a causa dell'inserimento dei portoni tagliafuoco con chiusura automatica, guidata da un sensore di temperatura, ma sarebbe potute essere considerate per l'esodo, in quanto tutti i portoni commerciali sono dotati di una apertura delle dimensioni di una porta che potrebbe essere utilizzata per l'esodo. Le rampe carrabili che invece collegano il piano terra esterno al primo piano interrato sarebbe potuto essere considerato sia come via di esodo, che come via di accesso per i Vigili del Fuoco o ancora come apertura di smaltimento di fumo e calore.

Oltre a questo vi è un altro aspetto che ha reso le simulazioni più gravose del dovuto, ovvero la considerazione di curve HRR decisamente più gravose rispetto a quelle fornite dal Codice di Prevenzione Incendi. Infatti i due scenari più critici sono il secondo ed il terzo, che presentano un incendio che ha coinvolto due auto.

Questi aspetti devono essere evidenziati per capire quanto questa progettazione è stata svolta a favore di sicurezza, nell'ottica di ottenere un risultato il più gravoso possibile, e poter garantire la maggiore sicurezza possibile sia per gli occupanti che per le ipotetiche squadre di soccorso o dei Vigili del Fuoco.

8. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI E SITOGRAFICI

- [1] Mikko Partanen, Markku Heinisuo (2013). *Car fires with sprinklers: a study on the Eurocode for sprinklers*. Tampere University of Technology, Faculty of Business and Built Environment.
- [2] Sandro Pustorino, Emidio Nigro, Valter Cirillo, Gioacchino Giorni. *Determinazione degli scenari di incendio di progetto per l'applicazione dell'approccio ingegneristico alla progettazione strutturale dei parcheggi aerati*. Fondazione Promozione Acciaio, Commissione per la sicurezza delle costruzioni in acciaio in caso d'incendio.
- [3] A.P. Robbins, C.A. Wade (2008). *Study Report no.185. Soot yield values for modelling purposes - Residential occupancies*. BRANZ, Department of Building and Housing.
- [4] Amandine Lecocq, Marie Bertana, Benjamin Truchot, Guy Marlair (2014). *Comparison of the fire consequences of an electric vehicle and an internal combustion engine vehicle*. INERIS, National Institute of Industrial Environment and Risks.
- [5] Raffaele Sabatino, Daniela Freda, Antonella Pireddu, Stefano Baldassarini, Stefano Manna, Mara Lombardi, Nicolò Sciarretta, Mauro Caciolai, Piergiacomo Cancelliere, Filippo Cosi, Vincenzo Cascioli (2018). *La progettazione antincendio: Applicazioni pratiche nell'ambito del d.m. 3 agosto 2015*.
- [6] Raffaele Sabatino, Mara Lombardi, Nicolò Sciarretta, Piergiacomo Cancelliere, Emanuele Gissi, Andrea Marino, Marco Di Felice, Filippo Battistini, Vincenzo Cascioli, Filippo Cosi, Gianluca Galeotti, Alessandro Leonardi, Pietro Monaco (2019). *Focus sui metodi del Codice di prevenzione incendi*.
- [7] Ascenzi G., Villi G., Vulpiani G. (2010) *Ingegneria della sicurezza antincendio. Guida all'utilizzo di FDS (Fire Dynamics Simulator)*. Dario Flaccovio Editore.
- [8] David A. Purser (2016). *Toxic combustion product yields as a function of equivalence ratio and flame retardants in under-ventilated fires: bech-large-scale comparison*. Hartford Environmental Research, Hatfield.
- [9] ISO/TR 16738:2009. *Fire-safety engineering - Technical information on methods for evaluating behaviour and movement of people, 1st edition*.
- [10] The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, NFPA.
- [11] PD 7974-6:2004. *The application of fire safety engineering principles to fire safety design of buildings*. British Standards
- [12] UNI EN 12845 (2009). *Sistemi automatici a sprinkler*.

- [13] D.M. 03/08/2015. *Approvazione di norme tecniche di prevenzione incendi, ai sensi dell'articolo 15 del decreto legislativo 8 marzo 2006, n.139.*
- [14] D.P.R. 01/08/2011. *Regolamento recante semplificazione della disciplina dei procedimenti relativi alla prevenzione degli incendi.*
- [15] D.M. 16/05/1987. *Norme di sicurezza antincendi per gli edifici di civile abitazione*
- [16] www.vigilidelfuoco.it
- [17] www.epc.it
- [18] www.consulenteantincendio.it/storia-della-prevenzione-incendi/
- [19] www.mauromalizia.it/testi-coordinati/codice-di-prevenzione-incendi/
- [20] www.promozioneacciaio.it/cms/it7247-approccio-prestazionale.asp
- [21] www.insic.it/prevenzione-incendi/progettazione-antincendio/autorimesse-e-progettazione-antincendio-dal-dm-1-2-1986-alla-nuova-regola-tecnica/
- [22] www.teknoring.com/news/antincendio/incendio-analisi-progettista-antincendio-parcheggio/
- [23] www.firesafetyengineeringcalculators.com
- [24] www.fse-italia.eu

9. ALLEGATI

ALLEGATO I - Pianta Piano Terra

ALLEGATO II - Pianta Secondo Piano Interrato

ALLEGATO III - Pianta Primo Piano Interrato

ALLEGATO IV - Sezioni