



POLITECNICO DI MILANO

OTTIMIZZAZIONE DEL PROGETTO ILLUMINOTECNICO, ENERGETICO E DEGLI SCENARI DI INCENDIO DI UNA RSA

Relatori: Roberto Felicetti

Lavinia Chiara Tagliabue

Correlatore: Massimiliano Manfren

Barbara Arosio 751155
Francesca Lo Bianco 740445
A.A. 2011/2012

Sommario

Indice delle figure.....	7
Indice delle tabelle.....	26
Abstract	29
1. Introduzione.....	29
1.1. Strategia di analisi illuminotecnica	30
1.2. Strategia di analisi energetica.....	30
1.3. Strategia di analisi sugli scenari di incendio	31
2. Caso studio - Presentazione del progetto per una RSA	32
2.1. Inquadramento generale	32
2.2. Le residenze sanitarie assistenziali.....	32
2.2.1. Requisiti minimi strutturali e tecnologici	33
2.2.2. Requisiti minimi organizzativi	34
2.3. Articolazione del progetto	34
2.3.1. Caratteristiche delle opere edili	35
2.3.2. Requisiti per l'accessibilità.....	36
3. Luce.....	38
3.1. Abbagliamento	40
3.2. Grandezze fotometriche.....	41
3.2.1. Luminanza / <i>Luminance</i>	41
3.2.2. Illuminamento / <i>Illuminance</i>	42
3.2.3. Fattore di luce diurna / <i>Daylight Factor (DF)</i>	43
3.2.4. Probabilità di abbagliamento da luce diurna / <i>Daylight Glare Probability (DGP)</i>	45
3.2.5. Indice di abbagliamento da luce diurna / <i>Daylight Glare Index (DGI)</i>	46
3.2.6. Voto di abbagliamento unificato / <i>Unified Glare Rating (UGR)</i>	47
3.2.7. Probabilità di confort visivo / <i>Visual Comfort Probability (VCP)</i>	48
3.2.8. Indice di abbagliamento CIE / <i>CIE Glare Index (CGI)</i>	48
3.2.9. Valutazione degli indici.....	49
3.2.10. Autonomia di luce diurna / <i>Daylight autonomy (DA)</i>	49
3.2.11. Autonomia di luce diurna continua e massima autonomia di luce diurna / <i>Continuous daylight autonomy and maximux daylight autonomy (DA_{con}, DA_{max})</i>	49
3.2.12. Illuminamento utile da luce diurna / <i>Useful daylight index (UDI)</i>	50
3.2.13. Percentuale di saturazione da luce diurna / <i>Daylight saturation percentage (DSP)</i>	50
3.2.14. Esposizione di luce annua / <i>Annual light exposure</i>	50
3.3. Strumenti e software per l'analisi illuminotecnica	51

3.3.1.	Ecotect.....	58
3.3.2.	Radiance.....	59
3.3.3.	Evalglare.....	62
3.3.4.	Daysim	63
3.3.5.	DIALux	64
4.	Analisi illuminazione naturale: progetto base (prova 1)	65
4.1.	Modellazione con Ecotect	65
4.2.	Schemi solari	67
4.2.1.	21 marzo.....	68
4.2.2.	21 giugno.....	68
4.2.3.	21 dicembre	69
4.2.4.	Diagrammi solari.....	70
4.3.	Radiance: analisi luminanza, illuminamento e fattore di luce diurna.....	76
4.3.1.	21 marzo.....	76
4.3.2.	21 giugno.....	87
4.3.3.	21 dicembre	98
4.3.4.	Fattore di luce diurna (%).....	109
4.4.	Evalglare: analisi abbagliamento.....	111
4.5.	Daysim: analisi Daylight Autonomy, Maximum Daylight Autonomy, Continuous Daylight Autonomy, Daylight Factor, Daylight Saturation Percentage, Useful Daylight Index	114
4.5.1.	Primo step: simulazione	114
4.5.2.	Secondo step: analisi	116
4.5.3.	Terzo step: risultati dell'analisi	119
5.	Analisi illuminazione naturale: variazione della configurazione delle aperture vetrate (prova 2) 126	
5.1.	Radiance	128
5.1.1.	21 marzo.....	128
5.1.2.	21 giugno.....	139
5.1.3.	21 dicembre	150
5.1.4.	Fattore di luce diurna (%).....	160
5.2.	Evalglare.....	162
5.3.	Daysim	165
5.4.	Considerazioni.....	170
5.5.	Light-shelf.....	171
6.	Analisi illuminazione naturale: introduzione light-shelf nella mensa (prova 3)	173

6.1.	Radiance	173
6.1.1.	21 marzo	173
6.1.2.	21 giugno	178
6.1.3.	21 dicembre	182
6.1.4.	Fattore di luce diurna (%).....	186
6.2.	Evalglare.....	186
6.3.	Daysim.....	189
6.4.	Considerazioni.....	190
7.	Analisi illuminazione naturale: introduzione di un lucernario (prova 4)	191
7.1.	Radiance	191
7.1.1.	21 marzo	191
7.1.2.	21 giugno	193
7.1.3.	21 dicembre	194
7.1.4.	Fattore di luce diurna (%).....	195
7.2.	Evalglare.....	195
7.3.	Daysim.....	197
7.4.	Considerazioni.....	198
8.	Progetto di illuminazione artificiale per la cucina.....	199
9.	Considerazioni sulle analisi di illuminazione naturale	204
10.	Bilancio energetico.....	211
10.1.	Termini e definizioni	212
10.2.	Bilancio energetico dell'edificio secondo la UNI EN ISO 13790:2005.....	213
10.2.1.	Procedimento di calcolo	214
10.2.2.	Definizione dei confini e delle zone	215
10.2.3.	Dati di ingresso.....	215
10.2.4.	Dispersione termica.....	219
10.2.5.	Scambio termico verso ambienti non climatizzati.....	219
10.2.6.	Scambio termico verso il terreno.....	220
10.2.7.	Dispersione termica per ventilazione	220
10.2.8.	Dispersione termica: ponti termici	221
10.2.9.	Apporti termici interni.....	222
10.2.10.	Apporti solari.....	223
10.2.11.	Apporti termici totali	227
10.2.12.	Fabbisogno termico invernale	227

10.2.13.	Fabbisogno termico estivo.....	228
10.2.14.	Fabbisogno termico: fattore di utilizzazione	228
10.2.15.	Fabbisogno termico: capacità termica	229
10.2.16.	Fabbisogno termico annuale dell'edificio	231
10.2.17.	Uso dell'energia nei sistemi di riscaldamento, raffrescamento e ventilazione dell'ambiente	231
10.2.18.	UNI/TS 11300-1 - Determinazione del fabbisogno di energia termica.....	232
10.2.19.	Normativa di riferimento per la regione Sardegna sui consumi energetici	232
10.3.	Strumenti utili per bilancio energetico	233
10.3.1.	Isoreflex.....	233
11.	Analisi sul bilancio energetico delle stanze.....	234
11.1.1.	Analisi di pacchetti edilizi	235
11.1.2.	Valutazione della prestazione termica.....	239
12.	Incendi.....	245
12.1.	La resistenza al fuoco delle costruzioni con l'approccio ingegneristico alla sicurezza antincendio	245
12.1.1.	Sicurezza delle strutture	246
12.2.	Normativa antincendio per strutture sanitarie assistenziali	277
12.2.1.	Impianti antincendio ospedali e case di riposo	281
12.3.	Modifiche antincendio al progetto di base	283
12.4.	Modelli numerici per la simulazione degli scenari di incendio	286
12.4.1.	Obiettivi.....	287
12.4.2.	Modelli di simulazione dell'incendio a zona.....	289
12.4.3.	Modelli di simulazione dell'esodo	300
12.4.4.	Modelli di simulazione del comportamento strutturale in caso d'incendio.....	301
12.4.5.	Altri software.....	302
13.	Prova di resistenza al fuoco del vetrocamera	304
13.1.	Allestimento della prova	309
14.	Analisi degli scenari di incendio	318
14.1.	OZone.....	318
14.1.1.	Mensa	318
14.1.2.	Cucina.....	322
14.1.3.	Palestra	326
14.1.4.	Camera	329
14.2.	CFast.....	333

14.2.1. Zona giorno	333
14.2.2. Zona notte.....	337
14.3. Considerazioni sulle analisi degli scenari di incendio	340
15. Conclusioni.....	342
Bibliografia e sitografia.....	345
Appendice.....	350
Tavole di presentazione del progetto.....	350
Scenari di incendi: immagini e tabelle	359
OZone.....	359
CFast.....	405
Ringraziamenti	427

Indice delle figure

Figura 1 - Schema del procedimento per le simulazioni sulla luce naturale	30
Figura 2 - Schema del procedimento per il calcolo del bilancio energetico	31
Figura 3 - Schema del procedimento per le simulazioni sugli incendi	31
Figura 4 - Luminanza.....	42
Figura 5 - Illuminamento	43
Figura 6 - Grafici cielo CIE con luminanze	51
Figura 7 - Modello CIE di cielo coperto internazionale.....	52
Figura 8 - Calcolo della componente cielo, diagramma di Waldram.....	52
Figura 9 - Regolo calcolatore BRE derivato dal diagramma di Waldram	53
Figura 10 - Andamento giornaliero dei valori dell'illuminamento esterno nei diversi mesi dell'anno.....	55
Figura 11 - Diagramma di Zijl per il calcolo dell'illuminamento prodotto in una stanza rettangolare di altezza h da una sorgente posta al soffitto.....	56
Figura 12 - Diagramma CIE "a grani di pepe".....	56
Figura 13 - Nomogramma per calcolo della componente riflessa internamente attraverso lucernari	57
Figura 14 - Schermata iniziale di Ecotect	58
Figura 15 - Schermata esempio di Radiance.....	59
Figura 16 - Schermata esempio di Evalglare	62
Figura 17 - Schermata esempio di Daysim	63
Figura 18 - Schermata esempio di DIALux	64
Figura 19 - Materiali utilizzati per i rivestimenti	65
Figura 20 - Schermata di Ecotect: mensa (le frecce numerate indicano le telecamere).....	66
Figura 21 - Schermata di Ecotect: cucina (le frecce numerate indicano le telecamere).....	66
Figura 22 - Schermata di Ecotect: palestra (le frecce numerate indicano le telecamere).....	67
Figura 23 - Schermata di Ecotect: camera (le frecce numerate indicano le telecamere).....	67
Figura 24 - Ombre, ore 6.00	68
Figura 25 - Ombre, ore 7.00	68
Figura 26 - Ombre, ore 11.00.....	68
Figura 27 - Ombre, ore 12.00.....	68
Figura 28 - Ombre, ore 17.00.....	68
Figura 29 - Ombre, ore 18.00.....	68
Figura 30 - Ombre, ore 6.00	68
Figura 31 - Ombre, ore 7.00	68
Figura 32 - Ombre, ore 11.00.....	69
Figura 33 - Ombre, ore 12.00.....	69
Figura 34 - Ombre, ore 17.00.....	69
Figura 35 - Ombre, ore 18.00.....	69
Figura 36 - Ombre, ore 6.00	69
Figura 37 - Ombre, ore 7.00	69
Figura 38 - Ombre, ore 11.00.....	69
Figura 39 - Ombre, ore 12.00.....	69
Figura 40 - Ombre, ore 17.00.....	70
Figura 41 - Ombre, ore 18.00.....	70
Figura 42 - Riferimento finestre mensa	70
Figura 43 - Diagramma solare, mensa finestra 1	70
Figura 44 - Valori mensili del coefficiente di ombreggiamento	70
Figura 45 - Diagramma solare, mensa finestra 2	71
Figura 46 - Valori mensili del coefficiente di ombreggiamento	71
Figura 47 - Diagramma solare, mensa finestra 3	71
Figura 48 - Valori mensili del coefficiente di ombreggiamento	71
Figura 49 - Diagramma solare, mensa finestra 4	72
Figura 50 - Valori mensili del coefficiente di ombreggiamento	72

Figura 51 - Diagramma solare, mensa finestra 5.....	72
Figura 52 - Valori mensili del coefficiente di ombreggiamento.....	72
Figura 53 - Diagramma solare, mensa finestra 6.....	73
Figura 54 - Valori mensili del coefficiente di ombreggiamento.....	73
Figura 55 - Diagramma solare, mensa finestra 7.....	73
Figura 56 - Valori mensili del coefficiente di ombreggiamento.....	73
Figura 57 - Diagramma solare, mensa finestra 8.....	74
Figura 58 - Valori mensili del coefficiente di ombreggiamento.....	74
Figura 59 - Diagramma solare, cucina	74
Figura 60 - Valori mensili del coefficiente di ombreggiamento.....	74
Figura 61 - Diagramma solare, palestra	75
Figura 62 - Valori mensili del coefficiente di ombreggiamento.....	75
Figura 63 - Diagramma solare, camera	75
Figura 64 - Valori mensili del coefficiente di ombreggiamento.....	75
Figura 65 - Luminanza mensa, telecamera 1, ore 7.00.....	76
Figura 66 - Luminanza mensa, telecamera 2, ore 7.00.....	76
Figura 67 - Luminanza mensa, telecamera 3, ore 7.00.....	77
Figura 68 - Luminanza mensa, telecamera 4, ore 7.00.....	77
Figura 69 - Luminanza cucina, telecamera 1, ore 6.00.....	77
Figura 70 - Luminanza cucina, telecamera 2, ore 6.00.....	77
Figura 71 - Luminanza palestra telecamera 1, ore 11.00.....	77
Figura 72 - Luminanza palestra telecamera 2, ore 11.00.....	77
Figura 73 - Luminanza camera telecamera 1, ore 06.00.....	78
Figura 74 - Luminanza camera telecamera 2, ore 06.00.....	78
Figura 75 - Illuminamento mensa, telecamera 1, ore 7.00	78
Figura 76 - Illuminamento mensa, telecamera 2, ore 7.00	78
Figura 77 - Illuminamento mensa, telecamera 3, ore 7.00	78
Figura 78 - Illuminamento mensa, telecamera 4, ore 7.00	78
Figura 79 - Illuminamento cucina, telecamera 1, ore 6.00.....	79
Figura 80 - Illuminamento cucina, telecamera 2, ore 6.00	79
Figura 81 - Illuminamento palestra telecamera 1, ore 11.00	79
Figura 82 - Illuminamento palestra telecamera 2, ore 11.00	79
Figura 83 - Illuminamento camera telecamera 1, ore 06.00	79
Figura 84 - Illuminamento camera telecamera 2, ore 06.00	79
Figura 85 - Luminanza mensa, telecamera 1, ore 12.00.....	80
Figura 86 - Luminanza mensa, telecamera 2, ore 12.00.....	80
Figura 87 - Luminanza mensa, telecamera 3, ore 12.00.....	80
Figura 88 - Luminanza mensa, telecamera 4, ore 12.00.....	80
Figura 89 - Luminanza cucina, telecamera 1, ore 11.00.....	80
Figura 90 - Luminanza cucina, telecamera 2, ore 11.00.....	80
Figura 91 - Luminanza palestra telecamera 1, ore 15.00.....	81
Figura 92 - Luminanza palestra telecamera 2, ore 15.00.....	81
Figura 93 - Luminanza camera telecamera 1, ore 11.00.....	81
Figura 94 - Luminanza camera telecamera 2, ore 11.00.....	81
Figura 95 - Illuminamento mensa, telecamera 1, ore 12.00	81
Figura 96 - Illuminamento mensa, telecamera 2, ore 12.00	81
Figura 97 - Illuminamento mensa, telecamera 3, ore 12.00	82
Figura 98 - Illuminamento mensa, telecamera 4, ore 12.00	82
Figura 99 - Illuminamento cucina, telecamera 1, ore 11.00	82
Figura 100 - Illuminamento cucina, telecamera 2, ore 11.00	82
Figura 101 - Illuminamento palestra telecamera 1, ore 15.00	82
Figura 102 - Illuminamento palestra telecamera 2, ore 15.00	82
Figura 103 - Illuminamento camera telecamera 1, ore 11.00.....	83

Figura 104 - Illuminamento camera telecamera 2, ore 11.00.....	83
Figura 105 - Luminanza mensa, telecamera 1, ore 17.00	83
Figura 106 - Luminanza mensa, telecamera 2, ore 17.00	83
Figura 107 - Luminanza mensa, telecamera 3, ore 17.00	83
Figura 108 - Luminanza mensa, telecamera 4, ore 17.00	83
Figura 109 - Luminanza cucina, telecamera 1, ore 18.00	84
Figura 110 - Luminanza cucina, telecamera 2, ore 18.00	84
Figura 111 - Luminanza palestra telecamera 1, ore 17.00	84
Figura 112 - Luminanza palestra telecamera 2, ore 17.00	84
Figura 113 - Luminanza camera telecamera 1, ore 18.00	84
Figura 114 - Luminanza camera telecamera 2, ore 18.00	84
Figura 115 - Illuminamento mensa, telecamera 1, ore 17.00	85
Figura 116 - Illuminamento mensa, telecamera 2, ore 17.00	85
Figura 117 - Illuminamento mensa, telecamera 3, ore 17.00	85
Figura 118 - Illuminamento mensa, telecamera 4, ore 17.00	85
Figura 119 - Illuminamento cucina, telecamera 1, ore 18.00	85
Figura 120 - Illuminamento cucina, telecamera 2, ore 18.00	85
Figura 121 - Illuminamento palestra telecamera 1, ore 17.00.....	86
Figura 122 - Illuminamento palestra telecamera 2, ore 17.00.....	86
Figura 123 - Illuminamento camera telecamera 1, ore 18.00.....	86
Figura 124 - Illuminamento camera telecamera 2, ore 18.00.....	86
Figura 125 - Luminanza mensa, telecamera 1, ore 7.00	87
Figura 126 - Luminanza mensa, telecamera 2, ore 7.00	87
Figura 127 - Luminanza mensa, telecamera 3, ore 7.00	88
Figura 128 - Luminanza mensa, telecamera 4, ore 7.00	88
Figura 129 - Luminanza cucina, telecamera 1, ore 6.00	88
Figura 130 - Luminanza cucina, telecamera 2, ore 6.00	88
Figura 131 - Luminanza palestra telecamera 1, ore 11.00	88
Figura 132 - Luminanza palestra telecamera 2, ore 11.00	88
Figura 133 - Luminanza camera telecamera 1, ore 06.00	89
Figura 134 - Luminanza camera telecamera 2, ore 06.00	89
Figura 135 - Illuminamento mensa, telecamera 1, ore 7.00.....	89
Figura 136 - Illuminamento mensa, telecamera 2, ore 7.00.....	89
Figura 137 - Illuminamento mensa, telecamera 3, ore 7.00.....	89
Figura 138 - Illuminamento mensa, telecamera 4, ore 7.00.....	89
Figura 139 - Illuminamento cucina, telecamera 1, ore 6.00.....	90
Figura 140 - Illuminamento cucina, telecamera 2, ore 6.00.....	90
Figura 141 - Illuminamento palestra telecamera 1, ore 11.00.....	90
Figura 142 - Illuminamento palestra telecamera 2, ore 11.00.....	90
Figura 143 - Illuminamento camera telecamera 1, ore 06.00.....	90
Figura 144 - Illuminamento camera telecamera 2, ore 06.00.....	90
Figura 145 - Luminanza mensa, telecamera 1, ore 12.00	91
Figura 146 - Luminanza mensa, telecamera 2, ore 12.00	91
Figura 147 - Luminanza mensa, telecamera 3, ore 12.00	91
Figura 148 - Luminanza mensa, telecamera 4, ore 12.00	91
Figura 149 - Luminanza cucina, telecamera 1, ore 11.00	91
Figura 150 - Luminanza cucina, telecamera 2, ore 11.00	91
Figura 151 - Luminanza palestra telecamera 1, ore 15.00	92
Figura 152 - Luminanza palestra telecamera 1, ore 15.00	92
Figura 153 - Luminanza camera telecamera 1, ore 11.00	92
Figura 154 - Luminanza cameratelecamera 2, ore 11.00	92
Figura 155 - Illuminamento mensa, telecamera 1, ore 12.00.....	92
Figura 156 - Illuminamento mensa, telecamera 2, ore 12.00.....	92

Figura 157 - Illuminamento mensa, telecamera 3, ore 12.00	93
Figura 158 - Illuminamento mensa, telecamera 4, ore 12.00	93
Figura 159 - Illuminamento cucina, telecamera 1, ore 11.00	93
Figura 160 - Illuminamento cucina, telecamera 2, ore 11.00	93
Figura 161 - Illuminamento palestra telecamera 1, ore 15.00	93
Figura 162 - Illuminamento palestra telecamera 2, ore 15.00	93
Figura 163 - Illuminamento camera telecamera 1, ore 11.00	94
Figura 164 - Illuminamento camera telecamera 2, ore 11.00	94
Figura 165 - Luminanza mensa, telecamera 1, ore 17.00	94
Figura 166 - Luminanza mensa, telecamera 2, ore 17.00	94
Figura 167 - Luminanza mensa, telecamera 3, ore 17.00	94
Figura 168 - Luminanza mensa, telecamera 4, ore 17.00	94
Figura 169 - Luminanza cucina, telecamera 1, ore 18.00	95
Figura 170 - Luminanza cucina, telecamera 2, ore 18.00	95
Figura 171 - Luminanza palestra telecamera 1, ore 17.00	95
Figura 172 - Luminanza palestra telecamera 2, ore 17.00	95
Figura 173 - Luminanza camera telecamera 1, ore 18.00	95
Figura 174 - Luminanza camera telecamera 2, ore 18.00	95
Figura 175 - Illuminamento mensa, telecamera 1, ore 17.00	96
Figura 176 - Illuminamento mensa, telecamera 2, ore 17.00	96
Figura 177 - Illuminamento mensa, telecamera 3, ore 17.00	96
Figura 178 - Illuminamento mensa, telecamera 4, ore 17.00	96
Figura 179 - Illuminamento cucina, telecamera 1, ore 18.00	96
Figura 180 - Illuminamento cucina, telecamera 2, ore 18.00	96
Figura 181 - Illuminamento palestra telecamera 1, ore 17.00	97
Figura 182 - Illuminamento palestra telecamera 2, ore 17.00	97
Figura 183 - Illuminamento camera telecamera 1, ore 18.00	97
Figura 184 - Illuminamento camera telecamera 2, ore 18.00	97
Figura 185 - Luminanza mensa, telecamera 1, ore 7.00	98
Figura 186 - Luminanza mensa, telecamera 2, ore 7.00	98
Figura 187 - Luminanza mensa, telecamera 3, ore 7.00	99
Figura 188 - Luminanza mensa, telecamera 4, ore 7.00	99
Figura 189 - Luminanza cucina, telecamera 1, ore 6.00	99
Figura 190 - Luminanza cucina, telecamera 2, ore 6.00	99
Figura 191 - Luminanza palestra telecamera 1, ore 11.00	99
Figura 192 - Luminanza palestra telecamera 2, ore 11.00	99
Figura 193 - Luminanza camera telecamera 1, ore 06.00	100
Figura 194 - Luminanza camera telecamera 2, ore 06.00	100
Figura 195 - Illuminamento mensa, telecamera 1, ore 7.00	100
Figura 196 - Illuminamento mensa, telecamera 2, ore 7.00	100
Figura 197 - Illuminamento mensa, telecamera 3, ore 7.00	100
Figura 198 - Illuminamento mensa, telecamera 4, ore 7.00	100
Figura 199 - Illuminamento cucina, telecamera 1, ore 6.00	101
Figura 200 - Illuminamento cucina, telecamera 2, ore 6.00	101
Figura 201 - Illuminamento palestra telecamera 1, ore 11.00	101
Figura 202 - Illuminamento palestra telecamera 2, ore 11.00	101
Figura 203 - Illuminamento camera telecamera 1, ore 06.00	101
Figura 204 - Illuminamento camera telecamera 2, ore 06.00	101
Figura 205 - Luminanza mensa, telecamera 1, ore 12.00	102
Figura 206 - Luminanza mensa, telecamera 2, ore 12.00	102
Figura 207 - Luminanza mensa, telecamera 3, ore 12.00	102
Figura 208 - Luminanza mensa, telecamera 4, ore 12.00	102
Figura 209 - Luminanza cucina, telecamera 1, ore 11.00	102

Figura 210 - Luminanza cucina, telecamera 2, ore 11.00	102
Figura 211 - Luminanza palestra telecamera 1, ore 15.00	103
Figura 212 - Luminanza palestra telecamera 2, ore 15.00	103
Figura 213 - Luminanza camera telecamera 1, ore 11.00	103
Figura 214 - Luminanza camera telecamera 2, ore 11.00	103
Figura 215 - Illuminamento mensa, telecamera 1, ore 12.00	103
Figura 216 - Illuminamento mensa, telecamera 2, ore 12.00	103
Figura 217 - Illuminamento mensa, telecamera 3, ore 12.00	104
Figura 218 - Illuminamento mensa, telecamera 4, ore 12.00	104
Figura 219 - Illuminamento cucina, telecamera 1, ore 11.00	104
Figura 220 - Illuminamento cucina, telecamera 2, ore 11.00	104
Figura 221 - Illuminamento palestra telecamera 1, ore 15.00	104
Figura 222 - Illuminamento palestra telecamera 2, ore 15.00	104
Figura 223 - Illuminamento camera telecamera 1, ore 11.00	105
Figura 224 - Illuminamento camera telecamera 2, ore 11.00	105
Figura 225 - Luminanza mensa, telecamera 1, ore 17.00	105
Figura 226 - Luminanza mensa, telecamera 2, ore 17.00	105
Figura 227 - Luminanza mensa, telecamera 3, ore 17.00	105
Figura 228 - Luminanza mensa, telecamera 4, ore 17.00	105
Figura 229 - Luminanza cucina, telecamera 1, ore 18.00	106
Figura 230 - Luminanza cucina, telecamera 2, ore 18.00	106
Figura 231 - Luminanza palestra telecamera 1, ore 17.00	106
Figura 232 - Luminanza palestra telecamera 2, ore 17.00	106
Figura 233 - Luminanza camera telecamera 1, ore 18.00	106
Figura 234 - Luminanza camera telecamera 2, ore 18.00	106
Figura 235 - Illuminamento mensa, telecamera 1, ore 17.00	107
Figura 236 - Illuminamento mensa, telecamera 2, ore 17.00	107
Figura 237 - Illuminamento mensa, telecamera 3, ore 17.00	107
Figura 238 - Illuminamento mensa, telecamera 4, ore 17.00	107
Figura 239 - Illuminamento cucina, telecamera 1, ore 18.00	107
Figura 240 - Illuminamento cucina, telecamera 2, ore 18.00	107
Figura 241 - Illuminamento palestra telecamera 1, ore 17.00	108
Figura 242 - Illuminamento palestra telecamera 1, ore 17.00	108
Figura 243 - Illuminamento camera telecamera 1, ore 18.00	108
Figura 244 - Illuminamento camera telecamera 1, ore 18.00	108
Figura 245 - Fattore di luce diurna mensa, telecamera 1	109
Figura 246 - Fattore di luce diurna mensa, telecamera 2	109
Figura 247 - Fattore di luce diurna mensa, telecamera 3	109
Figura 248 - Fattore di luce diurna mensa, telecamera 4	109
Figura 249 - Fattore di luce diurna cucina, telecamera 1	110
Figura 250 - Fattore di luce diurna cucina, telecamera 2	110
Figura 251 - Fattore di luce diurna palestra, telecamera 1	110
Figura 252 - Fattore di luce diurna palestra, telecamera 2	110
Figura 253 - Fattore di luce diurna camera, telecamera 1	110
Figura 254 - Fattore di luce diurna camera, telecamera 2	110
Figura 255 - DGP, 21 marzo	112
Figura 256 - DGP, 21 giugno	112
Figura 257 - DGP, 21 dicembre	112
Figura 258 - DGI, 21 marzo	113
Figura 259 - DGI, 21 giugno	113
Figura 260 - DGI, 21 dicembre	113
Figura 261 - UGR, 21 marzo	113
Figura 262 - UGR, 21 giugno	113

Figura 263 - UGR, 21 dicembre.....	113
Figura 264 - Parametri per la simulazione, scene complexity 1.....	114
Figura 265 - Parametri per l'analisi.....	116
Figura 266 - DA, mensa.....	119
Figura 267 - DA _{max} , mensa.....	119
Figura 268 - DA _{con} , mensa.....	120
Figura 269 - DF, mensa.....	120
Figura 270 - DSP, mensa.....	120
Figura 271 - UDI _{<100} , mensa.....	120
Figura 272 - UDI ₁₀₀₋₂₀₀₀ , mensa.....	120
Figura 273 - UDI _{>2000} , mensa.....	120
Figura 274 - DA, cucina.....	120
Figura 275 - DA _{max} , cucina.....	120
Figura 276 - DA _{con} , cucina.....	121
Figura 277 - DF, cucina.....	121
Figura 278 - DSP, cucina.....	121
Figura 279 - UDI _{<100} , cucina.....	121
Figura 280 - UDI ₁₀₀₋₂₀₀₀ , cucina.....	121
Figura 281 - UDI _{>2000} , cucina.....	121
Figura 282 - DA, palestra.....	121
Figura 283 - DA _{max} , palestra.....	121
Figura 284 - DA _{con} , palestra.....	122
Figura 285 - DF, palestra.....	122
Figura 286 - DSP, palestra.....	122
Figura 287 - UDI _{<100} , palestra.....	122
Figura 288 - UDI ₁₀₀₋₂₀₀₀ , palestra.....	122
Figura 289 - UDI _{>2000} , palestra.....	122
Figura 290 - DA, camera.....	122
Figura 291 - DA _{max} , camera.....	122
Figura 292 - DA _{con} , camera.....	122
Figura 293 - DF, camera.....	122
Figura 294 - DSP, camera.....	123
Figura 295 - UDI _{<100} , camera.....	123
Figura 296 - UDI ₁₀₀₋₂₀₀₀ , camera.....	123
Figura 297 - UDI _{>2000} , camera.....	123
Figura 298 - Schermata di Ecotect: mensa con finestre modificate (le frecce numerate indicano le telecamere).....	126
Figura 299 - Schermata di Ecotect: cucina (le frecce numerate indicano le telecamere).....	127
Figura 300 - Schermata di Ecotect: palestra (le frecce numerate indicano le telecamere).....	127
Figura 301 - Schermata di Ecotect: camera (le frecce numerate indicano le telecamere).....	128
Figura 302 - Luminanza mensa, telecamera 1, ore 7.00.....	128
Figura 303 - Luminanza mensa, telecamera 2, ore 7.00.....	128
Figura 304 - Luminanza mensa, telecamera 3, ore 7.00.....	129
Figura 305 - Luminanza mensa, telecamera 4, ore 7.00.....	129
Figura 306 - Luminanza cucina, telecamera 1, ore 6.00.....	129
Figura 307 - Luminanza cucina, telecamera 2, ore 6.00.....	129
Figura 308 - Luminanza palestra, telecamera 1, ore 11.00.....	129
Figura 309 - Luminanza palestra, telecamera 2, ore 11.00.....	129
Figura 310 - Luminanza camera telecamera 1, ore 06.00.....	130
Figura 311 - Luminanza camera telecamera 2, ore 06.00.....	130
Figura 312 - Illuminamento mensa, telecamera 1, ore 7.00.....	130
Figura 313 - Illuminamento mensa, telecamera 2, ore 7.00.....	130
Figura 314 - Illuminamento mensa, telecamera 3, ore 7.00.....	130
Figura 315 - Illuminamento mensa, telecamera 4, ore 7.00.....	130

Figura 316 - Illuminamento cucina, telecamera 1, ore 6.00.....	131
Figura 317 - Illuminamento cucina, telecamera 2, ore 6.00.....	131
Figura 318 - Illuminamento palestra telecamera 1, ore 11.00.....	131
Figura 319 - Illuminamento palestra telecamera 2, ore 11.00.....	131
Figura 320 - Illuminamento camera telecamera 1, ore 06.00.....	131
Figura 321 - Illuminamento camera telecamera 2, ore 06.00.....	131
Figura 322 - Luminanza mensa, telecamera 1, ore 12.00	132
Figura 323 - Luminanza mensa, telecamera 2, ore 12.00	132
Figura 324 - Luminanza mensa, telecamera 3, ore 12.00	132
Figura 325 - Luminanza mensa, telecamera 4, ore 12.00	132
Figura 326 - Luminanza cucina, telecamera 1, ore 11.00	132
Figura 327 - Luminanza cucina, telecamera 2, ore 11.00	132
Figura 328 - Luminanza palestra telecamera 1, ore 15.00	133
Figura 329 - Luminanza palestra telecamera 2, ore 15.00	133
Figura 330 - Luminanza camera telecamera 1, ore 11.00	133
Figura 331 - Luminanza camera telecamera 2, ore 11.00	133
Figura 332 - Illuminamento mensa, telecamera 1, ore 12.00.....	133
Figura 333 - Illuminamento mensa, telecamera 2, ore 12.00.....	133
Figura 334 - Illuminamento mensa, telecamera 3, ore 12.00.....	134
Figura 335 - Illuminamento mensa, telecamera 4, ore 12.00.....	134
Figura 336 - Illuminamento cucina, telecamera 1, ore 11.00.....	134
Figura 337 - Illuminamento cucina, telecamera 2, ore 11.00.....	134
Figura 338 - Illuminamento palestra telecamera 1, ore 15.00.....	134
Figura 339 - Illuminamento palestra telecamera 2, ore 15.00.....	134
Figura 340 - Illuminamento camera telecamera 1, ore 11.00.....	135
Figura 341 - Illuminamento camera telecamera 2, ore 11.00.....	135
Figura 342 - Luminanza mensa, telecamera 1, ore 17.00	135
Figura 343 - Luminanza mensa, telecamera 2, ore 17.00	135
Figura 344 - Luminanza mensa, telecamera 3, ore 17.00	135
Figura 345 - Luminanza mensa, telecamera 4, ore 17.00	135
Figura 346 - Luminanza cucina, telecamera 1, ore 18.00	136
Figura 347 - Luminanza cucina, telecamera 2, ore 18.00	136
Figura 348 - Luminanza palestra telecamera 1, ore 17.00	136
Figura 349 - Luminanza palestra telecamera 2, ore 17.00	136
Figura 350 - Luminanza camera telecamera 1, ore 18.00	136
Figura 351 - Luminanza camera telecamera 2, ore 18.00	136
Figura 352 - Illuminamento mensa, telecamera 1, ore 17.00.....	137
Figura 353 - Illuminamento mensa, telecamera 2, ore 17.00.....	137
Figura 354 - Illuminamento mensa, telecamera 3, ore 17.00.....	137
Figura 355 - Illuminamento mensa, telecamera 4, ore 17.00.....	137
Figura 356 - Illuminamento cucina, telecamera 1, ore 18.00.....	137
Figura 357 - Illuminamento cucina, telecamera 2, ore 18.00.....	137
Figura 358 - Illuminamento palestra telecamera 1, ore 17.00.....	138
Figura 359 - Illuminamento palestra telecamera 2, ore 17.00.....	138
Figura 360 - Illuminamento camera telecamera 1, ore 18.00.....	138
Figura 361 - Illuminamento camera telecamera 2, ore 18.00.....	138
Figura 362 - Luminanza mensa, telecamera 1, ore 7.00	139
Figura 363 - Luminanza mensa, telecamera 2, ore 7.00	139
Figura 364 - Luminanza mensa, telecamera 3, ore 7.00	139
Figura 365 - Luminanza mensa, telecamera 4, ore 7.00	139
Figura 366 - Luminanza cucina, telecamera 1, ore 6.00	140
Figura 367 - Luminanza cucina, telecamera 2, ore 6.00	140
Figura 368 - Luminanza palestra telecamera 1, ore 11.00	140

Figura 369 - Luminanza palestra telecamera 2, ore 11.00.....	140
Figura 370 - Luminanza camera telecamera 1, ore 06.00.....	140
Figura 371 - Luminanza camera telecamera 2, ore 06.00.....	140
Figura 372 - Illuminamento mensa, telecamera 1, ore 7.00	141
Figura 373 - Illuminamento mensa, telecamera 2, ore 7.00	141
Figura 374 - Illuminamento mensa, telecamera 3, ore 7.00	141
Figura 375 - Illuminamento mensa, telecamera 4, ore 7.00	141
Figura 376 - Illuminamento cucina, telecamera 1, ore 6.00	141
Figura 377 - Illuminamento cucina, telecamera 2, ore 6.00	141
Figura 378 - Illuminamento palestra telecamera 1, ore 11.00	142
Figura 379 - Illuminamento palestra telecamera 2, ore 11.00	142
Figura 380 - Illuminamento camera telecamera 1, ore 06.00	142
Figura 381 - Illuminamento camera telecamera 2, ore 06.00	142
Figura 382 - Luminanza mensa, telecamera 1, ore 12.00.....	142
Figura 383 - Luminanza mensa, telecamera 2, ore 12.00	142
Figura 384 - Luminanza mensa, telecamera 3, ore 12.00.....	143
Figura 385 - Luminanza mensa, telecamera 4, ore 12.00.....	143
Figura 386 - Luminanza cucina, telecamera 1, ore 11.00.....	143
Figura 387 - Luminanza cucina, telecamera 2, ore 11.00.....	143
Figura 388 - Luminanza palestra telecamera 1, ore 15.00.....	143
Figura 389 - Luminanza palestra telecamera 1, ore 15.00.....	143
Figura 390 - Luminanza camera telecamera 1, ore 11.00.....	144
Figura 391 - Luminanza camera telecamera 2, ore 11.00.....	144
Figura 392 - Illuminamento mensa, telecamera 1, ore 12.00	144
Figura 393 - Illuminamento mensa, telecamera 2, ore 12.00	144
Figura 394 - Illuminamento mensa, telecamera 3, ore 12.00	144
Figura 395 - Illuminamento mensa, telecamera 4, ore 12.00	144
Figura 396 - Illuminamento cucina, telecamera 1, ore 11.00	145
Figura 397 - Illuminamento cucina, telecamera 2, ore 11.00	145
Figura 398 - Illuminamento palestra telecamera 1, ore 15.00	145
Figura 399 - Illuminamento palestra telecamera 2, ore 15.00	145
Figura 400 - Illuminamento camera telecamera 1, ore 11.00	145
Figura 401 - Illuminamento camera telecamera 2, ore 11.00	145
Figura 402 - Luminanza mensa, telecamera 1, ore 17.00.....	146
Figura 403 - Luminanza mensa, telecamera 2, ore 17.00.....	146
Figura 404 - Luminanza mensa, telecamera 3, ore 17.00.....	146
Figura 405 - Luminanza mensa, telecamera 4, ore 17.00.....	146
Figura 406 - Luminanza cucina, telecamera 1, ore 18.00.....	146
Figura 407 - Luminanza cucina, telecamera 2, ore 18.00.....	146
Figura 408 - Luminanza palestra telecamera 1, ore 17.00.....	147
Figura 409 - Luminanza palestra telecamera 2, ore 17.00.....	147
Figura 410 - Luminanza camera telecamera 1, ore 18.00.....	147
Figura 411 - Luminanza camera telecamera 2, ore 18.00.....	147
Figura 412 - Illuminamento mensa, telecamera 1, ore 17.00	147
Figura 413 - Illuminamento mensa, telecamera 2, ore 17.00	147
Figura 414 - Illuminamento mensa, telecamera 3, ore 17.00	148
Figura 415 - Illuminamento mensa, telecamera 4, ore 17.00	148
Figura 416 - Illuminamento cucina, telecamera 1, ore 18.00	148
Figura 417 - Illuminamento cucina, telecamera 2, ore 18.00	148
Figura 418 - Illuminamento palestra telecamera 1, ore 17.00	148
Figura 419 - Illuminamento palestra telecamera 2, ore 17.00	148
Figura 420 - Illuminamento camera telecamera 1, ore 18.00.....	149
Figura 421 - Illuminamento camera telecamera 2, ore 18.00.....	149

Figura 422 - Luminanza mensa, telecamera 1, ore 7.00	150
Figura 423 - Luminanza mensa, telecamera 2, ore 7.00	150
Figura 424 - Luminanza mensa, telecamera 3, ore 7.00	150
Figura 425 - Luminanza mensa, telecamera 4, ore 7.00	150
Figura 426 - Luminanza cucina, telecamera 1, ore 6.00	150
Figura 427 - Luminanza cucina, telecamera 2, ore 6.00	150
Figura 428 - Luminanza palestra telecamera 1, ore 11.00	151
Figura 429 - Luminanza palestra telecamera 2, ore 11.00	151
Figura 430 - Luminanza camera telecamera 1, ore 06.00	151
Figura 431 - Luminanza camera telecamera 2, ore 06.00	151
Figura 432 - Illuminamento mensa, telecamera 1, ore 7.00	151
Figura 433 - Illuminamento mensa, telecamera 2, ore 7.00	151
Figura 434 - Illuminamento mensa, telecamera 3, ore 7.00	152
Figura 435 - Illuminamento mensa, telecamera 4, ore 7.00	152
Figura 436 - Illuminamento cucina, telecamera 1, ore 6.00	152
Figura 437 - Illuminamento cucina, telecamera 2, ore 6.00	152
Figura 438 - Illuminamento palestra telecamera 1, ore 11.00	152
Figura 439 - Illuminamento palestra telecamera 2, ore 11.00	152
Figura 440 - Illuminamento camera telecamera 1, ore 06.00	153
Figura 441 - Illuminamento camera telecamera 2, ore 06.00	153
Figura 442 - Luminanza mensa, telecamera 1, ore 12.00	153
Figura 443 - Luminanza mensa, telecamera 2, ore 12.00	153
Figura 444 - Luminanza mensa, telecamera 3, ore 12.00	153
Figura 445 - Luminanza mensa, telecamera 4, ore 12.00	153
Figura 446 - Luminanza cucina, telecamera 1, ore 11.00	154
Figura 447 - Luminanza cucina, telecamera 2, ore 11.00	154
Figura 448 - Luminanza palestra telecamera 1, ore 15.00	154
Figura 449 - Luminanza palestra telecamera 2, ore 15.00	154
Figura 450 - Luminanza camera telecamera 1, ore 11.00	154
Figura 451 - Luminanza cameratelecamera 2, ore 11.00	154
Figura 452 - Illuminamento mensa, telecamera 1, ore 12.00	155
Figura 453 - Illuminamento mensa, telecamera 2, ore 12.00	155
Figura 454 - Illuminamento mensa, telecamera 3, ore 12.00	155
Figura 455 - Illuminamento mensa, telecamera 4, ore 12.00	155
Figura 456 - Illuminamento cucina, telecamera 1, ore 11.00	155
Figura 457 - Illuminamento cucina, telecamera 2, ore 11.00	155
Figura 458 - Illuminamento palestra telecamera 1, ore 15.00	156
Figura 459 - Illuminamento palestra telecamera 2, ore 15.00	156
Figura 460 - Illuminamento camera telecamera 1, ore 11.00	156
Figura 461 - Illuminamento camera telecamera 2, ore 11.00	156
Figura 462 - Luminanza mensa, telecamera 1, ore 17.00	156
Figura 463 - Luminanza mensa, telecamera 2, ore 17.00	156
Figura 464 - Luminanza mensa, telecamera 3, ore 17.00	157
Figura 465 - Luminanza mensa, telecamera 4, ore 17.00	157
Figura 466 - Luminanza cucina, telecamera 1, ore 18.00	157
Figura 467 - Luminanza cucina, telecamera 2, ore 18.00	157
Figura 468 - Luminanza palestra telecamera 1, ore 17.00	157
Figura 469 - Luminanza palestra telecamera 2, ore 17.00	157
Figura 470 - Luminanza camera telecamera 1, ore 18.00	158
Figura 471 - Luminanza camera telecamera 2, ore 18.00	158
Figura 472 - Illuminamento mensa, telecamera 1, ore 17.00	158
Figura 473 - Illuminamento mensa, telecamera 2, ore 17.00	158
Figura 474 - Illuminamento mensa, telecamera 3, ore 17.00	158

Figura 475 - Illuminamento mensa, telecamera 4, ore 17.00	158
Figura 476 - Illuminamento cucina, telecamera 1, ore 18.00	159
Figura 477 - Illuminamento cucina, telecamera 2, ore 18.00	159
Figura 478 - Illuminamento palestra telecamera 1, ore 17.00	159
Figura 479 - Illuminamento palestra telecamera 1, ore 17.00	159
Figura 480 - Illuminamento camera telecamera 1, ore 18.00	159
Figura 481 - Illuminamento camera telecamera 1, ore 18.00	159
Figura 482 - Fattore di luce diurna mensa, telecamera 1	160
Figura 483 - Fattore di luce diurna mensa, telecamera 2	160
Figura 484 - Fattore di luce diurna mensa, telecamera 3	161
Figura 485 - Fattore di luce diurna mensa, telecamera 4	161
Figura 486 - Fattore di luce diurna cucina, telecamera 1	161
Figura 487 - Fattore di luce diurna cucina, telecamera 2	161
Figura 488 - Fattore di luce diurna palestra, telecamera 1	161
Figura 489 - Fattore di luce diurna palestra, telecamera 2	161
Figura 490 - Fattore di luce diurna camera, telecamera 1	162
Figura 491 - Fattore di luce diurna camera, telecamera 2	162
Figura 492 - DGP, 21 marzo	164
Figura 493 - DGP, 21 giugno	164
Figura 494 - DGP, 21 dicembre	164
Figura 495 - DGI, 21 marzo	164
Figura 496 - DGI, 21 giugno	164
Figura 497 - DGI, 21 dicembre	164
Figura 498 - UGR, 21 marzo	164
Figura 499 - UGR, 21 giugno	164
Figura 500 - UGR, 21 dicembre	164
Figura 501 - DA, mensa	165
Figura 502 - DA _{max} , mensa	165
Figura 503 - DA _{con} , mensa	165
Figura 504 - DF, mensa	165
Figura 505 - DSP, mensa	166
Figura 506 - UDI _{<100} , mensa	166
Figura 507 - UDI ₁₀₀₋₂₀₀₀ , mensa	166
Figura 508 - UDI _{>2000} , mensa	166
Figura 509 - DA, cucina	166
Figura 510 - DA _{max} , cucina	166
Figura 511 - DA _{con} , cucina	166
Figura 512 - DF, cucina	166
Figura 513 - DSP, cucina	167
Figura 514 - UDI _{<100} , cucina	167
Figura 515 - UDI ₁₀₀₋₂₀₀₀ , cucina	167
Figura 516 - UDI _{>2000} , cucina	167
Figura 517 - DA, palestra	167
Figura 518 - DA _{max} , palestra	167
Figura 519 - DA _{con} , palestra	167
Figura 520 - DF, palestra	167
Figura 521 - DSP, palestra	167
Figura 522 - UDI _{<100} , palestra	167
Figura 523 - UDI ₁₀₀₋₂₀₀₀ , palestra	168
Figura 524 - UDI _{>2000} , palestra	168
Figura 525 - DA, camera	168
Figura 526 - DA _{max} , camera	168
Figura 527 - DA _{con} , camera	168

Figura 528 - DF, camera.....	168
Figura 529 - DSP, camera.....	168
Figura 530 - UDI ₁₀₀ , camera.....	168
Figura 531 - UDI ₁₀₀₋₂₀₀₀ , camera.....	168
Figura 532 - UDI _{>2000} , camera.....	168
Figura 533 - Schema di funzionamento del light-shelf.....	172
Figura 534 - Esempio di light-shelf.....	172
Figura 535 - Schermata di Ecotect: mensa con light-shelf (le frecce numerate indicano le telecamere).....	173
Figura 536 - Luminanza mensa, telecamera 1, ore 7.00.....	173
Figura 537 - Luminanza mensa, telecamera 2, ore 7.00.....	173
Figura 538 - Luminanza mensa, telecamera 3, ore 7.00.....	174
Figura 539 - Luminanza mensa, telecamera 4, ore 7.00.....	174
Figura 540 - Illuminamento mensa, telecamera 1, ore 7.00.....	174
Figura 541 - Illuminamento mensa, telecamera 2, ore 7.00.....	174
Figura 542 - Illuminamento mensa, telecamera 3, ore 7.00.....	174
Figura 543 - Illuminamento mensa, telecamera 4, ore 7.00.....	174
Figura 544 - Luminanza mensa, telecamera 1, ore 12.00.....	175
Figura 545 - Luminanza mensa, telecamera 2, ore 12.00.....	175
Figura 546 - Luminanza mensa, telecamera 3, ore 12.00.....	175
Figura 547 - Luminanza mensa, telecamera 4, ore 12.00.....	175
Figura 548 - Illuminamento mensa, telecamera 1, ore 12.00.....	175
Figura 549 - Illuminamento mensa, telecamera 2, ore 12.00.....	175
Figura 550 - Illuminamento mensa, telecamera 3, ore 12.00.....	176
Figura 551 - Illuminamento mensa, telecamera 4, ore 12.00.....	176
Figura 552 - Luminanza mensa, telecamera 1, ore 17.00.....	176
Figura 553 - Luminanza mensa, telecamera 2, ore 17.00.....	176
Figura 554 - Luminanza mensa, telecamera 3, ore 17.00.....	176
Figura 555 - Luminanza mensa, telecamera 4, ore 17.00.....	176
Figura 556 - Illuminamento mensa, telecamera 1, ore 17.00.....	177
Figura 557 - Illuminamento mensa, telecamera 2, ore 17.00.....	177
Figura 558 - Illuminamento mensa, telecamera 3, ore 17.00.....	177
Figura 559 - Illuminamento mensa, telecamera 4, ore 17.00.....	177
Figura 560 - Luminanza mensa, telecamera 1, ore 7.00.....	178
Figura 561 - Luminanza mensa, telecamera 2, ore 7.00.....	178
Figura 562 - Luminanza mensa, telecamera 3, ore 7.00.....	178
Figura 563 - Luminanza mensa, telecamera 4, ore 7.00.....	178
Figura 564 - Illuminamento mensa, telecamera 1, ore 7.00.....	178
Figura 565 - Illuminamento mensa, telecamera 2, ore 7.00.....	178
Figura 566 - Illuminamento mensa, telecamera 3, ore 7.00.....	179
Figura 567 - Illuminamento mensa, telecamera 4, ore 7.00.....	179
Figura 568 - Luminanza mensa, telecamera 1, ore 12.00.....	179
Figura 569 - Luminanza mensa, telecamera 2, ore 12.00.....	179
Figura 570 - Luminanza mensa, telecamera 3, ore 12.00.....	179
Figura 571 - Luminanza mensa, telecamera 4, ore 12.00.....	179
Figura 572 - Illuminamento mensa, telecamera 1, ore 12.00.....	180
Figura 573 - Illuminamento mensa, telecamera 2, ore 12.00.....	180
Figura 574 - Illuminamento mensa, telecamera 3, ore 12.00.....	180
Figura 575 - Illuminamento mensa, telecamera 4, ore 12.00.....	180
Figura 576 - Luminanza mensa, telecamera 1, ore 17.00.....	180
Figura 577 - Luminanza mensa, telecamera 2, ore 17.00.....	180
Figura 578 - Luminanza mensa, telecamera 3, ore 17.00.....	181
Figura 579 - Luminanza mensa, telecamera 4, ore 17.00.....	181
Figura 580 - Illuminamento mensa, telecamera 1, ore 17.00.....	181

Figura 581 - Illuminamento mensa, telecamera 2, ore 17.00	181
Figura 582 - Illuminamento mensa, telecamera 3, ore 17.00	181
Figura 583 - Illuminamento mensa, telecamera 4, ore 17.00	181
Figura 584 - Luminanza mensa, telecamera 1, ore 7.00	182
Figura 585 - Luminanza mensa, telecamera 2, ore 7.00	182
Figura 586 - Luminanza mensa, telecamera 3, ore 7.00	182
Figura 587 - Luminanza mensa, telecamera 4, ore 7.00	182
Figura 588 - Illuminamento mensa, telecamera 1, ore 7.00	182
Figura 589 - Illuminamento mensa, telecamera 2, ore 7.00	182
Figura 590 - Illuminamento mensa, telecamera 3, ore 7.00	183
Figura 591 - Illuminamento mensa, telecamera 4, ore 7.00	183
Figura 592 - Luminanza mensa, telecamera 1, ore 12.00	183
Figura 593 - Luminanza mensa, telecamera 2, ore 12.00	183
Figura 594 - Luminanza mensa, telecamera 3, ore 12.00	183
Figura 595 - Luminanza mensa, telecamera 4, ore 12.00	183
Figura 596 - Illuminamento mensa, telecamera 1, ore 12.00	184
Figura 597 - Illuminamento mensa, telecamera 2, ore 12.00	184
Figura 598 - Illuminamento mensa, telecamera 3, ore 12.00	184
Figura 599 - Illuminamento mensa, telecamera 4, ore 12.00	184
Figura 600 - Luminanza mensa, telecamera 1, ore 17.00	184
Figura 601 - Luminanza mensa, telecamera 2, ore 17.00	184
Figura 602 - Luminanza mensa, telecamera 3, ore 17.00	185
Figura 603 - Luminanza mensa, telecamera 4, ore 17.00	185
Figura 604 - Illuminamento mensa, telecamera 1, ore 17.00	185
Figura 605 - Illuminamento mensa, telecamera 2, ore 17.00	185
Figura 606 - Illuminamento mensa, telecamera 3, ore 17.00	185
Figura 607 - Illuminamento mensa, telecamera 4, ore 17.00	185
Figura 608 - Fattore di luce diurna mensa, telecamera 1	186
Figura 609 - Fattore di luce diurna mensa, telecamera 2	186
Figura 610 - Fattore di luce diurna mensa, telecamera 3	186
Figura 611 - Fattore di luce diurna mensa, telecamera 4	186
Figura 612 - DGP, 21 marzo	188
Figura 613 - DGP, 21 giugno	188
Figura 614 - DGP, 21 dicembre	188
Figura 615 - DGI, 21 marzo	188
Figura 616 - DGI, 21 giugno	188
Figura 617 - DGI, 21 dicembre	188
Figura 618 - UGR, 21 marzo	188
Figura 619 - UGR, 21 giugno	188
Figura 620 - UGR, 21 dicembre	188
Figura 621 - DA, mensa	189
Figura 622 - DA _{max} , mensa	189
Figura 623 - DA _{con2} , mensa	189
Figura 624 - DF, mensa	189
Figura 625 - DSP, mensa	189
Figura 626 - UDI _{<100} , mensa	189
Figura 627 - UDI ₁₀₀₋₂₀₀₀ , mensa	190
Figura 628 - UDI _{>2000} , mensa	190
Figura 629 - Schermata di Ecotect: mensa con lucernario (le frecce numerate indicano le telecamere)	191
Figura 630 - Luminanza mensa, telecamera 3, ore 7.00	191
Figura 631 - Illuminamento mensa, telecamera 3, ore 7.00	191
Figura 632 - Luminanza mensa, telecamera 3, ore 12.00	192
Figura 633 - Illuminamento mensa, telecamera 3, ore 12.00	192

Figura 634 - Luminanza mensa, telecamera 3, ore 17.00	192
Figura 635 - Illuminamento mensa, telecamera 3, ore 17.00	192
Figura 636 - Luminanza mensa, telecamera 3, ore 7.00	193
Figura 637 - Illuminamento mensa, telecamera 3, ore 7.00	193
Figura 638 - Luminanza mensa, telecamera 3, ore 12.00	193
Figura 639 - Illuminamento mensa, telecamera 3, ore 12.00	193
Figura 640 - Luminanza mensa, telecamera 3, ore 17.00	193
Figura 641 - Illuminamento mensa, telecamera 3, ore 17.00	193
Figura 642 - Luminanza mensa, telecamera 3, ore 7.00	194
Figura 643 - Illuminamento mensa, telecamera 3, ore 7.00	194
Figura 644 - Luminanza mensa, telecamera 3, ore 12.00	194
Figura 645 - Illuminamento mensa, telecamera 3, ore 12.00	194
Figura 646 - Luminanza mensa, telecamera 3, ore 17.00	194
Figura 647 - Illuminamento mensa, telecamera 3, ore 17.00	194
Figura 648 - Fattore di luce diurna mensa, telecamera 3	195
Figura 649 - DGP, 21 marzo	196
Figura 650 - DGP, 21 giugno	196
Figura 651 - DGP, 21 dicembre	196
Figura 652 - DGI, 21 marzo	196
Figura 653 - DGI, 21 giugno	196
Figura 654 - DGI, 21 dicembre	196
Figura 655 - UGR, 21 marzo	196
Figura 656 - UGR, 21 giugno	196
Figura 657 - UGR, 21 dicembre	196
Figura 658 - DA, mensa	197
Figura 659 - DA _{max} , mensa	197
Figura 660 - DA _{con} , mensa	197
Figura 661 - DF, mensa	197
Figura 662 - DSP, mensa	197
Figura 663 - UDI _{<100} , mensa	197
Figura 664 - UDI ₁₀₀₋₂₀₀₀ , mensa	197
Figura 665 - UDI _{>2000} , mensa	197
Figura 666 - Modello della lampada	199
Figura 667 - Schema di emissione luminosa	199
Figura 668 - Diagramma della luminanza	200
Figura 669 - Schema planimetrico con lampade (valori in lux)	200
Figura 670 - Lampade (planimetria)	200
Figura 671 - Rendering 3D	202
Figura 672 - Rendering colori sfalsati	202
Figura 673 - Superficie di calcolo con isolinee	203
Figura 674 - Posizione della superficie nel locale	203
Figura 675 - <i>Spider chart</i> per illuminazione naturale, mensa	209
Figura 676 - <i>Spider chart</i> per illuminazione naturale, cucina	209
Figura 677 - <i>Spider chart</i> per illuminazione naturale, palestra	210
Figura 678 - <i>Spider chart</i> per illuminazione naturale, camera	210
Figura 679 - Bilancio energetico di un edificio	214
Figura 680 - Fattore di utilizzazione per costanti di tempo pari a 8 h, 1 d, 2 d, 1 settimana ed infinita, valido per il periodo di calcolo mensile di edifici riscaldati in modo continuo (edificio di tipo I, in alto), e per edifici riscaldati solo durante il giorno (edificio di tipo II, in basso)	231
Figura 681 - Fabbisogno di energia zona giorno	241
Figura 682 - Fabbisogno di energia zona notte	241
Figura 683 - <i>Spider chart</i> per bilancio energetico zona giorno	243
Figura 684 - <i>Spider chart</i> per bilancio energetico zona giorno	243

Figura 685 - Fase preliminare del processo di progettazione al fuoco	247
Figura 686 - Macro-fase del processo di progettazione al fuoco.....	247
Figura 687 - Garantire la capacità portante delle strutture per un determinato periodo di tempo	248
Figura 688 - Limitare la produzione e la propagazione di fiamme e di fumi all'interno delle costruzioni	248
Figura 689 - Limitare la propagazione dell'incendio alle costruzioni vicine	248
Figura 690 - Consentire agli occupanti di potere abbandonare la costruzione o essere messi in salvo	248
Figura 691 - Prendere in considerazione la sicurezza delle squadre di soccorso	249
Figura 692 - Tipica evoluzione della temperatura in funzione del tempo durante lo sviluppo completo di un incendio	250
Figura 693 - Curve nominali	256
Figura 694 - Curve incendio reale e standard a confronto.....	256
Figura 695 - Comportamento al fuoco	258
Figura 696 - Curva t^2	261
Figura 697 - Curva potenza-temperatura detta t^2	261
Figura 698 - Determinazione del livello di prestazione minimo nei confronti della resistenza al fuoco.....	273
Figura 699 - Livelli di complessità della progettazione	275
Figura 700 - Procedure per l'effettuazione delle verifiche al fuoco (da Eurocodice EN1991-1-2).....	276
Figura 701 - Planimetria di progetto	285
Figura 702 - Planimetria di progetto con le modifiche antincendio	285
Figura 703 - Sezione di analisi	290
Figura 704 - Caratteristiche del vano e selezione della partizione	290
Figura 705 - Definizione dei materiali della partizione.....	290
Figura 706 - Definizione delle caratteristiche delle aperture.....	290
Figura 707 - Sezione di analisi	291
Figura 708 - Definizione dei valori secondo la EN 1991 -1 -2.....	291
Figura 709 - Definizione dei valori secondo la voce "User Defined Fire".....	291
Figura 710 - Comportamento del fuoco	292
Figura 711 - Definizione proprietà sezione acciaio.....	293
Figura 712 - Definizione temperatura del profilo metallico.....	293
Figura 713 - Definizione dei parametri dell'elemento in acciaio e della sua resistenza al fuoco.....	293
Figura 714 - Definizione proprietà sezione acciaio.....	294
Figura 715 - Definizione proprietà sezione acciaio.....	294
Figura 716 - Ambiente di simulazione	295
Figura 717 - Geometria del compartimento	295
Figura 718 - Flussi orizzontali attraverso le aperture	296
Figura 719 - Flussi verticali attraverso le aperture	296
Figura 720 - Flussi per ventilazione meccanica	297
Figura 721 - Progetto dell'incendio.....	297
Figura 722 - Sistemi di rilevamento e soppressione dell'incendio.....	298
Figura 723 - Lastra singola interna Stratobel 33.1 (3 mm Planibel Clear + 0.38 mm clear pvb + 3 mm Planibel Clear).....	305
Figura 724 - Lastra singola esterna vetro stratificato Stratobel Low-e 33.1 I-Top (Planibel Clear + Planibel I-Top).....	305
Figura 725 - Vetrocamera Stratobel 33.1 - 15 mm Argon 90% - Stratobel Low-e 33.1 I-Top (Planibel I-Top + Planibel Clear	306
Figura 726 - Lastra singola interna vetro temperato 6 mm Planibel Clear.....	307
Figura 727 - Lastra singola esterna vetro temperato 6 mm Planibel I - Top	308
Figura 728 - Vetrocamera temperato 6 mm Planibel Clear - 15 mm Argon 90% - 6 mm Planibel I – Top	308
Figura 729 - Foratura della superficie metallica in corrispondenza dell'intercapedine.....	310
Figura 730 - Sigillatura del foro	310
Figura 731 - I due vetrocamera con sonde applicate sulla superficie interna.....	310
Figura 732 - Vetrocamera con sonde applicate sulla superficie esterna.....	310
Figura 733 - Schermata di Labview 7.1	311
	20

Figura 734 - Preparazione strumenti di lavoro: computer, schermo grande, multimetro, alimentatore, condizionatore-amplificatore per termocoppie	311
Figura 735 - Termocoppia relativa al forno	311
Figura 736 - Disposizione delle termocoppie	311
Figura 737 - Disposizione del vetro sul forno.....	311
Figura 738 - Lanciafiamme in funzione.....	311
Figura 739 - Forno	312
Figura 740 - Forno con strutture anti-riflesso	312
Figura 741 - Grafico temperatura-tempo dei sensori di temperatura interni.....	312
Figura 742 - Grafico temperatura-tempo dei sensori di temperatura esterna	312
Figura 743 - Grafico temperatura-tempo dei sensori di temperatura interni.....	313
Figura 744 - Grafico temperatura-tempo dei sensori di temperatura esterna.....	313
Figura 745 - Grafico temperatura-tempo delle medie delle temperature interne ed esterne per il vetro stratificato	313
Figura 746 - Grafico temperatura-tempo delle medie delle temperature interne ed esterne per il vetro temperato	313
Figura 747 - Step 6 vetro stratificato, momento iniziale.....	313
Figura 748 - Step 81 vetro stratificato, si stacca la termocoppia 4	313
Figura 749 - Step 143 vetro stratificato, prima crepa nell'angolo in basso a sinistra	314
Figura 750 - Step 332 vetro stratificato, poco prima della rottura dello strato più esposto	314
Figura 751 - Step 343 vetro stratificato, rottura della prima lastra	314
Figura 752 - Step 507 vetro stratificato, poco prima della rottura della seconda lastra	314
Figura 753 - Step 512 vetro stratificato, rottura dell'ultima lastra	315
Figura 754 - Step 605 vetro stratificato, dopo aver spento l'incendio della pellicola PVB	315
Figura 755 - Step 18 vetro temperato, momento iniziale.....	315
Figura 756 - Step 29 vetro temperato, si stacca la termocoppia 2.....	315
Figura 757 - Step 117 vetro temperato, accensione della fiamma	316
Figura 758 - Step 356 vetro temperato, si stacca la termocoppia 4.....	316
Figura 759 - Step 449 vetro temperato, poco prima della rottura della prima lastra.....	316
Figura 760 - Step 459 vetro temperato, rottura della prima lastra	316
Figura 761 - Step 593 vetro temperato, poco prima della rottura della seconda lastra	317
Figura 762 - Step 603 vetro temperato, rottura della seconda lastra.....	317
Figura 763 - Temperatura dello strato caldo	319
Figura 764 - Temperatura dello strato freddo	319
Figura 765 - Altezza dello strato freddo	319
Figura 766 - Temperatura dello strato caldo	319
Figura 767 - Temperatura dello strato freddo	319
Figura 768 - Altezza dello strato freddo	319
Figura 769 - Temperatura dello strato caldo	319
Figura 770 - Temperatura dello strato freddo	319
Figura 771 - Altezza dello strato freddo	319
Figura 772 - Temperatura dello strato caldo	320
Figura 773 - Temperatura dello strato freddo	320
Figura 774 - Altezza dello strato freddo	320
Figura 775 - Temperatura dello strato caldo	320
Figura 776 - Temperatura dello strato freddo	320
Figura 777 - Altezza dello strato freddo	320
Figura 778 - Confronto fra temperature dello strato caldo.....	320
Figura 779 - Confronto fra temperature dello strato freddo.....	321
Figura 780 - Confronto fra altezze dello strato freddo.....	321
Figura 781 - Valutazioni dei casi rispetto all'indicatore	322
Figura 782 - Temperatura dello strato caldo	322
Figura 783 - Temperatura dello strato freddo	322

Figura 784 - Altezza dello strato freddo.....	322
Figura 785 - Temperatura dello strato caldo	323
Figura 786 - Temperatura dello strato freddo.....	323
Figura 787 - Altezza dello strato freddo.....	323
Figura 788 - Temperatura dello strato caldo	323
Figura 789 - Temperatura dello strato freddo.....	323
Figura 790 - Altezza dello strato freddo.....	323
Figura 791 - Temperatura dello strato caldo	323
Figura 792 - Temperatura dello strato freddo.....	323
Figura 793 - Altezza dello strato freddo.....	323
Figura 794 - Temperatura dello strato caldo	324
Figura 795 - Temperatura dello strato freddo.....	324
Figura 796 - Altezza dello strato freddo.....	324
Figura 797 - Confronto fra temperature dello strato caldo	324
Figura 798 - Confronto fra temperature dello strato freddo	324
Figura 799 - Confronto fra altezze dello strato freddo	325
Figura 800 - Valutazioni dei casi rispetto all'indicatore	325
Figura 801 - Temperatura dello strato caldo	326
Figura 802 - Temperatura dello strato freddo.....	326
Figura 803 - Altezza dello strato freddo.....	326
Figura 804 - Temperatura dello strato caldo	326
Figura 805 - Temperatura dello strato freddo.....	326
Figura 806 - Altezza dello strato freddo.....	326
Figura 807 - Temperatura dello strato caldo	326
Figura 808 - Temperatura dello strato freddo.....	326
Figura 809 - Altezza dello strato freddo.....	326
Figura 810 - Temperatura dello strato caldo	327
Figura 811 - Temperatura dello strato freddo.....	327
Figura 812 - Altezza dello strato freddo.....	327
Figura 813 - Temperatura dello strato caldo	327
Figura 814 - Temperatura dello strato freddo.....	327
Figura 815 - Altezza dello strato freddo.....	327
Figura 816 - Confronto fra temperature dello strato caldo	327
Figura 817 - Confronto fra temperature dello strato freddo	328
Figura 818 - Confronto fra altezze dello strato freddo	328
Figura 819 - Valutazioni dei casi rispetto all'indicatore	329
Figura 820 - Risultato della simulazione.....	329
Figura 821 - Temperatura dello strato caldo	329
Figura 822 - Temperatura dello strato freddo.....	329
Figura 823 - Altezza dello strato freddo.....	329
Figura 824 - Temperatura dello strato caldo	329
Figura 825 - Temperatura dello strato freddo.....	329
Figura 826 - Altezza dello strato freddo.....	329
Figura 827 - Temperatura dello strato caldo	330
Figura 828 - Temperatura dello strato freddo.....	330
Figura 829 - Altezza dello strato freddo.....	330
Figura 830 - Temperatura dello strato caldo	330
Figura 831 - Temperatura dello strato freddo.....	330
Figura 832 - Altezza dello strato freddo.....	330
Figura 833 - Temperatura dello strato caldo	330
Figura 834 - Temperatura dello strato freddo.....	330
Figura 835 - Altezza dello strato freddo.....	330
Figura 836 - Confronto fra temperature dello strato caldo	331

Figura 837 - Confronto fra temperature dello strato freddo.....	331
Figura 838 - Confronto fra altezze dello strato freddo.....	332
Figura 839 - Valutazioni dei casi rispetto all'indicatore.....	332
Figura 840 - Confronto temperature strato caldo caso 1.....	334
Figura 841 - Confronto temperature strato caldo caso 2.....	334
Figura 842 - Confronto temperature strato caldo caso 3.....	334
Figura 843 - Confronto temperature strato caldo opzione a.....	334
Figura 844 - Confronto temperature strato caldo opzione b.....	334
Figura 845 - Confronto temperature strato caldo opzione c.....	334
Figura 846 - Confronto temperature strato caldo caso 1a, variabile n.....	334
Figura 847 - Confronto temperature strato caldo caso 1c, variabile n.....	334
Figura 848 - Confronto temperature strato caldo caso 2a, variabile n.....	334
Figura 849 - Confronto temperature strato caldo caso 2c, variabile n.....	334
Figura 850 - Confronto temperature strato caldo caso 3a, variabile n.....	335
Figura 851 - Confronto temperature strato caldo caso 3c, variabile n.....	335
Figura 852 - Confronto temperature strato caldo caso 1c, variabile #.....	335
Figura 853 - Confronto temperature strato caldo caso 1c-n, variabile #.....	335
Figura 854 - Confronto altezze strato freddo caso 1.....	335
Figura 855 - Confronto altezze strato freddo caso 2.....	335
Figura 856 - Confronto altezze strato freddo caso 3.....	336
Figura 857 - Confronto altezze strato freddo opzione a.....	336
Figura 858 - Confronto altezze strato freddo opzione b.....	336
Figura 859 - Confronto altezze strato freddo opzione c.....	336
Figura 860 - Confronto altezze strato freddo caso 1a, variabile n.....	336
Figura 861 - Confronto altezze strato freddo caso 1c, variabile n.....	336
Figura 862 - Confronto altezze strato freddo caso 2a, variabile n.....	336
Figura 863 - Confronto altezze strato freddo caso 2c, variabile n.....	336
Figura 864 - Confronto altezze strato freddo caso 3a, variabile n.....	336
Figura 865 - Confronto altezze strato freddo caso 3c, variabile n.....	336
Figura 866 - Confronto altezze strato freddo caso 1c, variabile #.....	337
Figura 867 - Confronto altezze strato freddo caso 1c-n, variabile #.....	337
Figura 868 - Confronto temperature strato caldo caso 1.....	337
Figura 869 - Confronto temperature strato caldo caso 3.....	337
Figura 870 - Confronto temperature strato caldo opzione a.....	338
Figura 871 - Confronto temperature strato caldo opzione b.....	338
Figura 872 - Confronto temperature strato caldo opzione c.....	338
Figura 873 - Confronto temperature strato caldo caso 1a, variabile n.....	338
Figura 874 - Confronto temperature strato caldo caso 1c, variabile n.....	338
Figura 875 - Confronto temperature strato caldo caso 3a, variabile n.....	338
Figura 876 - Confronto temperature strato caldo caso 3c, variabile n.....	338
Figura 877 - Confronto altezze strato freddo caso 1.....	339
Figura 878 - Confronto altezze strato freddo caso 3.....	339
Figura 879 - Confronto altezze strato freddo opzione a.....	339
Figura 880 - Confronto altezze strato freddo opzione b.....	339
Figura 881 - Confronto altezze strato freddo opzione c.....	339
Figura 882 - Confronto altezze strato freddo caso 1a,variabile n.....	339
Figura 883 - Confronto altezze strato freddo caso 1c,variabile n.....	339
Figura 884 - Confronto altezze strato freddo caso 3a,variabile n.....	339
Figura 885 - Confronto altezze strato freddo caso 3c,variabile n.....	340
Figura 886 - OZone - Confronto temperature strato caldo, mensa.....	340
Figura 887 - OZone - Confronto temperature strato caldo, cucina.....	340
Figura 888 - OZone - Confronto temperature strato caldo, palestra.....	340
Figura 889 - OZone - Confronto temperature strato caldo, camera.....	340

Figura 890 - OZone - Confronto prestazioni, mensa.....	341
Figura 891 - OZone - Confronto prestazioni, cucina.....	341
Figura 892 - OZone - Confronto prestazioni, palestra.....	341
Figura 893 - OZone - Confronto prestazioni, camera.....	341
Figura 894 - Tavola progetto euristico e preliminare.....	351
Figura 895 - Tavola pianta piano primo e copertura.....	352
Figura 896 - Tavola prospetti e sezioni.....	353
Figura 897 - Tavola pianta piano terra con funzioni.....	354
Figura 898 - Tavola pianta impianto elettrico e pianta di riscaldamento.....	355
Figura 899 - Tavola pianta adeguamento norme antincendio e disabili.....	356
Figura 900 - Tavola dettaglio paramento murario.....	357
Figura 901 - Tavola esploso assonometrico.....	358
Figura 902 - Scheda generale del compartimento.....	359
Figura 903 - Definizione della parete 1.....	360
Figura 904 - Definizione della parete 2.....	360
Figura 905 - Definizione della parete 3.....	361
Figura 906 - Definizione del pavimento.....	361
Figura 907 - Definizione del soffitto.....	362
Figura 908 - Parametri per la simulazione.....	362
Figura 909 - Caratteristiche dell'incendio.....	363
Figura 910 - Risultato della simulazione.....	363
Figura 911 - Parametri per la simulazione.....	364
Figura 912 - Risultato della simulazione.....	364
Figura 913 - Definizione della parete 1.....	365
Figura 914 - Risultato della simulazione.....	365
Figura 915 - Definizione della parete 1.....	366
Figura 916 - Risultato della simulazione.....	366
Figura 917 - Definizione della parete 1.....	367
Figura 918 - Risultato della simulazione.....	367
Figura 919 - Scheda generale del compartimento.....	371
Figura 920 - Definizione della parete 1.....	371
Figura 921 - Definizione della parete 2.....	372
Figura 922 - Definizione del pavimento.....	372
Figura 923 - Definizione del soffitto.....	373
Figura 924 - Parametri per la simulazione.....	373
Figura 925 - Caratteristiche dell'incendio.....	374
Figura 926 - Risultato della simulazione.....	374
Figura 927 - Parametri per la simulazione.....	375
Figura 928 - Risultato della simulazione.....	375
Figura 929 - Definizione della parete 1.....	376
Figura 930 - Risultato della simulazione.....	376
Figura 931 - Definizione della parete 1.....	377
Figura 932 - Risultato della simulazione.....	377
Figura 933 - Definizione della parete 1.....	378
Figura 934 - Risultato della simulazione.....	378
Figura 935 - Scheda generale del compartimento.....	382
Figura 936 - Definizione della parete 1.....	382
Figura 937 - Definizione della parete 2.....	383
Figura 938 - Definizione della parete 3.....	383
Figura 939 - Definizione della parete 4.....	384
Figura 940 - Definizione del pavimento.....	384
Figura 941 - Definizione del soffitto.....	385
Figura 942 - Parametri per la simulazione.....	385

Figura 943 - Caratteristiche dell'incendio	386
Figura 944 - Risultato della simulazione	386
Figura 945 - Parametri per la simulazione	387
Figura 946 - Risultato della simulazione	387
Figura 947 - Definizione della parete 1	388
Figura 948 - Risultato della simulazione	388
Figura 949 - Definizione della parete 1	389
Figura 950 - Risultati della simulazione	389
Figura 951 - Definizione della parete 1	390
Figura 952 - Risultati della simulazione	390
Figura 953 - Scheda generale del compartimento	394
Figura 954 - Definizione della parete 1	394
Figura 955 - Definizione della parete 2	395
Figura 956 - Definizione della parete 3	395
Figura 957 - Definizione della parete 4	396
Figura 958 - Definizione del pavimento	396
Figura 959 - Definizione del soffitto	397
Figura 960 - Parametri per la simulazione	397
Figura 961 - Caratteristiche dell'incendio	398
Figura 962 - Risultato della simulazione	398
Figura 963 - Parametri per la simulazione	399
Figura 964 - Risultato della simulazione	399
Figura 965 - Definizione della parete 1	400
Figura 966 - Risultato della simulazione	400
Figura 967 - Definizione della parete 1	401
Figura 968 - Risultati della simulazione	401
Figura 969 - Definizione della parete 1	402
Figura 970 - Risultati della simulazione	402

Indice delle tabelle

Tabella 1 - Intervalli di tolleranza degli indici	49
Tabella 2 - Livelli di esposizione di luce annua	51
Tabella 3 - Valori consigliati di illuminamento dal Canada Labour Code, Part II	54
Tabella 4 - Valori di illuminamento consigliati tratti da German Norm , DIN 3035 part 2	54
Tabella 5 - Livelli di illuminamento consigliati tratti da IESNA Lighting Handbook , Ninth edition, Part III.....	55
Tabella 6 - Parametri di impostazione utilizzati (default) per Radiance	76
Tabella 7 - Intervalli di tolleranza degli indici	111
Tabella 8 - Parametri di abbagliamento per la mensa, 21 marzo.....	111
Tabella 9 - Parametri di abbagliamento per la mensa, 21 giugno.....	111
Tabella 10 - Parametri di abbagliamento per la mensa, 21 dicembre.....	111
Tabella 11 - Parametri di abbagliamento per la cucina, 21 marzo	112
Tabella 12 - Parametri di abbagliamento per la cucina, 21 giugno	112
Tabella 13 - Parametri di abbagliamento per la cucina, 21 dicembre.....	112
Tabella 14 - Parametri di abbagliamento per la palestra, 21 marzo.....	112
Tabella 15 - Parametri di abbagliamento per la palestra, 21 giugno	112
Tabella 16 - Parametri di abbagliamento per la palestra, 21 dicembre.....	112
Tabella 17 - Parametri di abbagliamento per la camera, 21 marzo	112
Tabella 18 - Parametri di abbagliamento per la camera, 21 giugno	112
Tabella 19 - Parametri di abbagliamento per la camera, 21 dicembre.....	112
Tabella 20 - Configurazioni per l'ombreggiamento	118
Tabella 21 - Intervalli di tolleranza degli indici	162
Tabella 22 - Parametri di abbagliamento per la mensa, 21 marzo.....	162
Tabella 23 - Parametri di abbagliamento per la mensa, 21 giugno.....	162
Tabella 24 - Parametri di abbagliamento per la mensa, 21 dicembre.....	162
Tabella 25 - Parametri di abbagliamento per la cucina, 21 marzo t	163
Tabella 26 - Parametri di abbagliamento per la cucina, 21 giugno	163
Tabella 27 - Parametri di abbagliamento per la cucina, 21 dicembre.....	163
Tabella 28 - Parametri di abbagliamento per la palestra, 21 marzo.....	163
Tabella 29 - Parametri di abbagliamento per la palestra, 21 giugno	163
Tabella 30 - Parametri di abbagliamento per la palestra, 21 dicembre.....	163
Tabella 31 - Parametri di abbagliamento per la camera, 21 marzo	164
Tabella 32 - Parametri di abbagliamento per la camera, 21 giugno	164
Tabella 33 - Parametri di abbagliamento per la camera, 21 dicembre.....	164
Tabella 34 - Intervalli di tolleranza degli indici	186
Tabella 35 - Parametri di abbagliamento per la mensa, 21 marzo.....	187
Tabella 36 - Parametri di abbagliamento per la mensa, 21 giugno.....	187
Tabella 37 - Parametri di abbagliamento per la mensa, 21 dicembre.....	187
Tabella 38 - Parametri di abbagliamento per la mensa, prova 2, 21 marzo.....	187
Tabella 39 - Parametri di abbagliamento per la mensa, prova 2, 21 giugno.....	187
Tabella 40 - Parametri di abbagliamento per la mensa, prova 2, 21 dicembre.....	187
Tabella 41 - Parametri di abbagliamento per la mensa, prova 3, 21 marzo.....	187
Tabella 42 - Parametri di abbagliamento per la mensa, prova 3, 21 giugno.....	187
Tabella 43 - Parametri di abbagliamento per la mensa, prova 3, 21 dicembre.....	187
Tabella 44 - Intervalli di tolleranza degli indici	195
Tabella 45 - Parametri di abbagliamento per la mensa, prova 4, 21 marzo.....	195
Tabella 46 - Parametri di abbagliamento per la mensa, prova 4, 21 giugno.....	195
Tabella 47 - Parametri di abbagliamento per la mensa, prova 4, 21 dicembre.....	195
Tabella 48 - Caratteristiche delle superfici.....	201
Tabella 49 - Caratteristiche delle lampade	201
Tabella 50 - Risultati illuminotecnici	201
Tabella 51 - Illuminamenti	203

Tabella 52 - Riassunto analisi Radiance e Evalglare mensa	205
Tabella 53 - Riassunto analisi Radiance e Evalglare cucina	206
Tabella 54 - Riassunto analisi Radiance e Evalglare palestra	207
Tabella 55 - Riassunto analisi Radiance e Evalglare palestra	208
Tabella 56 - Intervalli di tolleranza degli indici	208
Tabella 57 - Riassunto analisi Daysim	208
Tabella 58 - Confronto illuminazione naturale mensa	209
Tabella 59 - Confronto illuminazione naturale cucina	209
Tabella 60 - Confronto illuminazione naturale palestra	209
Tabella 61 - Confronto illuminazione naturale camera	209
Tabella 62 - Fattore di correzione $b_{tr,x}$	220
Tabella 63 - Fattore di correzione $b_{tr,g}$	220
Tabella 64 - Fattore di correzione del volume lordo climatizzato	221
Tabella 65 - Maggiorazioni percentuali relative alla presenza dei ponti termici [%]	222
Tabella 66 - Dati convenzioni relativi all'utenza	223
Tabella 67 - Valori tipici di trasmittanza energetica solare totale per i tipi comuni di vetrata	224
Tabella 68 - Fattore di correzione parziale per ombreggiatura dovuta ad ostruzioni esterne, F_h	225
Tabella 69 - Fattore di correzione parziale per ombreggiatura dovuta agli aggetti orizzontali, F_o	226
Tabella 70 - Fattore di correzione parziale per ombreggiatura dovuta agli aggetti verticali, F_f	226
Tabella 71 - Spessore massimo per il calcolo della capacità termica interna	229
Tabella 72 - Capacità termica per unità di superficie di involucro [KJ/(m ² K)]	230
Tabella 73 - Dati pacchetto murario di progetto	235
Tabella 74 - Stratigrafia pacchetto murario di progetto	235
Tabella 75 - Dati pacchetto murario alternativo	235
Tabella 76 - Stratigrafia pacchetto murario alternativo	236
Tabella 77 - Dati pacchetto murario con isolamento interno	236
Tabella 78 - Stratigrafia pacchetto murario con isolamento interno	236
Tabella 79 - Dati parete interna	237
Tabella 80 - Stratigrafia parete interna	237
Tabella 81 - Dati solaio contro terra	237
Tabella 82 - Stratigrafia solaio contro terra	238
Tabella 83 - Dati tetto	238
Tabella 84 - Stratigrafia tetto	238
Tabella 85 - Dati soffitto	238
Tabella 86 - Stratigrafia soffitto	239
Tabella 87 - Domanda di energia per riscaldamento per la zona giorno. Limite Ep_i : 40,14 kW/m ²	240
Tabella 88 - Domanda di energia per riscaldamento per la zona notte. Limite Ep_i : 29,02 kW/m ²	240
Tabella 89 - Domanda di energia per raffrescamento per la zona giorno. Limite Ep_e : 10 kW/m ³	241
Tabella 90 - Domanda di energia per raffrescamento per la zona notte. Limite Ep_e : 10 kW/m ³	241
Tabella 91 - Confronto fra le opzioni per la zona giorno	242
Tabella 92 - Confronto fra le opzioni per la zona notte	242
Tabella 93 - Requisiti essenziali per le costruzioni	249
Tabella 94 - Sequenza di esodo e parametri da verificare	251
Tabella 95 - Parametri che influenzano il tempo di reazione	251
Tabella 96 - Azioni delle misure di protezione nelle varie fasi di un incendio	254
Tabella 97 - Resistenza REI riferita ai serramenti porta	255
Tabella 98 - Carichi d'incendio ammissibili	260
Tabella 99 - Requisiti essenziali applicabili alle opere e suscettibili di influenzare le caratteristiche tecniche di un prodotto (fonte: direttiva 89/106/CEE sui prodotti da costruzione)	265
Tabella 100 - Livelli di prestazione	267
Tabella 101 - Classi di capacità portante in funzione del carico d'incendio	269
Tabella 102 - Valori caratteristico di q_k per le diverse attività con (1) =valori molto variabili con lo specifico tipo di ufficio o attività da calcolare volta per volta	270

Tabella 103 - Scelta estintori per locali	282
Tabella 104 - Superficie protetta per un estintore	282
Tabella 105 - Impianti secondo il numero degli ospiti	283
Tabella 106 - Scheda tecnica lastra singola interna vetro stratificato Stratobel 33.1 (3 mm Planibel Clear + 0.38 mm clear pvb + 3 mm Planibel Clear).....	305
Tabella 107 - Scheda tecnica lastra singola esterna vetro stratificato Stratobel Low-e 33.1 I-Top (Planibel Clear + Planibel I-Top)	306
Tabella 108 - Scheda tecnica vetrocamera Stratobel 33.1 - 15 mm Argon 90% - Stratobel Low-e 33.1 I-Top (Planibel I-Top + Planibel Clear)	307
Tabella 109 - Scheda tecnica lastra singola interna vetro temperato 6 mm Planibel Clear	308
Tabella 110 - Scheda tecnica lastra singola esterna vetro temperato 6 mm Planibel I - Top	308
Tabella 111 - Scheda tecnica vetrocamera 6 mm Planibel Clear - 15 mm Argon 90% - 6 mm Planibel I - Top	309
Tabella 112 - Tabella delle valutazioni dei casi rispetto all'indicatore	322
Tabella 113 - Valutazioni dei casi rispetto all'indicatore.....	325
Tabella 114 - Valutazioni dei casi rispetto all'indicatore.....	328
Tabella 115 - Valutazioni dei casi rispetto all'indicatore.....	332
Tabella 116 - Confronto delle temperature dello strato caldo	370
Tabella 117 - Confronto delle temperature dello strato freddo	368
Tabella 118 - Confronto delle altezze dello strato freddo	368
Tabella 119 - Confronto delle temperature dello strato caldo	381
Tabella 120 - Confronto delle temperature dello strato freddo	379
Tabella 121 - Confronto delle altezze dello strato freddo	379
Tabella 122 - Confronto delle temperature dello strato caldo	393
Tabella 123 - Confronto delle temperature dello strato freddo	391
Tabella 124 - Confronto delle altezze dello strato freddo	391
Tabella 125 - Confronto delle temperature dello strato caldo	405
Tabella 126 - Confronto delle temperature dello strato freddo	403
Tabella 127 - Confronto delle altezze dello strato freddo	403
Tabella 128 - Confronto fra i comportamenti nel caso 1	409
Tabella 129 - Confronto fra i comportamenti nel caso 2	409
Tabella 130 - Confronto fra i comportamenti nel caso 3	412
Tabella 131 - Confronto temperature strato caldo caso 1, variabile #	412
Tabella 132 - Confronto fra i comportamenti nel caso 1	416
Tabella 133 - Confronto fra i comportamenti nel caso 2	416
Tabella 134 - Confronto fra i comportamenti nel caso 3	419
Tabella 135 - Confronto altezze strato freddo caso 1, variabile #	419
Tabella 136 - Confronto fra i comportamenti nel caso 1	423
Tabella 137 - Confronto fra i comportamenti nel caso 3	423
Tabella 138 - Confronto fra i comportamenti nel caso 1	426
Tabella 139 - Confronto fra i comportamenti nel caso 3	426

Abstract

Questa tesi sviluppa analisi sulla luce naturale di ambienti confinati con diversi orientamenti, appartenenti a una residenza sanitaria assistenziale. Dopo aver rilevato le problematiche del progetto relative a scarsa illuminazione o abbagliamento sono state proposte delle modifiche migliorative, verificabili con software innovativi, ancora in fase di sperimentazione.

Il tema del benessere visivo è stato affiancato da quello termico, che generalmente assume uno spazio rilevante per stabilire il buon esito del progetto.

I casi analizzati sono stati valutati anche sotto l'aspetto della sicurezza in caso di incendio, tramite software specialistici che verificano le diversità di comportamento in questo caso eccezionale fra le opzioni proposte, al fine di valutare se soluzioni ottimali secondo i risultati illuminotecnici ed energetici, siano tali anche in caso di incendio.

1. Introduzione

Negli ultimi anni l'approccio alla progettazione si è notevolmente evoluto. Il termine sostenibilità ha messo radici nel campo dell'architettura e dell'ingegneria: temi come il risparmio energetico, l'uso razionale delle risorse, il ciclo di vita dell'edificio, il regionalismo, il riciclo, sono diventati comuni.

Progettare non significa solo soddisfare le esigenze dell'utente, ma tenere in considerazione anche la salute delle persone e dell'ambiente. Il benessere è legato a fattori fisici e psicologici; la luce influenza entrambi. Pur soddisfacendo le normative sull'argomento, non sempre si è certi di aver evitato problemi di scarsa illuminazione o di abbagliamento, che causano *discomfort* o malessere. La tesi si propone di analizzare a livello illuminotecnico le soluzioni elaborate nel progetto del Laboratorio di Costruzioni del quinto anno. È stato utilizzato come campione di studio quattro stanze, la mensa, la cucina, la palestra e la camera di una residenza sanitaria assistenziale localizzata a Cagliari. Tramite la prima analisi, è stato possibile individuare delle migliorie al progetto iniziale, andando a verificare di volta in volta le scelte operabili.

Il benessere abbraccia anche l'ambito energetico. Le opzioni scaturite dalle analisi sulla luce naturale sono state messe a confronto per capire se la migliore a livello illuminotecnico coincideva anche con una miglior prestazione termica.

Un altro requisito che assume sempre più importanza, dal punto di vista dell'ottimizzazione di un progetto, è quello della sicurezza. Essa coinvolge la resistenza e la stabilità della struttura, che deve essere prevista anche in situazioni eccezionali, come gli incendi. È stato quindi interessante cercare di valutare l'influenza che scelte progettuali di pacchetti murari o la variazione delle dimensioni delle finestre (proposte in fase di analisi sulla luce naturale) possono avere durante un incendio, per salvaguardare la sicurezza delle persone. Il quesito al quale si è cercato di rispondere è quindi se soluzioni valide per il benessere visivo e termico, sono da considerarsi tali anche in caso di calamità come l'incendio.

Il lavoro affronta quindi gli aspetti legati al benessere visivo, alla prestazione termica e alla sicurezza, svolgendo un'analisi di dettaglio su queste problematiche.

1.1. Strategia di analisi illuminotecnica

Sono stati studiati vari parametri illuminotecnici negli ambienti confinati con diverse caratteristiche di illuminazione e orientamenti differenti. A tal scopo sono stati utilizzati vari software: *Ecotect*, *Radiance*, *Evalglare*, *Daysim*. Il seguente schema illustra il procedimento adottato.

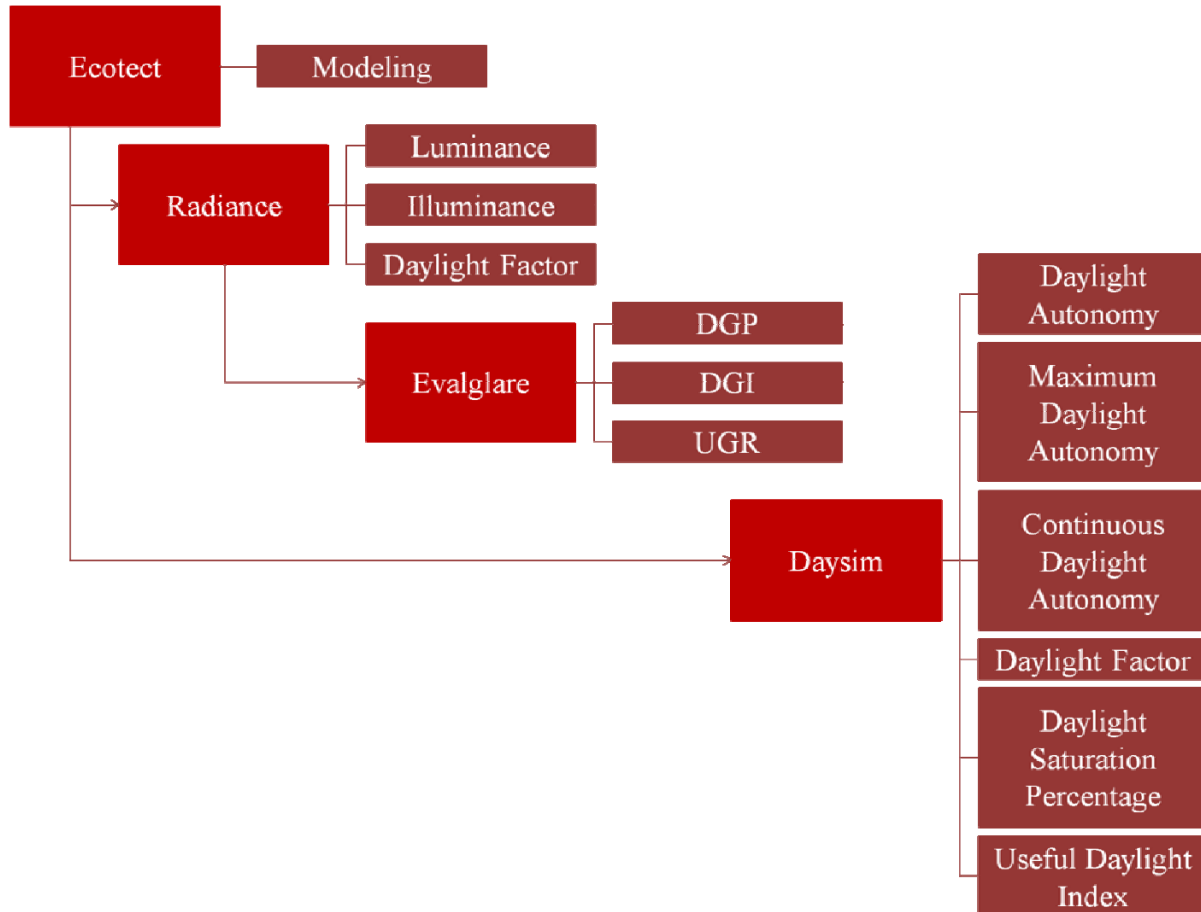


Figura 1 - Schema del procedimento per le simulazioni sulla luce naturale

1.2. Strategia di analisi energetica

Le varie modifiche apportate al progetto di base sono state analizzate anche nell'ambito del bilancio energetico, per valutare se una scelta migliorativa dal punto di vista illuminotecnico o degli scenari di incendio, si confermasse tale anche a livello termico. Un file Excel basato sulle norme ISO 13370, ISO 13789, ISO 13790, è stato utilizzato per calcolare parametri utili allo scopo.

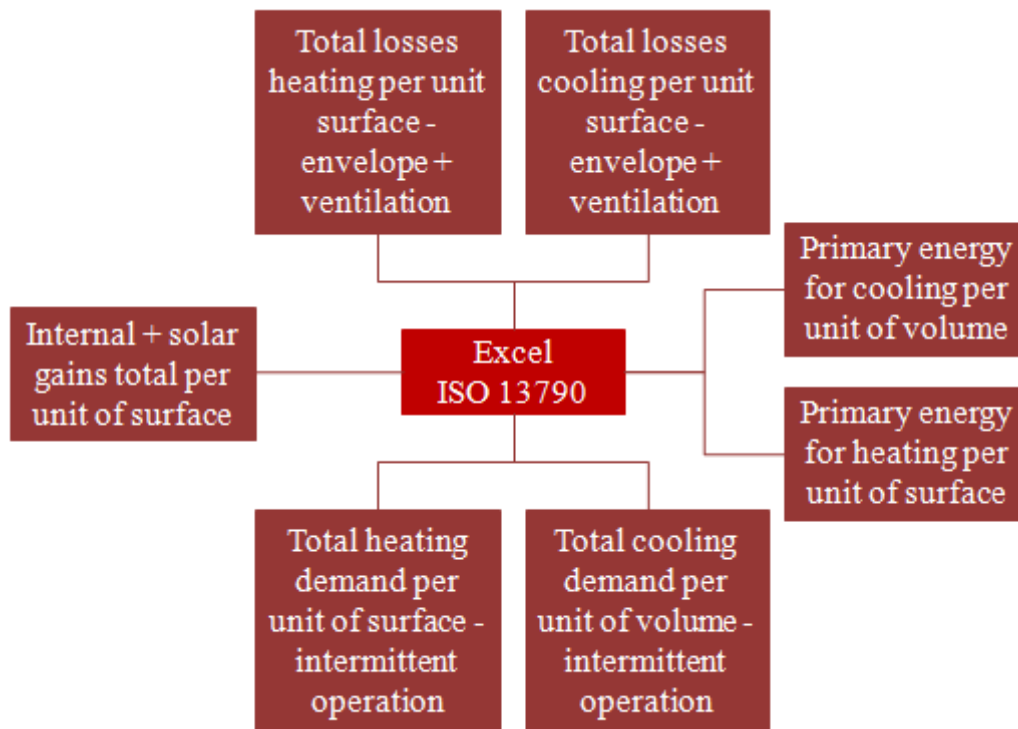


Figura 2 - Schema del procedimento per il calcolo del bilancio energetico

1.3. Strategia di analisi sugli scenari di incendio

Per gli scenari di incendio abbiamo proceduto in parallelo con OZone e CFast, prendendo in esame inizialmente la singola stanza e successivamente i collegamenti con quelle attigue per comprendere lo sviluppo e la diffusione dei fumi.

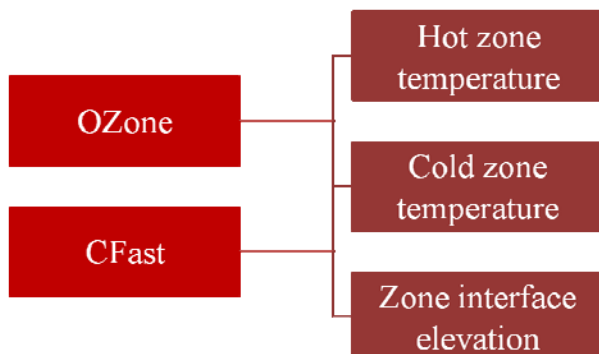


Figura 3 - Schema del procedimento per le simulazioni sugli incendi

2. Caso studio - Presentazione del progetto per una RSA

2.1. Inquadramento generale

Il Parco Nazionale Molentargius, si trova nella provincia di Cagliari, ad est del capoluogo sardo. Questo territorio è situato nel sud della Sardegna, nella regione del Campidano, un territorio pianeggiante che si estende dalla città di Cagliari fino ad Oristano. Intorno al parco gravitano le città di Cagliari, Monserrato, Selargius, Quartucciu e Quartu S. Elena, che col loro sviluppo urbano dal forte abusivismo edilizio ne minacciano i confini. Nonostante il parco rientri all'interno del vincolo paesaggistico, poco si sta facendo per la sua immagine e salvaguardia; un degrado diffuso e le numerose discariche ne rovinano indubbiamente l'immagine, ma soprattutto l'ecosistema stesso.

Il progetto che ci ha resi partecipi durante il corso studi è derivato da un sopralluogo iniziale, verificatosi molto utile. Durante il periodo di permanenza, abbiamo avuto modo di apprezzare e analizzare l'area di progetto da noi successivamente sviluppata e proposta. Essa è servita da due arterie viarie principali, Via del Sale e Via is Arenas e si colloca nei pressi del complesso Rollone, lungo il canale che collega le saline di Quartu S. Elena al Molentargius.

Il progetto prevede la realizzazione di un edificio di due piani, con una superficie coperta di 2680 mq, destinato a residenza sanitaria assistenziale RSA per sessanta ospiti, da realizzarsi in un unico corpo di fabbrica. La vicinanza dell'Ospedale Marino, specializzato nella cura delle malattie che interessano l'apparato scheletrico, ci ha permesso di ipotizzare una funzione che possa colmare l'esigenza di una struttura riabilitativa/post-degenza.

2.2. Le residenze sanitarie assistenziali

Le residenze sanitarie assistenziali, che vengono identificate con l'acronimo RSA, introdotte in Italia a metà degli anni Novanta, sono strutture non ospedaliere, ma comunque a impronta sanitaria, che ospitano per un periodo variabile da poche settimane a qualche anno persone non autosufficienti, anziani e non, con esiti di patologie, fisiche, psichiche, sensoriali o miste, non curabili a domicilio, e che necessitano di specifiche cure mediche di più specialisti e di una articolata assistenza sanitaria.

Le RSA offrono un livello medio di assistenza medica, infermieristica e riabilitativa, accompagnata da un livello "alto" di assistenza tutelare ed alberghiera, modulate in base al modello assistenziale adottato dalle Regioni e Province autonome. Il personale operante all'interno della struttura è composto da: coordinatore socio-sanitario, infermiere professionale, fisioterapista, animatore-educatore, addetti all'assistenza, logopedista, assistente sociale, psicologo, medico di base e medici specialisti.

Le RSA si distinguono dagli ospedali e dalle case di cura, rivolti ai pazienti sofferenti di una patologia "acuta", e dalle case di riposo, destinate agli anziani almeno parzialmente autosufficienti.

Possono diversificarsi a seconda della tipologia degli ospiti, della valenza assistenziale e del modello organizzativo in RSA di base e RSA di cura e recupero. Le RSA di base possono ospitare persone non autosufficienti con limitazioni di autonomia di ogni genere (fisiche, mentali e sociali) non assistibili a domicilio. Le RSA di cura e recupero si rivolgono alla stessa tipologia di utenza che richiede assistenza sanitaria e riabilitativa continue e, comunque, non tali da consentire il ricovero ospedaliero.

Sono gestite da enti pubblici o privati che offrono ospitalità, prestazioni sanitarie e assistenziali, aiuto nel recupero funzionale e nell'inserimento sociale e prevenzione delle principali patologie croniche. Tipicamente, in una RSA vengono garantite: l'assistenza medica e infermieristica, l'assistenza

riabilitativa, l'aiuto per lo svolgimento delle attività quotidiane, l'attività di animazione e socializzazione, le prestazioni alberghiere, di ristorante, di lavanderia, di pulizia.

Per richiederne l'accesso, è necessario rivolgersi alla ASL territorialmente competente o al Servizio sociale del Comune di residenza, per avere riconosciuta la condizione di non autosufficienza.

Le spese, stabilite dagli enti che gestiscono le residenze sanitarie assistenziali in accordi con il Comune, sono in parte a carico del Servizio sanitario nazionale, in parte a carico del Comune e in parte a carico dell'utente e, in base alla normativa di alcune Regioni, anche del coniuge e dei parenti in linea retta entro il primo grado, laddove l'utente non sia in grado di provvedere al pagamento.

Le RSA sono strutture che offrono anche servizi di animazione e coinvolgimento delle persone presenti. Sono da prevedere: ospitalità permanenti, di sollievo alla famiglia non superiori ai 30 giorni, di completamento di cicli riabilitativi eventualmente iniziati in altri presidi del S.S.N.

2.2.1. Requisiti minimi strutturali e tecnologici

Capacità recettiva non inferiore a 20 e non superiore, in via eccezionale, a 120 posti articolata in nuclei da 10-20 soggetti. L'organizzazione per moduli consente di accogliere, nella stessa RSA, gruppi di ospiti con problematiche diverse, senza determinare interferenze e salvaguardando le esigenze di riservatezza. Inoltre tale forma di organizzazione consente di realizzare un impiego più razionale delle risorse e del personale.

L'area destinata alla residenzialità costituisce lo spazio in cui il paziente, soprattutto se non autosufficiente, trascorre la maggior parte del suo tempo. Si compone di:

- camere da 1, 2, 3, 4 letti; all'interno di ogni camera deve essere garantita la privacy di ogni singolo ospite e l'accesso ed il movimento di carrozzine;
- servizi igienici attrezzati per la non-autosufficienza;
- ambulatorio-medicheria;
- locale controllo personale con servizi igienici annessi;
- cucina attrezzata;
- spazi soggiorno/gioco-TV/spazio collettivo;
- armadi per biancheria pulita;
- locale deposito biancheria sporca;
- locale per vuotatoio e lavapadelle;
- locale deposito per attrezzature, carrozzine e materiale di consumo, ecc.;
- attrezzature particolarmente adattate ad ospiti non deambulanti e non autosufficienti (letti, materassi e cuscini antidecubito, ecc.).

Area destinata alla valutazione e alle terapie:

- locali e attrezzature per prestazioni ambulatoriali e per valutazioni specifiche;
- area destinata all'erogazione delle attività specifiche di riabilitazione;
- locali e palestra con attrezzature per le specifiche attività riabilitative previste.

Area di socializzazione: questa area raggruppa gli spazi destinati alle attività comuni e alle relazioni sociali tra gli ospiti della RSA appartenenti ai diversi nuclei e tra gli ospiti interni e gli ospiti esterni del centro. Sono presenti:

- angolo bar;
- sale e soggiorni polivalenti;
- locale per servizi all'ospite;
- servizi igienici.

Aree generali di supporto: sono aree volte allo smistamento dei materiali o al deposito/raccolta (atrio, portineria, uffici amministrativi etc.). Si prevedono:

- ingresso con portineria, posta e telefono;
- uffici amministrativi;
- cucina dispensa e locali accessori (se non appaltate all'esterno);
- lavanderia e stireria (se non appaltate all'esterno);
- magazzini;
- camera ardente;
- depositi pulito e sporco.

2.2.2. Requisiti minimi organizzativi

La RSA deve utilizzare un modello organizzativo che, anche attraverso l'integrazione con i servizi territoriali delle Unità sanitarie locali, garantisca:

- valutazione multidimensionale attraverso appositi strumenti validati dei problemi/bisogni sanitari, cognitivi, psicologici e sociali dell'ospite al momento dell'ammissione e periodicamente;
- stesura di un piano di assistenza individualizzato corrispondente ai problemi/bisogni identificati;
- lavoro degli operatori deputati all'assistenza secondo le modalità e le logiche dell'équipe interdisciplinare;
- raccolta dei dati delle singole valutazioni multidimensionali tale da permettere il controllo continuo delle attività della RSA;
- coinvolgimento della famiglia dell'ospite;
- personale medico, infermieristico, di assistenza alla persona, di riabilitazione e di assistenza sociale in relazione alle dimensioni e alla tipologia delle prestazioni erogate.

Per la definizione puntuale dei requisiti strutturali, tecnologici e organizzativi relativi alle Residenze Sanitarie Assistenziali, si rinvia a quanto previsto nei provvedimenti di Giunta Regionale: D.G.R. n. 38-16335 del 29.6.1992, D.G.R. n. 41-42433 del 9.1.1995, D.G.R. n. 203-14027 del 18.11.1996, D.G.R. n. 133-17379 del 10.3.1997.

2.3. Articolazione del progetto

L'edificio soddisfa gli standard minimi qualitativi concernenti la realizzazione di Residenze Sanitarie Assistenziali individuati all'interno del D.P.R. del 14 gennaio 1997.

Il progetto ha previsto una serie di operazioni preliminari di carattere programmatico che si possono sintetizzare in tre fasi principali:

- uno studio degli schemi funzionali e distributivi dell'edificio;
- un'analisi delle attività svolte dagli utenti e dal personale all'interno di ciascuna area che consenta, alla luce dei vincoli e dei requisiti specifici del sistema di gestione della struttura, un corretto dimensionamento e un'adeguata distribuzione degli ambienti e degli spazi di servizio;
- una verifica della conformità degli spazi progettati ai requisiti tecnici e ambientali che garantiscono uno svolgimento funzionale delle attività e una ottimale fruibilità dell'edificio.

Sulla base di queste riflessioni è stato possibile definire la dimensione, i caratteri distributivi e la configurazione planimetrica delle aree funzionali.

L'edificio è stato suddiviso in aree funzionali che si basano sulla sostanziale analogia che caratterizza le destinazioni d'uso e i modelli di fruizione degli spazi appartenenti a ciascuna area.

- Area destinata alla residenzialità: all'interno di questo nucleo abbiamo inserito spazi privati e semi-privati (zona giorno e zona notte) per garantire contemporaneamente requisiti di privacy e socializzazione.
- Area di socializzazione (centro servizi di vita collettiva): in ogni nucleo sono stati inseriti spazi soggiorno-gioco cercando di distribuire la superficie in diversi ambienti.
- Area destinata alla valutazione e alle terapie (servizi sanitari): è stata garantita la presenza di spazi per attività ambulatoriali, ginniche e di terapia riabilitativa. Per quanto riguarda la zona riabilitativa si è cercato di prevedere un rapporto anche visivo con l'esterno, trattandosi di un luogo non di cura ma di riabilitazione.
- Aree generali di supporto (servizi generali e locali ausiliari)
- Aree generali di supporto fuori standard (servizi integrativi): le aree di servizio fuori standard offrono un supporto generale, servizi opzionali la cui presenza dipende dall'organizzazione della RSA, dal numero degli ospiti, dall'ubicazione dell'edificio, dalla presenza di servizi territoriali aggiuntivi etc. Nel nostro progetto si è provveduto all'inserimento di un parrucchiere, servizio bar e terrazze ricreative.

Successivamente alla configurazione planimetrica delle Aree Funzionali si è passati ad analizzare e individuare quei piccoli spazi che la compongono e che vengono chiamati: unità SPAZIALI (US). L'unità spaziale corrisponde a un ambiente unitario - o a una parte di uno spazio caratterizzato da un'articolazione complessa - nel quale si svolgono attività compatibili e strettamente relazionate tra loro.

Le informazioni riguardo le caratteristiche principali delle varie US riguardano in particolare:

- il tipo di attività e le caratteristiche degli utenti che utilizzano l'US;
- i requisiti ambientali e le dotazioni di attrezzature e arredi necessari al corretto svolgimento delle attività o dei servizi
- i criteri di dimensionamento che ne garantiscono la funzionalità e la conformità allo standard previsto dal decreto;
- le principali relazioni di carattere funzionale e distributivo con le altre unità spaziali dalle quali dipende la corretta localizzazione dell'US nello schema distributivo dell'edificio.

2.3.1. Caratteristiche delle opere edili

Le fondazioni sono di tipo diretto su plinti in calcestruzzo armato.

La struttura verticale è composta da travi e pilastri in acciaio dimensionati secondo i calcoli statici. I volumi scale, ascensore e montacarichi sono realizzati in cemento armato. Le murature sono composte da uno strato di intonaco interno di spessore 1,5 cm, mattoni forati di dimensioni 30x25x25 cm, pannello isolante in polistirene estruso spesso 8 cm, alloggiato fra un telaio metallico di montanti e trasversi che sostengono pannelli di corian di spessore 12 mm. Interposta fra i montanti e il rivestimento si trova una intercapedine d'aria di spessore 7 cm.

Le strutture orizzontali sono costituite da solai in lamiera grecata (altezza 7,5 cm) con cappa in calcestruzzo alta 5 cm e rete elettrosaldata, pannello in polistirene estruso di 6 cm, strato di separazione in polietilene 0,2 mm, massetto in calcestruzzo alleggerito 6 cm, malta di allettamento 2 cm, pavimentazione in linoleum 4 mm.

La partizione interna è costituita da tramezze dello spessore complessivo di 15 cm così realizzate: due pannelli in cartongesso di spessore (1+1,5) cm, isolamento in polistirene estruso di 10 cm, due pannelli in cartongesso di spessore (1,5+1) cm.

La copertura è realizzata con la giustapposizione dei seguenti strati: solaio in lamiera grecata (altezza 7,5 cm) con cappa in calcestruzzo alta 5 cm e rete elettrosaldata, barriera al vapore, pannello in polistirene estruso di 6 cm, strato di separazione in polietilene 0,2 mm, massetto in calcestruzzo alleggerito 6 cm con pendenza 2%, manto impermeabile di 4 mm di spessore, pavimentazione in quadrotti di calcestruzzo spessi 1,6 cm, poggiati su distanziatori in plastica.

Le scale, i pianerottoli, le soglie, lo sbarco dell'ascensore, i pavimenti e gli zoccoli sono in linoleum ad eccezione dei servizi igienici, dei balconi/terrazzi e del locale tecnologico che sono rivestiti in ceramica.

Le pareti sono tutte rifinite con tonalità di pittura chiara, ad esclusione dei servizi igienici e della cucina che in aggiunta hanno un rivestimento in piastrelle per un'altezza di 150 cm.

Le porte interne sono costituite da ante, composte da pannelli tamburati a nido d'ape riquadrati in massello di legno di dimensioni variabili a seconda dei locali.

I serramenti esterni sono in profili di alluminio anodizzato, con vetri del tipo vetrocamera fissi.

I bagni e la cucina sono dotati di canna di sfiato (nella cucina tubazione per sfiato cappa aspirante). I bagni saranno provvisti di aspirazione dinamica atta a garantire 15 ricambi all'ora come previsto dalle vigenti norme sanitarie. I parapetti dei balconi, della terrazza e le protezioni sono realizzate con strutture in vetro antisfondamento su telaio metallico.

L'impianto di riscaldamento concorre ad assicurare l'idoneo grado di benessere ai degenti e al personale; il sistema è ad acqua calda (termosifone), a circolazione meccanica, con radiatori a elementi lisci.

La fognatura di collegamento acque bianche e nere è collegata al collettore comunale, dotata di braga sifone ispezione e pozzetto prelievo campioni. Gli scarichi sono in pvc e sono divisi in due reti (acque bianche e acque nere). Le colonne verticali per wc e gli scarichi lavabi sono in pvc. I servizi igienici sono provvisti di apparecchiature e rubinetterie.

Sono presenti due ascensori e un montacarichi ad azionamento oleodinamico. La cabina ascensori ha dimensioni 150x150 cm, due fermate; il montacarichi ha dimensioni 250x300 cm, due fermate.

L'impianto elettrico ha origine da appositi quadri generali da cui si dipartono le linee montanti atte ad alimentare i quadri secondari di distribuzione, sia per luce sia per prese motrici, una linea indipendente per l'alimentazione dei motori degli ascensori, altre linee indipendenti per i motori della centrale termica, della lavanderia, della cucina. Saranno perciò da distinguere i circuiti per l'illuminazione e i circuiti per forza motrice a corrente alternata monofase da 230 V e a corrente trifase.

2.3.2. Requisiti per l'accessibilità

Il progetto rispetta le prescrizioni tecniche delineate nei requisiti espressi dal Decreto ministeriale 14 giugno 1989, n. 236 del ministero dei lavori Pubblici, dal D.P.R. del 14 gennaio 1997 ART 4 e D.P.R. 384/78.

2.3.2.1. Accessi e percorsi orizzontali

Il progetto tiene in considerazione un fattore importante: l'accessibilità. Sono stati studiati percorsi e collegamenti che garantiscano un facile utilizzo da parte di persone con ridotte capacità motorie o

sensoriali per raggiungere l'edificio e le sue singole unità immobiliari, entrarvi agevolmente e fruirne spazi e attrezzature in condizioni di adeguata sicurezza e autonomia.

2.3.2.2. Infissi e porte

Le porte partono da una luce netta minima di 85 cm e la maniglia è posta a un'altezza di 90 cm.

I corridoi e i passaggi rispettano una larghezza minima di 150 cm. L'anta mobile deve poter essere usata esercitando una pressione non superiore a 8 kg. L'altezza delle maniglie o dispositivo di comando è compresa tra 100 e 130 cm.

Nelle finestre ogni spigolo dell'anta apribile è opportunamente sagomato per non causare infortuni. Le ante mobili degli infissi esterni devono poter essere usate esercitando una pressione non superiore a 8 kg.

2.3.2.3. Locali igienici

I servizi igienici sono stati dotati di antibagno o comunque si affacciano su un disimpegno. Sono stati dimensionati moduli 180x180 cm, che permettano quindi l'utilizzo da parte di portatori di handicap.

Il WC è posto nella parte opposta all'accesso. L'asse della tazza è stato posto ad una distanza minima di 140 cm dalla parete laterale sinistra e ad una distanza minima di 40 cm dalla parete laterale destra.

Il piano lavabo, del tipo a mensola, deve essere posto ad un'altezza di 80 cm dal pavimento. Le tubazioni di carico e scarico dell'acqua devono essere sotto traccia per evitare ingombri sotto il lavabo. La rubinetteria deve avere il comando a leva.

Si è previsto un corrimano orizzontale continuo fissato lungo l'intero perimetro del locale (escluso lo spazio interessato dal lavabo e dalla porta), fissato all'altezza di 80 cm dal pavimento e ad una distanza di 5 cm dalla parete.

2.3.2.4. Terminali degli impianti

I quadri generali, gli apparecchi elettrici, le valvole e i rubinetti di arresto delle varie utenze, i regolatori di impianti di riscaldamento e di condizionamento sono posti ad una altezza compresa tra i 40 e i 140 cm.

2.3.2.5. Loggia e terrazzo

Il parapetto ha una altezza di 110 cm.

2.3.2.6. Scale

Le rampe di scale che costituiscono parte comune e le scale di emergenza hanno una larghezza di 1,30 m. I gradini sono caratterizzati da un'alzata di 17 cm e una pedata di 30 cm, mentre il parapetto che costituisce la difesa verso il vuoto ha un'altezza minima di 110 cm.

2.3.2.7. Ascensori e montacarichi

Cabina ascensore di 1,50 x 1,50 m avente porta con luce minima di 0,80 m.

Montacarichi di 2,5 x 3,00 m avente porta con luce minima di 2,20 m.

La bottoniera di comando interna ed esterna deve avere i pulsanti a una altezza massima compresa tra 1,10 e 1,40 m. Nell'interno della cabina, oltre il campanello di allarme, deve essere posto un citofono ad altezza compresa tra 1,10 m e 1,30 m.

3. Luce

La luce è energia radiante elettromagnetica che l'occhio umano è in grado di percepire. Il dibattito sulla sua natura si riconduce a due teorie, quella ondulatoria e quella corpuscolare. La prima, presentata da Maxwell, consiste in "onde" che si propagano in campi di energia elettrica e magnetica e che viaggiano in modo uniforme in tutte le direzioni. La luce deve essere considerata come vibrazione perpendicolare alla direzione dello spostamento, la cosiddetta direzione trasversale. La seconda, proposta da Einstein, afferma che l'energia, in un fascio luminoso, viaggia nello spazio sotto forma di "pacchetti", i fotoni, che si comportano come particelle di energia. Tali fotoni, dal greco "*phos*" che significa luce, in fisica sono una particella elementare, un quanto della radiazione elettromagnetica. Le onde luminose hanno diverse dimensioni, che vengono misurate in lunghezza d'onda, cioè la distanza fra una cresta e la successiva. L'altezza dell'onda rispetto al valor medio è chiamata ampiezza. Il numero di oscillazioni complete compiute in un secondo è chiamato frequenza, espressa in cicli al secondo, *hertz* (Hz). Le lunghezze d'onda di una radiazione elettromagnetica vanno dal miliardesimo di metro (onde gamma) al centimetro e al metro (onde radio). Con il termine luce, dal latino *lux*, ci si riferisce alla porzione di spettro elettromagnetico visibile dall'occhio umano, con lunghezza d'onda compresa tra i 380 nm¹ e i 780 nm.

La quantità di energia in un'onda luminosa è proporzionalmente correlata alla sua lunghezza d'onda. Nella luce visibile, il violetto è dotato della maggiore energia e il rosso della minore.

La luce è prodotta da elettroni energizzanti che orbitano attorno al nucleo di ciascun atomo. Intorno a ciascun atomo orbita un numero preciso di elettroni. Un elettrone segue una sua orbita naturale, ma se l'atomo viene energizzato, i suoi elettroni possono essere spostati su orbite superiori. Un fotone di luce viene prodotto quando un elettrone in una posizione orbitale più alta del normale ricade nella sua orbita abituale. Durante questa "caduta", l'elettrone emette un fotone, un pacchetto di energia, con specifiche caratteristiche. Il fotone ha una banda d'onda, o colore, esattamente corrispondente alla distanza coperta durante la caduta.

A ciascuna lunghezza d'onda della radiazione visibile il sistema visivo attribuisce un colore; la luce di una radiazione costituita da un'unica lunghezza d'onda viene detta monocromatica.

Il modo più comune per energizzare gli atomi è con il calore: il ferro riscaldato diventa incandescente di un colore rosso acceso perché per ottenere il colore rosso serve una minor quantità di energia. Se si continua a scaldarlo si raggiungerà il colore bianco, cioè si saranno energizzati abbastanza elettroni da creare tutti i colori dello spettro che formano la luce bianca.

La luce "bianca" emessa dal sole è una miscela di tutte le lunghezze d'onda dello spettro visibile e contiene anche radiazioni del campo infrarosso e ultravioletto.

Riusciamo a vedere i colori in due modi diversi: un oggetto emette direttamente onde luminose nella frequenza del colore osservato o può assorbire tutte le altre frequenze, facendo riflettere sul nostro occhio solo l'onda luminosa, o la combinazione di onde luminose, che appaiono sotto forma del colore osservato.

Le principali grandezze misurabili riferite alla luce sono:

- flusso luminoso
- intensità luminosa
- tonalità o temperatura
- luminosità

¹ 1 nm = 10⁻⁹ m

- illuminamento.

La luce e tutte le altre radiazioni elettromagnetiche si propagano nel vuoto lungo linee rette e alla stessa velocità c , indipendente dalla lunghezza d'onda. Nell'attraversamento di un mezzo, come l'aria o il vetro, la velocità di propagazione è inferiore a quella nel vuoto (diminuisce al crescere della densità del mezzo) e la frequenza rimane costante. Il passaggio da un mezzo a un altro dà luogo ad una modifica delle caratteristiche cromatiche della luce. La luce, come tutte le onde elettromagnetiche, interagisce con la materia. Quando un'onda luminosa incide su di una superficie, essa si divide in tre componenti: un'onda riflessa, un'onda trasmessa ed un'onda assorbita. Nel caso della luce, se il corpo su cui incide l'onda luminosa è opaco, la componente trasmessa risulta nulla, quindi si avranno solo componenti di riflessione e assorbimento. I fenomeni che più comunemente influenzano o impediscono la trasmissione della luce attraverso la materia sono:

- l'assorbimento
- la diffusione
- la riflessione
- la rifrazione
- la diffrazione.

La luce assorbita da un materiale viene convertita in un'altra forma di energia, il calore, oppure si trasforma in radiazione con differente lunghezza d'onda (fluorescenza) o in energia elettrica (fotocellule) o in energia chimica (fotosintesi). La percentuale di luce assorbita dipende sia dall'angolo di incidenza (minore è l'angolo formato con la perpendicolare alla superficie, più grande è l'assorbimento) sia dal colore della luce.

Quando la luce colpisce la superficie di un solido o di un liquido, una parte di essa, fra l'1 per il velluto nero e più del 90% per l'alluminio o la pittura bianca, viene riflessa. Il fattore di riflessione può assumere valori non uguali in tutti i punti della superficie e in genere è funzione dell'angolo d'incidenza della radiazione luminosa, per cui si fa il più delle volte riferimento al suo valor medio. Di solito la riflettenza, o fattore di riflessione, di una superficie non è la stessa per tutti i colori dello spettro. La riflessione può essere regolare o speculare nelle superfici lucide, diffusa nelle superfici perfettamente diffondenti (matte), mista nelle superfici semilucide. Quando la riflessione è speculare un singolo raggio incidente produce un singolo raggio riflesso; la rugosità di una superficie può determinare una riflessione diffusa in cui il raggio è riflesso in tutte le direzioni; quando la riflessione diffusa ha una componente dominante nella direzione speculare, la riflessione è detta mista (su superfici dipinte e carta lucida).

La rifrazione è un fenomeno nel quale un raggio di luce, passante da un mezzo ad un altro di densità ottica diversa e con angolo diverso dalla perpendicolare alla superficie di separazione fra i due mezzi, si spezza. Le proprietà di rifrazione di un mezzo sono espresse dall'indice di rifrazione, definito come rapporto fra la velocità della luce nel vuoto e la velocità nel mezzo in questione; esso varia con la lunghezza d'onda. La luce che attraverso una superficie liscia passa in un secondo mezzo di propagazione subisce un cambiamento di direzione.

Il fenomeno della diffrazione si presenta ogni volta che la luce incontra un ostacolo o un'apertura di dimensioni paragonabili alla sua lunghezza d'onda. L'effetto della diffrazione è quello di allargare il fascio di luce originario dando origine a figure di interferenza caratterizzate da una serie di massimi di intensità luminosa decrescente (massimo principale e massimi secondari); i massimi naturalmente si alternano con i minimi. La diffrazione, che è stato un fenomeno tipico delle perturbazioni che possono essere descritte mediante un modello ondulatorio e storicamente è stato, assieme all'interferenza, uno degli esperimenti che hanno portato formulare la teoria ondulatoria della luce proprio per poter dare una giustificazione analitica a questo effetto sperimentale.

Il principio di funzionamento dell'occhio è molto simile a quello di una macchina fotografica: contiene una lente (il cristallino) che rimanda alla superficie posteriore interna (la retina) un'immagine ridotta e capovolta di un oggetto distante. La messa a fuoco però non avviene cambiando la distanza tra il cristallino e la retina, ma cambiando lo spessore della lente, connessa ai muscoli ciliari che ne modificano la convessità. Dietro la cornea e prima del cristallino c'è una corona circolare detta iride, al cui centro si trova la pupilla, con la stessa funzione del diaframma nella macchina fotografica, quella di controllare la quantità di luce in ingresso. La retina è costituita da più di cento milioni di combinazioni nervose dette bastoncelli e coni. I primi sono molto sensibili alla luce e responsabili della percezione della forma e del movimento; i secondi distinguono i colori e ci permettono di distinguere il dettaglio delle immagini. La sensibilità dell'occhio alle diverse lunghezze d'onda non è uniforme e differisce a seconda che si tratti di visione fotopica o scotopica². L'intervallo di lunghezza d'onda di massima sensibilità dell'occhio coincide con quello di massima emissione di radiazione solare.

3.1. Abbagliamento

L'abbagliamento è una condizione che genera fastidio e riduce la capacità di distinguere gli oggetti in conseguenza di una distribuzione o di un livello inadeguati della luminanza o di contrasti eccessivi nel campo visivo. Tale contrasto può essere creato da una intensità luminosa troppo elevata della sorgente o dall'inserimento di una fonte di luce con luminanza notevolmente maggiore della media delle sorgenti reali o apparenti presenti nel campo in osservazione; esso crea una perdita temporanea della visibilità.

La CIE³ definisce l'abbagliamento come "condizione di visione in cui si crea disagio (discomfort) o riduzione della capacità di percepire i dettagli di un oggetto in seguito all'inadeguata distribuzione o direzione della luce o ad eccessivo contrasto". Dipende dalla dimensione, posizione e luminanza della sorgente, nonché dal livello di luminanza a cui l'occhio dell'osservatore è abituato e dal numero di sorgenti. L'indice di abbagliamento, parametro correntemente utilizzato per la verifica del fenomeno, è pari a dieci volte il logaritmo in base dieci della costante di abbagliamento; esso rimane in pratica costante data la luminanza del cielo ed il coefficiente medio di riflessione luminosa delle pareti dell'ambiente, assunta una dimensione della superficie vetrata superiore al 2% dell'area della stanza.

Esistono due metodi per descrivere la frontiera che separa la zona del disagio visivo, da quella dell'abbagliamento vero e proprio: indicare la luminanza massima, che può assumere la sorgente abbagliante presente nel campo visivo, oppure fornire l'indice massimo di abbagliamento.

Il primo metodo è consigliato per la verifica in opera, mentre il secondo per studi di progetto; in ogni modo, si può ritenere con buona approssimazione, che il fenomeno dell'abbagliamento da luce naturale sia intimamente legato quasi unicamente alla luminanza della porzione di cielo inquadrata dalla finestra. In generale, secondo dati sperimentali, si ha che la visione diretta del cielo da un ambiente dotato di vetri normali comincia a produrre disagio quando la luminanza del cielo supera gli 8900 cd/m²; tale valore equivale ad un illuminamento orizzontale da parte dell'intera volta celeste pari a

² Quando il punto di messa a fuoco è perfettamente rappresentato a colori dai coni, mentre la visione periferica non produce un'immagine di dettaglio, ma permette una percezione generale, la visione è detta fotopica. Quando c'è poca luce e i coni non possono attivarsi, l'immagine è a bassa definizione e senza colori, la visione è detta scotopica.

³ *Commissione Internationale de l'Eclairage* è un'organizzazione no-profit scientifica e culturale che ha come obiettivi quello di fornire un forum internazionale, una guida nell'applicazione dei principi, pubblicare indicazioni e relazioni nel campo della luce e dell'illuminazione.

28000 lux, senza considerare ovviamente la presenza di irraggiamento diretto del sole. L'abbagliamento è ovviato controllando la luce diretta, evitando che colpisca gli occupanti dell'ambiente e riducendo l'effettiva luminanza dei vetri.

Si possono distinguere vari tipi di abbagliamento:

Abbagliamento debilitante (*disability glare*): disagio visivo che provoca un peggioramento istantaneo delle funzioni dell'apparato oculare, impedendo la sensibilità a cogliere i contrasti.

Abbagliamento di disagio o psicologico (*discomfort glare*): tipo di abbagliamento più riscontrabile negli interni e che determina una sensazione di disagio soggettivo di origine non ben identificato e di conseguenza non facilmente misurabile. Esso avviene qualora alcune condizioni di illuminazione, in apparenza soddisfacenti, producono con il tempo un disagio soggettivo. La CIE lo definisce "abbagliamento che produce una sensazione sgradevole senza necessariamente impedire la visione".

Abbagliamento diretto: fenomeno provocato da sorgenti luminose naturali ed artificiali agenti sull'ambiente visivo, nel quale l'immagine della sorgente abbagliante cade nella zona centrale di massima sensibilità della retina (area foveale), creando il maggior disturbo.

Abbagliamento indiretto: fenomeno provocato quando la luminanza che disturba cade al di fuori della fovea, per questo motivo è meno percettibile ma può dare in ogni caso luogo a stanchezza e disturbi alla visione.

Abbagliamento per contrasto: abbagliamento dovuto ad un forte contrasto fra le luminosità delle superfici presenti all'interno del campo visivo.

Abbagliamento per saturazione: abbagliamento dovuto all'eccessiva luminosità della sorgente luminosa.

Abbagliamento riflesso: l'abbagliamento da luce riflessa è prodotto dalla riflessione di oggetti luminosi, soprattutto se l'immagine appare nella direzione dell'oggetto osservato o vicino a essa; secondo le prescrizioni della norma UNI 10380, l'abbagliamento riflesso può essere valutato mediante il fattore di resa del contrasto CFR⁴.

3.2. Grandezze fotometriche

Di seguito si riportano alcune nozioni sulle grandezze illuminotecniche che sono state considerate.

3.2.1. Luminanza / *Luminance*

La luminanza è l'intensità luminosa per l'unità di area emessa da una superficie in una data direzione. Si definisce come il rapporto fra l'intensità luminosa dI nella direzione data di un elemento infinitamente piccolo dA della superficie e l'area della proiezione ortogonale di questo elemento sul piano perpendicolare alla direzione considerata

$$L = \frac{dI}{dA \cos\theta}$$

La luminanza calcolata con l'espressione

⁴ Esprime il rapporto fra il contrasto esistente per un determinato compito visivo e un contrasto assunto come riferimento. Pur fornendone la definizione e le modalità di misura, sono tuttora in corso studi per semplificare il calcolo del CRF al fine di poterlo considerare a tutti gli effetti un parametro di progetto.

$$L = \frac{I}{A \cos\theta}$$

indica il valore esatto in una direzione per ciascun punto all'interno dell'area A non infinitamente piccola, se l'area totale possiede una luminanza uniforme; altrimenti indica il valore medio nella direzione considerata per tutti i punti all'interno dell'area.

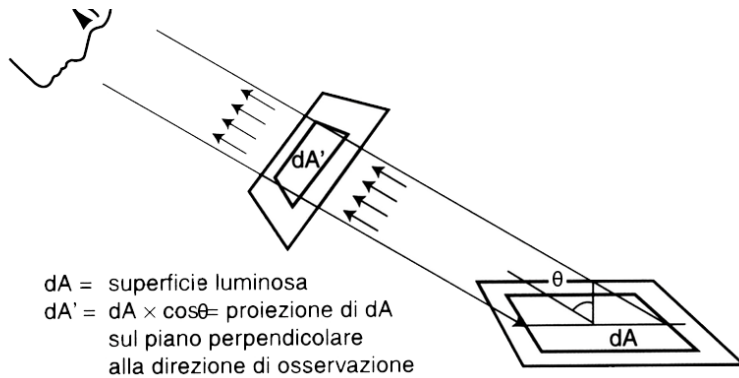


Figura 4 - Luminanza

La luminanza si può anche definire come il rapporto tra l'intensità luminosa proveniente da una superficie luminosa in una data direzione e l'area apparente di quella superficie. Per area apparente si intende la proiezione di qualsiasi area della superficie in oggetto su un piano perpendicolare alla direzione di vista. L'unità di misura della luminanza è la candela per metro quadro⁵ (cd/m^2), chiamata anche *nit*. La luminanza è uguale all'unità quando una sorgente luminosa di superficie apparente di 1 m^2 emette con un'intensità di una candela.

Alcuni valori di luminanza sono ad esempio per il sole $2.300.000.000 \text{ cd}/\text{m}^2$, per il bulbo di una lampada ad incandescenza con vetro opale $50.000 \text{ cd}/\text{m}^2$, per la neve al sole $25.000 \text{ cd}/\text{m}^2$, per una lampada fluorescente $6.000\text{-}8.000 \text{ cd}/\text{m}^2$, per la luna piena $4.000 \text{ cd}/\text{m}^2$, per uno schermo di computer $200 \text{ cd}/\text{m}^2$, per un foglio di carta con normale illuminazione da studio $120 \text{ cd}/\text{m}^2$, per la superficie stradale con illuminazione stradale $0,5\text{-}2 \text{ cd}/\text{m}^2$...

3.2.2. Illuminamento / Illuminance

L'illuminamento E in un punto di una superficie si definisce come il rapporto fra il flusso luminoso $d\phi$ incidente su un elemento infinitamente piccolo della superficie che contiene il punto e l'area dA di questo elemento

$$E = \frac{d\phi}{dA}$$

$E = \frac{\Phi}{A}$ dà il valore esatto dell'illuminamento per tutti i punti all'interno dell'area A di dimensioni finite se il flusso luminoso ϕ è distribuito uniformemente sulla superficie; diversamente, il rapporto indica il valore medio per tutti i punti che ricadono all'interno dell'area.

⁵ Altra unità usata negli USA è il *footlambert* ($1 \text{ footlambert} = 3,426 \text{ cd}/\text{m}^2$)

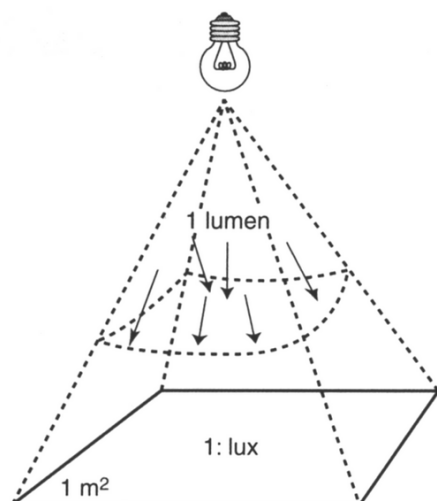


Figura 5 - Illuminamento

L'unità di misura dell'illuminamento è il lux⁶ (lm/m²). Un illuminamento è pari a 1 lux se un flusso luminoso uniformemente distribuito di 1 lumen cade su un'area di 1 m².

Il livello di illuminamento richiesto sulla scrivania di lavoro di un ufficio è fra i 300 e i 500 lux.

3.2.3. Fattore di luce diurna / Daylight Factor (DF)

Il fattore di luce diurna è definito come il rapporto fra l'illuminamento misurato nel punto esaminato dell'ambiente e l'illuminamento misurato all'esterno su una superficie orizzontale che vede l'intera volta celeste senza ostruzioni; la luce solare diretta si esclude da entrambe le misure. Di solito il fattore di luce diurna si esprime in percentuale ed è un indicatore della luminosità di un ambiente.

Convenzionalmente, per il calcolo del fattore di illuminazione diurna, si usa porre come valore di illuminamento esterno di riferimento 5000 lux, che deriva da valutazioni eseguite per paesi nord-europei. Per i paesi mediterranei il valore di riferimento da prendere è più alto.

Esistono diversi metodi per valutare, in prima approssimazione, il fattore di luce diurna di un ambiente; per ambienti illuminati da finestre il calcolo si esegue di solito in tre passi:

- stima della componente cielo: la componente di fattore di luce diurna dovuta alla luce che arriva direttamente dal cielo;
- stima della componente esterna riflessa: la componente di fattore di luce diurna dovuta alla luce ricevuta dopo essere stata riflessa da superfici esterne alla stanza;
- calcolo del fattore di luce diurna vero e proprio, che si ottiene dalla somma delle due componenti, corretta per tenere conto delle perdite dovute ai vetri, all'infisso, ecc, e dei guadagni dovuti alle riflessioni interne.

Il calcolo avviene nell'ipotesi di cielo coperto standard CIE e si sviluppa mediante l'espressione⁷

$$FLD = \frac{\sum_{i=1}^n A_{f,i} \tau_i q_i \psi_i}{S_{tot} (1 - \rho_m)}$$

dove

⁶ Altra unità, non raccomandata dalla CIE ma spesso ancora usata in USA, è il *footcandle* (1 footcandle = 10,764 lux).

⁷ Dalla circolare ministeriale sui lavori pubblici n.° 3151, del 22/5/1967

n è il numero di finestre;

$A_{f,i}$ è l'area della superficie vetrata della finestra i -esima (m^2);

τ_i è il fattore di trasmissione del vetro della finestra i -esima;

S_{tot} è l'area totale delle superfici interne che delimitano l'ambiente (m^2);

ρ_m è il fattore di riflessione medio delle superfici interne

$$\rho_m = \frac{\sum_j S_j \rho_j}{S_{tot}}$$

dove S_j e ρ_j rappresentano rispettivamente l'area e il fattore di riflessione della j -esima superficie che delimita l'ambiente;

q è il fattore finestra: rapporto fra l'illuminamento E_f nel baricentro della finestra e l'illuminamento E_e che si ha nello stesso istante in un punto posto su una superficie orizzontale esterna esposta in modo tale da ricevere la luce dall'intera volta celeste in condizioni di cielo coperto

$$q = \frac{E_f}{E_e}$$

$q = 1$ per superfici orizzontali prive di ostruzioni

$q = 0,5$ per superfici verticali prive di ostruzioni

$q < 0,5$ per superfici verticali in presenza di ostruzioni

Ψ è il fattore di riduzione del fattore finestra tiene conto della posizione della superficie vetrata rispetto al filo della facciata.

Il fattore di luce diurna per spazi dedicati all'uso didattico o laboratori è del 3% e potrebbe essere preso come riferimento anche per gli uffici.

Come già detto in precedenza, il fattore di luce diurna è definito come il rapporto fra l'illuminamento misurato nel punto esaminato dell'ambiente e l'illuminamento misurato all'esterno su una superficie orizzontale che vede la volta celeste senza ostruzioni. La maggiore limitazione del fattore di luce diurna è che l'orientamento dell'edificio in esame non influenza il valore poiché il *CIE reference sky* non dipende dalla posizione geografica. Inoltre il cielo nuvoloso CIE tende a sottostimare l'illuminamento vicino all'orizzonte. Nonostante questo, il fattore di luce diurna è largamente utilizzato e dà un'idea sulla luminosità dell'interno di un ambiente. Poiché è basato su una singola condizione di cielo, la sua credibilità per giudicare l'intera situazione di luminosità in un dato edificio è intrinsecamente limitata.

*British Standards Institution*⁸, *BS 8206 part 2* prescrive che:

- se non si usa normalmente l'illuminazione elettrica durante il giorno, il fattore di luce diurna medio non deve essere minore del 5%;
- se si usa normalmente l'illuminazione elettrica durante le ore diurne, il valore medio del fattore di luce diurna non deve essere minore del 2% se si vuole una apparenza prevalentemente illuminata. Una recente indagine svolta su sedici edifici in Gran Bretagna ha scoperto che la soddisfazione per la luce diurna era massimizzata per valori medi fra il 2 e il 5% sebbene i livelli di soddisfazione variassero fra gli uffici con la stessa media del fattore di

⁸ BSI è uno dei leader mondiali nella promozione, definizione e attuazione delle migliori pratiche in tutti i campi di attività delle imprese: dalla business *continuity* alla sicurezza e igiene alimentare.

luce diurna, indicando che sono importanti altri elementi di progetto come l'orientamento e l'efficacia degli oscuramenti.

*Leadership in Energy & Environmental Design*⁹ (LEED 2.1): il sistema di punteggio per edifici verdi per nuove costruzioni e lavori di ristrutturazione dell'*US Green Building Council* dà un punto di credito se il fattore di illuminazione diurna minimo del 2% è raggiunto nel 75% di tutto lo spazio occupato per compiti visivi critici.

3.2.4. Probabilità di abbagliamento da luce diurna / Daylight Glare Probability (DGP)

La probabilità di abbagliamento da luce diurna è un indicatore che, come affermano gli stessi autori¹⁰, è basato sulla probabilità che il soggetto provi la sensazione di fastidio da abbagliamento, anziché sulla misura o quantificazione del fenomeno. Tale probabilità è strettamente correlata all'illuminamento verticale in corrispondenza dell'occhio dell'osservatore. Inoltre, gli autori abbinano ai test misure in campo con l'uso di una *CCD camera*¹¹, al fine di determinare correlazioni tra i valori delle luminanze nel campo di vista e le sensazioni di *discomfort* dei soggetti esaminati.

I calcoli per ottenerlo sono divisi in due parti:

1. misure di calcolo da abbagliamento tipico;
2. porzioni basate solamente sull'illuminamento totale per l'occhio.

Le fonti di abbagliamento sono individuate dal quoziente di contrasto, così sono considerate la luce solare diretta e le riflessioni speculari. La misurazione è molto attenta e le condizioni di valutazione dell'utente derivano da due esperimenti diversi.

$$DGP = 5,87 \times 10^{-5} E_v + 9,18 \times 10^{-5} \log_{10} \left(1 + \sum_{i=1}^n \frac{L_{si}^2 \omega_{si}}{E_v^{1,87} \times P_i^2} \right)$$

dove:

n è il numero di finestre;

E_v è l'illuminamento sulla verticale;

⁹ Il LEED è un programma di certificazione volontaria che può essere applicato a qualsiasi tipo di edificio (sia commerciale che residenziale) e concerne tutto il ciclo di vita dell'edificio stesso, dalla progettazione alla costruzione. LEED promuove un approccio orientato alla sostenibilità, riconoscendo le prestazioni degli edifici in settori chiave, quali il risparmio energetico ed idrico, la riduzione delle emissioni di CO₂, il miglioramento della qualità ecologica degli interni, i materiali e le risorse impiegati, il progetto e la scelta del sito. Sviluppato dalla *U.S. Green Building Council* (USGBC), il sistema si basa sull'attribuzione di 'crediti' per ciascun requisito. La somma dei crediti costituisce il livello di certificazione: da certificazione Base a Platino. GBC ITALIA (*Green Building Council* Italia), è l'organismo promosso dalla società consortile Distretto Tecnologico Trentino, che ha introdotto lo standard LEED nel nostro paese, a partire da aprile 2010. Aderiscono all'iniziativa enti pubblici, realtà industriali e del mondo della ricerca.

¹⁰ J. Wienold, J. Christoffersen, *Evaluation methods and development of a new glare prediction model for daylight environments with the use of CCD cameras*; 38; 2006; 743-757; Energy and Buildings

¹¹ *Charge Coupled Device*, Dispositivo ad Accoppiamento di Carica. Il CCD è un dispositivo caratterizzato da una matrice di microscopiche regioni di forma quadra o rettangolare, disposte a scacchiera sulla superficie di un cristallo di silicio, opportunamente trattato e integrato in un dispositivo (oggi abbastanza complesso) comunemente denominato microchip.

L_{si} è la luminanza della sorgente abbagliante (cd/m^2);

ω_{si} è l'angolo solido rispetto all'occhio dell'osservatore (sr);

P_i è l'indice di posizione dell' i -esima parte della fonte di abbagliamento.

3.2.5. Indice di abbagliamento da luce diurna / Daylight Glare Index (DGI)

Sviluppato da Hopkinson e Cornell nel 1972, basato sul recente lavoro per l'abbagliamento da apparecchi con fonti di luce realizzato al BRE¹², è il primo indice che considera fonti di abbagliamento larghe: il cielo visto attraverso la finestra.

Sono state pubblicate valutazioni degli utenti e condizioni dei test. La luce solare diretta e le riflessioni di solito non sono prese in considerazione ma possono essere comprese.

$$DGI = 10 \times \log_{10} 0,48 \sum_{i=1}^n \frac{L_{si}^{1,6} \Omega_{pos.si}^{0,8}}{L_b + (0,07 \omega_{si}^{0,5} L_w)}$$

dove:

n è il numero di finestre;

L_{si} è la luminanza della sorgente abbagliante (cd/m^2);

L_b è la luminanza media delle superfici interne dell'ambiente che rientrano nel campo di vista dell'osservatore (cd/m^2);

L_w è la luminanza media dell'intera finestra, ponderata rispetto alle aree relative di cielo, ostruzioni e terreno (cd/m^2);

ω_{si} è l'angolo solido rispetto all'occhio dell'osservatore (sr);

$\Omega_{pos.si}$ è l'angolo solido modificato in funzione dell'asse di vista dell'osservatore, al variare dell'Indice di Posizione "P" (sr) (Guth 1963):

$$\Omega = \int \frac{d\omega_{si}}{P^2}$$

La valutazione del DGI risulta non molto semplice ed immediata, sia per la determinazione dei parametri geometrici che compaiono nella relazione che lo definisce, in particolare angolo solido e indice di posizione, sia per la determinazione dei valori di luminanza percepiti dall'osservatore, che peraltro va eseguita nel minor tempo possibile, data la variabilità della sorgente naturale. Inoltre, la sorgente può essere suddivisa in elementi considerati a luminanza uniforme, ma si è verificato che il tipo di suddivisione influisce in maniera significativa sul risultato finale¹³.

La sua applicabilità, in particolare a sorgenti con livelli di luminanza disomogenei, però, presenta alcuni limiti ed alcune difficoltà che la ricerca ha tentato di superare, proponendo altri indici come il

¹² *Building Research Station*, più tardi detta *Building Research Establishment*, un gruppo di esperti nel campo della ricerca e consulenza nel settore delle costruzioni, ambientale e non solo.

¹³ L. Bellia, A. Cesarano, G. Spada, *Application of videophotometer in the evaluation of DGI in scholastic environment. International Journal on Architectural Science*, Vol. 6, 2, pp.82-88, 2005

PGSV (*Predicted Glare Sansation Value*¹⁴), o il *J-Index*¹⁵, quest'ultimo applicabile in ambienti in cui sono presenti videotermini.

3.2.6. Voto di abbagliamento unificato / Unified Glare Rating (UGR)

L'UGR è un indice unificato in campo internazionale, sviluppato dalla CIE nel 1995, per la determinazione dell'abbagliamento diretto relativamente ad ogni specifica applicazione. Attraverso questo indice valuta l'abbagliamento di tipo molesto in un determinato ambiente. È introdotto dalla norma per l'illuminazione degli interni UNI EN 12464-1 a sostituzione della classe di qualità G della vecchia norma UNI 10380, che impiegava le curve limite di luminanza o diagramma di Sollner.

Il valore dell'UGR dipende dalla disposizione degli apparecchi illuminanti, dalle caratteristiche dell'ambiente (dimensioni, indici di riflessione) e dal punto di osservazione degli operatori che si troveranno all'interno dello spazio in questione. Oscilla tra valori da 10 (nessun abbagliamento) a 30 (abbagliamento fisiologico considerevole) secondo una scala di 3 unità (10, 13, 16, 19, 22, 25 e 28). Naturalmente più sarà basso il valore e minore sarà l'abbagliamento diretto. Il fattore UGR tiene conto della luminanza di sfondo dell'ambiente e quindi soffitto e pareti, e della somma dell'effetto di abbagliamento di ciascun apparecchio all'interno dello spazio, rispetto naturalmente a una posizione tipica dell'osservatore.

È una semplificazione del CGI adesso preferita dal CIE che rende superflua la separazione fra l'illuminamento diretto e diffuso. Non sono date discussioni sui metodi dei test o sulle condizioni di origine.

$$UGR = 8 \times \log_{10} \frac{0,25}{L_b} \sum_{i=1}^n \frac{L_{si}^2 \omega_{si}}{P^2}$$

dove:

n è il numero di finestre;

L_b è la luminanza media delle superfici interne dell'ambiente che rientrano nel campo di vista dell'osservatore (cd/m^2);

L_{si} è la luminanza della sorgente abbagliante (cd/m^2);

¹⁴ Il PGSV (*Predicted Glare Sensation Vote*) è rappresentato da una relazione ottenuta da esperimenti con finestre simulate. Più di 200 differenti soggetti hanno partecipato a questi esperimenti in 120 differenti condizioni di test. Il grado percepito di *discomfort* da abbagliamento è stato rappresentato dal GSV (*Glare Sensation Vote*). Presenta alcuni limiti: se la dimensione della sorgente aumenta fino a coincidere con l'intero campo di vista, il valore del PGSV diventa indipendente dall'ambiente circostante; se la sorgente è una finestra, gli effetti della forma della sorgente non influiscono sulla sensazione di abbagliamento.

¹⁵ Il *J-INDEX* è uno strumento per stabilire condizioni ottimali di comfort di vista. Gli autori (J.J. Meyer, D. Francioli, P. Rey (1993a). *Observed variation of lighting conditions versus feelings of visual discomfort in VDT operators: Application of a new model*, Proceedings of Lux Europa 1993, pp. 332-339, Edinburgh, United Kingdom; J.J. Meyer, J.J. D. Francioli, P. Rey, F. Benoît (1993b). *Visual discomfort: Evaluation after introducing modulated light equipment*, Proceedings of Right Light, 2nd European Conference on Energy-Efficient Lighting, pp. 348-357, Arnhem, the Netherlands) affermano che "lo sforzo visivo è associato ad una perdita di performance, dovuta a condizioni di illuminazione non ottimali". Queste condizioni sono il risultato di un'insufficiente o eccessiva luminanza, o probabilmente contrasti non adatti. Il *J-INDEX* definisce l'effetto di questi tre aspetti, considerando il comfort come una performance ed esprime la differenza tra l'acuità visiva massima possibile " A_{max} " e l'acuità visiva che la stessa persona può raggiungere "A" in una data condizione di illuminazione.

ω_{si} è l'angolo solido rispetto all'occhio dell'osservatore (sr);

P è l'indice di posizione.

3.2.7. Probabilità di confort visivo / Visual Comfort Probability (VCP)

La probabilità di confort visivo valuta i sistemi di illuminazione in termini di percentuale di osservatori che percepiscono il sistema di illuminazione e l'ambiente come confortevole, usando come criterio la percentuale di abbagliamento dovuta alla luce diretta dagli apparecchi all'osservatore.

È un massiccio sistema di equazioni adottato dallo IESNA¹⁶, valido solo per apparecchi con fonti di luce di una certa dimensione (non alogeni o cieli visibili).

$$VCP = 279 - 110 \left\{ \log_{10} \sum_{i=1}^n \left[\frac{0,5L_{si}(20,4\omega_{si} + 1,52\omega_{si}^{0,2} - 0,075)}{P \times E_{avg}^{0,44}} \right]^{(n-0,0914)} \right\}$$

dove:

n è il numero di finestre;

L_{si} è la luminanza della sorgente abbagliante (cd/m^2);

ω_{si} è l'angolo solido rispetto all'occhio dell'osservatore (sr);

P è l'indice di posizione;

E_{avg} è l'illuminamento medio.

3.2.8. Indice di abbagliamento CIE / CIE Glare Index (CGI)

È stato pubblicato da Einhorn nel 1969 e adottato dal CIE. I calcoli richiedono sia l'illuminamento diretto, sia quello diffuso. Questo indice non può essere rappresentato visivamente quindi è un po' più difficile da interpretare per il progettista, poiché non è una semplice percentuale di utenti soddisfatti.

È utile per fonti di abbagliamento artificiale.

$$CGI = 8 \times \log_{10} 2 \frac{[1 + (\frac{E_d}{500})]}{E_d + E_i} \sum_{i=1}^n \frac{L_{si}^2 \omega_{si}}{P^2}$$

dove:

n è il numero di finestre;

E_d è l'illuminamento diretto;

E_i è l'illuminamento dall'i-esima fonte di abbagliamento all'occhio;

L_{si} è la luminanza della sorgente abbagliante (cd/m^2);

ω_{si} è l'angolo solido rispetto all'occhio dell'osservatore (sr);

P è l'indice di posizione.

¹⁶ *Illuminating Engineering Society of North America* è l'autorità tecnica riconosciuta per l'illuminazione. Da oltre 100 anni il suo obiettivo è quello di comunicare informazioni utili sugli aspetti pratici della buona illuminazione ai suoi membri e ai consumatori attraverso una varietà di programmi, pubblicazioni e servizi.

3.2.9. Valutazione degli indici

Parametri	Abbagliamento impercettibile	Abbagliamento percepibile	Abbagliamento disturbante	Abbagliamento intollerabile
DGP	< 0,35	0,35 - 0,40	0,4 - 0,45	> 0,45
DGI	< 18	18 - 24	24 - 31	> 31
UGR	< 13	13 - 22	22 - 28	> 28
VCP	80 - 100	60 - 80	40 - 60	< 40
CGI	< 13	13 - 22	22 - 28	> 28

Tabella 1 - Intervalli di tolleranza degli indici

3.2.10. Autonomia di luce diurna / Daylight autonomy (DA)

L'autonomia di luce diurna di un punto in un edificio è definita come la percentuale di ore di occupazione per anno, quando il livello di illuminamento minimo può essere mantenuto dalla sola luce diurna. Rispetto al più comunemente usato fattore di luce diurna, l'autonomia di luce diurna considera tutte le condizioni del cielo durante l'anno.

Il livello minimo di illuminamento corrisponde alla richiesta minima fisica di luce che deve essere mantenuta tutto il tempo così che un certo compito possa essere svolto in sicurezza e senza affaticare il lavoratore.

Esempio: un'autonomia di luce diurna del 70% per una postazione di lavoro con ore di lavoro in giorni settimanali fra le 8.00 e le 18.00, e un livello di illuminamento minimo di 500 lux implica che l'occupante possa, in teoria, lavorare il 70% dell'anno con la sola luce diurna.

L'autonomia di luce diurna è un nuovo indicatore di performance di luce diurna e non sono ancora stati fissati degli intervalli raccomandati di comportamento. Il maggior vantaggio dell'autonomia di luce diurna sul fattore di luce diurna è che tiene conto dell'orientamento della facciata e dei profili di occupazione dell'utente e considera tutte le possibili condizioni di cielo durante l'anno. È perciò un approccio olistico per descrivere la disponibilità annuale di luce diurna su una postazione di lavoro. D'altra parte può essere calcolato solo con simulazioni al computer. L'autonomia di luce diurna è calcolata spesso assumendo che i sistemi di oscuramento siano sempre nella stessa posizione durante tutto l'anno. Questa scelta è realistica per un dispositivo statico di ombreggiamento, come gli aggetti. Nel momento in cui è installato un sistema di ombreggiamento mobile, come le tende veneziane, devono essere considerate anche la disposizione degli oscuramenti dell'utente o del controllo automatico. Questi passaggi complicano ulteriormente l'analisi, che richiede un modello di comportamento dell'utente, che preveda la disposizione delle persiane in diversi momenti dell'anno. L'autonomia di luce diurna caratterizza il potenziale di luce diurna di uno spazio. Essendo indipendente dalla densità di potenza di luce elettrica installata e dai controlli di luminosità, un'alta autonomia di luce diurna è un requisito necessario ma non una garanzia per il risparmio energetico sull'illuminazione.

Valori fra il 40 e il 60% sono considerati eccellenti.

3.2.11. Autonomia di luce diurna continua e massima autonomia di luce diurna / Continuous daylight autonomy and maximum daylight autonomy (DA_{con}, DA_{max})

L'autonomia di luce diurna continua (DA_{con}) è stata proposta recentemente da Rogers. Rispetto alla convenzionale autonomia di luce diurna, è dato parzialmente credito ai passaggi di tempo in cui l'illuminamento diurno è sotto il minimo livello di illuminamento. Per esempio, nel caso in cui siano

richiesti 500 lux e ne sono forniti 400 dalla luce diurna in un certo momento, è dato a quell'istante un credito parziale di $400 \text{ lux}/500 \text{ lux} = 0.8$. Il risultato è che invece di una dura soglia, il passaggio fra la conformità e la non conformità diventa attenuato. Questo cambiamento di misure può essere giustificato dagli studi di settore che indicano che le preferenze sull'illuminazione variano a seconda dell'individuo e che molti utenti degli uffici tendono a lavorare con un livello di luce diurna più basso rispetto a quello riferito a 300 o 500 lux. La misura ammette che anche un piccolo contributo di luce diurna per illuminare uno spazio è sempre benefico.

Per considerare al tempo stesso la possibilità di abbagliamento, una seconda caratteristica, la massima autonomia di luce diurna (DA_{\max}), è riportata insieme al DA_{con} per indicare la percentuale di ore occupate quando sono presenti la luce solare diretta o condizioni di luce diurna eccessive. Assumendo che la soglia delle condizioni di abbagliamento potenziale dipende dal tipo di spazio, DA_{\max} era definito per essere un livello regolabile uguale a 10 volte l'illuminamento di progetto dello spazio. Per esempio per un laboratorio di computer, con un illuminamento di progetto di 150 lux, DA_{\max} corrisponde a 1500 lux. Questo criterio di soglia superiore è essenzialmente una misura della necessità di luce solare diretta o altre condizioni di abbagliamento potenziale e può dare una indicazione di quanto spesso e dove appare nello spazio un largo contrasto di illuminamento.

3.2.12. Illuminamento utile da luce diurna / Useful daylight index (UDI)

L'illuminamento utile da luce diurna (UDI), proposto da Mardaljevic e Nabil nel 2005, è una misura dinamica del comportamento della luce diurna che è anche basata sull'illuminamento del piano di lavoro. Diversamente dal fattore di luce diurna, esso considera condizioni di sole e di cielo realistiche e variabili nel tempo e predefinisce, su base oraria, i valori assoluti di illuminamento da luce naturale. Come suggerisce il nome, vuole determinare quando i livelli di illuminamento naturale sono utili all'occupante, per esempio che non siano troppo scuri ($<100 \text{ lux}$) né troppo chiari ($>2000 \text{ lux}$). La soglia superiore deve individuare le volte che un sovraccarico di luce diurna potrebbe condurre a un *discomfort* visivo e/o termico. L'intervallo suggerito è fondato sulle preferenze riportate dagli occupanti di un ufficio illuminato. Tenendo soglie superiori e inferiori a 2000 e 100 lux, i risultati UDI si dividono in tre gruppi, ad esempio la percentuale delle volte occupate nell'anno in cui l'UDI era raggiunto, sottostimato ($<100 \text{ lux}$) o in eccesso ($>2000 \text{ lux}$). L'ultimo gruppo è utile per determinare la probabilità di abbagliamento.

3.2.13. Percentuale di saturazione da luce diurna / Daylight saturation percentage (DSP)

È una modifica dell'illuminamento della luce diurna utile che aumenta il limite minimo a 430 lux e il limite massimo a 4300 lux. È la percentuale di ore e la percentuale dell'area di pavimento fra le 8.00 e le 15.00, dal lunedì al venerdì, dal 15 agosto al 15 giugno quando la luce diurna fornisce almeno 430 lux di illuminamento a un piano di lavoro collocato a 76 cm da terra. Si penalizzano i valori orari annui dei punti della griglia superiori a 4300 lux che indicano una sovrailluminazione e abbagliamento.

3.2.14. Esposizione di luce annua / Annual light exposure

L'esposizione di luce annua è definita come la quantità cumulativa di luce incidente visibile in un punto di interesse nel corso dell'anno. Può essere espressa in lux h/anno.

Alcuni valori raccomandati di esposizione di luce diurna secondo la CIE Division 3 TC3-22 ‘illuminazione e protezione da museo contro i danni della radiazione’ sono riportati nella tabella seguente.

Category	Material classification	Example of materials	Lighting illuminance	Limiting annual exposure
I	Insensitive	Metal, stone, glass, ceramic	No limit	No limit
II	Low sensitivity	Canvases, frescos, wood, leather	200 lux	600000 lux h/yr
III	Medium sensitivity	Water color, pastel, various paper	50 lux	150000 lux h/yr
IV	High sensitivity	Silk, newspaper, sensitive pigments	50 lux	15000lux h/yr

Tabella 2 - Livelli di esposizione di luce annua

3.3. Strumenti e software per l'analisi illuminotecnica

Per ottenere gli indici considerati possono essere utilizzati i valori tabulati o ricorrere a metodi grafici, ma in entrambi i casi il risultato sarebbe approssimato. Per avere valori il più possibile veritieri si può fare riferimento alle normative, o sfruttare software sofisticati che si occupino dello svolgimento del calcolo.

Di seguito si riportano alcuni esempi di metodi grafici e tabelle:

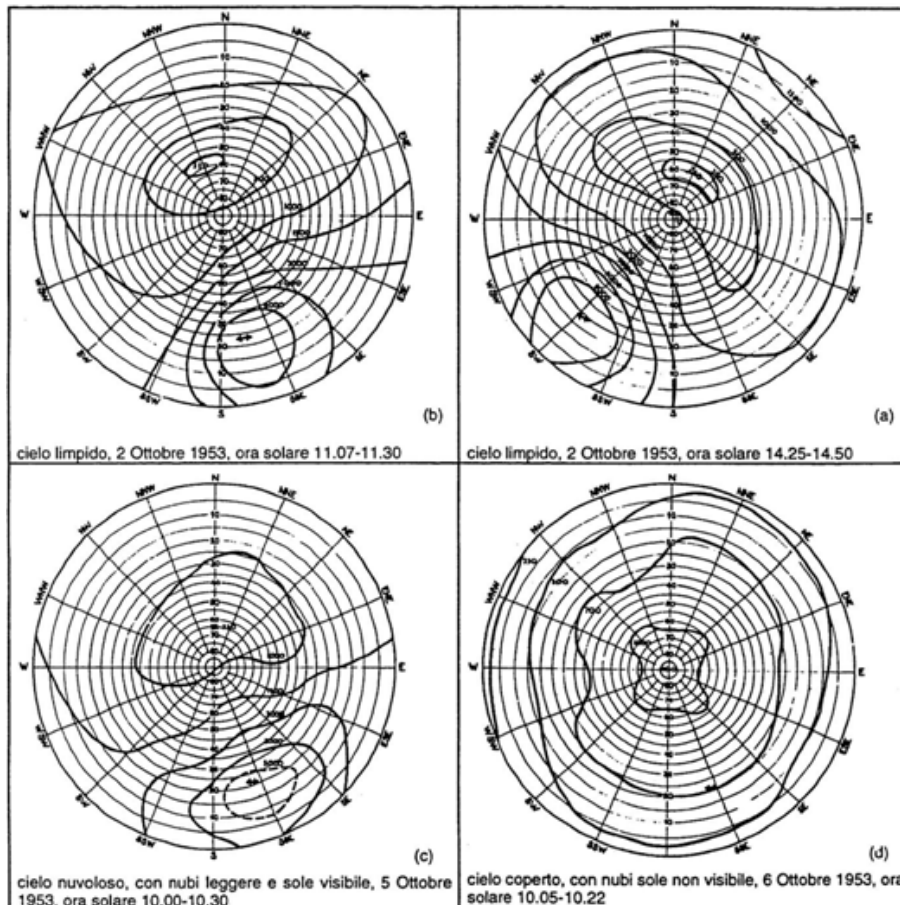


Figura 6 - Grafici cielo CIE con luminanze

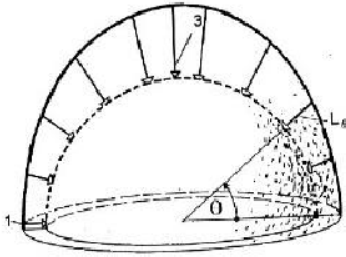


Figura 7 - Modello CIE di cielo coperto internazionale

I più diffusi modelli per descrivere la luminanza del cielo coperto sono:

- cielo a luminanza uniforme;
- cielo a luminanza standard CIE.

Il cielo a luminanza standard CIE ipotizza che la luminanza allo zenit sia tre volte superiore quella all'orizzonte. Tale situazione corrisponde a quella di un'atmosfera limpida con cielo completamente coperto da nuvole chiare.

Il diagramma di Waldram, utilizzato per il calcolo della componente cielo, è stato originariamente studiato per il cielo a radianza uniforme e per aperture non vetrate. In seguito è stato esteso anche al caso del cielo a radianza standard CIE. Rappresenta la proiezione in piano del mezzo emisfero celeste ed è costruito in modo che le parti di esso di uguale area indichino porzioni dell'emisfero celeste di identica radianza. Per il calcolo della componente cielo è necessario riprodurre la sagoma della finestra e delle ostruzioni esterne sul diagramma, riportando gli angoli individuati dai bordi di queste sui piani verticale e orizzontale, passanti per il punto di verifica e perpendicolari alla parete di apertura.

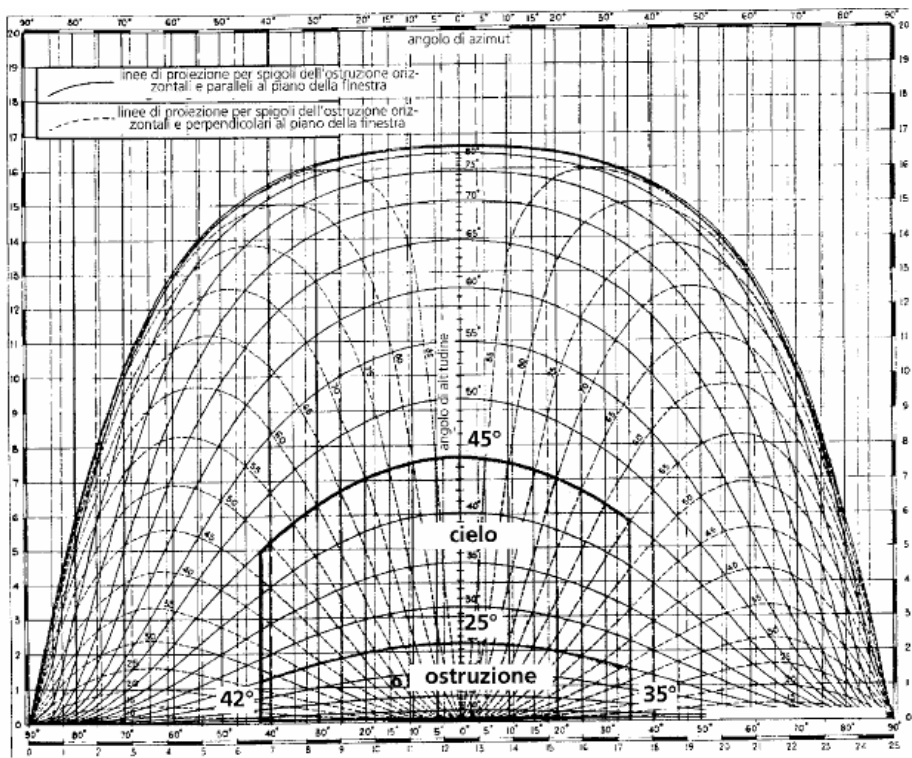


Figura 8 - Calcolo della componente cielo, diagramma di Waldram

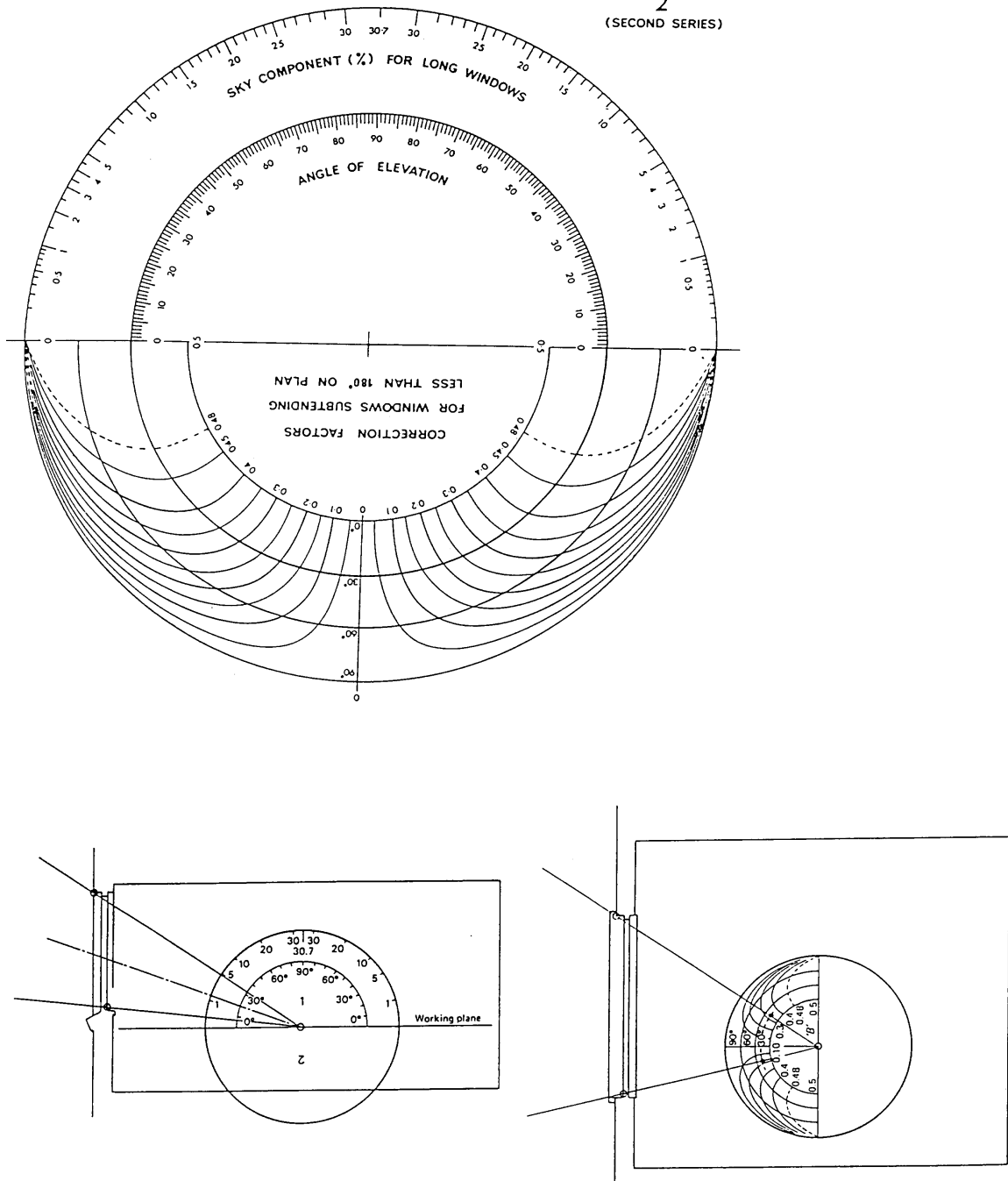


Figura 9 - Regolo calcolatore BRE derivato dal diagramma di Waldram

Recommended Levels of Lighting							
Office Areas	Min. Levels of Lighting [lx]						
Desk Work	30	50	100	200	300	500	1000
a - Task positions at which cartography, designing, drafting, plan reading or other very difficult visual tasks are performed.							
b - Task positions at which business machines are operated or stenography, accounting, typing, filling, clerking, billing, continuous reading or writing or other difficult visual tasks are performed.							
Other Office Work	30	50	100	200	300	500	1000
Conference and interview rooms, file storage areas, switchboard or reception areas or other areas where ordinary visual tasks are performed.							
Service Areas	30	50	100	200	300	500	1000
Frequently used stairways and corridors							
Infrequently used stairways and corridors							
Stairways that are only used in emergencies							

Tabella 3 - Valori consigliati di illuminamento dal Canada Labour Code, Part II

Recommended Illuminance levels							
Interior place of work	Illuminance levels E_N [lx]						
General space	50	100	200	300	500	750	1000
Storage space (depending on visual task)							
Shipping							
Cafeteria							
Recreational space							
Exercise and Fitness rooms							
Changing rooms							
Toilets / Washrooms							
Mailing room							
Telephone exchange room							
Corridor / Transition	50	100	200	300	500	750	1000
People							
People / Vehicles							
Stairs / Escalators / Revelatory							
Loading ramps							
Office	50	100	200	300	500	750	1000
Daylight orientated work places (close to windows)							
Private Offices							
Open plan offices (depending on reflex ion level)							
Technical drawing							
Conference / Meeting rooms							
Reception / Lobby							
Rooms for data processing							

Tabella 4 - Valori di illuminamento consigliati tratti da German Norm , DIN 3035 part 2

Illuminance Categories & Illuminance Levels		
Orientation and simple visual tasks		
Definition: Visual performance is largely unimportant. These tasks are found in public spaces where reading and visual inspections are only occasionally performed. Higher levels are recommended for tasks where visual performance is occasionally important.		
A	Public Spaces	30 lx (3fc)
B	Simple orientation for short visits	50 lx (5fc)
C	Working spaces where simple visual tasks are performed	100 lx (10fc)
Common visual tasks		
Definition: Visual performance is important. These tasks are found in commercial, industrial and residential applications. Recommended illuminance levels differ because of the characteristics for visual tasks being illuminated. Higher levels are recommended for visual tasks with critical elements of low contrast or small size.		
D	Performance of visual tasks of high contrast and large size	300 lx (30fc)
E	Performance of visual tasks of high contrast and small size, or visual tasks of low contrast and large size	500 lx (50fc)
F	Performance of visual tasks of low contrast and small size	1000 lx (100fc)
Special visual tasks		
Definition: Visual performance of critical importance. These tasks are very specialized, including those with very small or low contrast critical elements. Recommended illuminance levels should be achieved with supplementary task lighting. Higher recommended levels are often achieved by moving the light source closer to the task.		
G	Performance of visual tasks near threshold	3000 to 10,000 lx (300 to 1000fc)

Tabella 5 - Livelli di illuminamento consigliati tratti da IESNA Lighting Handbook , Ninth edition, Part III

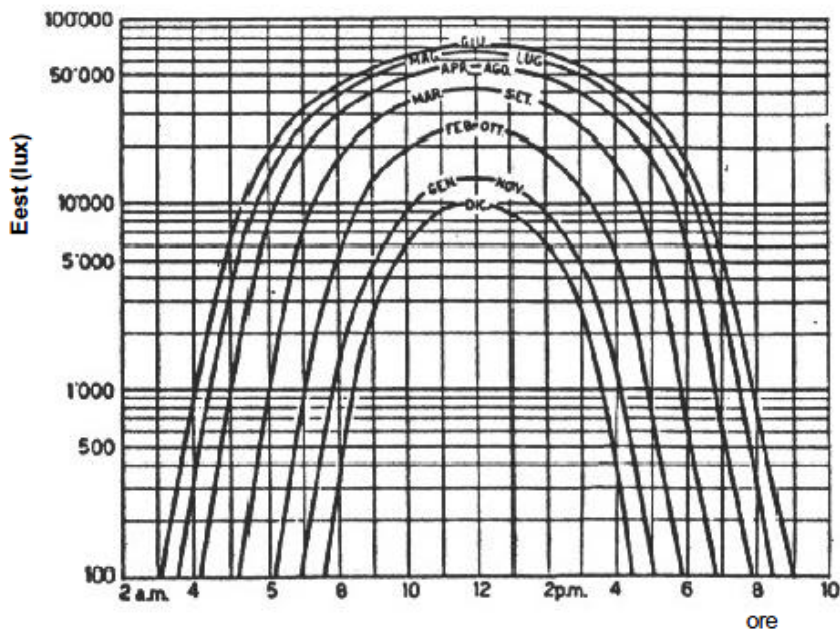


Figura 10 - Andamento giornaliero dei valori dell'illuminamento esterno nei diversi mesi dell'anno

Le tabelle precedenti costituiscono una guida per la progettazione illuminotecnica degli ambienti: ogni funzione necessita un diverso livello di illuminamento consigliato da più normative. L'immagine sopra mostra l'andamento giornaliero dei valori dell'illuminamento esterno durante l'anno.

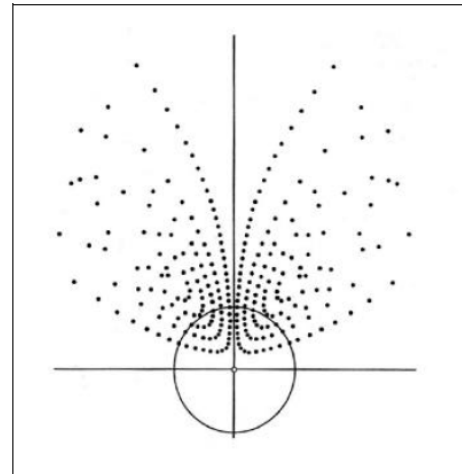
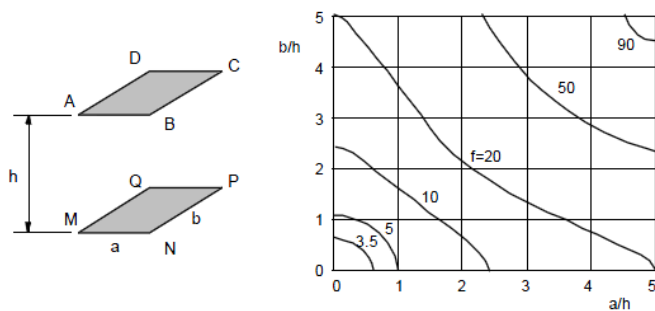


Figura 11 - Diagramma di Zijl per il calcolo dell'illuminamento prodotto in una stanza rettangolare di altezza h da una sorgente posta al soffitto **Figura 12 - Diagramma CIE "a grani di pepe"**

Sono disponibili diagrammi (per esempio quello di Zijl) che forniscono un fattore adimensionale f , funzione delle dimensioni del locale, utilizzabile per il calcolo dei valori dell'illuminamento in un punto o di quello medio su una superficie.

Utilizzando il metodo Zijl si distribuiscono uniformemente 10000 punti sulla semisfera celeste centrata nel punto di osservazione P. Nell'ipotesi che il modello di cielo adottato sia quello a luminanza uniforme, la componente cielo è data dalla percentuale di semisfera celeste che P vede attraverso la finestra, che coincide con la percentuale N di punti visibili da P attraverso di essa. Per facilitare l'uso del metodo, ai punti della sfera vengono sostituiti i corrispondenti punti ottenuti con una proiezione a centro da P su di un piano verticale, parallelo alla parete finestrata del locale e tangente alla sfera celeste (se il locale ha finestre orizzontali la proiezione va effettuata su un piano orizzontale). In pratica si procede sovrapponendo il diagramma (che viene detto "a grani di pepe") alla finestra, disegnata in scala 1:100, in modo tale che il suo centro coincida con P e si contano i punti che cadono all'interno del riquadro della finestra: tale numero fornisce quindi il valore percentuale di D_c . Il metodo CIE è analogo a quello Zijl, differenziandosi solo per il fatto che sulla sfera celeste vengono distribuiti 1000 punti in maniera tale da riprodurre la distribuzione di luminanza del modello di cielo coperto internazionale.

I nomogrammi, realizzati dalla Building Research Station nell'ipotesi di cielo a radianza standard CIE e usati per il calcolo della componente riflessa internamente, sono tre, sia con finestre verticali che orizzontali o inclinate e con ostruzioni esterne o senza. Di seguito riportiamo l'esempio di quello da utilizzare nel caso di lucernari.

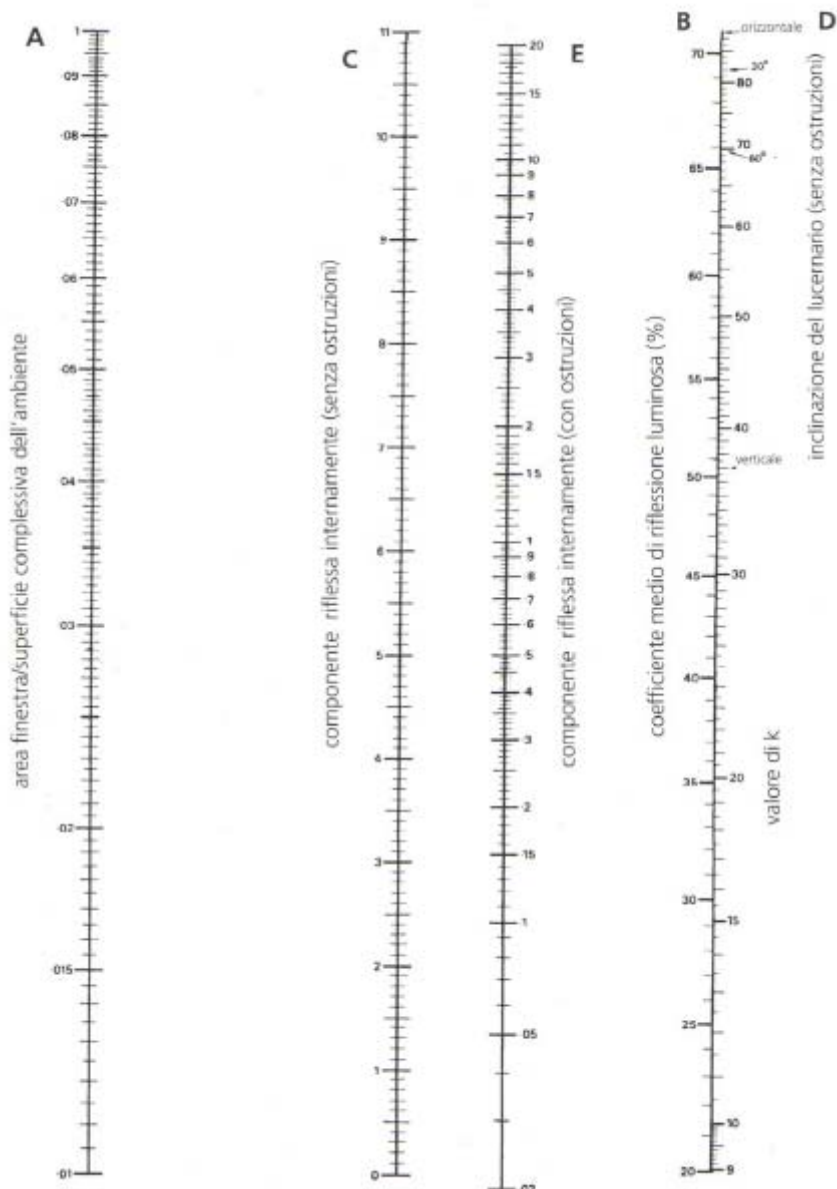


Figura 13 - Nomogramma per calcolo della componente riflessa internamente attraverso lucernari

Alcune delle normative di riferimento per l'illuminazione naturale degli interni sono:

- Decreto del Presidente della Repubblica n° 303 del 19/3/56, "Norme generali per l'igiene del lavoro", G.U. n°105 del 30/4/56.
- Circ. Min. LL. PP. 3151 del 22 maggio 1967 (Criteri di valutazione delle grandezze atte a rappresentare le proprietà termiche, idrometriche, di ventilazione e di illuminazione nelle costruzioni edilizie)
- Circ. Min. LL. PP. 13011 del 22 novembre 1974 (Requisiti fisico tecnici per le costruzioni edilizie ospedaliere: proprietà termiche, igrometriche, di ventilazione e di illuminazione)
- D.M. 5 luglio 1975 (Modificazioni alle istruzioni ministeriali 20 giugno 1896 relativamente all'altezza minima ed ai requisiti igienico sanitari principali dei locali di abitazione)
- D.M. 18 dicembre 1975 (Norme tecniche aggiornate relative all'edilizia scolastica, ivi compresi gli indici minimi di funzionalità didattica, edilizia e urbanistica da osservarsi nella esecuzione di opere di edilizia scolastica)

- C.E.R., quaderno n°11 del Comitato per l'edilizia residenziale dal titolo "Norme prestazionali per l'edilizia Residenziale", Roma 1985.
- UNI 10840 (Luce e illuminazione - locali scolastici: criteri generali per l'illuminazione artificiale e naturale)

3.3.1. Ecotect

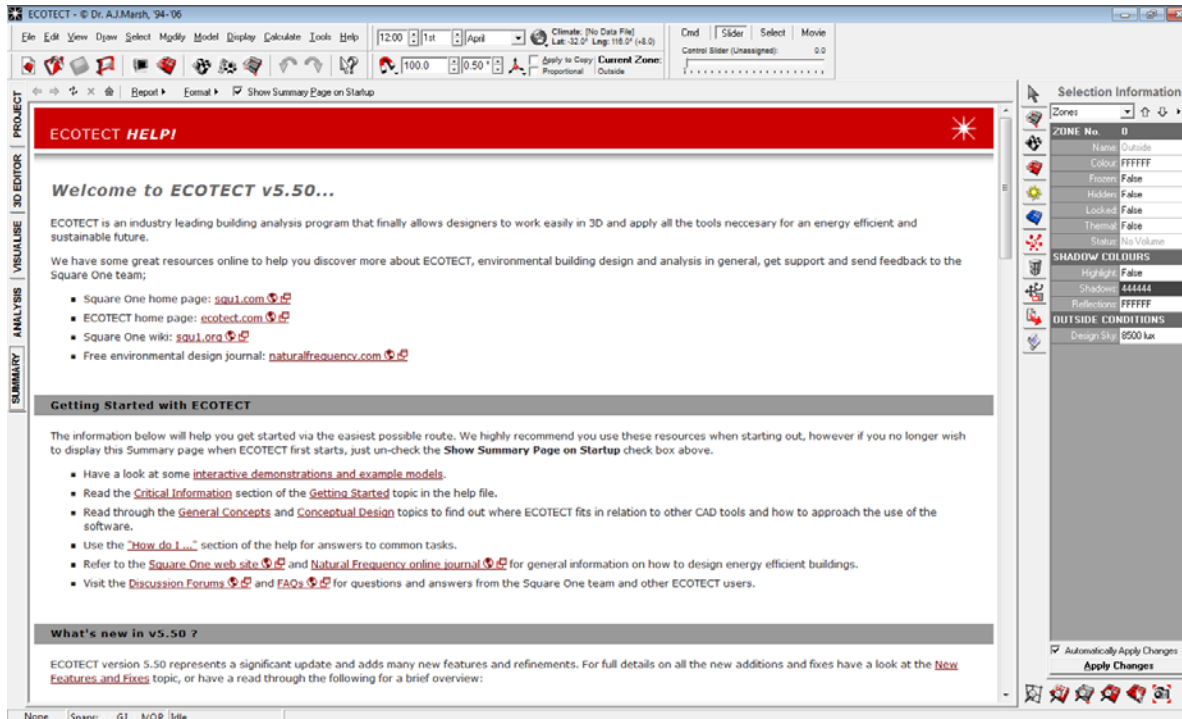


Figura 14 - Schermata iniziale di Ecotect

Ecotect non è solo un codice di verifica finale del manufatto architettonico, ma un supporto del quale il progettista deve avvalersi già dalle prime fasi, perché dispone di tutti i mezzi necessari per la creazione geometrica dei modelli, per la contestualizzazione geografica e per la caratterizzazione tecnologica dell'edificio.

Grazie a modelli matematici più o meno sofisticati simula i processi fisici che interessano un edificio ed offre così al progettista la possibilità di ampliare la gamma di verifiche che può fare sulle proprie proposte architettoniche. Ecotect unisce un programma di grafica ad uno di analisi prestazionale e funzioni di simulazione (analisi solare, illuminotecnica, termica, acustica, dei costi di costruzione e dell'impatto ambientale).

I numerosi dati di progettazione che la metodologia BIM (building information modeling) permette di ottenere possono essere importati in Autodesk Ecotect Analysis 2010, utilizzando il formato file gbXML, attraverso software come Autodesk Revit Architecture 2010, in modo da garantire un'analisi e una simulazione più accurate in ogni fase del processo di progettazione.

Gli iscritti alla Subscription Autodesk Ecotect Analysis hanno accesso anche al servizio web-based Autodesk Green Building Studio, che consente l'analisi energetica globale degli edifici per determinare il consumo di energia e acqua complessivo e il calcolo delle emissioni di CO₂ al fine di realizzare edifici "net zero Energy" grazie a fonti di energia rinnovabile.

Gli utenti hanno l'opportunità di prevedere l'impatto che i loro progetti possono avere su queste risorse in ogni fase del processo di progettazione, con scale di valore che aumentano o diminuiscono a seconda della fase di lavorazione: più la scala è alta, più l'impatto ambientale delle scelte di progettazione effettuate in quella fase sarà alto a livello di progetto finito.

Irraggiamento solare - Visualizzazione dell'irraggiamento solare incidente su vetrate e superfici, in qualunque periodo dell'anno.

Illuminazione con luce diurna - Calcolo dei fattori diurni e dei livelli di illuminamento in qualunque punto del modello. Ai fini dell'analisi illuminotecnica, è necessario fornire al software informazioni come i materiali di tutti i serramenti, delle superfici trasparenti e opache, che possono essere selezionati o aggiunti a una libreria, le condizioni ambientali del sito, con orientamento, latitudine, longitudine, fuso orario e le condizioni meteo (ricavabili anche da file climatici).

Ombre e riflessioni - Visualizzazione della posizione e del percorso del sole relativi al modello per qualsiasi data, orario e ubicazione.

L'applicazione di questo approccio alla progettazione richiede una buona conoscenza dei fenomeni termici ed energetici che si verificano negli edifici, ed una chiara definizione dei confini del sistema "edificio" che intendiamo studiare e progettare. L'edificio è infatti un sistema complesso e articolato che dal punto di vista energetico possiamo scomporre in tre sottoinsiemi mutuamente interagenti: l'involucro architettonico, gli impianti tecnologici e l'utenza. L'interazione tra il sistema edificio e l'esterno, il microclima locale, determina un microclima interno che di volta in volta può essere più o meno gradito all'utenza. Il concetto che sta alla base della progettazione bioclimatica è che quanto più il sottosistema involucro è efficiente nell'interazione con il clima esterno tanto minori saranno le "correzioni" che il sottosistema impianti dovrà introdurre e di conseguenza minori saranno i costi di installazione e gestione degli impianti. Un soddisfacente risultato finale può nascere solo dall'integrazione di conoscenza di termodinamica, energetica ed impiantistica con conoscenze di architettura e di tecnica delle costruzioni.

3.3.2. Radiance

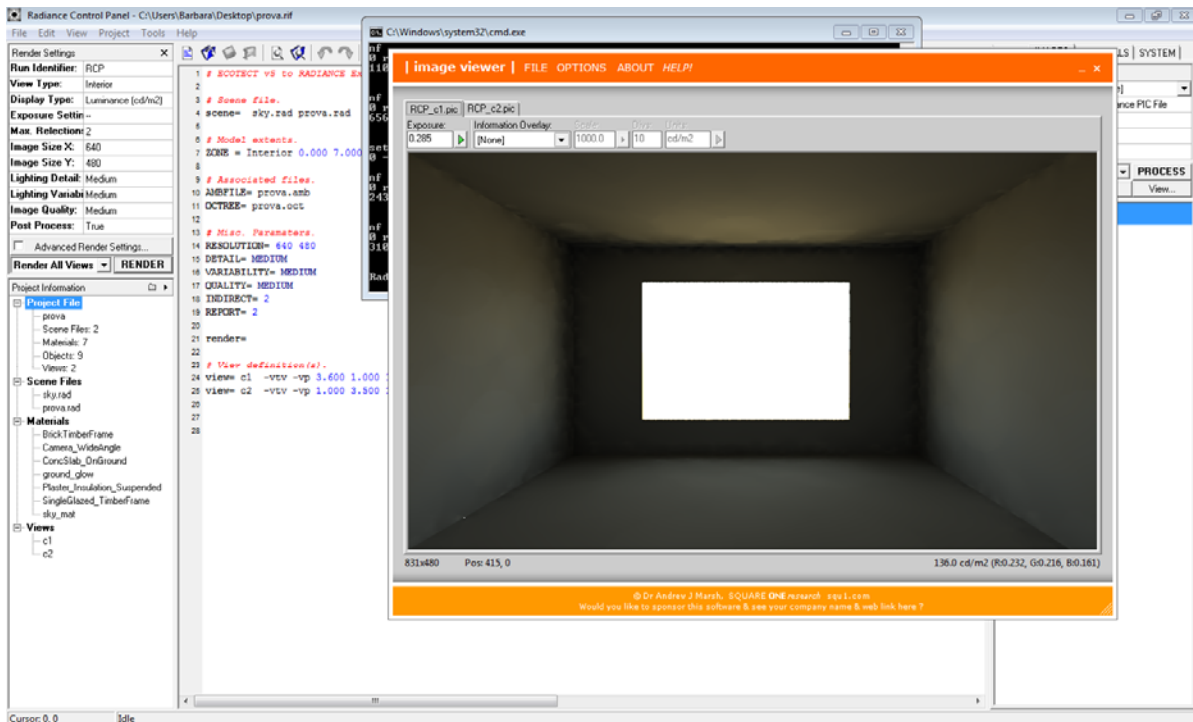


Figura 15 - Schermata esempio di Radiance

È un front-end di Radiance Synthetic Imaging System sviluppato presso i Lawrence Berkeley Laboratories. Si tratta di un ottimo strumento di dominio pubblico con barra di comando per la simulazione dell'illuminazione basata sul *radiosity* (algoritmo di illuminazione globale usato durante il rendering in computer grafica 3D). Il ruolo del Radiance Control Panel è semplicemente quello di

automatizzare alcune delle operazioni più banali quando si usa Radiance, una volta che un modello è stato creato.

Desktop Radiance è un software di analisi avanzata e uno strumento di visualizzazione che può essere usato per modellare sistemi di illuminazione naturali ed artificiali semplici o complessi. Radiance è stato inizialmente sviluppato come strumento di ricerca per un ambiente *Unix*¹⁷, dove è utilizzato un complicato format basato su input di testo.

È uno degli strumenti di analisi dell'illuminazione naturale ed elettrica più potenti fra quelli disponibili, in quanto in grado di gestire virtualmente qualsiasi geometria dello spazio, così come le riflessioni non diffuse. La versione Desktop Radiance offre la possibilità ai professionisti dell'illuminazione di accedere facilmente a questo software attraverso un'interfaccia grafica per l'utente. La versione Desktop Radiance è un derivato più *user-friendly* che gira sotto il sistema operativo Windows all'interno di AutoCAD 14 con *pull-down menu*. (Non è ancora compatibile con AutoCAD 2000.) Per coloro che hanno familiarità con il programma Radiance standard, le proprietà avanzate che non sono parte del sistema Desktop Radiance sono accessibili attraverso un MS-DOS file batch modificando l'originale input di testo. Desktop Radiance funziona con la creazione di file standard con comandi di testo utilizzati nella versione UNIX, poi esegue il programma Radiance standard tramite un MS-DOS file batch. Desktop Radiance contiene anche una serie di miglioramenti operativi, come il programma *rview*, che ha una interfaccia utente migliorata.

Include librerie di materiali, vetri, apparecchi di illuminazione e arredi in modo da poter creare rapidamente modelli di illuminazione realistici. L'obiettivo è quello di fornire uno strumento di progettazione integrata con i più diffusi pacchetti di CAD per facilitare la considerazione di illuminazione a risparmio energetico e le strategie di luce naturale nella progettazione degli edifici.

Con Desktop Radiance, è possibile calcolare l'illuminamento orizzontale attraverso una arbitraria griglia di punti orientata, oppure è possibile generare un'immagine di uno spazio che può essere analizzato per l'illuminamento e la luminanza di una superficie in un'immagine renderizzata di una stanza.

Il primo passo nel processo di esecuzione di un'analisi di illuminazione diurna è la creazione di un modello 3D in un programma di editor grafico, come ad esempio AutoCAD o Ecotect. Il modello 3D può essere opportunamente dettagliato con la Biblioteca Desktop Radiance dei materiali, vetri, apparecchi di illuminazione e arredi. Una volta che il modello è completo, si definiscono i parametri di analisi come le viste della fotocamera o punti di riferimento nel calcolo del punteggio, orientamento dell'edificio e la zona di interesse. Poi si imposta un rendering o punto di calcolo utilizzando i comandi del menu di simulazione che avviano l'esportazione della geometria e dei parametri di analisi.

Radiance è un *backward raytracer*, ovvero le traiettorie di luce sono tracciate a ritroso dall'occhio dello spettatore fino alla fonte luminosa. Dalla superficie in analisi viene definita una semisfera campione di raggi luminosi e, ogni volta che un raggio incontra un ostacolo, viene creata una nuova semisfera di raggi luminosi, finché i raggi non raggiungono la fonte luminosa. All'inizio il tracciamento diretto dei raggi poteva essere ugualmente impiegato, ma per un gran numero di scene l'ultimo approccio è più economico per quanto riguarda i tempi richiesti per il calcolo. Vi sono però casi che Radiance non è in grado di simulare adeguatamente: il più rilevante è quello di una superficie emittente curva, che richiederebbe un metodo di *forward ray tracing*, che segua la luce a partire dalla fonte.

¹⁷ Un sistema operativo multiutente, multitasking, portabile, un ambiente di sviluppo per programmi scritti in "C", inizialmente sviluppato da un gruppo di ricerca dei laboratori AT&T e Bell Laboratories.

La simulazione luminosa si serve di un approccio “ibrido”, in parte deterministico e in parte su modello di Monte Carlo¹⁸. Il calcolo può essere diviso in tre parti:

- la componente diretta
- la componente indiretta speculare
- la componente diffusa.

La componente diretta è la luce che arriva a una superficie; quella indiretta speculare è la luce arrivata a una superficie dopo esser stata riflessa da un'altra superficie. I trasferimenti non perfettamente speculari vengono modellati col metodo Monte Carlo e riflessi o trasmessi nella giusta direzione. La componente indiretta diffusa è costituita dalla luce che, incidendo su una superficie, si riflette senza direzioni preferenziali.

I parametri di simulazione di Radiance possono essere impostati singolarmente per ogni simulazione. Il parametro più intuitivo è ab “*ambient bounce*”, che indica a Radiance su quante superfici un raggio può rimbalzare o trasmettere prima di essere scartato.

- -dp (*direct pretest density*) definisce il numero di campioni per angolo solido utilizzati nell'analisi, per determinare in anticipo la quantità di raggi luminosi utili per ottenere una simulazione realistica
- -ar imposta la risoluzione dell'ambiente, determina la densità massima dei valori dell'ambiente usati in interpolazione; il valore 0 è interpretato come risoluzione illimitata
- -ms (*medium sampdist*) imposta la distanza media di campionamento in un sistema di coordinate tridimensionale; il valore 0 indica che sarà preso solo 1 campione per ogni fonte di luce entro un determinato volume
- -ds (*direct sampling*) imposta il limite massimo al rapporto fra campioni; una fonte luminosa è ripartita finché la dimensione di ogni area campione divisa per la distanza dal punto illuminato è inferiore a questo rapporto
- -dt (*direct trashold*) imposta il limite massimo per i “test dell'ombra”; il valore 0 indica che tutti i campioni delle fonti di luce saranno analizzati per i test dell'ombra
- -dc (*direct certainty*) definisce la precisione del calcolo; il valore 1 garantisce che l'assoluta accuratezza del calcolo diretto sia uguale o migliore di quella data dal -dt; il valore 0 assicura solo che tutte le linee d'ombra risultanti in un cambio di contrasto maggiore del -dt siano calcolate
- -dr (*direct relay*) imposta il numero di trasmissioni per le fonti secondarie al valore definito
- -sj (*specular jitter*) imposta il grado di definizione dei riflessi nel campionamento; un valore pari a 1 indica che si terrà conto delle riflessioni speculari e diffuse
- -st (*specular threshold*) è la frazione minima di riflessione o trasmissione, sotto la quale viene eseguito il campionamento non speculare
- -ab (*ambient bounces*)¹⁹ imposta il numero di riflessioni nell'ambiente

¹⁸ Il Metodo Monte Carlo fa parte della famiglia dei metodi statistici non parametrici. Sviluppato intorno alla metà degli anni '40 all'interno del progetto Manhattan, è utile per superare i problemi computazionali legati ai test esatti ed è usato per trarre stime attraverso simulazioni. Si basa su un algoritmo che genera una serie di numeri tra loro incorrelati, che seguono la distribuzione di probabilità che si suppone abbia il fenomeno da indagare.

¹⁹ Questo parametro e alcuni altri sono ripresi nella sezione “Analisi con Daysim: Daylight Factor, Daylight Autonomy, Useful Daylight Index, Continuous Daylight Autonomy, DSP, Annual Light Exposure, Daylight Glare Probability, Simulazione”, pag. 85

- `-af (ambient fname)` imposta il file ambiente nel “fname”, dove saranno archiviati e recuperati i valori di illuminamento indiretto; normalmente questi valori sono tenuti in memoria e persi quando si chiude il programma, ma usando un file possono essere richiamati per risparmiare tempo di calcolo. Il file ambiente può anche essere usato come un mezzo di comunicazione e di condivisione di dati fra processi eseguiti simultaneamente
- `-aa (ambient accuracy)` imposta l’accuratezza dell’ambiente; al valore è simile all’errore dall’interpolazione dell’illuminamento indiretto; il valore 0 indica interpolazione nulla
- `-ad (ambient divisions)` imposta il numero di divisioni dell’ambiente
- `-as (ambient super-samples)` imposta il numero di super-campioni, che sono applicati solo alle divisioni d’ambiente che mostrano un cambiamento significativo
- `-av (ambient value)` il valore dell’ambiente corrisponde a una radianza media in tutte le direzioni della scena visibile e viene inserito dall’utente come valore RGB; è il valore finale usato al posto di un calcolo di luce indiretto; se il valore `-ab` è 1 o maggiore del `-av` e se `-av` è diverso da 0, può essere modificato dai valori indiretti calcolati per aumentare l’accuratezza complessiva
- `-lr (limit reflection)` limita le riflessioni a un massimo di N
- `-lw (limit weight)` limita la dimensione di ogni raggio luminoso; durante il *backward ray tracing* si tiene conto del contributo di ogni raggio all’immagine finale.

3.3.3. Evalglare

```

C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
Microsoft Windows XP [Version 5.1.2600]
(C) Copyright 1985-2001 Microsoft Corp.
L:\>c:
C:\>cd documents and settings
C:\Documents and Settings>cd sdoyle
C:\Documents and Settings\sdoyle>cd desktop
C:\Documents and Settings\sdoyle\Desktop>cd hdri
C:\Documents and Settings\sdoyle\Desktop\HDRI>
C:\Documents and Settings\sdoyle\Desktop\HDRI>getinfo -d FINAL_HDRI.hdr
FINAL_HDRI.hdr: -Y 2376 +X 4224

```

Figura 16 - Schermata esempio di Evalglare

Evalglare è un nuovo strumento basato su Radiance per valutare l’abbagliamento da luce naturale negli uffici²⁰. Il programma riconosce automaticamente le fonti di abbagliamento in una scena a occhio di pesce (180°). Sono usati tre diversi metodi per individuare le zone di abbagliamento:

- Valore fisso di luminanza
- Un moltiplicatore della luminanza media
- Un moltiplicatore della luminanza media dell’area assegnata (posizione e angolo solido da scegliere nelle opzioni).

²⁰ I risultati di una ricerca europea (*ECCO-build*) mostrano che gli indici di abbagliamento esistenti hanno poca correlazione con la domanda degli utenti. La ragione risiede nel fatto che questi metodi sono stati sviluppati principalmente per la luce artificiale con qualche tardivo adattamento al caso di luce diurna; inoltre per i test è stato usato un campione limitato di persone.

I pixel prossimi a superare la soglia sono combinati in una zona di abbagliamento. Il raggio d'esame può essere impostato nelle opzioni.

Può essere stabilita una funzione opzionale di “*smoothing*”. I pixel con una luminanza minore del limite sono considerati nella rispettiva fonte di abbagliamento.

Il programma può fornire un estratto di valori di picco di una fonte di abbagliamento. Dalle immagini elaborate, possono essere visualizzate in colore le fonti di abbagliamento (su sfondo in scala di grigi). Tutte le fonti di abbagliamento esaminate possono essere riportate in un file di testo.

3.3.4. Daysim

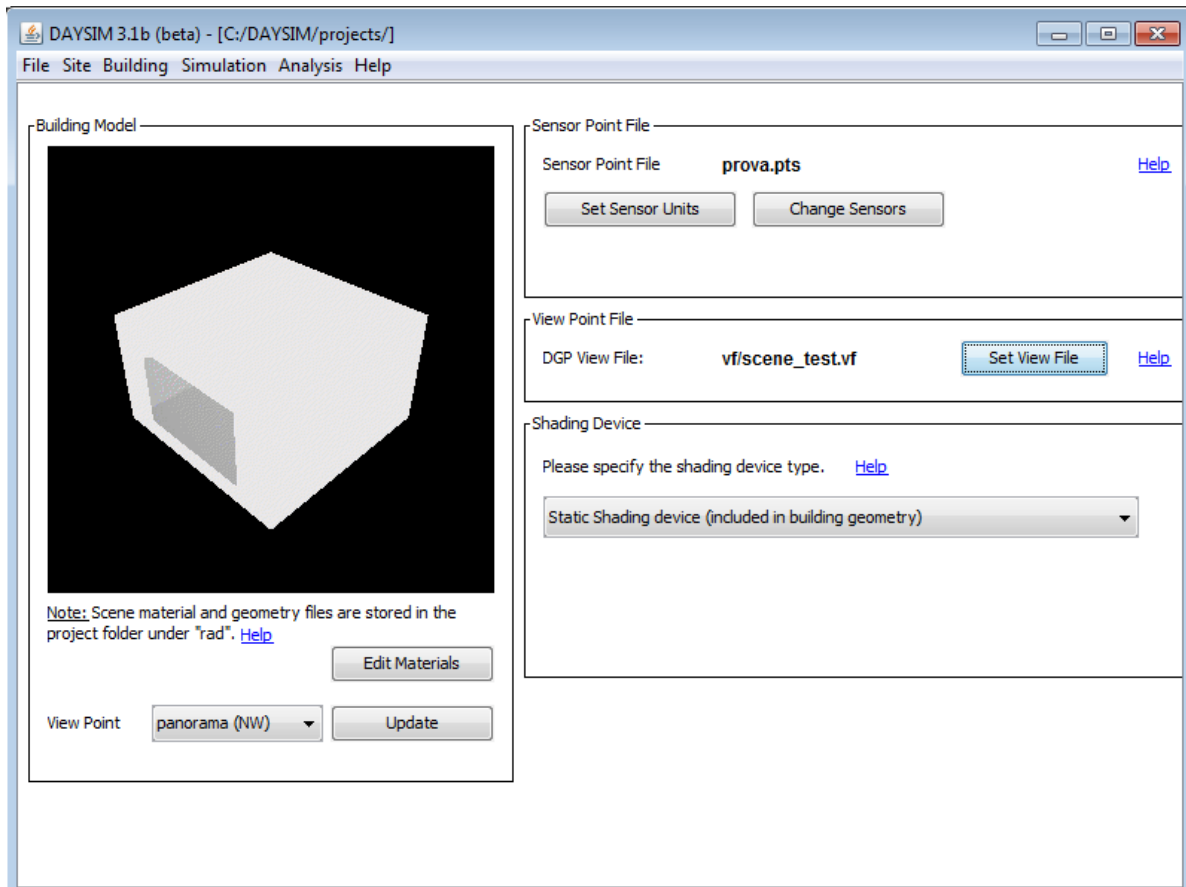


Figura 17 - Schermata esempio di Daysim

DAYSIM è un software convalidato di analisi dell'illuminazione diurna che calcola la disponibilità annuale di luce diurna negli edifici basata sulla *backward raytracer* RADIANCE. Si utilizza il modello di comportamento degli occupanti *LightSwitch* per imitare l'uso dei controlli degli utenti, come interruttori della luce e tende veneziane e di prevedere un risparmio energetico dai controlli automatici dell'illuminazione come i sensori di occupazione e sistemi controllati con fotocellula per oscuramento. Per gli approfondimenti di progettazione, DAYSIM calcola una serie di misure sull'illuminazione diurna basate sul clima tra cui l'autonomia e l'illuminamento giornaliero utile. DAYSIM può essere utilizzato anche per realizzare una analisi annuale dell'abbagliamento su scene illuminate utilizzando il concetto del *Daylight Glare Probability*. DAYSIM genera automaticamente tabelle orarie per presenza, carichi di illuminazione elettrica e lo stato del dispositivo di ombreggiatura per prevedere l'uso annuale di energia elettrica in una zona dell'edificio. Questi dati possono essere direttamente accoppiati con i più diffusi programmi di simulazione termica come TRNSYS, EnergyPlus, eQuest e Esp-r per un sistema integrato di illuminazione-simulazione termica. DAYSIM è stato collegato a una serie di ambienti CAD tra cui Rhinoceros, Autodesk Ecotect e Google Sketch Up.

I modelli di Ecotect possono essere direttamente esportati in Daysim per ulteriori analisi e, viceversa, i risultati di Daysim possono essere importati in Ecotect.

3.3.5. DIALux

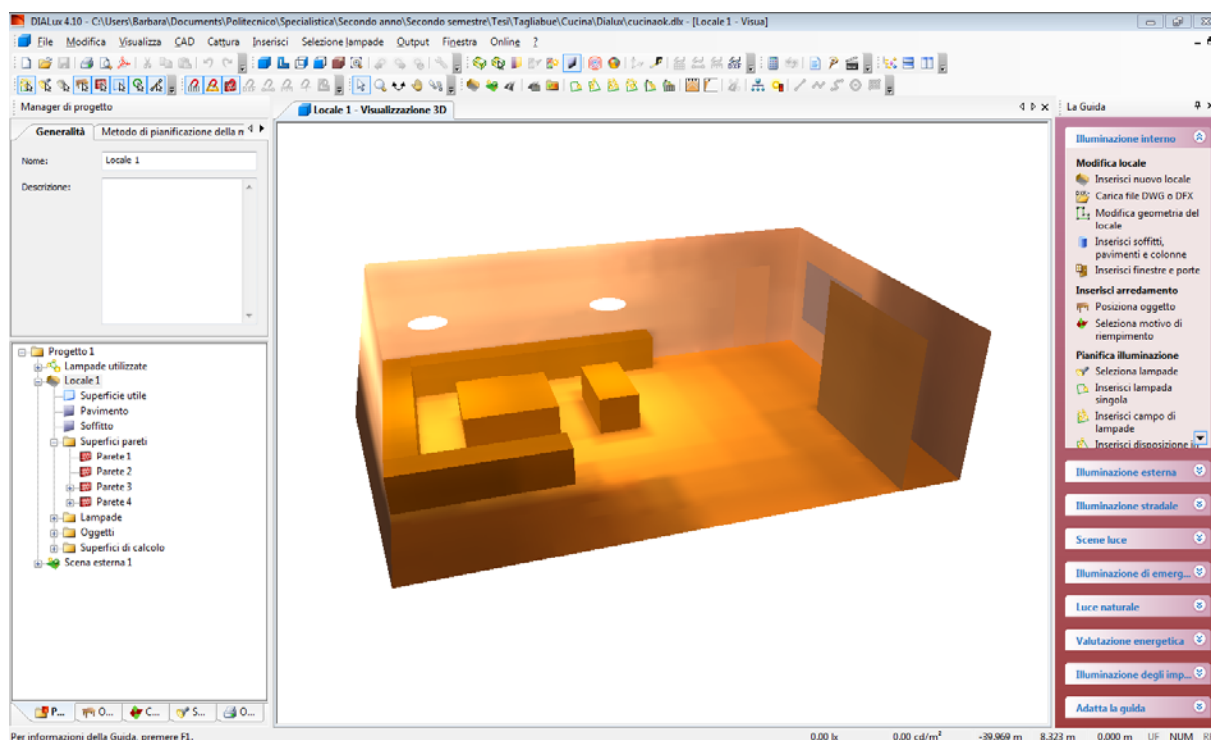


Figura 18 - Schermata esempio di DIALux

Il software completo e gratuito di DIAL per la progettazione professionale della luce è aperto ai corpi illuminanti di tutti i produttori. Con DIALux è possibile creare in maniera semplice e intuitiva scene virtuali, documentare i risultati della progettazione con splendide visualizzazioni di scenari di luce naturale e artificiale. Si possono importare file formato CAD di altri programmi di architettura ed ri-esportare i risultati.

DIALux calcola il fabbisogno energetico della soluzione individuata e aiuta a rispettare le direttive nazionali e internazionali vigenti. Viene continuamente aggiornato da un team di 20 esperti.

I vantaggi del software possono essere riassunte di seguito:

- creare con semplicità progetti professionali ed efficaci;
- file aggiornati dei corpi illuminanti dei maggiori produttori mondiali;
- disponibilità gratuita di un software sempre aggiornato e tecnicamente all'avanguardia;
- valutazione energetica;
- scene luminose colorate con LED- o altri corpi luminosi che cambiano colore.

4. Analisi illuminazione naturale: progetto base (prova 1)

Sono state svolte con i software descritti precedentemente descritti. Ecotect è servito per la modellazione 3D, Radiance per i primi parametri sull'illuminazione, Evalglare per l'abbagliamento e Daysim per la produzione di ulteriori indici visualizzabili sulla griglia di Ecotect. È stato caricato il file climatico di Cagliari (latitudine 39,1°; longitudine 9.7°); l'illuminamento di progetto del cielo è posto a 5500 lux, con cielo sereno.

Sono stati presi in considerazione il 21 giugno, 21 marzo e 21 dicembre. Per ognuno di questi giorni in Radiance le analisi si sono sviluppate in campioni degli orari di utilizzo delle stanze, per Evalglare dalle 9.00 alle 21.00, mentre Daysim riporta valori annuali.

4.1. Modellazione con Ecotect

Nel software sono state importate le piante prodotte con Autocad durante il Laboratorio di costruzioni e utilizzate come base per disegnare i volumi dell'edificio. Abbiamo utilizzato file diversi per ogni stanza analizzata, all'interno della quale ad ogni elemento è stato assegnato un materiale e un colore. Sono state disegnate le finestre, le geometrie elementari dell'arredo e almeno due telecamere, di cui una con vista a grandangolo e una ad occhio di pesce (utile per le verifiche di abbagliamento con Evalglare).




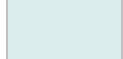

	finitura	colore	riflettanza ²¹
Pareti verticali	intonaco		0,71
Pavimento	linoleum		0,75
Soffitto	cartongesso		0,71
Finestra	vetrocamera		0,10
Mobili	legno		0,22

Figura 19 - Materiali utilizzati per i rivestimenti

²¹ La riflettanza considerata da Ecotect è esclusivamente in funzione del colore (la specularità determina semplicemente la direzionalità della luce riflessa, il colore determina quanto sia riflessa). Così Ecotect deriva la riflettanza dal colore della superficie assegnata. Tuttavia, al fine di consentire agli utenti di specificare il valore, è stato inserito un pulsante che modificherà il colore della superficie in base al valore di riflettanza inserito.

Per quanto riguarda i vetri delle finestre, per il calcolo del fattore di luce diurna, il software imposta come valore 0,1. Per il componente di riflessione interna IRC è usata la seguente formula

$$IRC = \frac{(0,85W)}{A \times (1 - p_1)} \times (C_{p2} + 5p_3)$$

dove:

W = area della finestra (m²),

A = area totale delle superfici interne (muri, pavimento, soffitto, finestre) (m²),

p_1 = area di riflettanza media ponderata dell'area A , (usando 0.1 di riflettanza per i vetri).

p_2 = riflettanza media per superfici al di sotto del piano di lavoro,

p_3 = riflettanza media per superfici al di sopra del piano di lavoro,

C = coefficient di ostruzioni esterne.

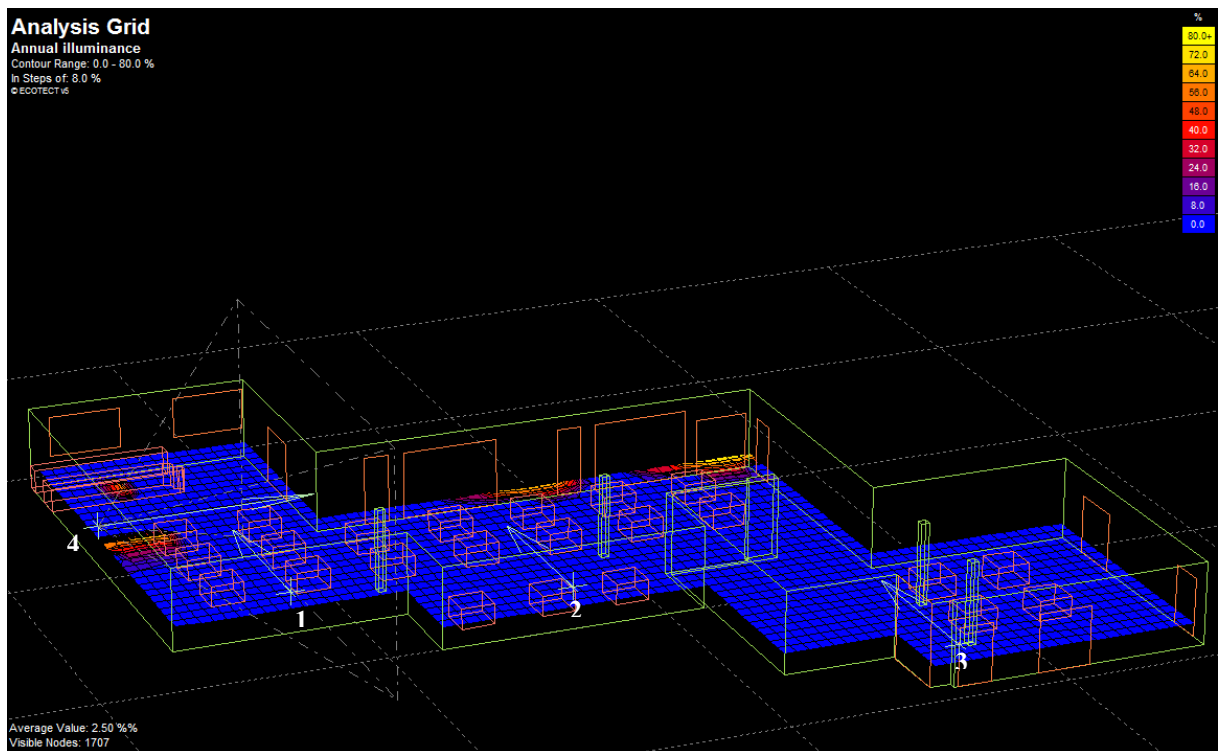


Figura 20 - Schermata di Ecotect: mensa (le frecce numerate indicano le telecamere)

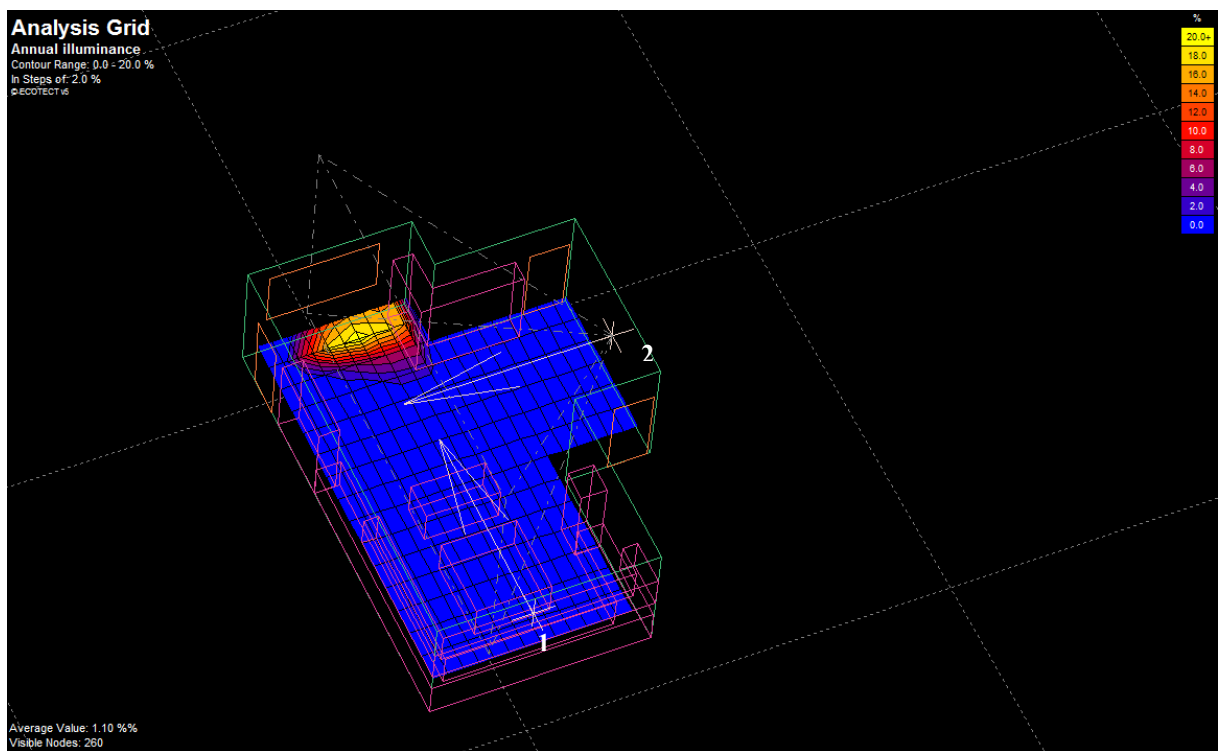


Figura 21 - Schermata di Ecotect: cucina (le frecce numerate indicano le telecamere)

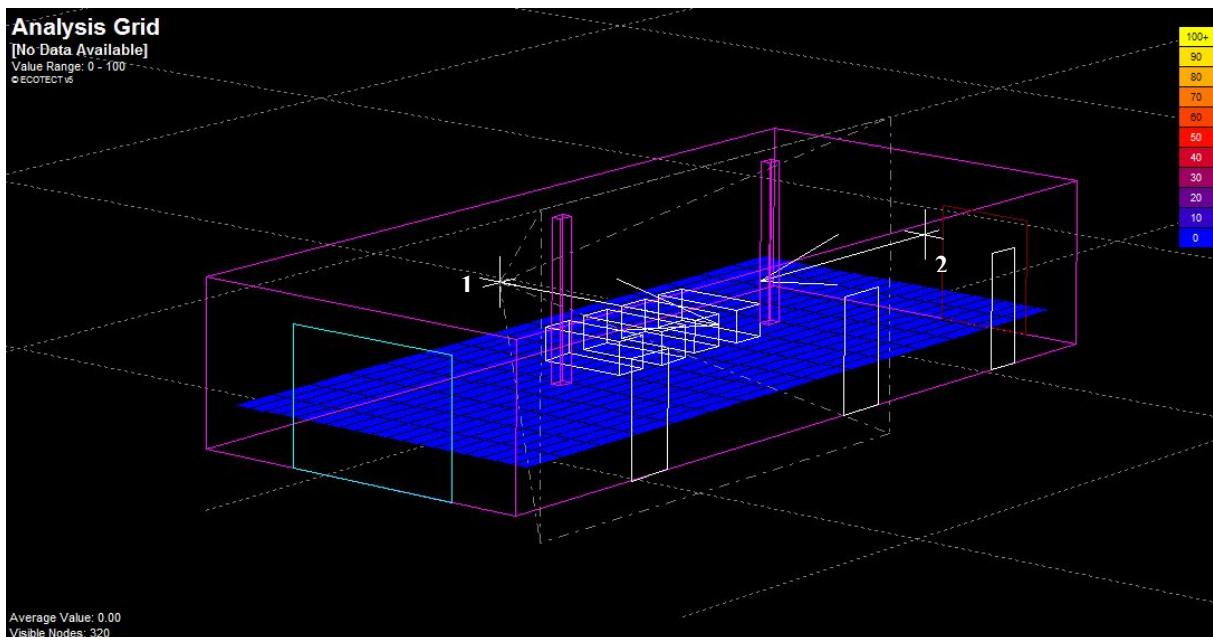


Figura 22 - Schermata di Ecotect: palestra (le frecce numerate indicano le telecamere)

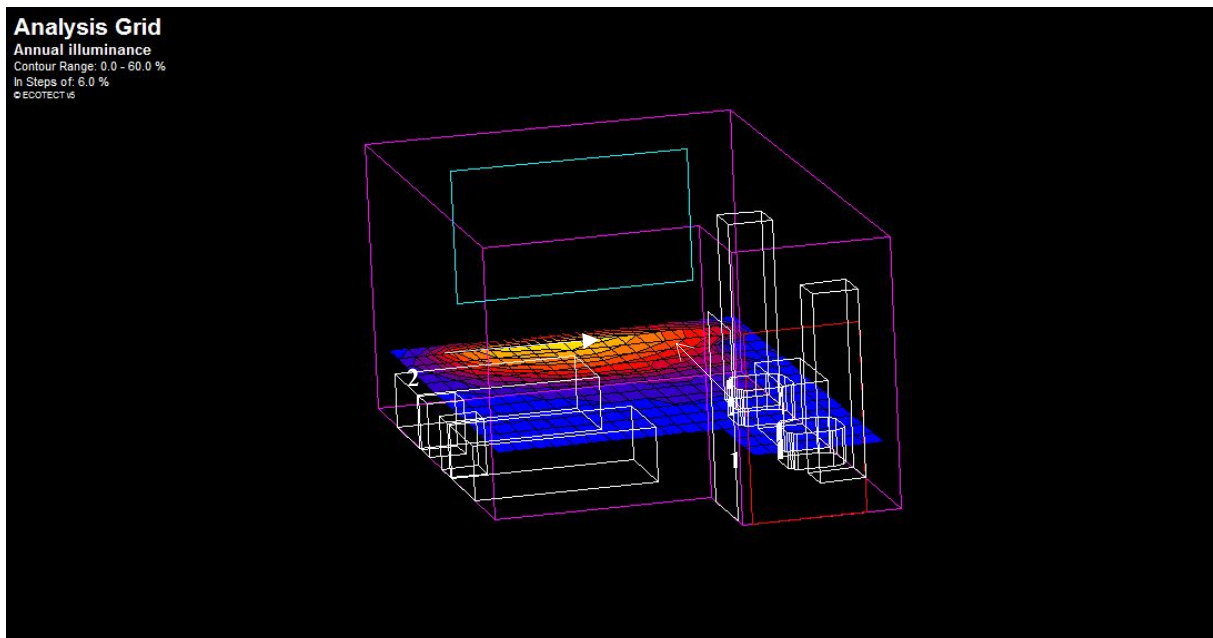


Figura 23 - Schermata di Ecotect: camera (le frecce numerate indicano le telecamere)

4.2. Schemi solari

Prima di partire con le analisi vere e proprie è utile verificare l'andamento delle ombre sulle finestre delle stanze considerate. Si riportano di seguito le immagini relative alle date utilizzate per le analisi, le maschere solari delle finestre e il coefficiente di ombreggiamento mensile.

4.2.1. 21 marzo

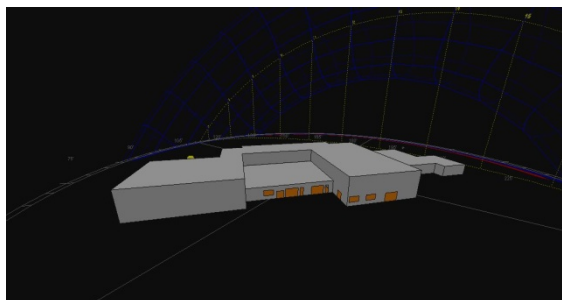


Figura 24 - Ombre, ore 6.00

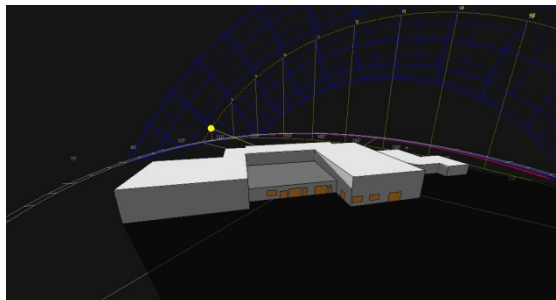


Figura 25 - Ombre, ore 7.00

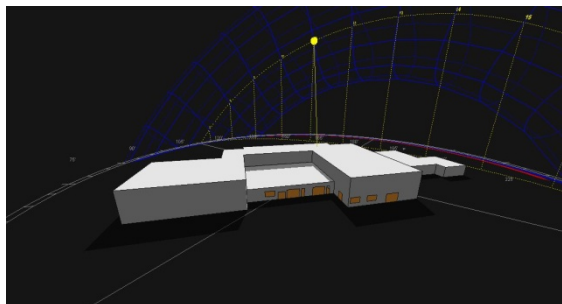


Figura 26 - Ombre, ore 11.00

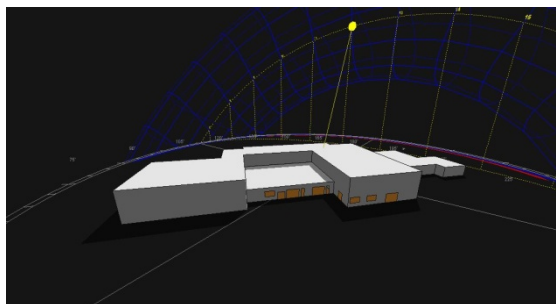


Figura 27 - Ombre, ore 12.00

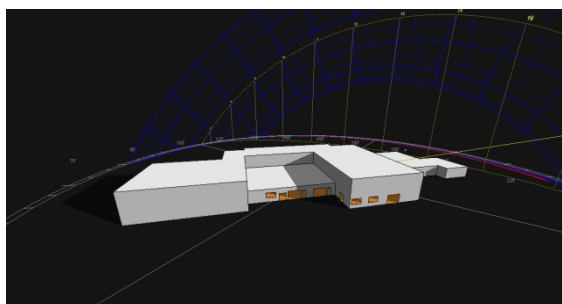


Figura 28 - Ombre, ore 17.00

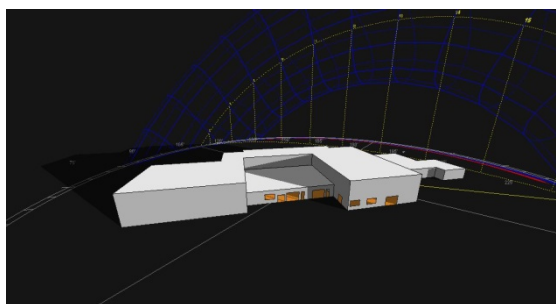


Figura 29 - Ombre, ore 18.00

Dalle ore 7.00, una volta sorto il sole, le ombre portate si allungano gradualmente sulle superfici dell'edificio. La finestra della camera a sud può godere abbastanza a lungo della luce diretta, mentre fra le 17.00 e le 18.00 alcune finestre della mensa restano in ombra.

4.2.2. 21 giugno

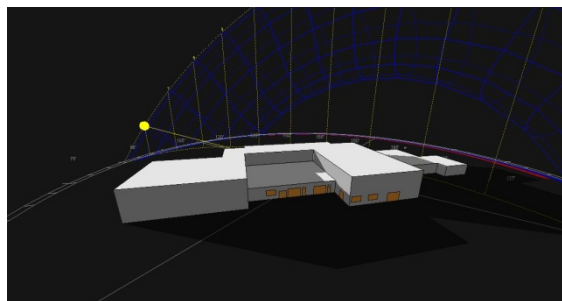


Figura 30 - Ombre, ore 6.00

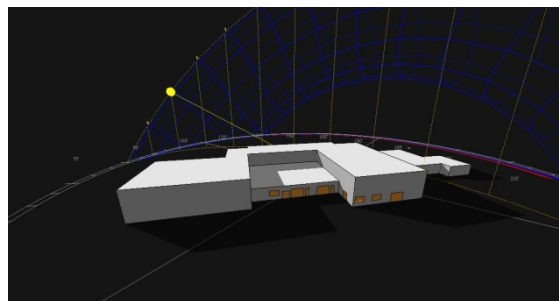


Figura 31 - Ombre, ore 7.00

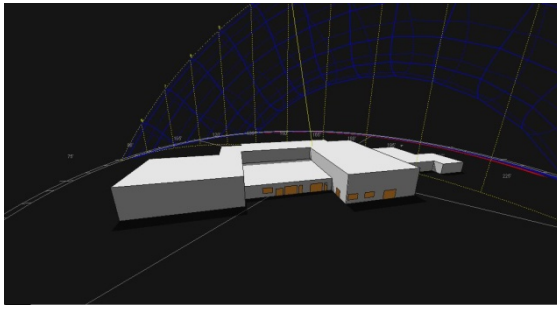


Figura 32 - Ombre, ore 11.00

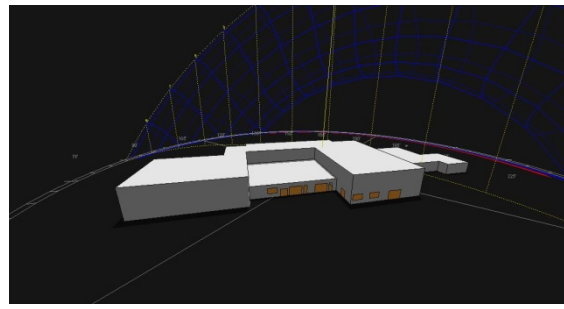


Figura 33 - Ombre, ore 12.00

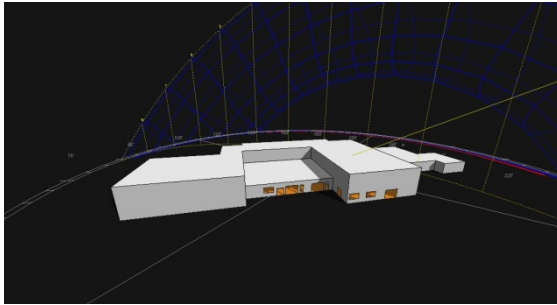


Figura 34 - Ombre, ore 17.00

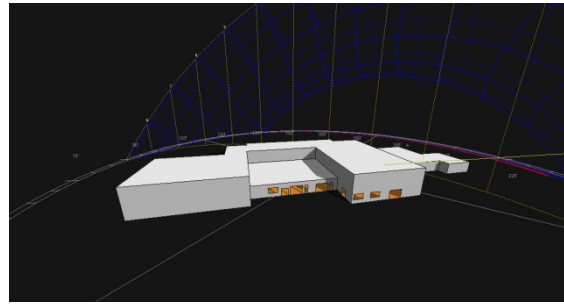


Figura 35 - Ombre, ore 18.00

Alle 6.00 il sole è già sorto e lunghe ombre si stendono verso il lato nord-ovest, illuminato adeguatamente solo nel tardo pomeriggio.

4.2.3. 21 dicembre

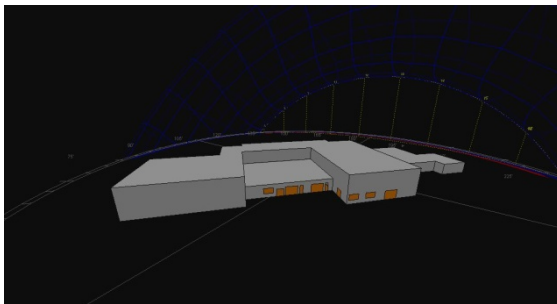


Figura 36 - Ombre, ore 6.00

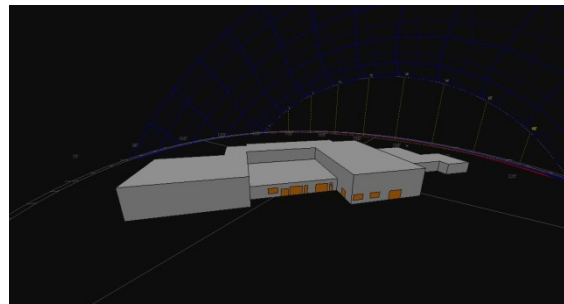


Figura 37 - Ombre, ore 7.00

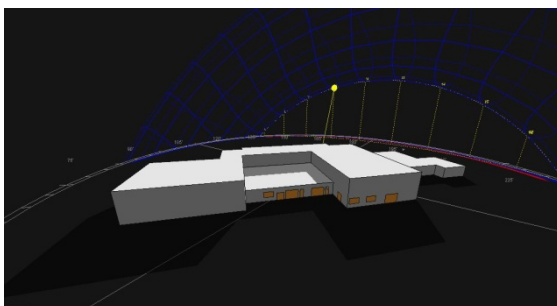


Figura 38 - Ombre, ore 11.00

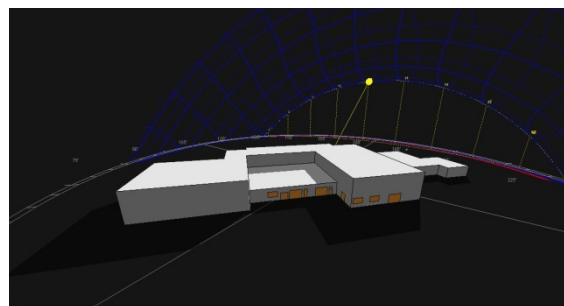


Figura 39 - Ombre, ore 12.00

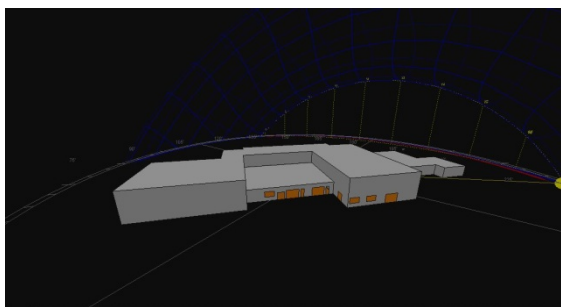


Figura 40 - Ombre, ore 17.00

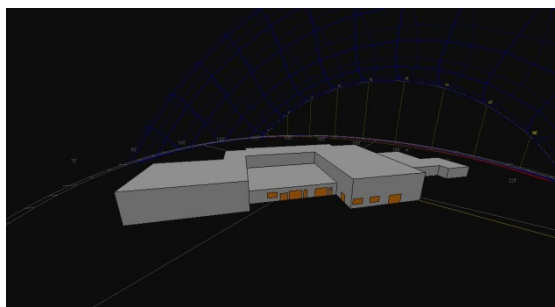


Figura 41 - Ombre, ore 18.00

A dicembre le giornate sono più corte e il sole non è ancora sorto alle 7.00 ed è già tramontato alle 17.00. Nelle ore centrali del dì le finestre a nord-ovest risultano sfavorite.

4.2.4. Diagrammi solari

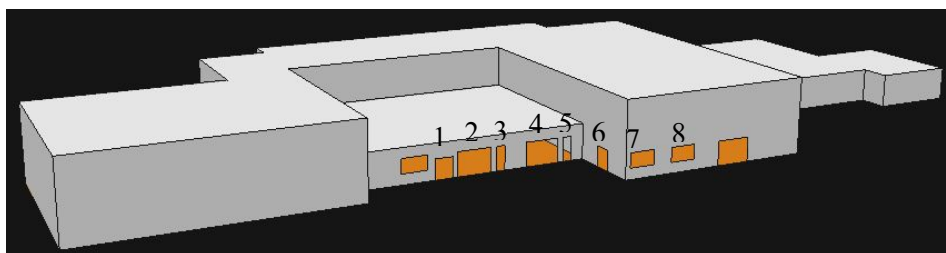


Figura 42 - Riferimento finestre mensa

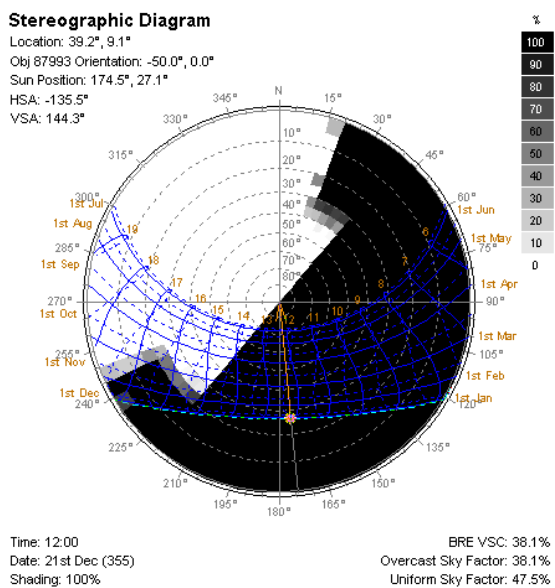


Figura 43 - Diagramma solare, mensa finestra 1

La finestra 1 ha come valore minimo 0 e i massimi arrivano anche al 100%, ma la media resta intorno al 40% nei mesi centrali dell'anno.

Effective Shading Coefficients
 OBJECT No.: 87993
 Latitude: 39,2°
 Longitude: 9,1°
 TimeZone: 15,0° [+1,0hrs]
 Orientation: -50,0°

Month	Avg,SC	Max,SC	Min,SC
January	0,0%	0,0%	0,0%
February	23,4%	0,0%	100,0%
March	36,0%	0,0%	100,0%
April	40,7%	0,0%	100,0%
May	44,8%	0,0%	100,0%
June	44,8%	0,0%	100,0%
July	41,4%	0,0%	100,0%
August	40,7%	0,0%	100,0%
September	32,2%	0,0%	100,0%
October	12,2%	0,0%	91,7%
November	1,4%	0,0%	25,8%
December	1,4%	0,0%	25,8%
Winter	8,2%	0,0%	41,9%
Summer	43,7%	0,0%	100,0%
Annual	26,6%	0,0%	78,6%

Figura 44 - Valori mensili del coefficiente di ombreggiamento

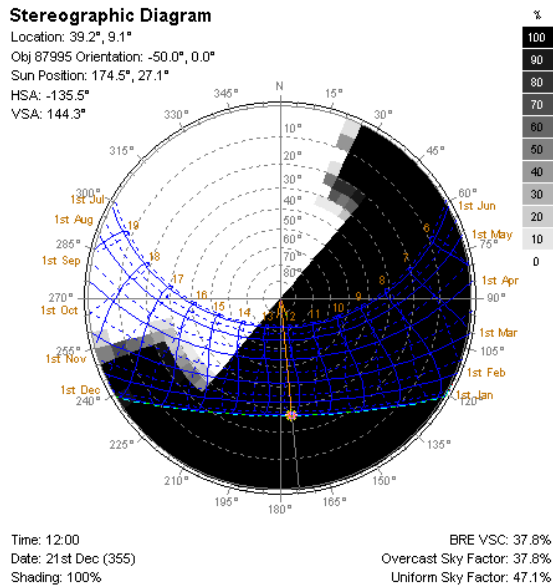


Figura 45 - Diagramma solare, mensa finestra 2

La finestra 2 ha come valore minimo 0 e i massimi arrivano anche al 100%, ma la media resta intorno al 40% nei mesi centrali dell'anno.

Effective Shading Coefficients
 OBJECT No.: 87995
 Latitude: 39,2°
 Longitude: 9,1°
 TimeZone: 15,0° [+1,0hrs]
 Orientation: -50,0°

Month	Avg,SC	Min,SC	Max,SC
January	0,0%	0,0%	0,0%
February	11,2%	0,0%	87,5%
March	33,3%	0,0%	100,0%
April	40,7%	0,0%	100,0%
May	44,8%	0,0%	100,0%
June	44,8%	0,0%	100,0%
July	41,4%	0,0%	100,0%
August	40,3%	0,0%	100,0%
September	26,4%	0,0%	100,0%
October	2,8%	0,0%	54,2%
November	0,4%	0,0%	7,3%
December	0,4%	0,0%	7,3%
Winter	3,9%	0,0%	31,6%
Summer	43,7%	0,0%	100,0%
Annual	23,9%	0,0%	71,3%

Figura 46 - Valori mensili del coefficiente di ombreggiamento

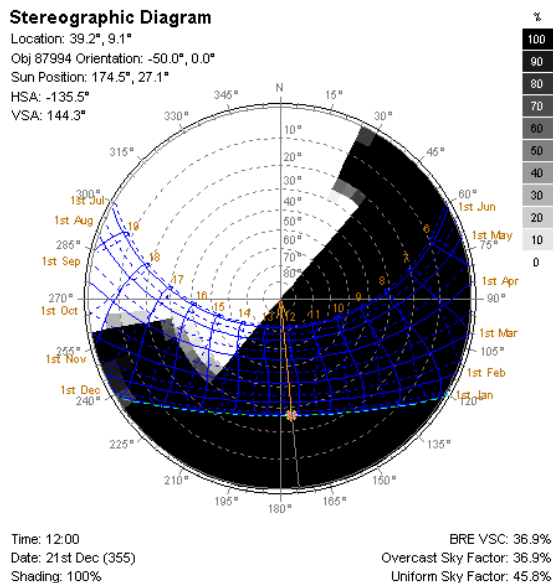


Figura 47 - Diagramma solare, mensa finestra 3

Anche la finestra 3 ha come valore minimo 0 e i massimi arrivano anche al 100%, ma la media resta intorno al 40% nei mesi centrali dell'anno.

Effective Shading Coefficients
 OBJECT No.: 87994
 Latitude: 39,2°
 Longitude: 9,1°
 TimeZone: 15,0° [+1,0hrs]
 Orientation: -50,0°

Month	Avg,SC	Max,SC	Min,SC
January	0,6%	0,0%	11,2%
February	1,3%	0,0%	29,4%
March	20,7%	0,0%	100,0%
April	40,7%	0,0%	100,0%
May	44,8%	0,0%	100,0%
June	44,8%	0,0%	100,0%
July	41,4%	0,0%	100,0%
August	37,3%	0,0%	100,0%
September	13,7%	0,0%	100,0%
October	0,4%	0,0%	9,3%
November	1,3%	0,0%	25,1%
December	1,3%	0,0%	25,1%
Winter	1,1%	0,0%	21,9%
Summer	43,7%	0,0%	100,0%
Annual	20,7%	0,0%	66,7%

Figura 48 - Valori mensili del coefficiente di ombreggiamento

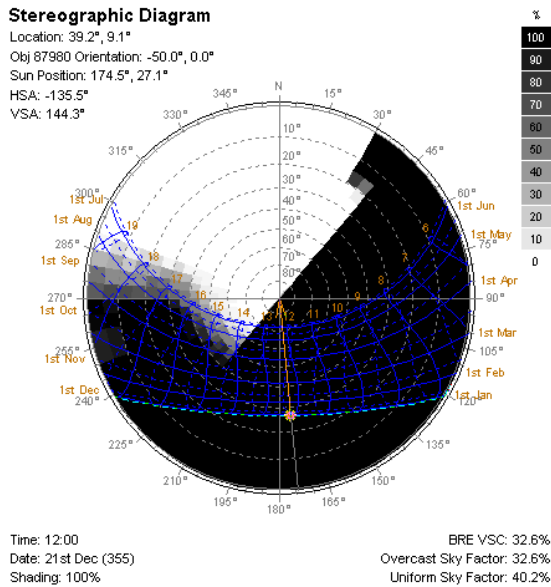


Figura 49 - Diagramma solare, mensa finestra 4

I valori medi del coefficiente di ombreggiamento della finestra 4 si assestano intorno al 30% durante i mesi centrali dell'anno.

Effective Shading Coefficients
 OBJECT No.: 87980
 Latitude: 39,2°
 Longitude: 9,1°
 TimeZone: 15,0° [+1,0hrs]
 Orientation: -50,0°

Month	Avg,SC	Min,SC	Max,SC
January	0,0%	0,0%	0,0%
February	1,0%	0,0%	12,9%
March	1,9%	0,0%	35,9%
April	16,4%	0,0%	96,3%
May	31,2%	0,0%	100,0%
June	33,7%	0,0%	100,0%
July	27,7%	0,0%	100,0%
August	11,6%	0,0%	70,4%
September	0,0%	0,0%	0,0%
October	0,0%	0,0%	0,0%
November	0,0%	0,0%	0,0%
December	0,0%	0,0%	0,0%
Winter	0,3%	0,0%	4,3%
Summer	30,9%	0,0%	100,0%
Annual	10,3%	0,0%	43,0

Figura 50 - Valori mensili del coefficiente di ombreggiamento

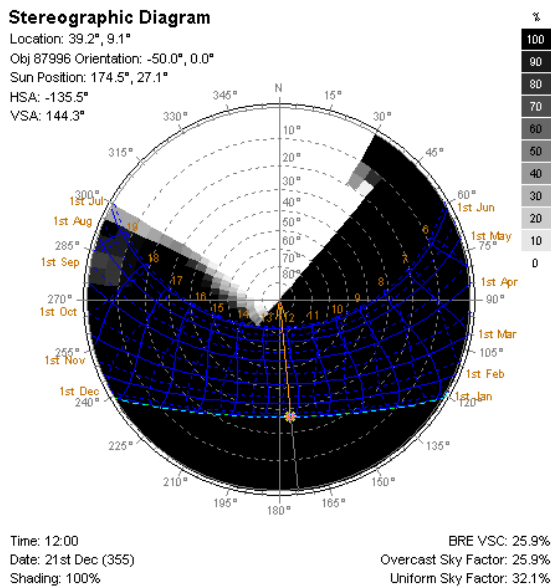


Figura 51 - Diagramma solare, mensa finestra 5

I valori massimi della finestra 5 non raggiungono il 100%, la media dei mesi centrali dell'anno è sempre inferiore al 3%.

Effective Shading Coefficients
 OBJECT No.: 87996
 Latitude: 39,2°
 Longitude: 9,1°
 TimeZone: 15,0° [+1,0hrs]
 Orientation: -50,0°

Month	Avg,SC	Min,SC	Max,SC
January	0,0%	0,0%	0,0%
February	0,0%	0,0%	0,0%
March	0,0%	0,0%	0,0%
April	1,3%	0,0%	19,9%
May	2,7%	0,0%	64,7%
June	2,7%	0,0%	64,7%
July	0,5%	0,0%	11,4%
August	1,6%	0,0%	24,0%
September	0,0%	0,0%	0,0%
October	0,0%	0,0%	0,0%
November	0,0%	0,0%	0,0%
December	0,0%	0,0%	0,0%
Winter	0,0%	0,0%	0,0%
Summer	2,0%	0,0%	46,9%
Annual	0,7%	0,0%	15,4%

Figura 52 - Valori mensili del coefficiente di ombreggiamento

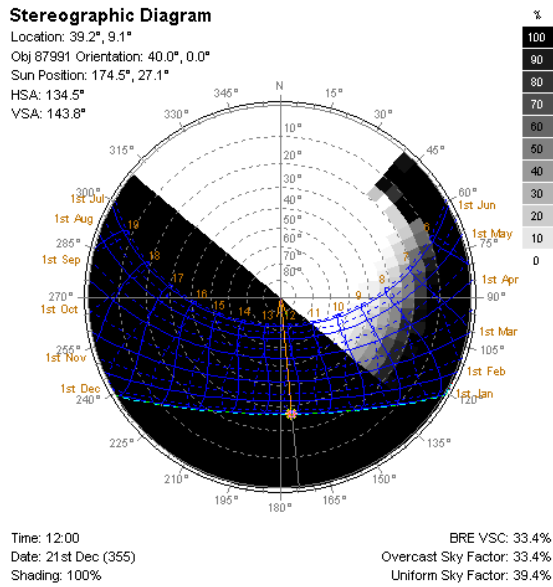


Figura 53 - Diagramma solare, mensa finestra 6

La finestra 6 presenta valori medi di coefficiente di ombreggiamento non superiori al 30%.

Effective Shading Coefficients
 OBJECT No.: 87991
 Latitude: 39,2°
 Longitude: 9,1°
 TimeZone: 15,0° [+1,0hrs]
 Orientation: 40,0°

Month	Avg,SC	Min,SC	Max,SC
January	0,0%	0,0%	0,0%
February	2,4%	0,0%	40,0%
March	7,3%	0,0%	66,7%
April	20,0%	0,0%	96,7%
May	25,3%	0,0%	100,0%
June	29,7%	0,0%	100,0%
July	26,2%	0,0%	100,0%
August	14,3%	0,0%	93,3%
September	5,1%	0,0%	56,7%
October	0,6%	0,0%	13,3%
November	0,0%	0,0%	0,0%
December	0,0%	0,0%	0,0%
Winter	0,8%	0,0%	13,3%
Summer	27,0%	0,0%	100,0%
Annual	10,9%	0,0%	55,6%

Figura 54 - Valori mensili del coefficiente di ombreggiamento

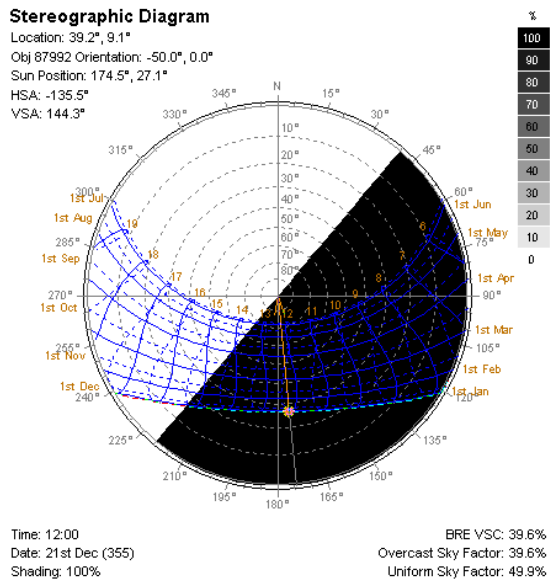


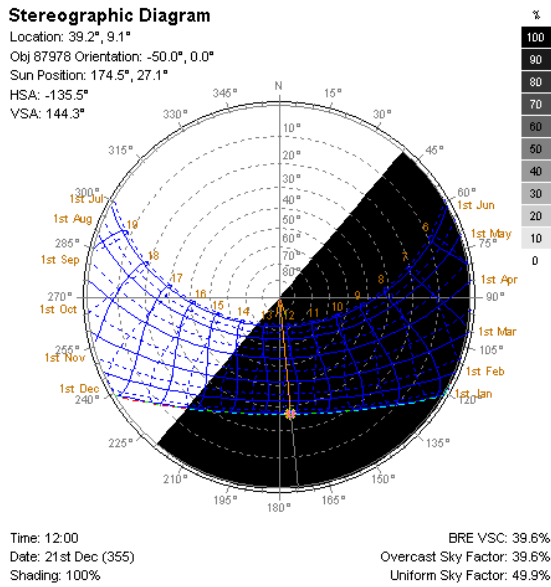
Figura 55 - Diagramma solare, mensa finestra 7

La finestra 7 presenta un coefficiente di ombreggiamento variabile lungo i mesi dell'anno da un minimo di 0 ad un massimo del 100%, con valori medi intorno al 40%.

Effective Shading Coefficients
 OBJECT No.: 87992
 Latitude: 39,2°
 Longitude: 9,1°
 TimeZone: 15,0° [+1,0hrs]
 Orientation: -50,0°

Month	Avg,SC	Min,SC	Max,SC
January	25,0%	0,0%	100,0%
February	31,8%	0,0%	100,0%
March	36,0%	0,0%	100,0%
April	40,7%	0,0%	100,0%
May	44,8%	0,0%	100,0%
June	44,8%	0,0%	100,0%
July	41,4%	0,0%	100,0%
August	40,7%	0,0%	100,0%
September	33,3%	0,0%	100,0%
October	28,6%	0,0%	100,0%
November	21,1%	0,0%	100,0%
December	21,1%	0,0%	100,0%
Winter	26,0%	0,0%	100,0%
Summer	43,7%	0,0%	100,0%
Annual	34,1%	0,0%	100,0%

Figura 56 - Valori mensili del coefficiente di ombreggiamento



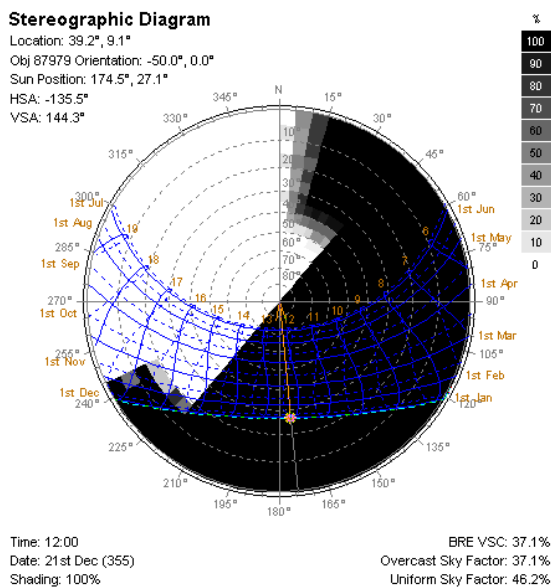
Effective Shading Coefficients
 OBJECT No.: 87978
 Latitude: 39,2°
 Longitude: 9,1°
 TimeZone: 15,0° [+1,0hrs]
 Orientation: -50,0°

Month	Avg,SC	Max,SC	Min,SC	
January	25,0%	0,0%	100,0%	
February	31,8%	0,0%	100,0%	
March	36,0%	0,0%	100,0%	
April	40,7%	0,0%	100,0%	
May	44,8%	0,0%	100,0%	
June	44,8%	0,0%	100,0%	
July	41,4%	0,0%	100,0%	
August	40,7%	0,0%	100,0%	
September	33,3%	0,0%	100,0%	
October	28,6%	0,0%	100,0%	
November	21,1%	0,0%	100,0%	
December	21,1%	0,0%	100,0%	
Winter	26,0%	0,0%	100,0%	
Summer	43,7%	0,0%	100,0%	
Annual	34,1%	0,0%	100,0%	

Figura 57 - Diagramma solare, mensa finestra 8

Figura 58 - Valori mensili del coefficiente di ombreggiamento

La finestra 8 ha valori medi intorno al 40% durante i mesi centrali dell'anno.



Effective Shading Coefficients
 OBJECT No.: 87979
 Latitude: 39,2°
 Longitude: 9,1°
 TimeZone: 15,0° [+1,0hrs]
 Orientation: -50,0°

Month	Avg,SC	Max,SC	Min,SC	
January	4,4%	0,0%	44,4%	
February	30,8%	0,0%	100,0%	
March	36,0%	0,0%	100,0%	
April	40,7%	0,0%	100,0%	
May	44,8%	0,0%	100,0%	
June	44,8%	0,0%	100,0%	
July	41,4%	0,0%	100,0%	
August	40,7%	0,0%	100,0%	
September	33,3%	0,0%	100,0%	
October	22,8%	0,0%	100,0%	
November	2,3%	0,0%	44,4%	
December	0,0%	0,0%	0,0%	
Winter	11,8%	0,0%	48,1%	
Summer	43,7%	0,0%	100,0%	
Annual	28,5%	0,0%	82,4%	

Figura 59 - Diagramma solare, cucina

Figura 60 - Valori mensili del coefficiente di ombreggiamento

Il serramento della cucina presenta un coefficiente di ombreggiamento medio dal 4 al 45%.

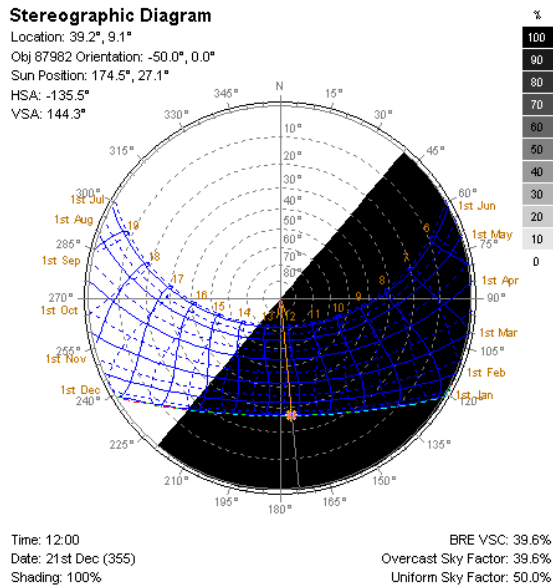


Figura 61 - Diagramma solare, palestra

Il coefficiente di ombreggiamento medio della finestra della palestra va dal 20 al 45%

Effective Shading Coefficients
 OBJECT No.: 87982
 Latitude: 39,2°
 Longitude: 9,1°
 TimeZone: 15,0° [+1,0hrs]
 Orientation: -50,0°

Month	Avg,SC	Max,SC	Min,SC	
January		25,0%	0,0%	100,0%
February		31,8%	0,0%	100,0%
March		36,0%	0,0%	100,0%
April		40,7%	0,0%	100,0%
May		44,8%	0,0%	100,0%
June		44,8%	0,0%	100,0%
July		41,4%	0,0%	100,0%
August		40,7%	0,0%	100,0%
September		33,3%	0,0%	100,0%
October		28,6%	0,0%	100,0%
November		21,1%	0,0%	100,0%
December		21,1%	0,0%	100,0%
Winter		26,0%	0,0%	100,0%
Summer		43,7%	0,0%	100,0%
Annual		34,1%	0,0%	100,0%

Figura 62 - Valori mensili del coefficiente di ombreggiamento

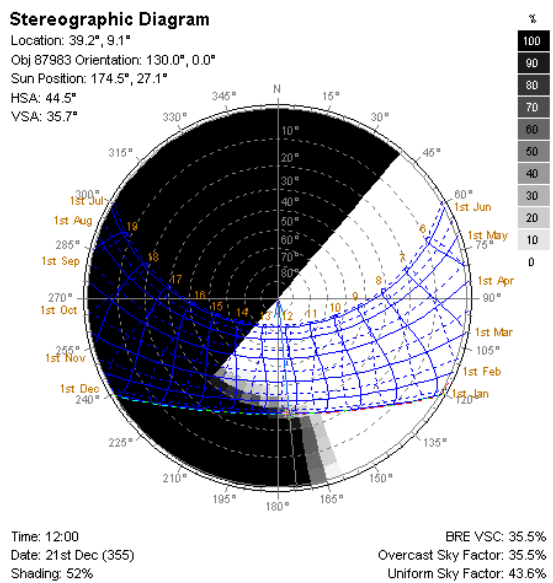


Figura 63 - Diagramma solare, camera

La finestra della camera presenta valori medi fra il 45 e il 66%.

Effective Shading Coefficients
 OBJECT No.: 87983
 Latitude: 39,2°
 Longitude: 9,1°
 TimeZone: 15,0° [+1,0hrs]
 Orientation: 130,0°

Month	Avg,SC	Min,SC	Max,SC	
January	53,9%	0,0%	100,0%	
February	61,8%	0,0%	100,0%	
March	64,0%	0,0%	100,0%	
April	59,3%	0,0%	100,0%	
May	55,2%	0,0%	100,0%	
June	55,2%	0,0%	100,0%	
July	58,6%	0,0%	100,0%	
August	59,3%	0,0%	100,0%	
September	66,5%	0,0%	100,0%	
October	63,6%	0,0%	100,0%	
November	48,1%	0,0%	100,0%	
December	45,7%	0,0%	100,0%	
Winter	53,8%	0,0%	100,0%	
Summer	56,3%	0,0%	100,0%	
Annual	57,6%	0,0%	100,0%	

Figura 64 - Valori mensili del coefficiente di ombreggiamento

4.3. Radiance: analisi luminanza, illuminamento e fattore di luce diurna

Radiance permette di visualizzare, attraverso le telecamere disposte in Ecotect, la distribuzione della luminanza, dell'illuminamento e del daylight factor nelle viste in esame. Per lo scopo vanno impostati alcuni parametri, definiti già da pagina 59, che riportiamo di seguito:

Ambient bounces (ab)	5
Ambient divisions (ad)	1000
Ambient super-samples (as)	20
Ambient resolution (ar)	300
Ambient accuracy (aa)	0,1
Limit reflection (lr)	6
Specular threshold (st)	0,15
Specular jitter (sj)	1
Limit weight (lw)	0,004
Direct jitter (dj)	0
Direct sampling (ds)	0,2
Direct relays (dr)	2
Direct pretest density (dp)	512

Tabella 6 - Parametri di impostazione utilizzati (default) per Radiance

I risultati di Radiance sono visibili in una serie di immagini; cliccando su qualsiasi punto è possibile visualizzarne il valore. Si è preferito riportare le analisi sulla luminanza in falsi colori, l'illuminamento con le isolux e il fattore di luce diurna con isolinee. Non essendo estraibili in tabelle, alla fine di ogni paragrafo si è indicato l'andamento dei parametri identificabile rispetto alle immagini.

Gli orari presi in considerazione sono:

- mensa ore 7.00, 12.00, 17.00;
- cucina ore 6.00, 11.00, 18.00;
- palestra ore 11.00, 15.00, 17.00;
- camera ore 6.00, 11.00, 18.00.

Sono stati riportati in tre blocchi, permettendo il confronto fra le situazioni di tutte le stanze nelle fasce orarie della mattina, del pranzo, e del tardo pomeriggio.

4.3.1. 21 marzo

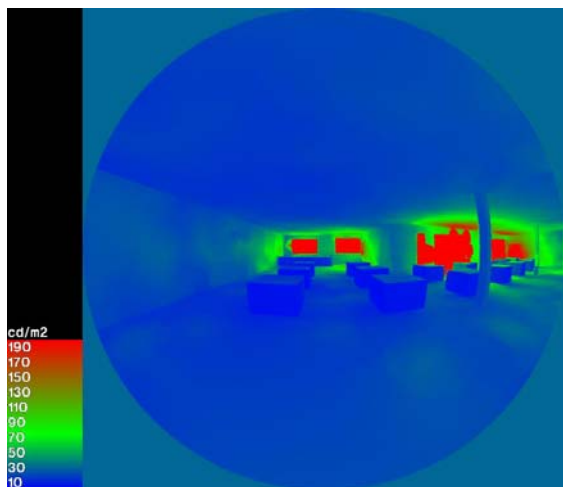


Figura 65 - Luminanza mensa, telecamera 1, ore 7.00

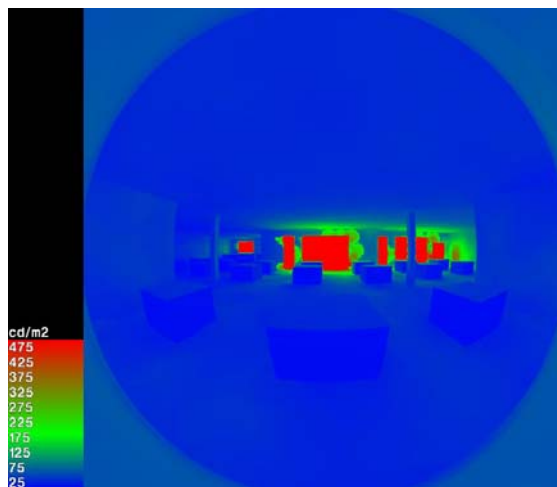


Figura 66 - Luminanza mensa, telecamera 2, ore 7.00

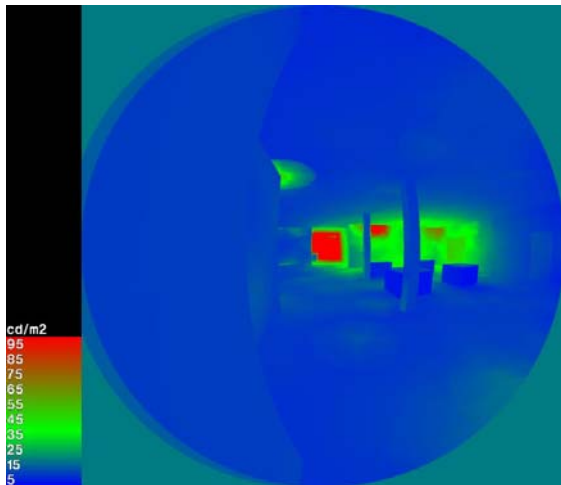


Figura 67 - Luminanza mensa, telecamera 3, ore 7.00

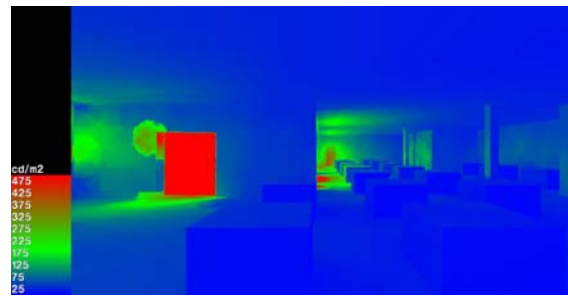


Figura 68 - Luminanza mensa, telecamera 4, ore 7.00

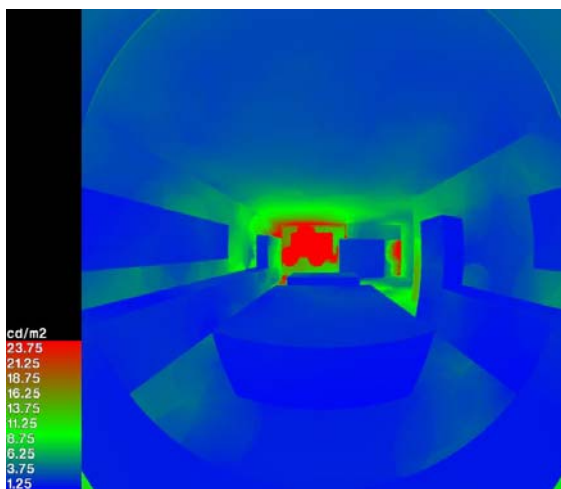


Figura 69 - Luminanza cucina, telecamera 1, ore 6.00

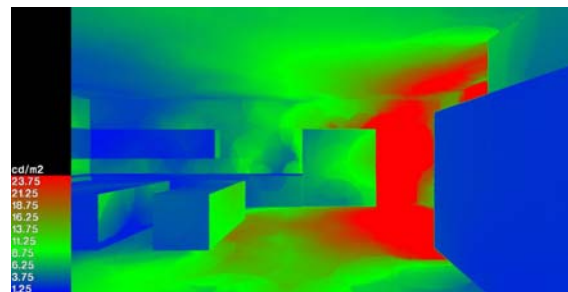


Figura 70 - Luminanza cucina, telecamera 2, ore 6.00

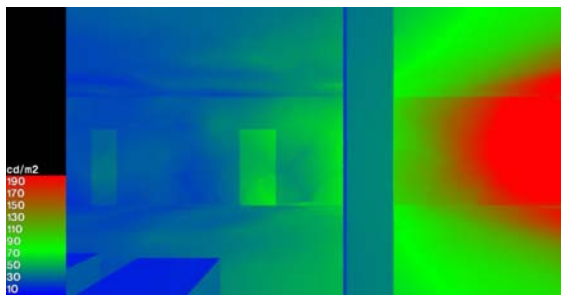


Figura 71 - Luminanza palestra telecamera 1, ore 11.00

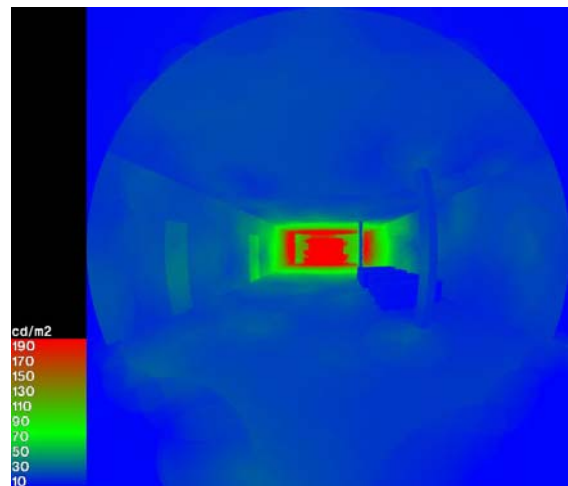


Figura 72 - Luminanza palestra telecamera 2, ore 11.00

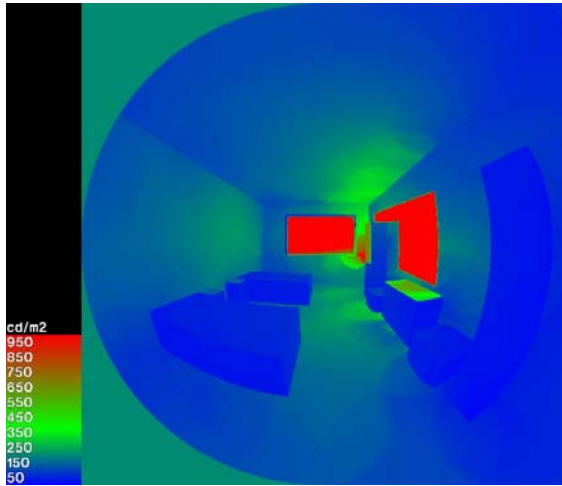


Figura 73 - Luminanza camera telecamera 1, ore 06.00

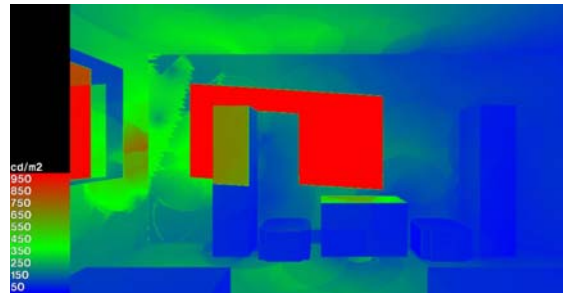


Figura 74 - Luminanza camera telecamera 2, ore 06.00

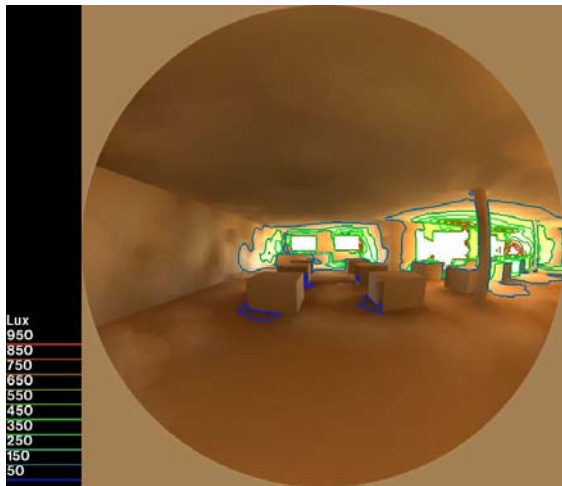


Figura 75 - Illuminamento mensa, telecamera 1, ore 7.00

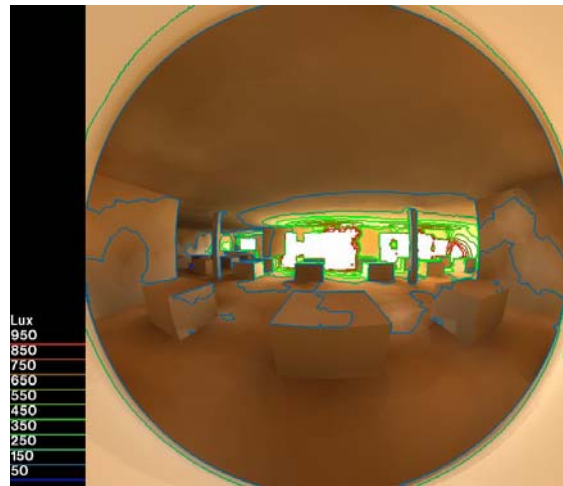


Figura 76 - Illuminamento mensa, telecamera 2, ore 7.00

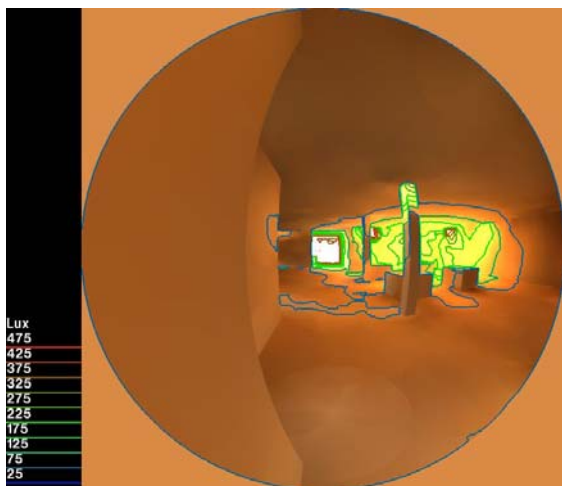


Figura 77 - Illuminamento mensa, telecamera 3, ore 7.00

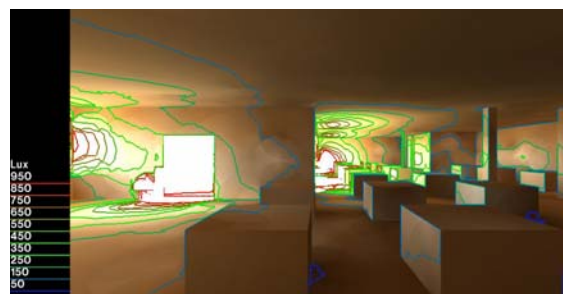


Figura 78 - Illuminamento mensa, telecamera 4, ore 7.00

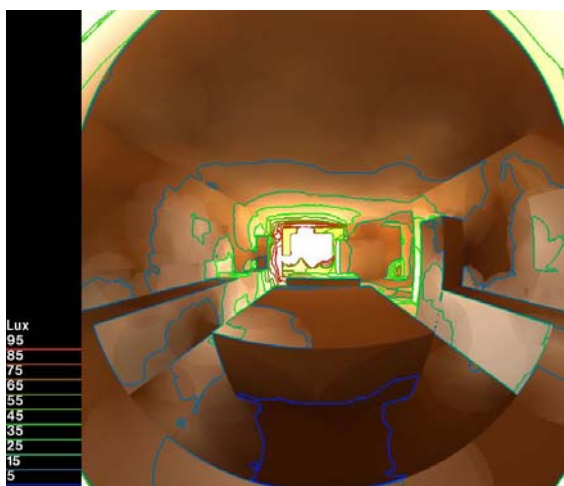


Figura 79 - Illuminamento cucina, telecamera 1, ore 6.00

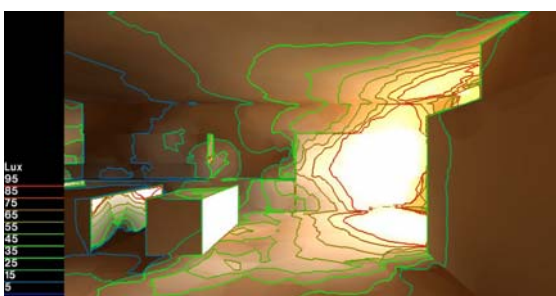


Figura 80 - Illuminamento cucina, telecamera 2, ore 6.00

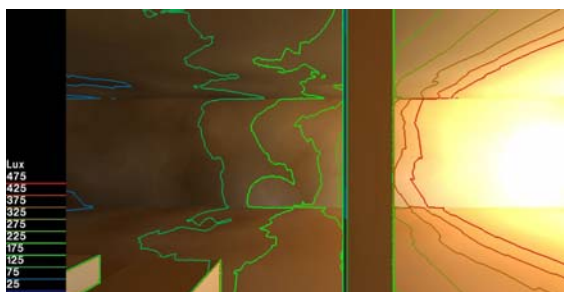


Figura 81 - Illuminamento palestra telecamera 1, ore 11.00

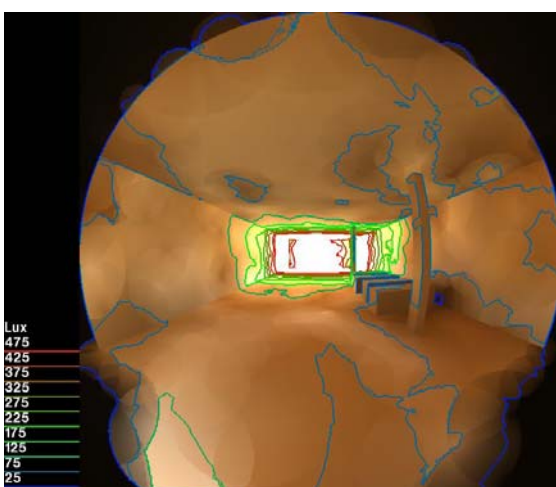


Figura 82 - Illuminamento palestra telecamera 2, ore 11.00

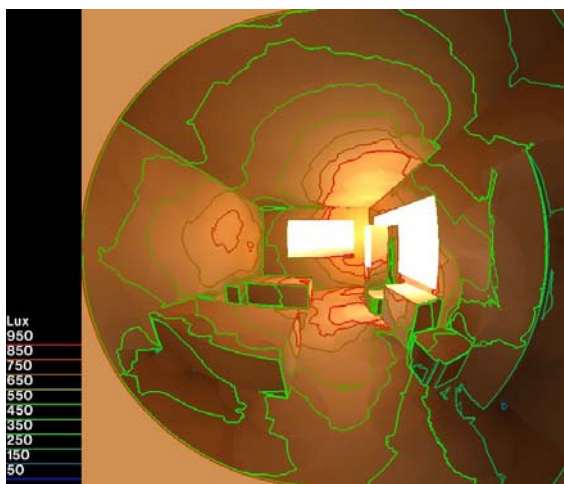


Figura 83 - Illuminamento camera telecamera 1, ore 06.00



Figura 84 - Illuminamento camera telecamera 2, ore 06.00

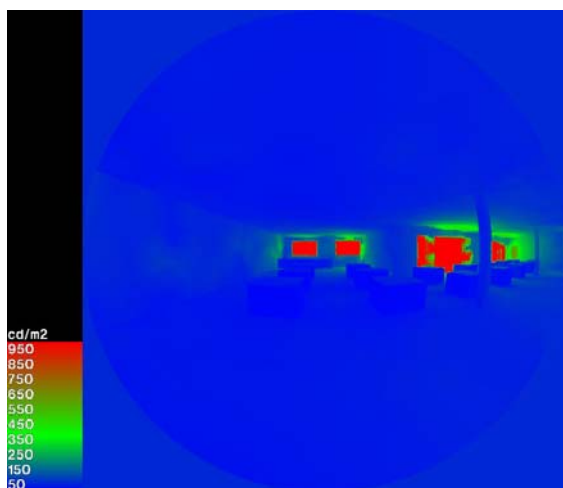


Figura 85 - Luminanza mensa, telecamera 1, ore 12.00

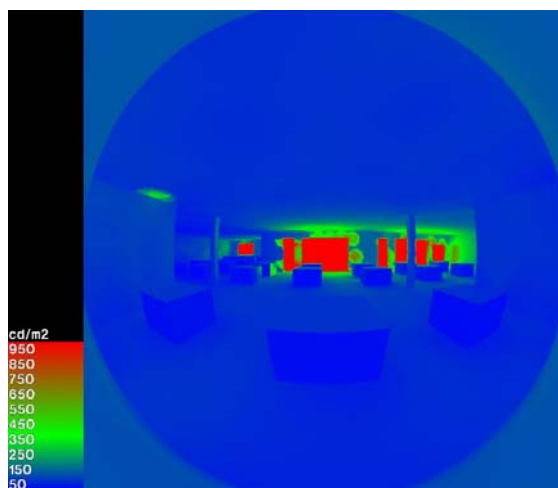


Figura 86 - Luminanza mensa, telecamera 2, ore 12.00

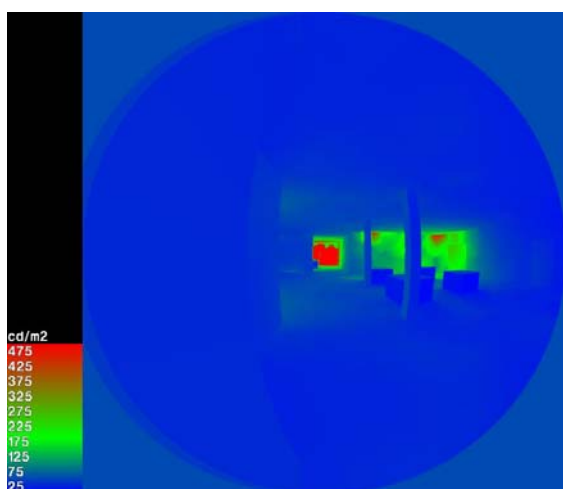


Figura 87 - Luminanza mensa, telecamera 3, ore 12.00

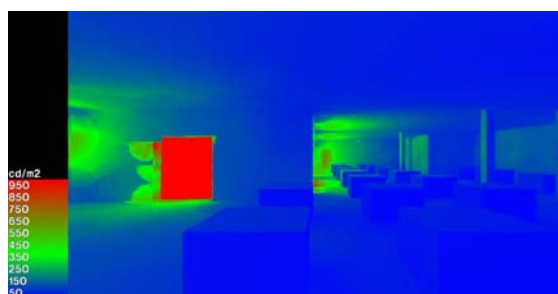


Figura 88 - Luminanza mensa, telecamera 4, ore 12.00

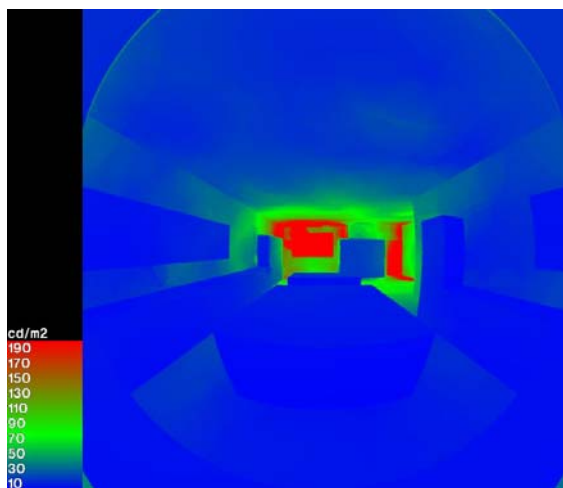


Figura 89 - Luminanza cucina, telecamera 1, ore 11.00

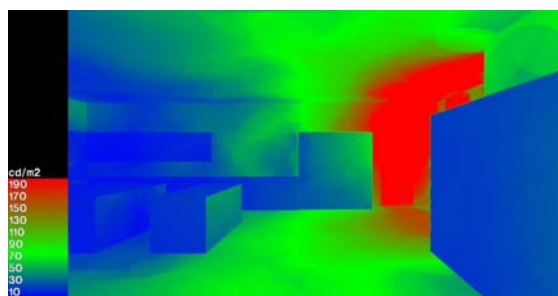


Figura 90 - Luminanza cucina, telecamera 2, ore 11.00

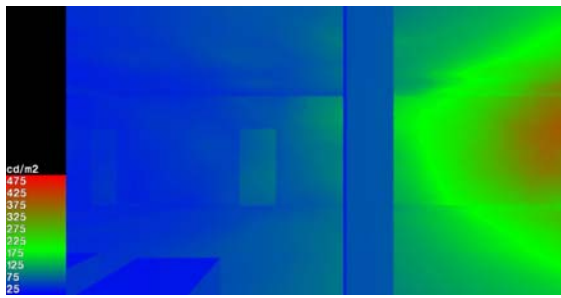


Figura 91 - Luminanza palestra telecamera 1, ore 15.00

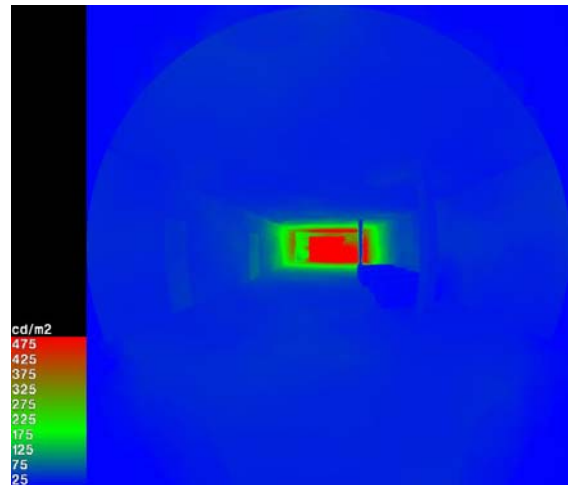


Figura 92 - Luminanza palestra telecamera 2, ore 15.00

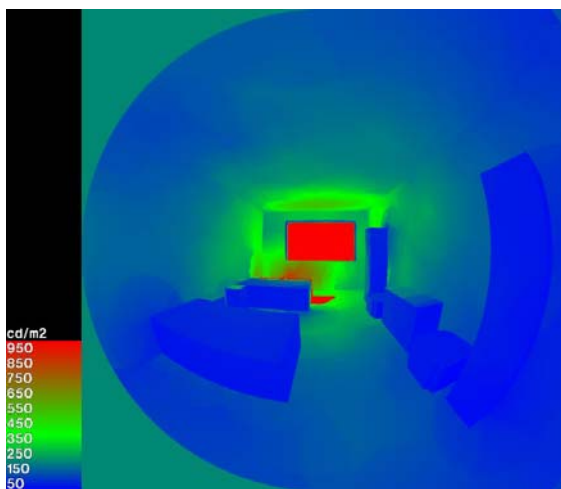


Figura 93 - Luminanza camera telecamera 1, ore 11.00

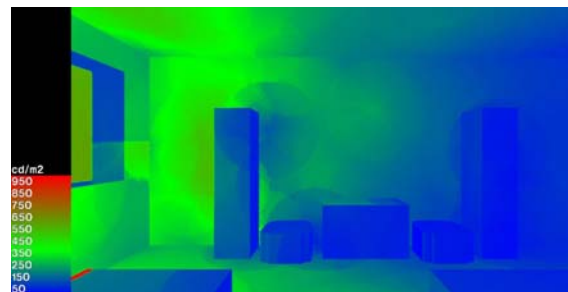


Figura 94 - Luminanza camera telecamera 2, ore 11.00

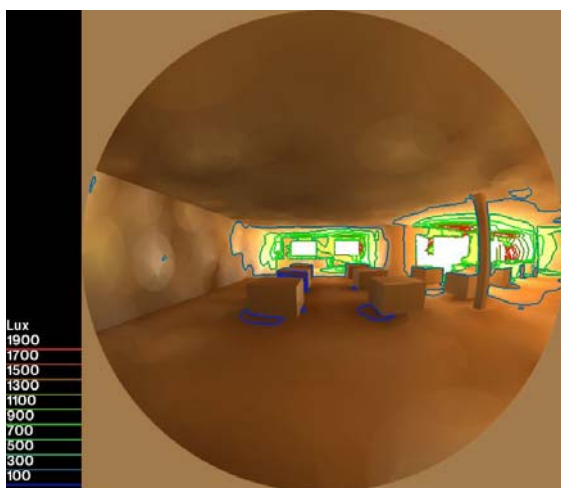


Figura 95 - Illuminamento mensa, telecamera 1, ore 12.00

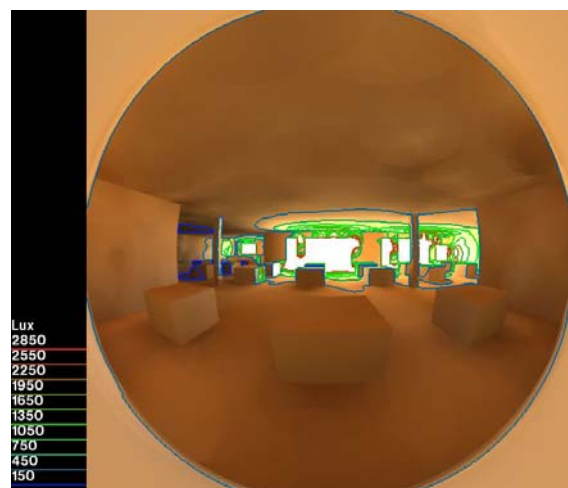


Figura 96 - Illuminamento mensa, telecamera 2, ore 12.00

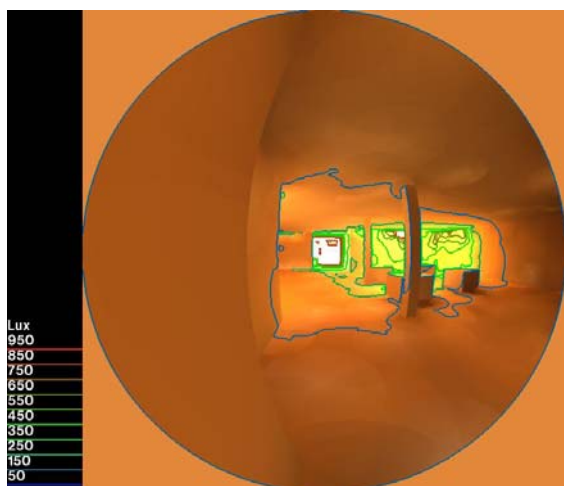


Figura 97 - Illuminamento mensa, telecamera 3, ore 12.00



Figura 98 - Illuminamento mensa, telecamera 4, ore 12.00

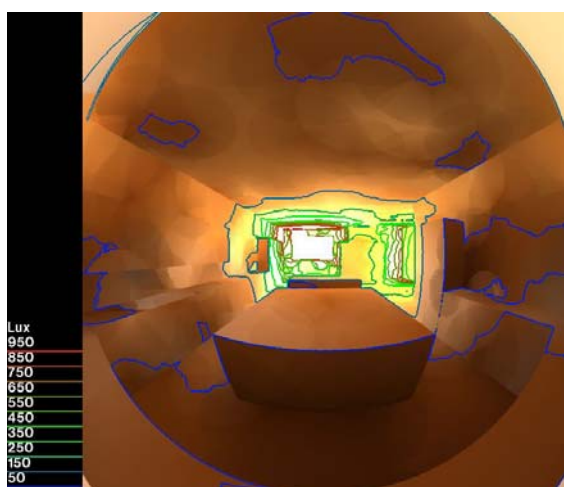


Figura 99 - Illuminamento cucina, telecamera 1, ore 11.00

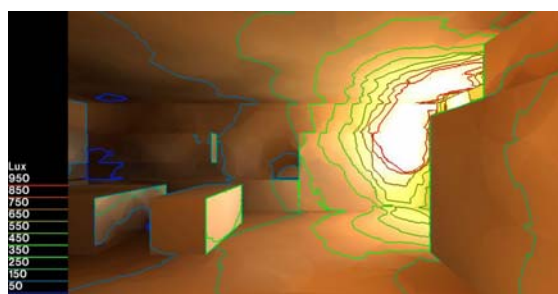


Figura 100 - Illuminamento cucina, telecamera 2, ore 11.00

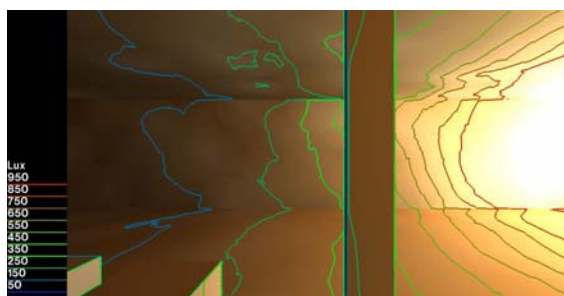


Figura 101 - Illuminamento palestra telecamera 1, ore 15.00

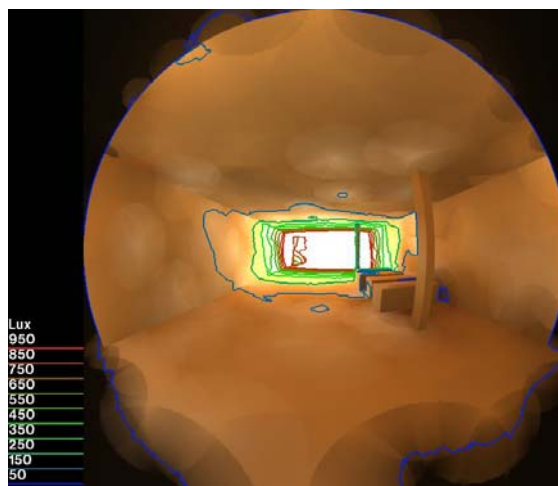


Figura 102 - Illuminamento palestra telecamera 2, ore 15.00

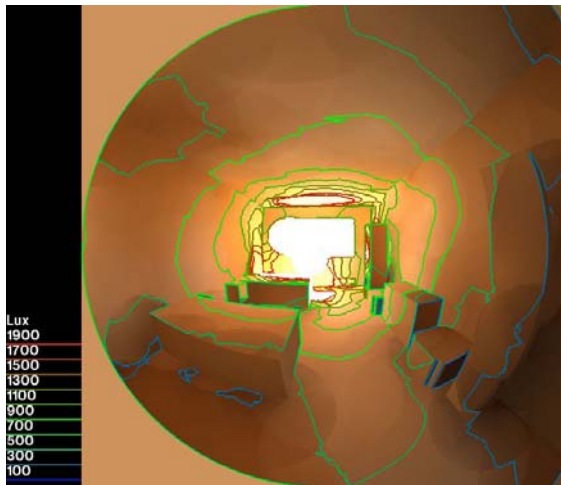


Figura 103 - Illuminamento camera telecamera 1, ore 11.00

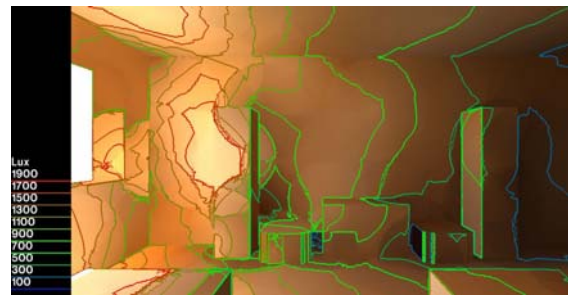


Figura 104 - Illuminamento camera telecamera 2, ore 11.00

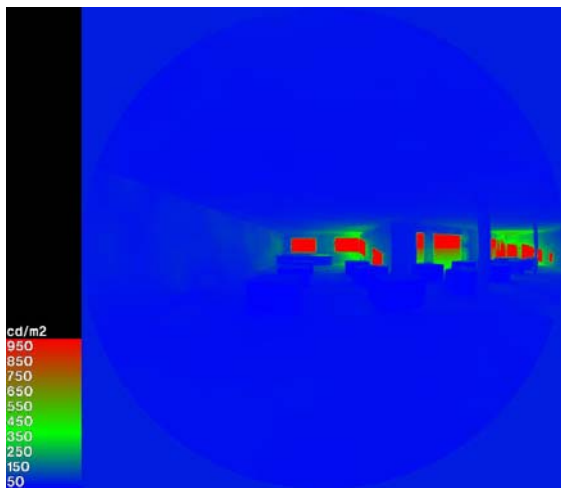


Figura 105 - Luminanza mensa, telecamera 1, ore 17.00

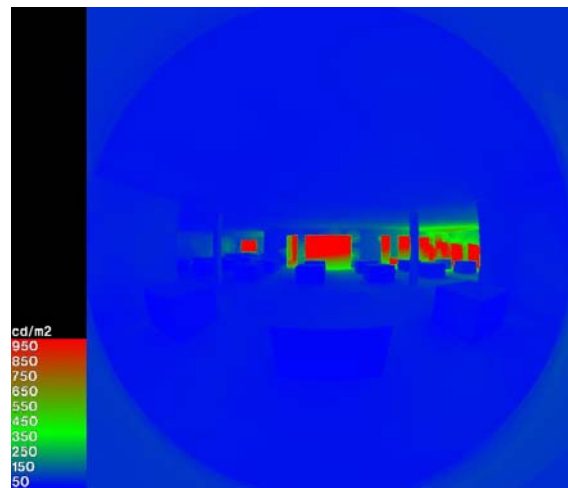


Figura 106 - Luminanza mensa, telecamera 2, ore 17.00

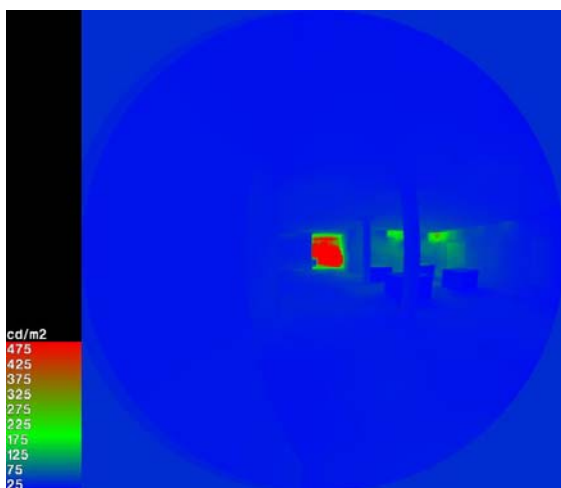


Figura 107 - Luminanza mensa, telecamera 3, ore 17.00

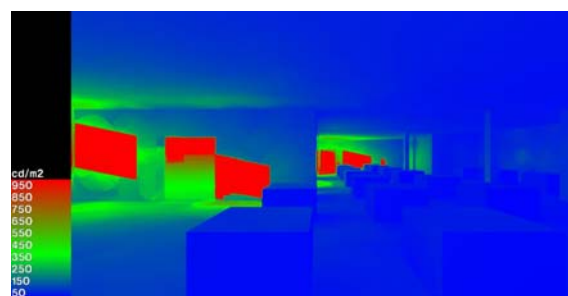


Figura 108 - Luminanza mensa, telecamera 4, ore 17.00

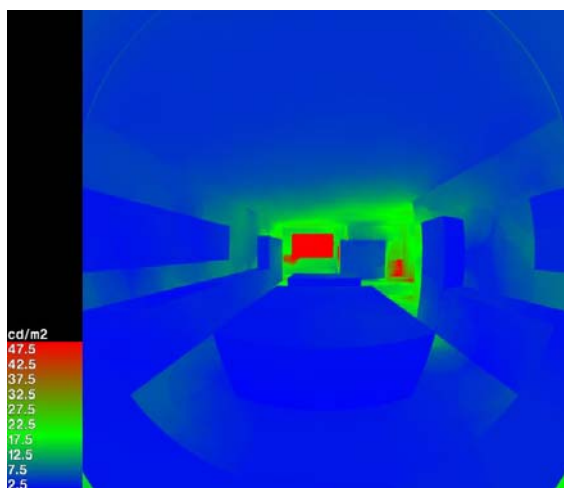


Figura 109 - Luminanza cucina, telecamera 1, ore 18.00

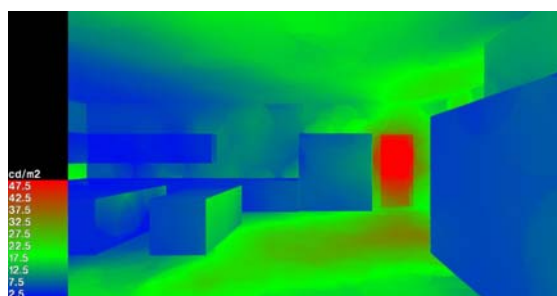


Figura 110 - Luminanza cucina, telecamera 2, ore 18.00

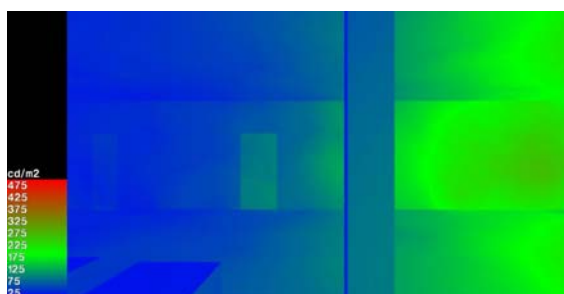


Figura 111 - Luminanza palestra telecamera 1, ore 17.00

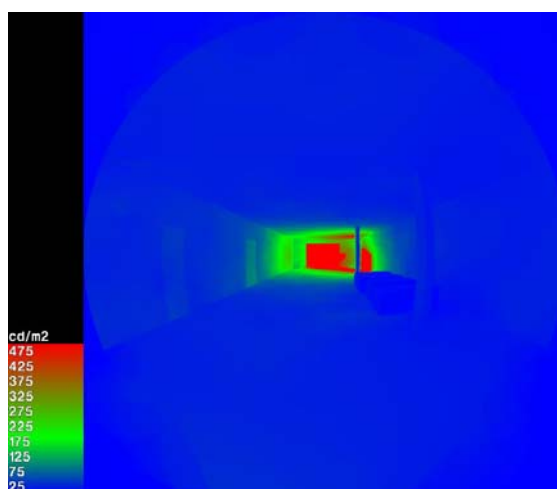


Figura 112 - Luminanza palestra telecamera 2, ore 17.00

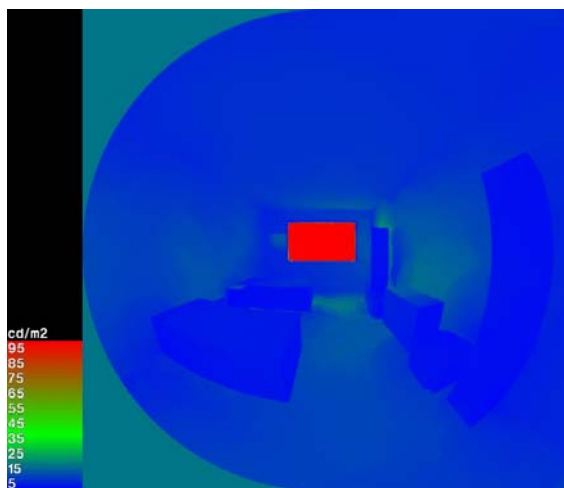


Figura 113 - Luminanza camera telecamera 1, ore 18.00

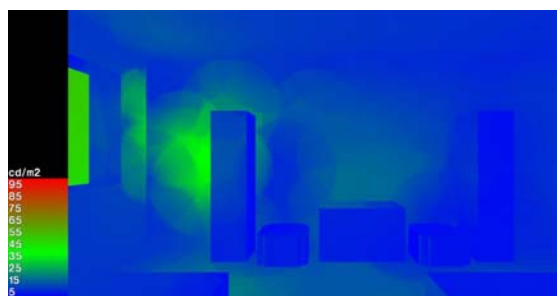


Figura 114 - Luminanza camera telecamera 2, ore 18.00

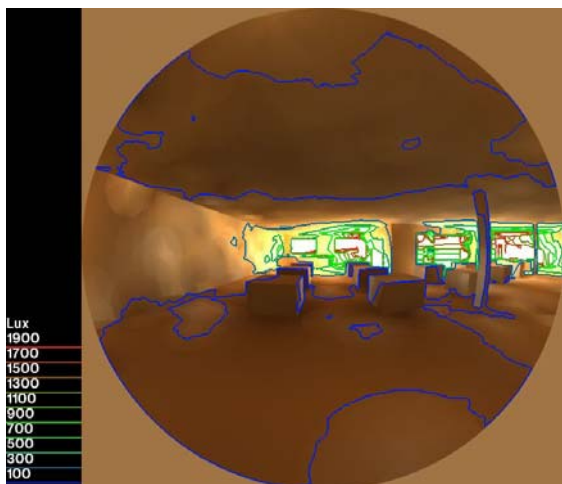


Figura 115 - Illuminamento mensa, telecamera 1, ore 17.00

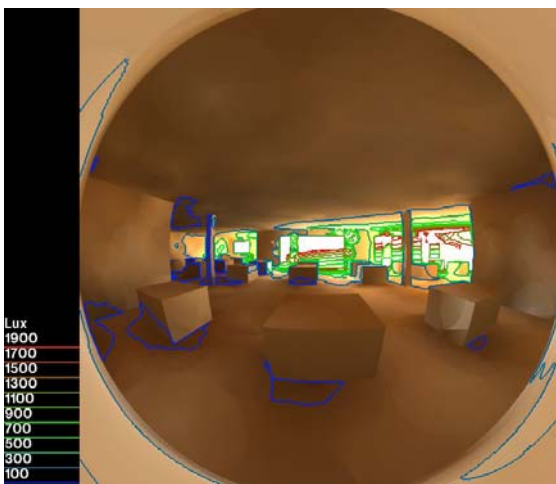


Figura 116 - Illuminamento mensa, telecamera 2, ore 17.00

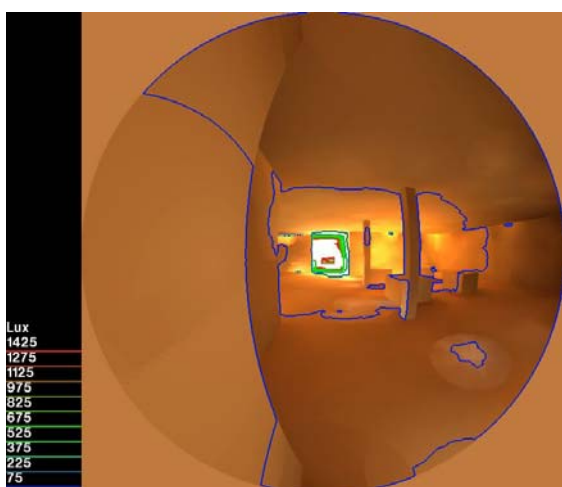


Figura 117 - Illuminamento mensa, telecamera 3, ore 17.00

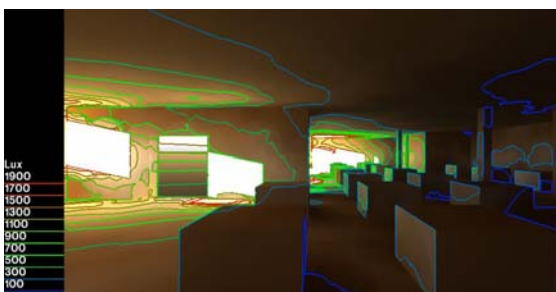


Figura 118 - Illuminamento mensa, telecamera 4, ore 17.00

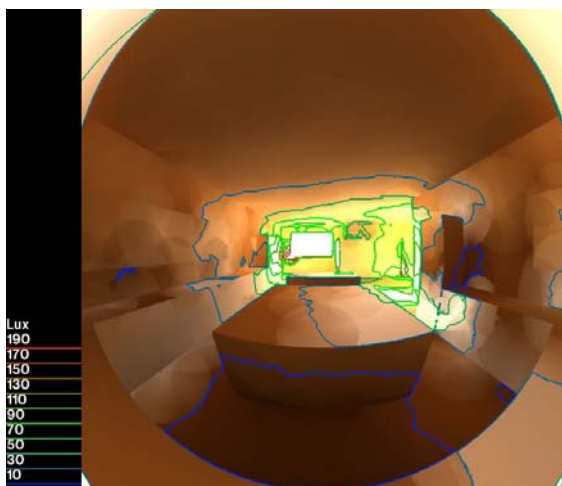


Figura 119 - Illuminamento cucina, telecamera 1, ore 18.00



Figura 120 - Illuminamento cucina, telecamera 2, ore 18.00

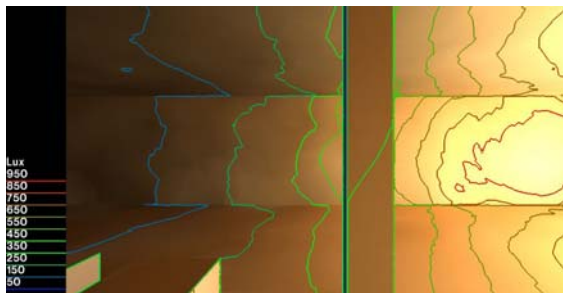


Figura 121 - Illuminamento palestra telecamera 1, ore 17.00

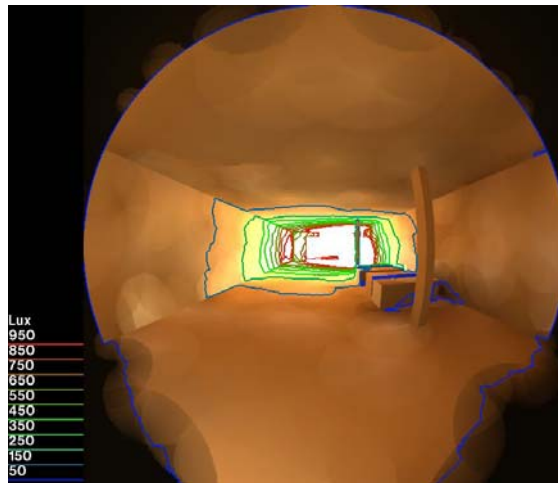


Figura 122 - Illuminamento palestra telecamera 2, ore 17.00

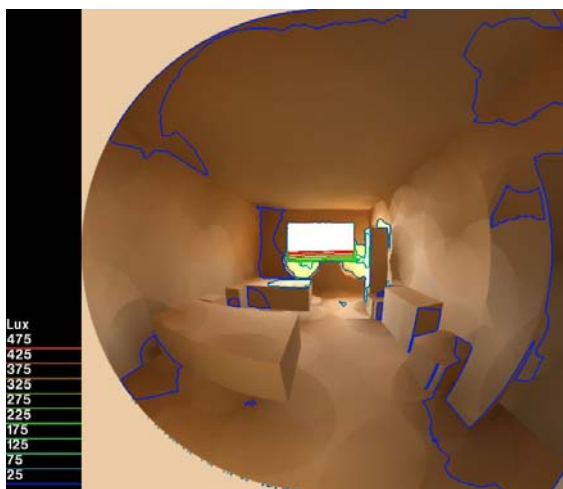


Figura 123 - Illuminamento camera telecamera 1, ore 18.00

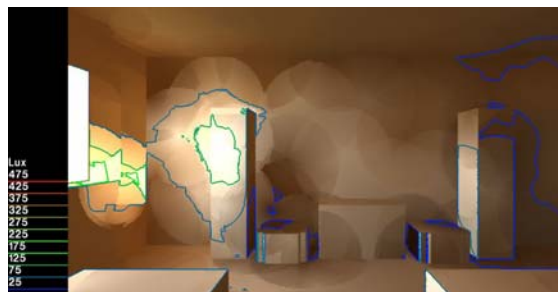


Figura 124 - Illuminamento camera telecamera 2, ore 18.00

Mensa: piano tavoli

Ore 7.00: luminanza bassa generalizzata nell'ambiente, circa fino a 30 cd/m^2 ; illuminamento circa 150 lux.

Ore 12.00: luminanza circa 150 cd/m^2 ; illuminamento circa 200 lux.

Ore 17.00: luminanza circa 150 cd/m^2 ; illuminamento fino a 100 lux.

In generale per tutte le analisi di Radiance relative alla mensa si prende in esame il piano orizzontale dei tavoli. Di prima mattina luminanza e illuminamento sono bassi, crescono a metà giornata e rimangono quasi costanti fino alle 17.00, pur non raggiungendo il livello necessario per l'ambiente. Solo a mezzogiorno si raggiungono i 200 lux richiesti.

Cucina: zona cottura

Ore 6.00: luminanza bassa, circa 5 cd/m^2 ; illuminamento circa 25 lux.

Ore 11.00: luminanza circa 30 cd/m^2 ; illuminamento circa 150 lux.

Ore 18.00: luminanza circa 5 cd/m^2 ; illuminamento circa 50 lux.

Per la cucina sarà sempre presa in esame la zona cottura durante le analisi di Radiance. essa presenta livelli di luminanza e illuminamento ben lontani dalle soglie richieste.

Palestra

Ore 11.00: luminanza bassa nell'ambiente, circa fino a 30 cd/m²; illuminamento generalizzato nell'ambiente 75 lux.

Ore 15.00: luminanza bassa nell'ambiente, circa 75 cd/m²; illuminamento generalizzato nell'ambiente fino a 350 lux.

Ore 17.00: luminanza bassa nell'ambiente, circa 75 cd/m²; illuminamento generalizzato nell'ambiente fino a 250 lux.

L'ambiente della palestra è considerato più nel suo insieme, senza focalizzazioni su oggetti particolari. La situazione presenta indici bassi, che non soddisfano il livello minimo di 100 lux.

Camera

Ore 6.00: luminanza media piano scrivania, circa 600 cd/m²; illuminamento: piano scrivania circa 800 lux, zona letti fino a 950 lux.

Ore 11.00: luminanza bassa generalizzata nell'ambiente, circa 150 cd/m²; illuminamento: piano scrivania circa 900 lux, zona letti fino a 900 lux.

Ore 18.00: luminanza bassa nell'ambiente, circa 15 cd/m²; illuminamento generalizzato nell'ambiente circa 25 lux.

La camera da letto è l'unica stanza esposta a sud-ovest e infatti è l'unica che comporta un problema inverso rispetto ai precedenti, ovvero un'illuminazione eccessiva, eccetto alle 18.00, quando l'illuminamento non raggiunge i 100 lux richiesti.

4.3.2. 21 giugno

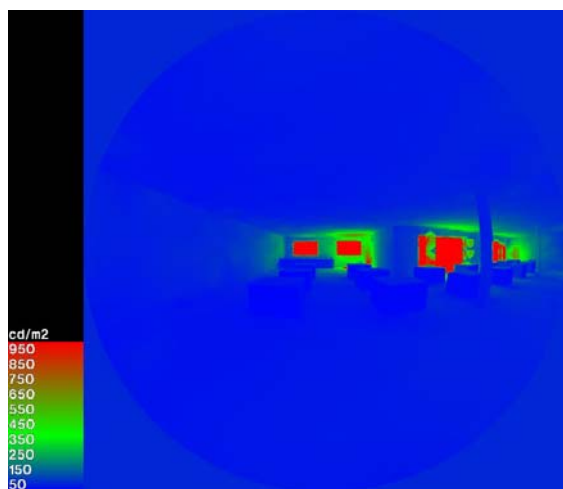


Figura 125 - Luminanza mensa, telecamera 1, ore 7.00

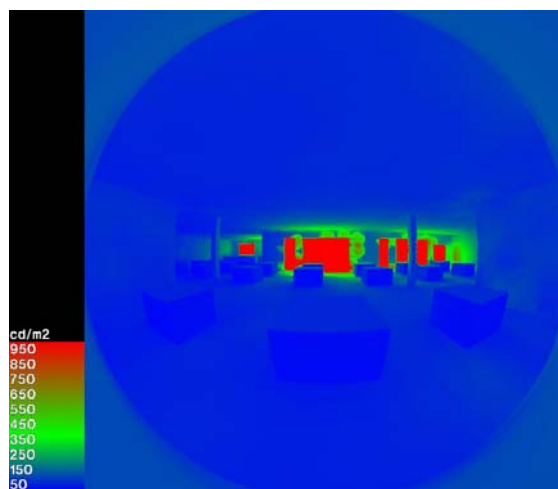


Figura 126 - Luminanza mensa, telecamera 2, ore 7.00

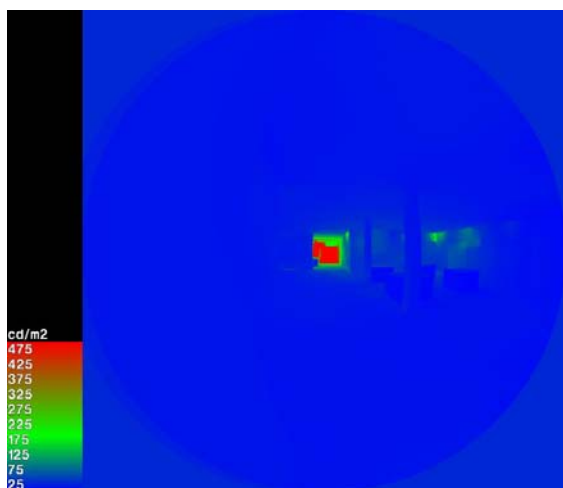


Figura 127 - Luminanza mensa, telecamera 3, ore 7.00

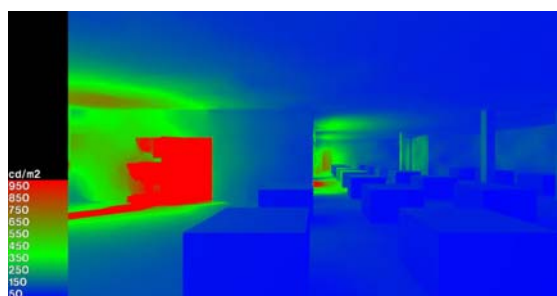


Figura 128 - Luminanza mensa, telecamera 4, ore 7.00

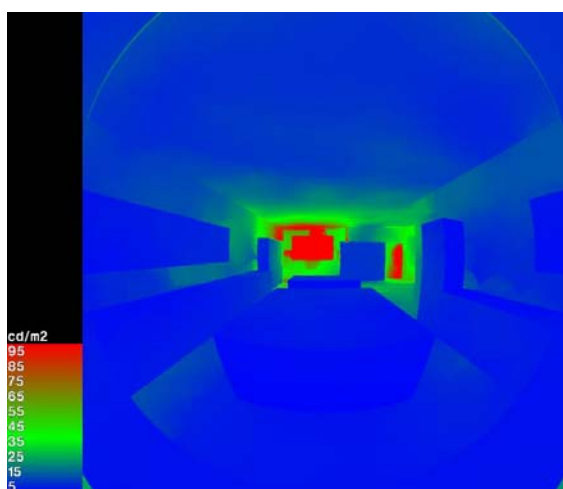


Figura 129 - Luminanza cucina, telecamera 1, ore 6.00

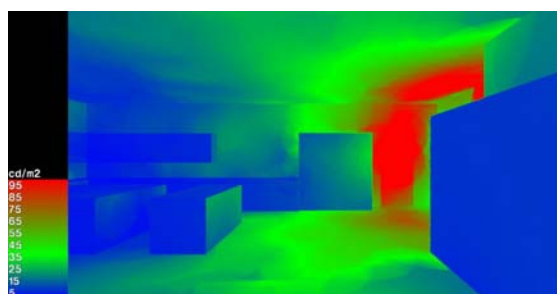


Figura 130 - Luminanza cucina, telecamera 2, ore 6.00

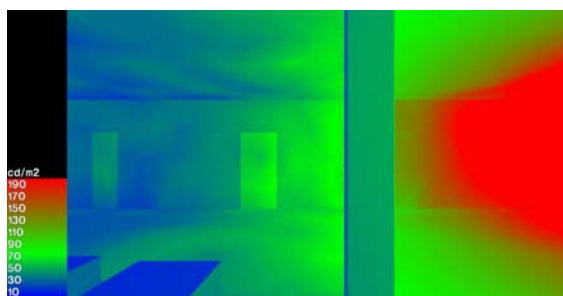


Figura 131 - Luminanza palestra telecamera 1, ore 11.00

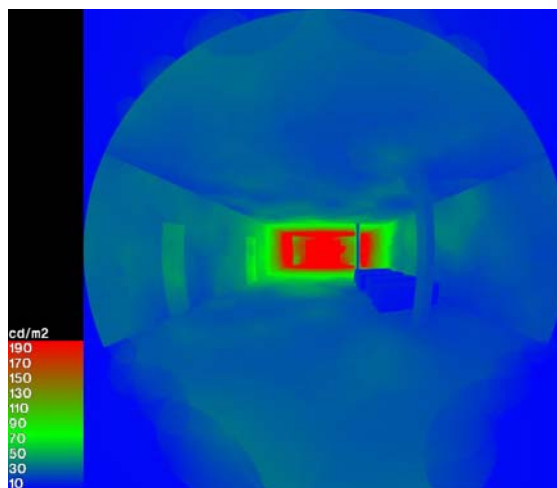


Figura 132 - Luminanza palestra telecamera 2, ore 11.00

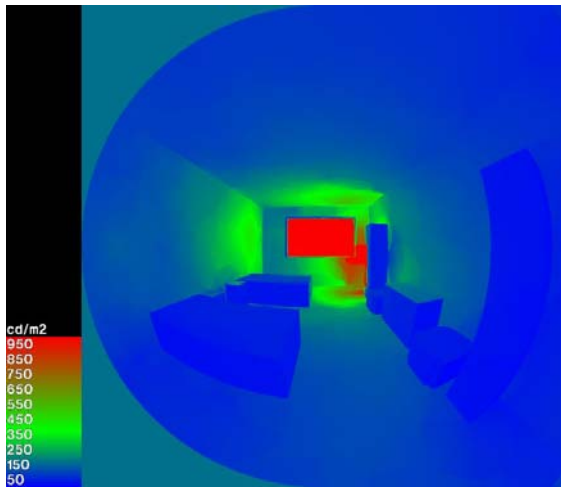


Figura 133 - Luminanza camera telecamera 1, ore 06.00

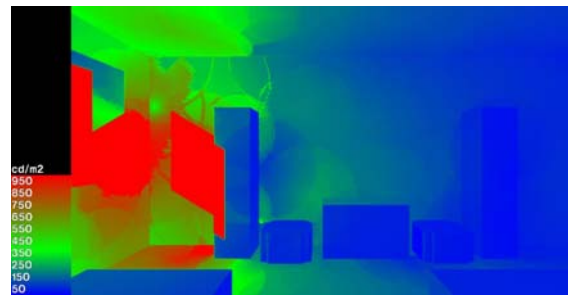


Figura 134 - Luminanza camera telecamera 2, ore 06.00

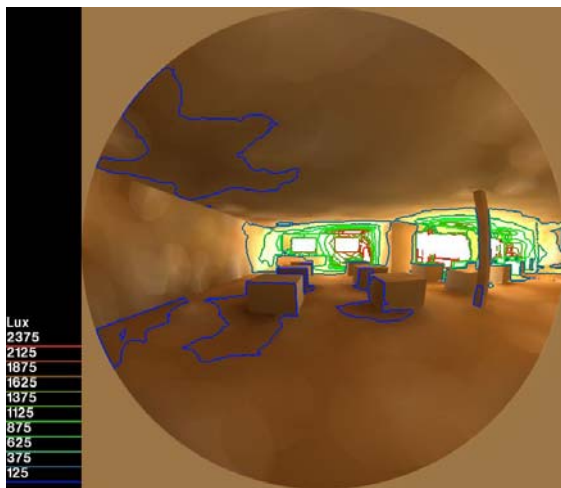


Figura 135 - Illuminamento mensa, telecamera 1, ore 7.00

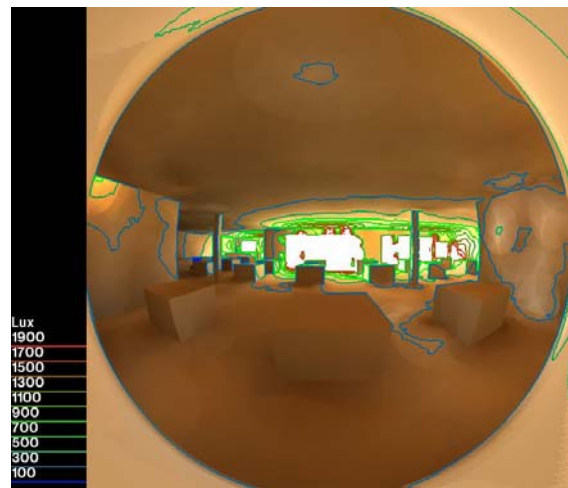


Figura 136 - Illuminamento mensa, telecamera 2, ore 7.00

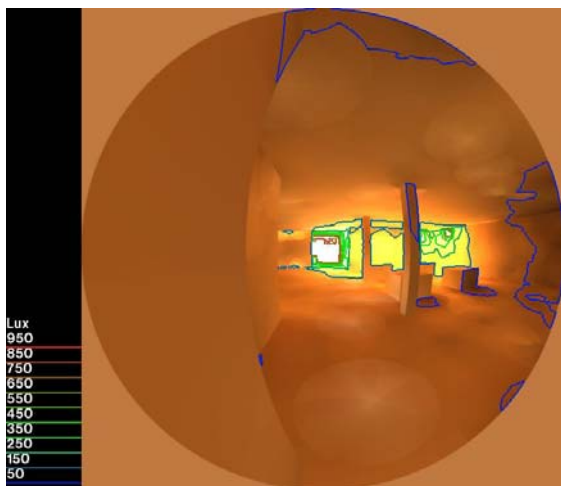


Figura 137 - Illuminamento mensa, telecamera 3, ore 7.00

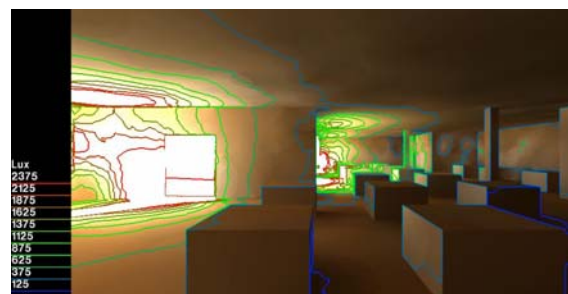


Figura 138 - Illuminamento mensa, telecamera 4, ore 7.00

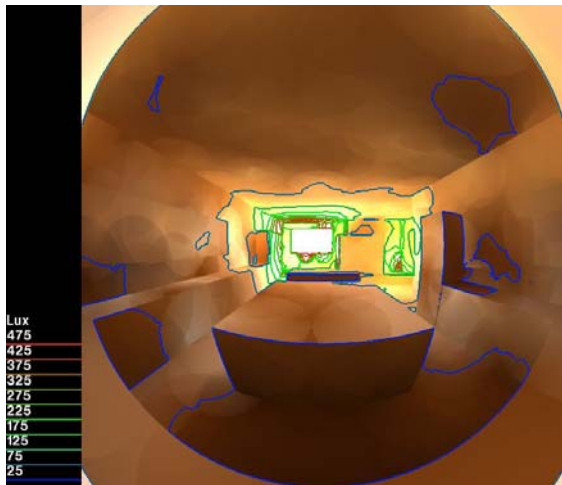


Figura 139 - Illuminamento cucina, telecamera 1, ore 6.00

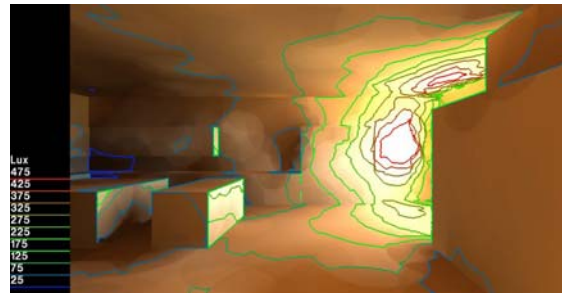


Figura 140 - Illuminamento cucina, telecamera 2, ore 6.00

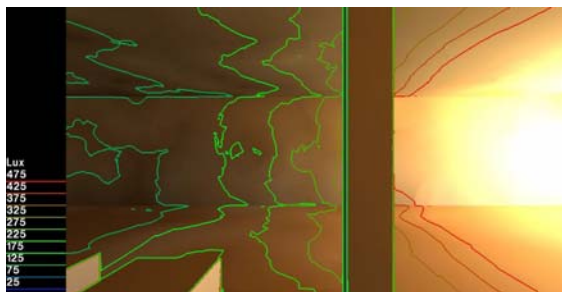


Figura 141 - Illuminamento palestra telecamera 1, ore 11.00

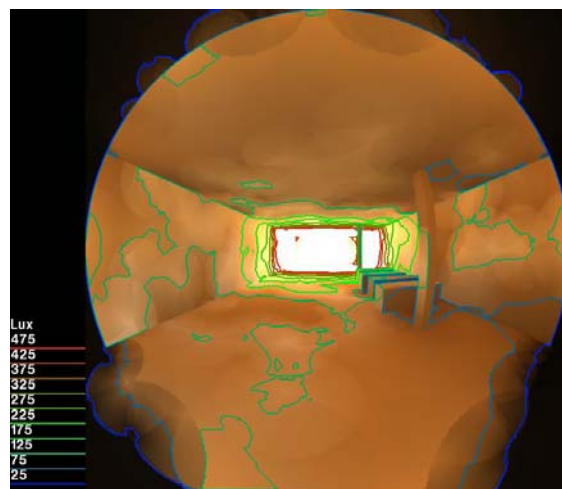


Figura 142 - Illuminamento palestra telecamera 2, ore 11.00

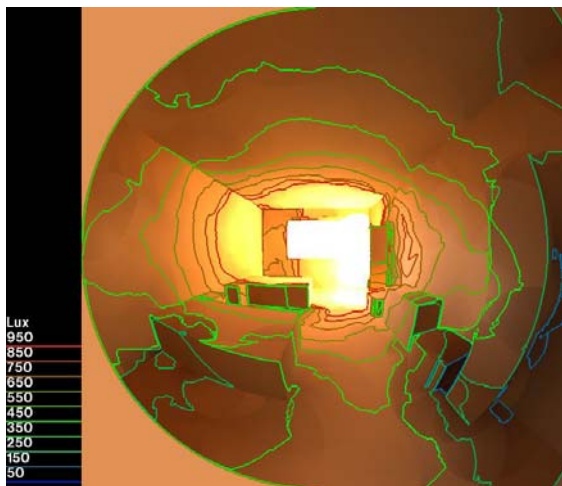


Figura 143 - Illuminamento camera telecamera 1, ore 06.00

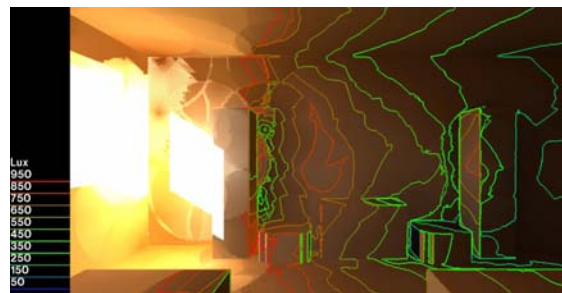


Figura 144 - Illuminamento camera telecamera 2, ore 06.00

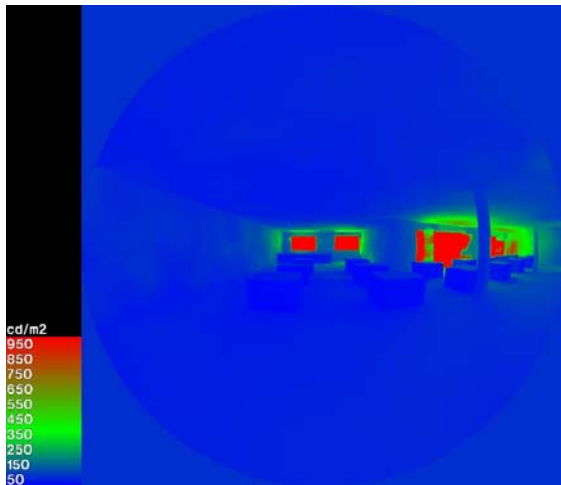


Figura 145 - Luminanza mensa, telecamera 1, ore 12.00

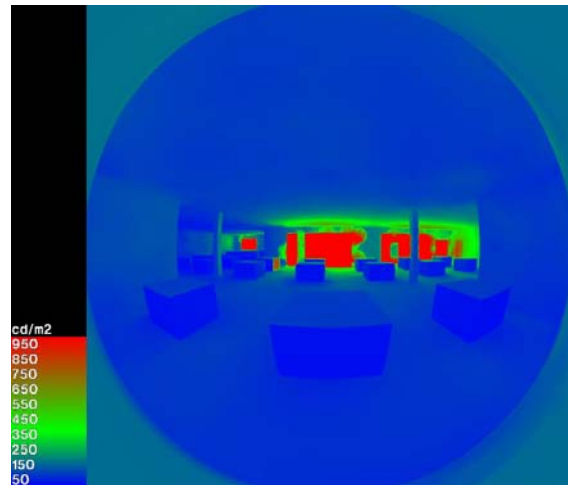


Figura 146 - Luminanza mensa, telecamera 2, ore 12.00

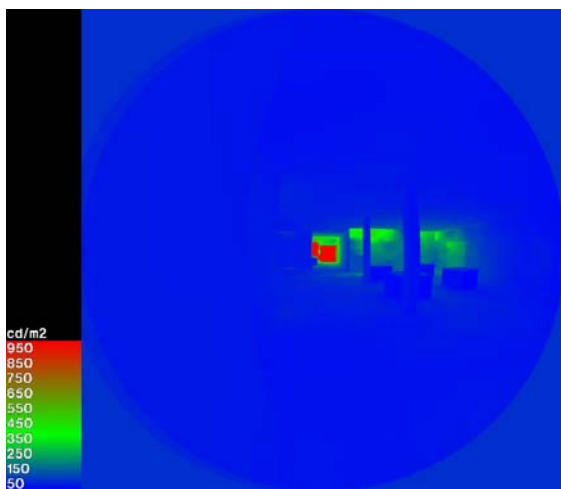


Figura 147 - Luminanza mensa, telecamera 3, ore 12.00

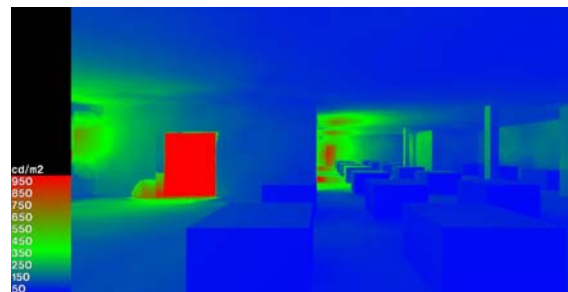


Figura 148 - Luminanza mensa, telecamera 4, ore 12.00

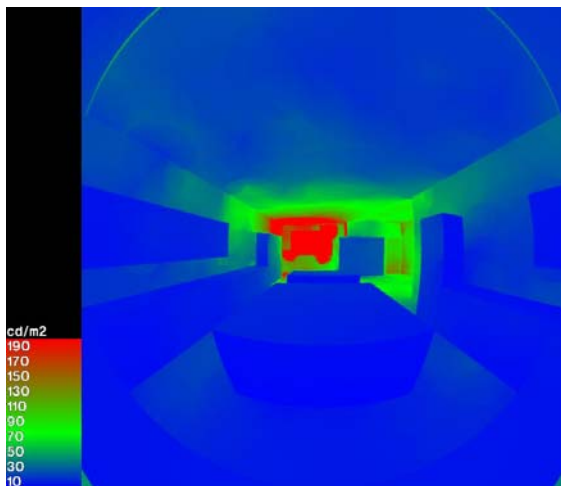


Figura 149 - Luminanza cucina, telecamera 1, ore 11.00

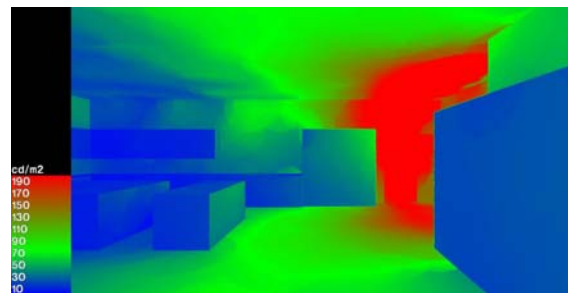


Figura 150 - Luminanza cucina, telecamera 2, ore 11.00

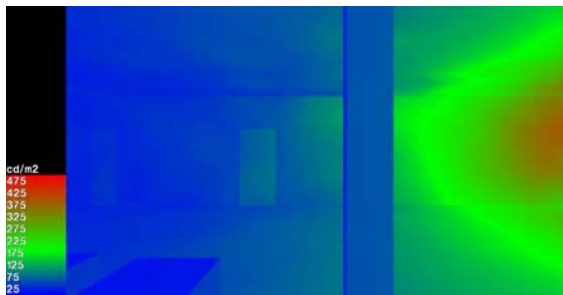


Figura 151 - Luminanza palestra telecamera 1, ore 15.00

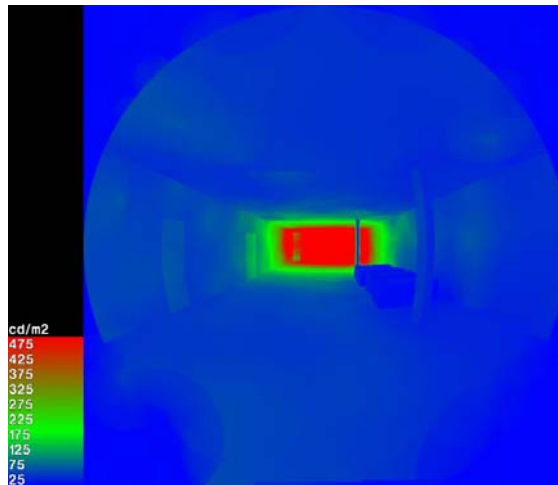


Figura 152 - Luminanza palestra telecamera 1, ore 15.00

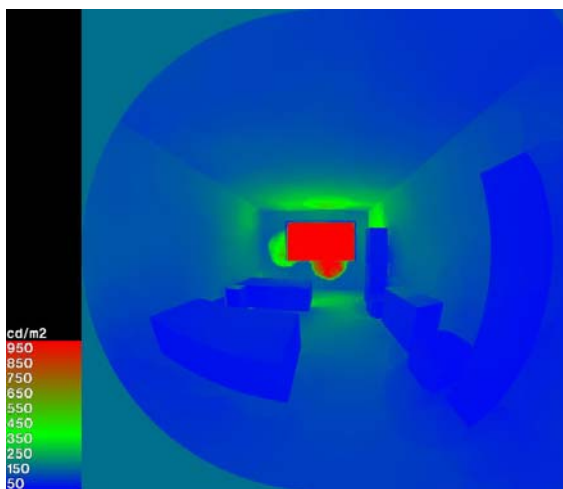


Figura 153 - Luminanza camera telecamera 1, ore 11.00

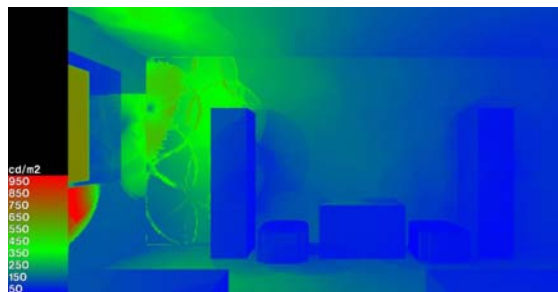


Figura 154 - Luminanza cameratelecamera 2, ore 11.00

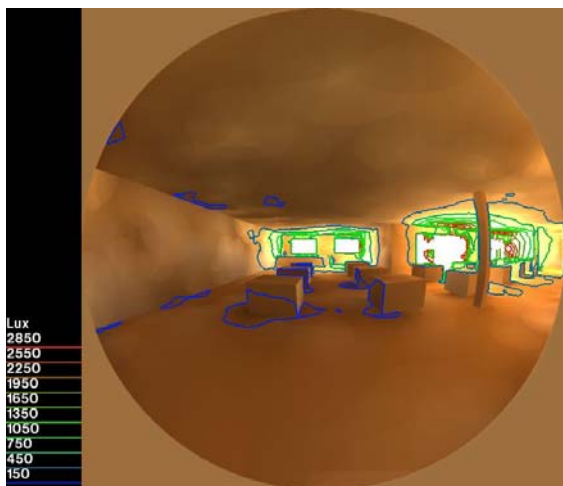


Figura 155 - Illuminamento mensa, telecamera 1, ore 12.00

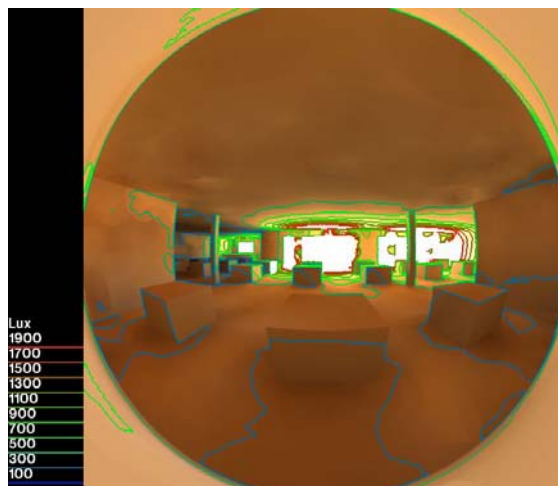


Figura 156 - Illuminamento mensa, telecamera 2, ore 12.00

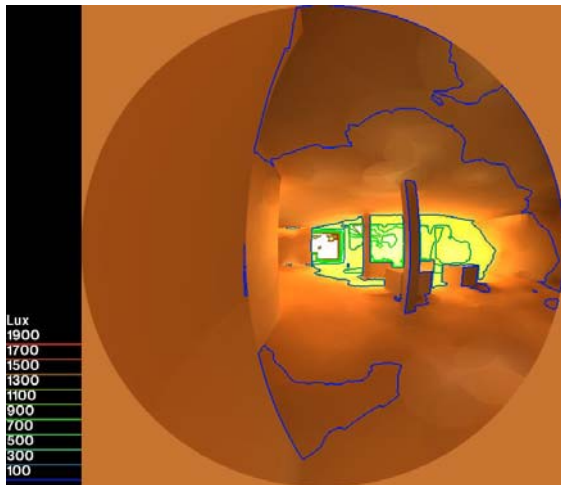


Figura 157 - Illuminamento mensa, telecamera 3, ore 12.00

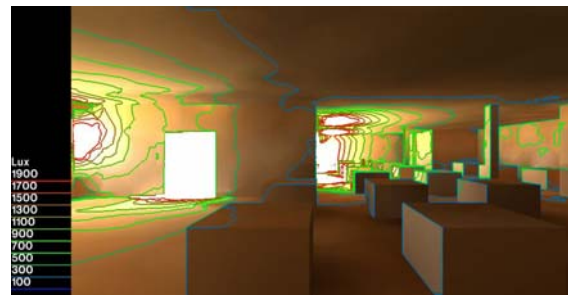


Figura 158 - Illuminamento mensa, telecamera 4, ore 12.00

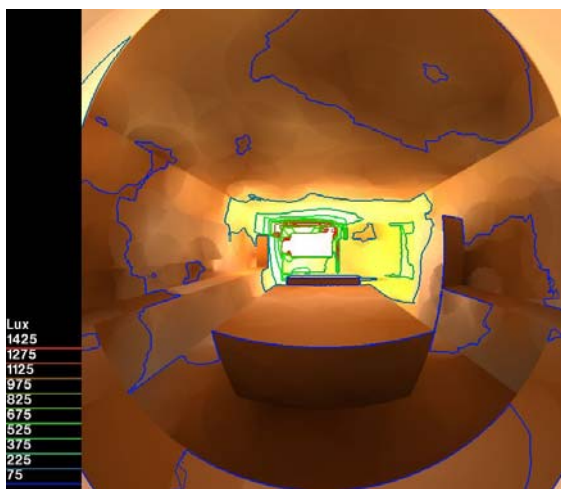


Figura 159 - Illuminamento cucina, telecamera 1, ore 11.00

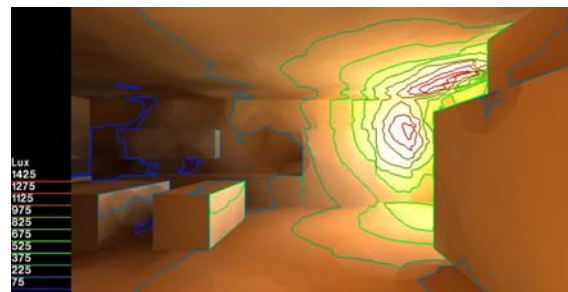


Figura 160 - Illuminamento cucina, telecamera 2, ore 11.00

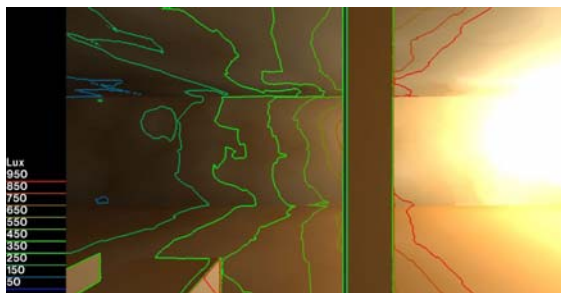


Figura 161 - Illuminamento palestra telecamera 1, ore 15.00

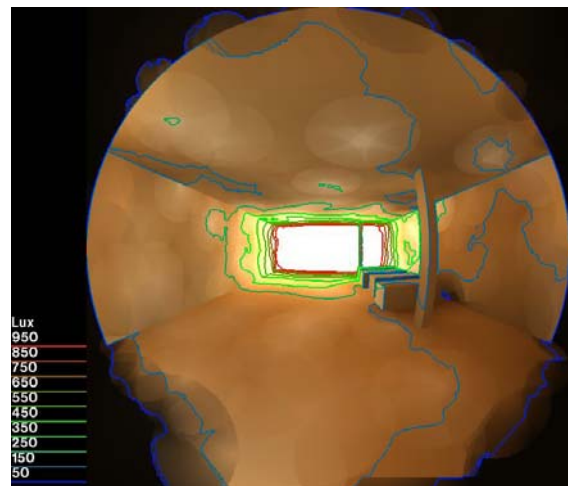


Figura 162 - Illuminamento palestra telecamera 2, ore 15.00

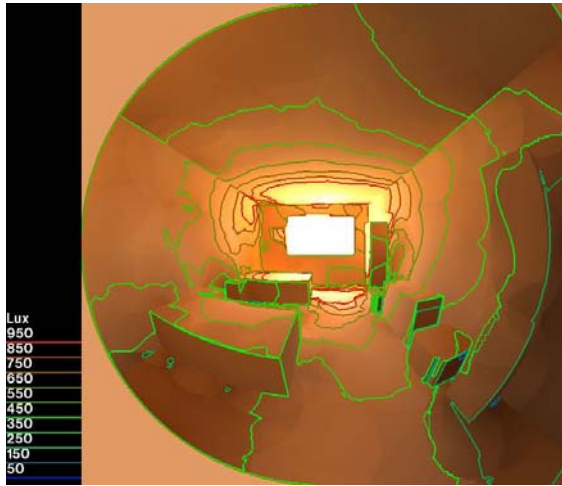


Figura 163 - Illuminamento camera telecamera 1, ore 11.00

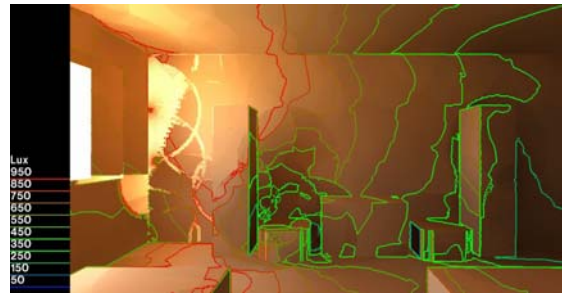


Figura 164 - Illuminamento camera telecamera 2, ore 11.00

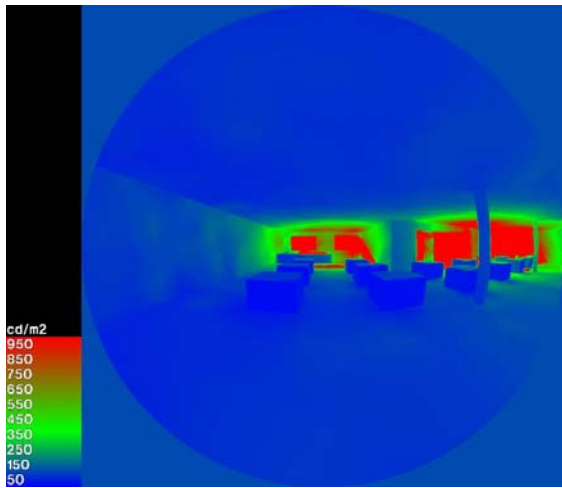


Figura 165 - Luminanza mensa, telecamera 1, ore 17.00

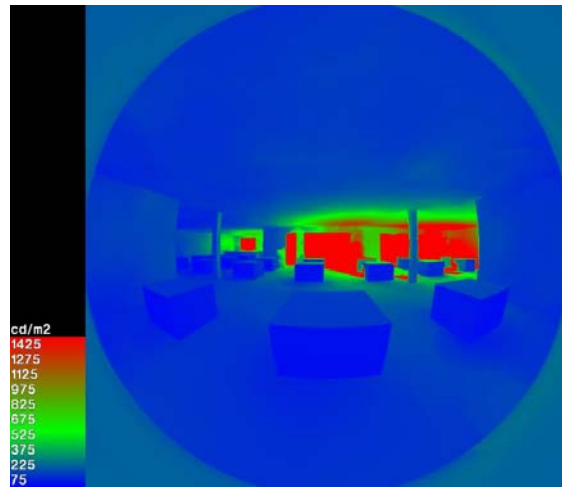


Figura 166 - Luminanza mensa, telecamera 2, ore 17.00

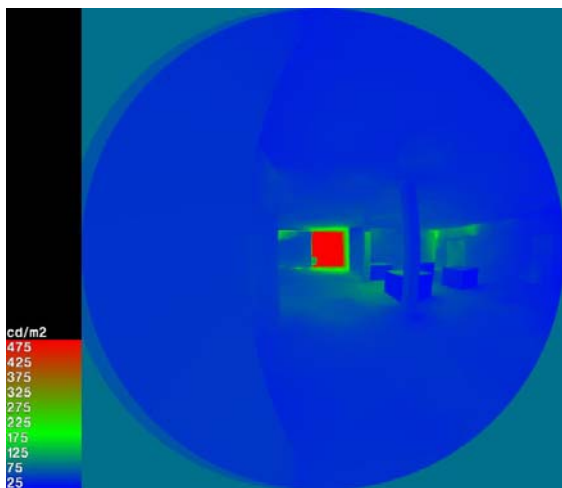


Figura 167 - Luminanza mensa, telecamera 3, ore 17.00

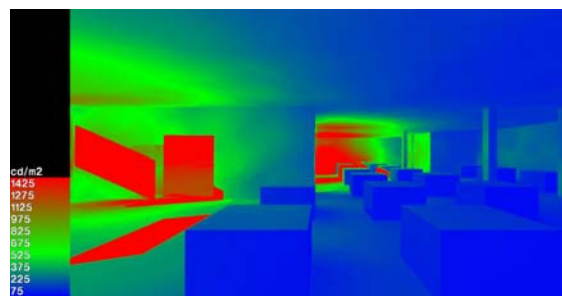


Figura 168 - Luminanza mensa, telecamera 4, ore 17.00

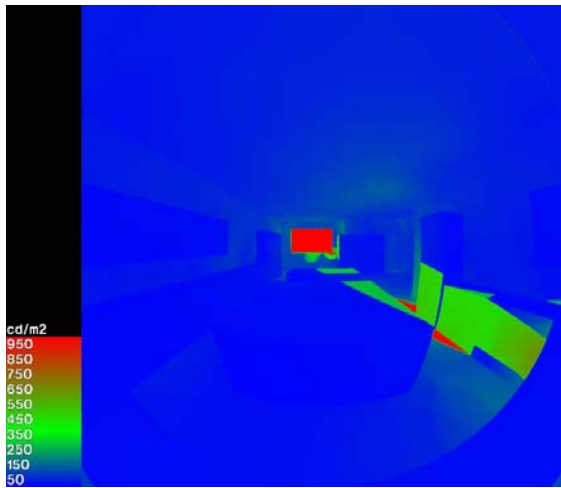


Figura 169 - Luminanza cucina, telecamera 1, ore 18.00

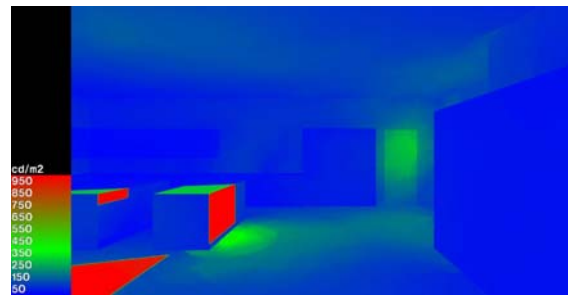


Figura 170 - Luminanza cucina, telecamera 2, ore 18.00

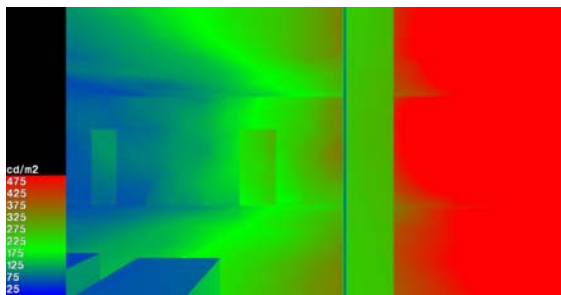


Figura 171 - Luminanza palestra telecamera 1, ore 17.00

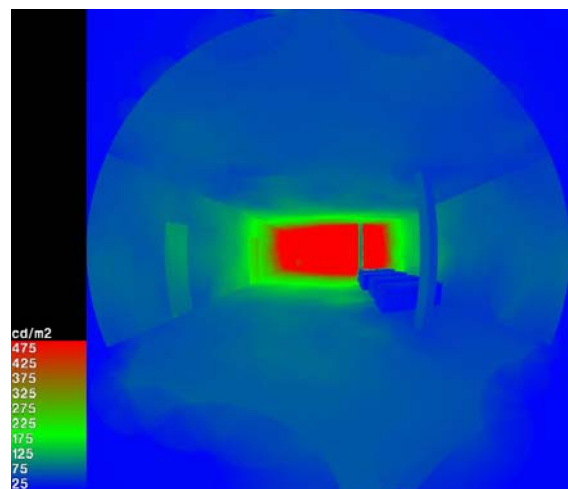


Figura 172 - Luminanza palestra telecamera 2, ore 17.00

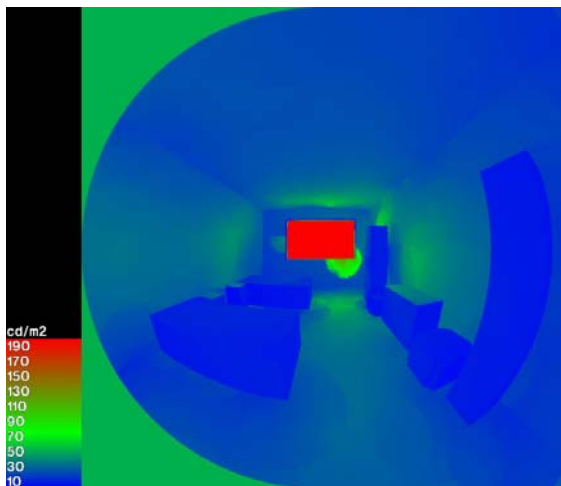


Figura 173 - Luminanza camera telecamera 1, ore 18.00

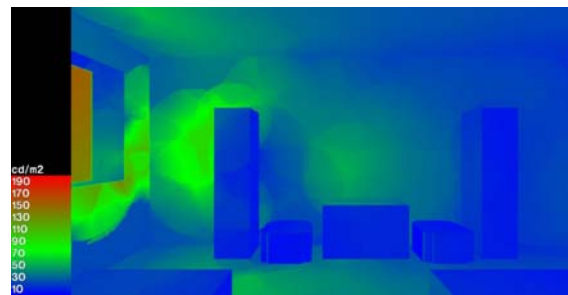


Figura 174 - Luminanza camera telecamera 2, ore 18.00

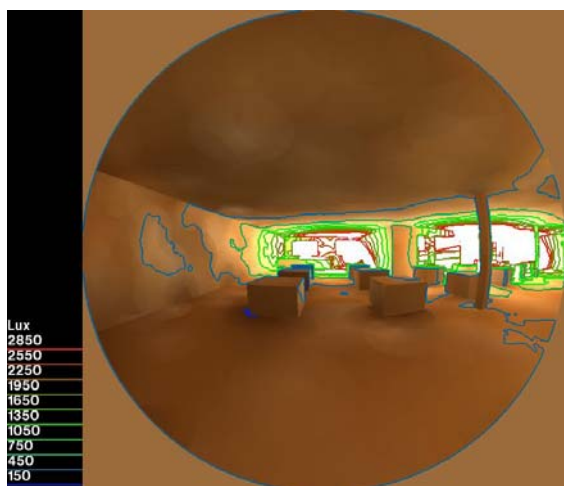


Figura 175 - Illuminamento mensa, telecamera 1, ore 17.00

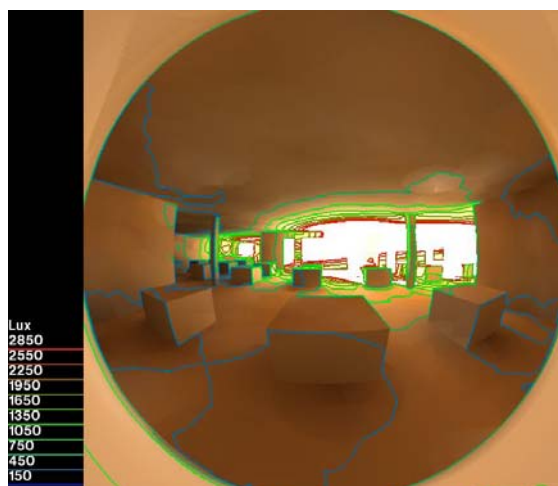


Figura 176 - Illuminamento mensa, telecamera 2, ore 17.00

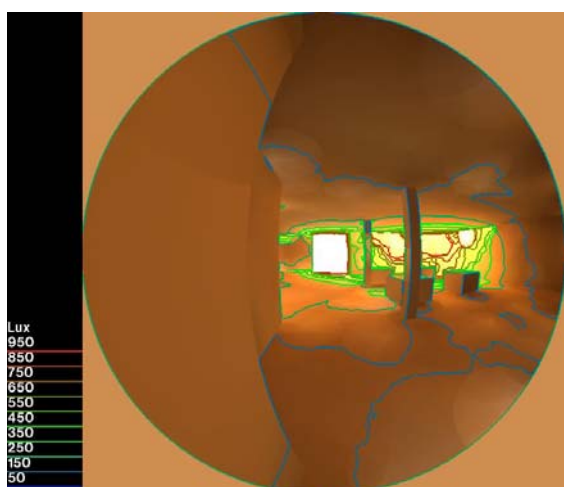


Figura 177 - Illuminamento mensa, telecamera 3, ore 17.00

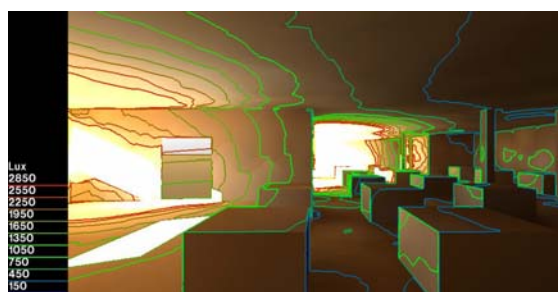


Figura 178 - Illuminamento mensa, telecamera 4, ore 17.00

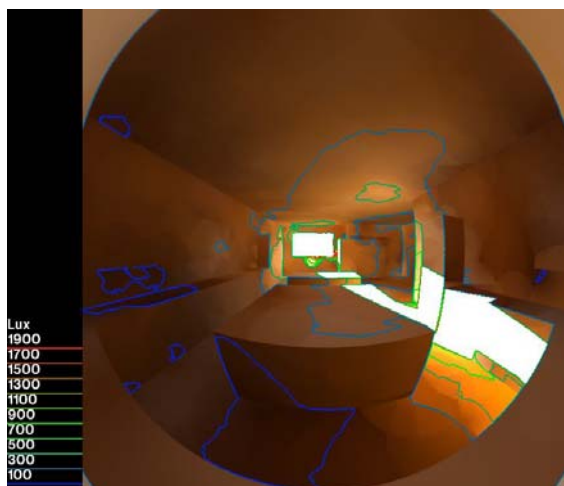


Figura 179 - Illuminamento cucina, telecamera 1, ore 18.00

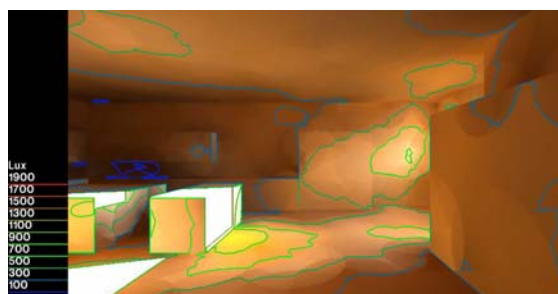


Figura 180 - Illuminamento cucina, telecamera 2, ore 18.00

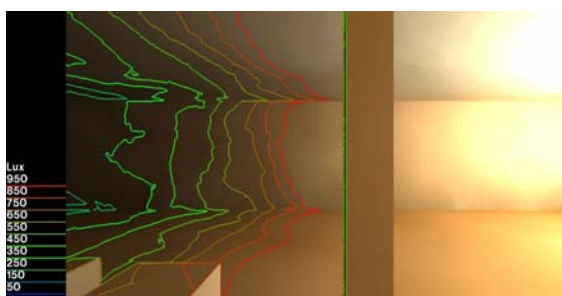


Figura 181 - Illuminamento palestra telecamera 1, ore 17.00

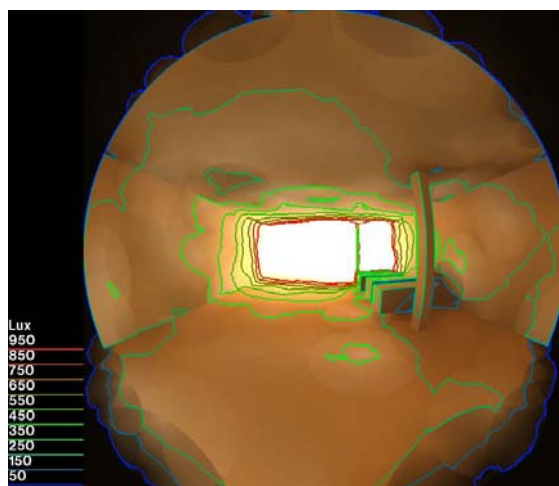


Figura 182 - Illuminamento palestra telecamera 2, ore 17.00

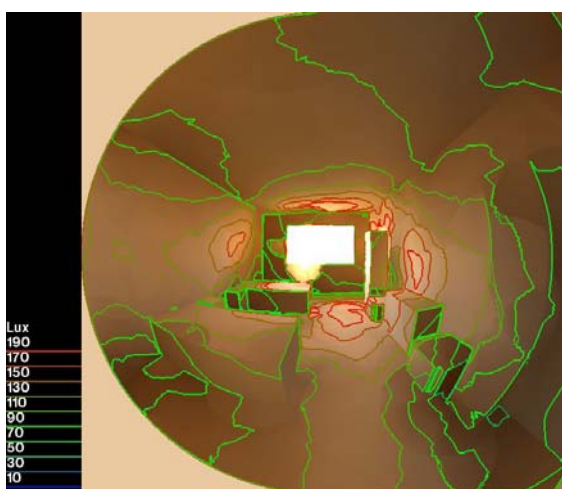


Figura 183 - Illuminamento camera telecamera 1, ore 18.00

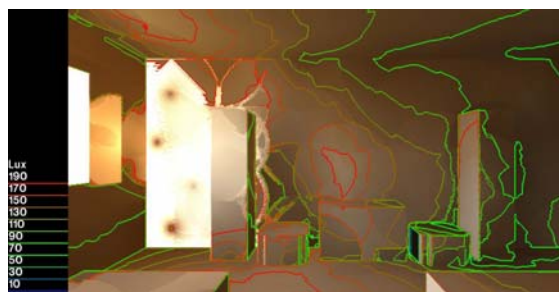


Figura 184 - Illuminamento camera telecamera 2, ore 18.00

Mensa: piano tavoli

Ore 7.00: luminanza circa 100 cd/m²; illuminamento circa 150 lux.

Ore 12.00: luminanza circa 200 cd/m²; illuminamento circa 300 lux.

Ore 17.00: luminanza fino a 350 cd/m²; illuminamento fra 400 e 750 lux.

A giugno la mensa gode di maggior radiazione solare, infatti i livelli di illuminamento si ergono oltre il livello richiesto, in particolare alle 17.00, quando l'illuminamento arriva a picchi pari a tre volte quello consigliato.

Cucina: zona cottura

Ore 6.00: luminanza circa 10 cd/m²; illuminamento circa 75 lux.

Ore 11.00: luminanza circa 50 cd/m²; illuminamento circa 250 lux.

Ore 18.00: luminanza fino a 300 cd/m²; illuminamento circa 300 lux zona con possibilità di abbagliamento.

La cucina invece continua a rivelare valori bassi, pur con alcune zone con valori eccessivi, che potrebbero causare abbagliamento.

Palestra

Ore 11.00: luminanza media nell'ambiente, circa fino a 110 cd/m²; illuminamento: generalizzato nell'ambiente fino a 225 lux.

Ore 15.00: luminanza bassa nell'ambiente, circa 75 cd/m²; illuminamento generalizzato nell'ambiente fino a 350 lux.

Ore 17.00: luminanza media nell'ambiente, circa 125 cd/m²; illuminamento generalizzato nell'ambiente tra 50 e 750 lux.

La palestra, come la mensa, negli orari scelti non conosce problemi di scarsa illuminazione, anzi potrebbe esservi un'eccessiva illuminazione alle 17.00.

Camera

Ore 6.00: luminanza bassa generalizzata nell'ambiente, circa 150 cd/m²; illuminamento: piano scrivania tra 150 e 750 lux, zona letti tra 250 e 950 lux.

Ore 11.00: luminanza bassa generalizzata nell'ambiente, circa 150 cd/m²; illuminamento: piano scrivania tra 350 e 650 lux, zona letti tra 250 e 950 lux.

Ore 18.00: luminanza bassa nell'ambiente, circa 30 cd/m²; illuminamento: piano scrivania circa 130 lux, zona letti circa 90 lux.

I dati ottenuti per questa serie di analisi presentano ampi *range* di valori, a seconda che si consideri la zona letti o la scrivania, ma restano sopra il limite consigliato, eccetto alle 18.00.

4.3.3. 21 dicembre

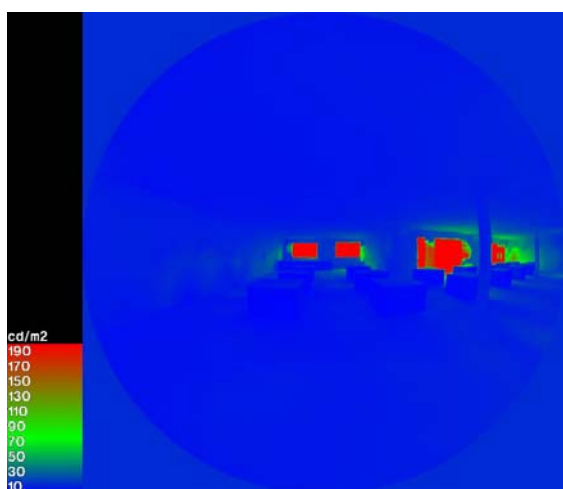


Figura 185 - Luminanza mensa, telecamera 1, ore 7.00

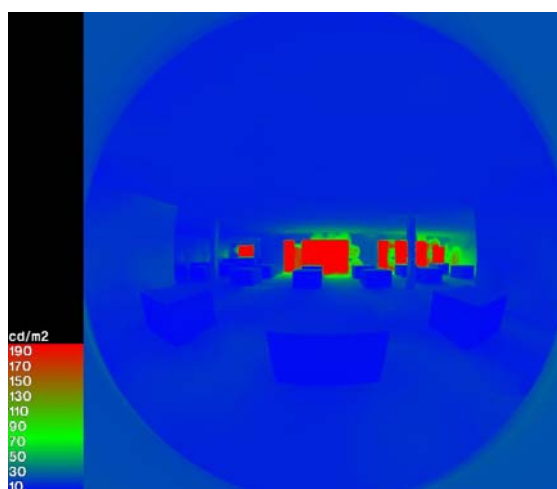


Figura 186 - Luminanza mensa, telecamera 2, ore 7.00

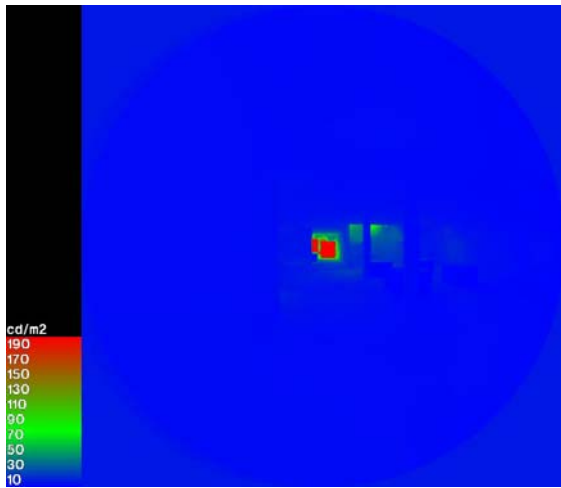


Figura 187 - Luminanza mensa, telecamera 3, ore 7.00

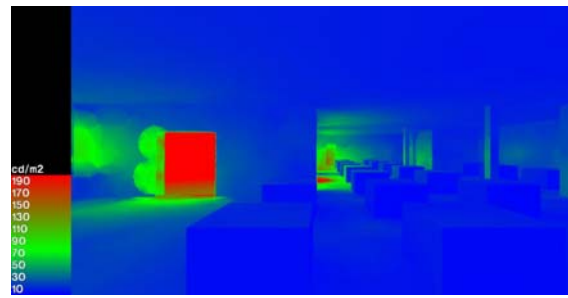


Figura 188 - Luminanza mensa, telecamera 4, ore 7.00

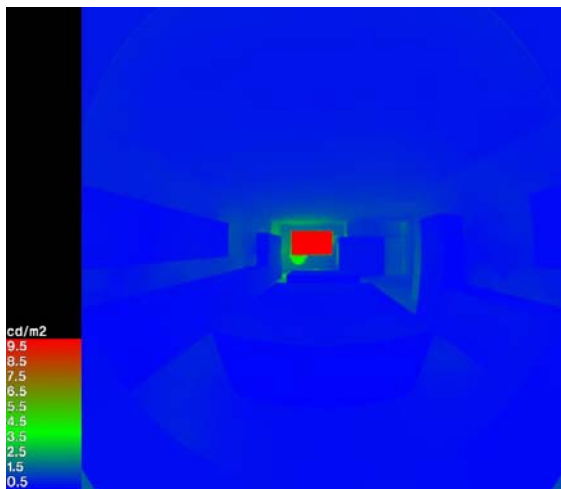


Figura 189 - Luminanza cucina, telecamera 1, ore 6.00

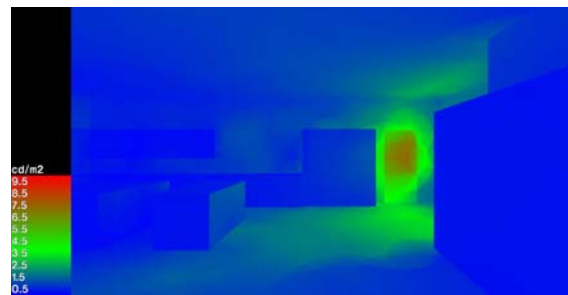


Figura 190 - Luminanza cucina, telecamera 2, ore 6.00



Figura 191 - Luminanza palestra telecamera 1, ore 11.00

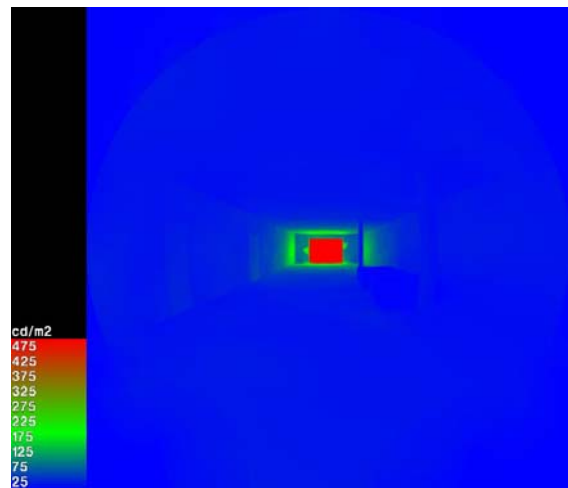


Figura 192 - Luminanza palestra telecamera 2, ore 11.00

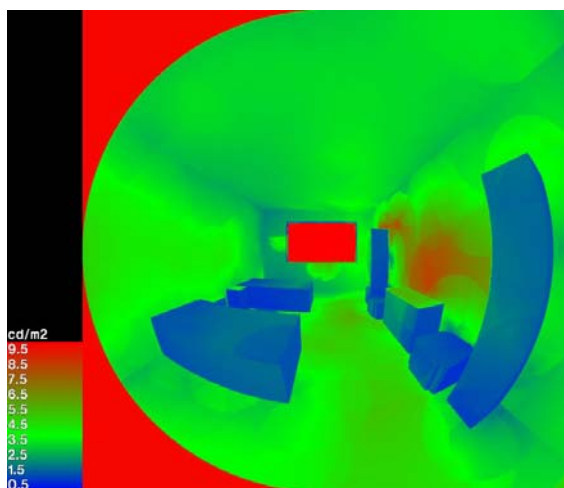


Figura 193 - Luminanza camera telecamera 1, ore 06.00

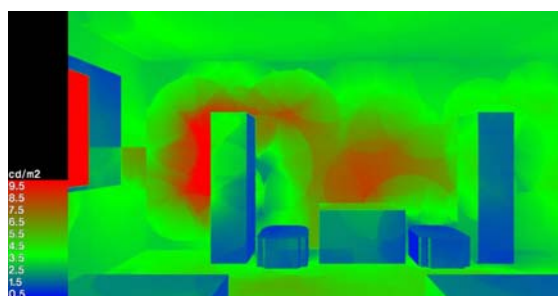


Figura 194 - Luminanza camera telecamera 2, ore 06.00

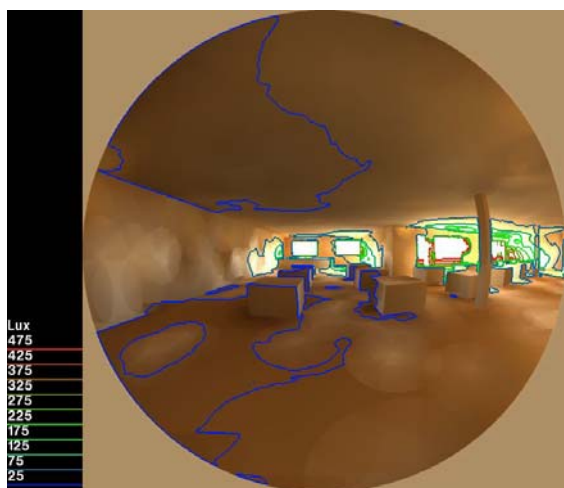


Figura 195 - Illuminamento mensa, telecamera 1, ore 7.00

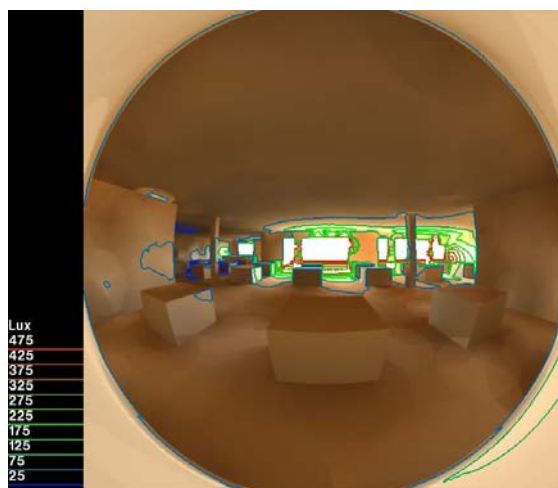


Figura 196 - Illuminamento mensa, telecamera 2, ore 7.00

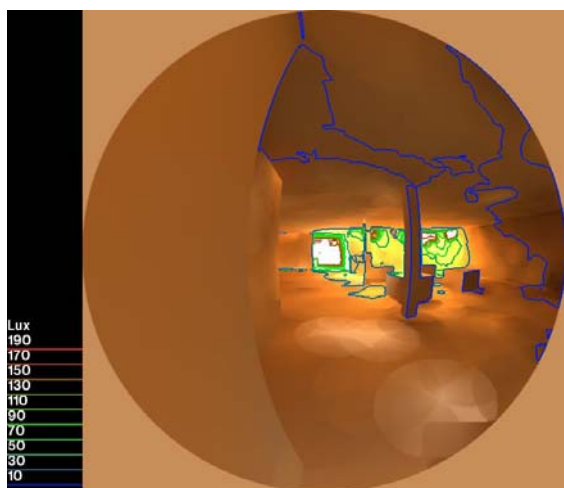


Figura 197 - Illuminamento mensa, telecamera 3, ore 7.00

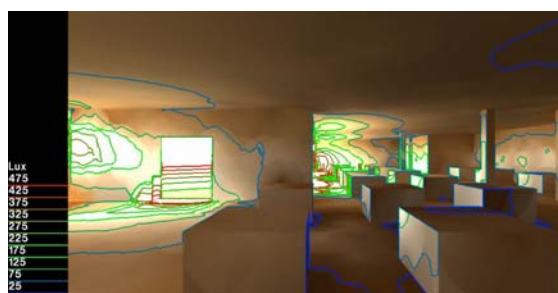


Figura 198 - Illuminamento mensa, telecamera 4, ore 7.00

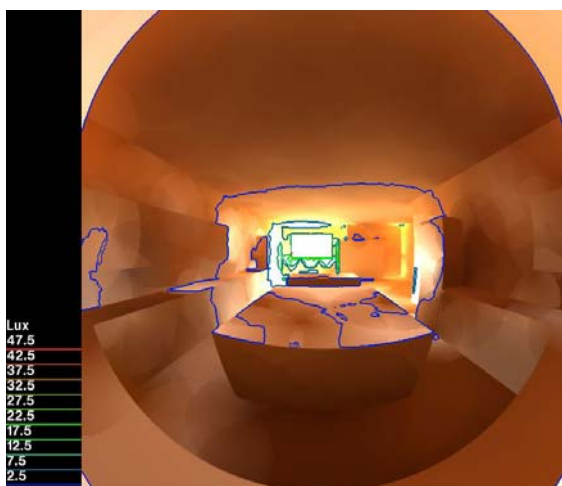


Figura 199 - Illuminamento cucina, telecamera 1, ore 6.00



Figura 200 - Illuminamento cucina, telecamera 2, ore 6.00



Figura 201 - Illuminamento palestra telecamera 1, ore 11.00

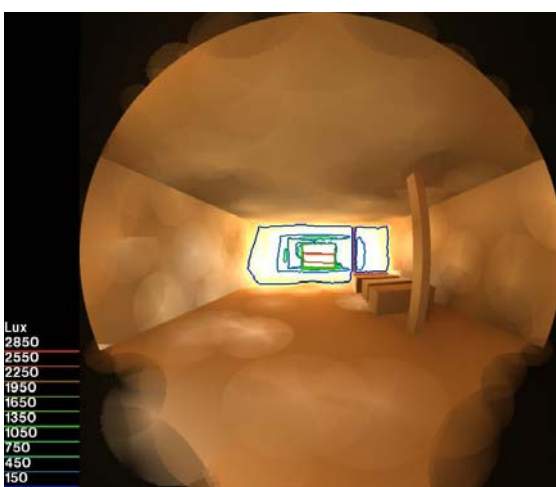


Figura 202 - Illuminamento palestra telecamera 2, ore 11.00

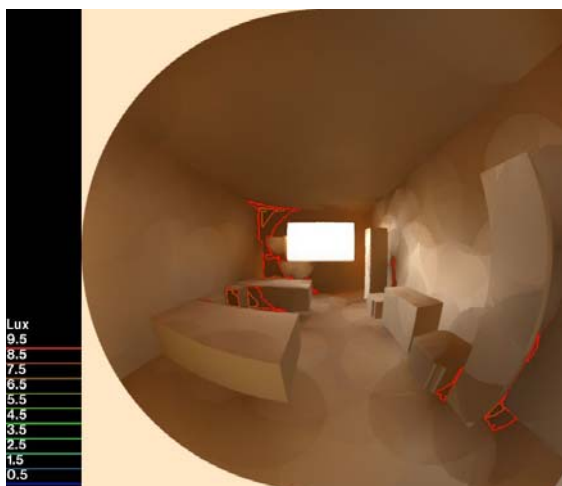


Figura 203 - Illuminamento camera telecamera 1, ore 06.00



Figura 204 - Illuminamento camera telecamera 2, ore 06.00

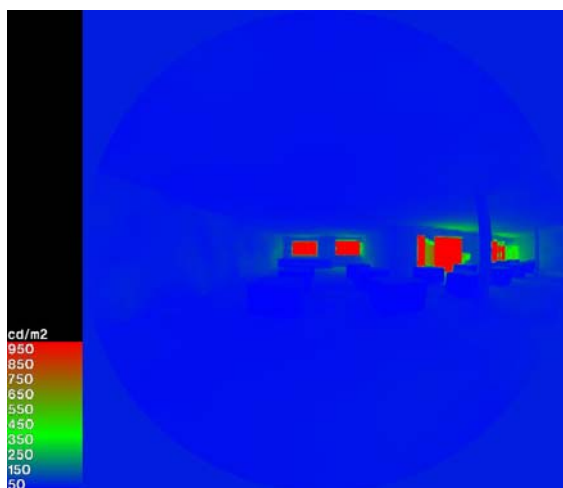


Figura 205 - Luminanza mensa, telecamera 1, ore 12.00

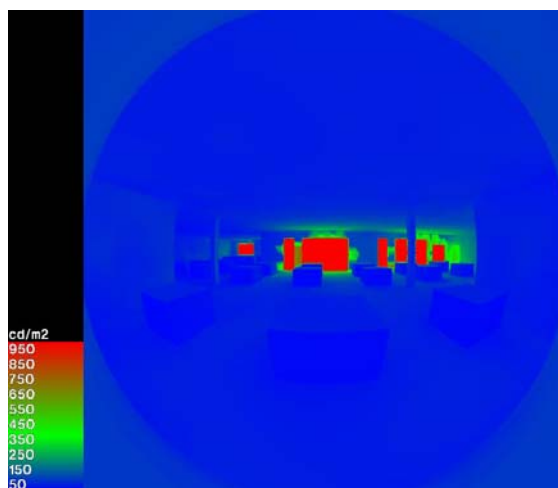


Figura 206 - Luminanza mensa, telecamera 2, ore 12.00

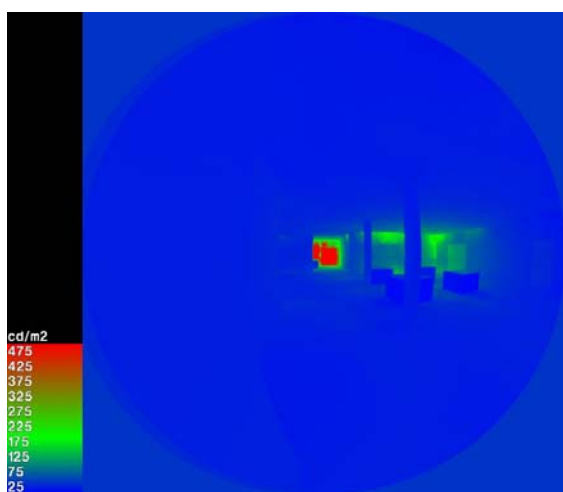


Figura 207 - Luminanza mensa, telecamera 3, ore 12.00

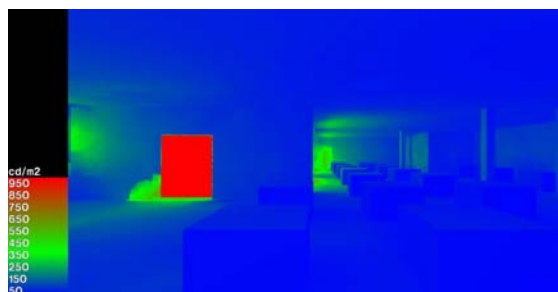


Figura 208 - Luminanza mensa, telecamera 4, ore 12.00

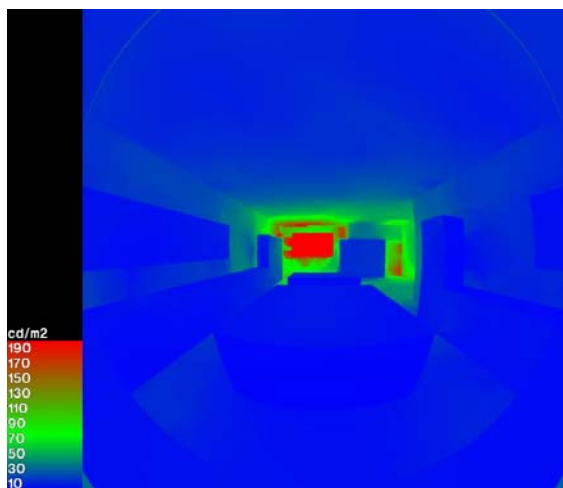


Figura 209 - Luminanza cucina, telecamera 1, ore 11.00

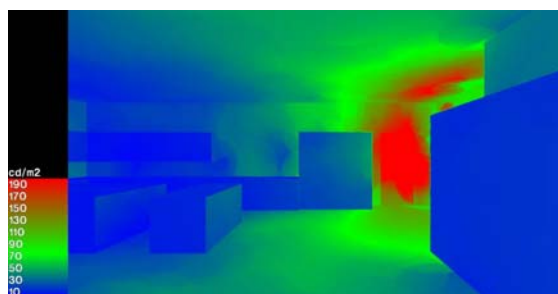


Figura 210 - Luminanza cucina, telecamera 2, ore 11.00

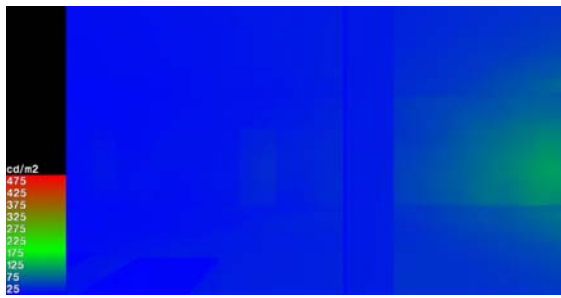


Figura 211 - Luminanza palestra telecamera 1, ore 15.00

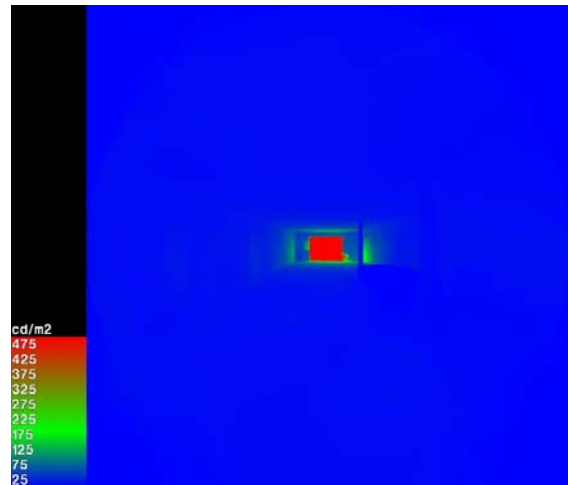


Figura 212 - Luminanza palestra telecamera 2, ore 15.00

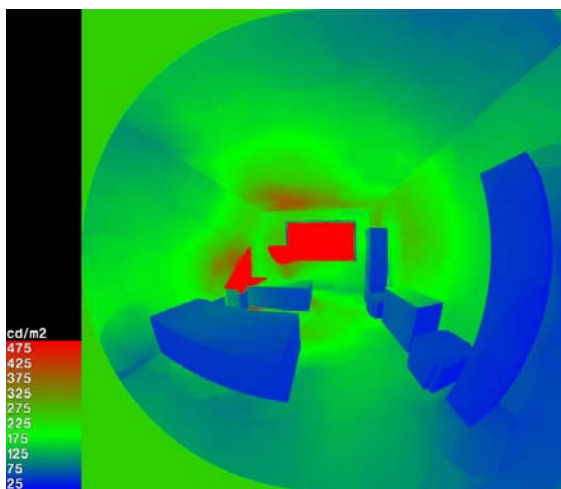


Figura 213 - Luminanza camera telecamera 1, ore 11.00

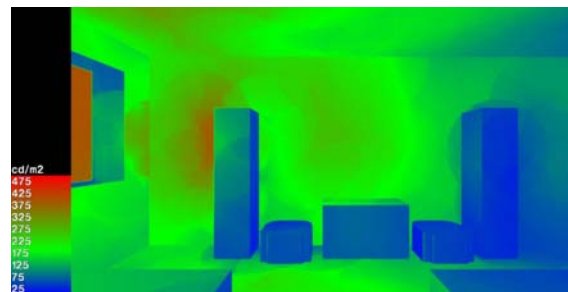


Figura 214 - Luminanza camera telecamera 2, ore 11.00

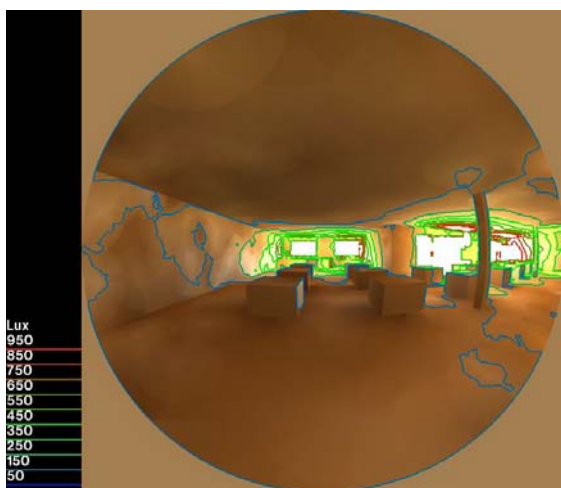


Figura 215 - Illuminamento mensa, telecamera 1, ore 12.00

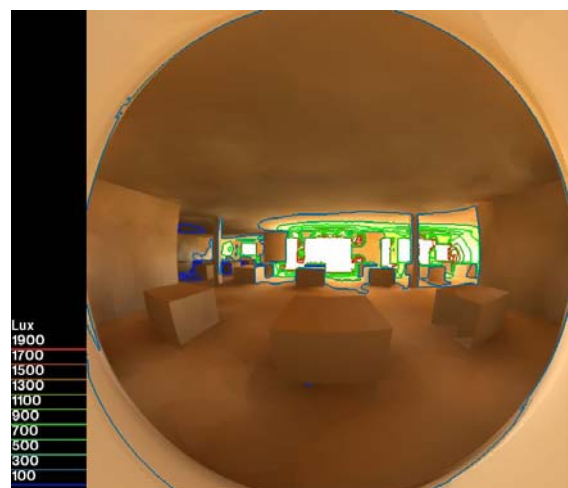


Figura 216 - Illuminamento mensa, telecamera 2, ore 12.00

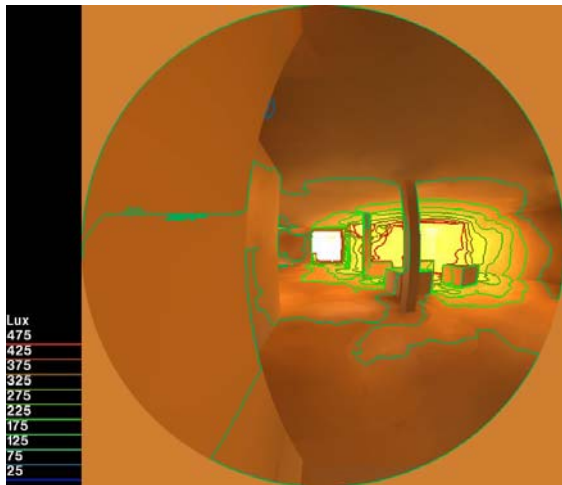


Figura 217 - Illuminamento mensa, telecamera 3, ore 12.00

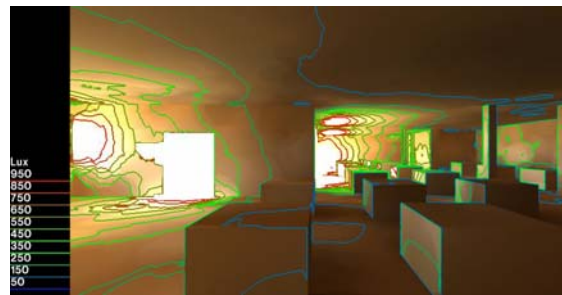


Figura 218 - Illuminamento mensa, telecamera 4, ore 12.00

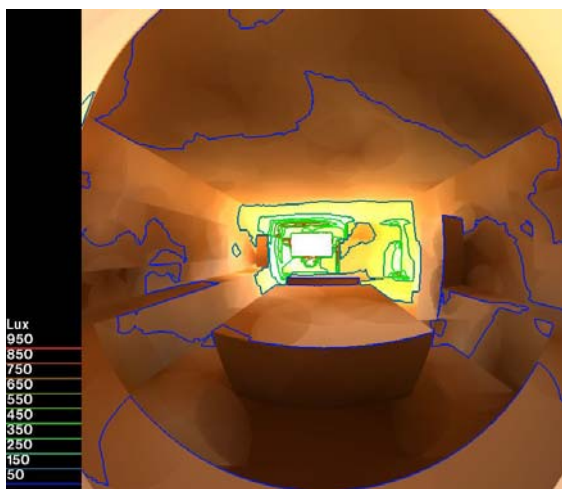


Figura 219 - Illuminamento cucina, telecamera 1, ore 11.00

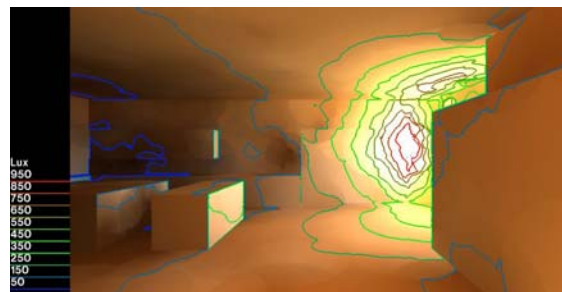


Figura 220 - Illuminamento cucina, telecamera 2, ore 11.00

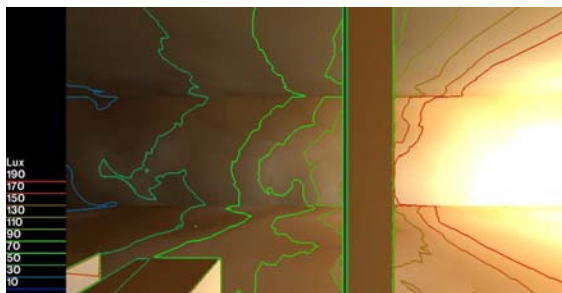


Figura 221 - Illuminamento palestra telecamera 1, ore 15.00

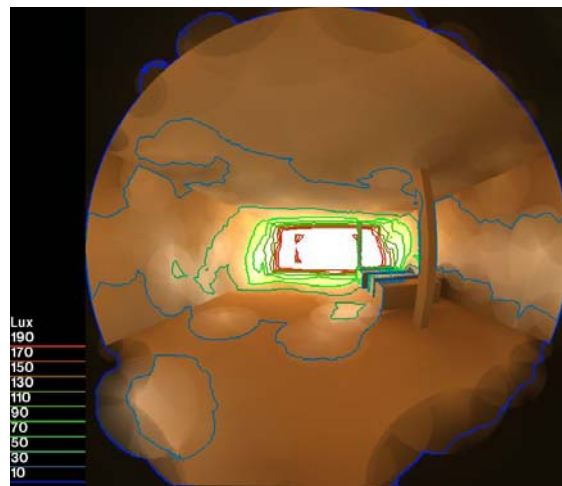


Figura 222 - Illuminamento palestra telecamera 2, ore 15.00

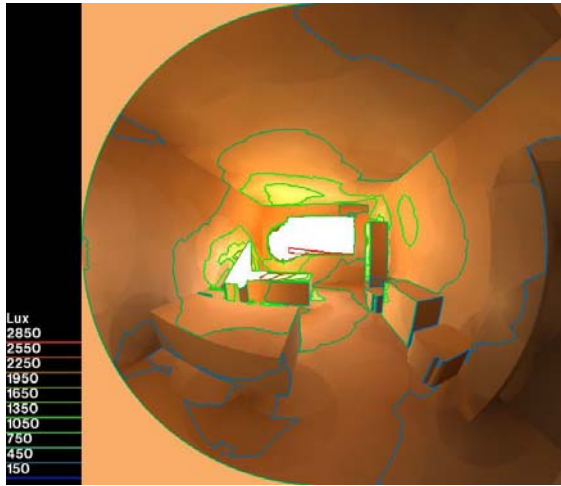


Figura 223 - Illuminamento camera telecamera 1, ore 11.00



Figura 224 - Illuminamento camera telecamera 2, ore 11.00

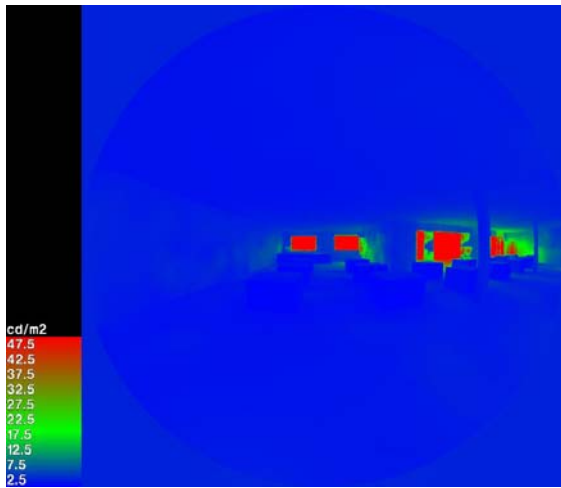


Figura 225 - Luminanza mensa, telecamera 1, ore 17.00

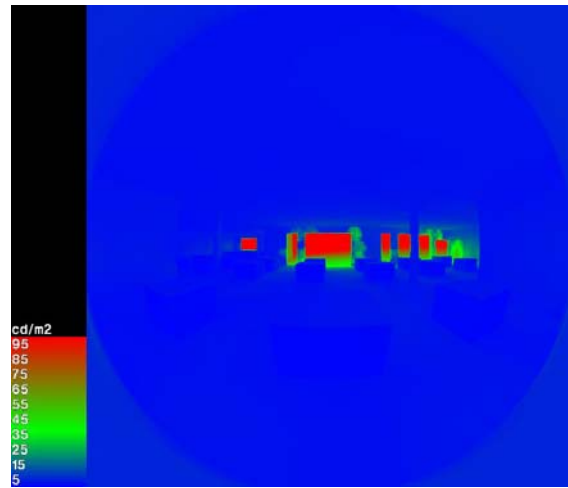


Figura 226 - Luminanza mensa, telecamera 2, ore 17.00

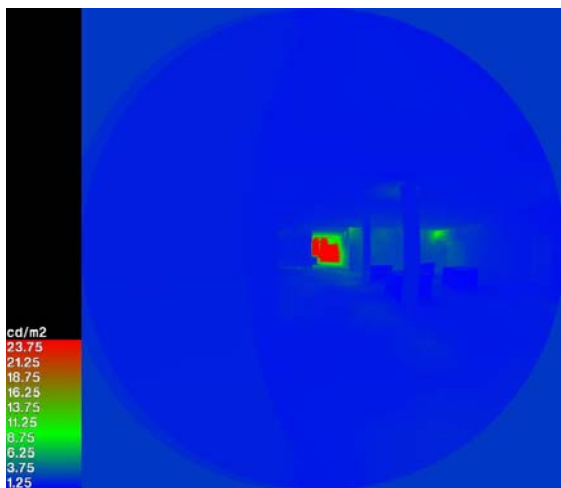


Figura 227 - Luminanza mensa, telecamera 3, ore 17.00

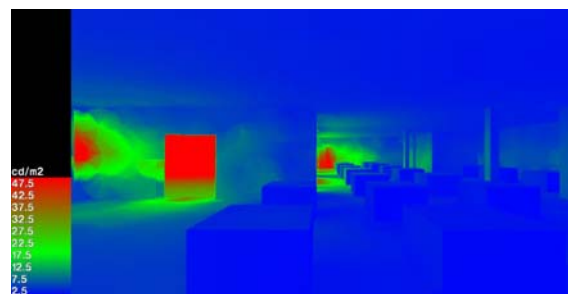


Figura 228 - Luminanza mensa, telecamera 4, ore 17.00

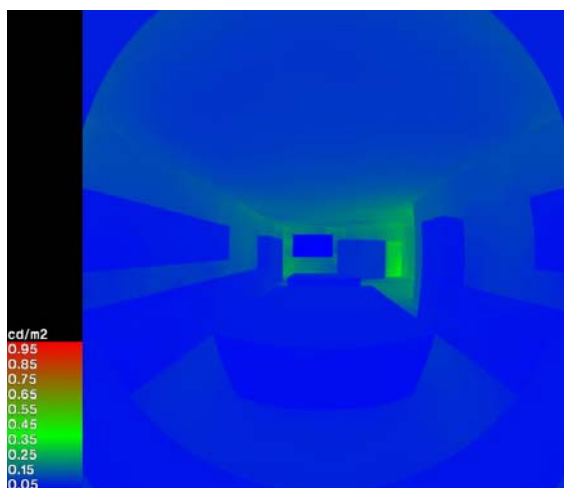


Figura 229 - Luminanza cucina, telecamera 1, ore 18.00



Figura 230 - Luminanza cucina, telecamera 2, ore 18.00



Figura 231 - Luminanza palestra telecamera 1, ore 17.00

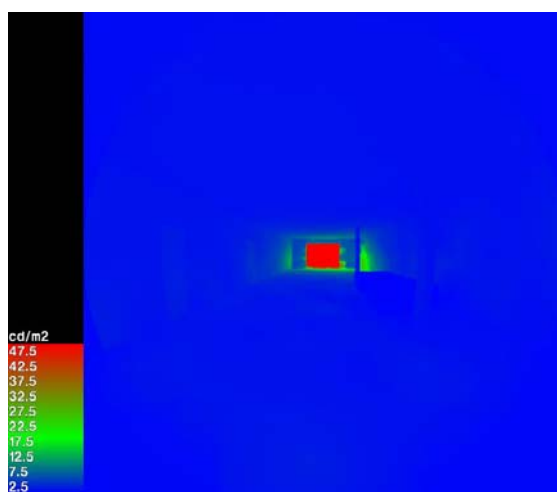


Figura 232 - Luminanza palestra telecamera 2, ore 17.00



Figura 233 - Luminanza camera telecamera 1, ore 18.00

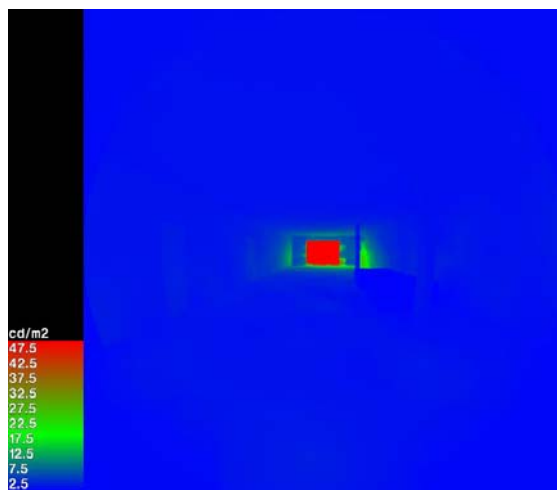


Figura 234 - Luminanza camera telecamera 2, ore 18.00

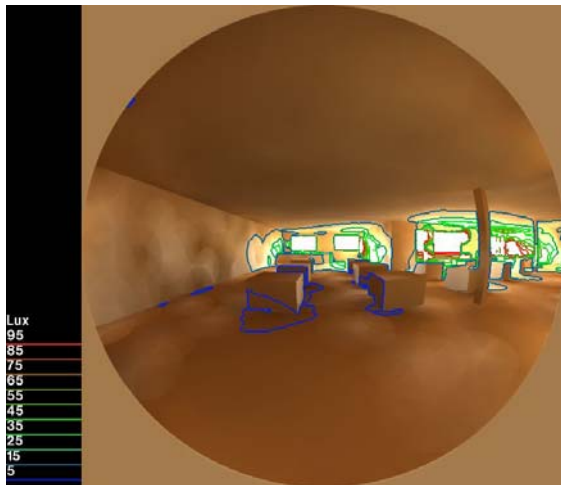


Figura 235 - Illuminamento mensa, telecamera 1, ore 17.00

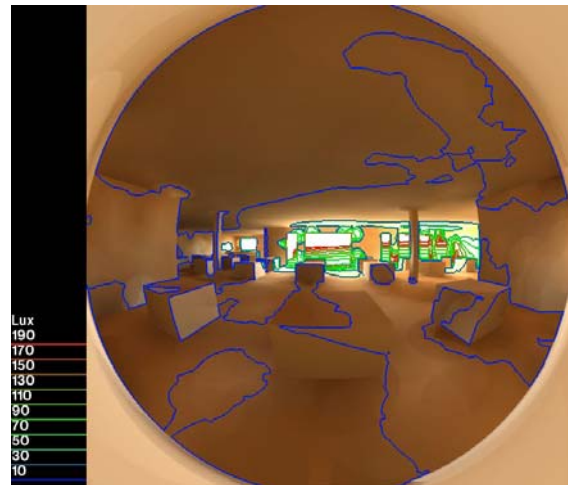


Figura 236 - Illuminamento mensa, telecamera 2, ore 17.00

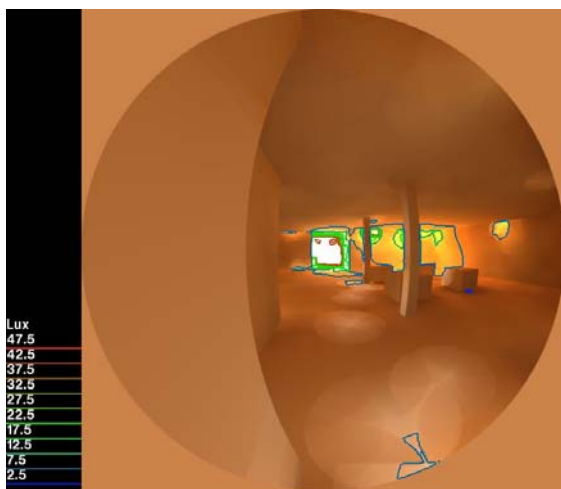


Figura 237 - Illuminamento mensa, telecamera 3, ore 17.00

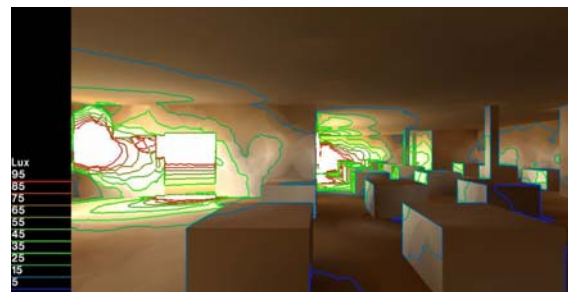


Figura 238 - Illuminamento mensa, telecamera 4, ore 17.00

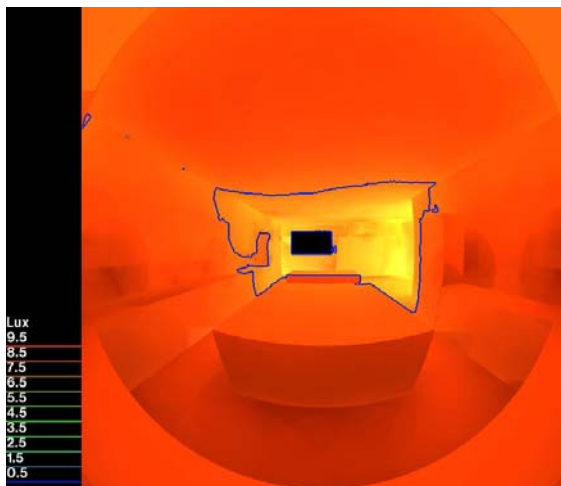


Figura 239 - Illuminamento cucina, telecamera 1, ore 18.00

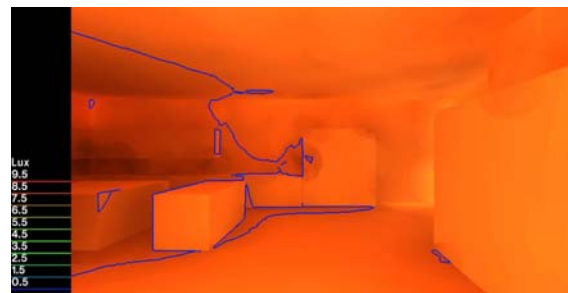


Figura 240 - Illuminamento cucina, telecamera 2, ore 18.00

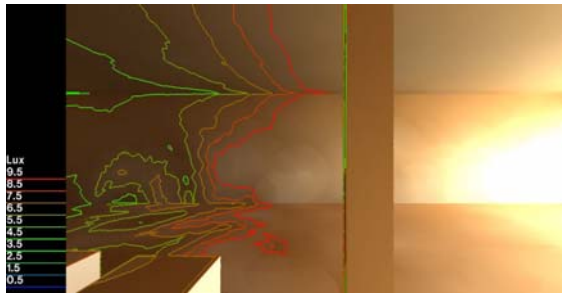


Figura 241 - Illuminamento palestra telecamera 1, ore 17.00

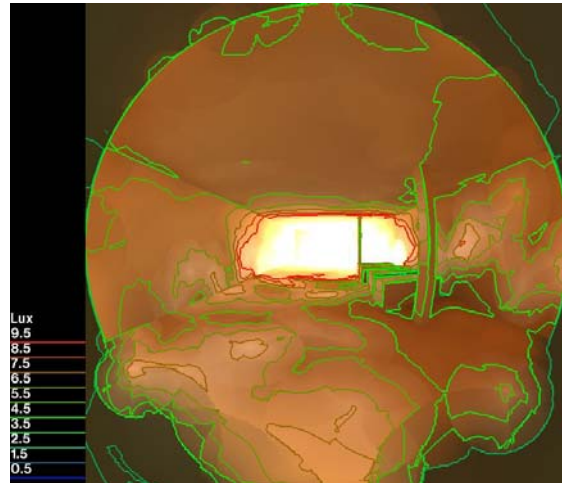


Figura 242 - Illuminamento palestra telecamera 1, ore 17.00

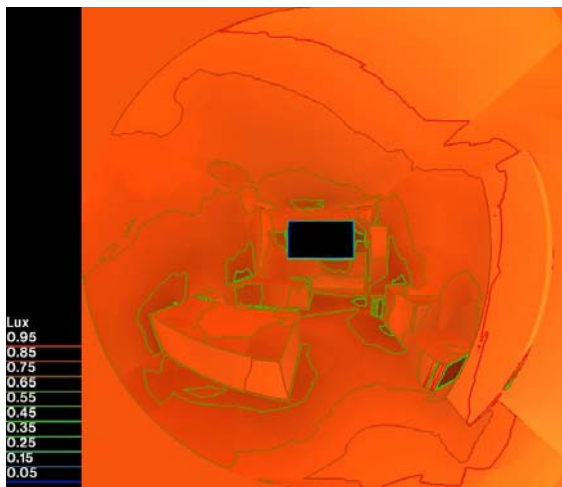


Figura 243 - Illuminamento camera telecamera 1, ore 18.00

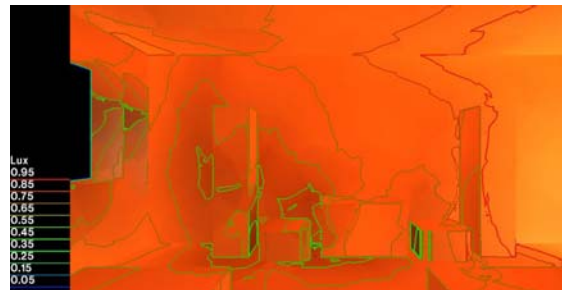


Figura 244 - Illuminamento camera telecamera 1, ore 18.00

Mensa: piano tavoli

Ore 7.00: luminanza fino a 30 cd/m²; illuminamento circa 50 lux.

Ore 12.00: luminanza fino a 100 cd/m²; illuminamento circa 150 lux.

Ore 17.00: luminanza fino a 10 cd/m²; illuminamento circa 20 lux.

In questa ultima serie di analisi del 21 dicembre la mensa soffre la minor radiazione solare e presenta problemi di scarsa illuminazione, soprattutto nelle ore iniziali e finali considerate.

Cucina: zona cottura

Ore 6.00: luminanza 1 cd/m²; illuminamento circa 5 lux.

Ore 11.00: luminanza circa 20 cd/m²; illuminamento circa 150 lux.

Ore 18.00: luminanza 0,1 cd/m²; illuminamento circa 0,5 lux.

Anche la cucina, in modo ancor peggiore della mensa, risulta scarsamente illuminata; alle 6.00 e alle 18.00 pare che la luce sia proprio assente, quindi sarebbe impossibile svolgervi qualunque attività, senza l'ausilio di un sistema di luce artificiale.

Palestra

Ore 11.00: luminanza bassa nell'ambiente, circa 75 cd/m²; illuminamento generalizzato nell'ambiente circa 150 lux.

Ore 15.00: luminanza bassa nell'ambiente, circa 25 cd/m²; illuminamento generalizzato nell'ambiente fino a 90 lux.

Ore 17.00: luminanza bassa nell'ambiente, circa 7,5 cd/m²; illuminamento generalizzato nell'ambiente circa 6,5 lux.

In questo caso l'utilizzo della palestra è consigliabile la mattina o nel primo pomeriggio, quando l'illuminamento è prossimo ai valori richiesti; alle 17.00 domina una scarsa illuminazione.

Camera

Ore 6.00: luminanza media generalizzata nell'ambiente, circa 5,5 cd/m²; illuminamento: generalizzato nell'ambiente circa 9,5 lux.

Ore 11.00: luminanza media generalizzata nell'ambiente, circa 275 cd/m²; illuminamento: piano scrivania circa 1350 lux, zona letti circa 750 lux.

Ore 18.00: luminanza bassa nell'ambiente, circa 5 cd/m²; illuminamento generalizzato circa 0,55 lux.

Valori estremi distinguono la camera negli orari considerati. La mattina e nel tardo pomeriggio entra poca luce, mentre alle 11.00 vi è un livello di illuminamento esagerato.

4.3.4. Fattore di luce diurna (%)

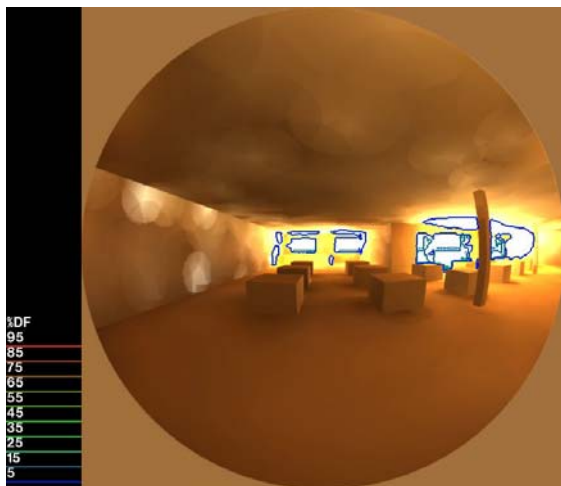


Figura 245 - Fattore di luce diurna mensa, telecamera 1

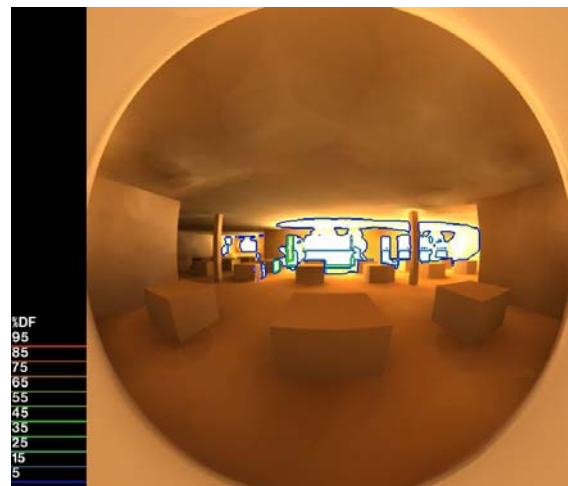


Figura 246 - Fattore di luce diurna mensa, telecamera 2

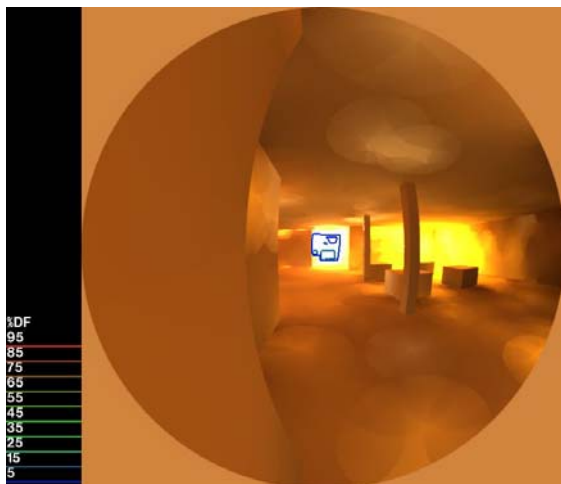


Figura 247 - Fattore di luce diurna mensa, telecamera 3



Figura 248 - Fattore di luce diurna mensa, telecamera 4

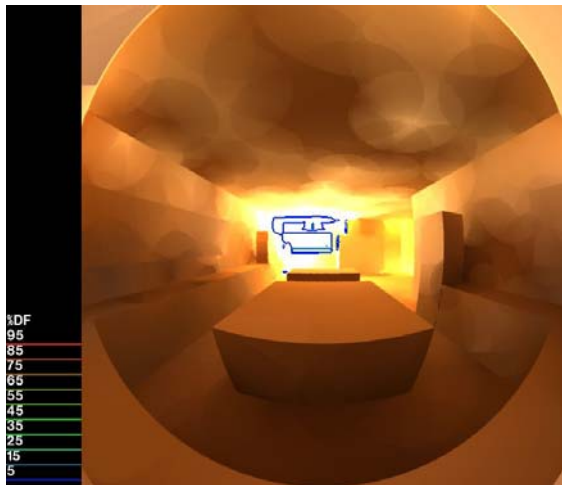


Figura 249 - Fattore di luce diurna cucina, telecamera 1

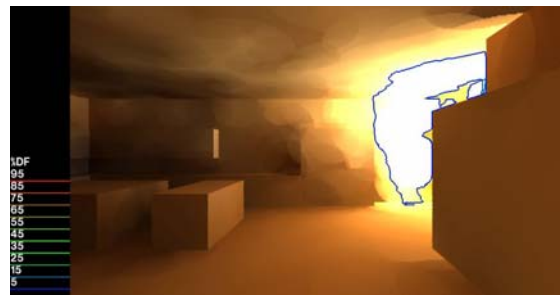


Figura 250 - Fattore di luce diurna cucina, telecamera 2

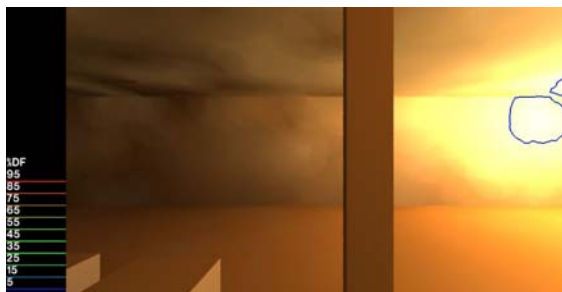


Figura 251 - Fattore di luce diurna palestra, telecamera 1

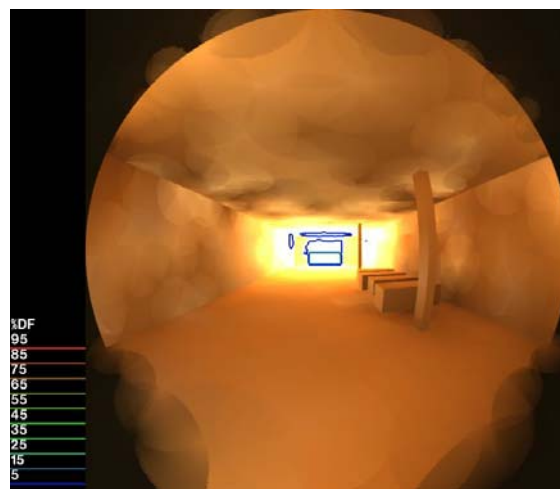


Figura 252 - Fattore di luce diurna palestra, telecamera 2

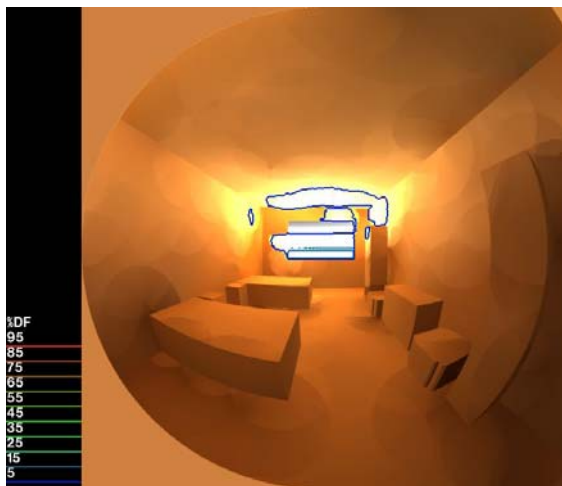


Figura 253 - Fattore di luce diurna camera, telecamera 1



Figura 254 - Fattore di luce diurna camera, telecamera 2

Mensa: circa 5% vicino alle finestre.

Cucina: circa 5% vicino alle finestre.

Palestra: circa 5% vicino alle finestre.

Camera: circa 5% vicino alle finestre.

Stando alle immagini, sembrerebbe che il livello consigliato di daylight factor sia sì raggiunto, ma solo in prossimità delle finestre, quindi non nelle zone utili per svolgere le diverse attività.

4.4. Evalglare: analisi abbagliamento

Impostando in Ecotect o in Radiance la telecamera con vista a occhio di pesce (180°) si ottengono delle immagini che possono essere processate da Evalglare per verificare le possibili zone di abbagliamento.

L'analisi si è concentrata sugli indici seguenti: Daylight Glare Probability (DGP), il Daylight Glare Index (DGI), l'Unified Glare Rating (UGR).

Parametri	Abbagliamento impercettibile	Abbagliamento percepibile	Abbagliamento disturbante	Abbagliamento intollerabile
DGP	< 0,35	0,35 - 0,40	0,4 - 0,45	> 0,45
DGI	< 18	18 - 24	24 - 31	> 31
UGR	< 13	13 - 22	22 - 28	> 28

Tabella 7 - Intervalli di tolleranza degli indici

21 mar	DGP	DGI	UGR
6.00	0,224	19,569	21,342
7.00	0,243	21,013	23,252
8.00	0,244	21,798	24,302
9.00	0,246	21,932	24,490
10.00	0,245	21,943	25,071
11.00	0,245	21,901	24,472
12.00	0,245	21,896	24,454
13.00	0,242	21,657	24,163
14.00	0,242	21,623	24,106
15.00	0,240	20,653	23,914
16.00	0,239	20,612	23,936
17.00	0,244	20,314	23,731
18.00	0,233	20,449	23,015

Tabella 8 - Parametri di abbagliamento per la mensa, 21 marzo

21 giu	DGP	DGI	UGR
6.00	0,232	20,249	22,320
7.00	0,232	19,676	22,628
8.00	0,238	20,956	23,369
9.00	0,241	21,359	23,854
10.00	0,246	21,969	24,565
11.00	0,246	22,018	24,644
12.00	0,248	22,132	24,779
13.00	0,243	21,657	24,337
14.00	0,241	21,520	24,175
15.00	0,244	20,728	24,335
16.00	0,249	21,104	24,876
17.00	0,256	21,287	24,779
18.00	0,246	20,308	24,119

Tabella 9 - Parametri di abbagliamento per la mensa, 21 giugno

21 dic	DGP	DGI	UGR
6.00	0,166	13,252	12,942
7.00	0,221	19,901	21,811
8.00	0,242	20,909	23,121
9.00	0,245	21,669	24,118
10.00	0,245	21,669	24,118
11.00	0,243	21,771	24,230
12.00	0,243	21,601	24,025
13.00	0,238	21,068	23,342
14.00	0,236	20,744	22,882
15.00	0,234	20,082	22,010
16.00	0,222	19,055	20,664
17.00	0,169	15,411	15,878
18.00	0,164		

Tabella 10 - Parametri di abbagliamento per la mensa, 21 dicembre

21 mar	DGP	DGI	UGR
6.00	0,234	20,188	26,120
7.00	0,280	21,431	26,950
8.00	0,277	21,773	27,472
9.00	0,268	21,513	26,673
10.00	0,265	21,369	26,756
11.00	0,257	20,949	25,743
12.00	0,253	20,806	25,352
13.00	0,258	20,616	25,087
14.00	0,256	20,652	25,268
15.00	0,254	20,634	24,986
16.00	0,254	21,013	25,694
17.00	0,266	21,077	25,801

21 giu	DGP	DGI	UGR
6.00	0,273	21,094	26,471
7.00	0,263	21,044	26,017
8.00	0,257	20,989	25,746
9.00	0,260	21,121	25,802
10.00	0,259	21,192	26,024
11.00	0,260	21,113	25,990
12.00	0,254	21,152	25,673
13.00	0,253	20,927	25,308
14.00	0,258	21,304	26,009
15.00	0,253	21,309	25,924
16.00	0,252	20,787	25,142
17.00	0,271	22,224	26,575

21 dic	DGP	DGI	UGR
6.00	0,166	14,156	17,835
7.00	0,231	20,000	25,875
8.00	0,267	21,096	26,818
9.00	0,282	21,809	27,761
10.00	0,273	21,427	26,862
11.00	0,262	20,780	25,630
12.00	0,265	20,786	25,830
13.00	0,255	20,093	24,575
14.00	0,258	20,082	24,662
15.00	0,251	20,089	24,755
16.00	0,229	18,999	23,298
17.00	0,172	15,754	19,284

18.00	0,255	20,821	26,714
-------	-------	--------	--------

Tabella 11 - Parametri di abbagliamento per la cucina, 21 marzo

21 mar	DGP	DGI	UGR
6.00	0,206	17,537	20,862
7.00	0,253	19,340	23,214
8.00	0,261	20,281	24,484
9.00	0,264	20,793	25,188
10.00	0,262	20,760	25,073
11.00	0,260	20,704	25,016
12.00	0,259	20,596	24,848
13.00	0,254	20,245	24,284
14.00	0,250	19,944	23,851
15.00	0,241	19,640	23,436
16.00	0,240	19,777	23,597
17.00	0,232	18,491	21,940
18.00	0,209	17,435	20,744

Tabella 14 - Parametri di abbagliamento per la palestra, 21 marzo

21 mar	DGP	DGI	UGR
6.00	0,252	20,773	24,258
7.00	0,307	22,678	26,882
8.00	0,379	23,606	28,052
9.00	0,355	23,915	28,250
10.00	0,314	23,732	27,857
11.00	0,279	22,850	26,982
12.00	0,279	22,850	26,982
13.00	0,263	21,861	26,582
14.00	0,261	21,848	26,606
15.00	0,259	21,758	26,536
16.00	0,258	21,636	26,505
17.00	0,253	20,868	25,614
18.00	0,231	18,872	23,131

Tabella 17 - Parametri di abbagliamento per la camera, 21 marzo

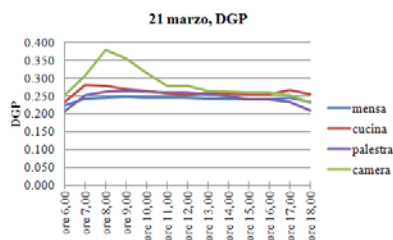


Figura 255 - DGP, 21 marzo

18.00	0,291	24,053	29,632
-------	-------	--------	--------

Tabella 12 - Parametri di abbagliamento per la cucina, 21 giugno

21 giu	DGP	DGI	UGR
6.00	0,253	19,168	22,936
7.00	0,258	20,119	24,205
8.00	0,261	20,578	24,829
9.00	0,262	20,785	25,080
10.00	0,261	20,899	25,251
11.00	0,261	20,963	25,300
12.00	0,258	20,819	25,079
13.00	0,252	20,557	24,666
14.00	0,248	20,471	24,512
15.00	0,249	20,843	25,000
16.00	0,251	21,029	25,248
17.00	0,251	20,786	24,981
18.00	0,243	19,377	23,328

Tabella 15 - Parametri di abbagliamento per la palestra, 21 giugno

21 giu	DGP	DGI	UGR
6.00	0,256	20,497	24,731
7.00	0,277	21,914	26,526
8.00	0,292	22,946	26,888
9.00	0,290	22,709	26,601
10.00	0,278	22,400	26,354
11.00	0,271	22,200	26,949
12.00	0,269	22,120	26,913
13.00	0,264	21,890	26,614
14.00	0,261	21,542	26,138
15.00	0,262	21,921	26,687
16.00	0,263	22,133	27,049
17.00	0,261	22,041	27,023
18.00	0,257	21,525	26,576

Tabella 18 - Parametri di abbagliamento per la camera, 21 giugno

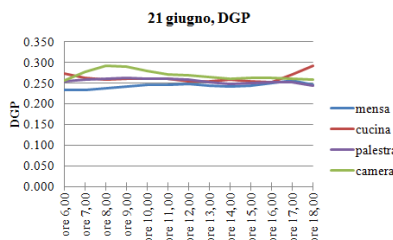


Figura 256 - DGP, 21 giugno

18.00	0,164		
-------	-------	--	--

Tabella 13 - Parametri di abbagliamento per la cucina, 21 dicembre

21 dic	DGP	DGI	UGR
6.00	0,165	11,189	12,228
7.00	0,204	17,447	20,777
8.00	0,239	18,962	22,798
9.00	0,260	19,757	23,773
10.00	0,259	19,991	24,097
11.00	0,257	19,983	24,088
12.00	0,255	19,791	23,775
13.00	0,251	19,348	23,127
14.00	0,247	18,727	22,251
15.00	0,222	17,860	21,137
16.00	0,202	16,403	19,132
17.00	0,167	12,487	13,994
18.00	0,164		

Tabella 16 - Parametri di abbagliamento per la palestra, 21 dicembre

21 dic	DGP	DGI	UGR
6.00	0,203	18,150	22,701
7.00	1,000	42,185	66,071
8.00	1,000	41,424	65,515
9.00	0,343	22,043	26,885
10.00	0,305	22,559	26,781
11.00	0,279	23,149	27,235
12.00	0,267	22,432	27,421
13.00	0,261	21,948	26,817
14.00	0,254	21,252	25,880
15.00	0,250	20,672	25,277
16.00	0,245	19,503	23,818
17.00	0,176	15,288	18,204
18.00	0,164		

Tabella 19 - Parametri di abbagliamento per la camera, 21 dicembre

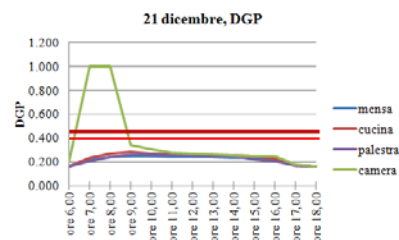


Figura 257 - DGP, 21 dicembre

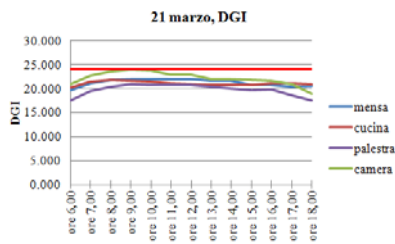


Figura 258 - DGI, 21 marzo

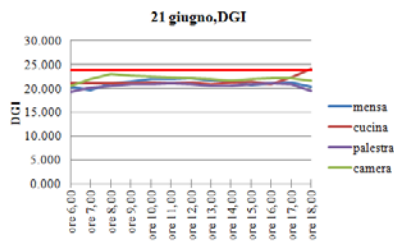


Figura 259 - DGI, 21 giugno

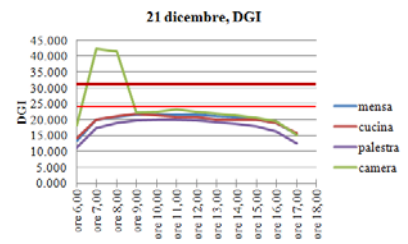


Figura 260 - DGI, 21 dicembre

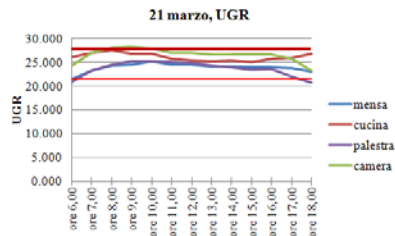


Figura 261 - UGR, 21 marzo

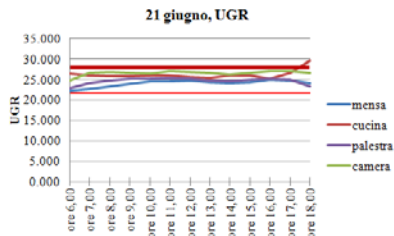


Figura 262 - UGR, 21 giugno

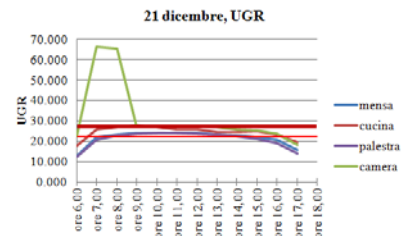


Figura 263 - UGR, 21 dicembre

DGP

21 marzo: sempre sotto la soglia dell'abbagliamento da disturbo, valore più alto alle ore 8.00 per la camera.

21 giugno: sempre sotto la soglia dell'abbagliamento da disturbo.

21 dicembre: sempre sotto la soglia dell'abbagliamento da disturbo, valori anomali per la camera alle ore 7.00 e 8.00.

Il DGP rivela che per le viste processate, non presentano problemi di abbagliamento, ma il calcolo ha prodotto valori errati per le ore 8.00 e 9.00 del 21 dicembre per la camera.

DGI

21 marzo: sempre sotto la soglia dell'abbagliamento da disturbo.

21 giugno: inizio abbagliamento da disturbo per la cucina dalle ore 18.00.

21 dicembre: sempre sotto la soglia dell'abbagliamento da disturbo, valori anomali per la camera alle ore 7.00 e 8.00.

La cucina, come già ipotizzato con le analisi precedenti, è a rischio abbagliamento dalle 18.00 del 21 giugno, unico caso fra tutte le stanze. Si ripete l'anomalia per le ore indicate già per il DGP della camera.

UGR

21 marzo: sempre fra la soglia dell'abbagliamento da disturbo e di quello intollerabile, escludendo mensa e palestra alle ore 6.00 e palestra alle ore 18.00.

21 giugno: sempre fra la soglia dell'abbagliamento da disturbo e di quello intollerabile, escludendo la cucina alle ore 18.00 che presenta abbagliamento intollerabile.

21 dicembre: sempre fra la soglia dell'abbagliamento da disturbo e di quello intollerabile, tranne alle ore 6.00 e 7.00, 16.00 e 18.00 per tutti i compartimenti, valori anomali per la camera alle ore 7.00 e 8.00.

Questo indice invece pone tutti gli ambienti in una situazione di abbagliamento da disturbo, eccetto durante le ore iniziali e finali dell'intervallo in esame.

4.5. Daysim: analisi Daylight Autonomy, Maximum Daylight Autonomy, Continuous Daylight Autonomy, Daylight Factor, Daylight Saturation Percentage, Useful Daylight Index

4.5.1. Primo step: simulazione

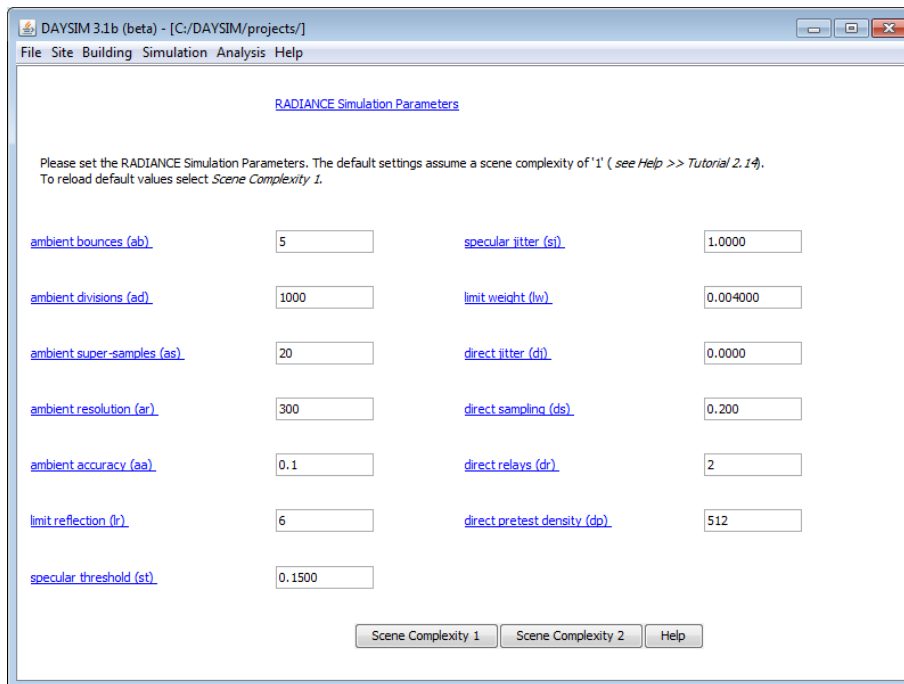


Figura 264 - Parametri per la simulazione, scene complexity 1

Esportando da Ecotect un file in Daysim, si possono ottenere alcuni indici che riguardano l'illuminazione diurna. La simulazione precedente l'analisi, si serve di alcune impostazioni comuni con Radiance, ovvero:

- **ambient bounces (ab)** permette di stabilire il numero di riflessioni di cui tenere conto nel calcolo dell'illuminazione diffusa indiretta; per non avere un calcolo indiretto impostare il valore 0. Per un render di media qualità, valori come 2 o 3 sono ragionevoli. La scala di valori va da 0 a 8. Valori più elevati sono più accurati. Se un rendering appare molto piatto e senza ombre, un basso valore per le riflessioni dell'ambiente può esserne la causa;
- **ambient divisions (ad)** imposta il numero di divisioni dell'ambiente nel calcolo Monte Carlo. L'errore del metodo Monte Carlo sull'illuminazione indiretta sarà inversamente proporzionale alla radice quadrata del numero. Il valore 0 implica nessun calcolo indiretto. Un buon valore di partenza è 128 su un intervallo da 0 a 4096. Valori elevati sono più accurati;
- **ambient super-samples (as)** specifica il numero massimo di raggi aggiuntivi da tracciare per *ambient divisions*. Super-campioni sono applicati solo dove c'è una gran differenza nel valore fra raggi adiacenti. Un valore ragionevole per iniziare è metà dell'*ambient divisions* per un intervallo che va da 0 a 1024. Numeri elevati sono più accurati;
- **ambient resolution (ar)** specifica la densità di punti di calcolo dell'ambiente. Determina la densità massima di valori dell'ambiente usati nell'interpolazione. L'errore comincerà ad

aumentare su superfici disposte più vicino rispetto al formato della scena diviso per l'*ambient resolution*. Il valore massimo di densità dell'ambiente è la dimensione della scena per l'*ambient accuracy*, diviso l'*ambient resolution*. La dimensione della scena può essere determinata usando *getinfo* con l'opzione *-d* sul diagramma ad albero. 0 significa che per ogni pixel è calcolato un punto ambiente. Un buon valore di partenza è 12;

- ***ambient accuracy (aa)*** la percentuale di errore permessa nei calcoli di illuminazione. Minore è il numero, più definito è il rendering. Questo valore sarà simile all'errore dall'interpolazione dell'illuminazione indiretta. 0 indica che non ci sono interpolazioni. Un buon valore iniziale è 0.3 su un intervallo da 0 a 0.5. Numeri più piccoli sono più accurati;
- ***limit reflection (lr)*** limita al valore dato il numero di raggi riflessi e rifratti che può essere generato per ogni raggio visivo iniziale. Un buon valore di partenza è 6 in un intervallo fra 0 e 16. Numeri maggiori sono più accurati;
- ***specular threshold (st)*** la specularità minima dei materiali sotto la quale il campionamento della specularità non è valutato. Il valore 0 indica che il campionamento speculare sarà sempre considerato. Il valore 1 indica che il campionamento non è svolto. Riflessi da fonti di luce saranno sempre corretti, ma riflessioni da altre superfici saranno approssimate usando un valore dell'ambiente. Valori fra 0 e 1 permetteranno selettivamente il campionamento speculare, per quei materiali la cui specularità è superiore al valore definito. Un valore ragionevole di partenza è 0,001 nella gamma di valori fra 0 e 1. Valori più bassi sono più accurati;
- ***specular jitter (sj)*** la somma dei riflessi semi speculari che sarà campionata. Il valore 0 spegnerà i campionamenti speculari rendendo forti tutti i riflessi di luce, anche quando dovrebbero essere diffusi. Il valore 1 renderà tutte le riflessioni speculari completamente campionate permettendo riflessioni leggere. Un valore ragionevole di partenza è 0. Il range di valori che può essere scelto è fra 0 e 1. Numeri elevati sono più accurati. Cambiando questo valore non ci sono cambiamenti sul tempo del rendering;
- ***limit weight (lw)*** limita il peso di ogni raggio a un minimo. Durante il tracciamento dei raggi, si tiene una registrazione del contributo finale che un raggio avrebbe sull'immagine. Se un raggio pesa meno del valore definito, non viene tracciato. Un buon valore di partenza è 0.02 in un range fra 0 e 0.05. Numeri più bassi sono più accurati;
- ***direct jitter (dj)*** indica il numero delle trasmissioni per le fonti secondarie. Controlla la definizione e l'accuratezza delle penombre o delle ombre leggere. Il valore 0 significa che le ombre saranno rese senza penombre e il valore 1 camperà al massimo le fonti per fornire le penombre più definite possibili. Se il *direct jitter* è maggiore di 0 il campionamento di pixel deve essere 1. Un buon valore di partenza è .67 quando si vogliono ombre omogenee. Questo parametro può notevolmente aumentare i tempi di rendering quindi è da usare con cautela. Un valore ragionevole per iniziare è 0.02 su un intervallo di possibili valori fra 0 e 1 (per Radiance, mentre Daysim contempla anche valori superiori). Numeri maggiori sono più accurati;
- ***direct sampling (ds)*** suddivide una fonte di luce fino a quando la larghezza di ogni area campione divisa per la distanza del punto illuminato è inferiore a questo valore. Questo assicura accuratezza nelle regioni vicine a fonti con vasta area a una spesa leggermente computazionale. Il valore pari a 0 spegne la suddivisione delle fonti, mandando al massimo un raggio d'ombra per ogni fonte di luce. Fonti di grande area sono suddivise fino a 64 pezzi che possono portare a punti caldi sulle superfici immediatamente adiacenti;
- ***direct relays (dr)*** imposta il numero di trasmissioni per le fonti secondarie al valore definito. Il valore 0 indica che le fonti secondarie saranno ignorate, mentre 1 che le fonti secondarie

saranno considerate di prima generazione; il valore 2 significa che la prima generazione di fonti secondarie saranno rese nella seconda generazione di fonti secondarie e così via;

- **direct pretest density (dp)** imposta la densità di precampionamento della fonte secondaria al valore deciso. È il numero di campioni per steradiante che sarà usato per determinare in anticipo se sia meglio seguire i raggi d'ombra attraverso tutte le riflessioni e/o le trasmissioni associate con un secondo pezzo della fonte. Il valore 0 significa che la parte completa della fonte secondaria sarà testata per le ombre se è testato completamente.

Una volta impostati tutti i valori sopra, si può lanciare la simulazione che potrebbe durare da alcuni minuti a qualche ora, a seconda del livello di precisione richiesto nei settaggi.

4.5.2. Secondo step: analisi

The screenshot shows the DAYSIM 3.1b (beta) software interface. The window title is "DAYSIM 3.1b (beta) - [C:/DAYSIM/projects/]". The menu bar includes "File", "Site", "Building", "Simulation", "Analysis", and "Help". The main content area is divided into three sections:

- Zone Description:** A text field containing "*zone*".
- Occupancy Profile:**
 - Select Occupancy Type:** A dropdown menu set to "standard office".
 - Arrival Time:** A text field set to "08.00".
 - Departure Time:** A text field set to "17.00".
 - Lunch & Intermediate Breaks:** A checked checkbox.
 - Daylight Savings Time:** A checked checkbox.
- User Requirements and Behavior:**
 - Minimum Illuminance Level:** A text field set to "500".
 - Occupant Behavior:** A dropdown menu set to "Default behavior is active; passive behavior tests 'design risk'".
 - Active Blind Control:** A dropdown menu set to "User avoids direct sunlight on work plane".
- Lighting and Shading Control System:**
 - Installed Lighting Power Density:** A text field set to "1.5".
 - Zone Size:** A text field set to "0.0".
 - Blind Control:** A dropdown menu set to "No Movable Shading".
 - Lighting Control:** A dropdown menu set to "Manual on/off switch near the door".
 - Specify Work Plane:** A button.

At the bottom center, there is a button labeled "Start Daylighting Analysis".

Figura 265 - Parametri per l'analisi

Svolta la simulazione, può essere effettuata l'analisi che tiene in considerazione i parametri definiti di seguito.

4.5.2.1. Occupancy type

Esistono due tipi di occupazione.

Ufficio standard: lo spazio è occupato nei giorni feriali per tutto l'anno. L'utente deve solo specificare l'orario medio di apertura e di chiusura nella giornata. Il formato di arrivo e di chiusura è decimale, quindi un orario come 16.5 corrisponde alle 16.30. Se non è selezionato il tasto della pausa pranzo e delle altre pause, Daysim considererà un'occupazione costante nei giorni feriali, dall'apertura alla chiusura. Altrimenti si assumono le seguenti opzioni:

- l'utente arriva ed esce con 15 minuti di anticipo/ritardo rispetto all'orario di ingresso e di uscita;
- se la giornata lavorativa è più corta di 3 ore, l'utente lascia il posto di lavoro per 15 minuti;

- se la giornata di lavoro dura dalle 3 alle 6 ore, l'utente lascia il posto di lavoro due volte per 15 minuti;
- se la giornata di lavoro è più lunga di 6 ore, l'utente lascia due volte per 15 minuti e una volta per 60 minuti a pranzo il posto di lavoro.

4.5.2.2. Custom occupancy file

In questa modalità lo spazio è occupato secondo un profilo annuale definito dall'utente. Il profilo è nel formato *comma separated value* (csv) e può essere modificato dall'utente usando Microsoft Excel. Il file è utile se si vuole fare una simulazione termica con programmi tipo eQuest, EnergyPlus e/o TRNSYS.

4.5.2.3. Daylighting savings time

I tempi di salvataggio della luce diurna sono dall'1 aprile al 31 ottobre.

DST = 0 no daylight savings time

DST = 1 daylight savings time [default]

4.5.2.4. Minimum illuminance threshold

Il livello minimo di illuminamento corrisponde alla richiesta minima fisica di luce che deve essere mantenuta tutto il tempo affinché un certo compito possa essere portato a termine in sicurezza e senza stancare l'occupante²².

4.5.2.5. User behaviour

Anche se gli occupanti si comportano in modo diverso, usano i controlli della luce e degli oscuramenti coscientemente e consistentemente. La consistenza delle ricerche forma le basi teoriche per i modelli degli occupanti come il Lightswitch model usato da Daysim. Studi in questo campo hanno trovato che ci sono certi tipi di comportamenti di base che sono stati definiti "attivo" e "passivo".

Gli utenti **attivi** azionano la luce elettrica in relazione alle condizioni di luce naturale nell'ambiente, aprono le tende al mattino e le chiudono parzialmente per evitare discomfort visivo. In Daysim ci sono due modi per prevedere il discomfort degli utenti. La differenza è impostata sotto *Analysis >> User requirements and behaviour*. Un utente chiude le veneziane quando la luce solare diretta superiore a 50 W/m² è incidente ai sensori del piano di lavoro, oppure le chiude quando la probabilità di abbagliamento da luce diurna all'altezza del suo punto di vista supera il 40%.

Gli utenti **passivi** tengono la luce elettrica accesa durante la giornata lavorativa e le veneziane abbassate per tutto l'anno.

Come può un modellatore trattare l'incertezza risultante introdotta dalla simulazione?

Un uso attivo del controllo personale è in accordo con le intenzioni originali di progetto perché è il motivo per cui all'utente è stato fornito il controllo. Essendoci la possibilità che l'uso sia passivo con

²² I livelli di illuminamento e le categorie sono fornite da:

- Illuminance Categories; IESNA Lighting Handbook
- Recommendations for illuminance levels; Canada Labour Code, Part II - Canada Occupational Health and Safety Regulations
- Recommendations for Illuminance levels; German norm (DIN 3035; part 2)

implicazioni negative per l'energia, la simulazione passiva è condotta per vedere quanto è robusto il progetto dell'edificio quando gli utenti lavorano contro di lui.

L'uso misto (interpretazione più vecchia) prevede che entrambi i tipi di utenti siano equamente distribuiti nell'edificio. La simulazione è quindi condotta due volte, una per ogni tipo di utente, e si riporta l'uso di energia medio risultante.

4.5.2.6. Installed lighting power density

Il potere di luce elettrica installato corrisponde alla richiesta di potenza in uscita a pieno regime di tutte le lampade di un ufficio. È misurato il W/m^2 . La luce elettrica annuale è calcolata in $kWh/m^2\text{anno}^{23}$.

4.5.2.7. Blind control

Questo input ha senso solo se è stato scelto uno strumento avanzato o semplice di ombreggiamento sotto *Building > shading device mode*. L'input determina il modo in cui operano gli strumenti di ombreggiamento dinamici. Sono supportate le seguenti configurazioni:

Name	Description	Synthax
Manually operated blinds	This system corresponds to the standard internal Venetian blind system commonly found throughout North America	1 manual_blinds
Automated blinds	Ideally commissioned automated blind system. The blinds are fully lowered to avoid glare as soon as direct sunlight above 50 W/m ² hits the work place. The blinds are re-opened as soon as the glare criteria is no longer met.	2 automated_blinds
No blinds	This scenario is unrealistic in most office settings as blinds or comparable devices are usually necessary to provide glare protection from direct sunlight. Please choose this option thoughtfully.	0 no_blinds

Tabella 20 - Configurazioni per l'ombreggiamento

Altri parametri da non dimenticare sono:

4.5.2.8. View of the outside

La vista dell'esterno è largamente considerata una risorsa per il posto di lavoro se il controllo dell'abbagliamento e del surriscaldamento è garantito. I benefici che sono associati a una vista sono un effetto calmante e un senso di solitudine alleviato per gli occupanti dell'edificio. Mentre i lucernari permettono informazioni sull'ora del giorno e sulle condizioni climatiche, una "vista" deve includere parti dell'orizzonte. Non vi è una larga opinione scientifica diffusa su quali siano i pro e i contro dell'avere un posto di lavoro con "vista".

Leadership in Energy & Environmental Design (LEED 2.1): il sistema di punteggio per edifici verdi per nuove costruzioni e lavori di ristrutturazione dell'*US Green Building Council* dà un punto di credito se per gli occupanti dell'edificio nel 90% di tutto lo spazio regolarmente occupato si raggiunge con una linea visiva diretta una vista vetrata.

²³ I valori massimi raccomandati per edifici di diverse zone, sono indicati nei seguenti link:

- Maximum Lighting Power Densities; Canadian Model National Energy Code for Buildings 1995
- Maximum Lighting Power Densities; Energy Standard for Buildings except low-rise residential Buildings; ASHREA/IESNA Standard 90.1-1999, Section 9 Lighting

4.5.2.9. Electric lighting use

La domanda annuale di energia elettrica è definita come l'energia elettrica totale richiesta per illuminare un edificio. Include la potenza di standby, per esempio da un sensore di occupazione, e dipende dalla densità di potenza di luce elettrica installata come dal tempo cumulato annuo quando il sistema di illuminazione è attivato (automaticamente o dall'occupante). Per un sistema di luci soffuse la richiesta di energia dipende principalmente dal livello momentaneo di penombra del sistema. Per un sistema con controllo manuale la richiesta annua di luce elettrica dipende da come e quando gli occupanti dell'edificio stanno usando i loro interruttori. In Daysim, le previsioni del comportamento degli occupanti sono state combinate in un modello di comportamento dell'utente chiamato *Lightswitch*. Il modello *Lightswitch* deriva originariamente dal campo di studio degli uffici privati.

La singola informazione sull'uso di luce elettrica non dovrebbe essere considerata isolatamente rispetto all'uso complessivo di energia di un edificio, incluso il riscaldamento e raffrescamento, così come la crescente dimensione delle finestre potrebbe portare maggior luce diurna ma potrebbe anche essere accompagnata da crescenti carichi di raffrescamento.

4.5.2.10. Total Energy use

La domanda totale di energia elettrica annua è definita come l'energia totale richiesta per illuminare, scaldare e raffrescare un edificio. Un'analisi completamente integrata dell'interazione della luce diurna con il concetto di raffrescamento e riscaldamento richiede l'uso di strumenti di simulazione avanzati come Esp-R, TRNSYS, e/o Energy Plus.

4.5.3. Terzo step: risultati dell'analisi

Al termine del processo si presenta una schermata *.htm che riporta i valori di Daylight Factor, Daylight Autonomy, Useful Daylight Index, Continuous Daylight Autonomy, Daylight Saturation Percentage, Annual Light Exposure, che non sono stati riportati, poiché ci sono sembrati non verosimili (va sempre tenuto presente che il software è in via di aggiornamento e sviluppo).

Le immagini che seguiranno sono i risultati di Daysim importati in Ecotect. Tramite una griglia si possono visualizzare i valori della DA, DA_{max} , DA_{con} , DF, DSP e UDI.

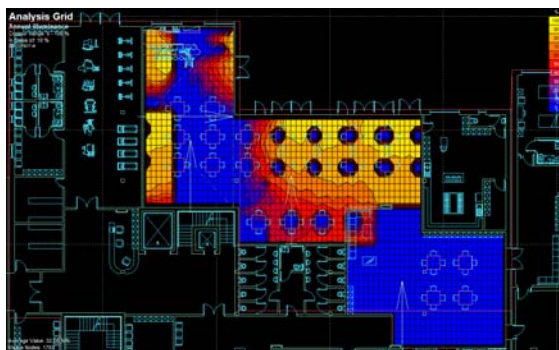


Figura 266 - DA, mensa



Figura 267 - DA_{max} , mensa



Figura 268 - DA_{con}, mensa



Figura 269 - DF, mensa



Figura 270 - DSP, mensa

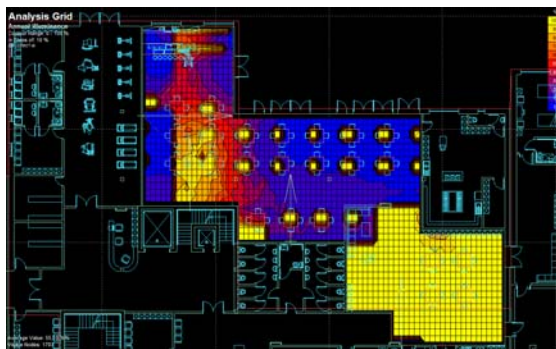


Figura 271 - UDI_{<100}, mensa

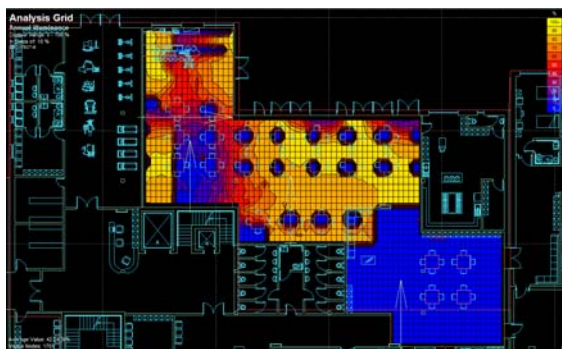


Figura 272 - UDI₁₀₀₋₂₀₀₀, mensa



Figura 273 - UDI_{>2000}, mensa

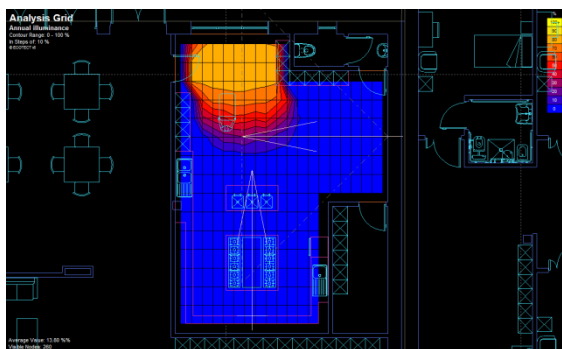


Figura 274 - DA, cucina

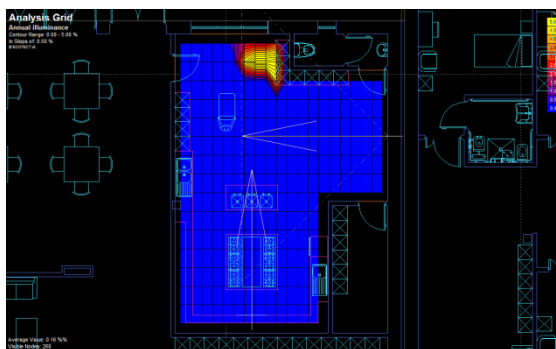


Figura 275 - DA_{max}, cucina

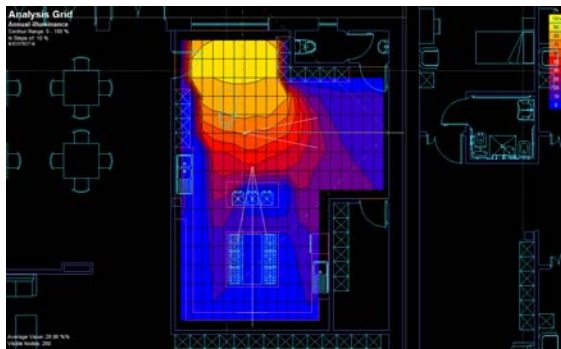


Figura 276 - DA_{con}, cucina

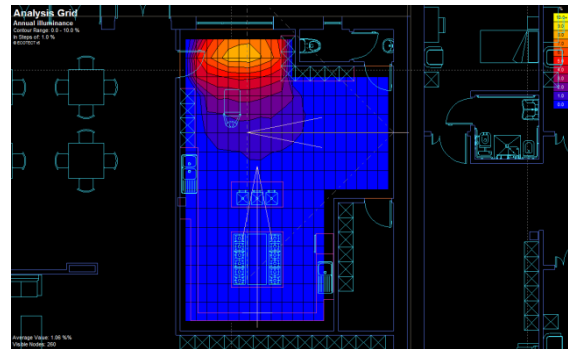


Figura 277 - DF, cucina

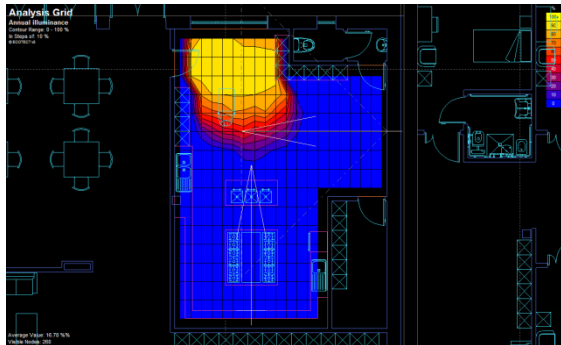


Figura 278 - DSP, cucina

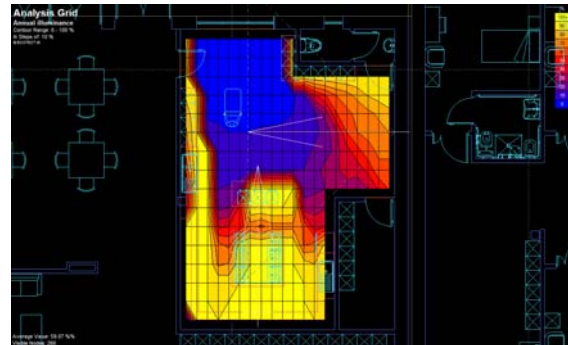


Figura 279 - UDI_{<100}, cucina

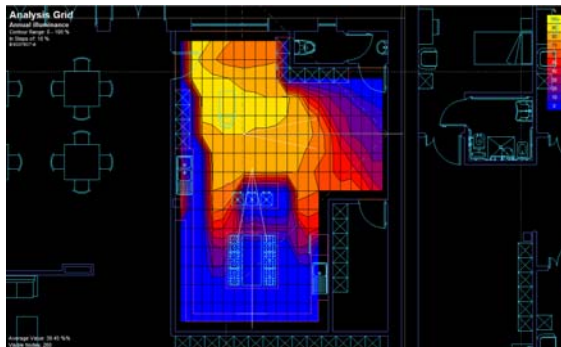


Figura 280 - UDI₁₀₀₋₂₀₀₀, cucina

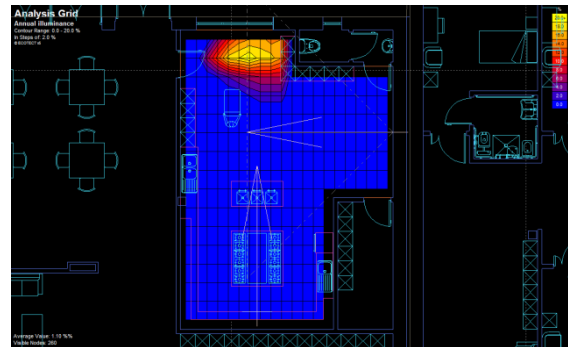


Figura 281 - UDI_{>2000}, cucina

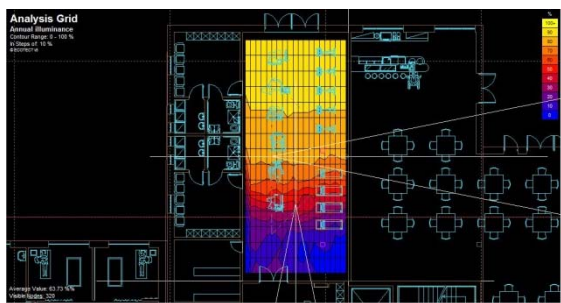


Figura 282 - DA, palestra

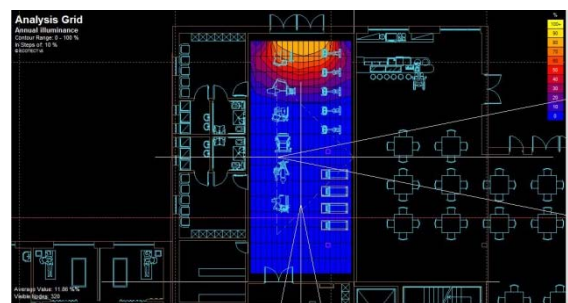


Figura 283 - DA_{max}, palestra

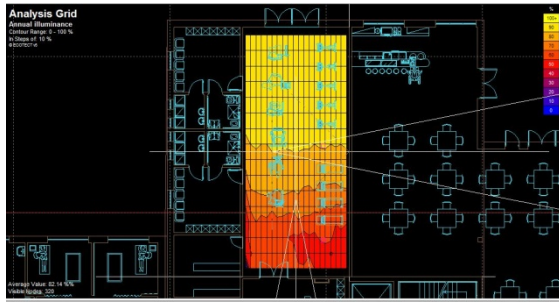


Figura 284 - DA_{con}, palestra

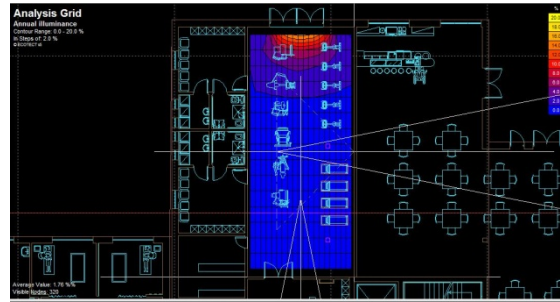


Figura 285 - DF, palestra

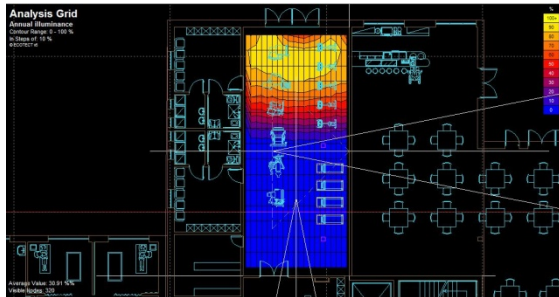


Figura 286 - DSP, palestra

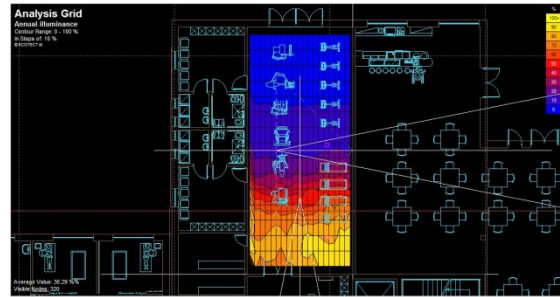


Figura 287 - UDI_{<100}, palestra

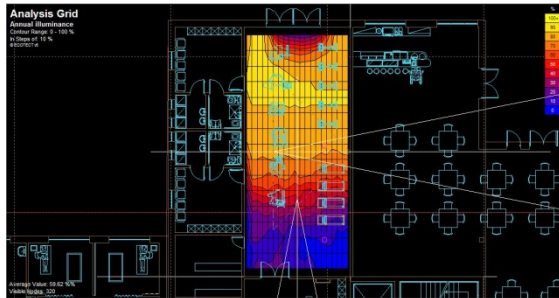


Figura 288 - UDI₁₀₀₋₂₀₀₀, palestra

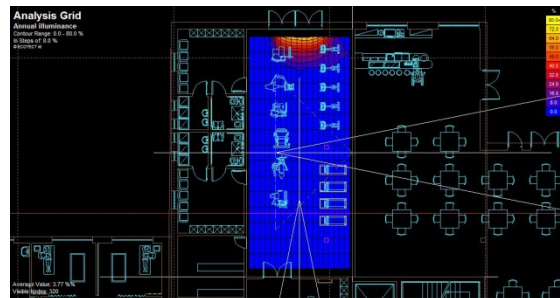


Figura 289 - UDI_{>2000}, palestra



Figura 290 - DA, camera

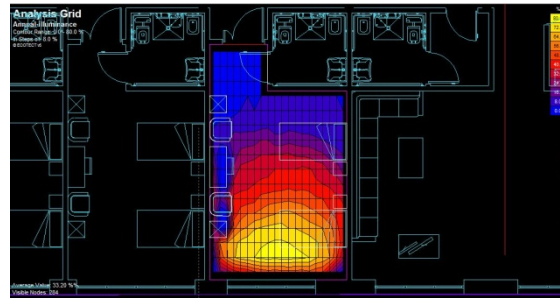


Figura 291 - DA_{max}, camera



Figura 292 - DA_{con}, camera

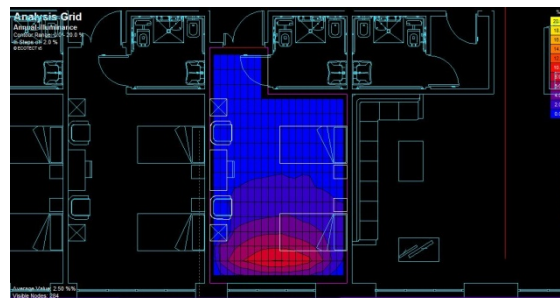


Figura 293 - DF, camera

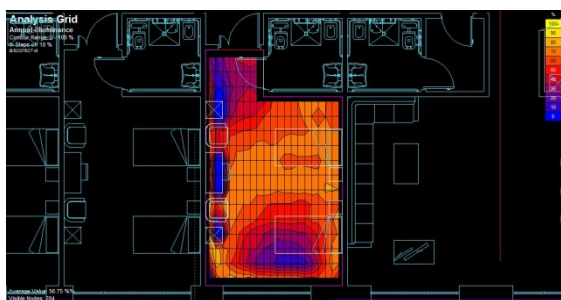


Figura 294 - DSP, camera



Figura 295 - UDI₁₀₀, camera



Figura 296 - UDI₁₀₀₋₂₀₀₀, camera

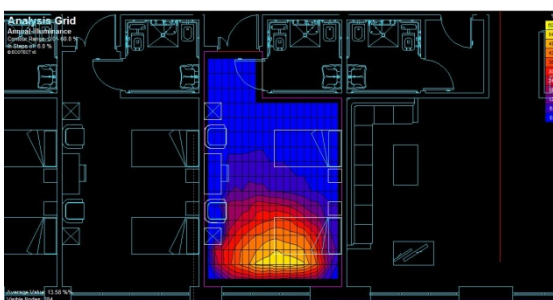


Figura 297 - UDI_{>2000}, camera

Mensa: illuminamento 200 lux

DA: braccio ovest 0%, zona centrale fra 40 e 100%, zona sud 0%; valore medio 32,08%

DA_{max}: 0% con eccezioni in prossimità di alcune finestre (anche 80%); valore medio 2,50%

DA_{con}: braccio ovest fra 30 e 50%, zona centrale fra 80 e 100%, zona sud 0%; valore medio 47,13%

DF: vicino alle finestre della zona centrale arriva al 14%; valore medio 1,22%

DSP: 0% tranne sul lato ovest e nella zona centrale dove si arriva a 100%; valore medio 19,59%

UDI_{<100}: si raggiunge il 100% nella zona più a sud del braccio ovest e nella zona sud; valore medio 55,10%

UDI₁₀₀₋₂₀₀₀: valori prossimi al 100% nel braccio ovest e nella zona centrale, 0% nella zona sud; valore medio 42,04%

UDI_{>2000}: generalmente 0%, con piccole zone di picco (80%) vicino alle finestre e nella mezzeria del lato ovest (riflesso della telecamera?); valore medio 2,50%

Il DA è indice di scarsa illuminazione (i valori ottimali sono fra il 40 e il 60%). Il DF conferma quello delle analisi di Radiance, nelle quali si raggiungeva il livello consigliato sono in prossimità delle finestre. Il DSP è concorde con l'andamento suggerito dal DF, mentre con l'UDI si nota come vi sia una scarsa illuminazione protratta per un lungo periodo sulla maggior parte della superficie esaminata, giustamente con scarse probabilità di abbagliamento, descritte dall'UDI_{>2000} che indica un'alta percentuale anche in corrispondenza della telecamera 4 (possibile anomalia).

Cucina: illuminamento 500 lux

DA: vicino alla finestra arriva all'80% e allontanandosi si abbassa fino a 0%; valore medio 13,80%

DA_{max}: 0% con eccezioni in prossimità della finestra (5%); valore medio 0,16%

DA_{con}: vicino alla finestra 100%, valori diminuiscono gradualmente allontanandosi; valore medio 28,86%

DF: vicino alla finestra arriva all'8%; valore medio 1,06%

DSP: 0% tranne vicino alla finestra dove si arriva a 90%; valore medio 16,78%

UDI_{<100}: si raggiunge il 100% nella zona più a sud; valore medio 59,07%

UDI₁₀₀₋₂₀₀₀: valori fino al 90% vicino alla finestra, 0% nella zona sud; valore medio 39,45%

UDI_{>2000}: generalmente 0%, con piccola zona di picco (20%) vicino alla finestra; valore medio 1,10%

La cucina si classifica come ambiente con il livello più scarso di illuminazione. Il dato è confermato dal DA, molto basso, mentre il DF non si discosta molto da quello della mensa e, come vedremo, da quelli delle altre stanze. Il DSP ancora una volta è coerente con l'indice che lo precede, mentre l'UDI_{<100} resta l'indice col valore più alto, a discapito dell'UDI₁₀₀₋₂₀₀₀.

Palestra: illuminamento 100 lux

DA: zona nord 90%, zona sud 50%; valore medio 63,73%

DA_{max}: 0% con eccezioni in prossimità delle finestre (anche 80%); valore medio 11,86%

DA_{con}: zona nord prevalentemente 100%, zona sud 70%; valore medio 82,14%

DF: 0% con eccezioni in prossimità di alcune finestre (anche 20%); valore medio 1,76%

DSP: zona nord 90%, zona sud 0%; valore medio 30,91%

UDI_{<100}: zona nord prevalentemente 0%, zona sud valori compresi tra 30% e 100%; valore medio 36,29%

UDI₁₀₀₋₂₀₀₀: zona nord prevalentemente 80%, zona sud valori compresi tra 0% e 70%; valore medio 59,62%

UDI_{>2000}: 0% con eccezioni in prossimità delle finestre (anche 64%); valore medio 3,77%

Il DA della palestra è al di sopra della soglia consigliata, mentre il DF è quello più elevato fra le stanze precedenti, come anche il DSP. L'UDI mostra un andamento migliore rispetto alle altre stanze, con una prevalenza dell'UDI₁₀₀₋₂₀₀₀ sugli altri due indici. Sembra quindi che fra tutti gli ambienti considerati, con orientamento a sud-ovest, la palestra sia quello meno svantaggiato, con carenze di illuminazione individuate a orari particolari con Radiance, ma nel complesso più accettabile.

Camera: illuminamento 100 lux

DA: zona nord e sud prevalentemente 100%; valore medio 87,12%

DA_{max}: zona nord prevalentemente 8%, zona sud valori compresi tra 24% e 80%; valore medio 32,20%

DA_{con}: zona nord e sud 100%; valore medio 89,68%

DF: zona nord 0%, zona sud tra 2% e 6%; valore medio 2,50%

DSP: zona nord e sud prevalentemente 70%; valore medio 56,75%

UDI_{<100}: zona nord e sud prevalentemente 0%; valore medio 12,57%

UDI₁₀₀₋₂₀₀₀: zona nord 100%, zona sud valori compresi tra 30% e 70%; valore medio 73,51%

UDI_{>2000}: zona nord prevalentemente 0%, zona sud valori compresi tra 12% e 60%; valore medio 13,58%

Il DA troppo elevato si affianca al valore più alto di DF finora visto, ma ancora non soddisfacente. DSP e UDI rivelano una situazione di buona illuminazione, ma con rischio di abbagliamento.

5. Analisi illuminazione naturale: variazione della configurazione delle aperture vetrate (prova 2)

Avendo rilevato in tutte le stanze esposte a nord-ovest problemi di scarsa illuminazione, ed eccessiva per la camera affacciata a sud-est, sono state ipotizzate delle soluzioni che prevedessero delle variazioni nella **geometria o dimensione dei serramenti**.

Le finestre della mensa, rivolte verso la sua zona più profonda, sono state accorpate e ampliate in una serie di porte-finestre: la superficie vetrata è passata da 11,25 m² a 15,75 m².

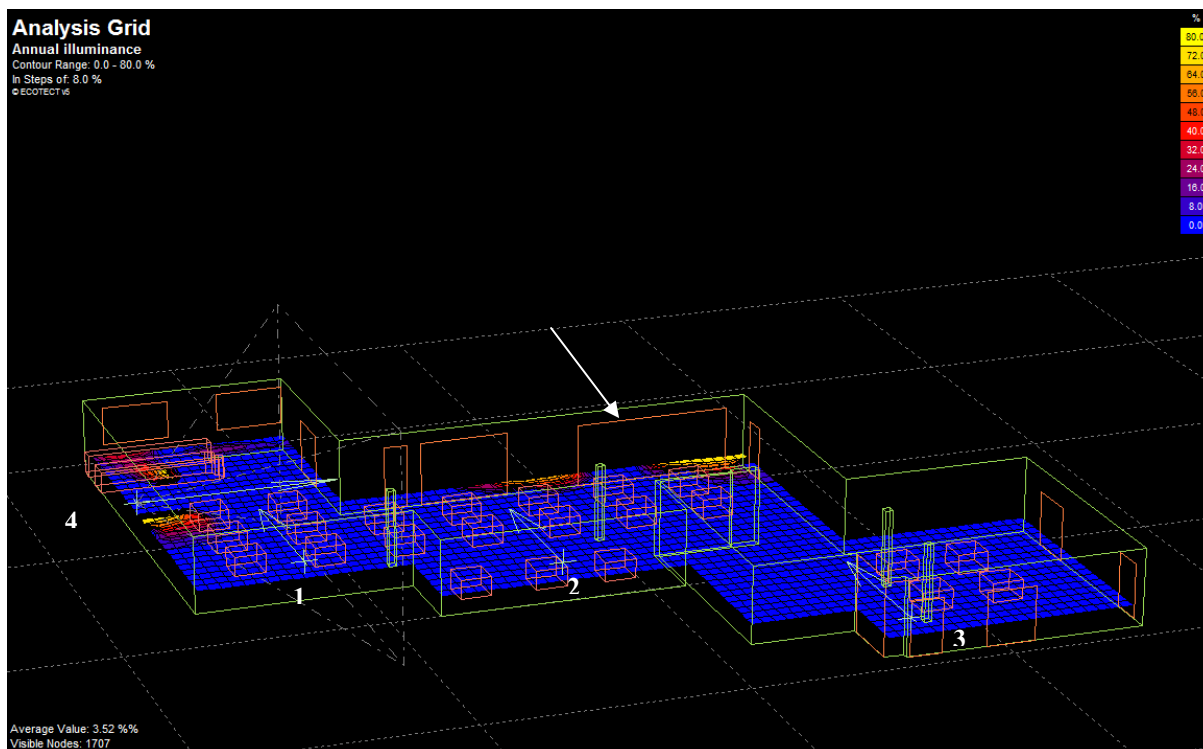


Figura 298 - Schermata di Ecotect: mensa con finestre modificate (le frecce numerate indicano le telecamere)

La finestra della cucina è diventata una porta-finestra (larghezza 2,65 m, altezza da 1,5 m a 2,6 m, con la stessa distanza dal soffitto; superficie vetrata da 3,97 m² a 6,89 m²).

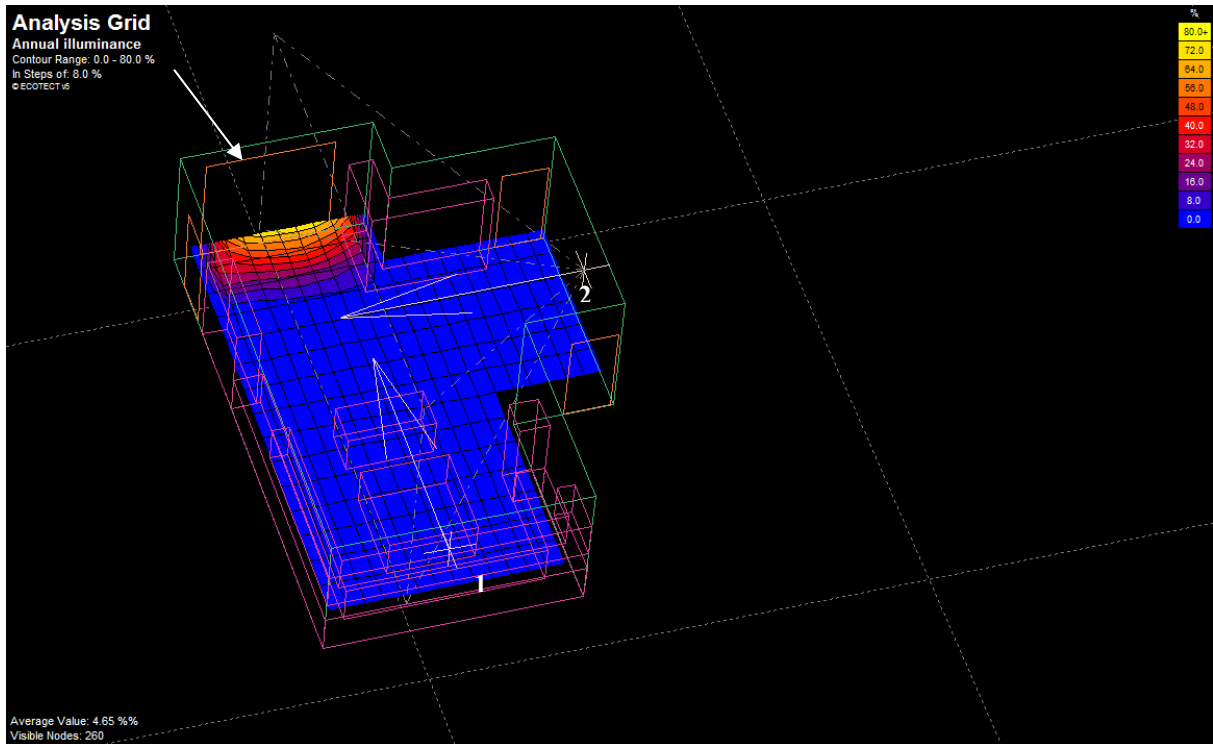


Figura 299 - Schermata di Ecotect: cucina (le frecce numerate indicano le telecamere)

Al posto della porta finestra nella palestra è stata inserita una finestra a nastro (finestra iniziale 2,5 m x 3,52 m, finestra finale 6,29 m x 1,4 m; stessa superficie di circa 8,80 m²).

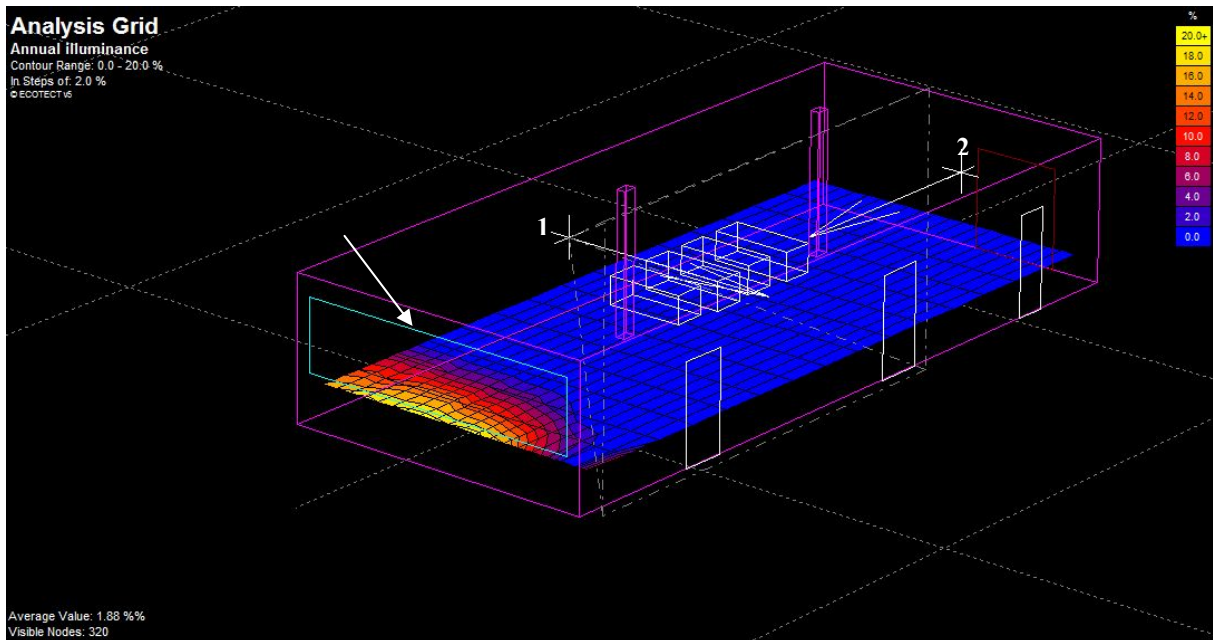


Figura 300 - Schermata di Ecotect: palestra (le frecce numerate indicano le telecamere)

L'altezza della finestra della camera è stata ridotta da 1,5 m a 1,4 m dal soffitto, mantenendo la larghezza di 2,65 m (superficie vetrata da 3,97 m² a 3,71 m²).

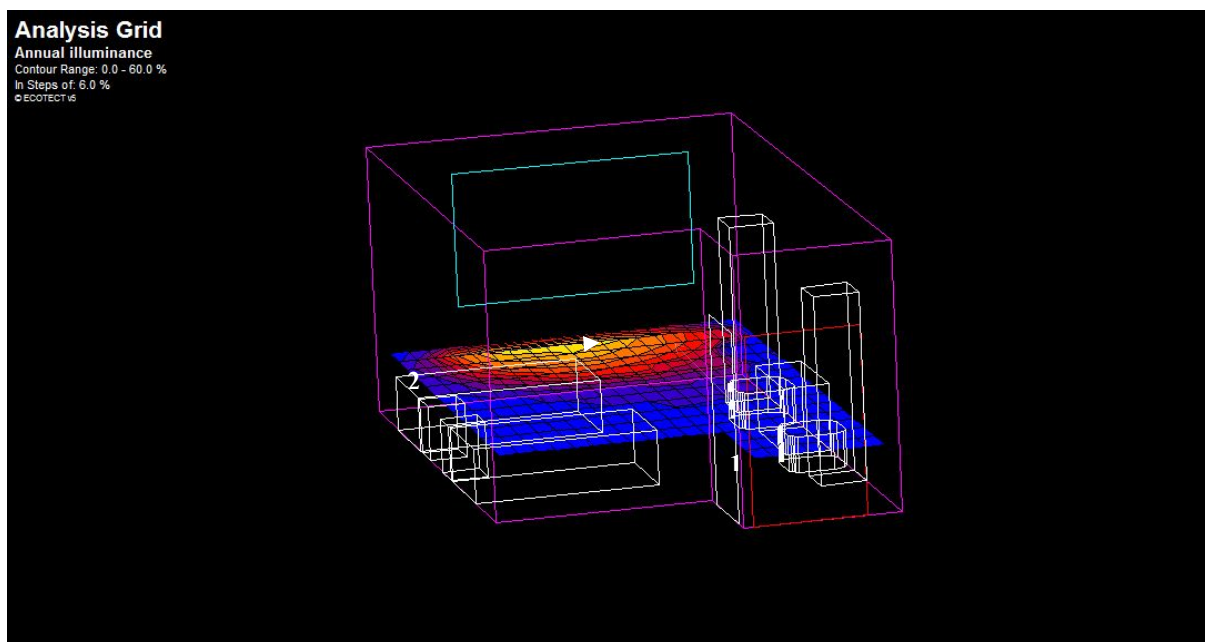


Figura 301 - Schermata di Ecotect: camera (le frecce numerate indicano le telecamere)

5.1. Radiance

5.1.1. 21 marzo

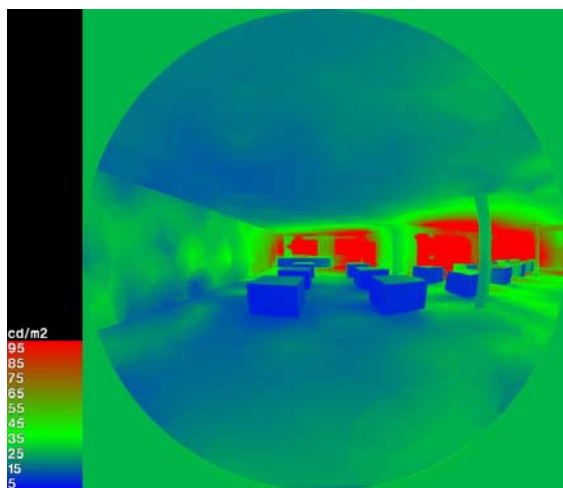


Figura 302 - Luminanza mensa, telecamera 1, ore 7.00

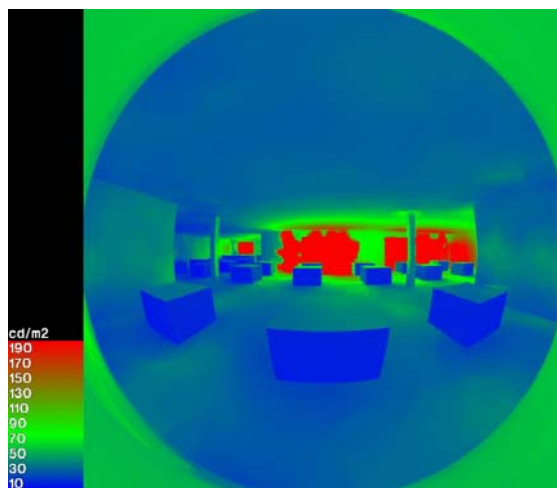


Figura 303 - Luminanza mensa, telecamera 2, ore 7.00

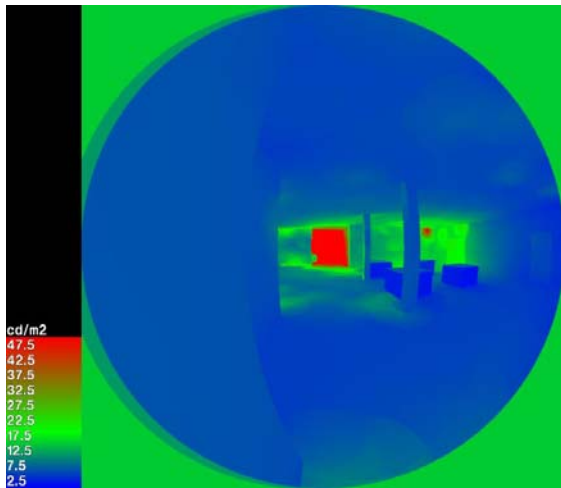


Figura 304 - Luminanza mensa, telecamera 3, ore 7.00

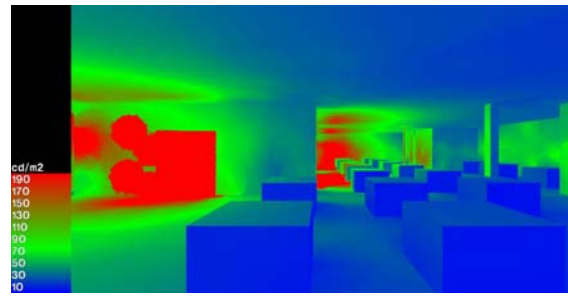


Figura 305 - Luminanza mensa, telecamera 4, ore 7.00

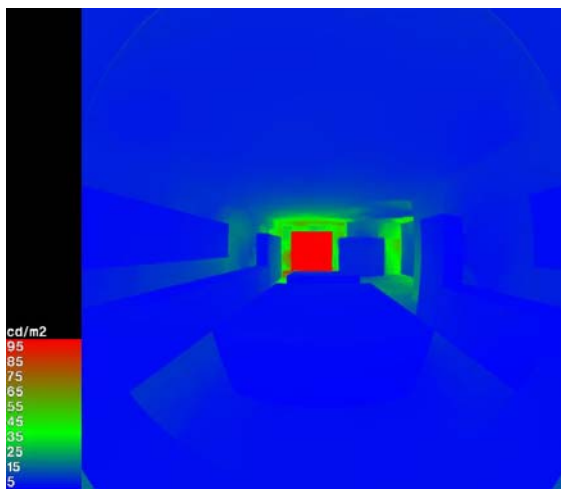


Figura 306 - Luminanza cucina, telecamera 1, ore 6.00

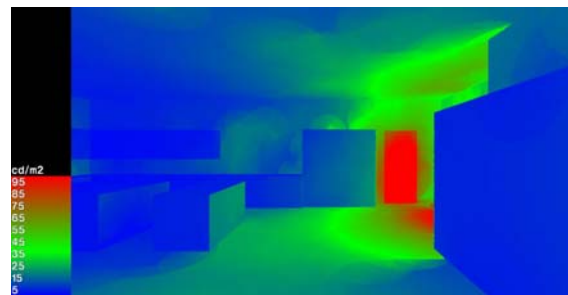


Figura 307 - Luminanza cucina, telecamera 2, ore 6.00

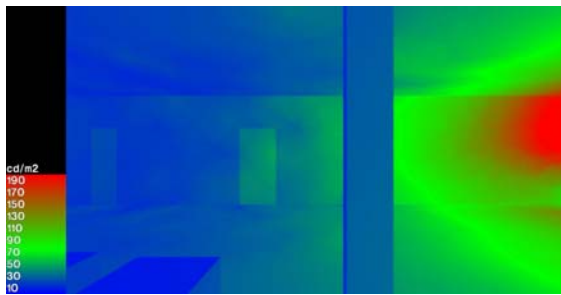


Figura 308 - Luminanza palestra, telecamera 1, ore 11.00

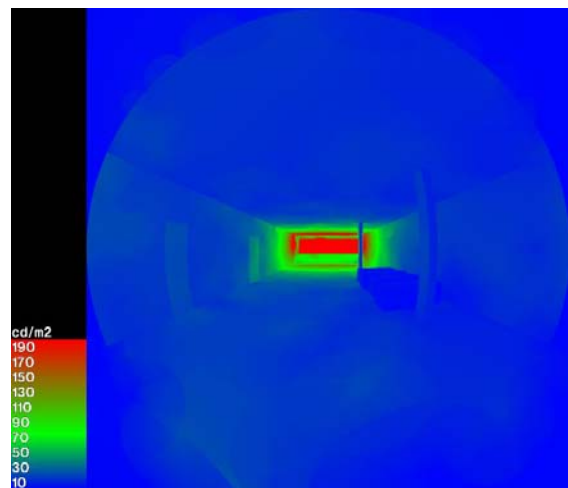


Figura 309 - Luminanza palestra, telecamera 2, ore 11.00

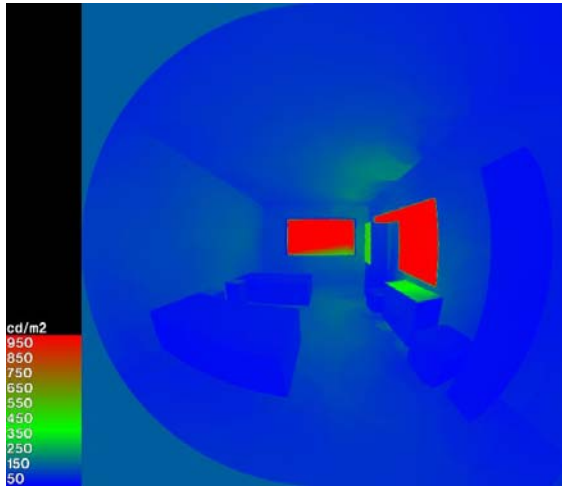


Figura 310 - Luminanza camera telecamera 1, ore 06.00

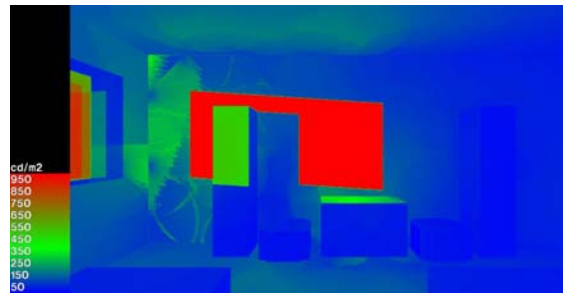


Figura 311 - Luminanza camera telecamera 2, ore 06.00

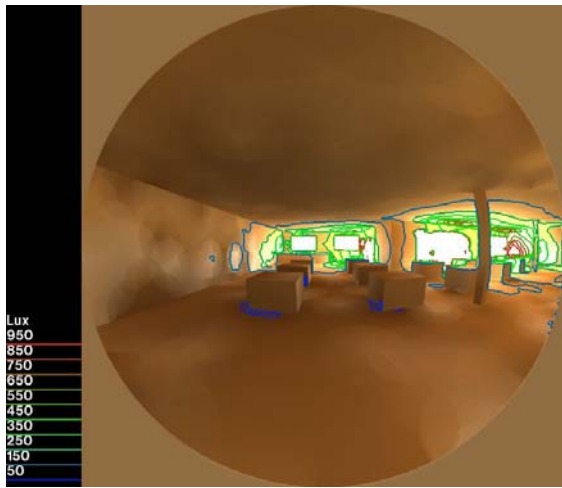


Figura 312 - Illuminamento mensa, telecamera 1, ore 7.00

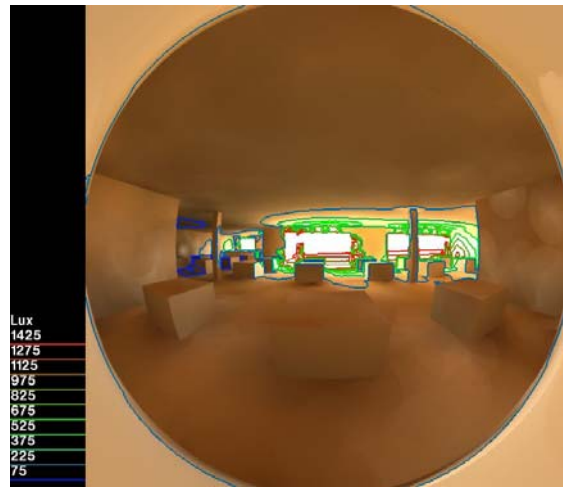


Figura 313 - Illuminamento mensa, telecamera 2, ore 7.00

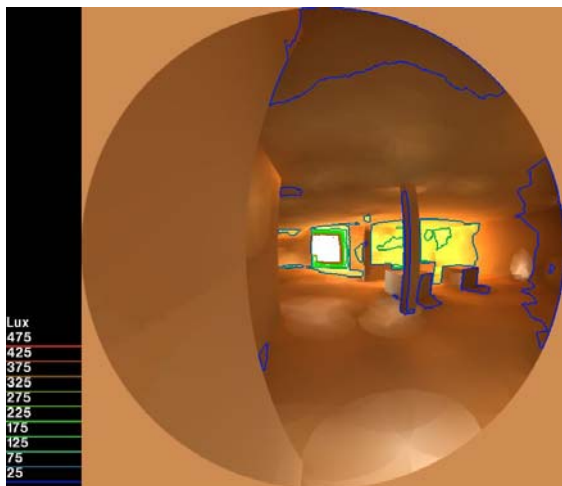


Figura 314 - Illuminamento mensa, telecamera 3, ore 7.00

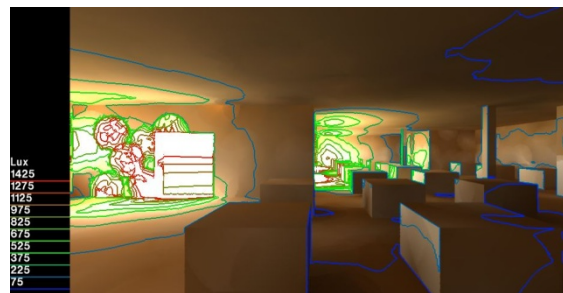


Figura 315 - Illuminamento mensa, telecamera 4, ore 7.00

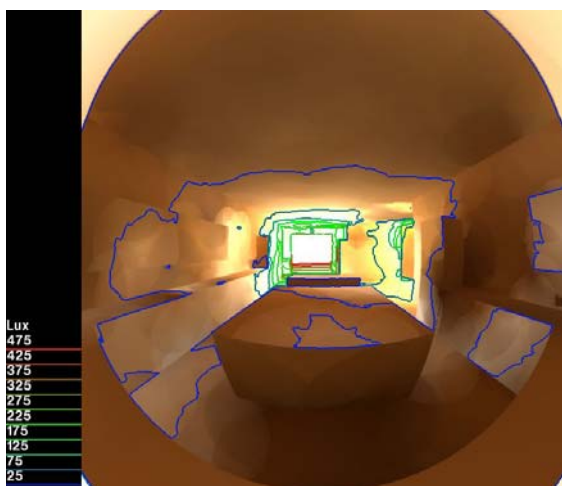


Figura 316 - Illuminamento cucina, telecamera 1, ore 6.00

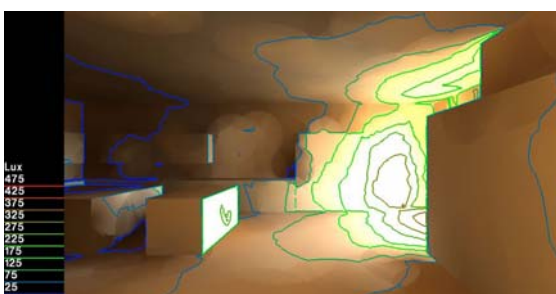


Figura 317 - Illuminamento cucina, telecamera 2, ore 6.00

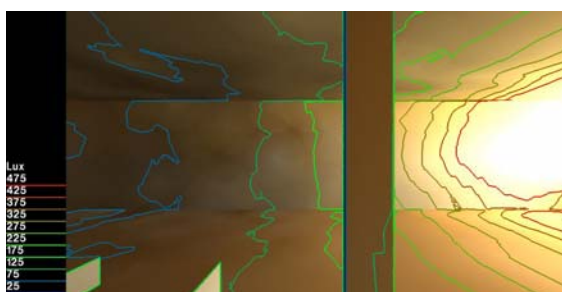


Figura 318 - Illuminamento palestra telecamera 1, ore 11.00

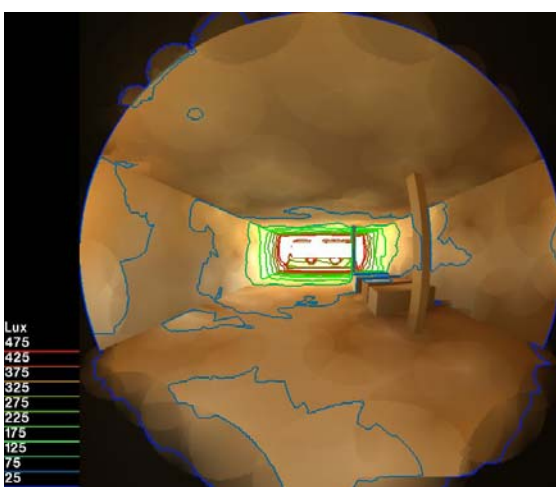


Figura 319 - Illuminamento palestra telecamera 2, ore 11.00

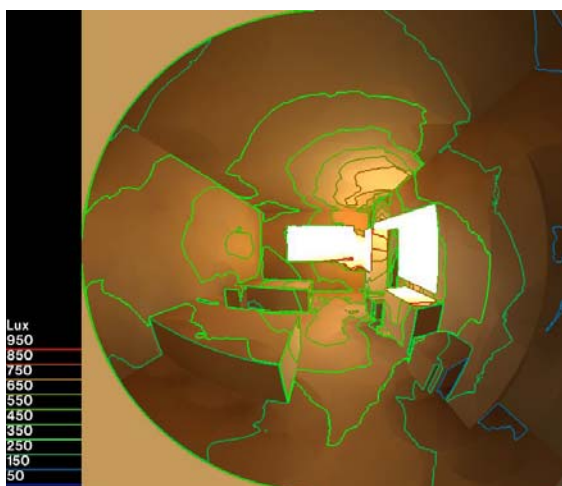


Figura 320 - Illuminamento camera telecamera 1, ore 06.00

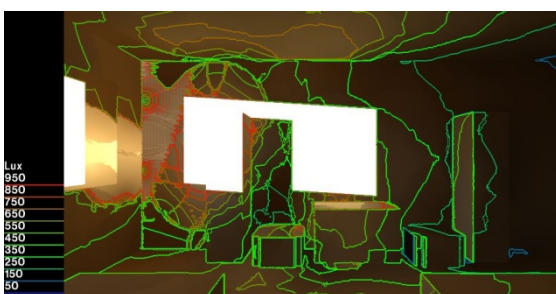


Figura 321 - Illuminamento camera telecamera 2, ore 06.00

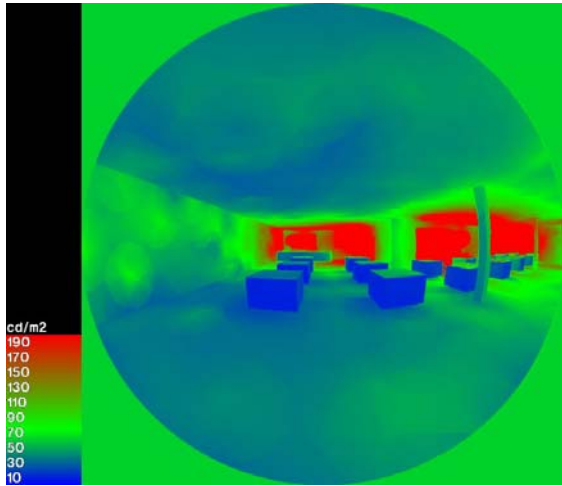


Figura 322 - Luminanza mensa, telecamera 1, ore 12.00

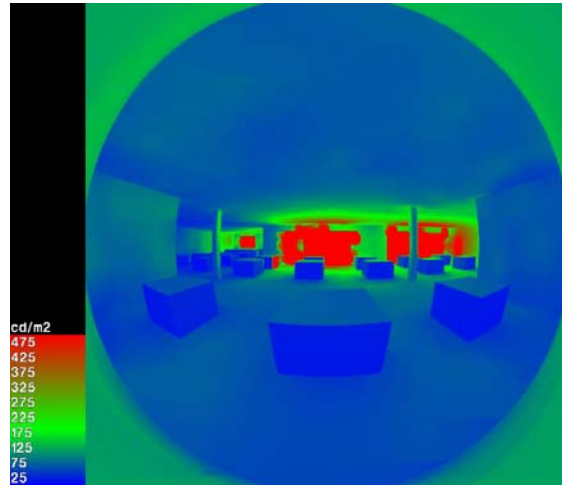


Figura 323 - Luminanza mensa, telecamera 2, ore 12.00

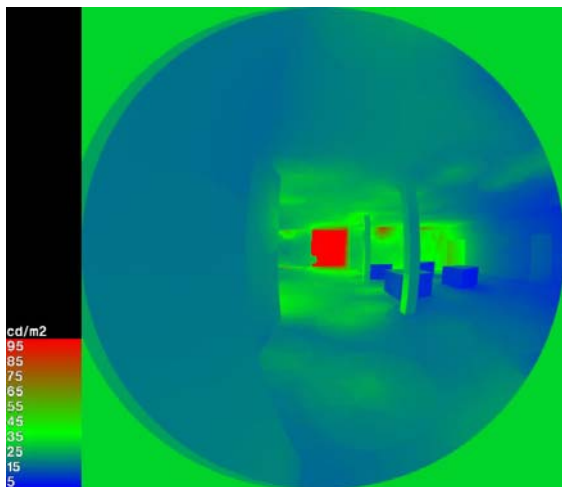


Figura 324 - Luminanza mensa, telecamera 3, ore 12.00

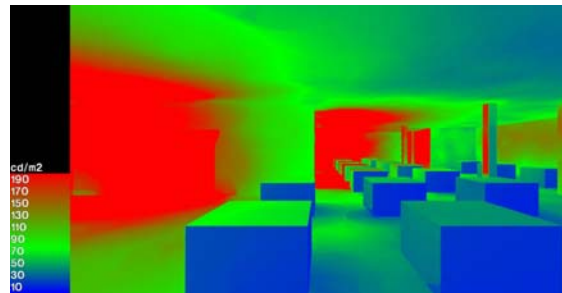


Figura 325 - Luminanza mensa, telecamera 4, ore 12.00

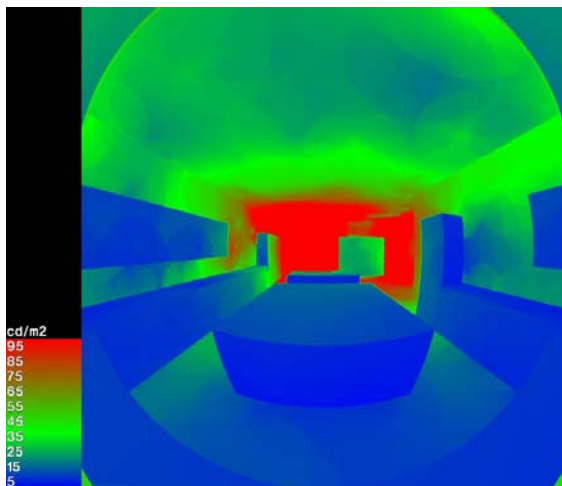


Figura 326 - Luminanza cucina, telecamera 1, ore 11.00

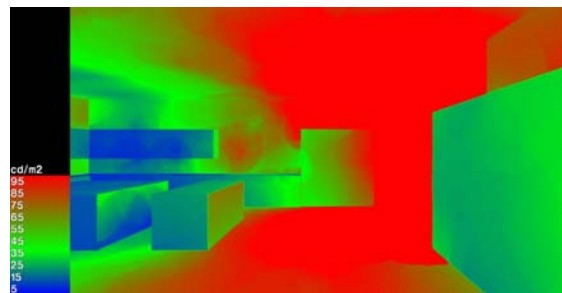


Figura 327 - Luminanza cucina, telecamera 2, ore 11.00



Figura 328 - Luminanza palestra telecamera 1, ore 15.00

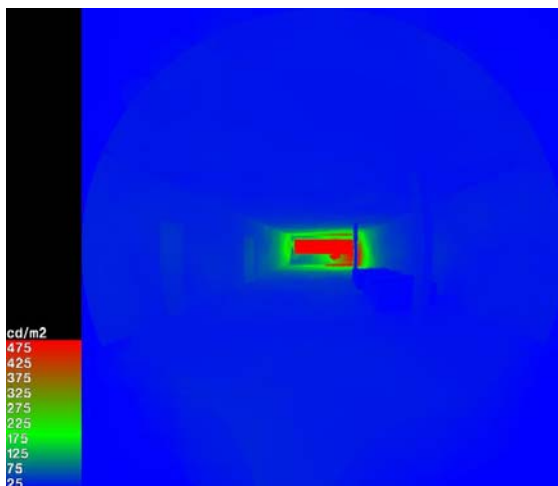


Figura 329 - Luminanza palestra telecamera 2, ore 15.00

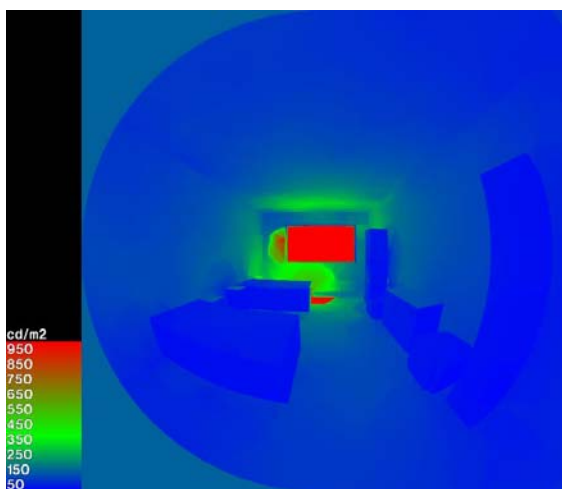


Figura 330 - Luminanza camera telecamera 1, ore 11.00

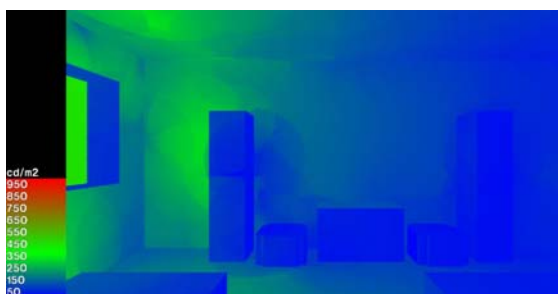


Figura 331 - Luminanza camera telecamera 2, ore 11.00

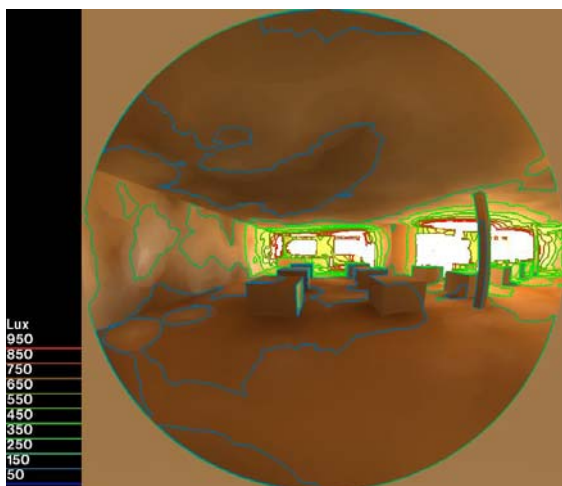


Figura 332 - Illuminamento mensa, telecamera 1, ore 12.00

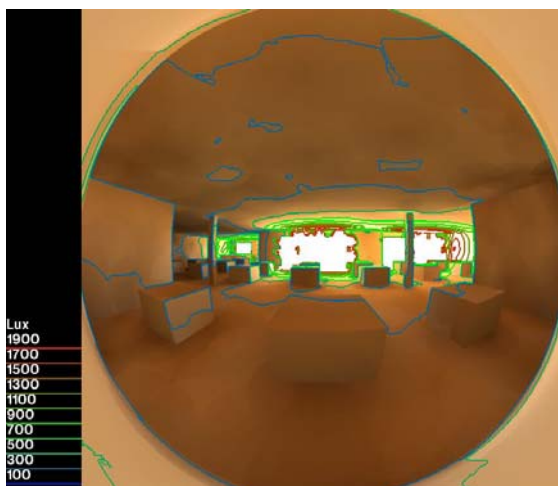


Figura 333 - Illuminamento mensa, telecamera 2, ore 12.00

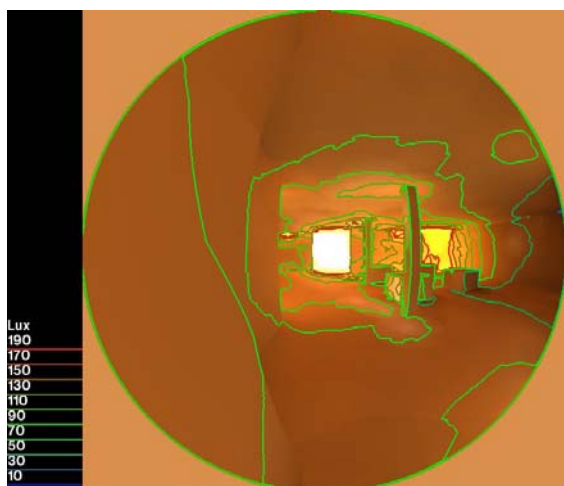


Figura 334 - Illuminamento mensa, telecamera 3, ore 12.00

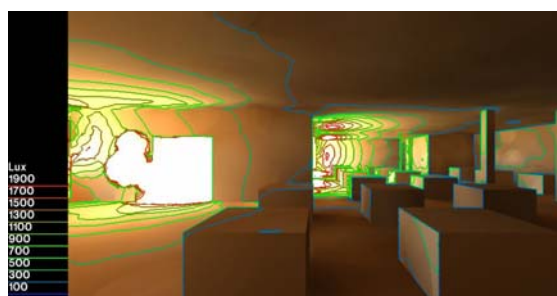


Figura 335 - Illuminamento mensa, telecamera 4, ore 12.00

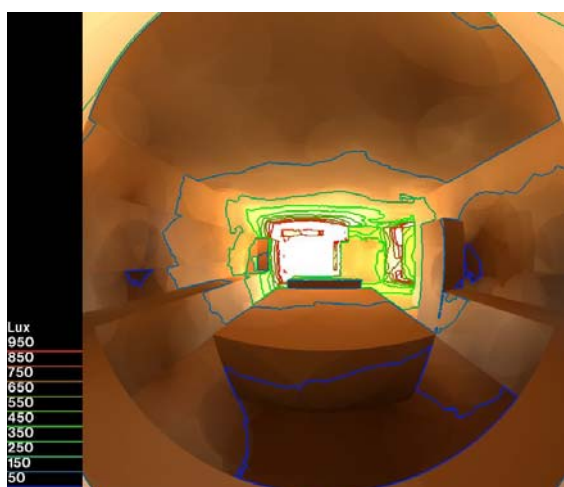


Figura 336 - Illuminamento cucina, telecamera 1, ore 11.00

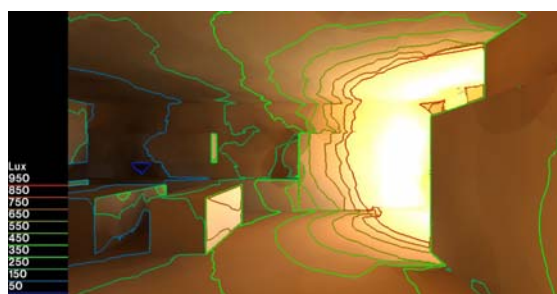


Figura 337 - Illuminamento cucina, telecamera 2, ore 11.00



Figura 338 - Illuminamento palestra telecamera 1, ore 15.00

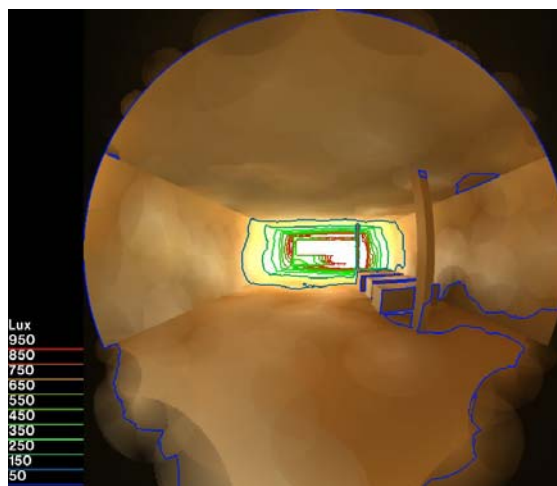


Figura 339 - Illuminamento palestra telecamera 2, ore 15.00

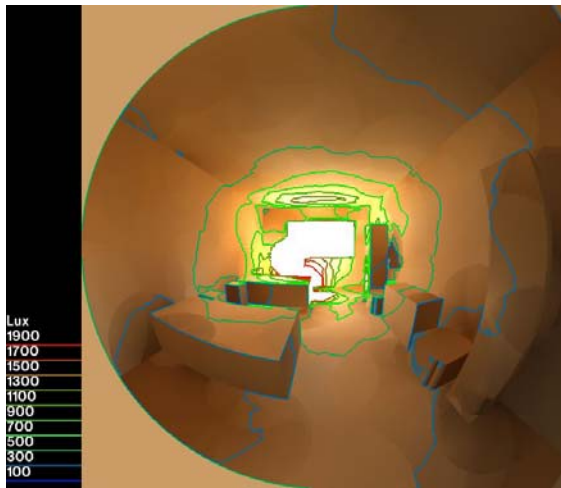


Figura 340 - Illuminamento camera telecamera 1, ore 11.00

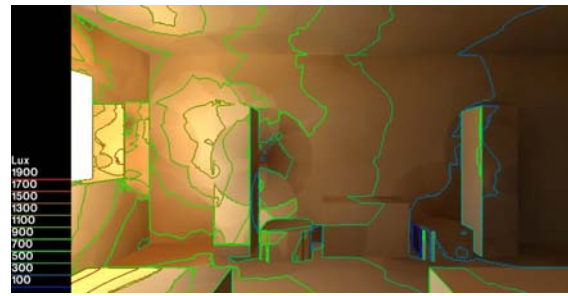


Figura 341 - Illuminamento camera telecamera 2, ore 11.00

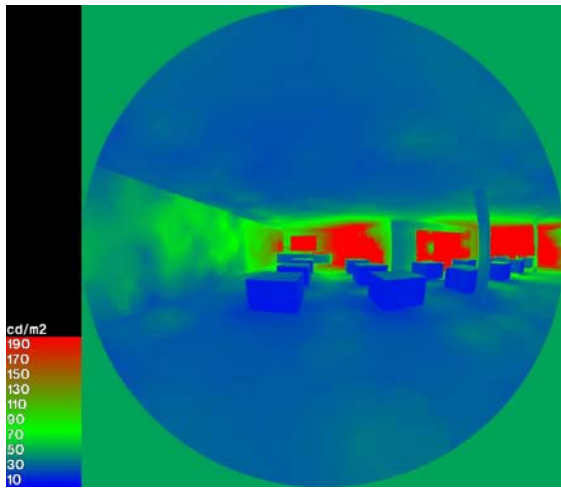


Figura 342 - Luminanza mensa, telecamera 1, ore 17.00

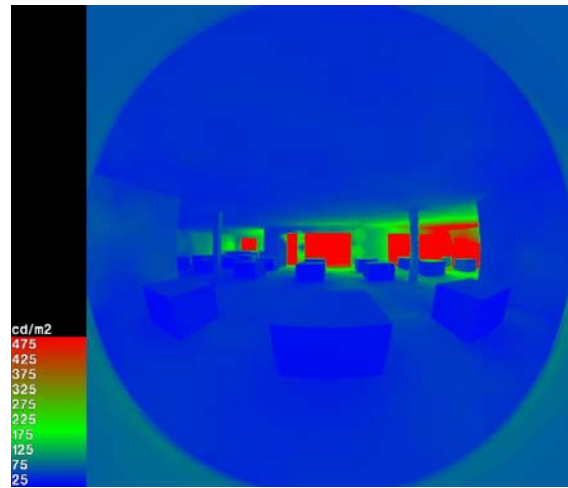


Figura 343 - Luminanza mensa, telecamera 2, ore 17.00

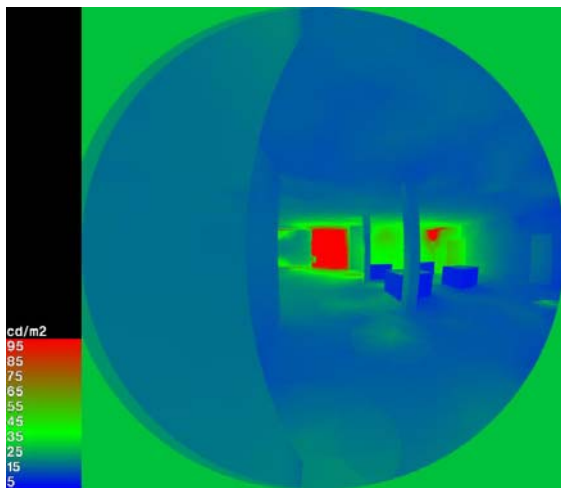


Figura 344 - Luminanza mensa, telecamera 3, ore 17.00

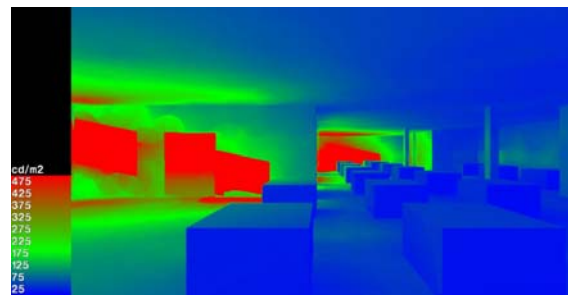


Figura 345 - Luminanza mensa, telecamera 4, ore 17.00

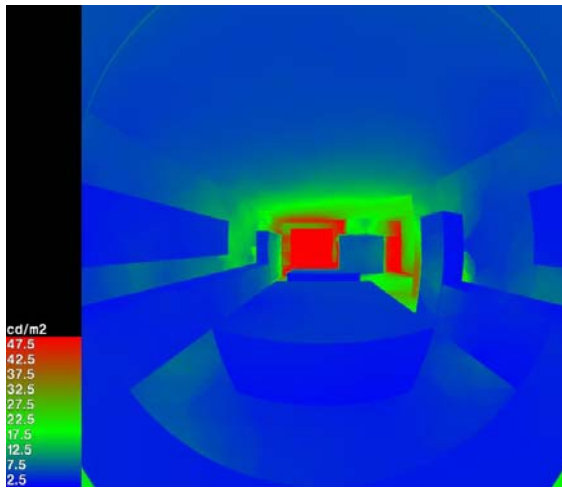


Figura 346 - Luminanza cucina, telecamera 1, ore 18.00

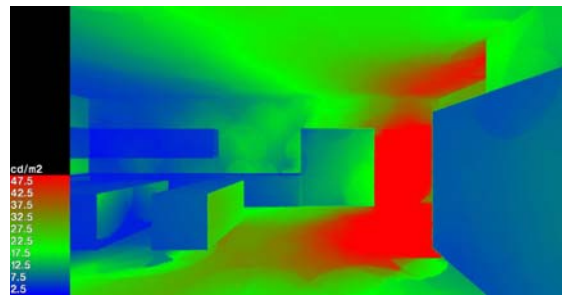


Figura 347 - Luminanza cucina, telecamera 2, ore 18.00

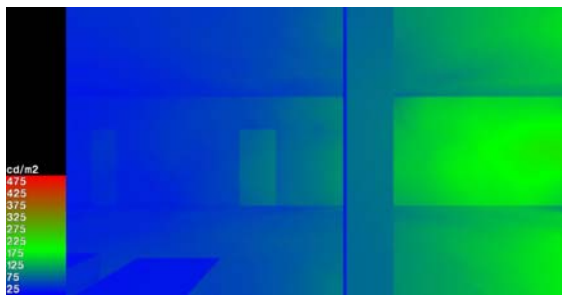


Figura 348 - Luminanza palestra telecamera 1, ore 17.00

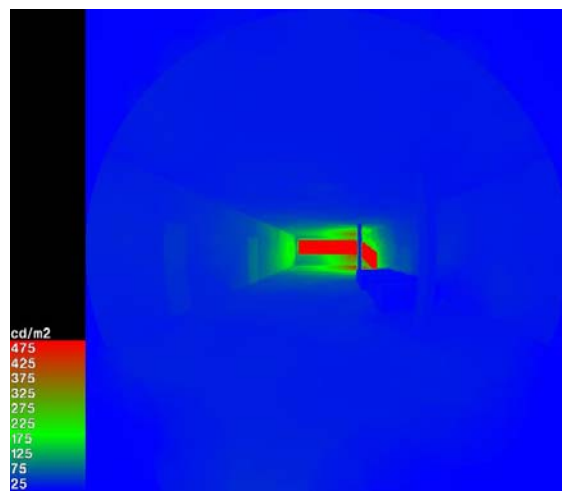


Figura 349 - Luminanza palestra telecamera 2, ore 17.00

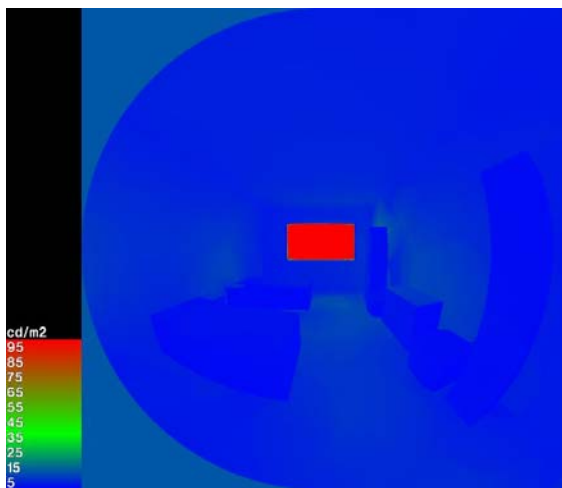


Figura 350 - Luminanza camera telecamera 1, ore 18.00

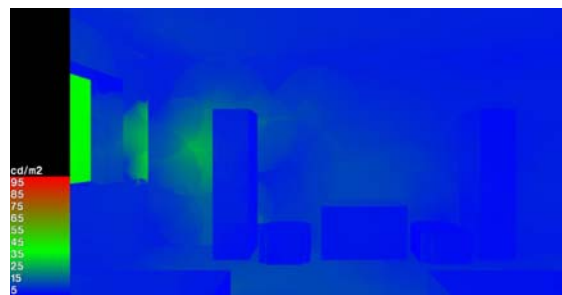


Figura 351 - Luminanza camera telecamera 2, ore 18.00

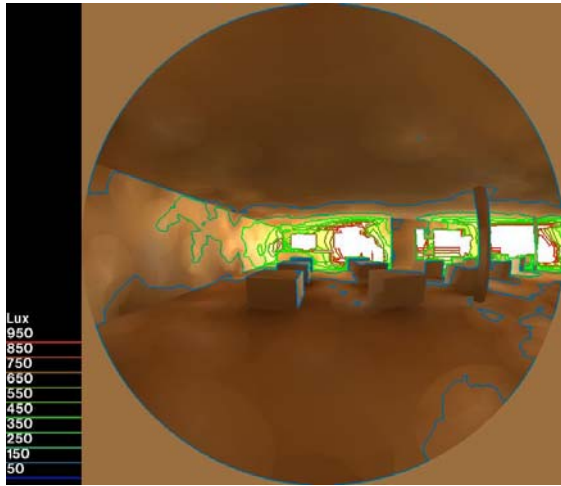


Figura 352 - Illuminamento mensa, telecamera 1, ore 17.00

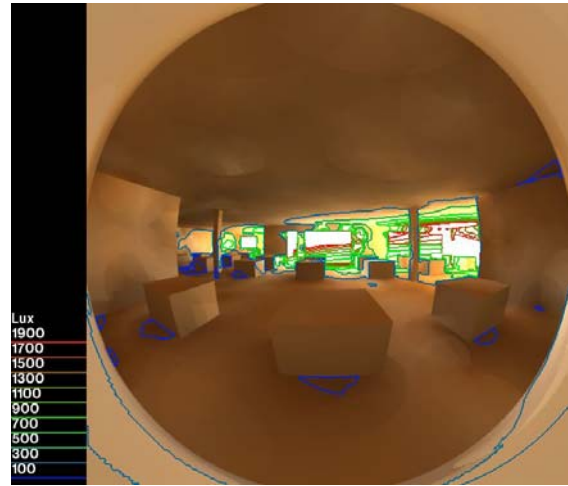


Figura 353 - Illuminamento mensa, telecamera 2, ore 17.00

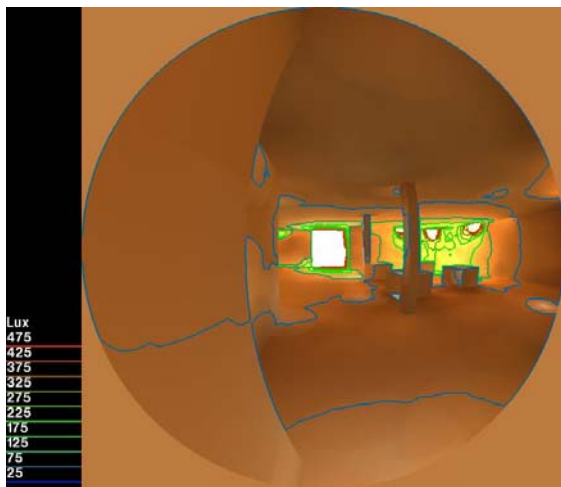


Figura 354 - Illuminamento mensa, telecamera 3, ore 17.00

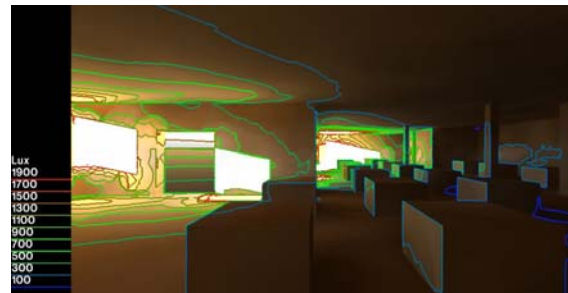


Figura 355 - Illuminamento mensa, telecamera 4, ore 17.00

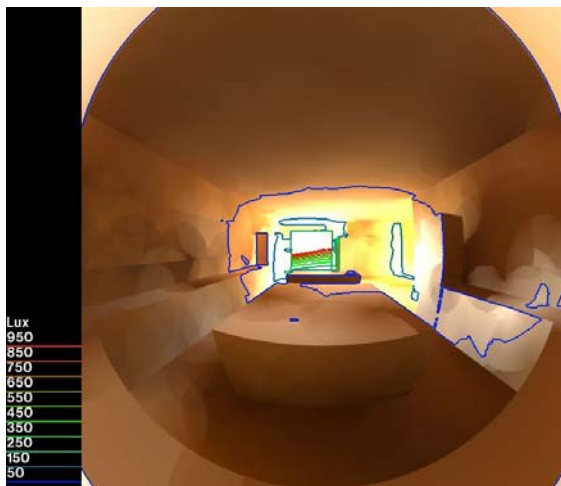


Figura 356 - Illuminamento cucina, telecamera 1, ore 18.00

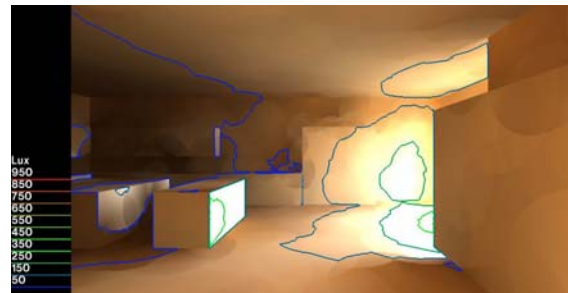


Figura 357 - Illuminamento cucina, telecamera 2, ore 18.00

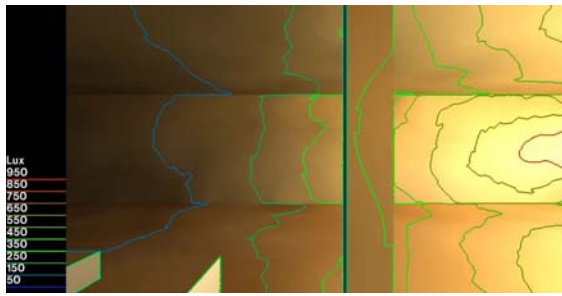


Figura 358 - Illuminazione palestra telecamera 1, ore 17.00

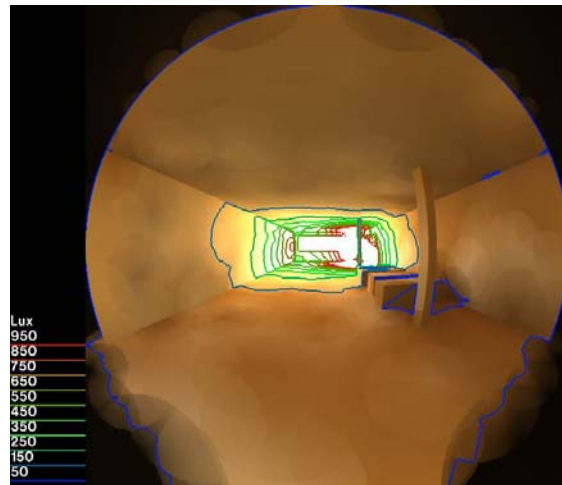


Figura 359 - Illuminazione palestra telecamera 2, ore 17.00

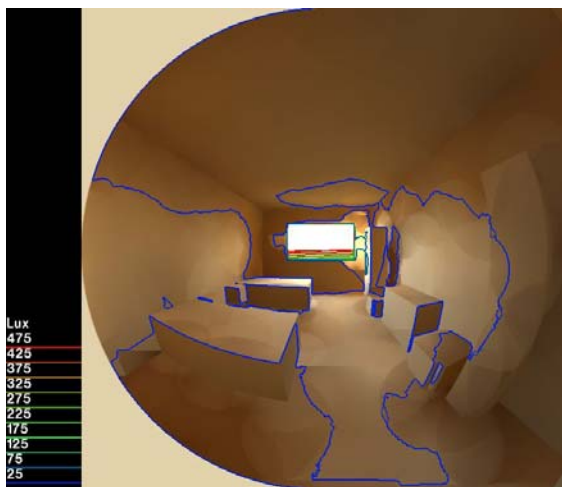


Figura 360 - Illuminazione camera telecamera 1, ore 18.00



Figura 361 - Illuminazione camera telecamera 2, ore 18.00

Mensa: piano tavoli

Ore 7.00: luminanza bassa generalizzata nell'ambiente, circa fino a 50 cd/m²; illuminamento circa 100 lux.

Ore 12.00: luminanza circa 100 cd/m²; illuminamento circa 200 lux.

Ore 17.00: luminanza circa 120 cd/m²; illuminamento fino a 100 lux.

In un ambito di scarsa illuminazione in generale, solo alle ore 12.00 si raggiunge il livello di illuminamento adeguato per lo svolgimento delle attività.

Cucina: zona cottura

Ore 6.00: luminanza bassa, circa 5 cd/m²; illuminamento circa 25 lux.

Ore 11.00: luminanza circa 30 cd/m²; illuminamento circa 150 lux.

Ore 18.00: luminanza circa 5 cd/m²; illuminamento circa 50 lux.

Palestra

Ore 11.00: luminanza bassa nell'ambiente, circa fino a 30 cd/m²; illuminamento generalizzato nell'ambiente 50 lux.

Ore 15.00: luminanza bassa nell'ambiente, circa 75 cd/m²; illuminamento generalizzato nell'ambiente fino a 350 lux.

Ore 17.00: luminanza bassa nell'ambiente, circa 75 cd/m²; illuminamento generalizzato nell'ambiente fino a 250 lux.

Si parte con valori bassi alle 11.00, ma dalle 15.00 crescono fino a superare il livello consigliato (per l'illuminamento 100 lux).

Camera

Ore 6.00: luminanza media piano scrivania, circa 550 cd/m²; illuminamento: piano scrivania circa 450 lux, zona letti tra 250 e 450 lux.

Ore 11.00: luminanza bassa generalizzata nell'ambiente, circa 150 cd/m²; illuminamento: piano scrivania circa 500 lux, zona letti fino a 900 lux.

Ore 18.00: luminanza bassa nell'ambiente, circa 5 cd/m²; illuminamento generalizzato nell'ambiente circa 25 lux.

In camera alle 6.00 e alle 12.00 vi è un'eccessiva illuminazione suggerita dalla luminanza e dall'illuminamento, mentre alle 18.00 vi è il problema opposto.

5.1.2. 21 giugno

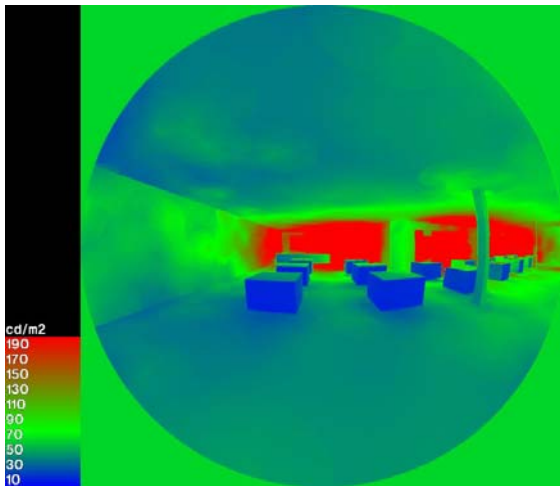


Figura 362 - Luminanza mensa, telecamera 1, ore 7.00

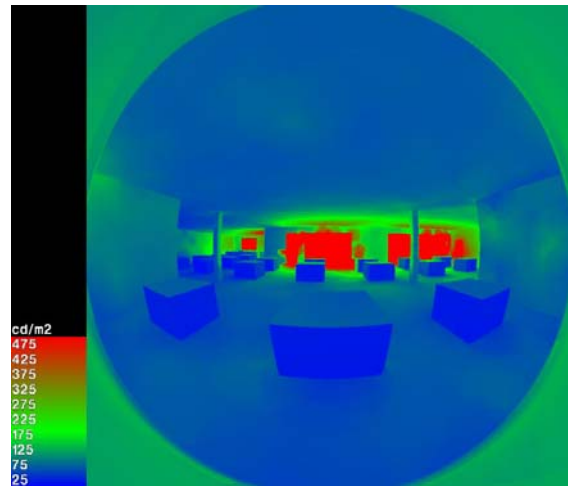


Figura 363 - Luminanza mensa, telecamera 2, ore 7.00

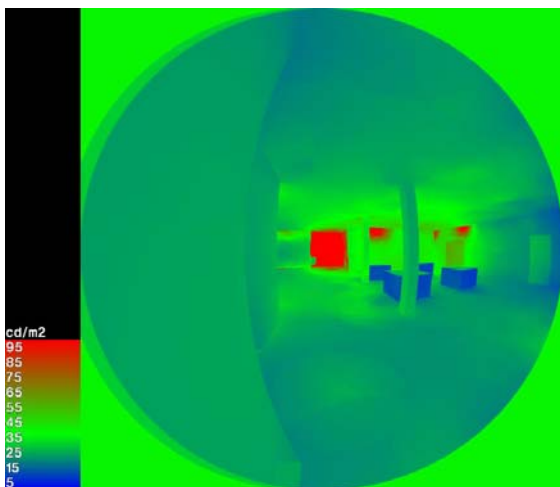


Figura 364 - Luminanza mensa, telecamera 3, ore 7.00

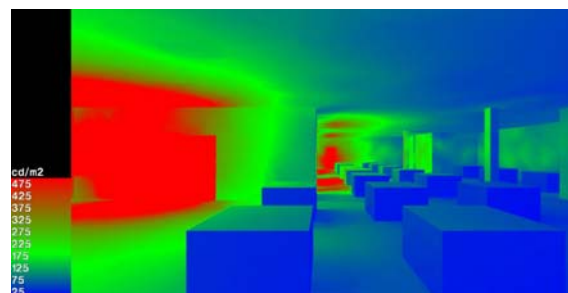


Figura 365 - Luminanza mensa, telecamera 4, ore 7.00

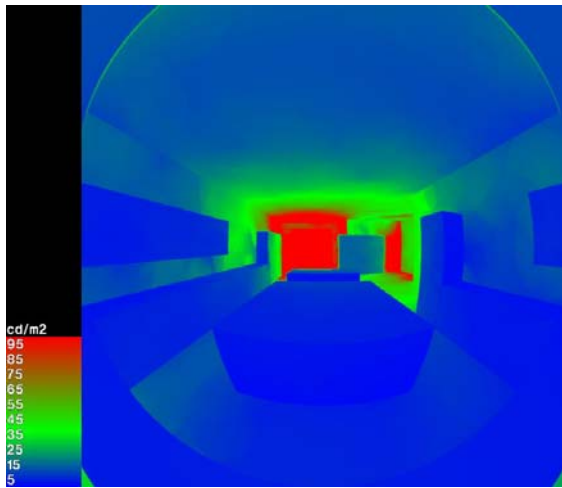


Figura 366 - Luminanza cucina, telecamera 1, ore 6.00

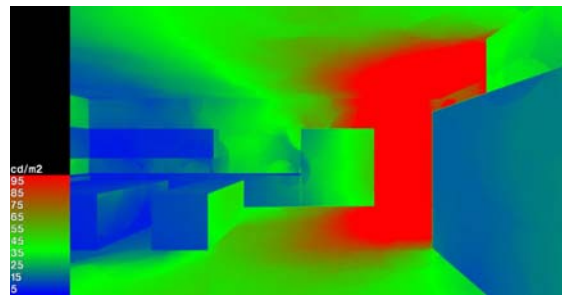


Figura 367 - Luminanza cucina, telecamera 2, ore 6.00

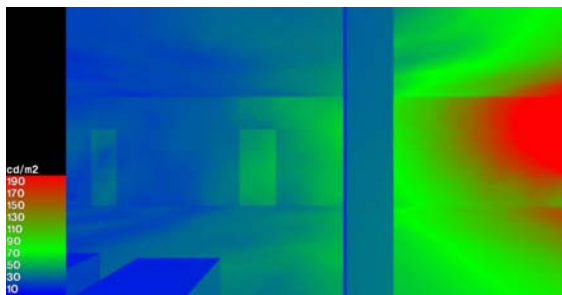


Figura 368 - Luminanza palestra telecamera 1, ore 11.00

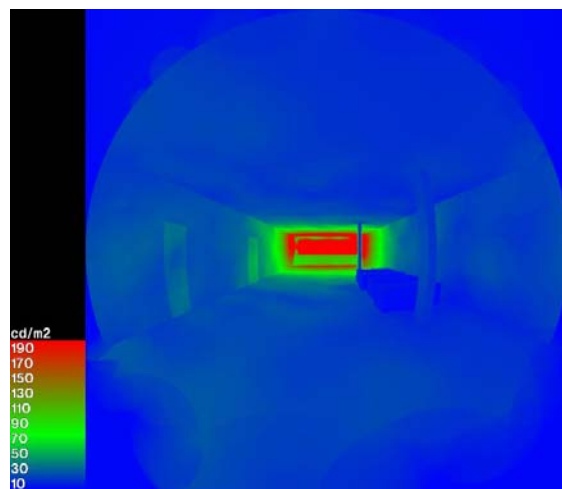


Figura 369 - Luminanza palestra telecamera 2, ore 11.00

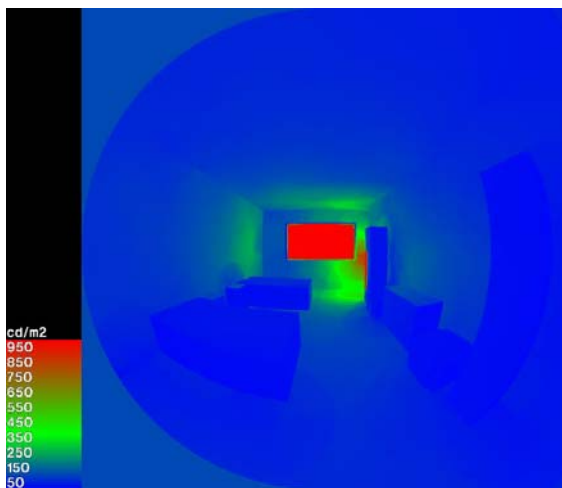


Figura 370 - Luminanza camera telecamera 1, ore 06.00

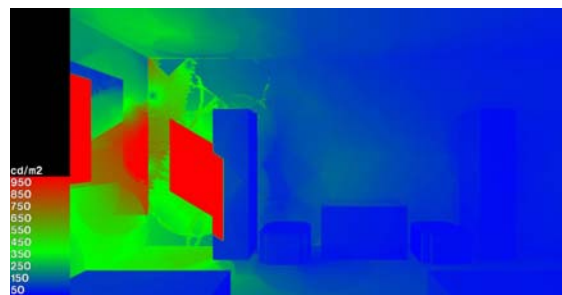


Figura 371 - Luminanza camera telecamera 2, ore 06.00

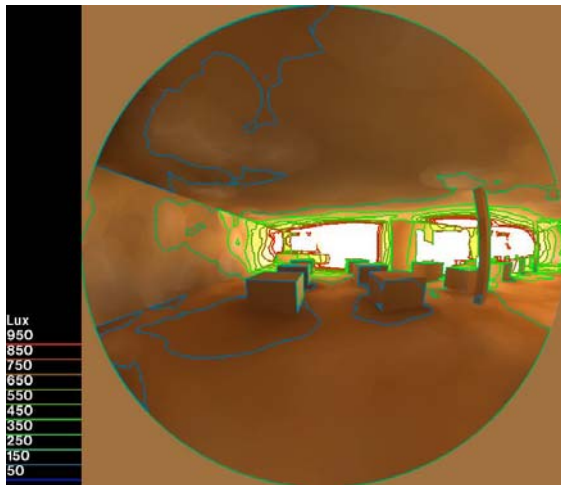


Figura 372 - Illuminamento mensa, telecamera 1, ore 7.00

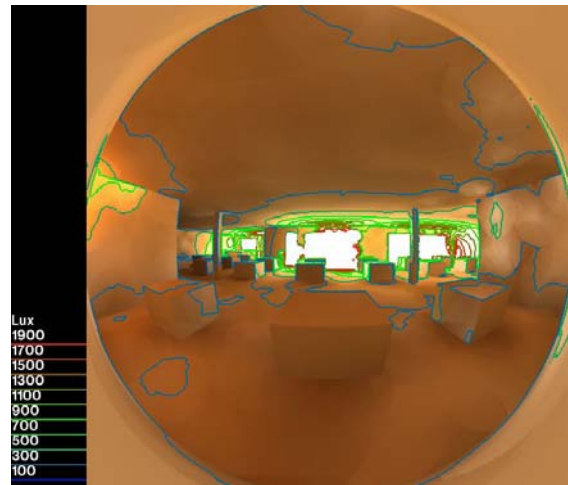


Figura 373 - Illuminamento mensa, telecamera 2, ore 7.00

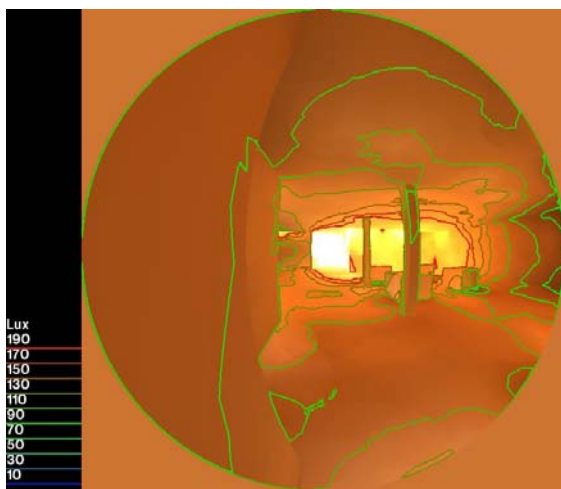


Figura 374 - Illuminamento mensa, telecamera 3, ore 7.00

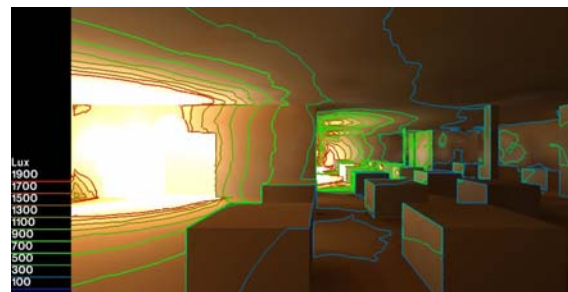


Figura 375 - Illuminamento mensa, telecamera 4, ore 7.00

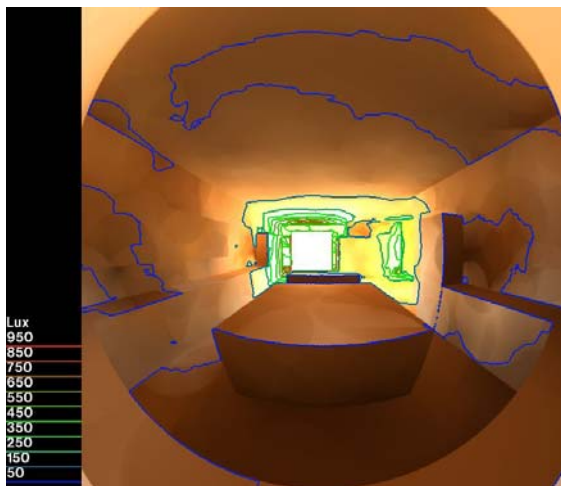


Figura 376 - Illuminamento cucina, telecamera 1, ore 6.00

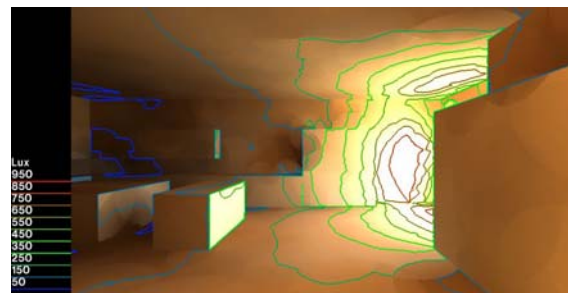


Figura 377 - Illuminamento cucina, telecamera 2, ore 6.00

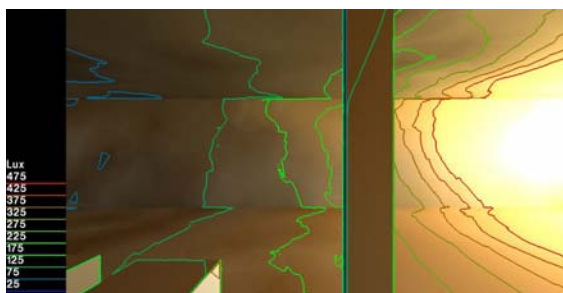


Figura 378 - Illuminazione palestra telecamera 1, ore 11.00

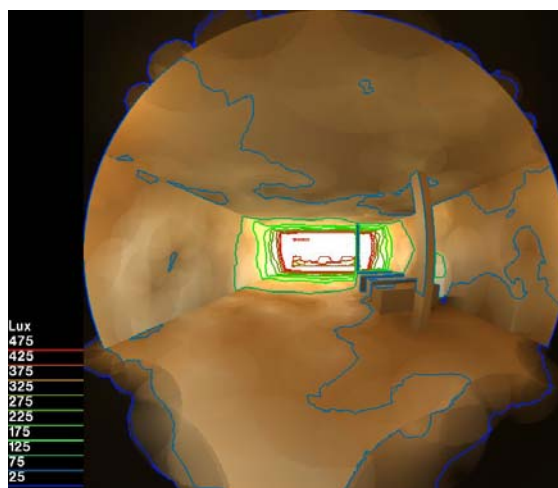


Figura 379 - Illuminazione palestra telecamera 2, ore 11.00

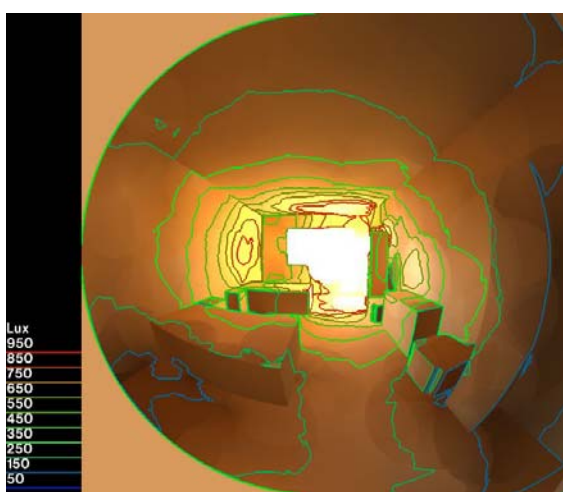


Figura 380 - Illuminazione camera telecamera 1, ore 06.00



Figura 381 - Illuminazione camera telecamera 2, ore 06.00

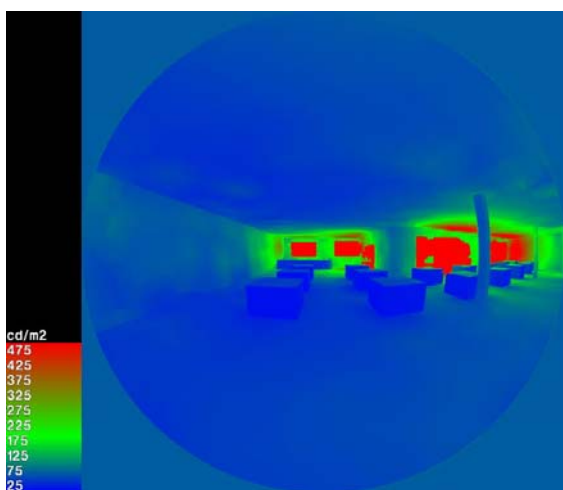


Figura 382 - Luminanza mensa, telecamera 1, ore 12.00

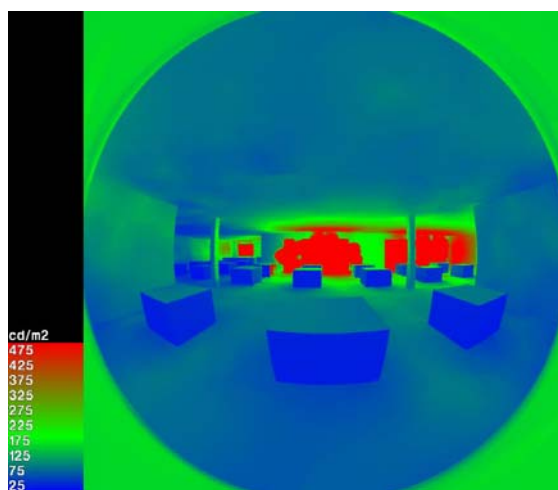


Figura 383 - Luminanza mensa, telecamera 2, ore 12.00

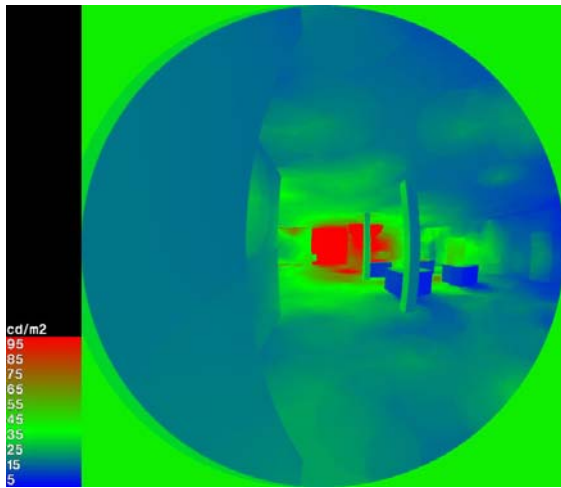


Figura 384 - Luminanza mensa, telecamera 3, ore 12.00

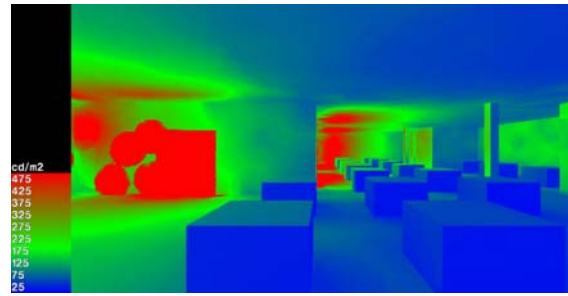


Figura 385 - Luminanza mensa, telecamera 4, ore 12.00

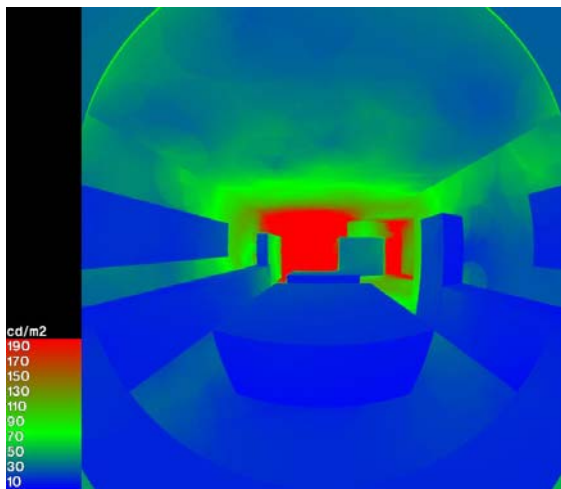


Figura 386 - Luminanza cucina, telecamera 1, ore 11.00

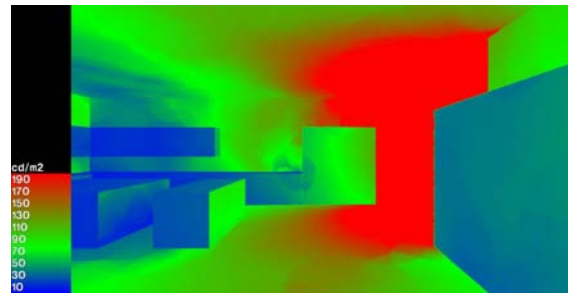


Figura 387 - Luminanza cucina, telecamera 2, ore 11.00

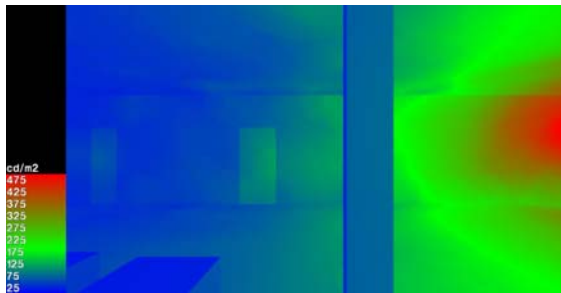


Figura 388 - Luminanza palestra telecamera 1, ore 15.00

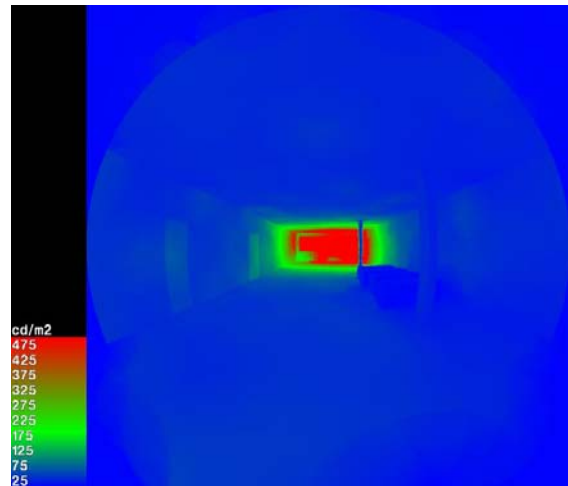


Figura 389 - Luminanza palestra telecamera 1, ore 15.00

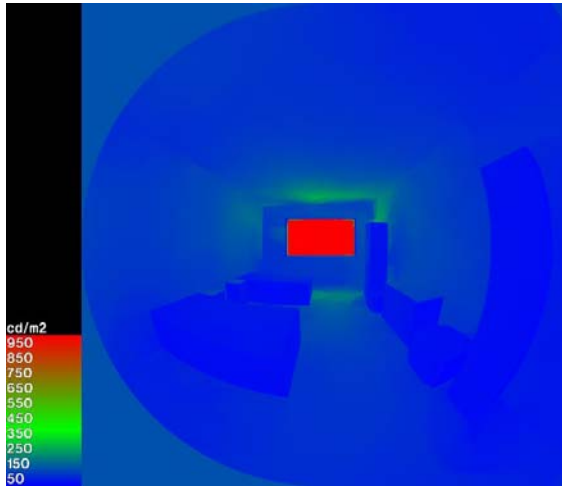


Figura 390 - Luminanza camera telecamera 1, ore 11.00

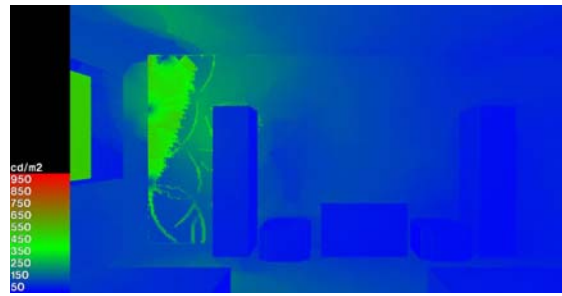


Figura 391 - Luminanza camera telecamera 2, ore 11.00

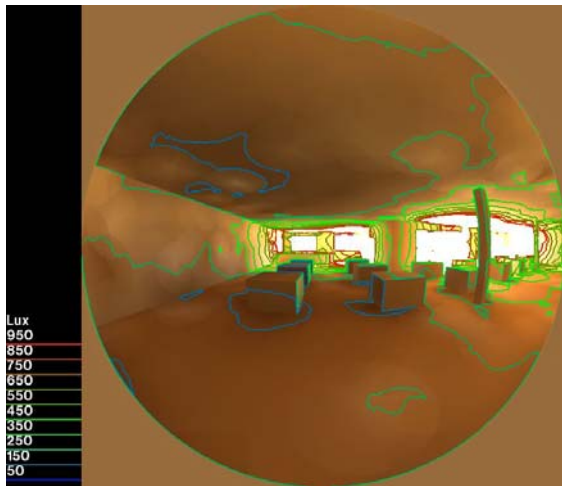


Figura 392 - Illuminamento mensa, telecamera 1, ore 12.00

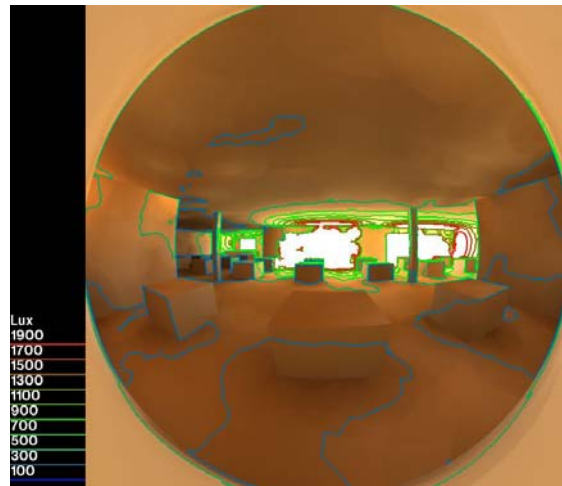


Figura 393 - Illuminamento mensa, telecamera 2, ore 12.00

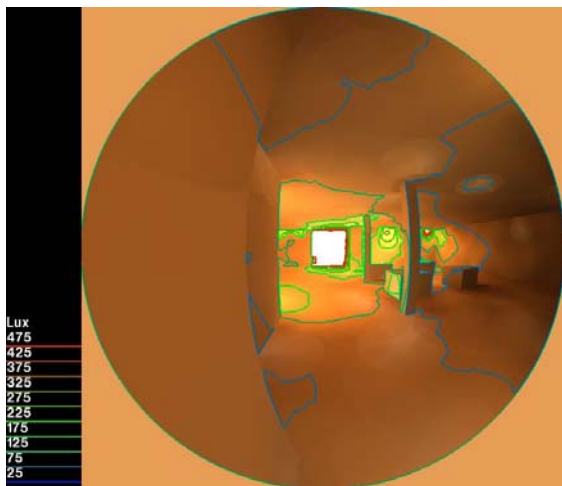


Figura 394 - Illuminamento mensa, telecamera 3, ore 12.00

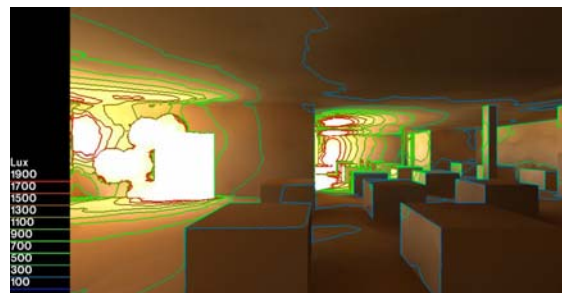


Figura 395 - Illuminamento mensa, telecamera 4, ore 12.00

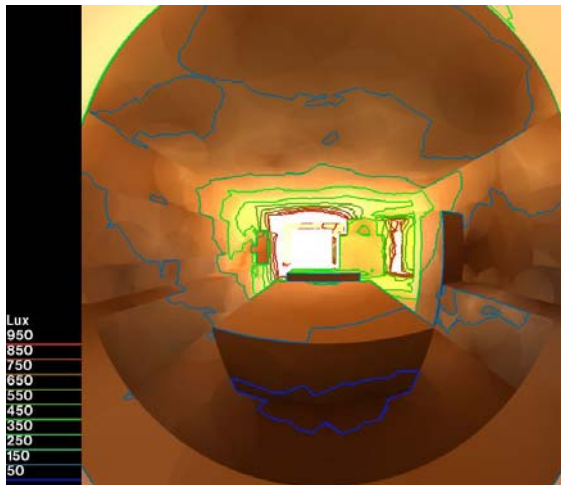


Figura 396 - Illuminamento cucina, telecamera 1, ore 11.00

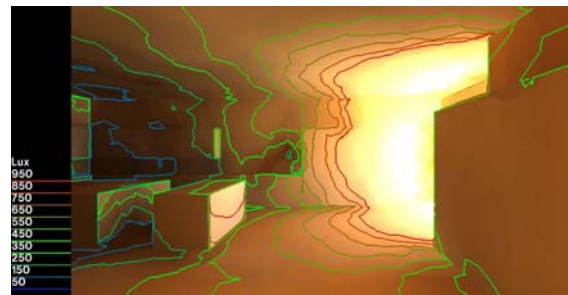


Figura 397 - Illuminamento cucina, telecamera 2, ore 11.00

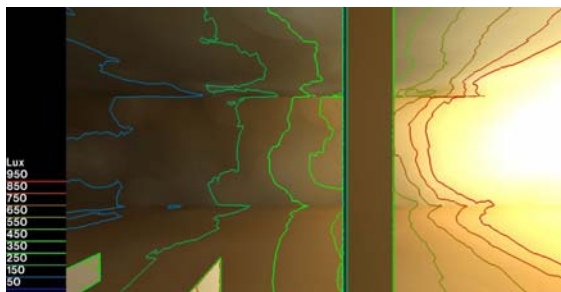


Figura 398 - Illuminamento palestra telecamera 1, ore 15.00

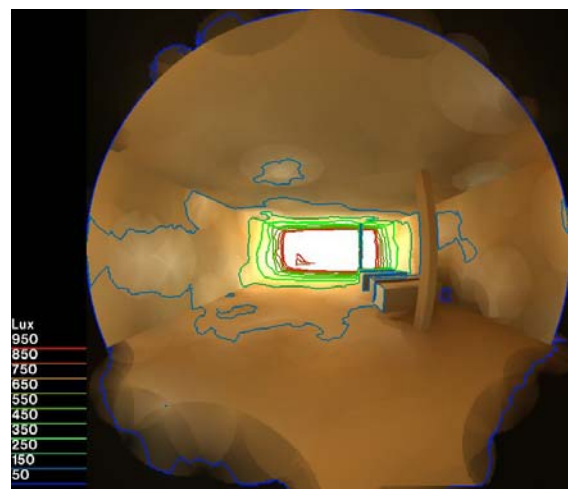


Figura 399 - Illuminamento palestra telecamera 2, ore 15.00

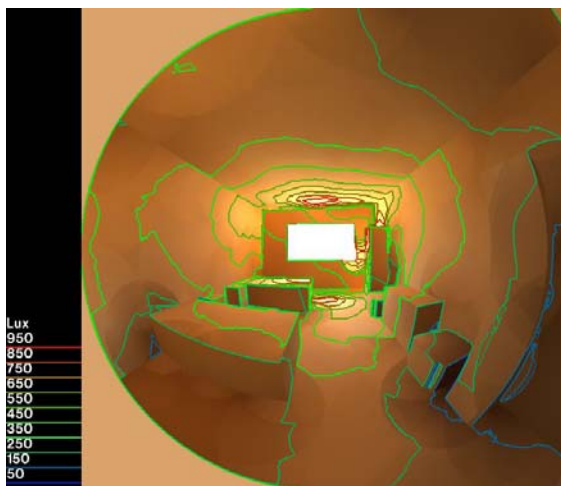


Figura 400 - Illuminamento camera telecamera 1, ore 11.00

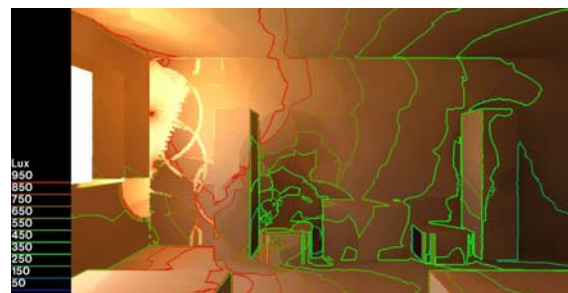


Figura 401 - Illuminamento camera telecamera 2, ore 11.00

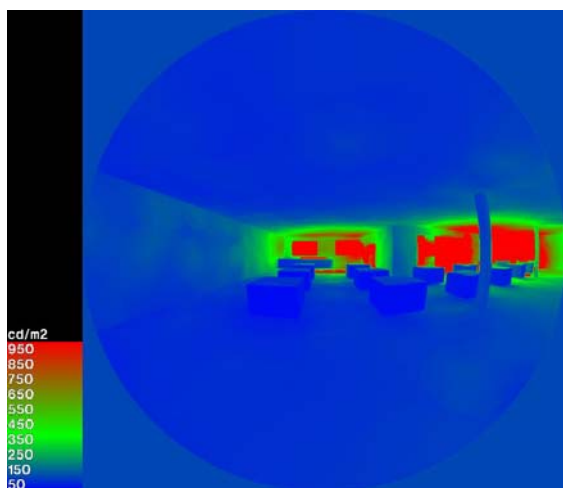


Figura 402 - Luminanza mensa, telecamera 1, ore 17.00

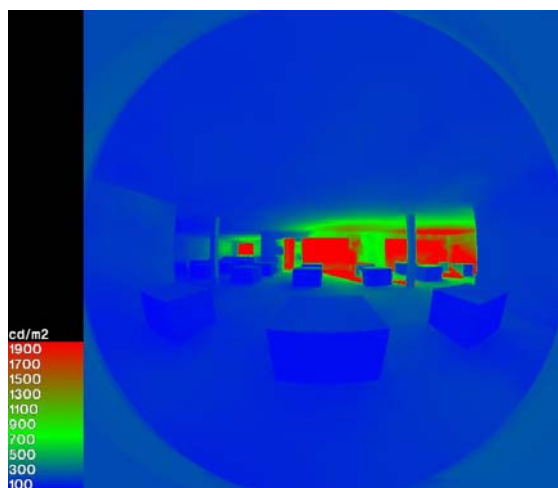


Figura 403 - Luminanza mensa, telecamera 2, ore 17.00

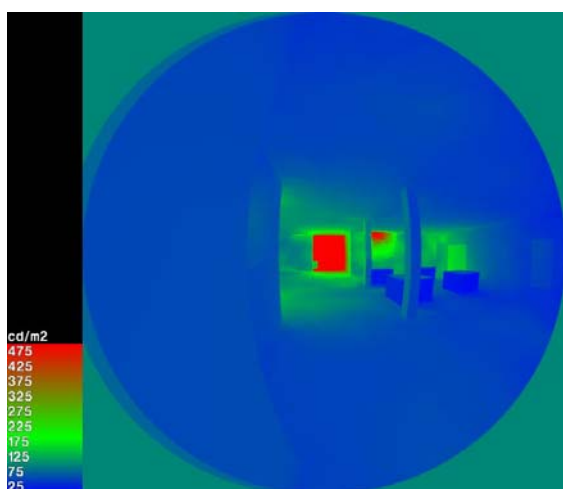


Figura 404 - Luminanza mensa, telecamera 3, ore 17.00

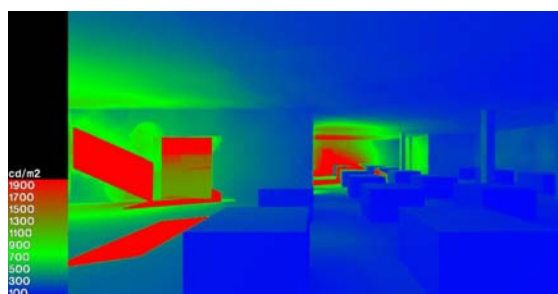


Figura 405 - Luminanza mensa, telecamera 4, ore 17.00

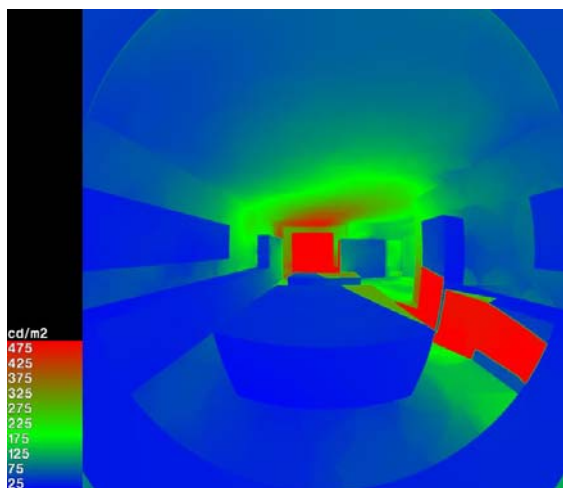


Figura 406 - Luminanza cucina, telecamera 1, ore 18.00

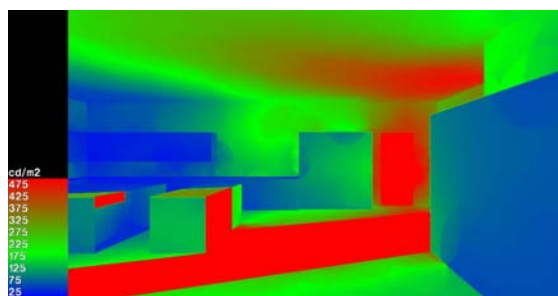


Figura 407 - Luminanza cucina, telecamera 2, ore 18.00

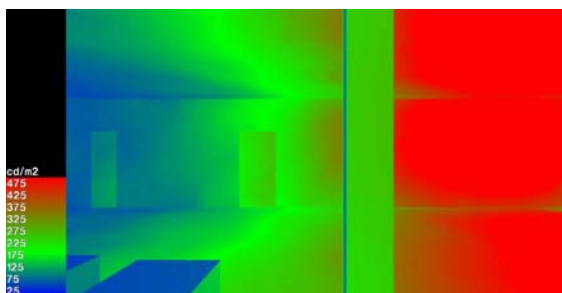


Figura 408 - Luminanza palestra telecamera 1, ore 17.00

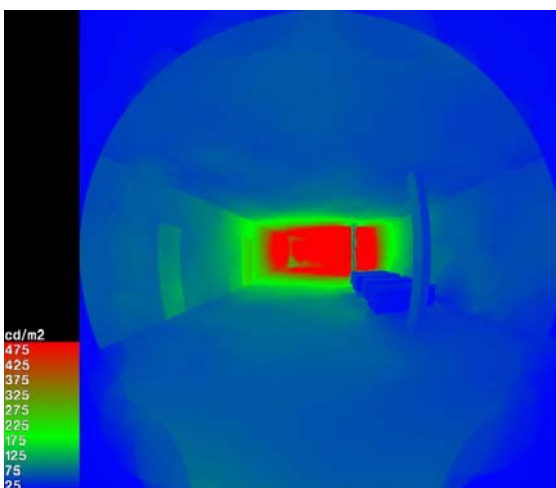


Figura 409 - Luminanza palestra telecamera 2, ore 17.00

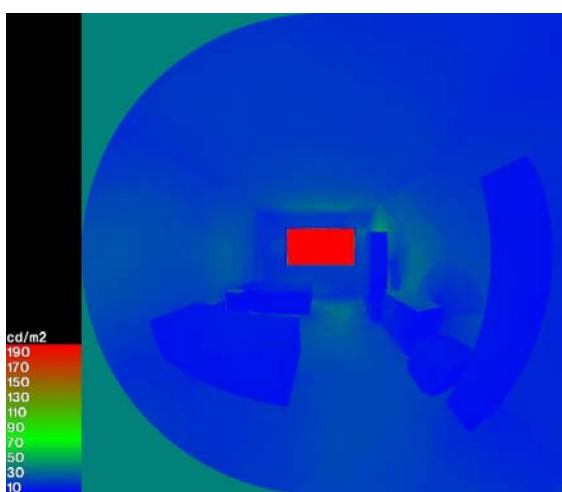


Figura 410 - Luminanza camera telecamera 1, ore 18.00

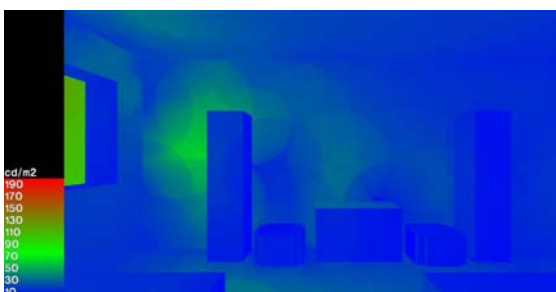


Figura 411 - Luminanza camera telecamera 2, ore 18.00

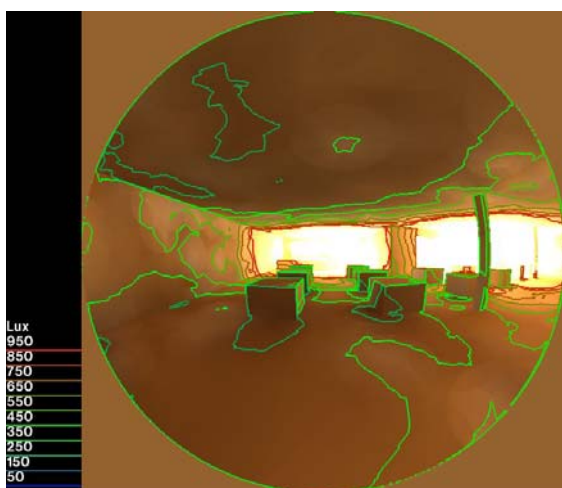


Figura 412 - Illuminamento mensa, telecamera 1, ore 17.00

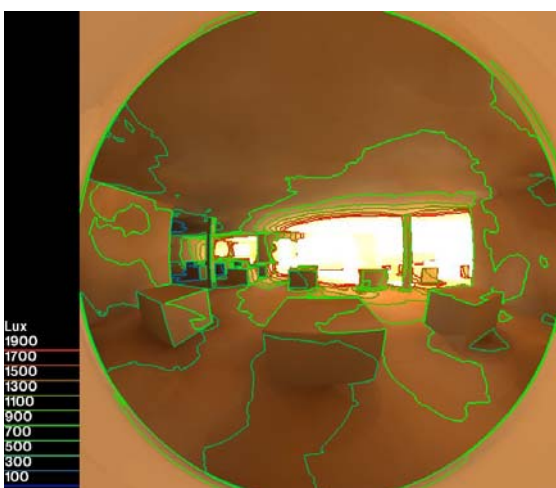


Figura 413 - Illuminamento mensa, telecamera 2, ore 17.00

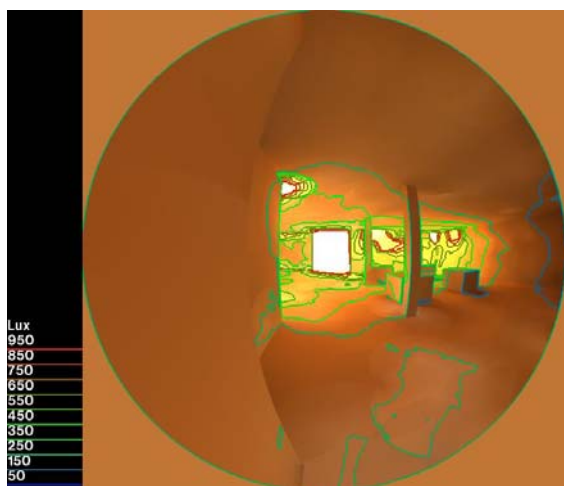


Figura 414 - Illuminamento mensa, telecamera 3, ore 17.00

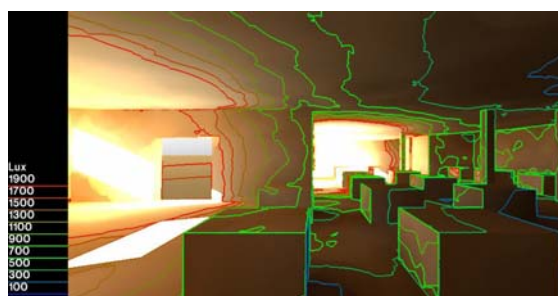


Figura 415 - Illuminamento mensa, telecamera 4, ore 17.00

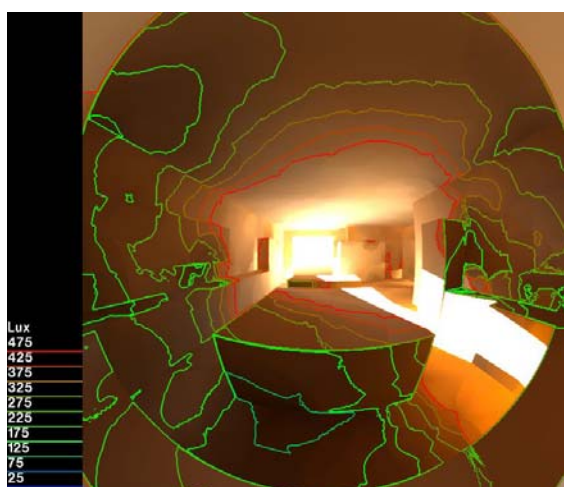


Figura 416 - Illuminamento cucina, telecamera 1, ore 18.00



Figura 417 - Illuminamento cucina, telecamera 2, ore 18.00

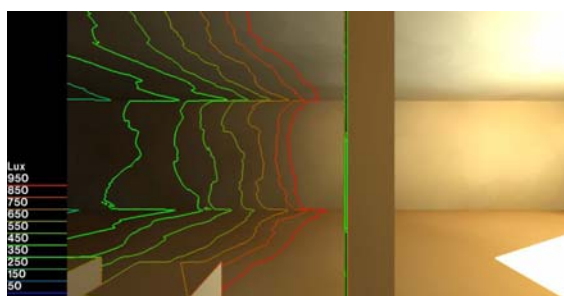


Figura 418 - Illuminamento palestra telecamera 1, ore 17.00

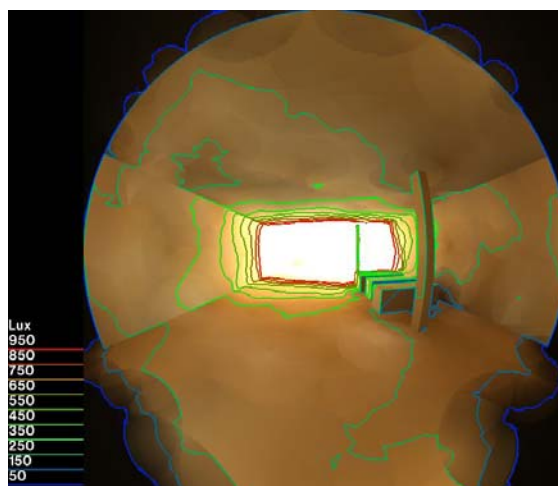


Figura 419 - Illuminamento palestra telecamera 2, ore 17.00

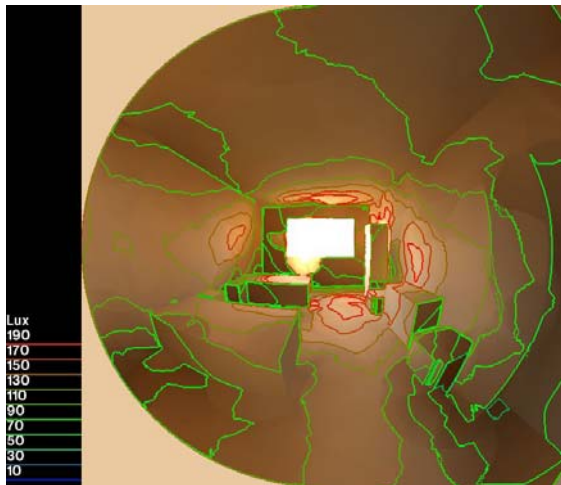


Figura 420 - Illuminazione camera telecamera 1, ore 18.00

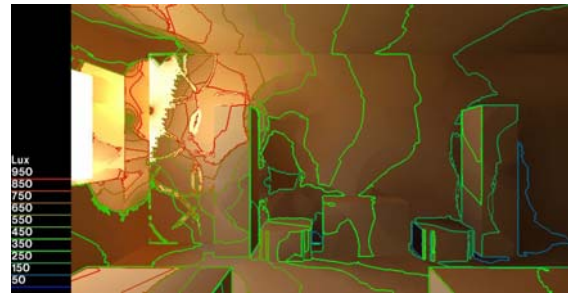


Figura 421 - Illuminazione camera telecamera 2, ore 18.00

Mensa: piano tavoli

Ore 7.00: luminanza circa 100 cd/m²; illuminamento circa 200 lux.

Ore 12.00: luminanza circa 100 cd/m²; illuminamento circa 300 lux.

Ore 17.00: luminanza fino a 200 cd/m²; illuminamento fra 400 e 750 lux.

A giugno la situazione cambia. La maggior radiazione luminosa comporta valori fin troppo elevati ai fini dello svolgimento dell'attività in condizioni di comfort visivo.

Cucina: zona cottura

Ore 6.00: luminanza circa 15 cd/m²; illuminamento circa 150 lux.

Ore 11.00: luminanza circa 50 cd/m²; illuminamento circa 250 lux.

Ore 18.00: luminanza fino a 300 cd/m²; illuminamento circa 300; zona con possibilità di abbagliamento.

Pur non raggiungendo mai i 500 lux consigliati, alle 18.00 si forma una zona fonte di possibile abbagliamento, che attraversa la stanza.

Palestra

Ore 11.00: luminanza bassa nell'ambiente, circa 10 cd/m²; illuminamento generalizzato nell'ambiente fino a 225 lux.

Ore 15.00: luminanza bassa nell'ambiente, circa 75 cd/m²; illuminamento generalizzato nell'ambiente fino a 450 lux.

Ore 17.00: luminanza bassa nell'ambiente, circa 75 cd/m²; illuminamento generalizzato nell'ambiente circa 450 lux.

Con l'equinozio d'estate la palestra non conosce problemi di scarsa illuminazione, al contrario gli indici sono troppo elevati.

Camera

Ore 6.00: luminanza bassa generalizzata nell'ambiente, circa 150 cd/m²; illuminamento: piano scrivania circa 450 lux, zona letti tra 150 e 450 lux.

Ore 11.00: luminanza bassa generalizzata nell'ambiente, circa 50 cd/m²; illuminamento: piano scrivania tra 350 e 650 lux, zona letti tra 250 e 950 lux.

Ore 18.00: luminanza bassa nell'ambiente, circa 10 cd/m²; illuminamento: piano scrivania circa 130 lux, zona letti circa 90 lux.

L'unico momento in cui i livelli di illuminamento sono sotto la soglia richiesta, è alle ore 18.00. negli altri casi i parametri descrivono un ambiente molto illuminato.

5.1.3. 21 dicembre

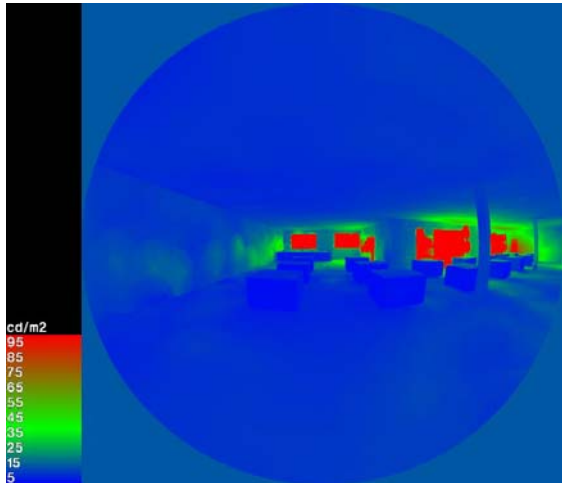


Figura 422 - Luminanza mensa, telecamera 1, ore 7.00

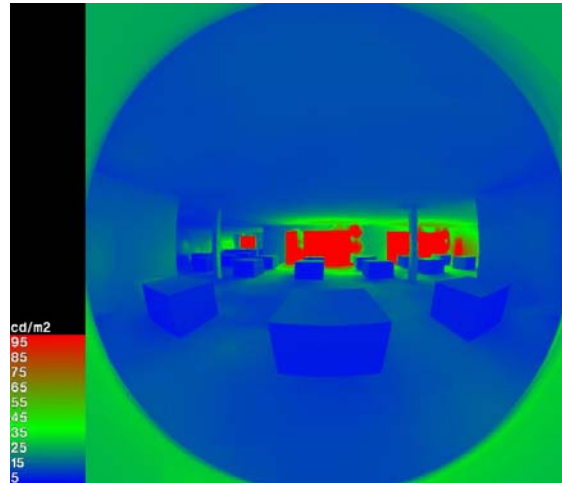


Figura 423 - Luminanza mensa, telecamera 2, ore 7.00

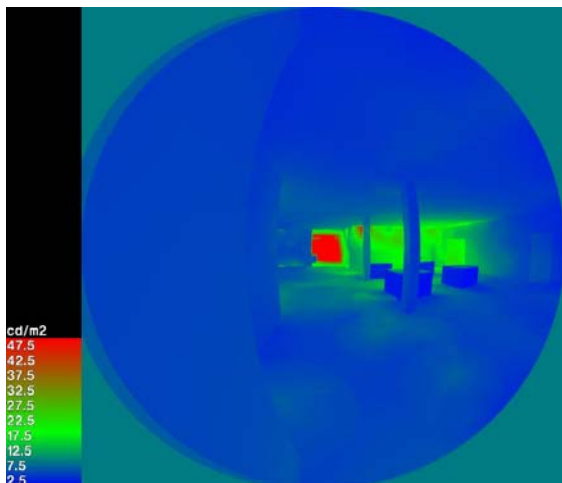


Figura 424 - Luminanza mensa, telecamera 3, ore 7.00

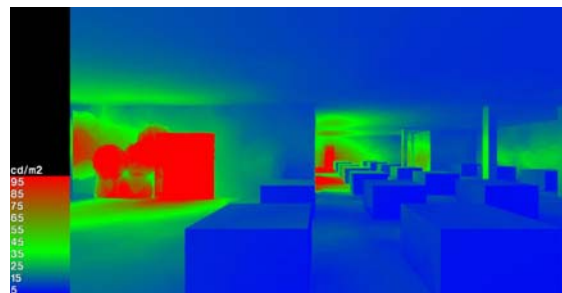


Figura 425 - Luminanza mensa, telecamera 4, ore 7.00

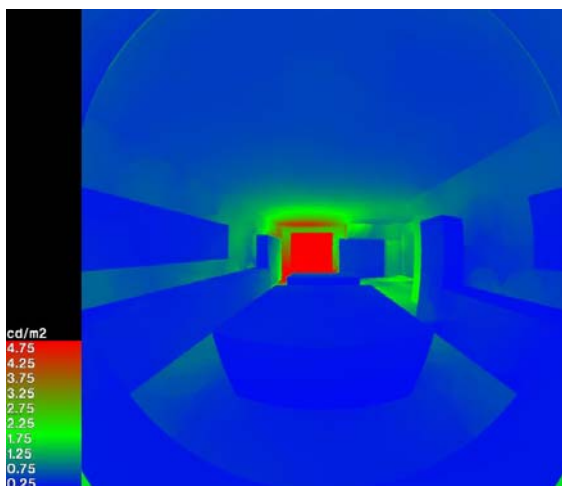


Figura 426 - Luminanza cucina, telecamera 1, ore 6.00

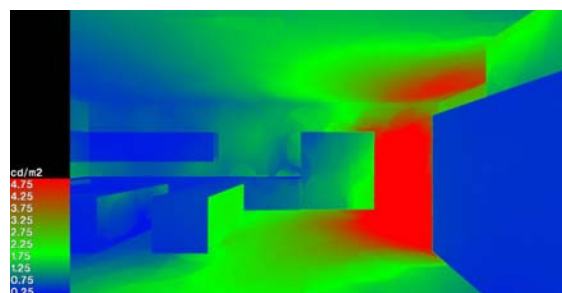


Figura 427 - Luminanza cucina, telecamera 2, ore 6.00

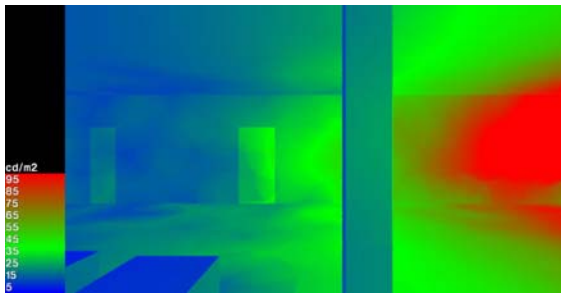


Figura 428 - Luminanza palestra telecamera 1, ore 11.00

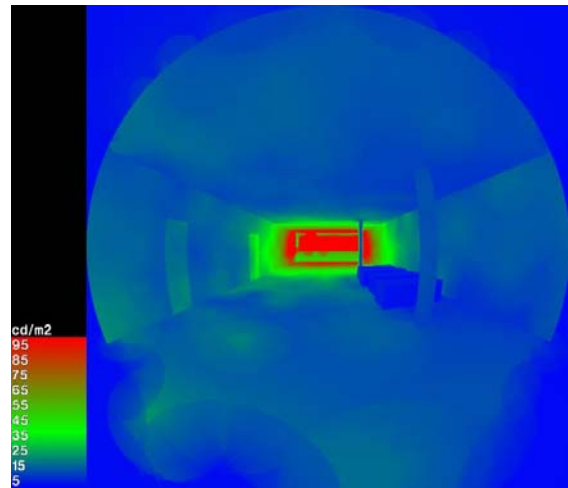


Figura 429 - Luminanza palestra telecamera 2, ore 11.00

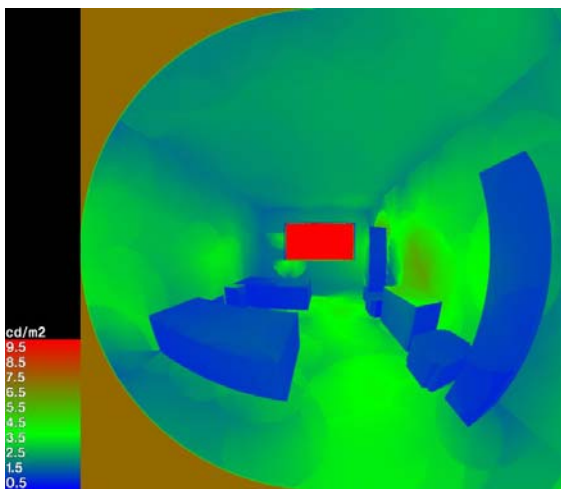


Figura 430 - Luminanza camera telecamera 1, ore 06.00

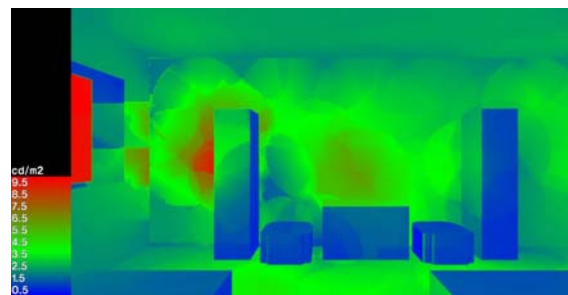


Figura 431 - Luminanza camera telecamera 2, ore 06.00

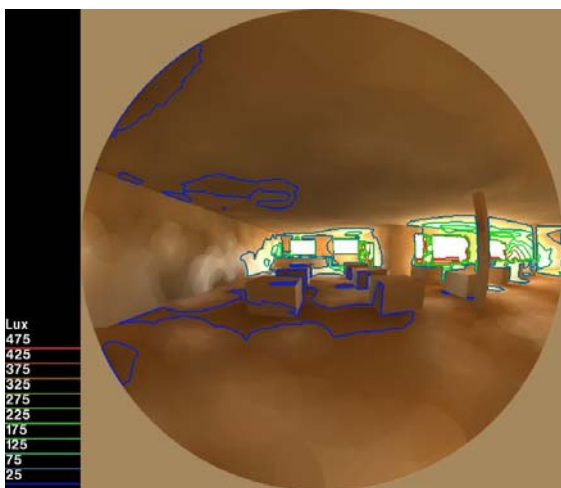


Figura 432 - Illuminamento mensa, telecamera 1, ore 7.00

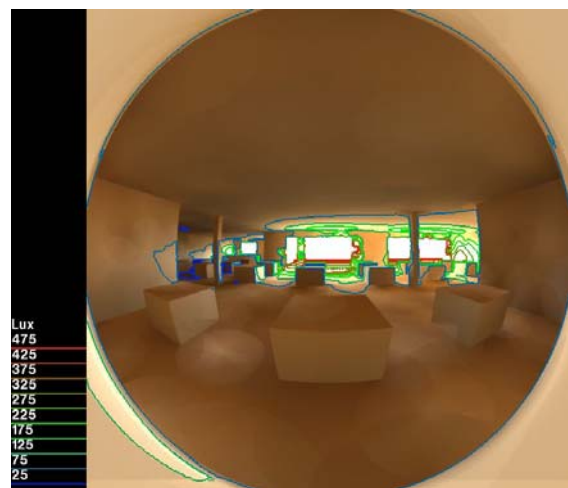


Figura 433 - Illuminamento mensa, telecamera 2, ore 7.00

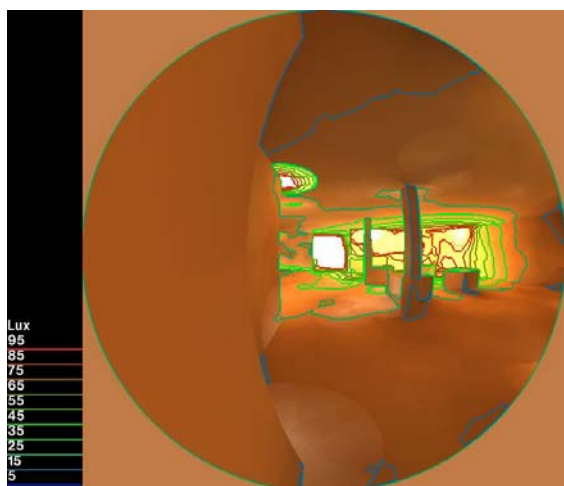


Figura 434 - Illuminamento mensa, telecamera 3, ore 7.00

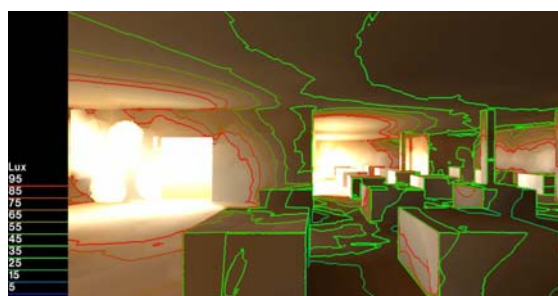


Figura 435 - Illuminamento mensa, telecamera 4, ore 7.00

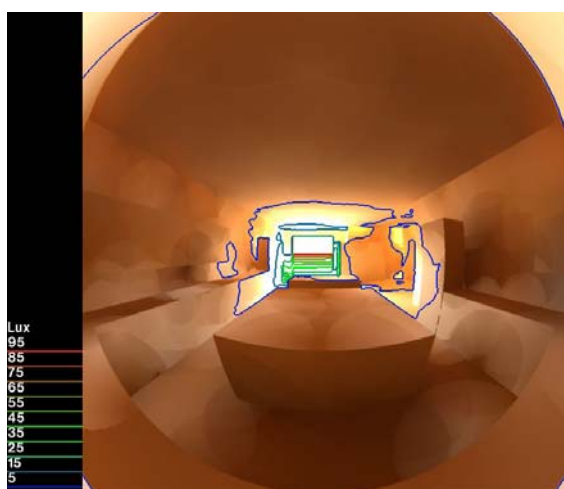


Figura 436 - Illuminamento cucina, telecamera 1, ore 6.00



Figura 437 - Illuminamento cucina, telecamera 2, ore 6.00

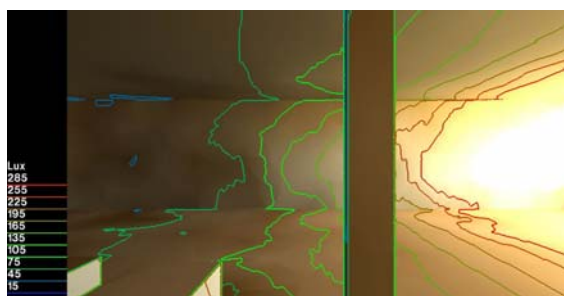


Figura 438 - Illuminamento palestra telecamera 1, ore 11.00

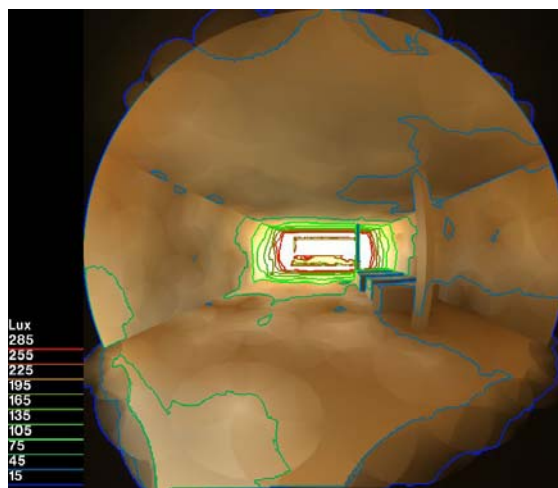


Figura 439 - Illuminamento palestra telecamera 2, ore 11.00

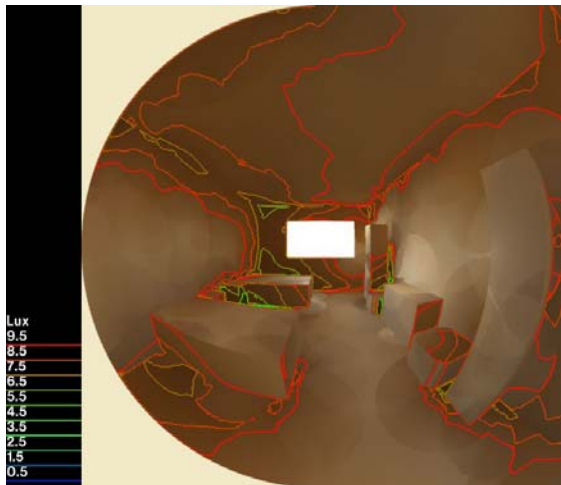


Figura 440 - Illuminamento camera telecamera 1, ore 06.00



Figura 441 - Illuminamento camera telecamera 2, ore 06.00

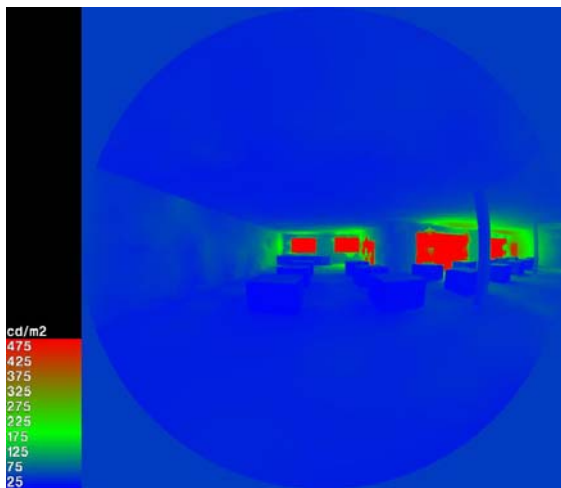


Figura 442 - Luminanza mensa, telecamera 1, ore 12.00

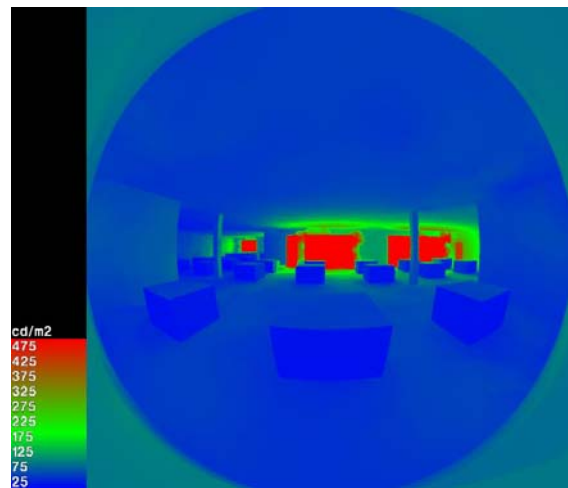


Figura 443 - Luminanza mensa, telecamera 2, ore 12.00

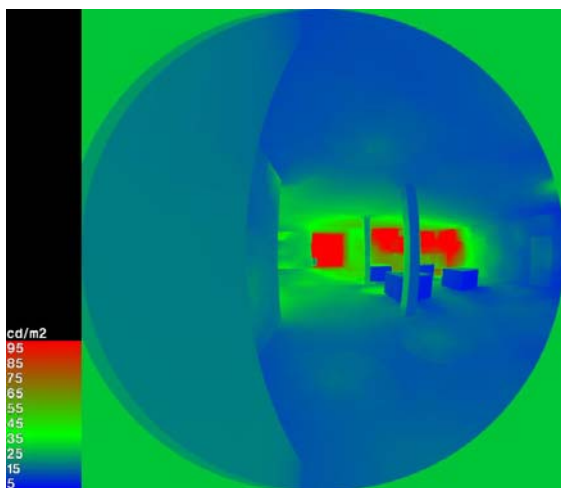


Figura 444 - Luminanza mensa, telecamera 3, ore 12.00

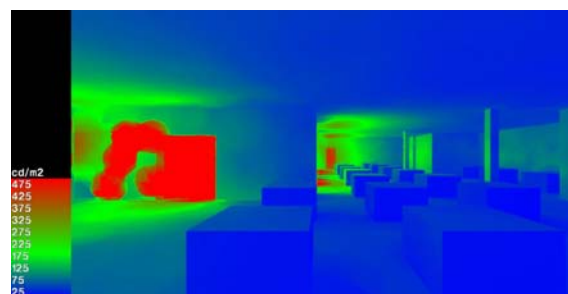


Figura 445 - Luminanza mensa, telecamera 4, ore 12.00

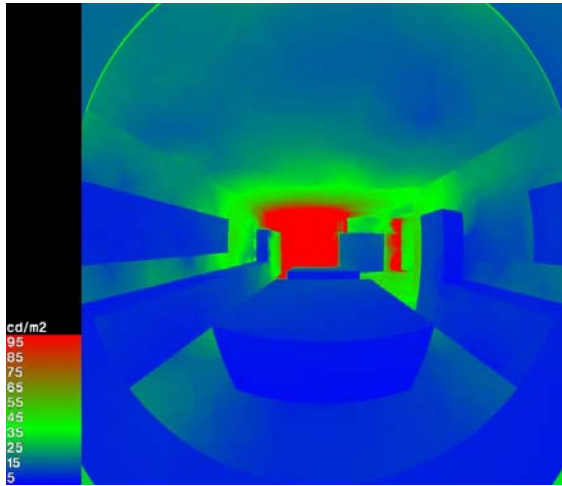


Figura 446 - Luminanza cucina, telecamera 1, ore 11.00

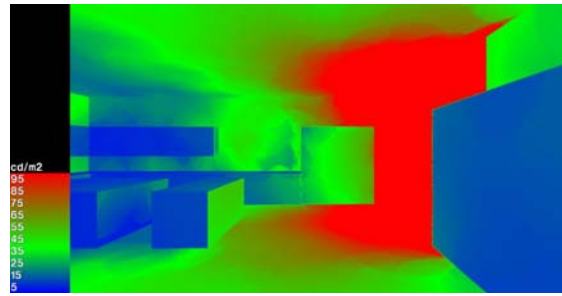


Figura 447 - Luminanza cucina, telecamera 2, ore 11.00

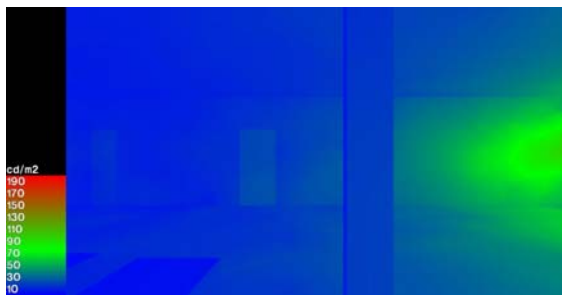


Figura 448 - Luminanza palestra telecamera 1, ore 15.00

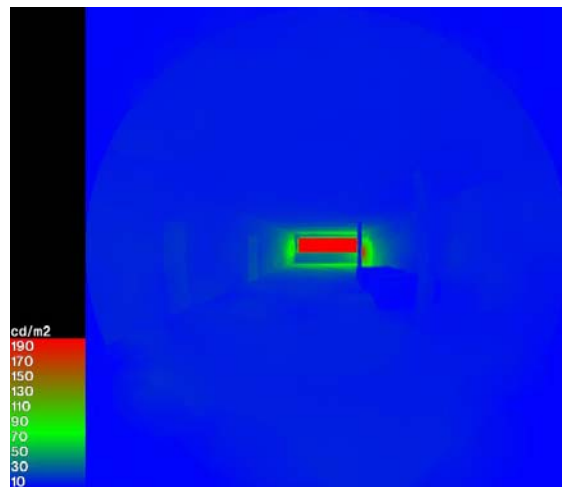


Figura 449 - Luminanza palestra telecamera 2, ore 15.00

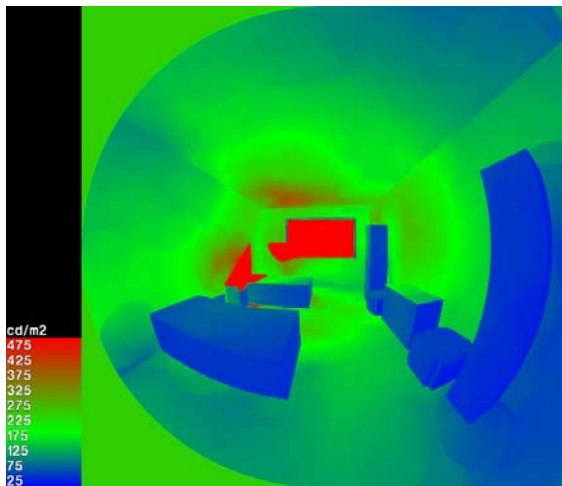


Figura 450 - Luminanza camera telecamera 1, ore 11.00

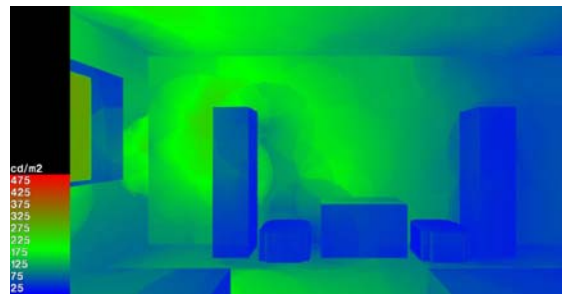


Figura 451 - Luminanza cameratelecamera 2, ore 11.00

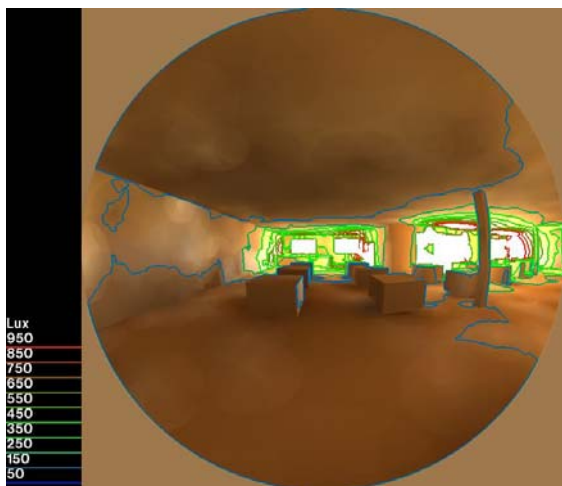


Figura 452 - Illuminamento mensa, telecamera 1, ore 12.00

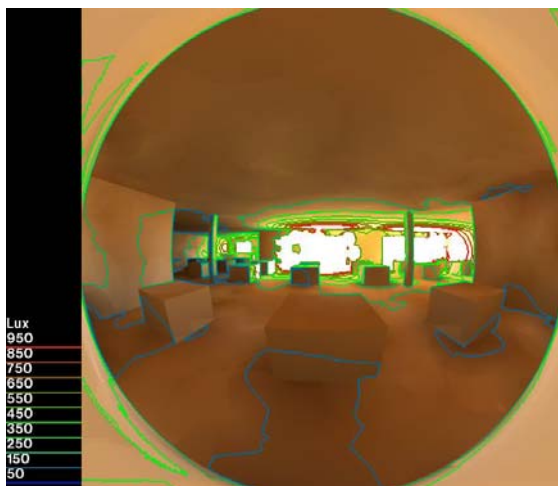


Figura 453 - Illuminamento mensa, telecamera 2, ore 12.00

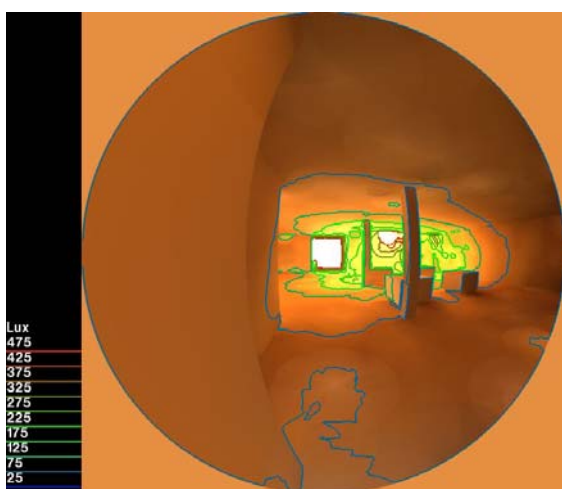


Figura 454 - Illuminamento mensa, telecamera 3, ore 12.00

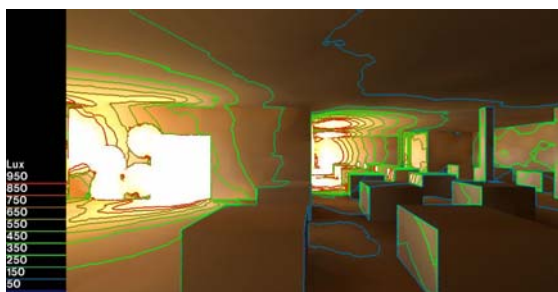


Figura 455 - Illuminamento mensa, telecamera 4, ore 12.00

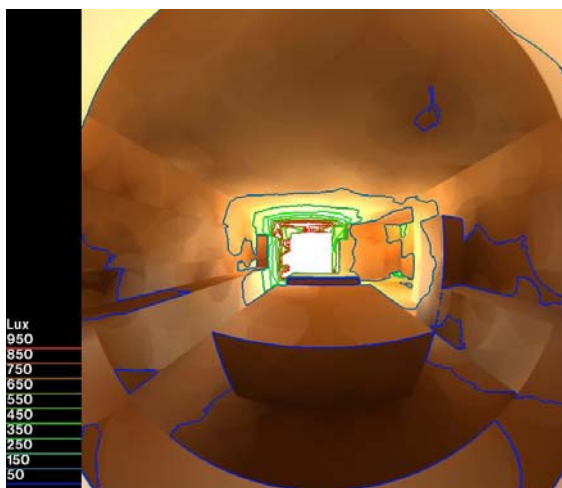


Figura 456 - Illuminamento cucina, telecamera 1, ore 11.00

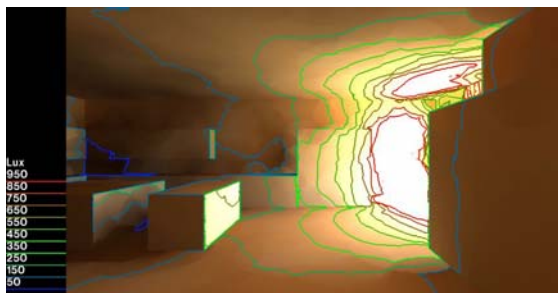


Figura 457 - Illuminamento cucina, telecamera 2, ore 11.00

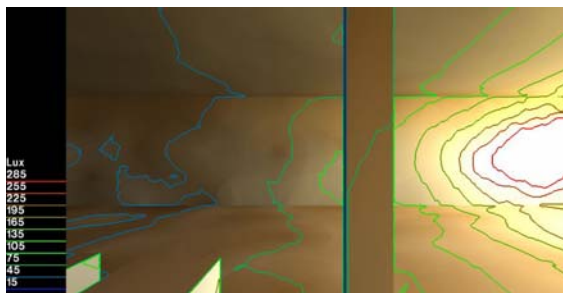


Figura 458 - Illuminamento palestra telecamera 1, ore 15.00

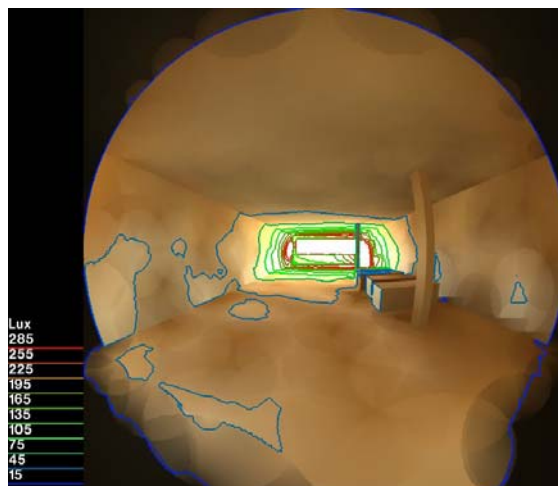


Figura 459 - Illuminamento palestra telecamera 2, ore 15.00

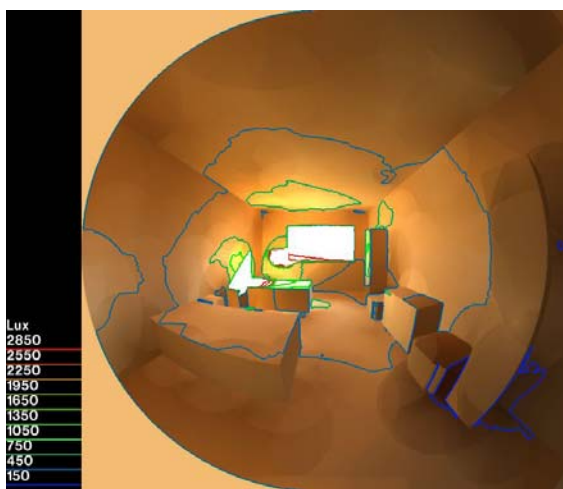


Figura 460 - Illuminamento camera telecamera 1, ore 11.00

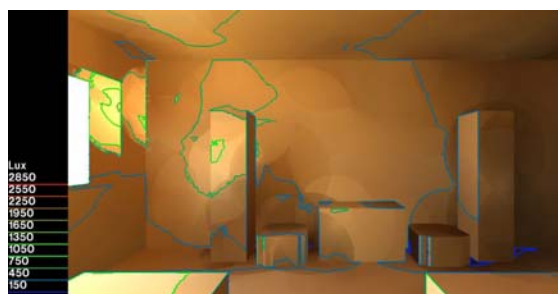


Figura 461 - Illuminamento camera telecamera 2, ore 11.00

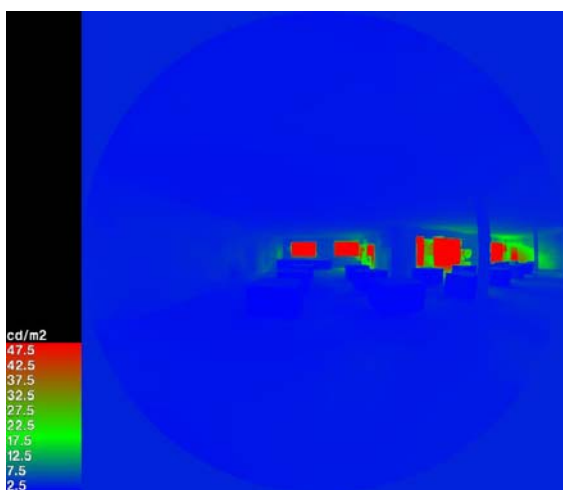


Figura 462 - Luminanza mensa, telecamera 1, ore 17.00

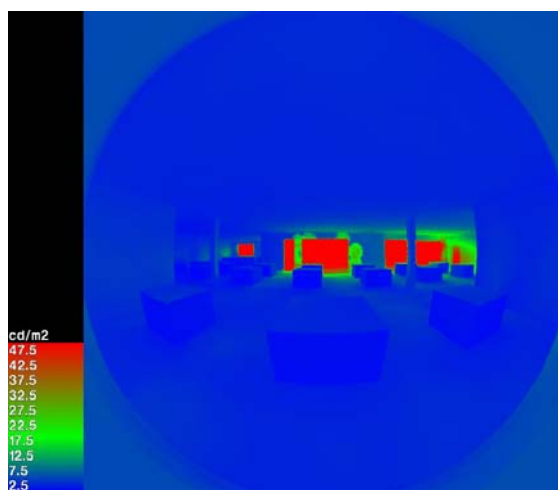


Figura 463 - Luminanza mensa, telecamera 2, ore 17.00

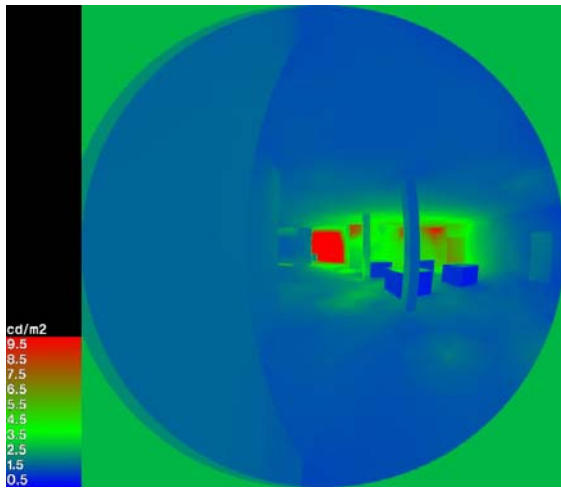


Figura 464 - Luminanza mensa, telecamera 3, ore 17.00

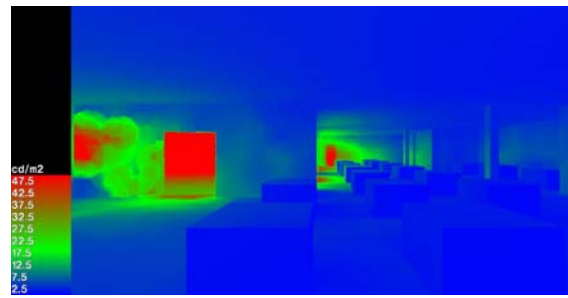


Figura 465 - Luminanza mensa, telecamera 4, ore 17.00

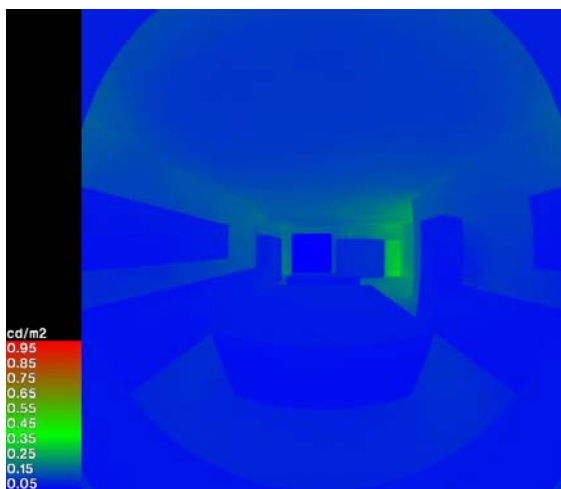


Figura 466 - Luminanza cucina, telecamera 1, ore 18.00



Figura 467 - Luminanza cucina, telecamera 2, ore 18.00

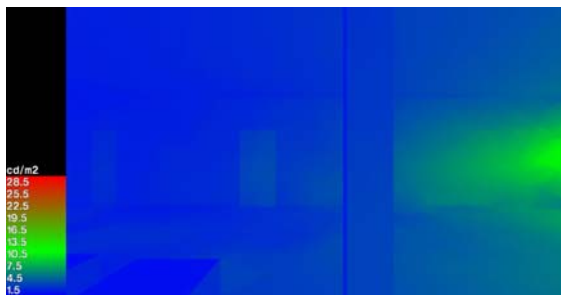


Figura 468 - Luminanza palestra telecamera 1, ore 17.00

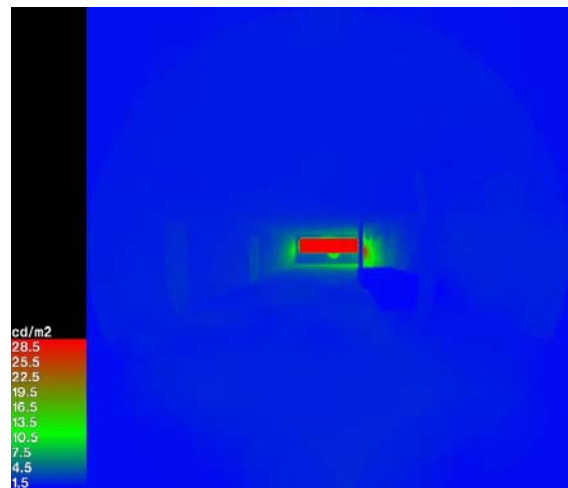


Figura 469 - Luminanza palestra telecamera 2, ore 17.00

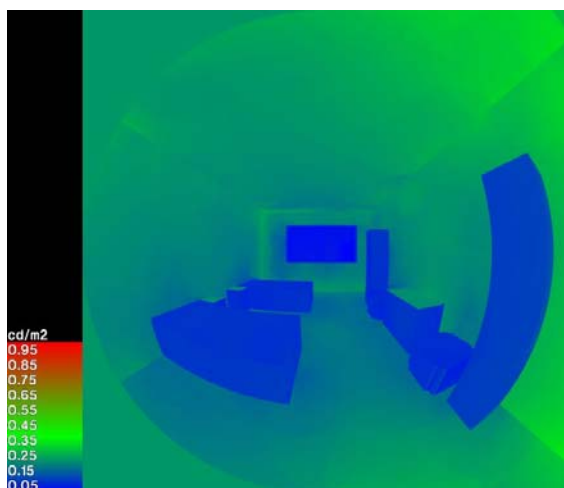


Figura 470 - Luminanza camera telecamera 1, ore 18.00

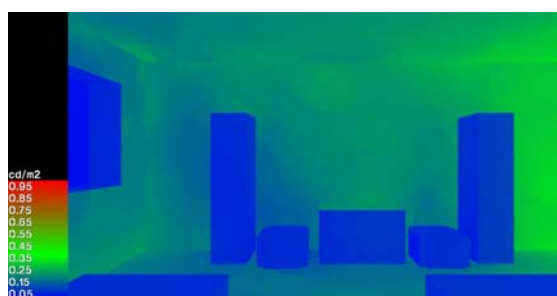


Figura 471 - Luminanza camera telecamera 2, ore 18.00

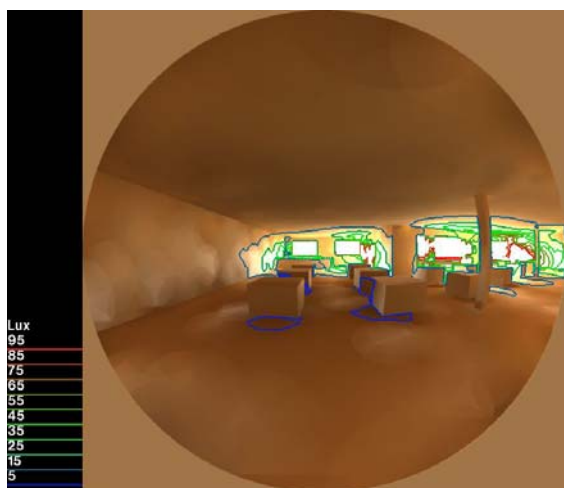


Figura 472 - Illuminamento mensa, telecamera 1, ore 17.00

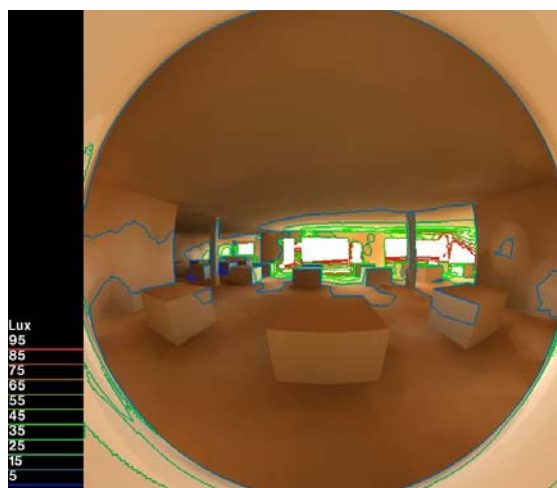


Figura 473 - Illuminamento mensa, telecamera 2, ore 17.00

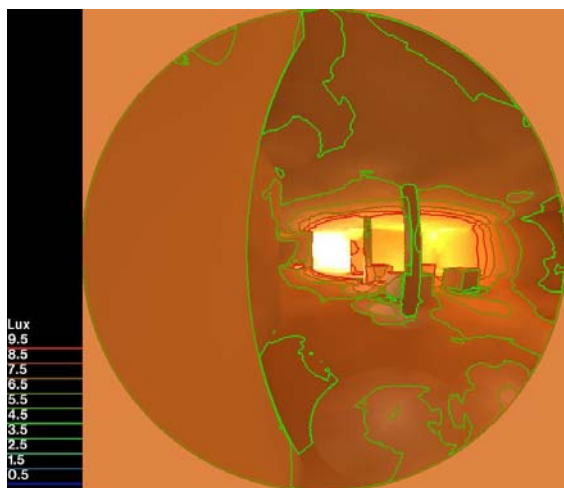


Figura 474 - Illuminamento mensa, telecamera 3, ore 17.00

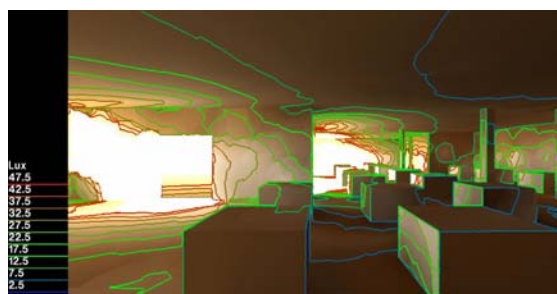


Figura 475 - Illuminamento mensa, telecamera 4, ore 17.00

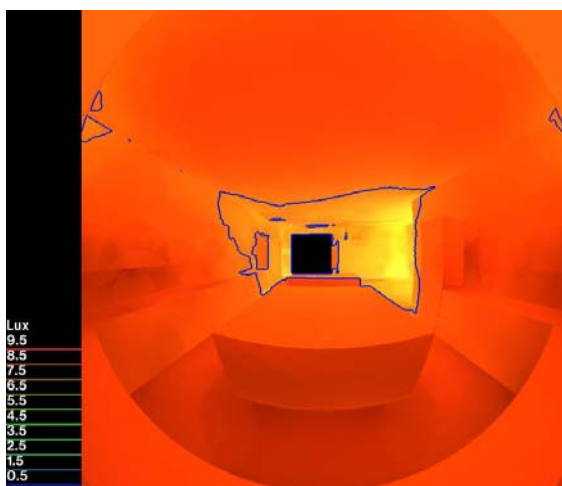


Figura 476 - Illuminamento cucina, telecamera 1, ore 18.00

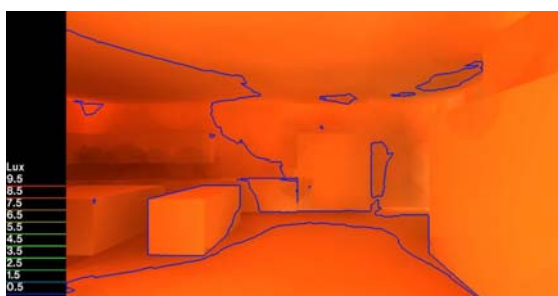


Figura 477 - Illuminamento cucina, telecamera 2, ore 18.00

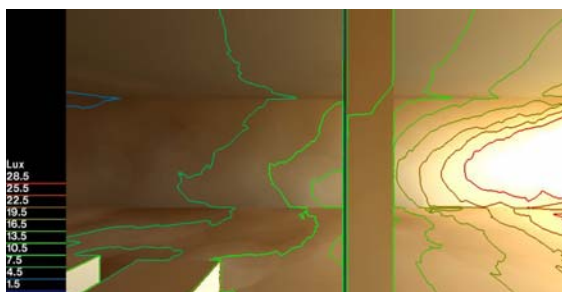


Figura 478 - Illuminamento palestra telecamera 1, ore 17.00

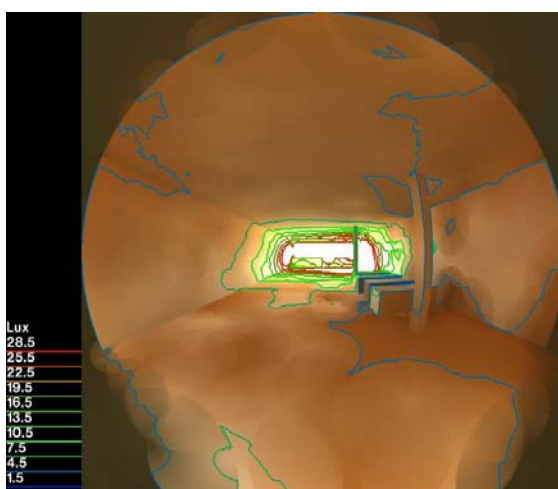


Figura 479 - Illuminamento palestra telecamera 1, ore 17.00

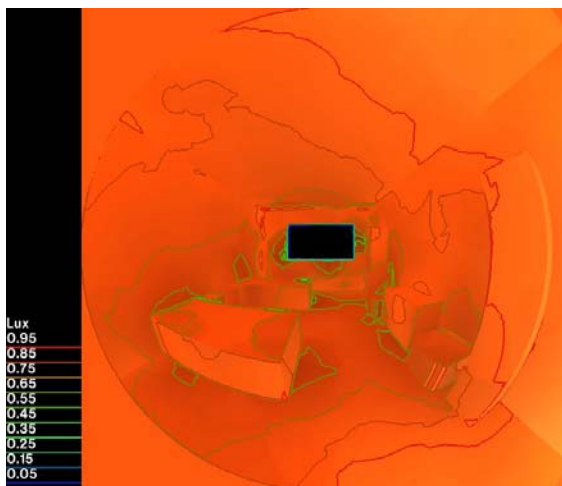


Figura 480 - Illuminamento camera telecamera 1, ore 18.00



Figura 481 - Illuminamento camera telecamera 1, ore 18.00

Mensa: piano tavoli

Ore 7.00: luminanza fino a 30 cd/m²; illuminamento circa 50 lux.

Ore 12.00: luminanza fino a 100 cd/m²; illuminamento circa 150 lux.

Ore 17.00: luminanza fino a 10 cd/m²; illuminamento circa 20 lux.

Il solstizio d'inverno, come atteso, è ancora una volta il giorno con la minor illuminazione. Neanche a mezzogiorno si raggiungono i 200 lux richiesti.

Cucina: zona cottura

Ore 6.00: luminanza 1 cd/m²; illuminamento circa 5 lux.

Ore 11.00: luminanza circa 20 cd/m²; illuminamento circa 150 lux.

Ore 18.00: luminanza 0,1 cd/m²; illuminamento circa 0,5 lux.

La cucina, che è sempre stata più svantaggiata della mensa, affronta orari nei quali l'illuminazione è molto scarsa.

Palestra

Ore 11.00: luminanza bassa nell'ambiente, circa 15 cd/m²; illuminamento generalizzato nell'ambiente circa 75 lux

Ore 15.00: luminanza bassa nell'ambiente, circa 10 cd/m²; illuminamento generalizzato nell'ambiente fino a 105 lux

Ore 17.00: luminanza bassa nell'ambiente, circa 1,5 cd/m²; illuminamento generalizzato nell'ambiente circa 4,5 lux

La palestra, che fra le stanze precedenti è quella raggiunta da più radiazione solare, può soddisfare la richiesta di illuminamento solo a mezzogiorno.

Camera

Ore 6.00: luminanza media generalizzata nell'ambiente, circa 3,5 cd/m²; illuminamento generalizzato nell'ambiente tra 7,5 e 9,5 lux.

Ore 11.00: luminanza media generalizzata nell'ambiente, circa 225 cd/m²; illuminamento: piano scrivania circa 450 lux, zona letti fino a 750 lux.

Ore 18.00: luminanza bassa nell'ambiente, circa 0,015 cd/m²; illuminamento generalizzato circa 0,35 lux.

La camera, al contrario delle altre stanze, presenta valori elevati almeno a mezzogiorno, mentre negli altri orari segue gli stessi andamenti.

5.1.4. Fattore di luce diurna (%)

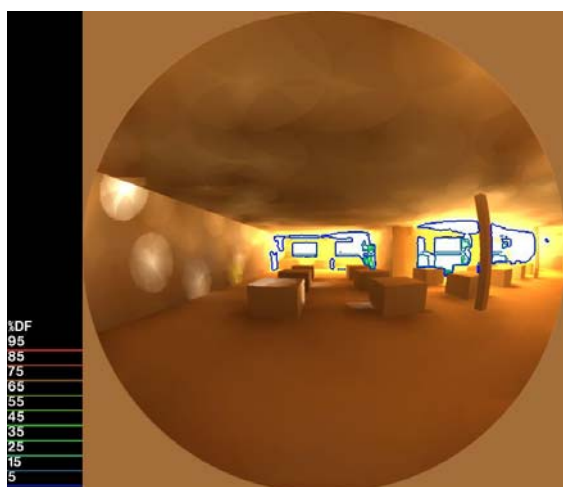


Figura 482 - Fattore di luce diurna mensa, telecamera 1

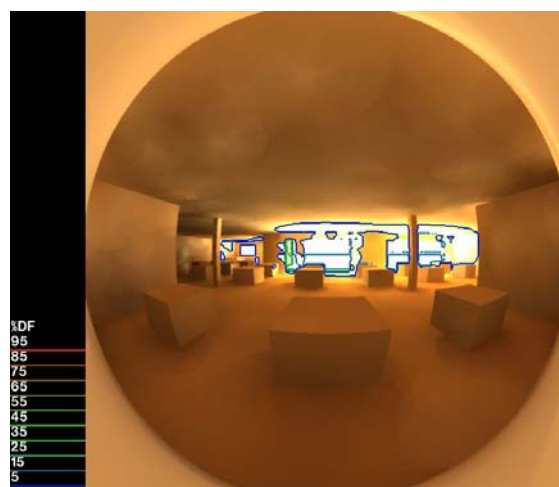


Figura 483 - Fattore di luce diurna mensa, telecamera 2

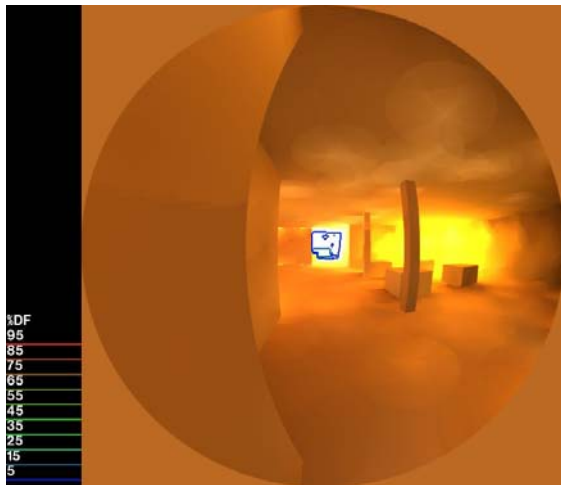


Figura 484 - Fattore di luce diurna mensa, telecamera 3



Figura 485 - Fattore di luce diurna mensa, telecamera 4

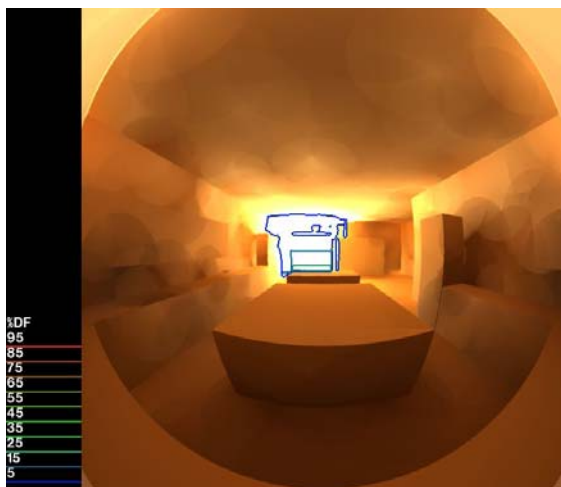


Figura 486 - Fattore di luce diurna cucina, telecamera 1



Figura 487 - Fattore di luce diurna cucina, telecamera 2



Figura 488 - Fattore di luce diurna palestra, telecamera 1

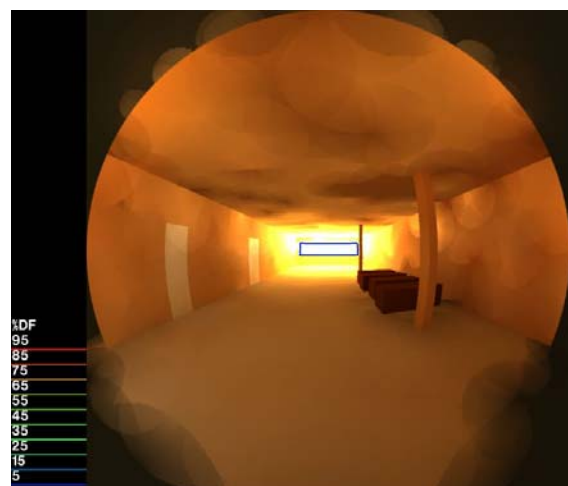


Figura 489 - Fattore di luce diurna palestra, telecamera 2

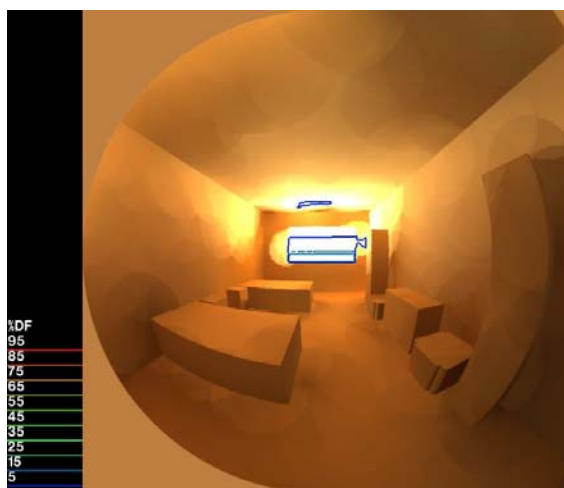


Figura 490 - Fattore di luce diurna camera, telecamera 1

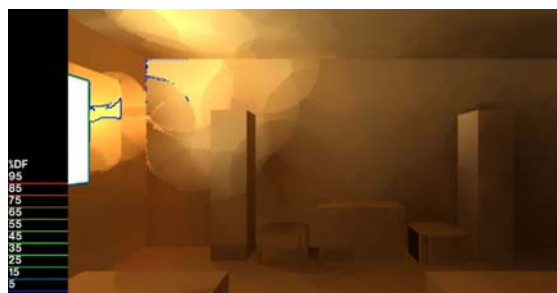


Figura 491 - Fattore di luce diurna camera, telecamera 2

Mensa: circa 5% vicino alle finestre.

Cucina: circa 5% vicino alle finestre.

Palestra: circa 5% vicino alle finestre.

Camera: tra 5% e 15% vicino alle finestre.

Dalle sole immagini sembrerebbe raggiunto il valore consigliato in prossimità delle finestre, mentre intorno vi sono valori bassi (visualizzabili nel software cliccando su punti qualsiasi, ma non tramite altre isolinee).

5.2. Evalglare

Parametri	Abbagliamento impercettibile	Abbagliamento percepibile	Abbagliamento disturbante	Abbagliamento intollerabile
DGP	< 0,35	0,35 - 0,40	0,4 - 0,45	> 0,45
DGI	< 18	18 - 24	24 - 31	> 31
UGR	< 13	13 - 22	22 - 28	> 28

Tabella 21 - Intervalli di tolleranza degli indici

21 mar	DGP	DGI	UGR
6.00	0,225	19,776	21,591
7.00	0,24	20,894	23,094
8.00	0,242	21,494	23,91
9.00	0,245	21,937	24,492
10.00	0,246	21,986	24,562
11.00	0,244	21,869	24,434
12.00	0,249	19,409	22,292
13.00	0,242	21,485	23,96
14.00	0,241	21,46	23,906
15.00	0,24	20,599	23,826
16.00	0,239	20,49	23,75
17.00	0,24	20,078	23,396
18.00	0,233	20,389	22,91

Tabella 22 - Parametri di abbagliamento

21 giu	DGP	DGI	UGR
6.00	0,232	20,352	22,426
7.00	0,232	19,741	22,752
8.00	0,238	21,017	23,418
9.00	0,242	21,554	24,070
10.00	0,245	21,920	24,514
11.00	0,246	22,054	24,696
12.00	0,247	22,117	24,754
13.00	0,241	21,180	23,787
14.00	0,241	21,287	23,935
15.00	0,245	20,785	24,409
16.00	0,249	21,039	24,792
17.00	0,256	21,327	25,296
18.00	0,246	20,359	24,193

Tabella 23 - Parametri di abbagliamento

21 dic	DGP	DGI	UGR
6.00	0,166	13,252	12,942
7.00	0,221	19,901	21,811
8.00	0,242	20,909	23,121
9.00	0,245	21,669	24,118
10.00	0,245	21,669	24,118
11.00	0,243	21,771	24,230
12.00	0,243	21,601	24,025
13.00	0,238	21,068	23,342
14.00	0,236	20,744	22,882
15.00	0,234	20,082	22,010
16.00	0,222	19,055	20,664
17.00	0,169	15,411	15,878
18.00	0,164		

Tabella 24 - Parametri di abbagliamento

per la mensa, 21 marzo

21 mar	DGP	DGI	UGR
6.00	0,235	19,516	24,202
7.00	0,264	21,127	26,111
8.00	0,266	21,997	27,330
9.00	0,272	22,576	27,901
10.00	0,268	22,455	27,723
11.00	0,264	22,210	27,207
12.00	0,262	21,954	26,861
13.00	0,255	21,585	26,161
14.00	0,254	21,291	25,873
15.00	0,247	20,633	24,889
16.00	0,243	20,372	24,522
17.00	0,245	20,249	24,194
18.00	0,250	20,192	25,125

Tabella 25 - Parametri di abbagliamento per la cucina, 21 marzo t

21 mar	DGP	DGI	UGR
6.00	0,214	18,282	22,014
7.00	0,256	19,752	23,908
8.00	0,266	20,342	24,672
9.00	0,264	20,527	24,921
10.00	0,264	20,641	25,134
11.00	0,262	20,456	24,875
12.00	0,260	20,275	24,518
13.00	0,258	20,163	24,339
14.00	0,257	20,078	24,149
15.00	0,245	19,492	23,278
16.00	0,239	19,300	22,997
17.00	0,236	18,586	22,114
18.00	0,219	18,478	22,295

Tabella 28 - Parametri di abbagliamento per la palestra, 21 marzo

21 mar	DGP	DGI	UGR
6.00	0,239	20,586	23,858
7.00	0,277	22,184	26,155
8.00	0,324	23,061	27,260
9.00	0,311	23,155	27,197
10.00	0,283	23,053	26,832
11.00	0,264	22,255	26,213
12.00	0,256	21,207	25,594
13.00	0,258	21,569	25,594
14.00	0,255	21,265	25,830
15.00	0,254	21,153	25,736
16.00	0,253	20,902	25,499

per la mensa, 21 giugno

21 giu	DGP	DGI	UGR
6.00	0,261	21,047	25,891
7.00	0,261	21,608	26,528
8.00	0,269	22,469	27,763
9.00	0,267	22,428	27,622
10.00	0,265	22,360	27,436
11.00	0,266	22,351	27,367
12.00	0,264	22,305	27,129
13.00	0,260	21,872	26,633
14.00	0,254	21,494	26,130
15.00	0,252	21,155	25,640
16.00	0,254	20,873	25,278
17.00	0,257	20,743	24,808
18.00	0,275	22,469	27,215

Tabella 26 - Parametri di abbagliamento per la cucina, 21 giugno

21 giu	DGP	DGI	UGR
6.00	0,251	19,518	23,618
7.00	0,262	20,151	24,470
8.00	0,260	20,271	24,524
9.00	0,260	20,337	24,616
10.00	0,259	20,370	24,647
11.00	0,259	20,503	24,821
12.00	0,260	20,572	24,905
13.00	0,257	20,376	24,538
14.00	0,252	20,187	24,192
15.00	0,246	20,274	24,256
16.00	0,248	20,705	24,815
17.00	0,248	20,426	24,556
18.00	0,243	19,474	23,512

Tabella 29 - Parametri di abbagliamento per la palestra, 21 giugno

21 giu	DGP	DGI	UGR
6.00	0,245	19,953	23,952
7.00	0,260	20,947	25,250
8.00	0,269	22,053	25,727
9.00	0,269	22,608	26,340
10.00	0,261	21,848	25,719
11.00	0,262	21,713	26,355
12.00	0,260	21,652	26,652
13.00	0,258	21,447	26,029
14.00	0,256	21,427	25,934
15.00	0,257	21,443	26,038
16.00	0,258	21,564	26,309

per la mensa, 21 dicembre

21 dic	DGP	DGI	UGR
6.00	0,166	13,53	16,284
7.00	0,228	19,450	24,349
8.00	0,265	20,793	25,902
9.00	0,268	21,716	27,165
10.00	0,262	21,577	26,466
11.00	0,263	21,765	26,868
12.00	0,257	21,186	25,860
13.00	0,252	20,735	25,202
14.00	0,250	20,487	24,998
15.00	0,251	19,767	24,072
16.00	0,225	18,302	21,953
17.00	0,172	14,945	17,729
18.00	0,164		

Tabella 27 - Parametri di abbagliamento per la cucina, 21 dicembre

21 dic	DGP	DGI	UGR
6.00	0,165	11,712	13,023
7.00	0,211	18,029	21,644
8.00	0,246	19,659	23,934
9.00	0,266	20,276	24,680
10.00	0,266	20,270	24,646
11.00	0,264	20,204	24,503
12.00	0,260	19,817	23,986
13.00	0,256	19,637	23,684
14.00	0,247	19,136	22,931
15.00	0,229	18,362	21,861
16.00	0,201	16,400	19,180
17.00	0,168	13,232	15,029
18.00	0,164		

Tabella 30 - Parametri di abbagliamento per la palestra, 21 dicembre

21 dic	DGP	DGI	UGR
6.00	0,190	17,548	21,908
7.00	1,000	41,533	65,451
8.00	0,306	23,360	28,573
9.00	0,304	22,174	26,681
10.00	0,277	22,176	26,207
11.00	0,263	22,429	26,348
12.00	0,261	21,849	26,663
13.00	0,255	21,187	25,770
14.00	0,250	20,587	24,989
15.00	0,247	19,888	24,157
16.00	0,233	18,881	22,978

17.00	0,252	20,290	24,928
18.00	0,213	18,300	22,408

Tabella 31 - Parametri di abbagliamento per la camera, 21 marzo

17.00	0,258	21,526	26,409
18.00	0,255	20,963	25,855

Tabella 32 - Parametri di abbagliamento per la camera, 21 giugno

17.00	0,171	14,648	17,327
18.00	0,164		

Tabella 33 - Parametri di abbagliamento per la camera, 21 dicembre

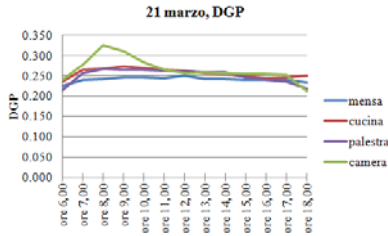


Figura 492 - DGP, 21 marzo

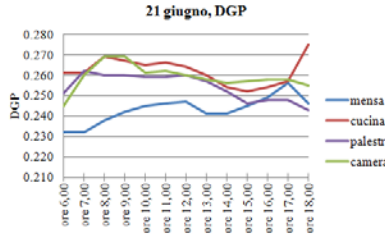


Figura 493 - DGP, 21 giugno

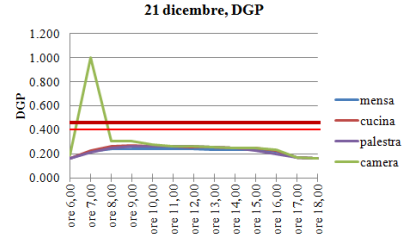


Figura 494 - DGP, 21 dicembre

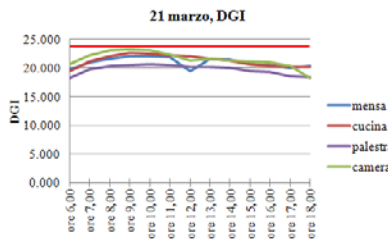


Figura 495 - DGI, 21 marzo

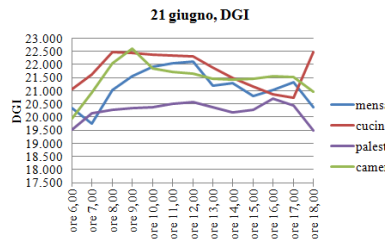


Figura 496 - DGI, 21 giugno

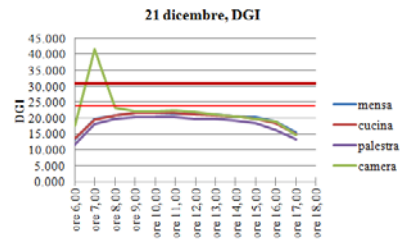


Figura 497 - DGI, 21 dicembre

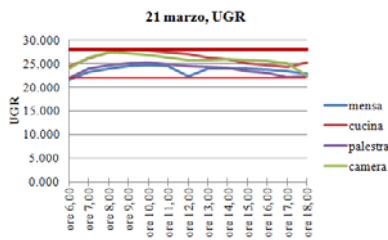


Figura 498 - UGR, 21 marzo

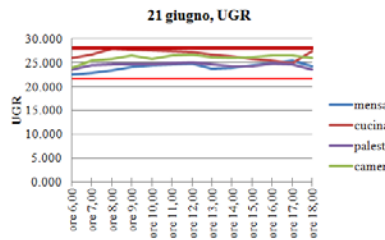


Figura 499 - UGR, 21 giugno

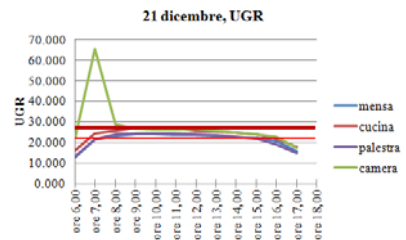


Figura 500 - UGR, 21 dicembre

DGP

21 marzo: sempre sotto la soglia dell'abbagliamento da disturbo, valore più alto alle ore 8.00 per la camera.

21 giugno: sempre sotto la soglia dell'abbagliamento da disturbo, valori decisamente più bassi per la mensa soprattutto alle ore 6.00 e 7.00.

21 dicembre: sempre sotto la soglia dell'abbagliamento da disturbo, valori anomali per la camera alle ore 7.00.

Il DGP è sempre sotto la soglia dell'abbagliamento da disturbo per ogni giorno considerato.

DGI

21 marzo: sempre sotto la soglia dell'abbagliamento da disturbo.

21 giugno: sempre sotto la soglia dell'abbagliamento da disturbo, valori decisamente più bassi per la palestra soprattutto alle ore 18.00.

21 dicembre: sempre sotto la soglia dell'abbagliamento da disturbo, valori anomali per la camera alle ore 7.00.

Anche il DGP non raggiunge la soglia dell'abbagliamento da disturbo, presentando valori più bassi nelle prime e ultime ore della giornata.

UGR

21 marzo: sempre fra la soglia dell'abbagliamento da disturbo e di quello intollerabile, escludendo la mensa alle ore 6.00.

21 giugno: sempre fra la soglia dell'abbagliamento da disturbo e di quello intollerabile.

21 dicembre: sempre fra la soglia dell'abbagliamento da disturbo e di quello intollerabile, tranne alle ore 6.00 per cucina e palestra, 16.00, 17.00 e 18.00 per mensa, cucina e palestra, valori anomali per la camera alle ore 7.00.

Anche in questa simulazione l'UGR si assesta entro le soglie dell'abbagliamento da disturbo e di quello intollerabile, con eccezioni rintracciabili alle 6.00 del 21 marzo per la mensa, alle 6.00 del 21 dicembre per cucina e palestra e nel tardo pomeriggio per le stanze rivolte a nord-ovest. Questa volta l'anomalia incorre solo alle ore 7.00 della camera da letto.

5.3. Daysim



Figura 501 - DA, mensa



Figura 502 - DA_max, mensa

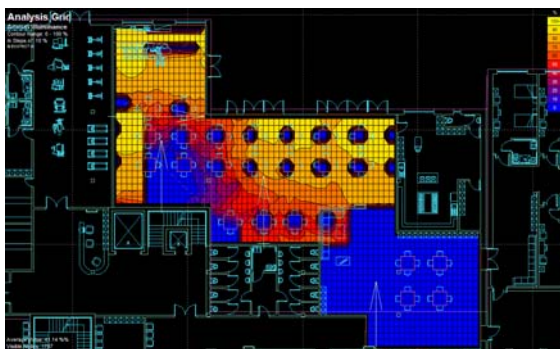


Figura 503 - DA_con, mensa

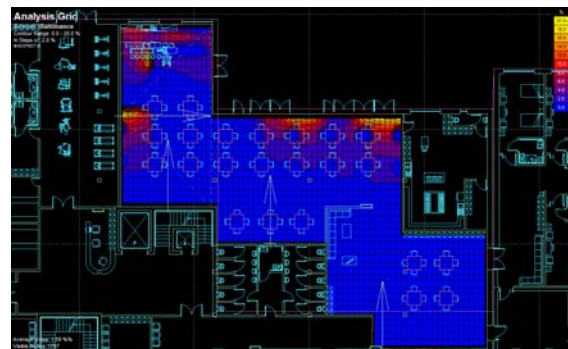


Figura 504 - DF, mensa

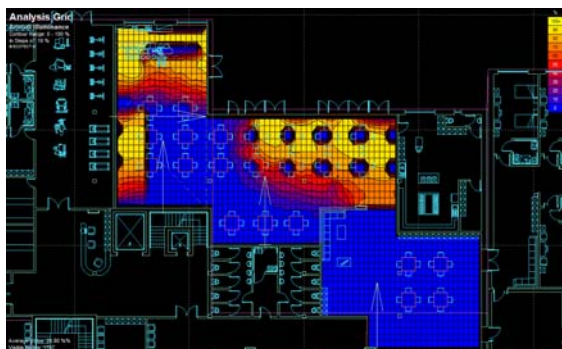


Figura 505 - DSP, mensa

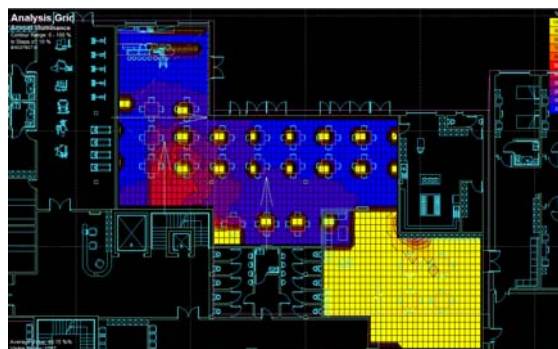


Figura 506 - UDI_{₁₀₀}



Figura 507 - UDI₁₀₀₋₂₀₀₀, mensa

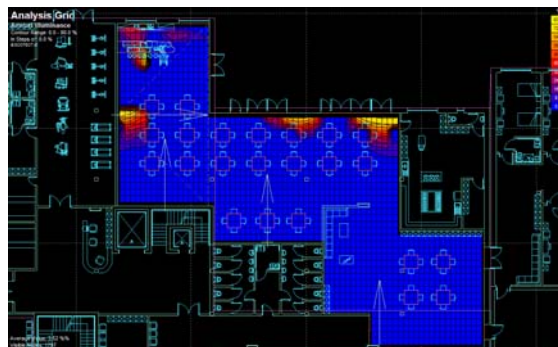


Figura 508 - UDI₂₀₀₀, mensa

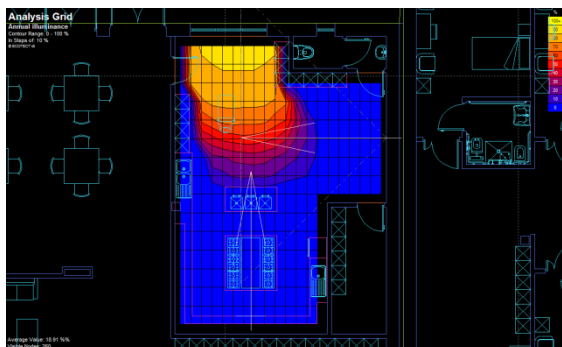


Figura 509 - DA, cucina

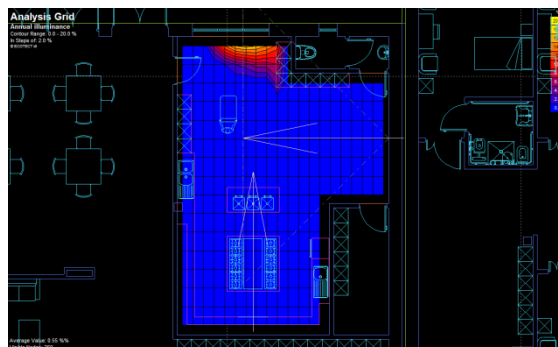


Figura 510 - DA_{max}, cucina

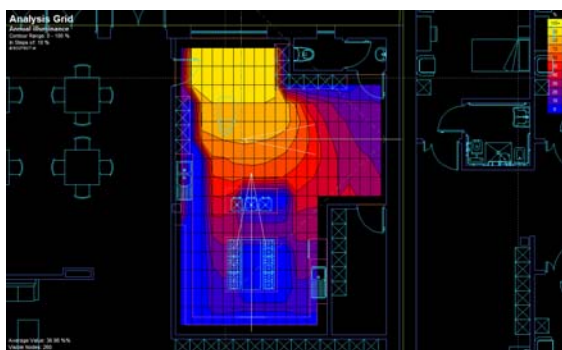


Figura 511 - DA_{con}, cucina

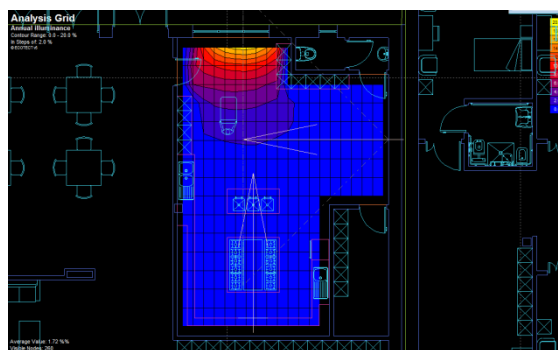


Figura 512 - DF, cucina

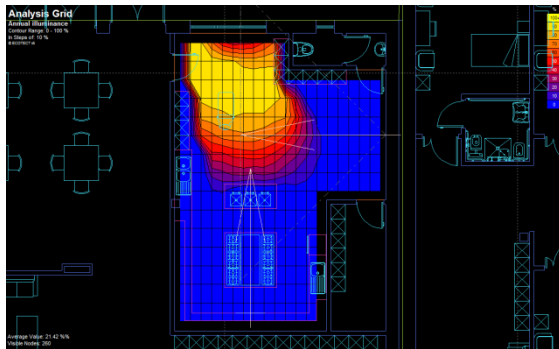


Figura 513 - DSP, cucina

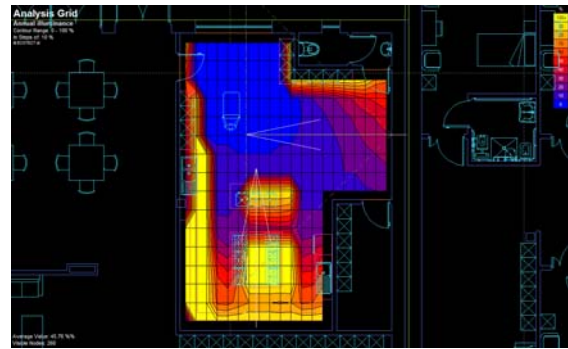


Figura 514 - UDI<100, cucina

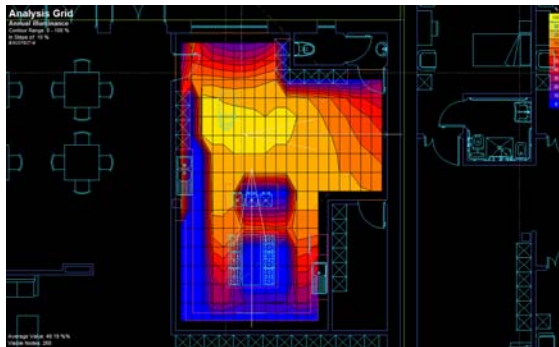


Figura 515 - UDI₁₀₀₋₂₀₀₀, cucina

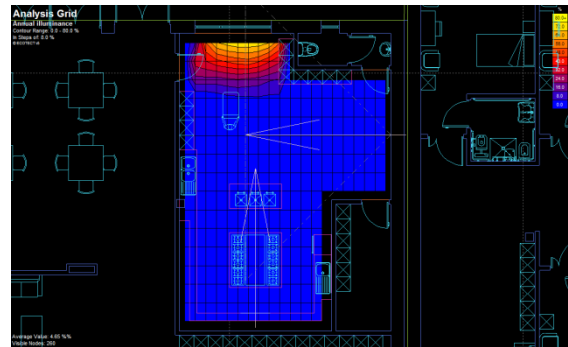


Figura 516 - UDI>2000, cucina

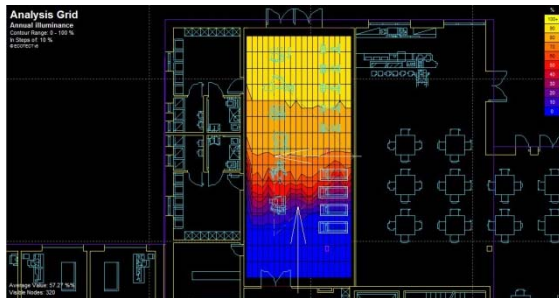


Figura 517 - DA, palestra

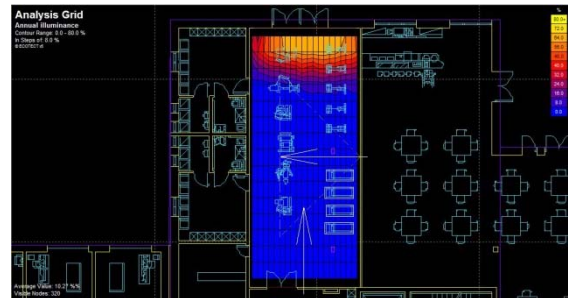


Figura 518 - DA_{max}, palestra

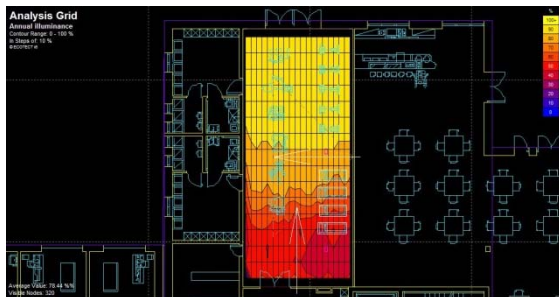


Figura 519 - DA_{con}, palestra

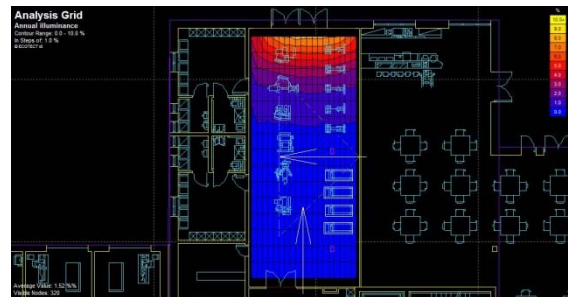


Figura 520 - DF, palestra

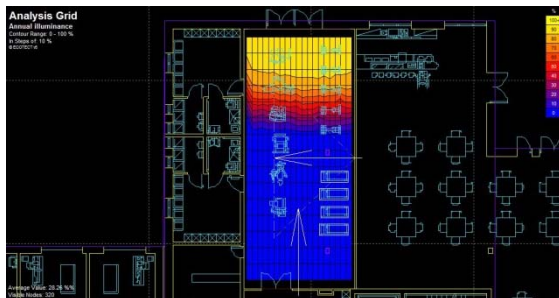


Figura 521 - DSP, palestra

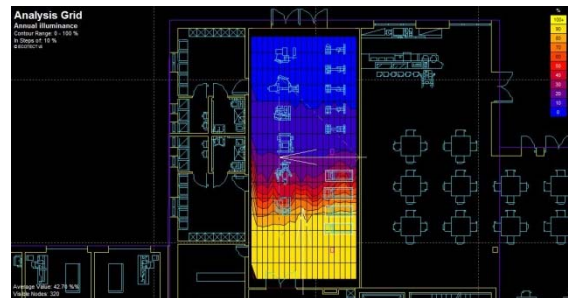


Figura 522 - UDI<100, palestra

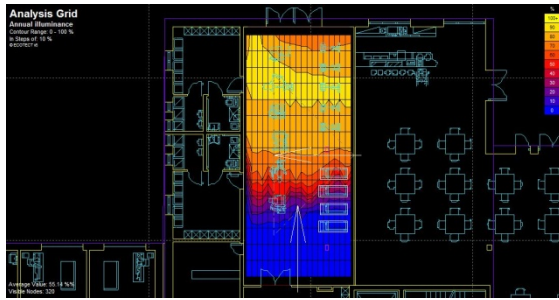


Figura 523 - UDI₁₀₀₋₂₀₀₀, palestra

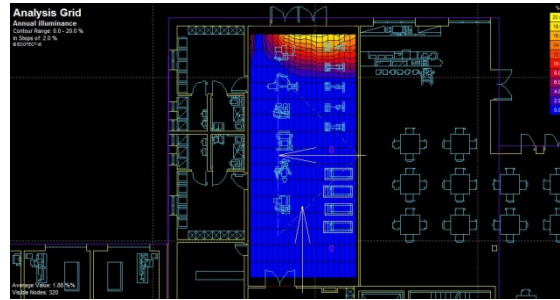


Figura 524 - UDI_{>2000}, palestra



Figura 525 - DA, camera

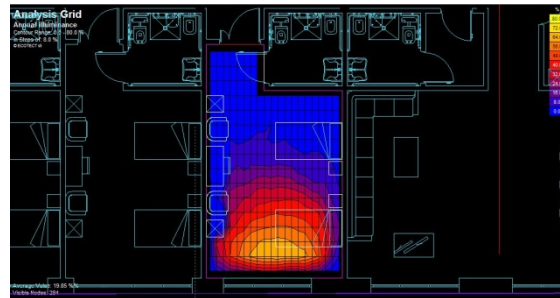


Figura 526 - DA_{max}, camera



Figura 527 - DA_{com}, camera

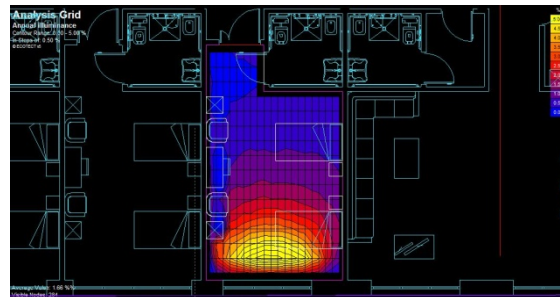


Figura 528 - DF, camera

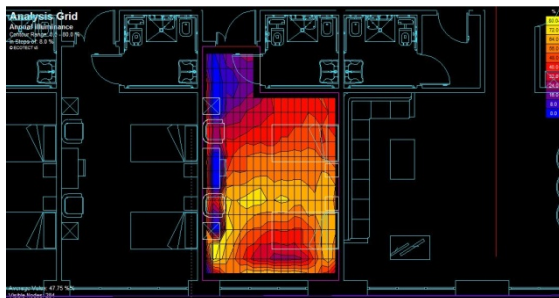


Figura 529 - DSP, camera



Figura 530 - UDI_{<100}, camera

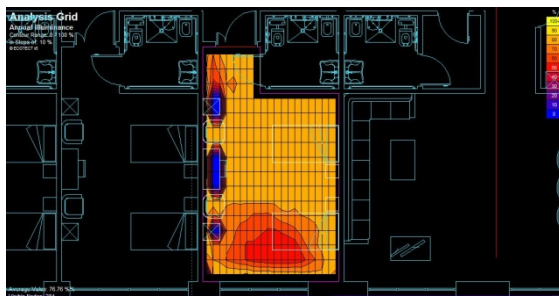


Figura 531 - UDI₁₀₀₋₂₀₀₀, camera

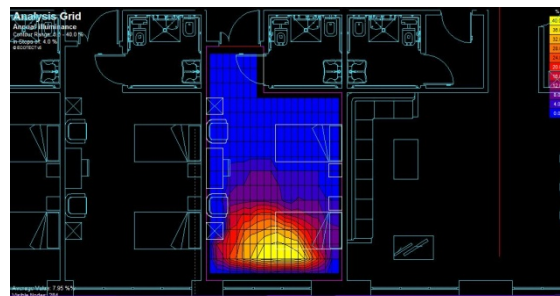


Figura 532 - UDI_{>2000}, camera

Mensa: illuminamento 200 lux

DA: valori dal 50 al 100% su buona parte della superficie, zona sud 0%; valore medio 41,14%

DA_{max}: 0% con eccezioni in prossimità di alcune finestre (anche 80%); valore medio 3,52%

DA_{con}: valori fra il 50 e il 100% ovunque, esclusa la zona sud prossima allo 0%; valore medio 53,21%

DF: vicino alle finestre della zona centrale arriva al 20%; valore medio 1,59%

DSP: 0% tranne sul lato ovest e nella zona centrale dove si arriva a 100%; valore medio 26,80%

UDI_{<100}: si raggiunge il 100% nella zona sud, valori vicino allo 0% nel resto della superficie; valore medio 47,98%

UDI₁₀₀₋₂₀₀₀: valori prossimi al 100% nel braccio ovest e nella zona centrale, 0% nella zona sud; valore medio 42,04%

UDI_{>2000}: generalmente 0%, con piccole zone di picco (80%) vicino alle finestre e nella mezzeria del lato ovest (riflesso della telecamera?); valore medio 3,52%

Vi è un accrescimento della DA (da 32,08 a 41,14%), che entra nell'intervallo dei valori consigliati, con un miglioramento del DF (da 1,22 a 1,59%), che però non arriva neanche al 2%, e del DSP (da 19,59 a 26,80%). L' UDI₁₀₀₋₂₀₀₀ resta invariata, mentre UDI_{<100} diminuisce (da 55,10 a 47,98%) e UDI_{>2000} cresce (da 2,50 a 3,52%), con un aumento della possibilità di abbagliamento (è ancora presente il punto con percentuale elevata dov'è localizzata la telecamera 4).

Cucina: illuminamento 500 lux

DA: vicino alla finestra arriva al 90% e allontanandosi si abbassa fino a 0%; valore medio 18,91%

DA_{max}: 0% con eccezioni in prossimità della finestra (fino al 20%); valore medio 0,55%

DA_{con}: vicino alla finestra 90%, valori diminuiscono gradualmente allontanandosi; valore medio 36,98%

DF: vicino alla finestra arriva al 18%; valore medio 1,72%

DSP: 0% tranne vicino alla finestra dove si arriva a 90%; valore medio 21,42%

UDI_{<100}: si raggiunge il 100% nella zona più a sud; valore medio 45,76%

UDI₁₀₀₋₂₀₀₀: valori fino al 90% nella zona centrale, 0% nella zona sud; valore medio 49,19%

UDI_{>2000}: generalmente 0%, con piccola zona di picco (80%) vicino alla finestra; valore medio 4,65%

Anche i parametri della cucina registrano un miglioramento: la DA passa dal 13,80 al 18,91%, rimanendo però al di sotto del limite di accettazione; il DF da 1,07 a 1,72 segnala un aumento dell'illuminamento; DSP conferma la tendenza (da 16,78 a 21,42%). L' UDI_{<100} presenta una percentuale inferiore alla prima prova (da 59,07 a 45,76%), l'UDI₁₀₀₋₂₀₀₀ è protagonista di un incremento di circa 10 punti percentuali e l' UDI_{>2000} cresce dall'1,10 al 4,65%. Vi è quindi un miglioramento generale delle condizioni di illuminazione suggeriti anche da DA_{max} e DA_{con}, ma lo standard rimane al di sotto del livello richiesto per lo svolgimento dell'attività in condizioni di comfort.

Palestra: illuminamento 100 lux

DA: zona nord 100%, zona sud 0%; valore medio 52,27%

DA_{max}: 0% con eccezioni in prossimità delle finestre (anche 80%); valore medio 10,27%

DA_{con}: zona nord prevalentemente 100%, zona sud 50%; valore medio 78,44%

DF: 0% con eccezioni in prossimità di alcune finestre (fino 8%); valore medio 1,52 %

DSP: zona nord 100%, zona sud 0%; valore medio 28,26%

UDI_{<100}: zona nord prevalentemente 0%, zona sud valori compresi tra 20% e 100%; valore medio 42,70%

UDI₁₀₀₋₂₀₀₀: zona nord prevalentemente 80%, zona sud valori compresi tra 0% e 70%; valore medio 55,14%

UDI_{>2000}: 0% con eccezioni in prossimità delle finestre (anche 20%); valore medio 1,88%

Con questa prova per la palestra vi è una riduzione degli indici: DA da 63,73 a 52,27%; DA_{max} da 11,86 a 10,27%, DA_{con} da 82,14 a 78,44%, DF da 1,76 a 1,52 %, DSP da 30,91 a 28,26%. L' UDI_{<100} aumenta da 36,29 a 42,70%, l'UDI₁₀₀₋₂₀₀₀ passa da 36,29 a 42,70%, l' UDI_{>2000} da 3,77 a 1,88%. Ciò rivela che benché la superficie vetrata sia la stessa, la sua distribuzione non consente miglioramenti del comfort visivo.

Camera: illuminamento 100 lux

DA: zona nord e sud prevalentemente 80%; valore medio 84,83%

DA_{max}: zona nord prevalentemente 0%, zona sud valori compresi tra 8% e 72%; valore medio 19,85%

DA_{con}: zona nord e sud 100%; valore medio 88,50%

DF: zona nord 0,50%, zona sud tra 1% e 5%; valore medio 1,66%

DSP: zona nord e sud prevalentemente 40%; valore medio 47,75%

UDI_{<100}: zona nord e sud prevalentemente 10%; valore medio 14,90%

UDI₁₀₀₋₂₀₀₀: zona nord 80%, zona sud valori compresi tra 50% e 80%; valore medio 76,76%

UDI_{>2000}: zona nord prevalentemente 0%, zona sud valori compresi tra 4% e 40%; valore medio 7,95%

La DA della camera si abbassa da 87,12 a 84,83%, DA_{max} da 32,20 a 19,85%, mentre la DA_{con} passa da 89,68 a 88,50%. Il DF che era il più alto fra le stanze, raggiunge livelli paragonabili a quelle esposte a nord-ovest (da 2,50 a 1,66%) e il DSP diminuisce dal 56,75 al 47,75%. Crescono i valori dell' UDI_{<100} e UDI₁₀₀₋₂₀₀₀ (rispettivamente da 12,57 a 14,90% e da 73,51 a 76,76%), mentre l' UDI_{>2000} cala da 13,58 a 7,95% denotando una migliore distribuzione dell'illuminamento con una riduzione del rischio di abbagliamento.

5.4. Considerazioni

Per quanto riguarda la luminanza e l'illuminamento non si notano grandi differenze; migliora invece il fattore di luce diurna per il compartimento camera. I parametri di abbagliamento migliorano leggermente: il DGP è quasi sempre sotto la soglia di abbagliamento come il DGI, mentre l'UGR indica abbagliamento disturbante.

La DA migliora per tutti i compartimenti (valori fra 40 e 60% sono considerati buoni), ma rivela una scarsa illuminazione: solo nel caso della mensa e della palestra si potrebbe essere soddisfatti; la cucina risulta poco illuminata e la camera troppo esposta.

Aumentano i valori di DA_{max} e DA_{con} per mensa e cucina, ma per palestra e camera diminuiscono.

Migliora il DF per mensa e cucina, ma peggiora per palestra e camera, sempre più lontane dal valore consigliabile del 5%.

Il DSP aumenta sensibilmente per mensa e cucina e diminuisce per gli altri due compartimenti.

I valori dell'UDI_{<100} diminuiscono per mensa e cucina, mentre aumentano per palestra e camera; UDI₁₀₀₋₂₀₀₀ per la mensa resta costante, per la cucina e la camera aumenta e per la palestra diminuisce; UDI_{>2000} aumenta per mensa e cucina e si riduce per gli altri due compartimenti.

Nel complesso la situazione della mensa, cambiando le finestre affacciate sulla parte centrale, migliora, ma bisogna pur considerare che vi è sempre una zona svantaggiata, rappresentata dall'ala sud, che non riceve abbastanza luce nell'arco della giornata.

Anche la cucina migliora la propria situazione, ma resta comunque poco illuminata.

La palestra risulta poco esposta ai raggi solari e sebbene attraverso il DA sembri che la situazione sia migliorata, gli altri parametri rivelano una diminuzione dell'illuminazione, oltre che ovviamente delle possibilità di abbagliamento.

La camera, l'unica stanza esposta a sud, con il cambiamento del serramento subisce una riduzione delle entrate luminose, quindi i rischi di abbagliamento si abbassano ma il DF esprime un livello ancora basso di illuminamento.

Sicuramente, com'è ovvio che sia, ogni ambiente ha bisogno di un impianto di illuminazione artificiale per supplire alle carenze dell'illuminazione naturale ad alcuni orari. Si potrebbe studiare una soluzione ulteriore per accrescere il livello di illuminazione della zona a sud della mensa attraverso l'inserimento di un light-shelf, che normalmente viene utilizzato a sud, ma che potrebbe comunque permettere la riflessione della luce sul soffitto in profondità fino alla zona interessata. La camera risulta essere, giustamente, la stanza più illuminata e più a rischio d'abbagliamento; tuttavia gli indici rivelano una situazione che non giunge mai a livelli intollerabili, per questo si suggerisce la disposizione di sistemi di schermatura mobili, come tende o brise soleil, regolabili a piacere dall'utente.

5.5. Light-shelf

Un light-shelf è un sistema di daylighting progettato per schermare la luce e rifletterla sulla sua superficie superiore e per riparare dall'abbagliamento diretto proveniente dal cielo. È una mensola orizzontale o quasi orizzontale (leggermente inclinata), opaca, riflettente, posta nel mezzo di un'apertura di facciata esternamente e/o internamente rispetto ad essa, in modo tale da dividerla in due parti che possono essere trattate con tipologie diverse di superfici vetrate: la parte inferiore di questo elemento costituisce l'oggetto della finestra inferiore, la parte superiore è rifinita in materiale riflettente (speculare o, più spesso, diffondente) in modo da indirizzare la radiazione solare incidente verso il soffitto (chiaro), passando attraverso la finestra superiore, e dal soffitto distribuirlo in ambiente attraverso una seconda riflessione diffondente. Il light-shelf può essere parte integrante della facciata o essere fissato all'edificio.

I light-shelves possono utilizzare sistemi ottici avanzati per portare la luce in profondità verso le zone più lontane dalla finestra. Generalmente sono impiegati per evitare l'abbagliamento e allo stesso tempo mantenere la vista verso l'esterno; la loro posizione è dettata dalla configurazione della stanza, dall'altezza del soffitto e dall'altezza degli occhi di una persona in piedi nella stanza. In generale, minore è l'altezza del light-shelf, maggiore sarà l'abbagliamento e la quantità di luce riflessa al soffitto.

In termini di dimensionamento, la profondità della mensola interna dovrebbe essere almeno pari all'altezza della finestra superiore, la profondità dell'oggetto esterno dovrebbe essere pari alla sua altezza rispetto al piano di lavoro. Un'inclinazione delle mensole verso l'alto produce un miglioramento della penetrazione della luce riflessa, e una riduzione dell'effetto schermante;

viceversa, un'inclinazione verso il basso produce un miglioramento dell'effetto schermante e una riduzione della penetrazione della luce riflessa.

La finitura del light-shelf ne influenza l'“efficienza” e il direzionamento della luce verso il soffitto: una finitura opaca produce una riflessione diffusa (non direzionale), mentre con una finitura altamente riflettente la radiazione viene riflessa con un angolo praticamente uguale a quello incidente (riflessione speculare). Una finitura semi-speculare può talvolta risultare la soluzione migliore. Una possibilità alternativa può essere quella di trattare il light-shelf con film prismatico riflettente, che consente alla luce di arrivare più in profondità all'interno della stanza.

La quantità totale di luce diurna può essere accresciuta usando un light-shelf esterno, in misura maggiore o minore a seconda della geometria della mensola e del trattamento della superficie. In generale, la maggior parte dei light-shelf tradizionali non producono alti livelli di illuminamento in profondità all'interno di un ambiente, così i risparmi energetici sono modesti. Invece una stanza in cui viene applicato un light-shelf trattato otticamente usa un quantitativo minore di elettricità annua totale per l'illuminazione rispetto ad una stanza in cui è applicato un light-shelf convenzionale.

I light-shelf necessitano di una pulizia regolare. Nel caso di light-shelf trattati otticamente, dal momento che questi sono completamente sigillati, non richiedono altra manutenzione ordinaria oltre alla pulizia del vetro esterno e interno.

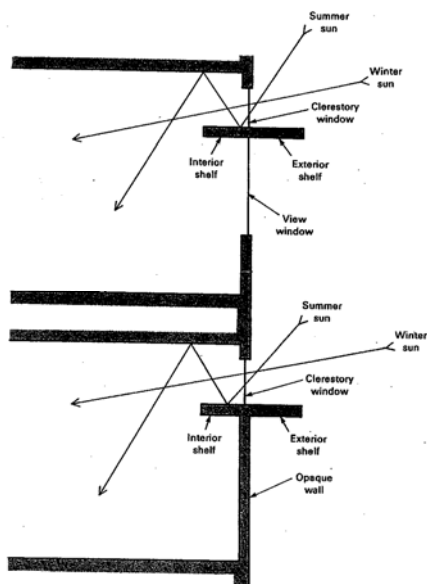


Figura 533 - Schema di funzionamento del light-shelf



Figura 534 - Esempio di light-shelf

6. Analisi illuminazione naturale: introduzione light-shelf nella mensa (prova 3)

È stato inserito un light-shelf che attraversa le finestre più vicine alla cucina (versione finestre della prova 2) per la loro intera larghezza, sporgente 60 cm dalla facciata verso l'esterno e altri 60 cm verso l'interno, a 2 m da terra e 50 cm dalle finestre "claristorio", spesso 10 cm e con una superficie superiore con riflettanza pari al 93%.

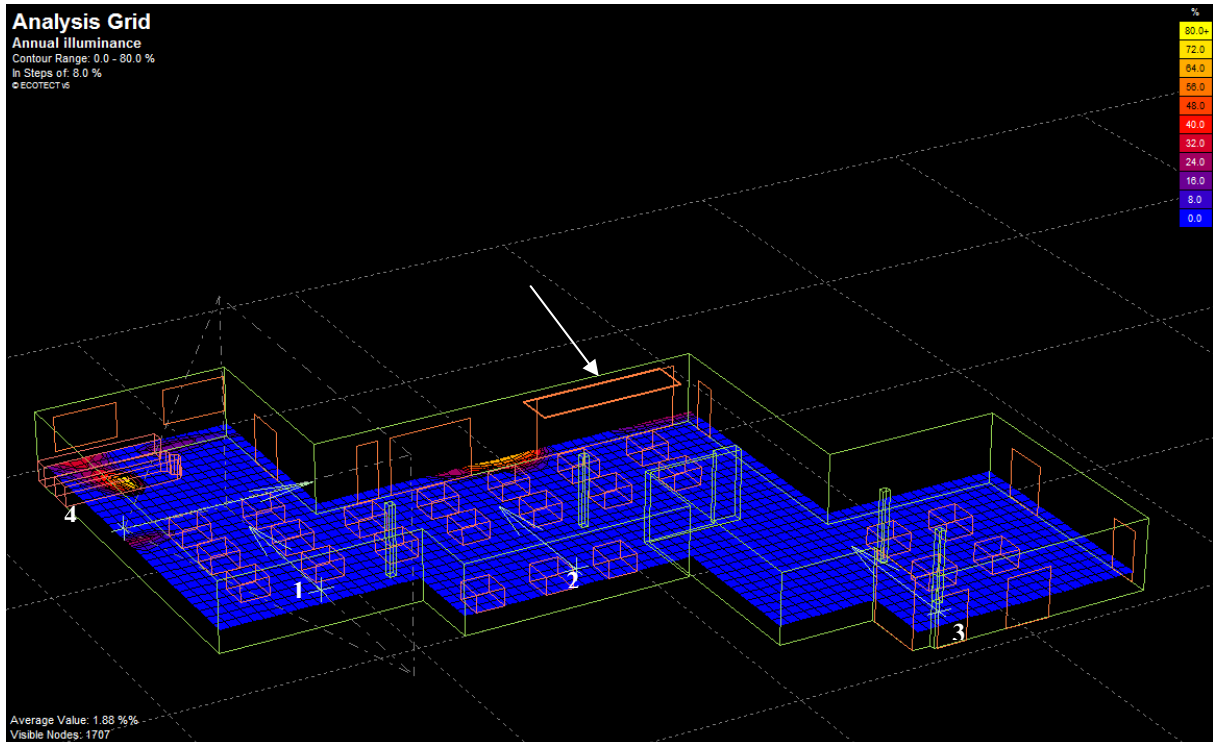


Figura 535 - Schermata di Ecotect: mensa con light-shelf (le frecce numerate indicano le telecamere)

6.1. Radiance

6.1.1. 21 marzo

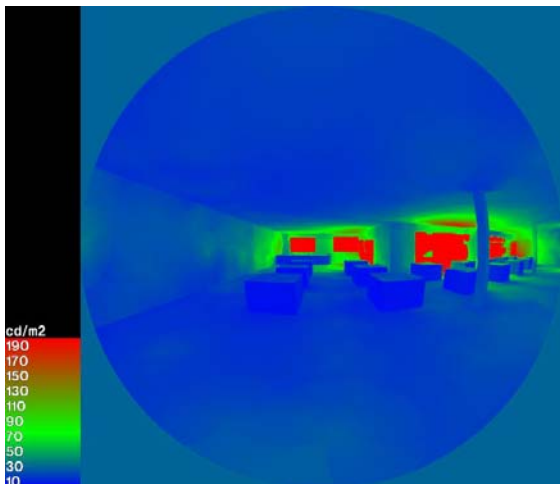


Figura 536 - Luminanza mensa, telecamera 1, ore 7.00

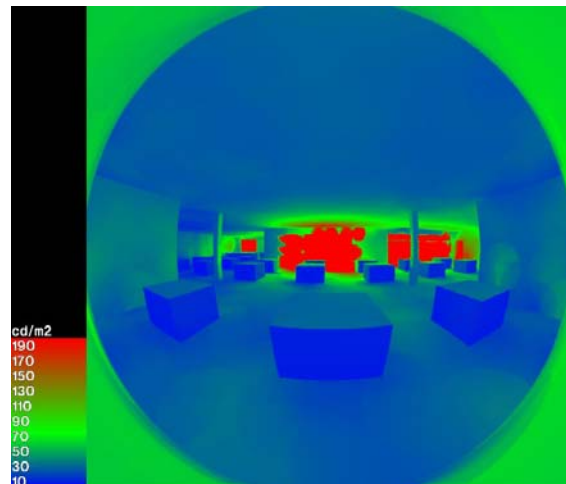


Figura 537 - Luminanza mensa, telecamera 2, ore 7.00

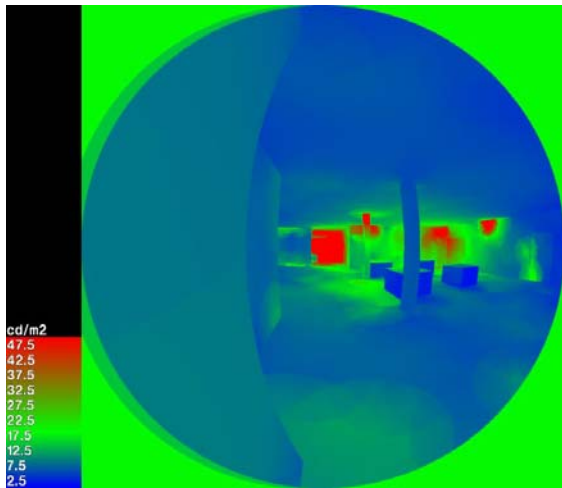


Figura 538 - Luminanza mensa, telecamera 3, ore 7.00

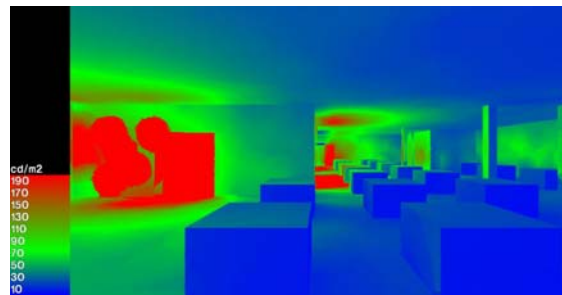


Figura 539 - Luminanza mensa, telecamera 4, ore 7.00

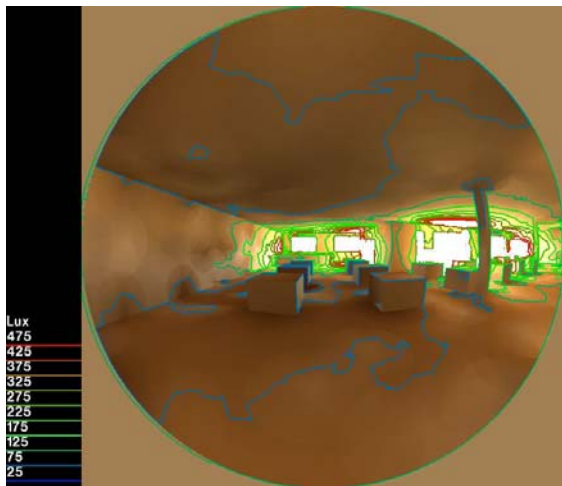


Figura 540 - Illuminamento mensa, telecamera 1, ore 7.00

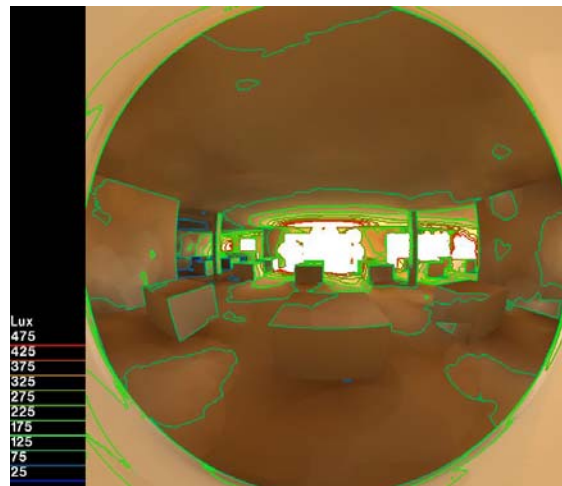


Figura 541 - Illuminamento mensa, telecamera 2, ore 7.00

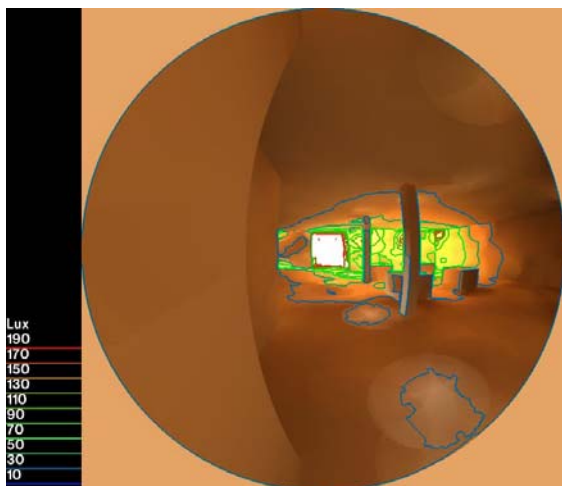


Figura 542 - Illuminamento mensa, telecamera 3, ore 7.00

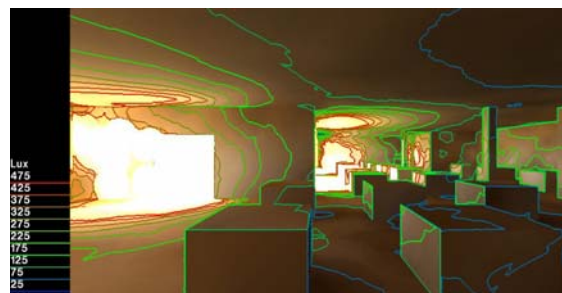


Figura 543 - Illuminamento mensa, telecamera 4, ore 7.00

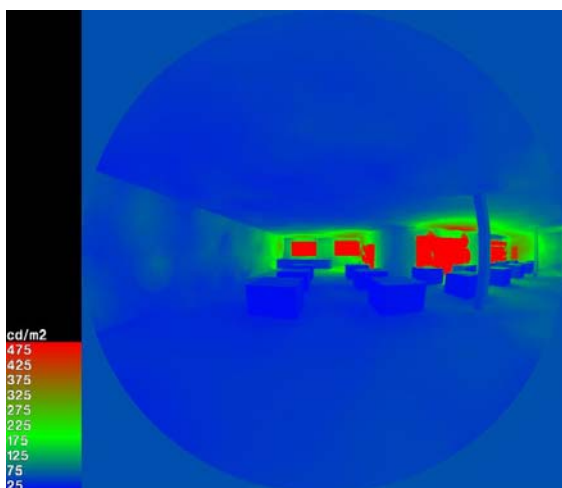


Figura 544 - Luminanza mensa, telecamera 1, ore 12.00

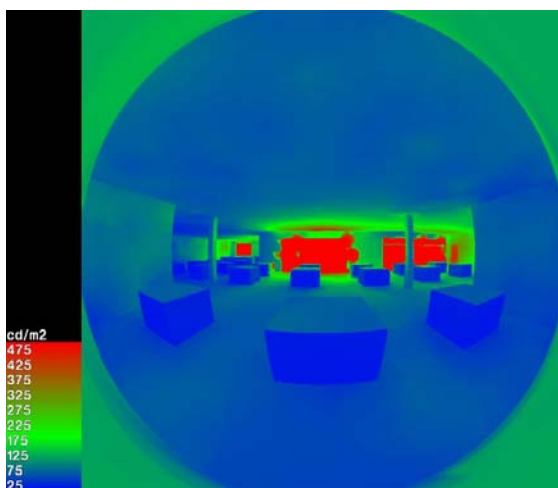


Figura 545 - Luminanza mensa, telecamera 2, ore 12.00

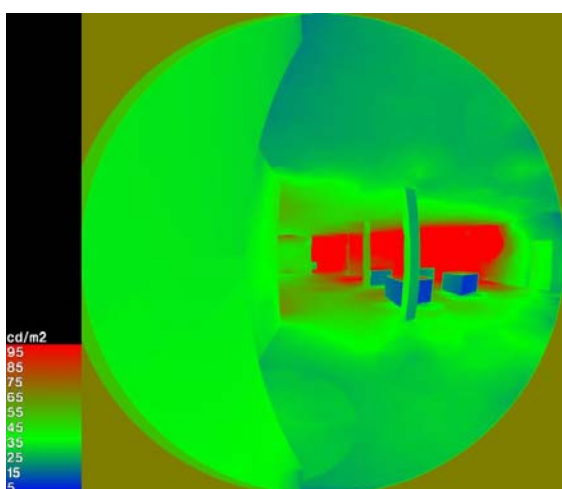


Figura 546 - Luminanza mensa, telecamera 3, ore 12.00

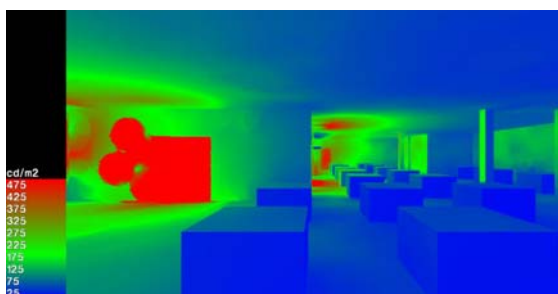


Figura 547 - Luminanza mensa, telecamera 4, ore 12.00

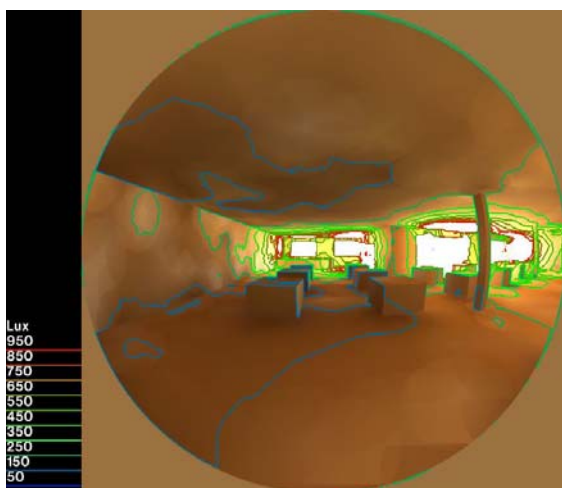


Figura 548 - Illuminamento mensa, telecamera 1, ore 12.00

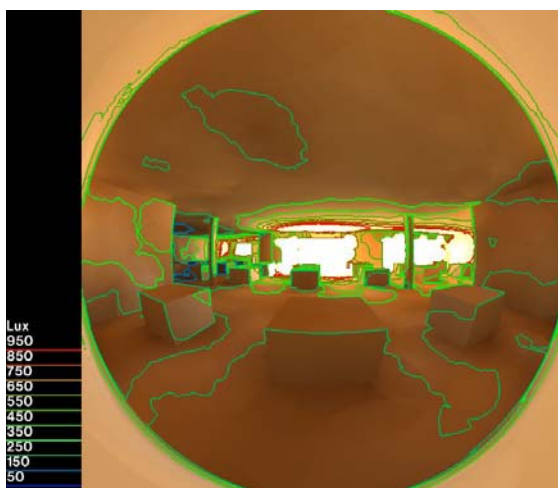


Figura 549 - Illuminamento mensa, telecamera 2, ore 12.00

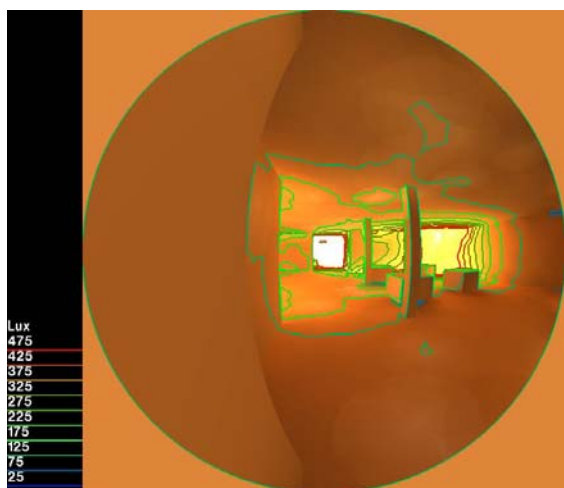


Figura 550 - Illuminamento mensa, telecamera 3, ore 12.00

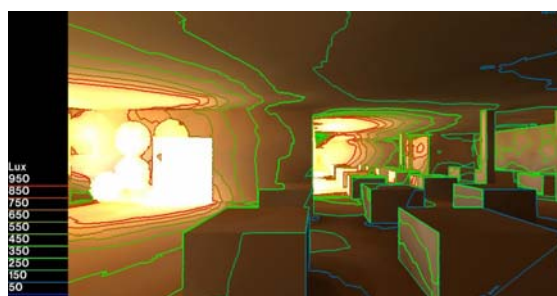


Figura 551 - Illuminamento mensa, telecamera 4, ore 12.00

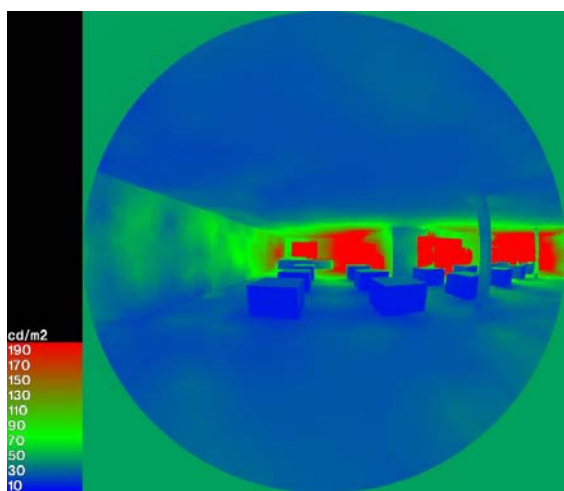


Figura 552 - Luminanza mensa, telecamera 1, ore 17.00

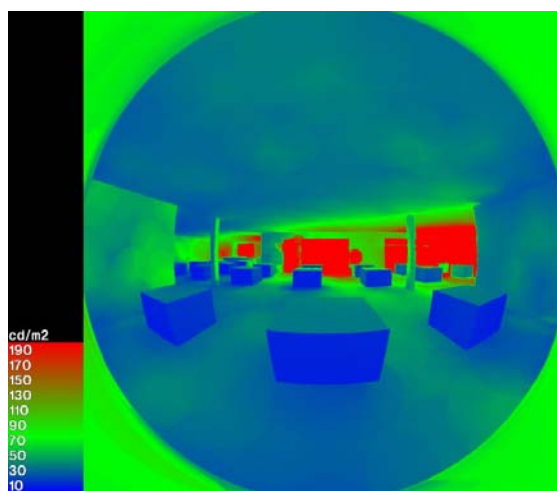


Figura 553 - Luminanza mensa, telecamera 2, ore 17.00

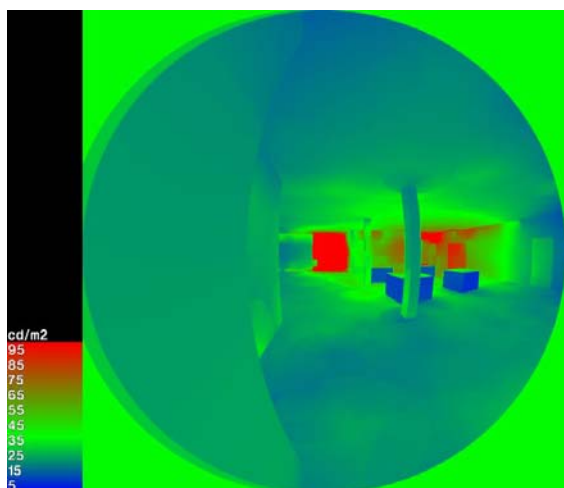


Figura 554 - Luminanza mensa, telecamera 3, ore 17.00

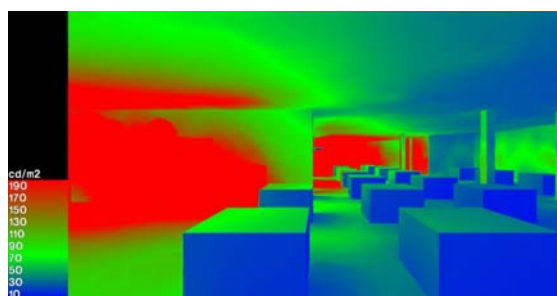


Figura 555 - Luminanza mensa, telecamera 4, ore 17.00

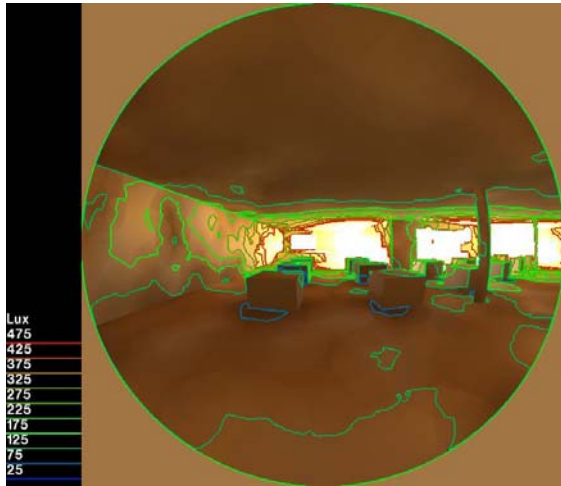


Figura 556 - Illuminamento mensa, telecamera 1, ore 17.00

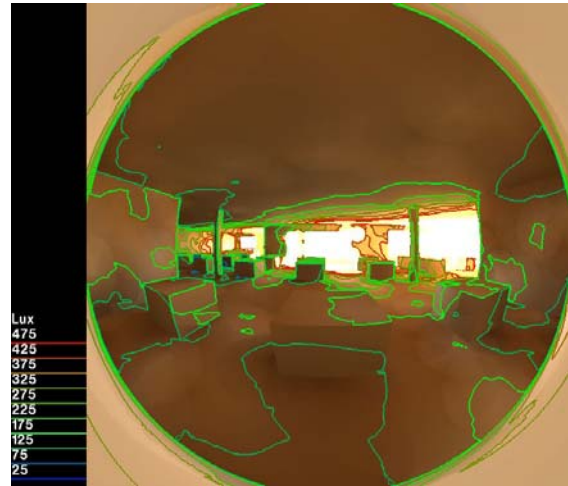


Figura 557 - Illuminamento mensa, telecamera 2, ore 17.00

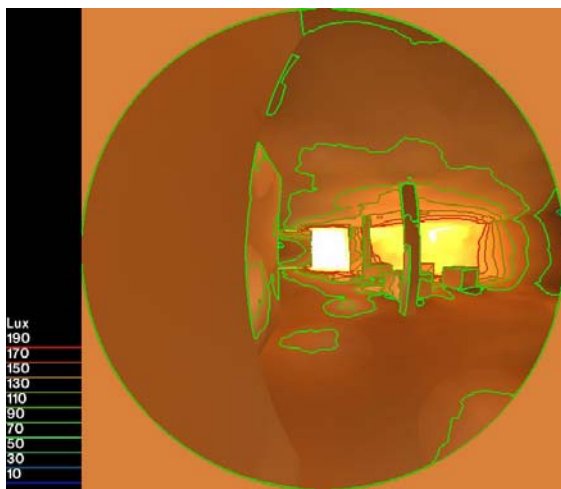


Figura 558 - Illuminamento mensa, telecamera 3, ore 17.00

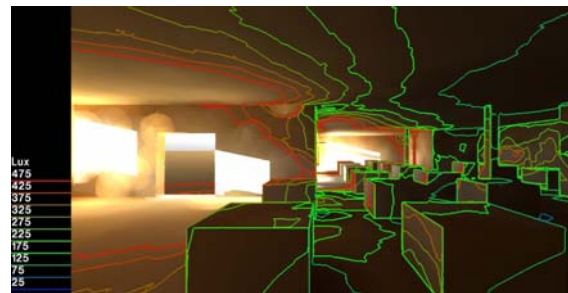


Figura 559 - Illuminamento mensa, telecamera 4, ore 17.00

Ore 7.00: luminanza 60 cd/m^2 ; illuminamento 125 lux.

Ore 12.00: luminanza circa 75 cd/m^2 ; illuminamento 175 lux.

Ore 17.00: luminanza 60 cd/m^2 ; illuminamento 150 lux.

Negli orari scelti per l'equinozio di primavera il livello di luminosità dell'ambiente è piuttosto basso (non si raggiungono i 200 lux previsti).

6.1.2. 21 giugno

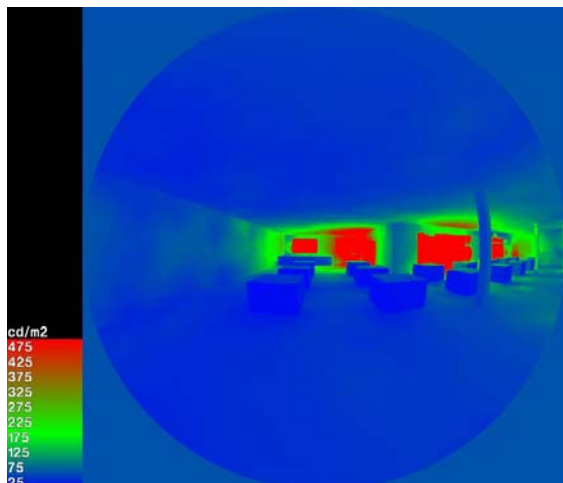


Figura 560 - Luminanza mensa, telecamera 1, ore 7.00

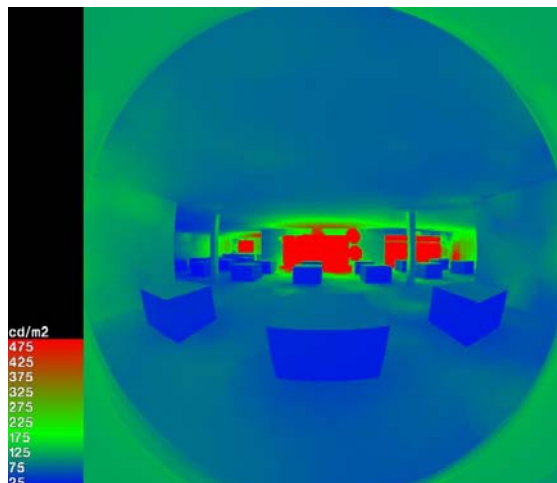


Figura 561 - Luminanza mensa, telecamera 2, ore 7.00

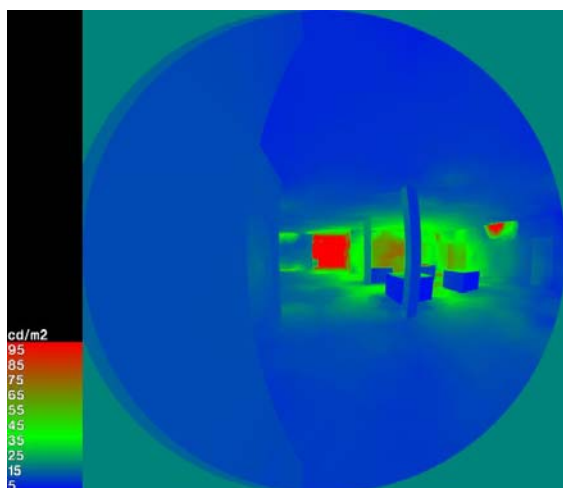


Figura 562 - Luminanza mensa, telecamera 3, ore 7.00

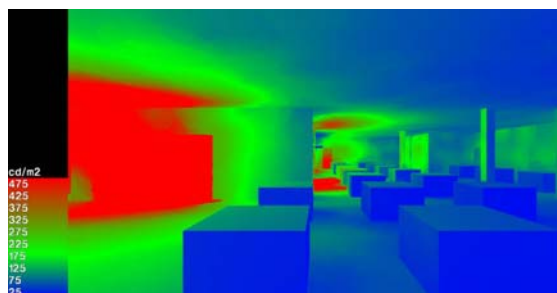


Figura 563 - Luminanza mensa, telecamera 4, ore 7.00

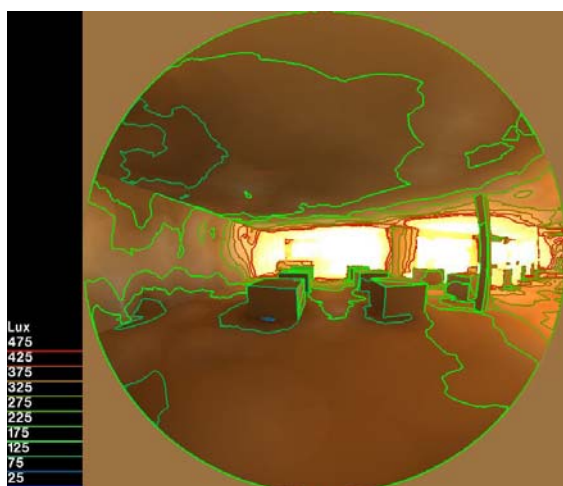


Figura 564 - Illuminamento mensa, telecamera 1, ore 7.00

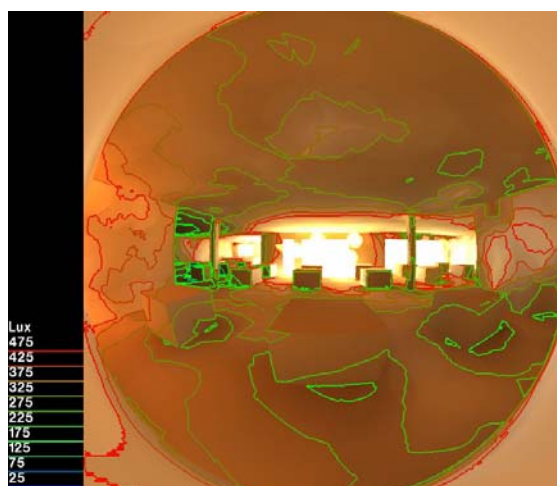


Figura 565 - Illuminamento mensa, telecamera 2, ore 7.00

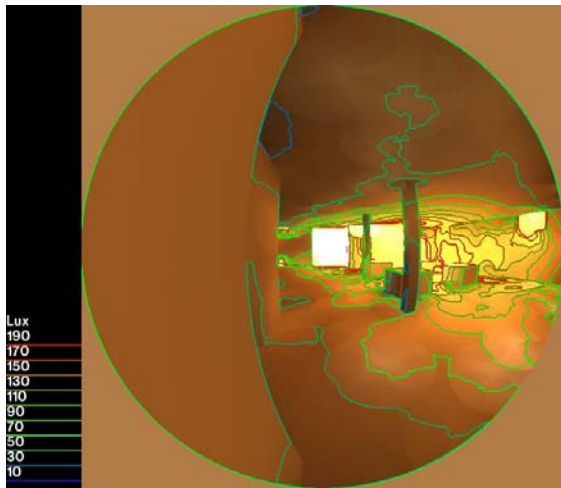


Figura 566 - Illuminamento mensa, telecamera 3, ore 7.00

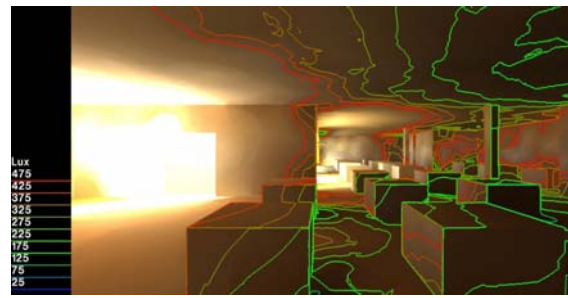


Figura 567 - Illuminamento mensa, telecamera 4, ore 7.00

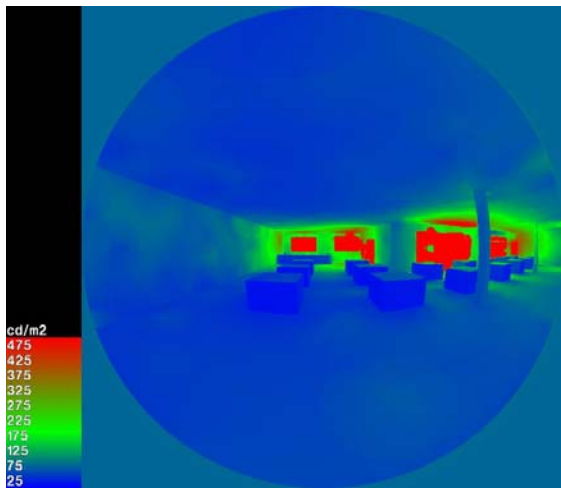


Figura 568 - Luminanza mensa, telecamera 1, ore 12.00

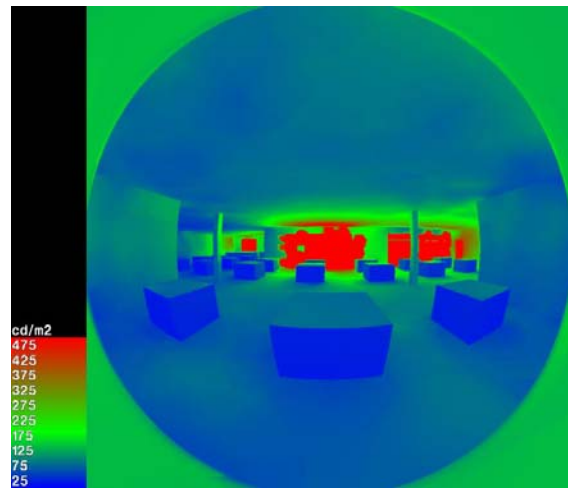


Figura 569 - Luminanza mensa, telecamera 2, ore 12.00

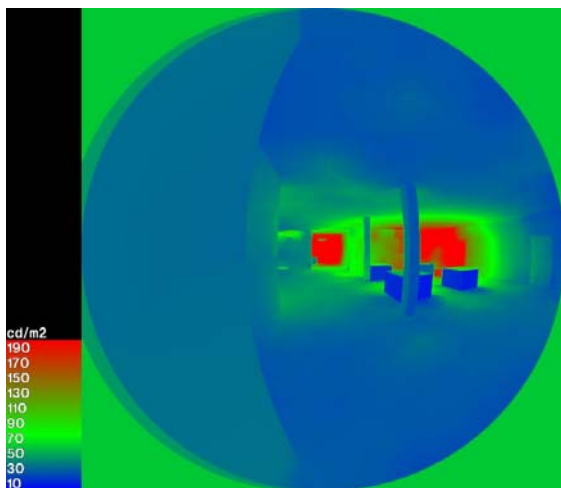


Figura 570 - Luminanza mensa, telecamera 3, ore 12.00

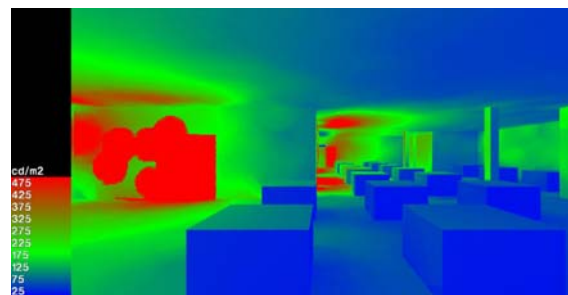


Figura 571 - Luminanza mensa, telecamera 4, ore 12.00

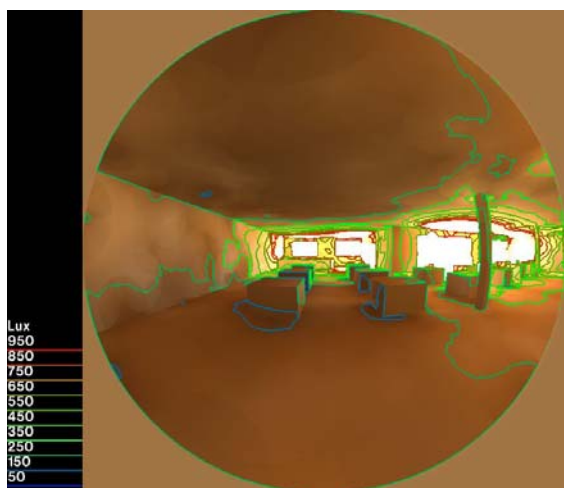


Figura 572 - Illuminamento mensa, telecamera 1, ore 12.00

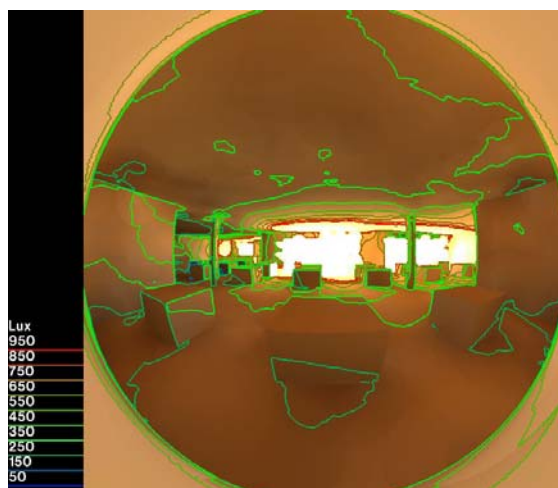


Figura 573 - Illuminamento mensa, telecamera 2, ore 12.00

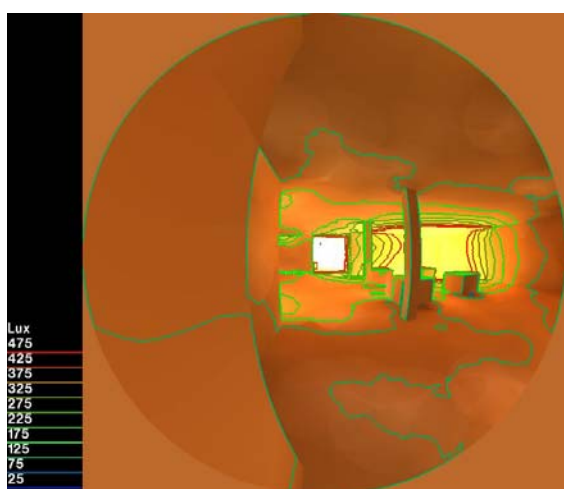


Figura 574 - Illuminamento mensa, telecamera 3, ore 12.00

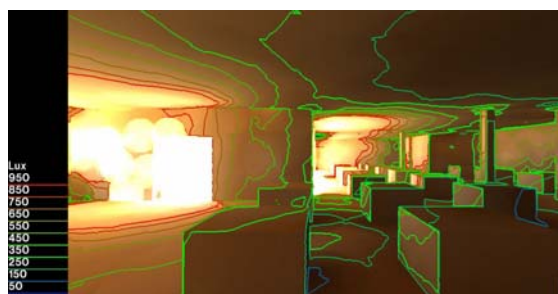


Figura 575 - Illuminamento mensa, telecamera 4, ore 12.00

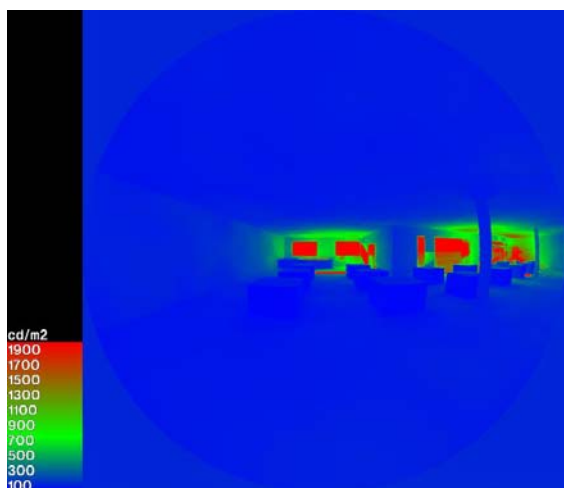


Figura 576 - Luminanza mensa, telecamera 1, ore 17.00

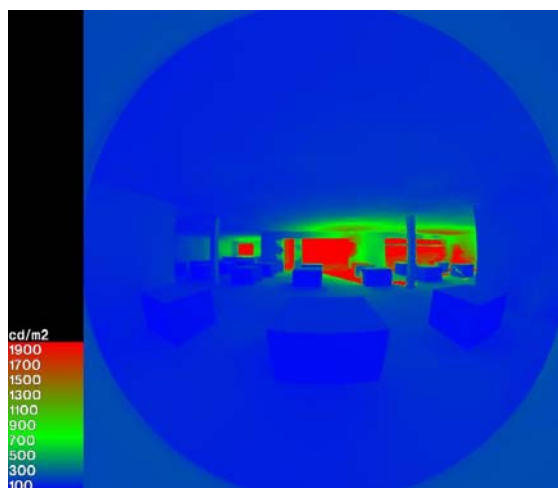


Figura 577 - Luminanza mensa, telecamera 2, ore 17.00

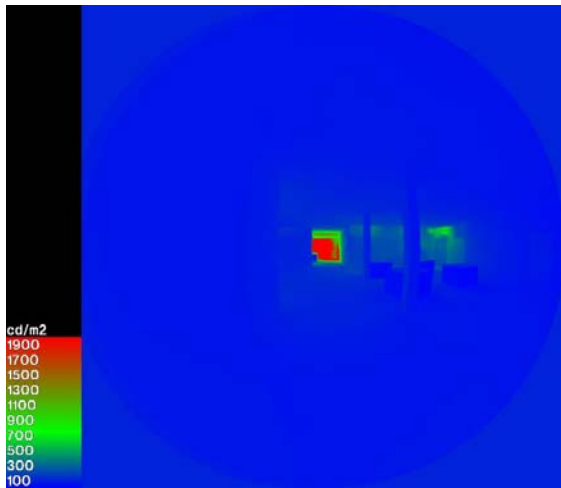


Figura 578 - Luminanza mensa, telecamera 3, ore 17.00

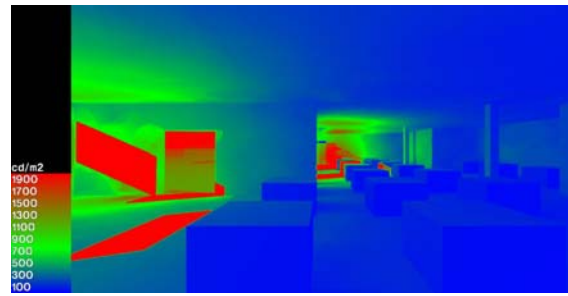


Figura 579 - Luminanza mensa, telecamera 4, ore 17.00

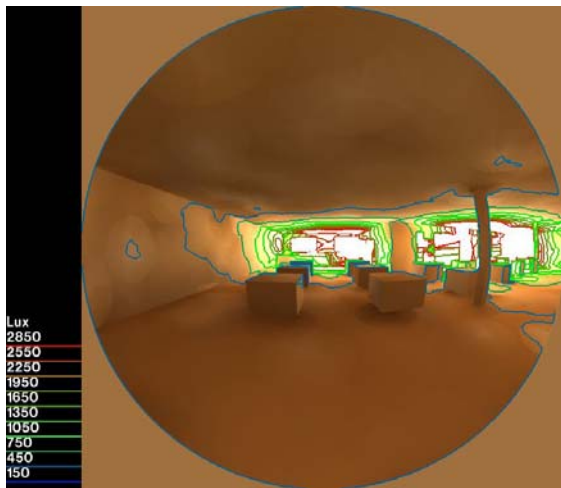


Figura 580 - Illuminamento mensa, telecamera 1, ore 17.00

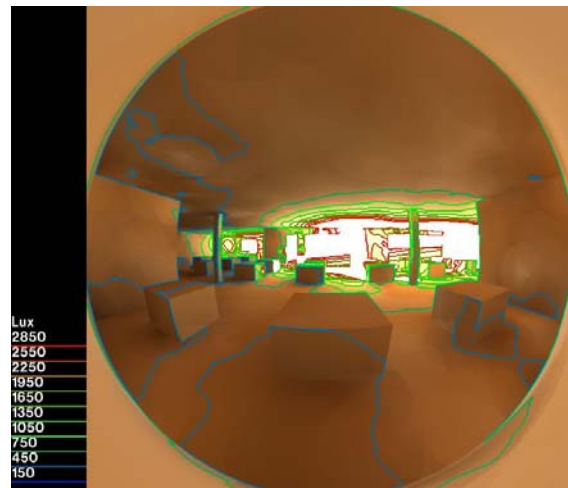


Figura 581 - Illuminamento mensa, telecamera 2, ore 17.00

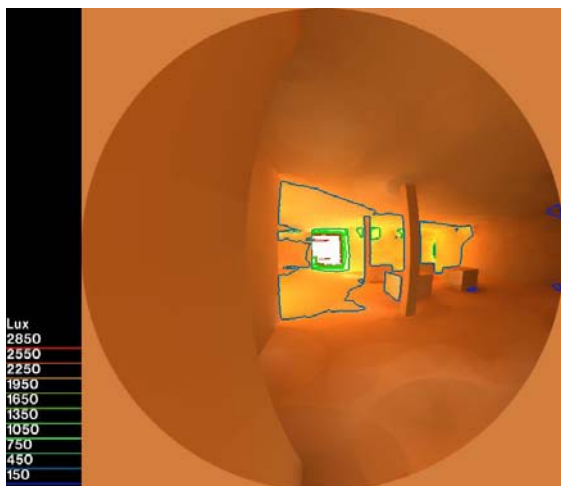


Figura 582 - Illuminamento mensa, telecamera 3, ore 17.00

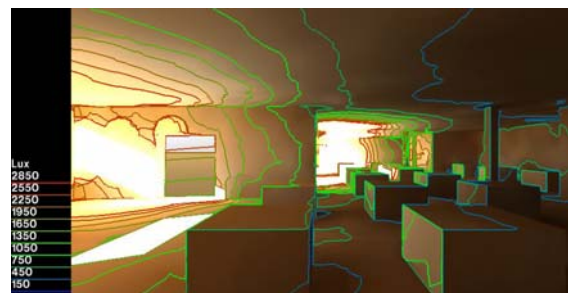


Figura 583 - Illuminamento mensa, telecamera 4, ore 17.00

Ore 7.00: luminanza 75 cd/m^2 ; illuminamento 300 lux.

Ore 12.00: luminanza 100 cd/m^2 ; illuminamento 350 lux.

Ore 17.00: luminanza 90 cd/m^2 ; illuminamento 400 lux.

Con il solstizio d'estate il livello minimo di illuminazione è assicurato, anzi sembra anche eccessivo.

6.1.3. 21 dicembre

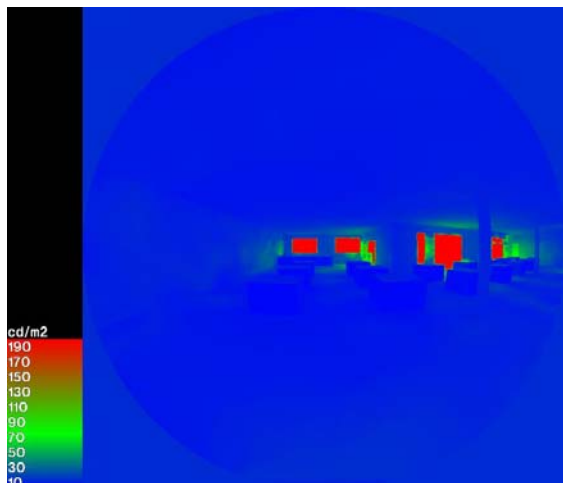


Figura 584 - Luminanza mensa, telecamera 1, ore 7.00

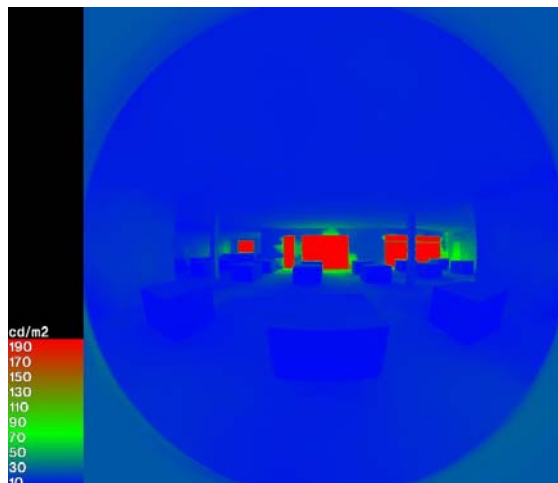


Figura 585 - Luminanza mensa, telecamera 2, ore 7.00

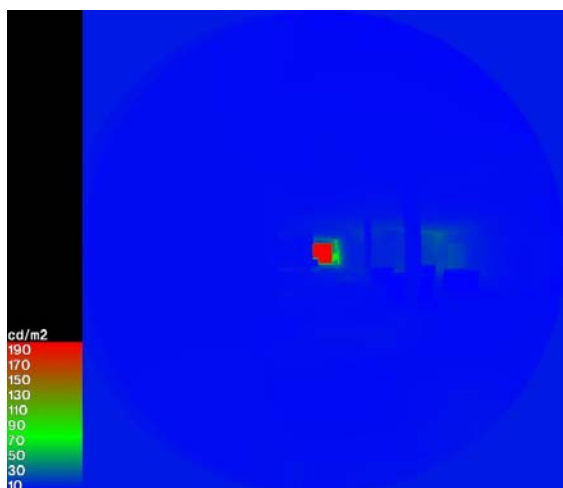


Figura 586 - Luminanza mensa, telecamera 3, ore 7.00

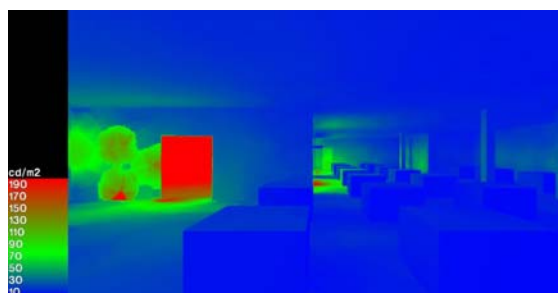


Figura 587 - Luminanza mensa, telecamera 4, ore 7.00

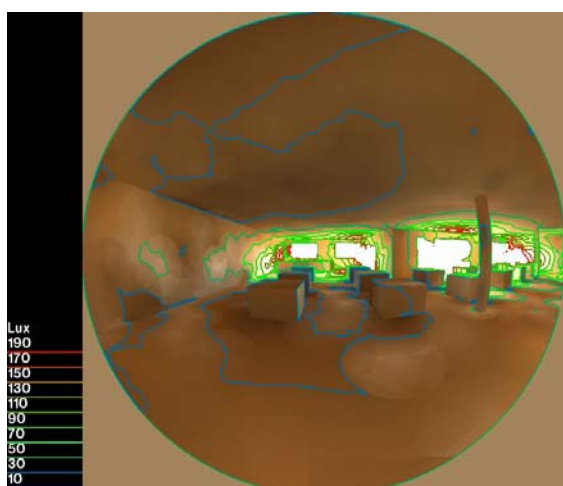


Figura 588 - Illuminamento mensa, telecamera 1, ore 7.00

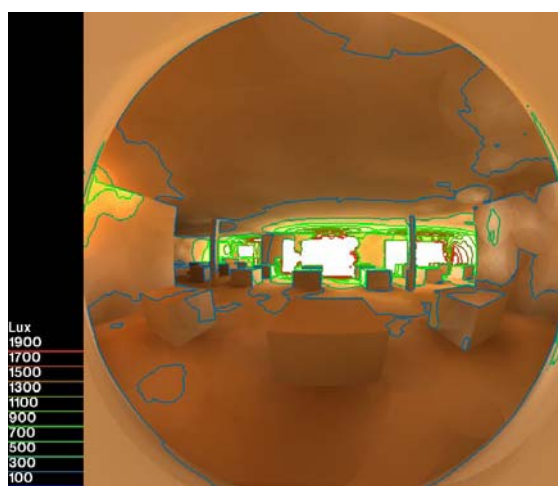


Figura 589 - Illuminamento mensa, telecamera 2, ore 7.00

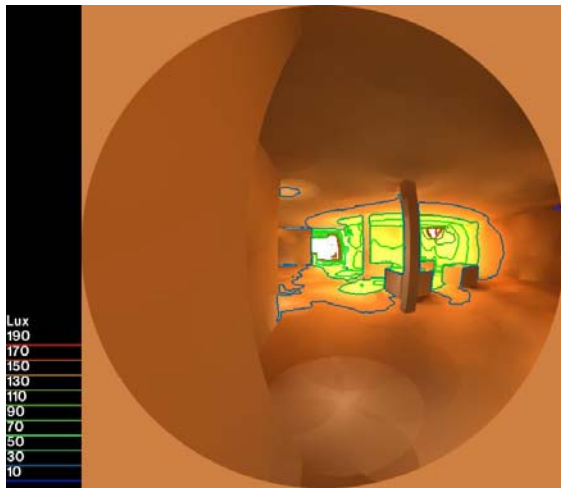


Figura 590 - Illuminamento mensa, telecamera 3, ore 7.00

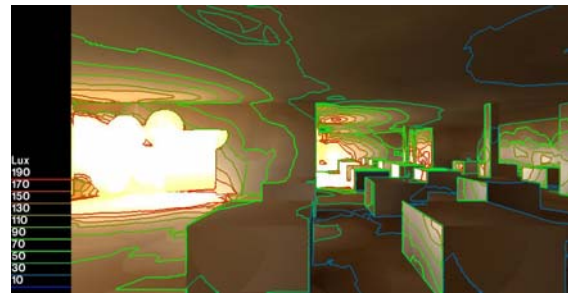


Figura 591 - Illuminamento mensa, telecamera 4, ore 7.00

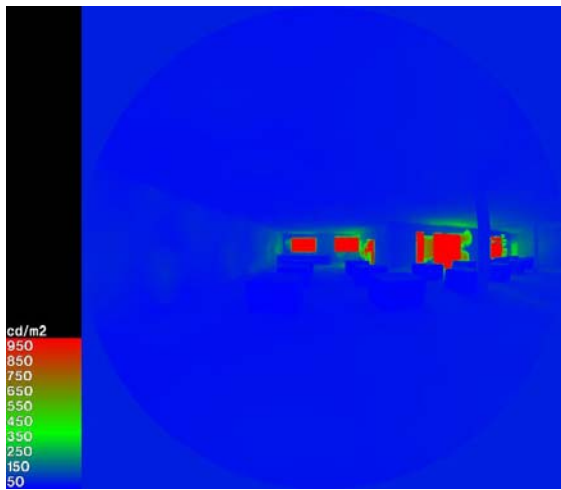


Figura 592 - Luminanza mensa, telecamera 1, ore 12.00

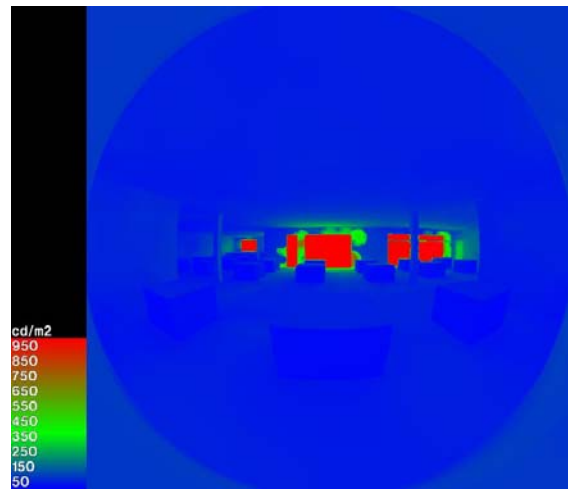


Figura 593 - Luminanza mensa, telecamera 2, ore 12.00

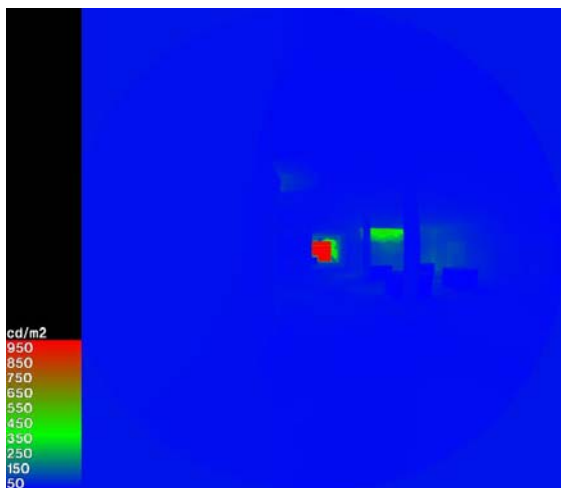


Figura 594 - Luminanza mensa, telecamera 3, ore 12.00

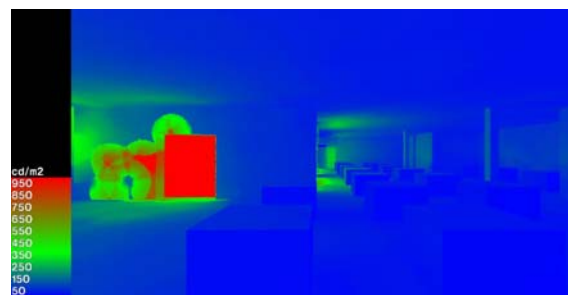


Figura 595 - Luminanza mensa, telecamera 4, ore 12.00

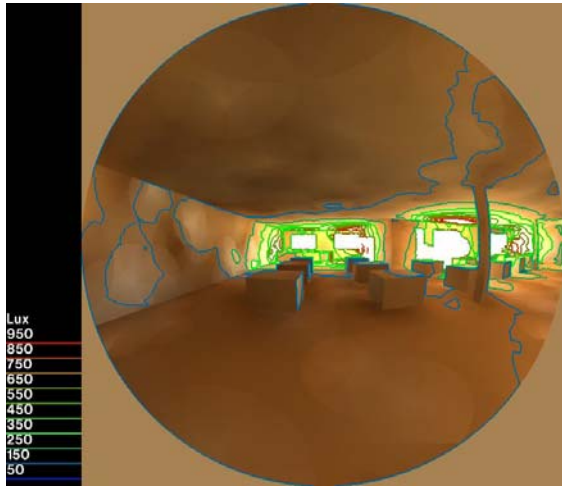


Figura 596 - Illuminamento mensa, telecamera 1, ore 12.00

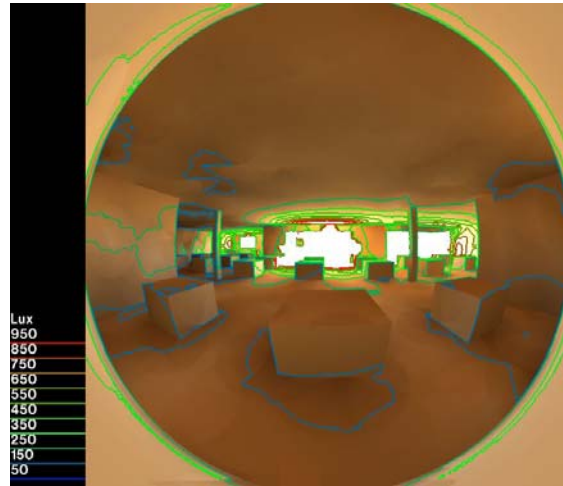


Figura 597 - Illuminamento mensa, telecamera 2, ore 12.00

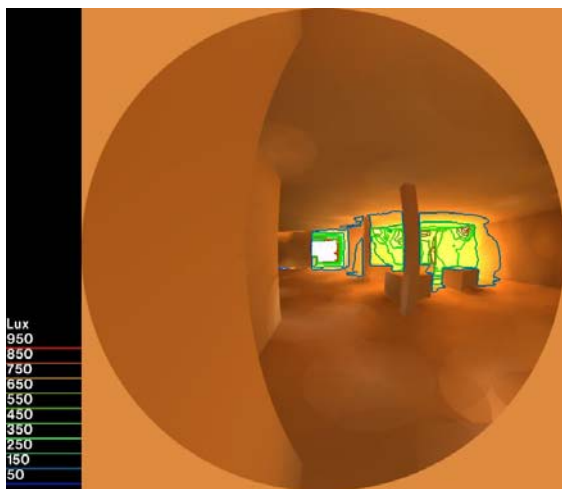


Figura 598 - Illuminamento mensa, telecamera 3, ore 12.00

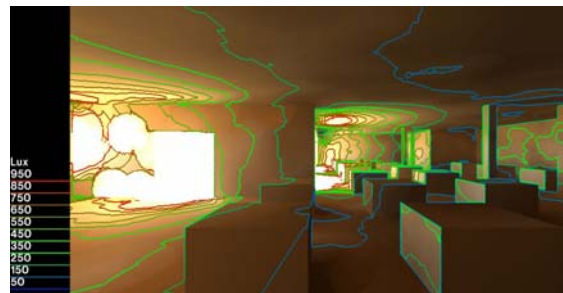


Figura 599 - Illuminamento mensa, telecamera 4, ore 12.00

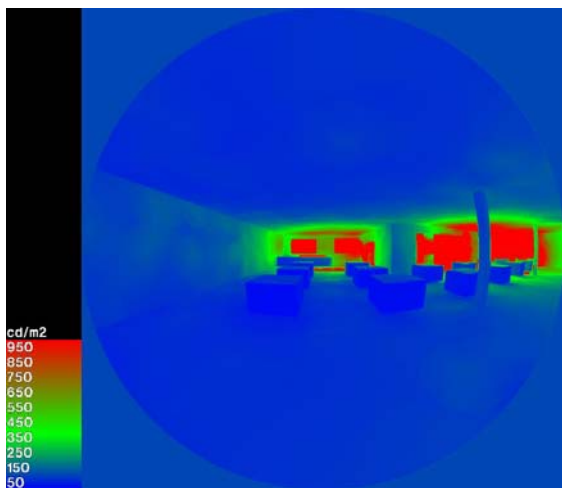


Figura 600 - Luminanza mensa, telecamera 1, ore 17.00

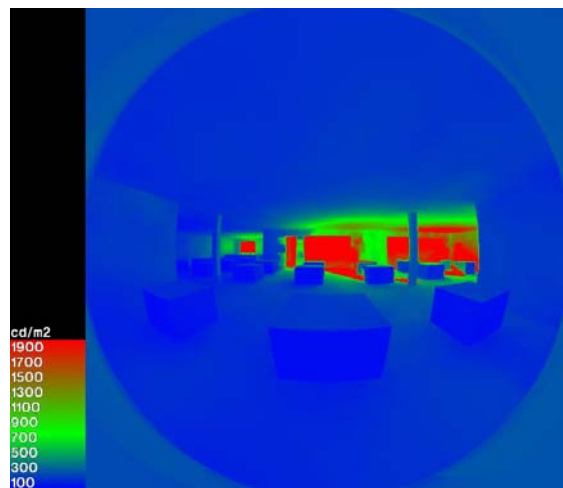


Figura 601 - Luminanza mensa, telecamera 2, ore 17.00

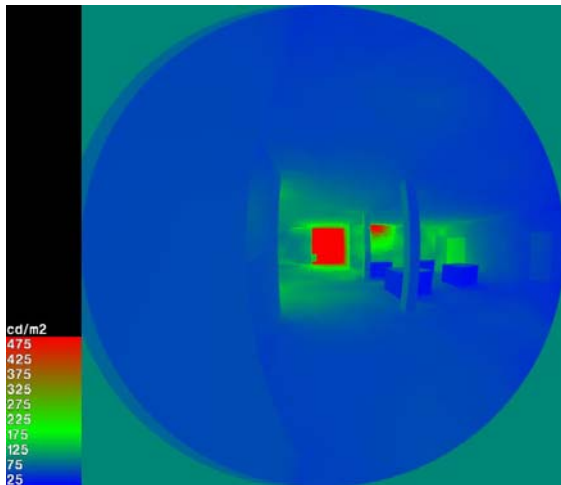


Figura 602 - Luminanza mensa, telecamera 3, ore 17.00

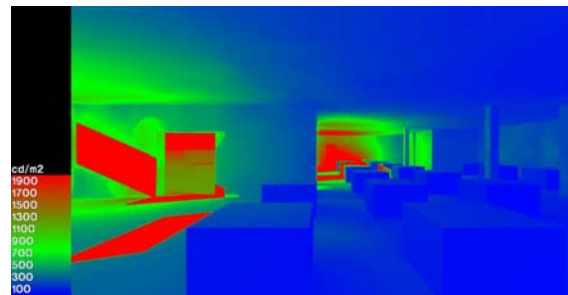


Figura 603 - Luminanza mensa, telecamera 4, ore 17.00

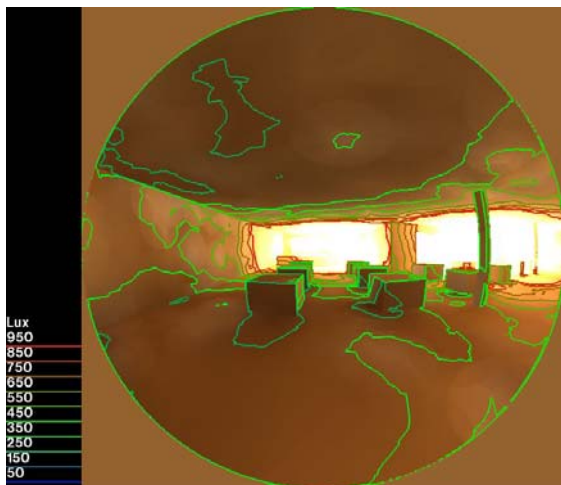


Figura 604 - Illuminamento mensa, telecamera 1, ore 17.00

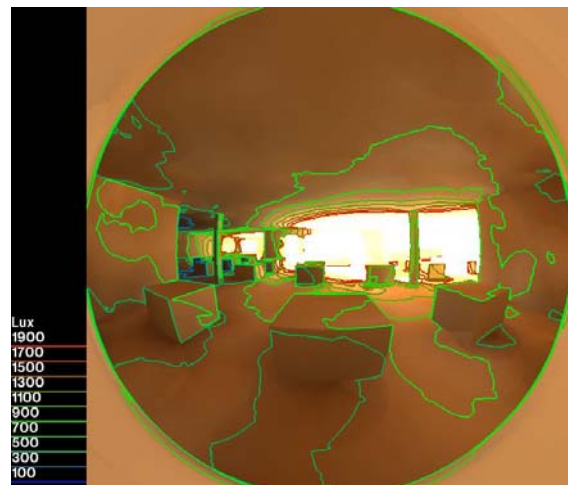


Figura 605 - Illuminamento mensa, telecamera 2, ore 17.00

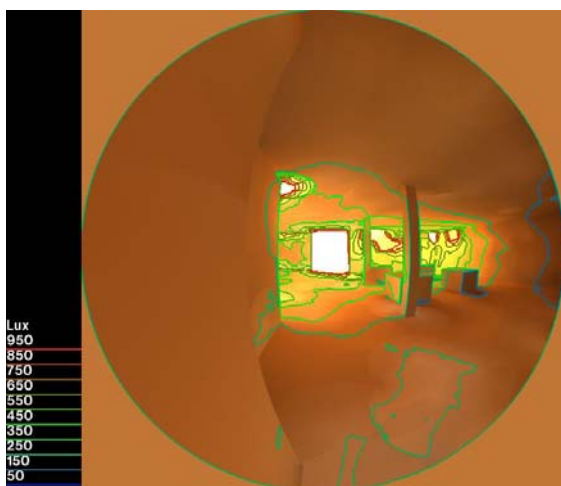


Figura 606 - Illuminamento mensa, telecamera 3, ore 17.00

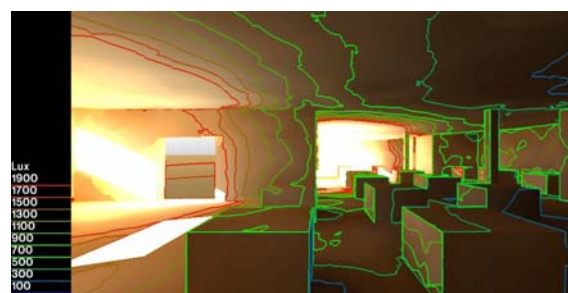


Figura 607 - Illuminamento mensa, telecamera 4, ore 17.00

Ore 7.00: luminanza 10 cd/m²; illuminamento 50 lux.

Ore 12.00: luminanza 50 cd/m²; illuminamento 100 lux.

Ore 17.00: luminanza 75 cd/m²; illuminamento 300 lux.

Il livello minimo di illuminamento è superato solo alle 17.00, mentre le altre ore considerate sono soggette a scarsa illuminazione.

6.1.4. Fattore di luce diurna (%)

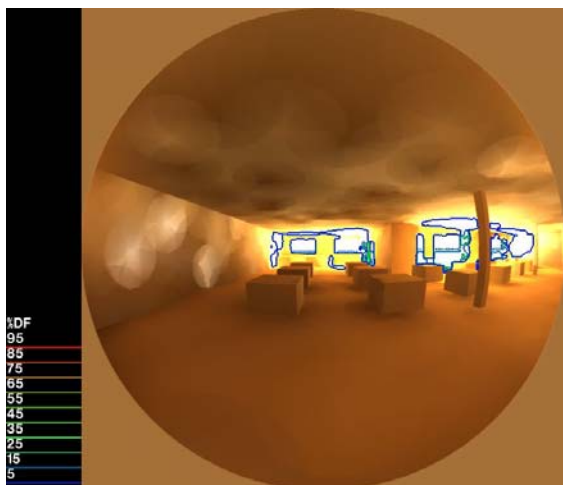


Figura 608 - Fattore di luce diurna mensa, telecamera 1

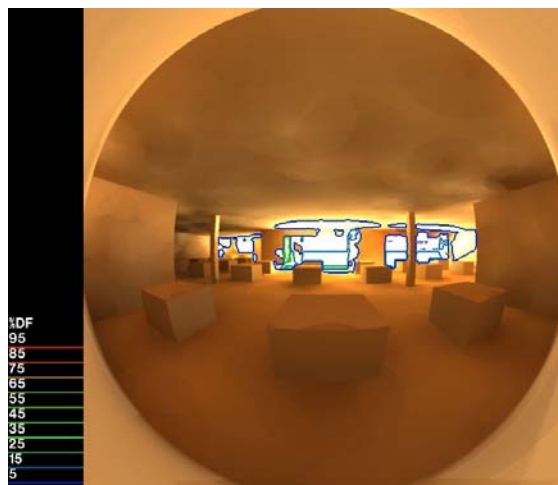


Figura 609 - Fattore di luce diurna mensa, telecamera 2

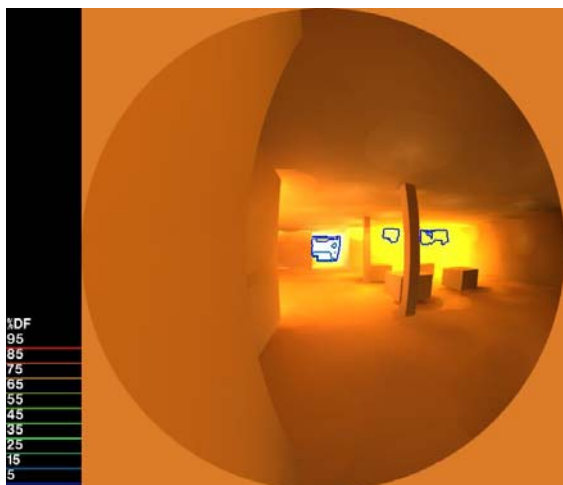


Figura 610 - Fattore di luce diurna mensa, telecamera 3



Figura 611 - Fattore di luce diurna mensa, telecamera 4

Circa 5% vicino alle finestre

Il daylight factor sembra simile ai casi precedenti, con livelli bassi diffusi nell'ambiente.

6.2. Evalglare

Parametri	Abbagliamento impercettibile	Abbagliamento percepibile	Abbagliamento disturbante	Abbagliamento intollerabile
DGP	< 0,35	0,35 – 0,40	0,4 – 0,45	> 0,45
DGI	< 18	18 - 24	24 - 31	> 31
UGR	< 13	13 - 22	22 - 28	> 28

Tabella 34 - Intervalli di tolleranza degli indici

21 mar	DGP	DGI	UGR
6.00	0,224	19,569	21,342
7.00	0,243	21,013	23,252
8.00	0,244	21,798	24,302

21 giu	DGP	DGI	UGR
6.00	0,232	20,249	22,320
7.00	0,232	19,676	22,628
8.00	0,238	20,956	23,369

21 dic	DGP	DGI	UGR
6.00	0,166	13,252	12,942
7.00	0,221	19,901	21,811
8.00	0,242	20,909	23,121

9.00	0,246	21,932	24,490
10.00	0,245	21,943	25,071
11.00	0,245	21,901	24,472
12.00	0,245	21,896	24,454
13.00	0,242	21,657	24,163
14.00	0,242	21,623	24,106
15.00	0,240	20,653	23,914
16.00	0,239	20,612	23,936
17.00	0,244	20,314	23,731
18.00	0,233	20,449	23,015

Tabella 35 - Parametri di abbagliamento per la mensa, 21 marzo

9.00	0,241	21,359	23,854
10.00	0,246	21,969	24,565
11.00	0,246	22,018	24,644
12.00	0,248	22,132	24,779
13.00	0,243	21,657	24,337
14.00	0,241	21,520	24,175
15.00	0,244	20,728	24,335
16.00	0,249	21,104	24,876
17.00	0,256	21,287	24,779
18.00	0,246	20,308	24,119

Tabella 36 - Parametri di abbagliamento per la mensa, 21 giugno

9.00	0,245	21,669	24,118
10.00	0,245	21,669	24,118
11.00	0,243	21,771	24,230
12.00	0,243	21,601	24,025
13.00	0,238	21,068	23,342
14.00	0,236	20,744	22,882
15.00	0,234	20,082	22,010
16.00	0,222	19,055	20,664
17.00	0,169	15,411	15,878
18.00	0,164		

Tabella 37 - Parametri di abbagliamento per la mensa, 21 dicembre

21 mar	DGP	DGI	UGR
6.00	0,225	19,776	21,591
7.00	0,240	20,894	23,094
8.00	0,242	21,494	23,910
9.00	0,245	21,937	24,492
10.00	0,246	21,986	24,562
11.00	0,244	21,869	24,434
12.00	0,249	19,409	22,292
13.00	0,242	21,485	23,960
14.00	0,241	21,460	23,906
15.00	0,240	20,599	23,826
16.00	0,239	20,490	23,750
17.00	0,240	20,078	23,396
18.00	0,233	20,389	22,910

Tabella 38 - Parametri di abbagliamento per la mensa, prova 2, 21 marzo

21 giu	DGP	DGI	UGR
6.00	0,232	20,352	22,426
7.00	0,232	19,741	22,752
8.00	0,238	21,017	23,418
9.00	0,242	21,554	24,070
10.00	0,245	21,920	24,514
11.00	0,246	22,054	24,696
12.00	0,247	22,117	24,754
13.00	0,241	21,180	23,787
14.00	0,241	21,287	23,935
15.00	0,245	20,785	24,409
16.00	0,249	21,039	24,792
17.00	0,256	21,327	25,296
18.00	0,246	20,359	24,193

Tabella 39 - Parametri di abbagliamento per la mensa, prova 2, 21 giugno

21 dic	DGP	DGI	UGR
6.00	0,166	13,260	12,920
7.00	0,220	19,650	21,456
8.00	0,242	20,914	23,105
9.00	0,244	21,537	23,889
10.00	0,243	21,649	24,079
11.00	0,241	24,457	23,850
12.00	0,240	21,450	23,838
13.00	0,237	21,023	23,290
14.00	0,234	20,497	22,590
15.00	0,234	20,264	22,228
16.00	0,222	19,079	20,682
17.00	0,169	15,356	15,799
18.00	0,164		

Tabella 40 - Parametri di abbagliamento per la mensa, prova 2, 21 dicembre

21 mar	DGP	DGI	UGR
6.00	0,225	19,649	21,431
7.00	0,24	21,000	23,223
8.00	0,245	21,967	24,501
9.00	0,245	21,943	24,485
10.00	0,245	21,981	24,546
11.00	0,245	22,071	24,662
12.00	0,244	21,812	24,332
13.00	0,243	21,74	24,236
14.00	0,244	21,863	24,363
15.00	0,241	20,74	24,041
16.00	0,238	20,258	23,544
17.00	0,241	20,165	23,542
18.00	0,233	20,337	22,838

Tabella 41 - Parametri di abbagliamento per la mensa, prova 3, 21 marzo

21 giu	DGP	DGI	UGR
6.00	0,234	19,795	22,708
7.00	0,234	20,021	23,083
8.00	0,237	20,912	23,313
9.00	0,243	21,606	24,111
10.00	0,245	21,948	24,533
11.00	0,245	21,890	24,486
12.00	0,247	22,108	24,749
13.00	0,244	21,790	24,354
14.00	0,243	21,591	24,143
15.00	0,246	20,970	24,561
16.00	0,248	21,030	24,789
17.00	0,255	21,148	25,111
18.00	0,247	20,453	24,277

Tabella 42 - Parametri di abbagliamento per la mensa, prova 3, 21 giugno

21 dic	DGP	DGI	UGR
6.00	0,166	13,347	13,047
7.00	0,220	19,613	21,377
8.00	0,241	20,875	23,061
9.00	0,243	21,563	23,953
10.00	0,245	21,813	24,286
11.00	0,242	21,622	24,044
12.00	0,239	21,372	23,732
13.00	0,238	21,222	23,525
14.00	0,237	20,949	23,142
15.00	0,233	20,023	21,922
16.00	0,222	18,897	20,456
17.00	0,169	15,152	15,527
18.00	0,164		

Tabella 43 - Parametri di abbagliamento per la mensa, prova 3, 21 dicembre

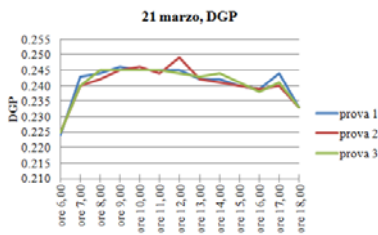


Figura 612 - DGP, 21 marzo

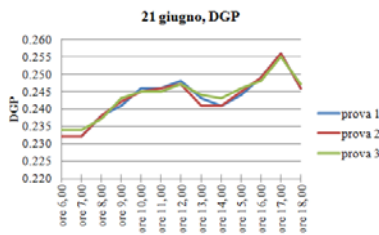


Figura 613 - DGP, 21 giugno

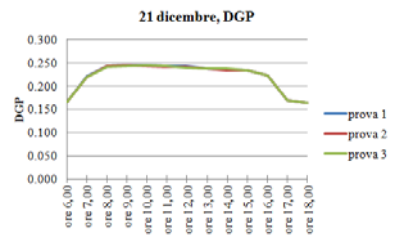


Figura 614 - DGP, 21 dicembre

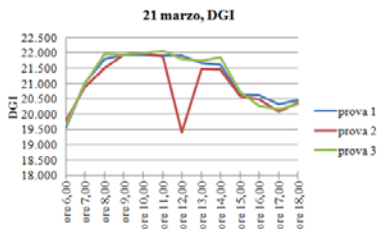


Figura 615 - DGI, 21 marzo

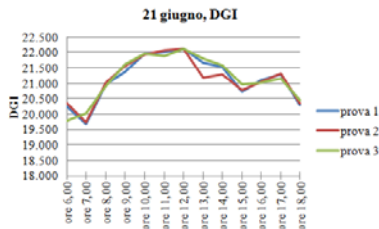


Figura 616 - DGI, 21 giugno

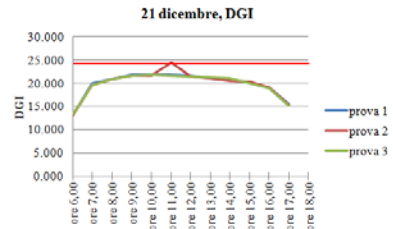


Figura 617 - DGI, 21 dicembre

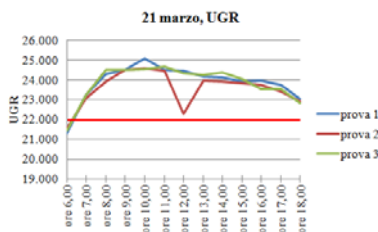


Figura 618 - UGR, 21 marzo

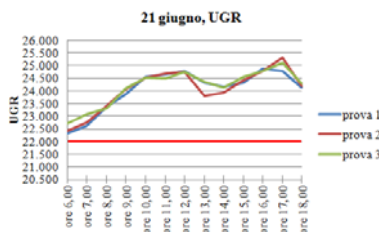


Figura 619 - UGR, 21 giugno

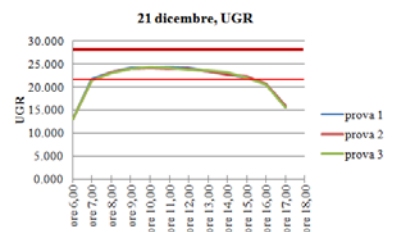


Figura 620 - UGR, 21 dicembre

DGP

21 marzo: sempre sotto la soglia dell'abbagliamento da disturbo, valore più alto alle ore 12.00 per l'opzione con finestre modificate.

21 giugno: sempre sotto la soglia dell'abbagliamento da disturbo, valori valore più alto alle ore 17.00.

21 dicembre: sempre sotto la soglia dell'abbagliamento da disturbo, differenze minime fra le opzioni.

Nel confronto fra le prove si nota che le curve seguono lo stesso andamento, seppur non siano esattamente sovrapponibili. Si distinguono dagli altri i valori per il 21 giugno della prova 2 a mezzogiorno e della 1 alle 17.00, un po' più elevati degli altri. Come nella prova di marzo, quelle del 21 giugno e 21 dicembre rimangono al di sotto della soglia di abbagliamento da disturbo.

DGI

21 marzo: sempre sotto la soglia dell'abbagliamento da disturbo, valore minimo per l'opzione con finestre modificate alle ore 12.00.

21 giugno: sempre sotto la soglia dell'abbagliamento da disturbo, valore minimo alle 7.00 per l'opzione base e con le finestre modificate.

21 dicembre: sempre sotto la soglia dell'abbagliamento da disturbo, valore massimo alle ore 11.00 per l'opzione con finestre modificate.

Anche in questo caso l'indice suggerisce assenza di problemi di abbagliamento. Si segnalano i valori della prova 2 del 21 marzo a mezzogiorno e del 21 dicembre alle 11; il primo molto basso rispetto agli altri, il secondo come picco.

UGR

21 marzo: sempre fra la soglia dell'abbagliamento da disturbo e di quello intollerabile, escludendo le ore 6.00.

21 giugno: sempre fra la soglia dell'abbagliamento da disturbo e di quello intollerabile, valore massimo alle 17.00.

21 dicembre: fino alle 7.00 e dalle 16.00 valori sotto la soglia dell'abbagliamento da disturbo, negli altri orari sono al di sotto di quello intollerabile; tutti i dati sono quasi sovrapposti.

L'UGR è sempre sopra la soglia dell'abbagliamento da disturbo ma entro l'abbagliamento intollerabile. Solo alle 6.00 per il 21 marzo e nelle prime e ultime ore del giorno per il 21 dicembre non vi è rischio di abbagliamento.

6.3. Daysim



Figura 621 - DA, mensa



Figura 622 - DA_{max}, mensa

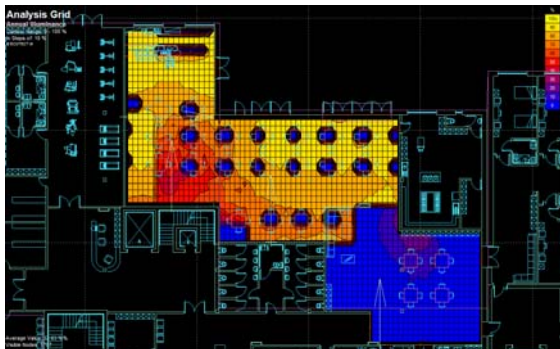


Figura 623 - DA_{con}, mensa



Figura 624 - DF, mensa

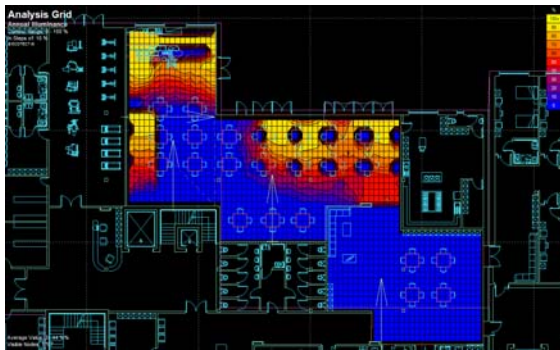


Figura 625 - DSP, mensa

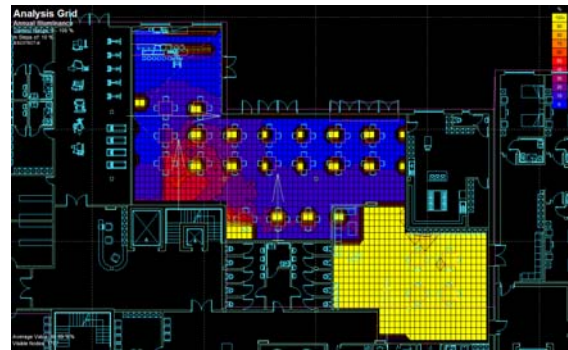


Figura 626 - UDI₁₀₀, mensa



Figura 627 - UDI₁₀₀₋₂₀₀₀, mensa



Figura 628 - UDI_{>2000}, mensa

DA: valori dal 50 al 100% su buona parte della superficie, zona sud 0%; valore medio 39,49%

DA_{max}: 0% con eccezioni in prossimità di alcune finestre (anche 80%); valore medio 1,39%

DA_{con}: valori fra il 50 e il 100% ovunque, esclusa la zona sud prossima allo 0%; valore medio 52,03%

DF: vicino alle finestre della zona centrale arriva al 20%; valore medio 1,24%

DSP: 0% tranne sul lato ovest e nella zona centrale dove si arriva a 100%; valore medio 24,44%

UDI_{<100}: si raggiunge il 100% nella zona sud, valori vicino allo 0% nel resto della superficie; valore medio 48,99%

UDI₁₀₀₋₂₀₀₀: valori prossimi al 100% nel braccio ovest e nella zona centrale, 0% nella zona sud; valore medio 48,77%

UDI_{>2000}: generalmente 0%, con piccole zone di picco (80%) vicino alle finestre e nella mezzeria del lato ovest (riflesso della telecamera?); valore medio 1,88%

Rispetto alla prova 2 a cui è stata sottoposta la stanza, che prevedeva la modifica della dimensione delle finestre, vi è un peggioramento dei parametri. La DA (da 41,14 a 39,49%), la DA_{max} (da 3,52 a 1,39%), la DA_{con} (da 53,21 a 52,03%), il DF (da 1,59 a 1,24%), la DSP (da 26,80 a 24,44%) indicano che l'inserimento del light-shelf ha comportato una riduzione dell'ingresso della luce nell'ambiente. L'UDI_{<100} da 47,98 a 48,99%, l'UDI₁₀₀₋₂₀₀₀ da 42,04 a 48,99%, l'UDI_{>2000} da 3,52 a 1,88% mostrano che si è abbassato il rischio di abbagliamento ma il livello di illuminamento si è ridotto, concordando con gli altri indici.

6.4. Considerazioni

Dopo l'inserimento del light-shelf i parametri di illuminazione hanno subito un leggero abbassamento; solo l'UDI₁₀₀₋₂₀₀₀ è aumentata. Evidentemente il light-shelf, utile per facciate esposte a sud, non porta gli stessi vantaggi sul lato nord, dove arriva solo la radiazione diffusa. Una possibile soluzione alla scarsa illuminazione dell'ambiente potrebbe essere l'inserimento di un lucernario sulla zona più lontana dalle finestre.

7. Analisi illuminazione naturale: introduzione di un lucernario (prova 4)

È stato infine inserito al posto del light-shelf (sull'opzione con le finestre della prova 2) un lucernario con vetrocamera, di dimensioni 1,6 m x 1,9 m e superficie pari a 3,04 m². In questo caso le analisi sono state svolte attraverso l'occhio della sola telecamera 3 rivolta allo spazio in questione, per poter capire meglio i cambiamenti e ridurre i tempi di simulazione.

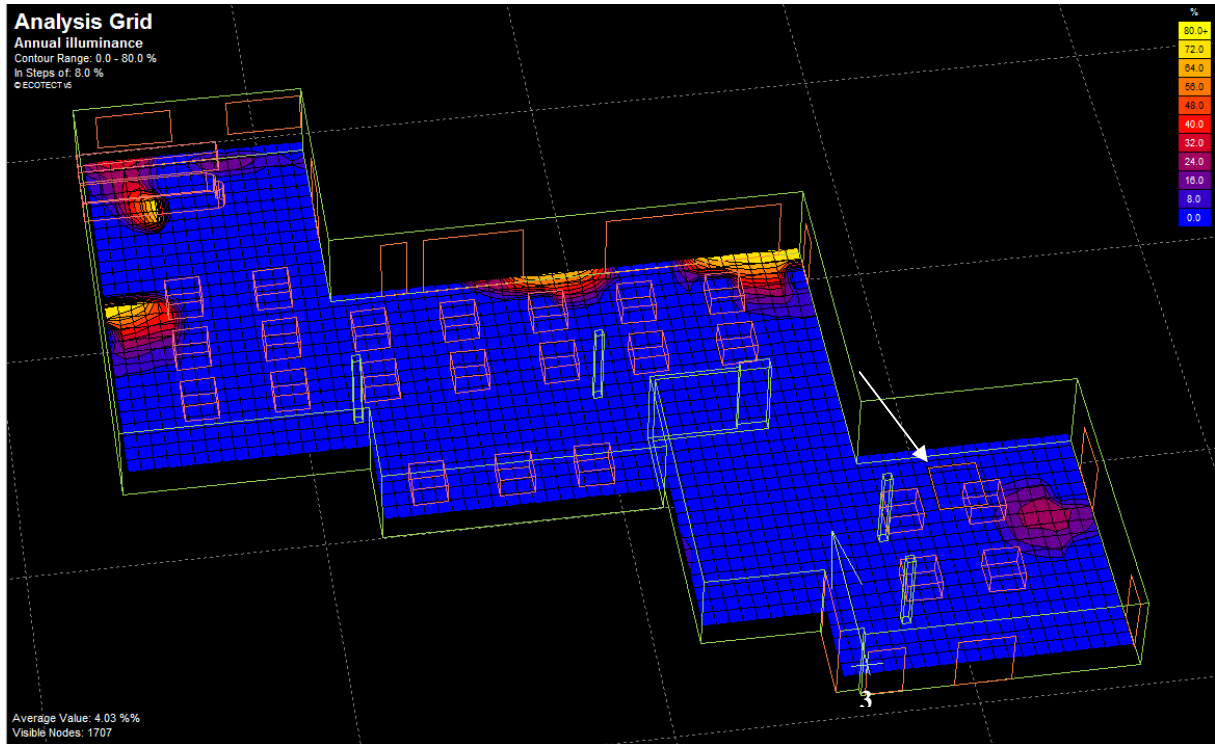


Figura 629 - Schermata di Ecotect: mensa con lucernario (le frecce numerate indicano le telecamere)

7.1. Radiance

7.1.1. 21 marzo

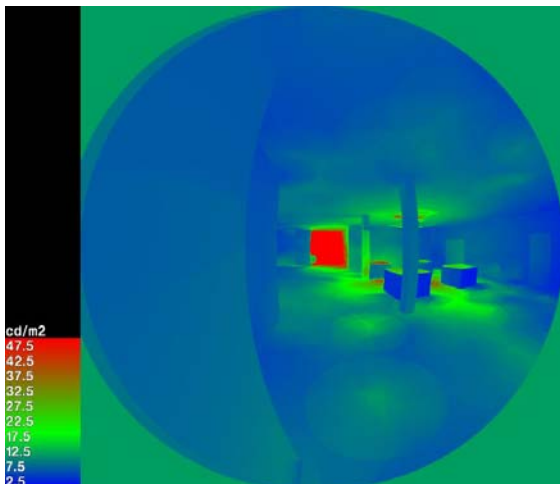


Figura 630 - Luminanza mensa, telecamera 3, ore 7.00

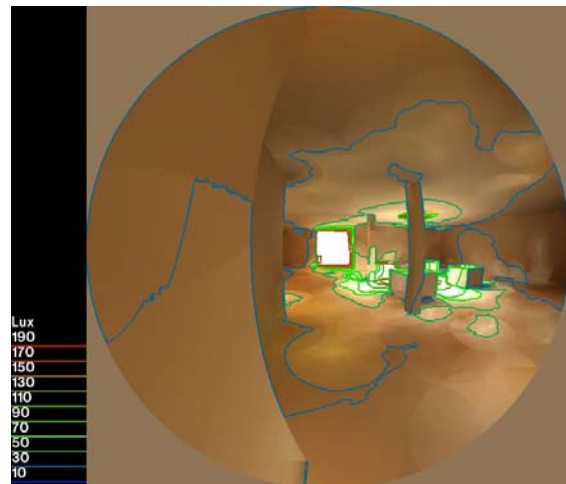


Figura 631 - Illuminamento mensa, telecamera 3, ore 7.00

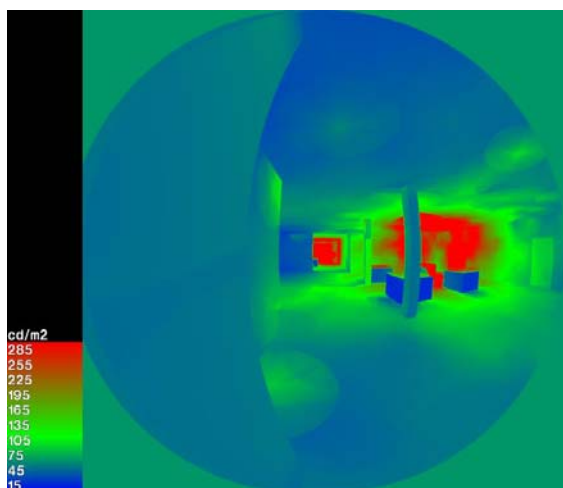


Figura 632 - Luminanza mensa, telecamera 3, ore 12.00

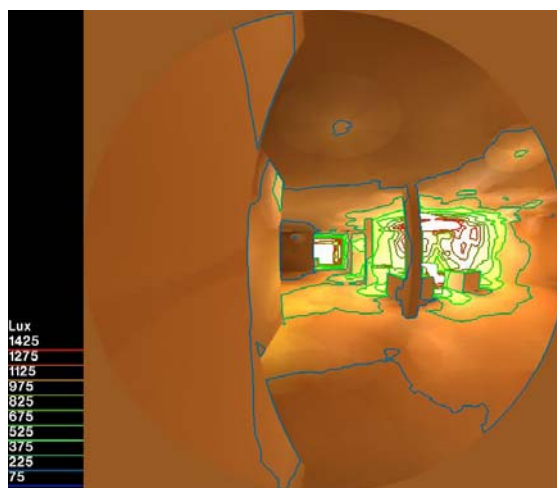


Figura 633 - Illuminamento mensa, telecamera 3, ore 12.00

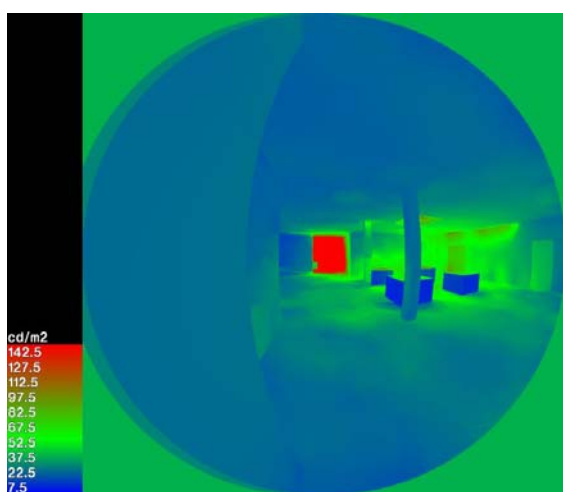


Figura 634 - Luminanza mensa, telecamera 3, ore 17.00

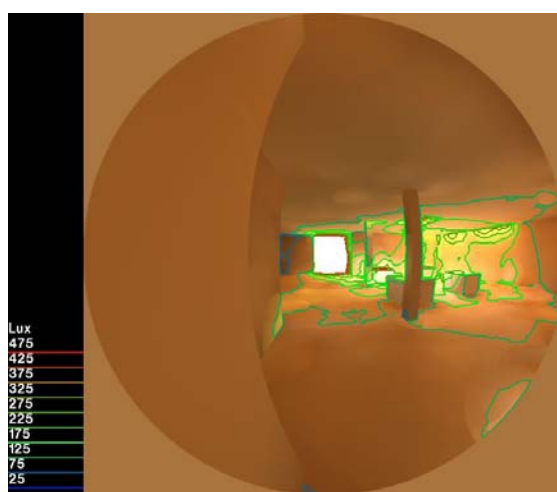


Figura 635 - Illuminamento mensa, telecamera 3, ore 17.00

Ore 7.00: luminanza 35 cd/m²; illuminamento 125 lux.

Ore 12.00: luminanza circa 195 cd/m²; illuminamento 825 lux.

Ore 17.00: luminanza 80 cd/m²; illuminamento 175 lux.

La presenza del lucernario determina già dalle prime immagini un notevole cambiamento. I valori degli indici crescono e a mezzogiorno vi è addirittura un eccesso di illuminazione rispetto al minimo necessario per lo svolgimento dell'attività.

7.1.2. 21 giugno

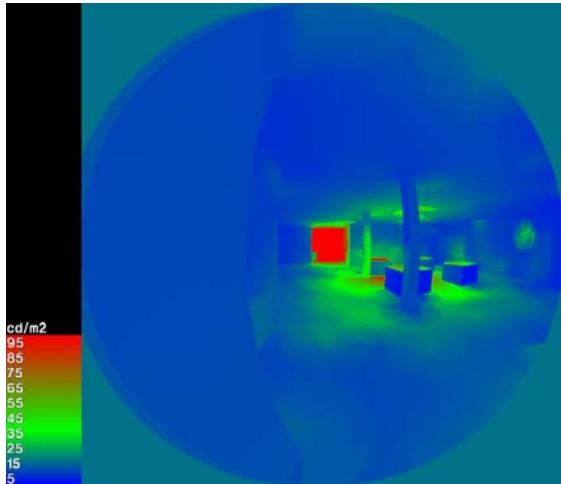


Figura 636 - Luminanza mensa, telecamera 3, ore 7.00

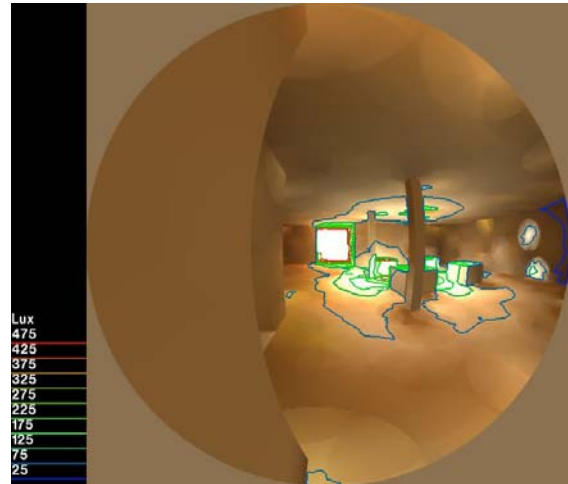


Figura 637 - Illuminamento mensa, telecamera 3, ore 7.00

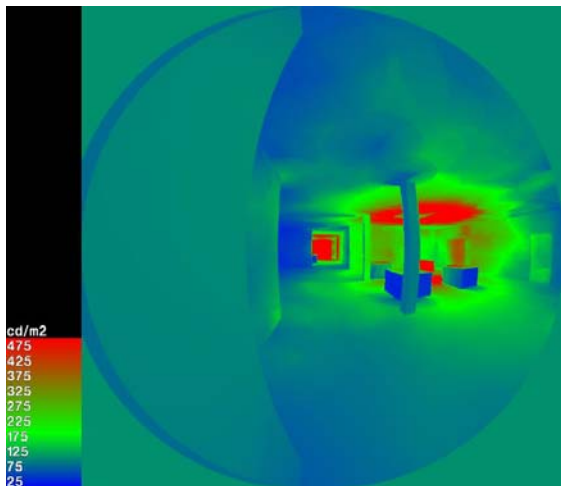


Figura 638 - Luminanza mensa, telecamera 3, ore 12.00

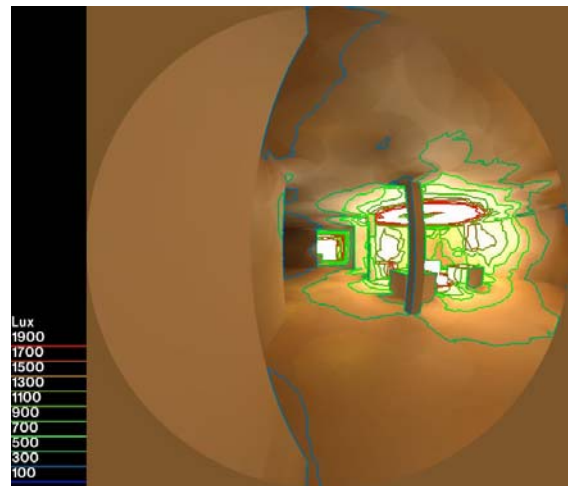


Figura 639 - Illuminamento mensa, telecamera 3, ore 12.00

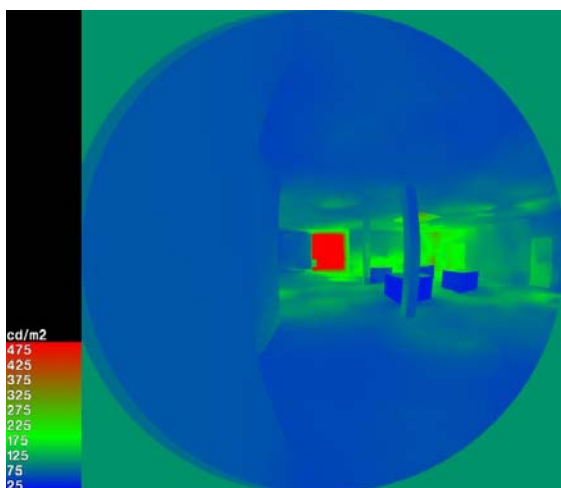


Figura 640 - Luminanza mensa, telecamera 3, ore 17.00

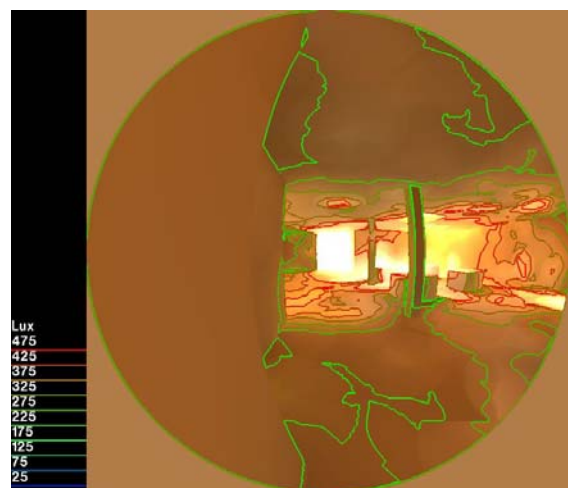


Figura 641 - Illuminamento mensa, telecamera 3, ore 17.00

Ore 7.00: luminanza 75 cd/m^2 ; illuminamento 300 lux.

Ore 12.00: luminanza 175 cd/m^2 ; illuminamento 1500 lux.

Ore 17.00: luminanza 125 cd/m^2 ; illuminamento 425 lux.

L'illuminamento minimo è sempre raggiunto, con un picco di 1500 lux alle 12.00.

7.1.3. 21 dicembre

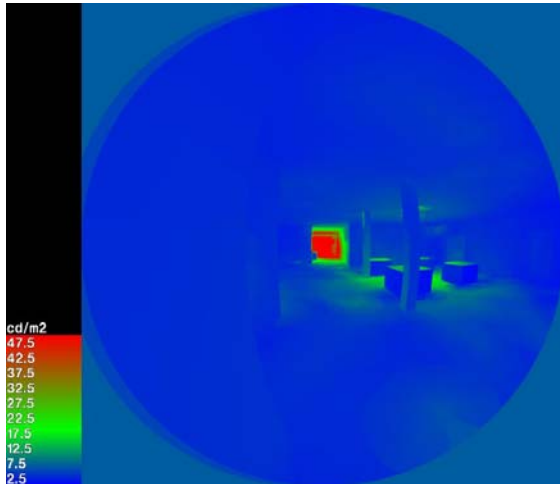


Figura 642 - Luminanza mensa, telecamera 3, ore 7.00

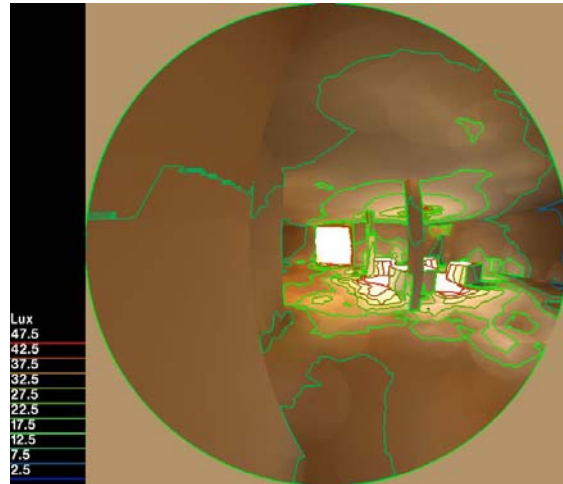


Figura 643 - Illuminamento mensa, telecamera 3, ore 7.00

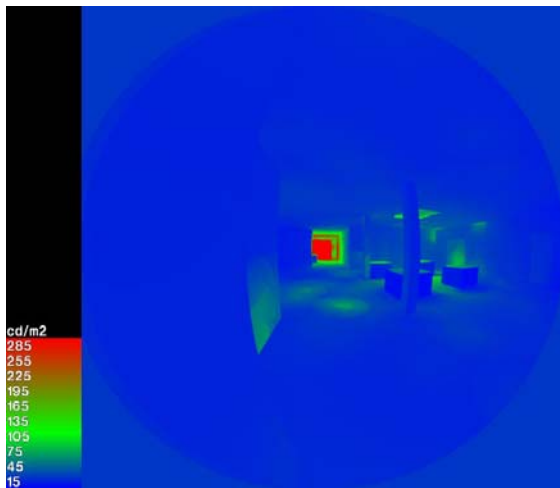


Figura 644 - Luminanza mensa, telecamera 3, ore 12.00

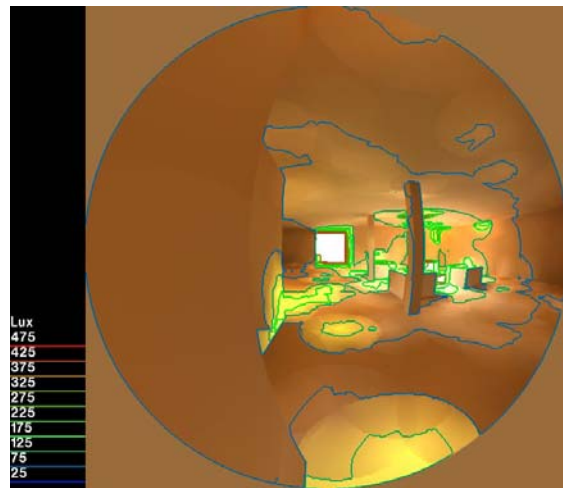


Figura 645 - Illuminamento mensa, telecamera 3, ore 12.00

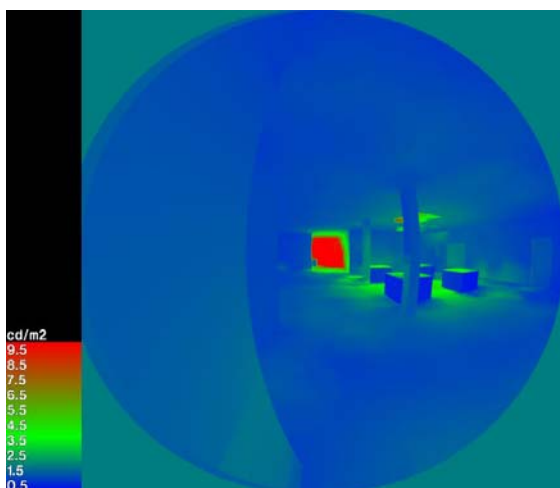


Figura 646 - Luminanza mensa, telecamera 3, ore 17.00

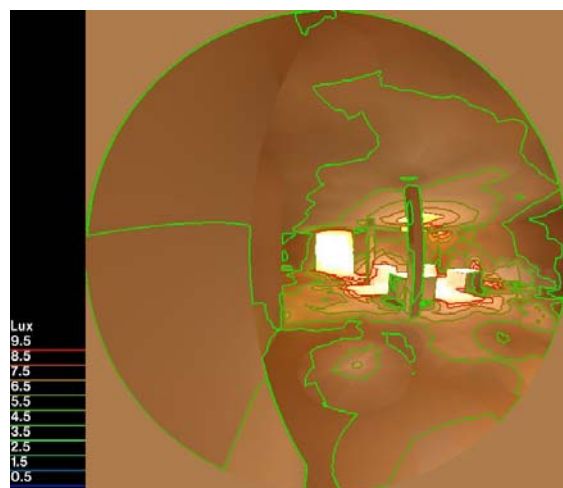


Figura 647 - Illuminamento mensa, telecamera 3, ore 17.00

Ore 7.00: luminanza 15 cd/m^2 ; illuminamento 50 lux.

Ore 12.00: luminanza 75 cd/m^2 ; illuminamento 175 lux.

Ore 17.00: luminanza 5 cd/m^2 ; illuminamento 10 lux.

A dicembre i valori sono un po' più bassi ma migliori rispetto alle prove precedenti.

7.1.4. Fattore di luce diurna (%)

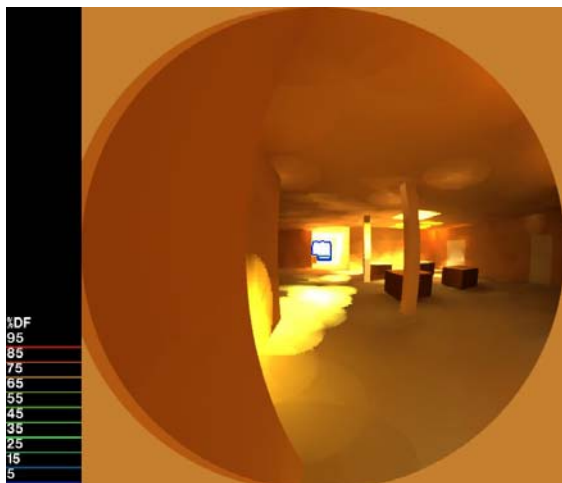


Figura 648 - Fattore di luce diurna mensa, telecamera 3

Circa 5% vicino alle finestre.

Non si registrano variazioni nel daylight factor.

7.2. Evalglare

Parametri	Abbagliamento impercettibile	Abbagliamento percepibile	Abbagliamento disturbante	Abbagliamento intollerabile
DGP	< 0,35	0,35 – 0,40	0,4 – 0,45	> 0,45
DGI	< 18	18 - 24	24 - 31	> 31
UGR	< 13	13 - 22	22 - 28	> 28

Tabella 44 - Intervalli di tolleranza degli indici

21 mar	DGP	DGI	UGR
6.00	0,183	15,248	17,599
7.00	0,211	17,379	20,503
8.00	0,232	18,386	21,869
9.00	0,245	18,755	22,302
10.00	0,250	18,631	22,034
11.00	0,233	17,391	20,441
12.00	0,224	17,432	20,082
13.00	0,218	16,446	19,359
14.00	0,213	15,525	18,438
15.00	0,224	17,456	20,260
16.00	0,239	18,150	21,434
17.00	0,233	17,222	20,264
18.00	0,185	15,522	18,003

Tabella 45 - Parametri di abbagliamento per la mensa, prova 4, 21 marzo

21 giu	DGP	DGI	UGR
6.00	0,213	17,308	20,398
7.00	0,235	18,273	21,633
8.00	0,248	18,346	21,677
9.00	0,233	17,752	20,683
10.00	0,225	17,516	20,365
11.00	0,220	16,238	19,320
12.00	0,224	17,241	20,054
13.00	0,225	17,486	20,268
14.00	0,223	17,273	20,097
15.00	0,233	18,358	21,515
16.00	0,241	18,958	22,478
17.00	0,165	10,405	11,119
18.00	0,240	19,145	22,835

Tabella 46 - Parametri di abbagliamento per la mensa, prova 4, 21 giugno

21 dic	DGP	DGI	UGR
6.00	0,165	8,788	8,967
7.00	0,180	15,339	17,782
8.00	0,218	18,114	21,603
9.00	0,218	18,114	21,603
10.00	0,228	18,204	21,559
11.00	0,237	17,359	20,358
12.00	0,234	16,966	19,874
13.00	0,217	15,783	18,324
14.00	0,213	14,843	17,398
15.00	0,204	14,555	16,842
16.00	0,181	14,548	16,643
17.00	0,165	10,405	11,119
18.00	0,164		

Tabella 47 - Parametri di abbagliamento per la mensa, prova 4, 21 dicembre



Figura 649 - DGP, 21 marzo



Figura 650 - DGP, 21 giugno

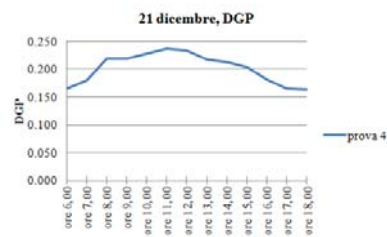


Figura 651 - DGP, 21 dicembre



Figura 652 - DGI, 21 marzo



Figura 653 - DGI, 21 giugno



Figura 654 - DGI, 21 dicembre



Figura 655 - UGR, 21 marzo

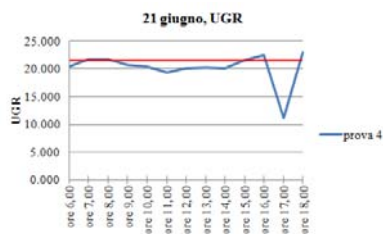


Figura 656 - UGR, 21 giugno

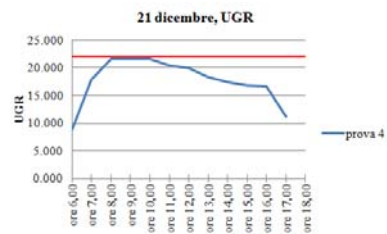


Figura 657 - UGR, 21 dicembre

DGP e DGI

Sempre sotto la soglia dell'abbagliamento. Alle ore 17.00 si registra un valore più basso anche per l'UGR.

UGR

21 marzo: possibilità di abbagliamento alle ore 9.00 e 10.00.

21 giugno: possibilità di abbagliamento alle ore 16.00 e 18.00.

21 dicembre: sempre sotto la soglia dell'abbagliamento.

Generalmente sotto la soglia dell'abbagliamento disturbante, si presentano valori più elevati alle ore 9.00 e 10.00 del 21 marzo e alle ore 16.00 e 18.00 del 21 giugno.

7.3. Daysim

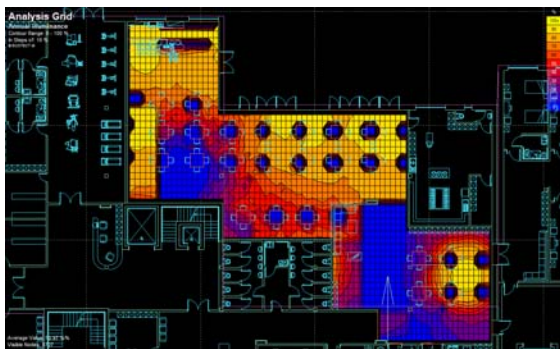


Figura 658 - DA, mensa



Figura 659 - DA_max, mensa

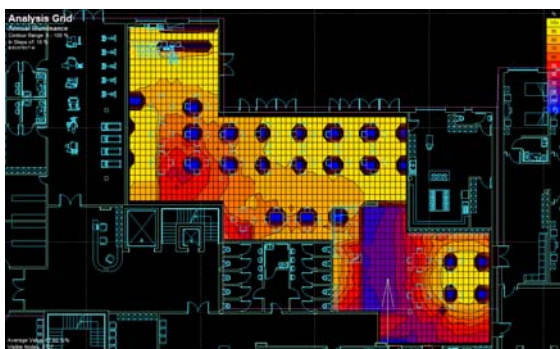


Figura 660 - DA_con, mensa



Figura 661 - DF, mensa

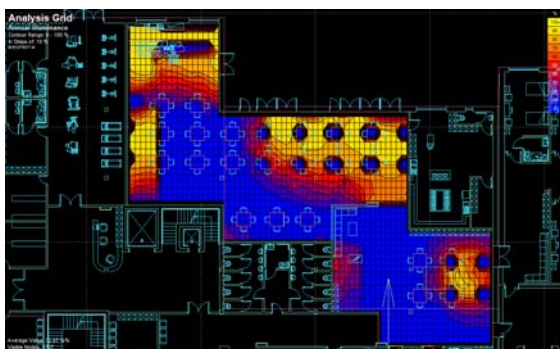


Figura 662 - DSP, mensa

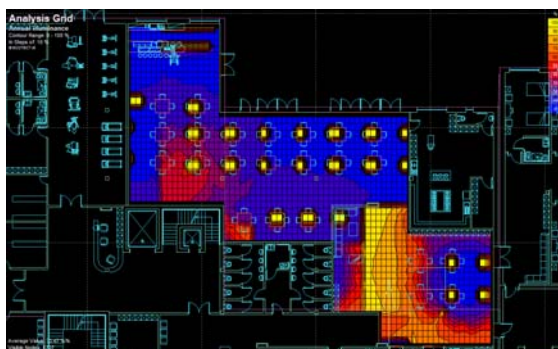


Figura 663 - UDI_100, mensa

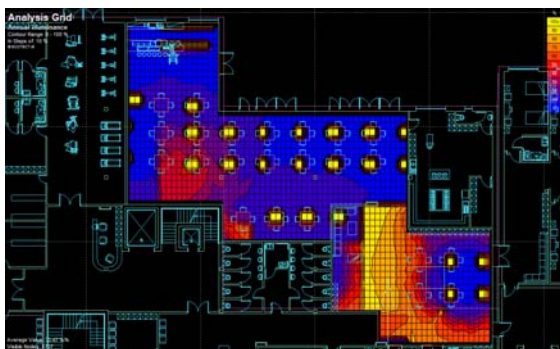


Figura 664 - UDI_100-2000, mensa



Figura 665 - UDI_2000, mensa

DA: valori dal 50 al 100% su buona parte della superficie, sotto il lucernario fino a 100%; valore medio 50,97%

DA_max: 0% con eccezioni in prossimità di alcune finestre (anche 80%) e fino al 24% sotto il lucernario; valore medio 4,03%

DA_{con}: valori fra il 50 e il 100% ovunque; valore medio 67,60%

DF: vicino alle finestre della zona centrale arriva al 20%, sotto il lucernario fino al 10%; valore medio 1,92%

DSP: 0% tranne sul lato ovest e nella zona centrale dove si arriva a 100%; valore medio 32,07%

UDI_{<100}: si raggiunge il 100% nella zona sud non raggiunta dal lucernario, valori vicino allo 0% nel resto della superficie; valore medio 33,47%

UDI₁₀₀₋₂₀₀₀: valori prossimi allo 0% nella zona sud non raggiunta dal lucernario, valori prossimi al 100% sul resto della superficie; valore medio 62,14%

UDI_{>2000}: generalmente 0%, con piccole zone di picco (80%) vicino alle finestre e nella mezzeria del lato ovest (riflesso della telecamera?), fino a 24% sotto il lucernario; valore medio 4,03%

Si registrano miglioramenti su tutti i fronti. La DA cresce rispetto alla prova 2 (con la modifica delle finestre, dato che la 3 con il light-shelf non ha migliorato la situazione) passa da 41,14 a 50,97%, con la DA_{max} da 3,52 a 4,03% e la DA_{con} da 53,21 a 67,60%. Il DF si evolve da 1,59 a 1,92% e il DSP da 26,80 a 32,07%. L' UDI_{<100} da 47,98 a 33,47% e l' UDI_{>2000} da 3,52 a 4,03% lasciano più spazio all' UDI₁₀₀₋₂₀₀₀ che aumenta da 42,04 a 62,14%, confermando la scelta del lucernario come la soluzione vincente per portare luce a questa zona lontana dalla facciata dell'edificio.

7.4. Considerazioni

I livelli di illuminamento migliorano notevolmente soprattutto a mezzogiorno; l'abbagliamento resta un fenomeno raro. Gli indici di Daysim rivelano un generale miglioramento del livello di illuminazione, promuovendo quest'ultima proposta come soluzione ottimale.

8. Progetto di illuminazione artificiale per la cucina

La cucina, nonostante il tentativo di apportare più luce all'interno con l'ampliamento della superficie vetrata, rimane un ambiente scarsamente illuminato. Data la ridotta superficie a contatto con l'esterno, vi è l'impossibilità di inserire un altro serramento che contribuisca a risolvere le carenze del primo. Per questo è necessario, per questa stanza in particolare, disporre un progetto di illuminazione artificiale, per il quale è stato utilizzato il software DIALux 4.10. Importando la pianta da Autocad è stato possibile ridisegnare i volumi semplificati dell'arredo, le finestre e la porta, assegnando per ognuno colori e materiali. Il passo successivo è stato la scelta delle lampade da un catalogo online, LUMsearch. Si riportano di seguito i risultati ottenuti.

Scheda tecnica apparecchio: ATELJELYKTAN 203205 Carmen II Pendel - 2x80W 2G11 Mattvit



Figura 666 - Modello della lampada

Montering:

Transparent anslutning 2,5 m:

Tänd/släck med 3x0,75mm²

Extern dim med 5x0,75mm²

Pendlas i justerbart wireupphäng i höjddled. Sockel: 2G11.

Material:

Armatyr i lackerad metall. Reflektor i metalliserad aluminium MIRO.

Bländskydd i cirkulärprismatiskt akrylglas.

Lampada: LLEDO 6839102801001OD-6839 1T5 28

Lampadine: 1 x T5-E/840

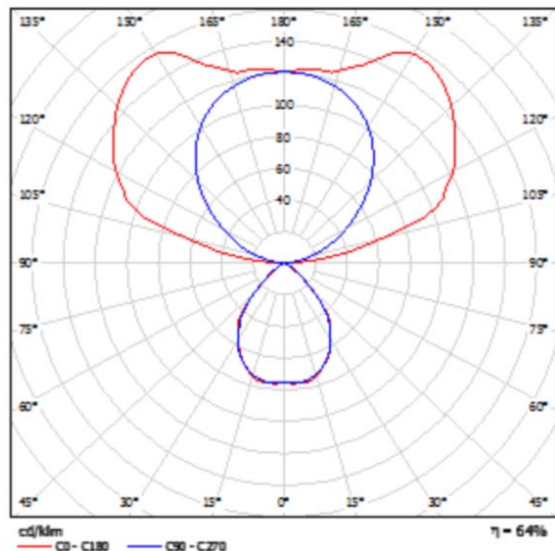


Figura 667 - Schema di emissione luminosa

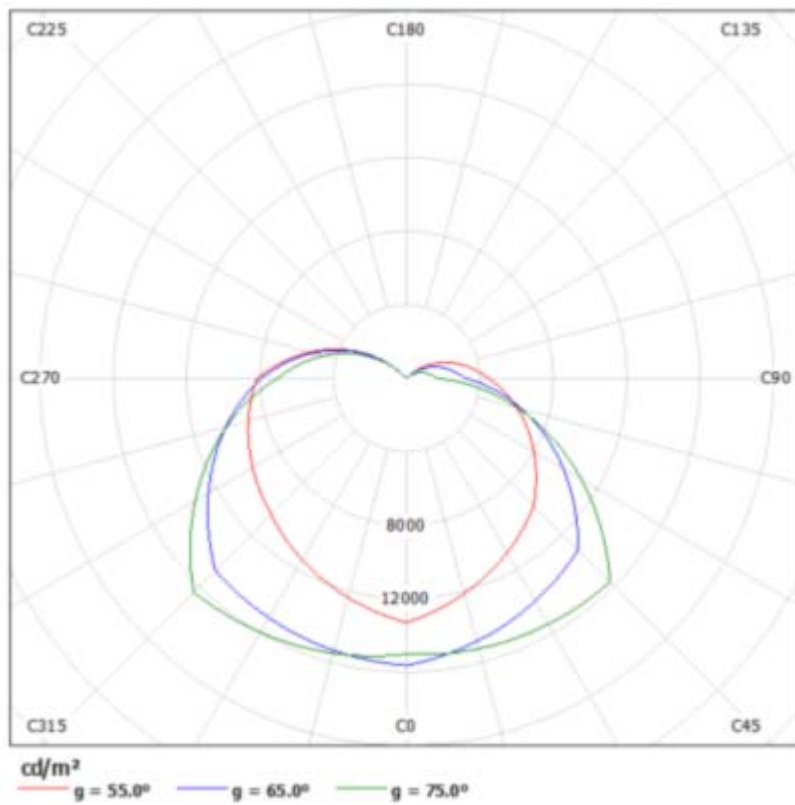


Figura 668 - Diagramma della luminanza

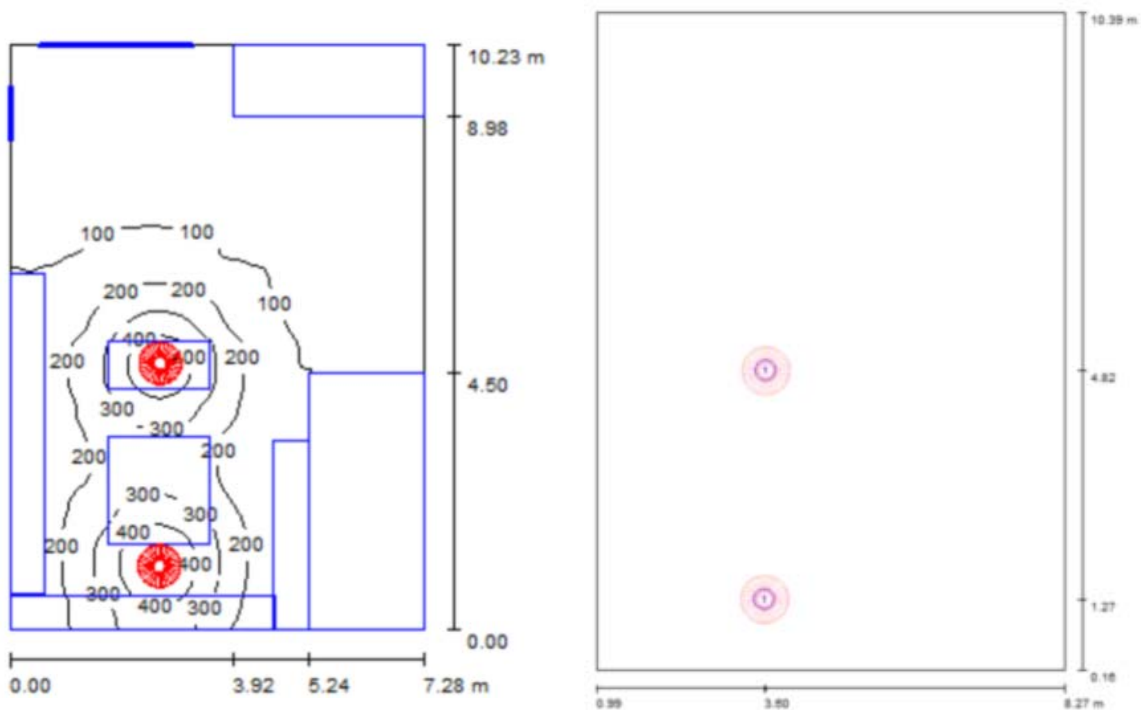


Figura 669 - Schema planimetrico con lampade (valori in lux) Figura 670 - Lampade (planimetria)

Altezza locale: 3 m, altezza di montaggio: 2,5 m, fattore di manutenzione: 0,80.

Superficie	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Superficie utile	/	148	26	491	0,173
Pavimento	51	67	3,04	213	0,045
Soffitto	71	178	1,14	3784	0,006

Pareti (4)	71	54	1,26	580	/
-------------------	----	----	------	-----	---

Tabella 48 - Caratteristiche delle superfici

Superficie utile:

Altezza: 0,850 m

Reticolo: 128 x 128 Punti

Zona margine: 0,000 m

No.	Pezzo	Denominazione (Fattore di correzione)	ϕ (Lampada) [lm]	ϕ (Lampadine) [lm]	P [W]
1	2	ATELJELYKTAN 203205 Carmen II Pendel - 2x80W 2G11 Mattvit (1.000)	7687	12000	165,0
Totale			15374	24000	330,0

Tabella 49 - Caratteristiche delle lampade

Potenza allacciata specifica: $4,43 \text{ W/m}^2 = 2,99 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Base: $74,48 \text{ m}^2$)

Risultati illuminotecnici

Flusso luminoso sferico: 15374 lm

Potenza totale: 330,0 W

Fattore di manutenzione: 0,80

Zona margine: 0,000 m

Superficie	Illuminamenti medi [lx]			Coefficiente di riflessione	Luminanza media [cd/m ²]
	diretto	indiretto	totale		
Superficie utile	36	112	148	/	/
Superficie di calcolo 1	50	139	189	/	/
Pavimento	14	53	67	51	11
Soffitto	127	51	178	71	40
Parete 1	17	81	98	71	22
Parete 2	0,46	19	20	71	4,43
Parete 3	0,27	25	26	71	5,77
Parete 4	4,77	74	79	71	18

Tabella 50 - Risultati illuminotecnici

Regolarità sulla superficie utile

E_{\min} / E_m : 0,173 (1:6)

E_{\min} / E_{\max} : 0,052 (1:19)

Potenza allacciata specifica: $4,43 \text{ W/m}^2 = 2,99 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Base: $74,48 \text{ m}^2$)

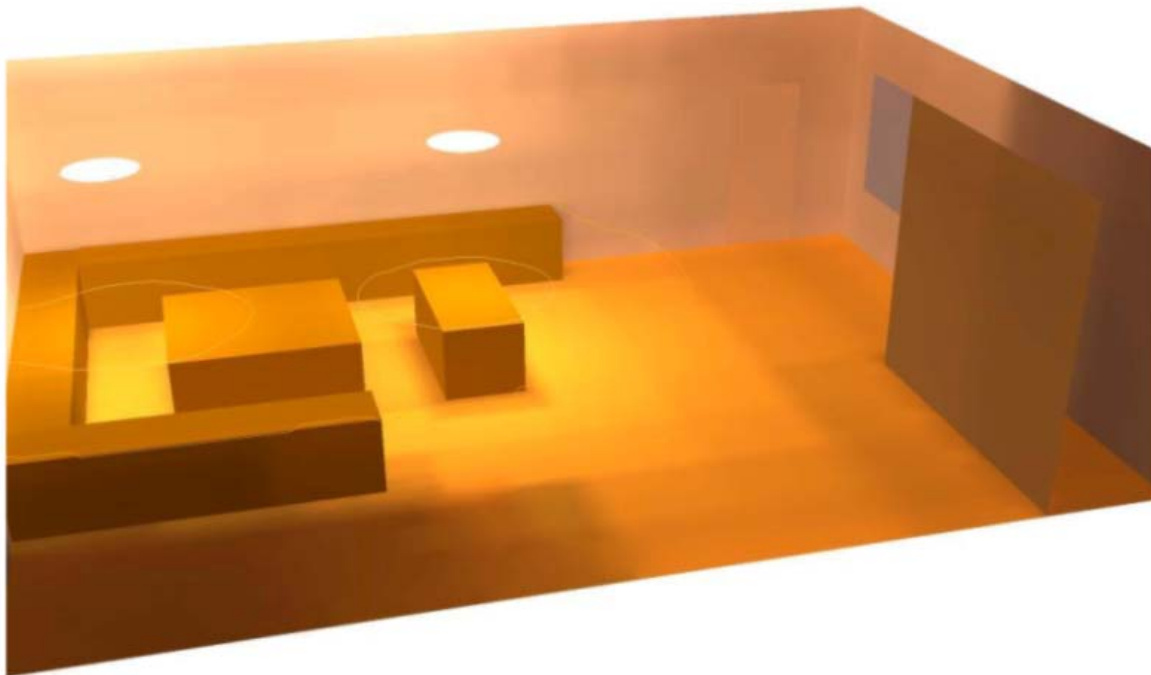


Figura 671 - Rendering 3D

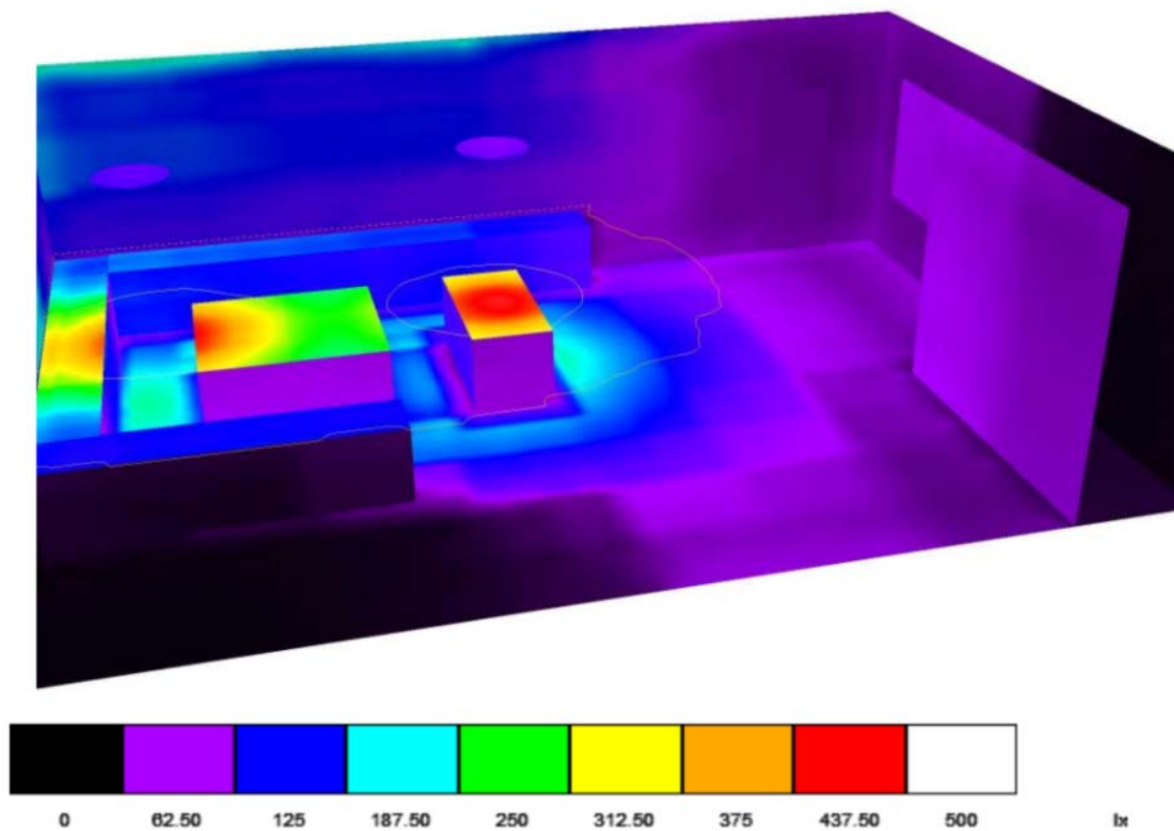


Figura 672 - Rendering colori sfalsati

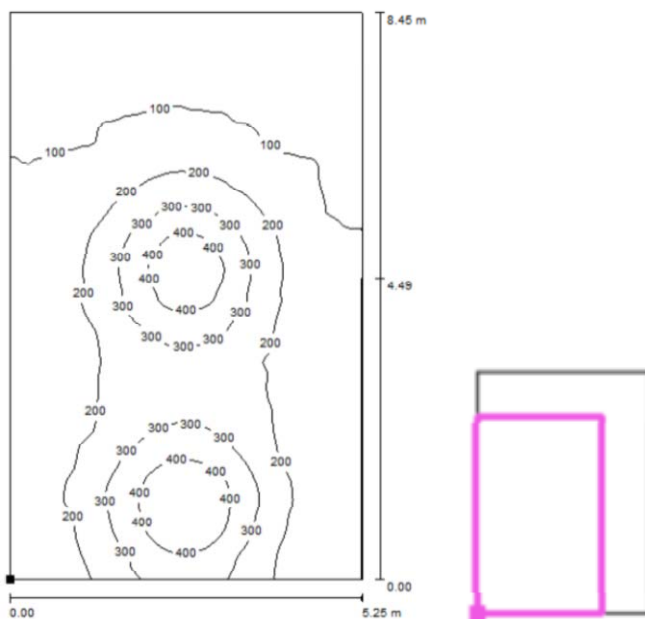


Figura 673 - Superficie di calcolo con isolinee

Figura 674 - Posizione della superficie nel locale

Punto contrassegnato: (0.987 m, 0.173 m, 0.850 m)

Reticolo: 128 x 128 punti

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
189	49	500	0,257	0,097

Tabella 51 – Illuminamenti

Il progetto non si è concentrato su tutta la stanza, ma sui piani di lavoro, che con l'inserimento delle due lampade del modello scelto, sono illuminati in modo sufficiente per lo svolgimento delle mansioni tipiche dell'ambiente.

9. Considerazioni sulle analisi di illuminazione naturale

Si riportano di seguito delle tabelle riassuntive su tutte le analisi svolte.

Mensa						
Mesi	Orari	Indicatori	Prova 1	Prova 2	Prova 3	Prova 4 ²⁴
21 marzo	ore 7.00	luminance	fino a 30 cd/m ²	fino a 50 cd/m ²	60 cd/m ²	35 cd/m ²
		illuminance	circa 150 lux	circa 100 lux	125 lux	125 lux
		DGP	0,243	0,240	0,240	0,211
		DGI	21,013	20,894	21,000	17,379
		UGR	23,252	23,094	23,223	20,503
	ore 12.00	luminance	circa 5 cd/m ²	circa 100cd/m ²	75 cd/m ²	195 cd/m ²
		illuminance	circa 200 lux	circa 200 lux	175 lux	825 lux
		DGP	0,245	0,249	0,244	0,224
		DGI	21,896	19,409	21,812	17,432
		UGR	24,454	22,292	24,332	20,082
	ore 17.00	luminance	circa 150 cd/m ²	circa 120cd/m ²	60 cd/m ²	80 cd/m ²
		illuminance	fino a 100 lux	fino a 100 lux	150 lux	175 lux
		DGP	0,244	0,240	0,241	0,233
		DGI	20,314	20,078	20,165	17,222
		UGR	23,731	23,396	23,542	20,264
21 giugno	ore 7.00	luminance	circa 100 cd/m ²	circa 100 cd/m ²	75 cd/m ²	75 cd/m ²
		illuminance	circa 150 lux	circa 200 lux	300 lux	300 lux
		DGP	0,232	0,232	0,234	0,235
		DGI	19,676	19,741	20,021	18,273
		UGR	22,628	22,752	23,083	21,633
	ore 12.00	luminance	circa 200 cd/m ²	circa 100 cd/m ²	100 cd/m ²	75 cd/m ²
		illuminance	fino a 300 lux	circa 300 lux	350 lux	300 lux
		DGP	0,248	0,247	0,247	0,224
		DGI	22,132	22,117	22,108	17,241
		UGR	24,779	24,754	24,749	20,054
	ore 17.00	luminance	fino a 350 cd/m ²	fino a 200 cd/m ²	90 cd/m ²	125 cd/m ²
		illuminance	fra 400 e 750 lux	tra 400 e 750 lux	400 lux	425 lux
		DGP	0,256	0,256	0,255	0,165
		DGI	21,287	21,327	21,148	10,405
		UGR	24,779	25,296	25,111	11,119
21 dicembre	ore 7.00	luminance	fino a 30 cd/m ²	fino a 30 cd/m ²	10 cd/m ²	15 cd/m ²
		illuminance	circa 50 lux	circa 50 lux	50 lux	50 lux
		DGP	0,221	0,220	0,220	0,180
		DGI	19,901	19,650	19,613	15,339
		UGR	21,811	21,456	21,377	17,782
	ore 12.00	luminance	fino a 100 cd/m ²	fino a 100 cd/m ²	50 cd/m ²	75 cd/m ²

²⁴ Per l'opzione con lucernario gli indici di abbagliamento non sono direttamente confrontabili, poiché ricavati da viste di telecamere diverse.

		illuminance	circa 150 lux	circa 150 lux	100 lux	175 lux
		DGP	0,243	0,240	0,239	0,234
		DGI	21,601	21,450	21,372	16,966
		UGR	24,025	23,838	23,732	19,874
	ore 17.00	luminance	fino a 50 cd/m ²	fino a 10 cd/m ²	75 cd/m ²	5 cd/m ²
		illuminance	circa 20 lux	circa 20 lux	300 lux	10 lux
		DGP	0,169	0,169	0,169	0,165
		DGI	15,411	15,356	15,152	10,405
		UGR	15,878	15,799	15,527	11,119

Tabella 52 - Riassunto analisi Radiance e Evalglare mensa

Cucina				
Mesi	Orari	Indicatori	Prova 1	Prova 2
21 marzo	ore 6.00	luminance	circa 5 cd/m ²	circa 5 cd/m ²
		illuminance	circa 25 lux	circa 25 lux
		DGP	0,234	0,235
		DGI	20,188	19,516
		UGR	26,120	24,202
	ore 11.00	luminance	circa 30 cd/m ²	circa 30 cd/m ²
		illuminance	circa 150 lux	circa 150 lux
		DGP	0,257	0,264
		DGI	20,949	22,210
		UGR	25,743	27,207
	ore 18.00	luminance	circa 5 cd/m ²	circa 5 cd/m ²
		illuminance	circa 50 lux	circa 50 lux
		DGP	0,255	0,250
		DGI	20,821	20,192
		UGR	26,714	25,125
21 giugno	ore 6.00	luminance	circa 10 cd/m ²	circa 15 cd/m ²
		illuminance	circa 75 lux	circa 150 lux
		DGP	0,273	0,261
		DGI	21,094	21,047
		UGR	26,471	25,891
	ore 11.00	luminance	circa 50 cd/m ²	circa 50 cd/m ²
		illuminance	circa 250 lux	circa 250 lux
		DGP	0,260	0,266
		DGI	21,113	22,351
		UGR	25,990	27,367
	ore 18.00	luminance	fino a 300 cd/m ²	fino a 300 cd/m ²
		illuminance	circa 300 lux	circa 300 lux
		DGP	0,291	0,275
		DGI	24,053	22,469
		UGR	29,632	27,215
21 dicembre	ore 6.00	luminance	1 cd/m ²	1 cd/m ²
		illuminance	circa 5 lux	circa 150 lux

		DGP	0,166	0,166
		DGI	14,156	13,530
		UGR	17,835	16,284
	ore 11.00	luminance	circa 20 cd/m ²	circa 20 cd/m ²
		illuminance	circa 150 lux	circa 150 lux
		DGP	0,262	0,263
		DGI	20,780	21,765
	ore 18.00	UGR	25,630	26,868
		luminance	0,1 cd/m ²	0,1 cd/m ²
		illuminance	circa 0,5 lux	circa 0,5 lux
		DGP	0,164	0,164
		DGI		
		UGR		

Tabella 53 - Riassunto analisi Radiance e Evalglare cucina

Palestra				
Mesi	Orari	Indicatori	Prova 1	Prova 2
21 marzo	ore 11.00	luminance	fino a 30 cd/m ²	fino a 30 cd/m ²
		illuminance	75 lux	fino a 350 lux
		DGP	0,260	0,262
		DGI	20,704	20,456
		UGR	25,016	24,875
	ore 15.00	luminance	circa 75 cd/m ²	circa 75 cd/m ²
		illuminance	fino a 350 lux	fino a 350 lux
		DGP	0,241	0,245
		DGI	19,640	19,492
		UGR	23,436	23,278
	ore 17.00	luminance	circa 75 cd/m ²	circa 75 cd/m ²
		illuminance	fino a 250 lux	fino a 250 lux
DGP		0,232	0,236	
DGI		18,491	18,586	
UGR		21,940	22,114	
21 giugno	ore 11.00	luminance	fino a 110 cd/m ²	circa 10 cd/m ²
		illuminance	fino a 255 lux	fino a 225 lux
		DGP	0,261	0,259
		DGI	20,963	20,503
		UGR	25,300	24,821
	ore 15.00	luminance	circa 75 cd/m ²	circa 75 cd/m ²
		illuminance	fino a 350 lux	fino a 450 lux
		DGP	0,249	0,246
		DGI	20,843	20,274
		UGR	25,000	24,256
	ore 17.00	luminance	circa 125 cd/m ²	circa 75 cd/m ²
		illuminance	tra 50 e 750 lux	fino a 450 lux
DGP		0,251	0,248	
		DGI	20,786	20,426

		UGR	24,981	24,556
21 dicembre	ore 11.00	luminance	circa 75 cd/m ²	circa 15 cd/m ²
		illuminance	circa 150 lux	circa 75 lux
		DGP	0,257	0,264
		DGI	19,983	20,204
		UGR	24,088	24,503
	ore 15.00	luminance	circa 25 cd/m ²	circa 10 cd/m ²
		illuminance	fino a 90 lux	fino a 105 lux
		DGP	0,222	0,229
		DGI	17,860	18,362
		UGR	21,137	21,861
	ore 17.00	luminance	circa 7,5 cd/m ²	circa 1,5 cd/m ²
		illuminance	circa 6,5 lux	circa 4,5 lux
		DGP	0,167	0,168
		DGI	12,487	13,232
UGR		13,994	15,029	

Tabella 54 - Riassunto analisi Radiance e Evalglare palestra

Camera				
Mesi	Orari	Indicatori	Prova 1	Prova 2
21 marzo	ore 6.00	luminance	circa 600 cd/m ²	circa 550 cd/m ²
		illuminance	fino a 950 lux	circa 450 lux e fino a 900 lux ²⁵
		DGP	0,252	0,239
		DGI	20,773	20,586
		UGR	24,258	23,858
	ore 11.00	luminance	circa 150 cd/m ²	circa 150 cd/m ²
		illuminance	fino a 900 lux	circa 500 lux e fino a 900 lux
		DGP	0,279	0,264
		DGI	22,850	22,255
		UGR	26,982	26,213
	ore 18.00	luminance	circa 15 cd/m ²	circa 5 cd/m ²
		illuminance	circa 25 lux	circa 25 lux
		DGP	0,231	0,213
		DGI	18,872	18,300
		UGR	23,131	22,408
21 giugno	ore 6.00	luminance	circa 150 cd/m ²	circa 150 cd/m ²
		illuminance	tra 150 e 750 lux - tra 250 e 950 lux	circa 450 lux e tra 150 e 450 lux
		DGP	0,256	0,245
		DGI	20,497	19,953
		UGR	24,731	23,952
	ore 11.00	luminance	circa 150 cd/m ²	circa 50 cd/m ²
		illuminance	tra 350 e 650 lux - tra 250 e 950 lux	tra 350 e 650 lux e tra 250 e 950 lux
		DGP	0,271	0,262

²⁵ Quando si presentano due valori distinti, si intende per la zona scrivania e la zona letti.

		DGI	22,200	21,713	
		UGR	26,949	26,355	
	ore 18.00	luminance	circa 30 cd/m ²	circa 10 cd/m ²	
		illuminance	circa 130 lux e circa 90 lux	circa 130 lux e circa 90 lux	
		DGP	0,257	0,255	
		DGI	21,525	20,963	
		UGR	26,576	25,855	
		21 dicembre	ore 6.00	luminance	circa 5,5 cd/m ²
	illuminance			circa 9,5 lux	tra 7,5 e 9,5 lux
	DGP			0,203	0,190
DGI	18,150			17,548	
UGR	22,701			21,908	
ore 11.00	luminance		circa 275 cd/m ²	circa 225 cd/m ²	
	illuminance		circa 1350 lux e circa 750 lux	circa 450 lux e fino a 750 lux e 9,5 lux	
	DGP		0,279	0,263	
	DGI		23,149	22,429	
	UGR		27,235	26,348	
ore 18.00	luminance	circa 5 cd/m ²	circa 0,015 cd/m ²		
	illuminance	circa 0,55 lux	circa 0,35 lux		
	DGP	0,164	0,164		
	DGI				
	UGR				

Tabella 55 - Riassunto analisi Radiance e Evalglare palestra

Parametri	Abbagliamento impercettibile	Abbagliamento percepibile	Abbagliamento disturbante	Abbagliamento intollerabile
DGP	< 0.35	0.35 - 0.40	0.4 - 0.45	> 0.45
DGI	< 18	18 - 24	24 - 31	> 31
UGR	< 13	13 - 22	22 - 28	> 28

Tabella 56 - Intervalli di tolleranza degli indici

Daysim	Mensa				Cucina		Palestra		Camera		Valori ottimali
	1	2	3	4	1	2	1	2	1	2	
DA (%)	32,08	41,14	39,49	50,97	13,80	18,91	63,73	52,27	87,12	84,83	40-60
Da _{max} (%)	2,50	3,52	1,39	4,03	0,16	0,55	11,86	10,27	32,20	19,85	
Da _{con} (%)	47,13	53,21	52,03	67,60	28,86	36,98	82,14	78,44	89,68	88,50	
DF (%)	1,22	1,59	1,24	1,92	1,06	1,72	1,76	1,52	2,50	1,66	5
DSP (%)	19,59	26,80	24,44	32,07	16,78	21,42	30,91	28,26	56,75	47,75	
UDI _{<100} (%)	55,10	47,98	48,99	33,47	59,07	45,76	36,29	42,70	12,57	14,90	<UDI ₁₀₀₋₂₀₀₀
UDI ₁₀₀₋₂₀₀₀ (%)	42,04	42,04	48,77	62,14	39,45	49,19	59,62	55,14	73,51	76,76	
UDI _{>2000} (%)	2,50	3,52	1,88	4,03	1,10	4,65	3,77	1,88	13,58	7,95	<UDI ₁₀₀₋₂₀₀₀

Tabella 57 - Riassunto analisi Daysim

Per meglio comprendere la differenza fra i casi analizzati, riportiamo in *spider charts* un confronto con alcuni indicatori:

- Daylight Autonomy;
- Daylight Factor;
- Useful daylight index ₁₀₀₋₂₀₀₀.

Per la scala di giudizio si è scelto un valore massimo per ogni indice (50 per DA, 5% per DF e 100 per UDI₁₀₀₋₂₀₀₀) che corrispondesse all'unità, dal quale sono stati calcolati i rispettivi punteggi per ogni caso analizzato.

mensa	1	2	3	4
DA	0,642	0,823	0,790	0,981
DF	0,244	0,318	0,248	0,384
UDI ₁₀₀₋₂₀₀₀	0,420	0,420	0,488	0,621

Tabella 58 - Confronto illuminazione naturale mensa

cucina	1	2
DA	0,276	0,378
DF	0,212	0,344
UDI ₁₀₀₋₂₀₀₀	0,735	0,768

Tabella 59 - Confronto illuminazione naturale cucina

palestra	1	2
DA	0,785	0,957
DF	0,352	0,304
UDI ₁₀₀₋₂₀₀₀	0,596	0,551

Tabella 60 - Confronto illuminazione naturale palestra

camera	1	2
DA	0,574	0,589
DF	0,500	0,332
UDI ₁₀₀₋₂₀₀₀	0,735	0,768

Tabella 61 - Confronto illuminazione naturale camera

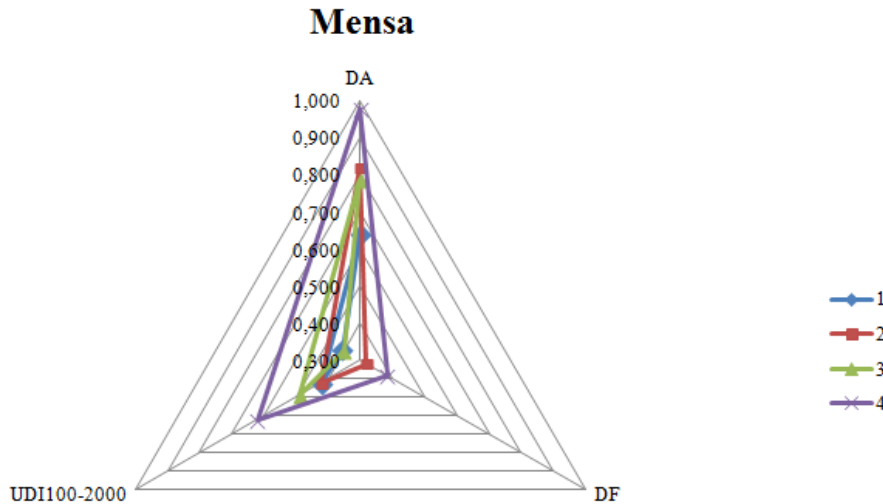


Figura 675 - Spider chart per illuminazione naturale, mensa

Si nota che il progetto base (1) della mensa presenta delle carenze a livello illuminotecnico, che con l'ampliamento della superficie vetrata (2) diventano meno drammatiche, ma ancora non compensate. Il tentativo di inserimento del light-shelf (3) non permette di risolvere la situazione, anzi la peggiora secondo gli indici del DA e DF. La soluzione ottimale è stata la scelta dell'introduzione di un lucernario in corrispondenza della zona più buia, che ha comportato una crescita di tutti i parametri presi in esame.

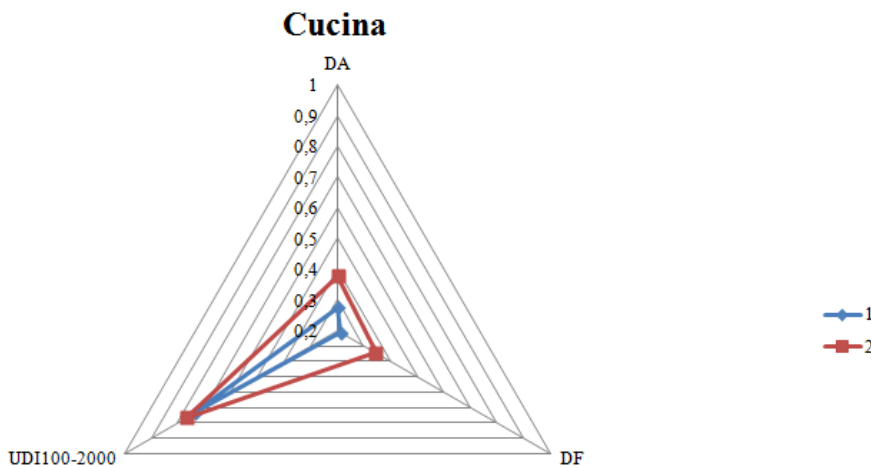


Figura 676 - Spider chart per illuminazione naturale, cucina

Il progetto base della cucina (1) è incorso in un miglioramento grazie all'aumento della superficie vetrata (2), ma risultando ancora troppo bassi i valori ed essendo impossibile inserire un'ulteriore

apertura a causa della ridotta superficie verso l'esterno, si è optato per un progetto di illuminazione artificiale mirato ai piani di lavoro.

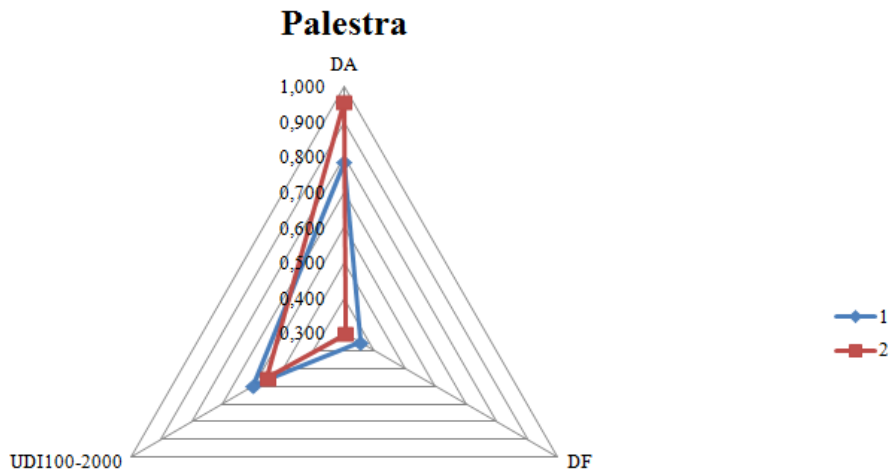


Figura 677 - Spider chart per illuminazione naturale, palestra

La palestra, pur essendo parte delle stanze con esposizione a nord-ovest, si trova in una situazione leggermente migliore rispetto alle altre. Se il progetto base (1) conferma un'illuminazione non ottimale, la scelta di una finestra a nastro al posto della porta-finestra peggiora la situazione. È quindi preferibile mantenere la configurazione di progetto.

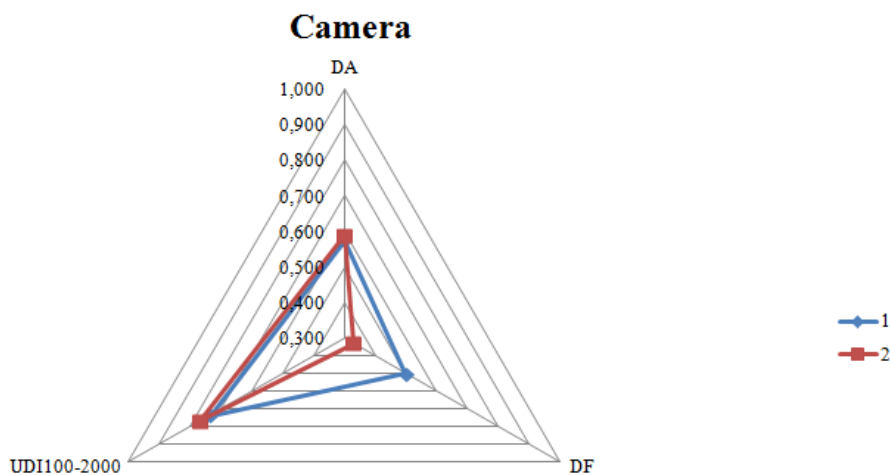


Figura 678 - Spider chart per illuminazione naturale, camera

La camera infine, partendo da una situazione di buona illuminazione naturale, era soggetta a problemi di abbagliamento, risolti con la riduzione della superficie vetrata (2), che comporta una diminuzione del DF. Nell'insieme comunque la seconda opzione resta preferibile al progetto di base, in quanto non è un solo indice che determina il carattere della prova, ma la valutazione di tutti i parametri affiancati.

Al termine di tutte le analisi si può affermare che l'ultima prova è migliorativa, tranne nel caso della palestra, per la quale conviene mantenere la configurazione di progetto.

10. Bilancio energetico

Per il calcolo del bilancio energetico è stato utilizzato un file Excel modellato sulle norme UNI EN ISO 13370 e soprattutto 13790. Di seguito riportiamo le basi teoriche che costituiscono la struttura del calcolo.

La scelta della fonte energetica per soddisfare una certa esigenza è funzione del costo dell'energia, della disponibilità e dell'innovazione tecnologica, e da qualche anno anche dell'impatto sull'ambiente.

Per bilancio energetico si intende l'analisi quantitativa dei flussi di energia all'interno di un sistema definito.

Per fare il bilancio energetico di un edificio bisogna considerarlo come un sistema complesso che interagisce con l'ambiente esterno mediante flussi di materia ed energia. Le principali categorie di interazione che possiamo considerare sono le interazioni luminose, acustiche e termiche.

Per poter condurre il calcolo del bilancio energetico di un edificio, esistono alcune normative di riferimento:

- UNI EN ISO 13789 Prestazioni termiche degli edifici - Coefficiente di perdita di calore per trasmissione - Metodo di calcolo;
- UNI EN ISO 13790 Prestazioni termiche degli edifici - Calcolo del fabbisogno di energia per riscaldamento e il raffrescamento;
- UNI/TS 11300-1 Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva e invernale;
- DIN V 18599 *Energy efficiency of buildings - Calculation of the energy needs, delivered Energy and primary energy for heating, cooling, ventilation, domestic hot water and lighting.*

La UNI 13790 fa parte di una serie di metodi di calcolo per il progetto e la valutazione delle prestazioni termiche degli edifici e dei componenti edilizi. Il metodo di calcolo presentato è basato su un bilancio di energia, che tiene conto delle variazioni di temperatura interna ed esterna e, attraverso un fattore di utilizzazione, dell'effetto dinamico degli apporti interni e solari. La norma fornisce un metodo di calcolo semplificato per la stima del fabbisogno annuale di energia per il riscaldamento di un complesso residenziale o non residenziale, o di una parte di esso, che sarà denominato "l'Edificio". Non si applica ad edifici con impianti di condizionamento dell'aria, adatti a fornire raffrescamento durante la stagione di riscaldamento.

Il presente metodo prevede il calcolo:

- delle dispersioni termiche e dei guadagni dell'edificio quando viene riscaldato o raffrescato ad una temperatura interna costante;
- del fabbisogno annuale di calore per mantenere le prefissate temperature di regolazione all'interno dell'edificio;
- del fabbisogno annuale di energia dell'impianto di riscaldamento o raffrescamento dell'edificio, utilizzando le caratteristiche dell'impianto ricavabili da specifiche norme europee o internazionali, o, in mancanza di esse da documenti nazionali.

L'edificio può avere diverse zone termiche a differenti temperature di regolazione e può avere anche un riscaldamento intermittente. Il periodo di calcolo è il mese. Per gli edifici residenziali il calcolo può essere effettuato anche sulla stagione di riscaldamento. Il calcolo mensile fornisce risultati corretti su base annuale, ma i risultati relativi ai singoli mesi in prossimità della fine e dell'inizio della stagione di riscaldamento possono essere soggetti a notevoli errori relativi.

10.1. Termini e definizioni

Periodo di calcolo: intervallo di tempo per il calcolo delle dispersioni e degli apporti termici.

Temperatura esterna: temperatura dell'aria esterna della località in oggetto.

Temperatura interna²⁶: media aritmetica della temperatura dell'aria e della temperatura media radiante al centro della zona occupata.

Temperatura di regolazione (*set-point*): temperatura interna fissata dal sistema di regolazione nel modo di riscaldamento normale²⁷.

Temperatura di attenuazione (*set-back*): temperatura interna minima da mantenere durante i periodi di riscaldamento ridotto.

Temperatura interna corretta: temperatura interna virtuale costante che determina la stessa dispersione termica del riscaldamento intermittente.

Ambiente riscaldato: vano o spazio chiuso riscaldato ad una determinata temperatura di regolazione.

Ambiente non riscaldato: vano o spazio chiuso che non fa parte dell'ambiente riscaldato.

Fabbisogno termico: calore che deve essere fornito all'ambiente riscaldato da un impianto di riscaldamento ideale per mantenere la temperatura di regolazione durante un certo intervallo di tempo.

Fabbisogno di energia per il riscaldamento ambiente: energia termica che deve essere fornita all'impianto di riscaldamento per soddisfare il fabbisogno termico.

Riscaldamento intermittente: modalità di riscaldamento secondo cui periodi di riscaldamento normale si alternano a periodi di riscaldamento ridotti.

Zona termica o riscaldata: parte dell'ambiente riscaldato con una data temperatura di regolazione, nella quale si ipotizza che la temperatura interna abbia variazioni spaziali trascurabili.

Coefficiente di trasferimento termico: rapporto tra il flusso di calore termico scambiato tra due zone divise e la differenza di temperatura tra le stesse zone.

Coefficiente di dispersione termica: coefficiente di scambio termico dell'ambiente riscaldato all'ambiente esterno.

Dispersione termica dell'edificio: calore trasferito dall'ambiente riscaldato all'ambiente esterno per trasmissione e ventilazione durante un dato intervallo di tempo.

Dispersione termica per ventilazione: calore disperso attraverso l'aria che lascia l'ambiente riscaldato, per exfiltrazione o per ventilazione.

Dispersione termica per trasmissione: dispersione termica per trasmissione attraverso l'involucro dell'edificio ed il terreno.

Apporti termici: calore generato all'interno dell'ambiente riscaldato o che vi entra da sorgenti diverse dagli impianti di riscaldamento e di produzione di acqua calda sanitaria. (apporti interni e solari).

Apporti termici interni: calore fornito all'interno dell'edificio dagli occupanti (calore metabolico sensibile) e da apparecchi diversi dagli impianti di riscaldamento e di produzione di acqua calda sanitaria (illuminazione, apparecchi domestici, apparecchi d'ufficio, ecc.).

²⁶ È la temperatura operante approssimativa secondo la norma ISO 7726

²⁷ Come definito dal DPR412/93

Apporti solari: calore fornito dalla radiazione solare entrante nell'edificio attraverso le finestre o dispositivi solari passivi come le serre, l'isolamento trasparente e le pareti solari.

Irraggiamento solare: energia solare incidente per unità di superficie in un dato intervallo di tempo.

Fattore di utilizzazione: fattore di riduzione degli apporti termici totali mensili o stagionali che serve per ricavare l'effettiva riduzione del fabbisogno termico.

Calore recuperato: calore recuperato dall'ambiente o dagli impianti di riscaldamento e di produzione di acqua calda sanitaria, se non preso direttamente in considerazione attraverso una riduzione delle perdite dell'impianto di riscaldamento.

Recupero termico di ventilazione: calore recuperato dall'aria espulsa.

Perdite dell'impianto di riscaldamento: calore totale perso dall'impianto di riscaldamento, comprese le perdite di calore recuperato.

10.2. Bilancio energetico dell'edificio secondo la UNI EN ISO 13790:2005

Il bilancio di energia comprende i seguenti termini (si considera solo il calore sensibile):

- dispersione termica per trasmissione e ventilazione dall'ambiente riscaldato verso l'ambiente esterno;
- scambio termico per trasmissione e ventilazione tra zone adiacenti;
- apporti termici interni;
- apporti solari;
- perdite di generazione, distribuzione, emissione e regolazione dell'impianto di riscaldamento;
- energia assorbita dall'impianto di riscaldamento.

Il bilancio di energia può anche considerare l'energia recuperata da sorgenti varie.

Poiché gli apporti termici possono indurre la temperatura interna a salire sopra il suo valore di regolazione, la dispersione termica addizionale risultante è presa in considerazione attraverso un fattore di utilizzazione che riduce gli apporti termici.

figura 1 **Bilancio di energia di un edificio**

Legenda

Q	Fabbisogno di energia per il riscaldamento	Q_{vr}	Recupero termico di ventilazione
Q_{oa}	Calore prodotto da altri apparecchi	Q_T	Dispersione termica per trasmissione
Q_r	Energia recuperata	Q_{hw}	Calore per la produzione di acqua calda sanitaria
Q_{hs}	Perdite dell'impianto di riscaldamento	Q_L	Dispersione termica totale
Q_m	Calore metabolico	1	Confine della zona riscaldata
Q_s	Apporti solari passivi	2	Confine dell'impianto di produzione d'acqua calda sanitaria
Q_i	Apporti interni	3	Confine dell'impianto di riscaldamento
Q_g	Apporti totali	4	Confine dell'edificio
ηQ_g	Apporti utili		
Q_h	Fabbisogno termico		
Q_v	Dispersione termica per ventilazione		

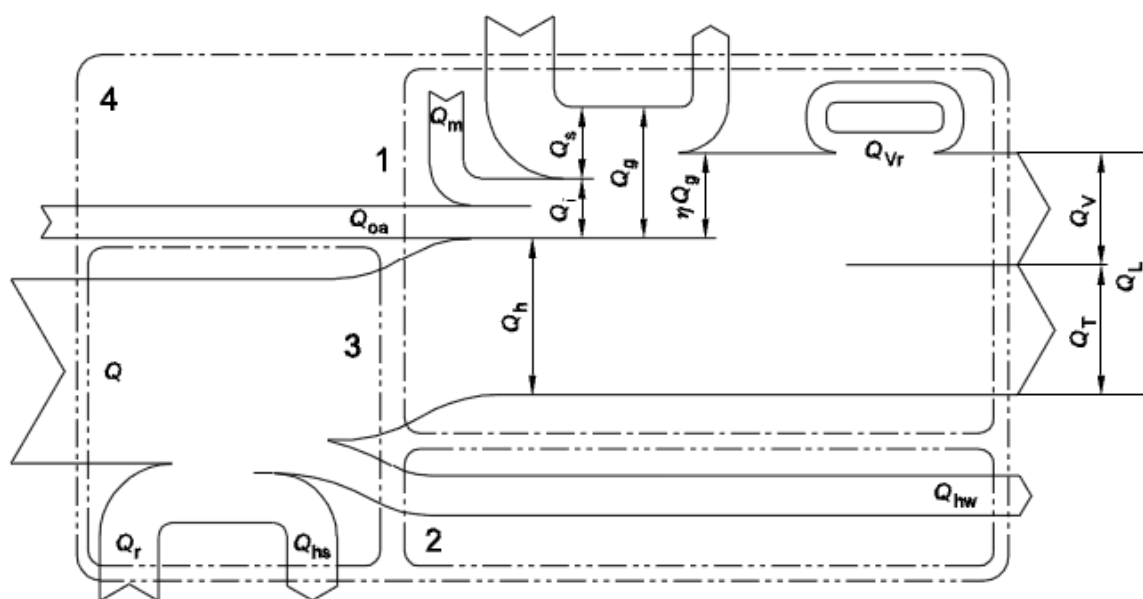


Figura 679 - Bilancio energetico di un edificio

10.2.1. Procedimento di calcolo

Si riporta sinteticamente di seguito il procedimento di calcolo²⁸.

1. Definire i confini dell'ambiente riscaldato e, se appropriato, delle differenti zone ed ambienti non riscaldati;
2. nel caso di riscaldamento intermittente o ventilazione intermittente, definire, all'interno del periodo di calcolo, i periodi aventi modalità differenti di riscaldamento e ventilazione (per esempio giorno, notte, fine settimana);
3. per una zona termica singola, calcolare il coefficiente di dispersione termica dell'ambiente riscaldato; o per un calcolo multi-zona seguire il procedimento riportato nell'appendice B;
4. per il calcolo stagionale, definire o calcolare la durata e i dati climatici della stagione di riscaldamento. Quindi, per ciascun periodo di calcolo (mese o stagione di riscaldamento):
5. calcolare la temperatura interna corretta per ciascun periodo;
6. calcolare la dispersione termica, Q_L ;
7. calcolare gli apporti termici interni, Q_i ;
8. calcolare gli apporti solari, Q_s ;

²⁸ Nel caso in cui si applichi la norma a edifici esistenti, si deve seguire il procedimento particolare riportato nell'appendice A.

9. calcolare il fattore di utilizzazione degli apporti termici, η ;
10. calcolare il fabbisogno termico, Q_h , per tutti i periodi di calcolo;
11. calcolare il fabbisogno termico annuale, $Q_{h,a}$;
12. calcolare il fabbisogno di energia per il riscaldamento, prendendo in considerazione le perdite dell'impianto di riscaldamento.

10.2.2. Definizione dei confini e delle zone

10.2.2.1. Confine dell'ambiente riscaldato

Il confine dell'ambiente riscaldato è costituito da tutti gli elementi edilizi che separano l'ambiente riscaldato dall'ambiente esterno o dalle zone adiacenti riscaldate o dagli ambienti non riscaldati.

10.2.2.2. Zone termiche

Calcolo relativo ad una zona termica singola

Nel caso in cui l'ambiente riscaldato sia mantenuto dappertutto alla stessa temperatura e quando gli apporti interni e solari sono relativamente piccoli o uniformemente distribuiti in tutto l'edificio, si applica il procedimento di calcolo relativo ad una zona termica singola.

La divisione in zone non è richiesta quando:

- le temperature di regolazione delle singole zone non differiscono mai di oltre 4 K, e ci si attende che i rapporti apporti/perdite differiscano tra di loro di un valore minore di 0,4 (per esempio tra le zone a nord e quelle a sud), oppure
- è probabile che le porte che dividono le diverse zone siano frequentemente aperte.

Calcolo multi-zona

Negli altri casi con differenze significative nelle temperature di regolazione o negli apporti termici, l'edificio è diviso in diverse zone. Se lo scopo del calcolo è stimare individualmente il fabbisogno termico di ogni zona, allora si deve utilizzare il procedimento di calcolo riportato nell'appendice B. Altrimenti, ogni zona può essere calcolata indipendentemente utilizzando il procedimento di calcolo relativo ad una zona singola ed assumendo confini adiabatici tra le zone. Il fabbisogno di energia dell'edificio è la sommatoria dei valori del fabbisogno di energia calcolati per le singole zone.

10.2.3. Dati di ingresso

In mancanza di norme internazionali alle quali fare riferimento, le informazioni necessarie possono essere ottenute da norme nazionali o da altri documenti pertinenti, che dovrebbero essere sempre utilizzati quando disponibili. Per la previsione dei fabbisogni di energia o per la valutazione di conformità a regolamenti o specifiche tecniche, si devono utilizzare valori convenzionali, in modo tale da rendere i risultati confrontabili tra diversi edifici.

Per l'ottimizzazione di un edificio da progettare o la ristrutturazione di un edificio esistente, si deve effettuare la migliore stima possibile dei dati di ingresso per quel dato edificio (appendice A). Tuttavia, se non sono disponibili dati più affidabili, si possono utilizzare, in prima approssimazione, i valori convenzionali.

Le dimensioni fisiche dell'edificio devono essere consistenti per tutte le fasi del calcolo. È possibile riferirsi alle dimensioni interne, esterne o interne d'ingombro, ma lo stesso tipo di dimensioni deve

essere mantenuto per l'intero calcolo e il tipo di dimensioni utilizzate deve essere chiaramente indicato²⁹.

I dati di ingresso richiesti per il calcolo relativo ad un'unica zona termica sono riportati di seguito. Alcuni di questi dati possono essere diversi per ciascun periodo di calcolo (per esempio i fattori di correzione per ombreggiatura, le portate d'aria nei mesi freddi) e per ciascun periodo relativo ad una certa modalità d'intermittenza (per esempio la portata d'aria, la trasmittanza termica delle finestre a causa della chiusura delle imposte durante la notte).

10.2.3.1. Dati di ingresso: edificio

I dati di ingresso relativi alle caratteristiche tipologiche dell'edificio comprendono:

- volume lordo dell'ambiente climatizzato V_l ;
- il volume netto dell'ambiente climatizzato V ;
- la superficie netta calpestabile dell'ambiente climatizzato A_f ;
- le superfici di tutti i componenti dell'involucro e della struttura edilizia A ;
- le tipologie e le dimensioni dei ponti termici l ;
- gli orientamenti di tutti i componenti dell'involucro edilizio;
- le caratteristiche geometriche di tutti gli elementi esterni che ombreggiano i componenti trasparenti dell'involucro edilizio.

10.2.3.2. Dati di ingresso: temperatura interna

Climatizzazione invernale

Per tutte le categorie di edifici ad esclusione delle categorie E.6(1), E.6(2) e E.8³⁰ si assume una temperatura interna pari a 20°C. Per gli edifici confinanti in condizioni standard di calcolo, si assume:

- temperatura pari a 20° per edifici confinanti riscaldati e appartamenti vicini normalmente abitati;
- temperatura conforme alla UNI EN 12831 per appartamenti confinanti in edifici che non sono normalmente abitati (per esempio case delle vacanze);
- temperatura conforme all'appendice A della UNI EN ISO 13789:2008³¹, per edifici o ambienti confinanti non riscaldati (magazzini, autorimesse, cantinati, vano scale, ecc)

²⁹ Alcune trasmittanze termiche lineari dei ponti termici dipendono dal tipo di dimensione utilizzata.

³⁰ E.6(1) piscine, saune e assimilabili per cui si assume una temperatura costante di 28°; E.6(2) palestre e assimilabili e E.8 edifici adibiti ad attività industriali e artigianali assimilabili per cui si assume una temperatura interna costante di 18°

³¹ $\theta_u = \frac{\phi + \theta_i H_{iu} + \theta_e H_{ue}}{H_{iu} + H_{ue}}$ dove

θ è la temperatura;

ϕ è il flusso termico prodotto all'interno dello spazio "non riscaldato" (per esempio apporti solari);

H è il coefficiente di perdita di calore calcolato in accordo.

Il pedice i indica l'interno, il pedice e indica l'esterno e u indica non riscaldato.

Climatizzazione estiva

Per tutte le categorie di edifici ad esclusione delle categorie E.6(1), E.6(2)³² si assume una temperatura interna costante pari a 26°C. La temperatura interna degli edifici adiacenti è fissata convenzionalmente a 26°.

10.2.3.3. Dati di ingresso: dispersione termica

H_T coefficiente di dispersione termica per trasmissione, calcolato secondo la EN ISO 13789³³.

V portata d'aria attraverso l'edificio, inclusi i flussi d'aria verso e dagli ambienti non riscaldati.

Il coefficiente di perdita di calore per trasmissione, H_T , è calcolato con l'equazione:

$$H_T = L_D + H_g + H_U$$

dove:

L_D ³⁴ è il coefficiente di accoppiamento diretto tra lo spazio riscaldato e l'esterno attraverso l'involucro edilizio;

H_g ³⁵ è il coefficiente di perdita di calore attraverso il terreno in condizioni stazionarie, in W/K, calcolato in accordo con la EN ISO 13370 come proposto dalla normativa 13789:2001 al paragrafo 4.4.

³² Per gli edifici di categoria E.6(1) si assume una temperatura costante pari a 28°, mentre per quelli di categoria E.6(2) pari a 24°

³³ Al contrario di quanto riportato nella EN ISO 13789 i valori medi giornalieri della trasmittanza termica delle finestre con imposte possono essere determinate in base ai valori forniti dalla EN ISO 10077-1, *Thermal performance of windows, doors and shutters - Calculation of thermal transmittance - Part 1: Simplified method*.

³⁴ Definito dall'equazione $L_D = \sum_i A_i U_i + \sum_k l_k \Psi_k + \sum_j \chi_j$ oppure $L_D = \sum_i A_i U_i + \sum_k L_k^{2D} I_k + \sum_j L_j^{3D}$ dove:

A_i è l'area dell'elemento i dell'involucro edilizio, in m² (le dimensioni di finestre e porte sono assunte come le dimensioni delle aperture nella parete);

U_i è la trasmittanza termica del componente i dell'involucro edilizio, calcolata in accordo con la EN ISO 6946 per elementi opachi o in accordo con la EN ISO 10077-1 per elementi vetriati, in W/(m²K);

l_k è la lunghezza del ponte termico lineare k , in metri;

Ψ_k è la trasmittanza termica lineica del ponte termico lineare k , presa dalla EN ISO 14683 o calcolata in accordo con la EN ISO 10211-2, in W/(mK);

χ_j è la trasmittanza termica puntuale del ponte termico j , calcolata in accordo con la EN ISO 10211-1, in W/K (non devono essere aggiunti qui i ponti termici puntuali che normalmente sono parte di elementi edilizi piani e già considerati nelle trasmittanze termiche di questi);

L_k^{2D} è il coefficiente di accoppiamento termico lineico, ottenuto da un calcolo bidimensionale in accordo con la EN ISO 10211-1, in W/(mK);

L_j^{3D} è il coefficiente di accoppiamento termico lineico, ottenuto da un calcolo tridimensionale in accordo con la EN ISO 10211-1, in W/K.

La sommatoria deve essere eseguita su tutti i componenti edilizi che separano l'ambiente interno da quello esterno.

³⁵ H_g in presenza di ambienti non climatizzati è calcolato come se tali ambienti non ci fossero. Esso si calcola attraverso $H_{g,m}$ che considera l'inerzia termica del terreno e il fattore correttivo b_m i cui valori possono essere forniti a livello nazionale su base mensile o stagionale. Il valore di b è tipicamente minore di 1 in inverno e

H_U è il coefficiente di perdita di calore per trasmissione verso ambienti non riscaldati definito nell'equazione $H_U = L_{iu}b$ con $b = \frac{H_{ue}}{H_{iu} + H_{ue}}$ dove

L_{iu} è il coefficiente di accoppiamento termico tra lo spazio riscaldato e quello non riscaldato, in W/K ($L_{iu} = L_{Diu} + L_{Siu}$);

H_{iu} è il coefficiente di perdita di calore dallo spazio riscaldato allo spazio non riscaldato, in W/K;

H_{ue} è il coefficiente di perdita di calore dallo spazio non riscaldato all'ambiente esterno, in W/K.

10.2.3.4. Dati di ingresso per gli apporti di calore

Φ_i apporti termici interni medi durante il periodo di calcolo.

Per gli elementi vetrati dell'involucro, si devono raccogliere i seguenti dati, separatamente per ciascun orientamento (per esempio orizzontale, inclinato e verticale sud e nord):

A_j area dell'apertura realizzata sull'involucro dell'edificio per ciascuna finestra o porta;

F_{Fj} fattore telaio, cioè la frazione trasparente dell'area A_j , non occupata da un telaio;

F_{sj} fattore di correzione per ombreggiatura, cioè la frazione ombreggiata media dell'area A_j ;

g_j trasmittanza energetica solare totale per radiazione solare.

Caratteristiche dinamiche

C^{36} capacità termica dell'ambiente riscaldato;

τ costante di tempo dell'ambiente riscaldato.

Si dovrebbe specificare C oppure τ , non entrambi.

Dati di ingresso per il fabbisogno di energia

Q_{hs} perdite dell'impianto di riscaldamento.

Dati climatici

Il metodo di calcolo richiede i seguenti dati climatici:

θ_e media mensile o stagionale della temperatura esterna;

$I_{s,j}$ irraggiamento solare totale mensile o stagionale per unità di superficie per ciascun orientamento j , in joule al metro quadrato.

maggiore di 1 in estate, perché durante l'inverno la differenza effettiva di temperatura attraverso il terreno è minore della differenza di temperatura tra gli ambienti interno ed esterno, e durante l'estate è maggiore. Se la temperatura esterna media mensile è maggiore della temperatura interna il valore di b può essere negativo.

$$H_g = \frac{H_{g,m}}{b_m}$$

³⁶ Secondo la seguente equazione $C = \sum \chi_j A_j = \sum_j \sum_i \rho_{ij} c_{ij} d_{ij} A_j$ dove

χ_j è la capacità termica areica interna dell'elemento edilizio j ;

A_j è l'area dell'elemento j ;

ρ_{ij} è la massa volumica del materiale dello strato i nell'elemento j ;

c_{ij} è il calore specifico del materiale dello strato i nell'elemento j ;

d_{ij} è lo spessore dello strato i nell'elemento j

10.2.4. Dispersione termica

La dispersione termica totale, Q_L , di un edificio a singola zona termica, a temperatura interna uniforme e per un dato periodo di calcolo, è:

$$Q_L = H(\theta_i - \theta_e)t$$

dove:

θ_i è la temperatura di regolazione;

θ_e è la temperatura esterna media durante il periodo di calcolo;

t è la durata del periodo di calcolo;

H è il coefficiente di dispersione termica dell'edificio.

L'equazione può essere adattata a livello nazionale per permettere l'utilizzo dei gradi giorno. Il risultato della relazione adattata deve, ciò nonostante, essere lo stesso per qualunque edificio.

10.2.4.1. Coefficiente di dispersione termica

Il coefficiente di dispersione termica di un edificio a singola zona termica, a temperatura interna uniforme e per un dato periodo o sotto-periodo di calcolo, è definito dall'equazione:

$$H = H_T + H_V$$

dove:

H_T è il coefficiente di dispersione termica per trasmissione, calcolato secondo la EN ISO 13789:

$$H_T = \sum U_i S_i + \sum U_j S_j + \sum \Psi_k I_k$$

H_V è il coefficiente di dispersione termica per ventilazione, descritto a pagina 220.

10.2.5. Scambio termico verso ambienti non climatizzati

Il coefficiente globale di scambio termico per trasmissione, H_U , tra il volume climatizzato e gli ambienti esterni attraverso gli ambienti non climatizzati si ottiene come:

$$H_U = H_{iu} \times b_{tr,x}$$

dove $b_{tr,x}$ è il fattore di correzione dello scambio termico tra ambienti climatizzato e non climatizzato, diverso da 1 nel caso in cui la temperatura di quest'ultimo sia diversa da quella dell'ambiente esterno. Si ha:

$$b_{tr,x} = \frac{H_{ue}}{H_{iu} + H_{ue}} \text{ dove:}$$

H_{iu} è il coefficiente globale di scambio termico tra l'ambiente climatizzato e l'ambiente non climatizzato;

H_{ue} è il coefficiente globale di scambio termico tra l'ambiente non climatizzato e l'ambiente esterno.

Per gli edifici esistenti, in assenza di dati di progetto attendibili o comunque di informazioni più precise, i valori del fattore $b_{tr,x}$ si possono assumere dal prospetto seguente.

Ambiente confinante	$B_{tr,x}$
Ambiente	
- con una parete esterna	0,4
- senza serramenti esterni e con almeno due pareti esterne	0,5
- con serramenti esterni e con almeno due pareti esterne (per esempio autorimesse)	0,6
- con tre pareti esterne (per esempio vani scala esterni)	0,8
Piano interrato o seminterrato	
- senza finestre o serramenti esterni	0,5
- con finestre o serramenti esterni	0,8
Sottotetto	
- tasso di ventilazione del sottotetto elevato (per esempio tetti ricoperti con tegole o altri materiali di copertura discontinua) senza rivestimento con feltro o assito	1,0
- altro tetto non isolato	0,9
- tetto isolato	0,7
Aree interne di circolazione (senza muri esterni e con tasso di ricambio d'aria minore di $0,5 \text{ h}^{-1}$)	0
Aree interne di circolazione liberamente ventilate (rapporto tra l'area delle aperture e volume dell'ambiente maggiore $0,005 \text{ m}^2/\text{m}^3$)	1

Tabella 62 - Fattore di correzione $b_{tr,x}$

10.2.6. Scambio termico verso il terreno

Lo scambio termico verso il terreno deve essere calcolato secondo la UNI EN ISO 13370. Per gli edifici esistenti, in assenza di dati di progetto attendibili o comunque di informazioni più precise, il coefficiente di accoppiamento termico in regime stazionario tra gli ambienti interno ed esterno è:

$$H_g = A \times U_f \times b_{tr,g} \text{ dove:}$$

A è l'area dell'elemento;

U_f è la trasmittanza termica della parte sospesa del pavimento (tra l'ambiente interno e lo spazio sottopavimento), espressa in $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$, mentre, $b_{tr,g}$ è dato dal prospetto seguente.

Ambiente confinante	$b_{tr,g}$
Pavimento controterra	0,45
Parte controterra	0,45
Pavimento su vespaio aerato	0,80

Tabella 63 - Fattore di correzione $b_{tr,g}$

10.2.7. Dispersione termica per ventilazione

Il coefficiente di dispersione termica per ventilazione, H_v , è calcolato come³⁷:

$$H_v = \rho_a c_a V \text{ dove:}$$

V è la portata d'aria attraverso l'ambiente riscaldato;

$\rho_a c_a$ è la capacità termica dell'aria per unità di volume.

10.2.7.1. Portata di ventilazione minima

Per ragioni igieniche e di comfort è necessaria una portata minima di ventilazione quando l'edificio è occupato. Questa portata minima di ventilazione può essere determinata su base nazionale, in funzione della tipologia edilizia e delle modalità di occupazione dell'edificio.

³⁷ Se la portata d'aria, V, è espressa in metri cubi al secondo, allora $\rho_a c_a \approx 1200 \text{ J}/(\text{m}^3 \cdot \text{K})$. Se V è espressa in metri cubi all'ora, allora $\rho_a c_a \approx 0,34 \text{ Wh}/(\text{m}^3 \cdot \text{K})$

Valori tipici sono:

$V_{\min} = 0,3 \text{ h}^{-1} V$ [m^3/h], dove V è il volume ventilato, per gli edifici residenziali;

$V_{\min} = 15 \text{ m}^3/\text{h}$ a persona (durante l'occupazione) per gli edifici non residenziali.

10.2.7.2. Recupero termico

Il recupero termico dall'aria espulsa è preso in considerazione attraverso una riduzione della portata d'aria reale in proporzione all'efficienza del recupero termico.

Questa efficienza è sempre minore dell'efficacia dello scambiatore di calore in sé. Essa deve tenere in considerazione le differenze tra le portate d'aria di mandata ed estrazione, delle perdite e delle infiltrazioni attraverso l'involucro dell'edificio e del ricircolo d'aria.

10.2.7.3. Impianti meccanici con scambiatori di calore

Per gli edifici con recupero termico dall'aria di espulsione all'aria d'ingresso, la dispersione termica per ventilazione meccanica è ridotta del fattore $(1-\eta_v)$ dove η_v è l'efficienza globale del sistema di recupero termico. Così la portata d'aria efficace per il calcolo della dispersione termica quando i ventilatori sono accesi è determinata da:

$$V = V_1(1 - \eta_v) + V_x \text{ dove:}$$

η_v è l'efficienza globale di recupero termico, tenendo conto delle differenze tra le portate d'aria di mandata e di estrazione. Il calore contenuto nell'aria che lascia l'edificio attraverso le infiltrazioni non può essere recuperato.

V_1 è la portata d'aria di progetto dovuta alla ventilazione meccanica;

V_x è la portata d'aria aggiuntiva con i ventilatori accesi, dovuta al vento ed all'effetto camino.

Per gli impianti con recupero termico dall'aria di espulsione all'acqua calda o all'impianto di riscaldamento ambiente tramite una pompa di calore, la portata di ventilazione è calcolata senza alcuna riduzione. In questo caso, la riduzione del fabbisogno di energia dovuta al recupero termico è consentita nel calcolo del fabbisogno di energia del sistema corrispondente.

10.2.7.4. Volume netto dell'ambiente climatizzato

In assenza di informazioni sul volume netto dell'ambiente climatizzato, al fine di determinare lo scambio termico per ventilazione, il volume interno di ciascuna zona termica può essere ottenuto moltiplicando il volume lordo per un fattore funzione della tipologia edilizia, secondo il prospetto seguente.

Categoria di edificio	Tipi di costruzione	
	E.1,E.2,E.3,E.7	Pareti di spessore maggiore di 45 cm
0,6		0,7
E.4,E.5,E.6,E.8	Con partizioni interne	Senza partizioni interne
	0,8	0,9

Tabella 64 - Fattore di correzione del volume lordo climatizzato

10.2.8. Dispersione termica: ponti termici

Lo scambio termico per trasmissione attraverso i ponti termici può essere calcolato secondo la UNI EN ISO 14683.

Per gli edifici esistenti, in assenza di dati di progetto attendibili o comunque di informazioni più precise, per alcune tipologie edilizie, lo scambio termico attraverso i ponti termici può essere determinato forfaitariamente secondo quanto indicato nel prospetto seguente.

Descrizione della struttura	Maggiorazione
Parete con isolamento dall'esterno (a cappotto) senza aggetti/balconi e ponti termici corretti	5
Parete con isolamento dall'esterno (a cappotto) con aggetti/balconi	15
Parete omogenea in mattoni pieni o in pietra (senza isolante)	5
Parete a cassa vuota con mattoni forati (senza isolante)	10
Parete a cassa vuota con isolamento nell'intercapedine (ponte termico corretto)	10
Parete a cassa vuota con isolamento nell'intercapedine (ponte termico non corretto)	20
Pannello prefabbricato in calcestruzzo con pannello isolante all'interno	30

Tabella 65 - Maggiorazioni percentuali relative alla presenza dei ponti termici [%]

Se si utilizzano i dati del prospetto questi devono essere riportati nel rapporto finale di calcolo. Nel caso in cui il ponte termico si riferisca ad un giunto tra due strutture che coinvolgono due zone termiche diverse, il valore della trasmittanza termica lineare, dedotto dalla UNI EN ISO 14683, deve essere ripartito tra le due zone interessate.

10.2.9. Apporti termici interni

Gli apporti termici interni, Q_i , comprendono qualsiasi calore generato nell'ambiente riscaldato da sorgenti interne diverse dall'impianto di riscaldamento, per esempio:

- gli apporti dovuti al metabolismo degli occupanti;
- il consumo energetico delle apparecchiature e degli apparecchi d'illuminazione.

Per il calcolo secondo la presente norma, sono da utilizzare i valori medi mensili o stagionali. In questo caso gli apporti termici interni sono calcolati attraverso l'equazione:

$$Q_j = [\phi_{i,h} + (1 - b)\phi_{i,u}]t = \phi_i t \text{ dove:}$$

$\phi_{i,h}$ è la potenza media degli apporti interni negli ambienti riscaldati;

$\phi_{i,u}$ è la potenza media degli apporti interni negli ambienti non riscaldati;

ϕ_i è la potenza media degli apporti interni;

b è il fattore di riduzione definito nella EN ISO 13789 (a pagina 217).

Categoria di edificio	Destinazione d'uso	Apporti medi globali
		W/m ²
E.1	Edifici adibiti ad albergo, pensione ed attività similari	6
E.2	Edifici adibiti e assimilabili	6
E.3	Edifici adibiti a ospedali, cliniche o case di cura e assimilabili	8
E.4	Cinema e teatri, sale di riunione per congressi	8
E.4	Mostre, musei e biblioteche, luoghi di culto	8
E.4	Bar, ristoranti, sale da ballo	10
E.5	Edifici adibiti ad attività commerciali e assimilabili	8
E.6	Piscine, saune e assimilabili	10
E.6	Palestre e assimilabili	5
E.6	Servizi di supporto alle attività sportive	4
E.7	Edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili	4

E.8	Edifici adibiti ad attività industriali ed artigianali e assimilabili	6
-----	-----------------------------------------------------------------------	---

Tabella 66 - Dati convenzioni relativi all'utenza

Per gli edifici di categoria E.1(1) e E.1(2) (abitazioni), aventi superficie utile di pavimento, A_f , minore o uguale a 170 m^2 , il valore globale degli apporti interni, espresso in W, è ricavato come

$$\phi_{\text{int}} = 5,294 \times A_f - 0,01557 \times A_f^2$$

Per superficie utile di pavimento maggiore di 170 m^2 il valore di ϕ_{int} è pari a 450 W.

10.2.9.1. Dati per gli edifici occupati in modo continuativo (per esempio gli edifici residenziali)

Non è necessaria alcuna suddivisione in periodi. Si considera un solo periodo con le seguenti caratteristiche:

- Modo di funzionamento: regolazione della temperatura
- Durata: t l'intero mese
- Numero di periodi in un mese: N 1
- Temperatura interna: θ_i 20 °C (questo valore medio comprende l'effetto dell'attenuazione)
- Apporti interni: ϕ_i 4 W/m²
- Tasso di ricambio d'aria: n 0,3 h⁻¹, corrispondente alla ventilazione minima

10.2.10. Apporti solari

10.2.10.1. Equazione di base

Gli apporti solari dipendono dalla radiazione solare generalmente disponibile nella località interessata, dall'orientamento delle superfici soleggiate, dalla presenza di ombreggiatura permanente, dalle caratteristiche di trasmissione ed assorbimento solare delle superfici soleggiate. Le superfici soleggiate da prendere in considerazione sono le superfici vetrate, le pareti interne e i pavimenti delle serre, le pareti poste dietro una copertura trasparente o un isolante trasparente³⁸.

Per un dato periodo di calcolo, gli apporti solari sono calcolati come:

$$Q_s = \sum_j \left[I_{sj} \sum_n A_{snj} \right] + (1 - b) \sum_j \left[I_{sj} \sum_n A_{snj,u} \right]$$

dove il primo termine si riferisce all'ambiente riscaldato e il secondo all'ambiente non riscaldato. Gli apporti solari negli ambienti non riscaldati sono moltiplicati per il fattore (1-b), dove b è il fattore di riduzione definito nella EN ISO 13789.

In ogni termine, la prima sommatoria è riferita a tutti gli orientamenti, j, la seconda a tutte le superfici, n, esposte alla radiazione solare, e:

I_{sj} è l'irraggiamento solare, vale a dire l'energia totale della radiazione solare globale che incide durante tutto il periodo di calcolo su una superficie di area 1 m^2 avente orientamento j, in joule al metro quadrato;

A_{snj} è l'area di captazione efficace della superficie n avente orientamento j, cioè l'area di un corpo nero con lo stesso apporto solare della superficie considerata.

³⁸ Per le superfici opache esposte alla radiazione solare e gli apporti termici delle serre vedere appendice F della norma.

10.2.10.2. Area di captazione efficace degli elementi vetrati

L'area efficace di un elemento vetrato dell'involucro (per esempio una finestra) è:

$$A_s = A F_s F_F g$$
 dove:

A è l'area complessiva dell'elemento vetrato (per esempio l'area della finestra);

F_s è il fattore di correzione per ombreggiatura³⁹;

F_F è il fattore telaio, rapporto tra l'area trasparente e l'area totale dell'elemento vetrato;

g è la trasmittanza energetica solare totale della vetrata, che tiene in considerazione la presenza di eventuali dispositivi permanenti di protezione solare.

10.2.10.3. Trasmittanza energetica solare delle vetrate

In linea di principio, la trasmittanza energetica solare totale g nell'equazione è il rapporto medio temporale tra l'energia che attraversa l'elemento non ombreggiato e quella che incide su di esso. Per le finestre o altri elementi vetrati dell'involucro, la ISO 9050 fornisce un metodo per ricavare la trasmittanza energetica solare per radiazione perpendicolare all'elemento vetrato. Questo valore, g_{\perp} , è leggermente maggiore della trasmittanza media temporale, e si deve quindi utilizzare un fattore di correzione, F_w :

$$g = F_w g_{\perp}$$

Per i calcoli mensili, si richiede un valore mediato su tutti gli angoli d'incidenza. Il fattore F_w è approssimativamente: $F_w = \frac{g}{g_{\perp}} = 0,9$

Esso dipende dal tipo di vetro, dalla latitudine, dal clima, e dall'orientamento.

Tipo di vetrata	g_{\perp}
Vetro singolo	0,85
Vetro doppio	0,75
Vetro doppio con rivestimento selettivo	0,67
Vetro triplo	0,7
Vetro triplo con 2 rivestimenti selettivi	0,5
Finestra doppia	0,75

Tabella 67 - Valori tipici di trasmittanza energetica solare totale per i tipi comuni di vetrata

10.2.10.4. Fattori di correzione per ombreggiatura

Il fattore di correzione per ombreggiatura, F_s , variabile tra 0 e 1, rappresenta la riduzione della radiazione solare incidente dovuta all'ombreggiatura permanente della superficie interessata, risultante dai seguenti fattori:

- altri edifici;
- topografia (colline, alberi ecc.);
- aggetti;
- altri elementi dello stesso edificio;
- parte esterna della parete nella quale è collocato l'elemento vetrato.

³⁹ Nel calcolo del fattore di correzione per ombreggiatura e della trasmittanza energetica solare totale delle vetrate, sono prese in considerazione solo le ombreggiature permanenti e i dispositivi permanenti di protezione solare.

Il fattore di correzione per ombreggiatura è definito come:

$$F_s = \frac{I_{s,ps}}{I_s} \text{ dove:}$$

$I_{s,ps}$ è la radiazione solare totale effettivamente incidente sul piano soleggiato in presenza dell'ombreggiatura permanente durante la stagione di riscaldamento;

I_s è la radiazione solare incidente senza ombreggiatura.

Il fattore di correzione per ombreggiatura può essere calcolato come:

$$F_s = F_h F_o F_f \text{ dove:}$$

F_h è il fattore di correzione parziale per ombreggiatura dovuta ad ostruzioni esterne;

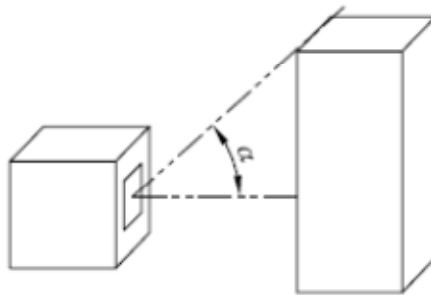
F_o è il fattore di correzione parziale per ombreggiatura dovuta agli aggetti orizzontali;

F_f è il fattore di correzione parziale per ombreggiatura dovuta agli aggetti verticali.

10.2.10.5. Ombreggiatura dovuta ad ostruzioni esterne

L'effetto dell'ombreggiatura dovuta alle ostruzioni esterne (per esempio il terreno, gli alberi e gli altri edifici) dipende dall'angolo dell'orizzonte, dalla latitudine, dall'orientamento, dal clima locale e dalla stagione di riscaldamento. Nella tabella di seguito si riportano i fattori di correzione per ombreggiatura relativi a climi medi tipici e ad una stagione di riscaldamento che va da ottobre ad aprile, per tre latitudini e per quattro orientamenti della finestra. Per altre latitudini ed orientamenti si può effettuare un'interpolazione. L'angolo dell'orizzonte è un valore medio sulla parte di orizzonte di fronte alla facciata considerata.

Angolo dell'orizzonte, α



Angolo dell'orizzonte	45°N lat.			55°N lat.			65°N lat.		
	S	E/O	N	S	E/O	N	S	E/O	N
0°	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
10°	0,97	0,95	1,00	0,94	0,99	0,99	0,86	0,89	0,97
20°	0,85	0,82	0,98	0,68	0,95	0,95	0,58	0,68	0,93
30°	0,62	0,70	0,94	0,49	0,92	0,92	0,41	0,54	0,89
40°	0,46	0,61	0,90	0,40	0,89	0,89	0,29	0,49	0,85

Tabella 68 - Fattore di correzione parziale per ombreggiatura dovuta ad ostruzioni esterne, F_h

10.2.10.6. Ombreggiatura dovuta ad aggetti orizzontali e verticali

L'ombreggiatura dovuta ad aggetti orizzontali e verticali dipende dall'angolo dell'aggetto, dalla latitudine, dall'orientamento e dal clima locale. Nei prospetti seguenti si riportano i fattori stagionali di correzione per ombreggiatura relativi a climi tipici.

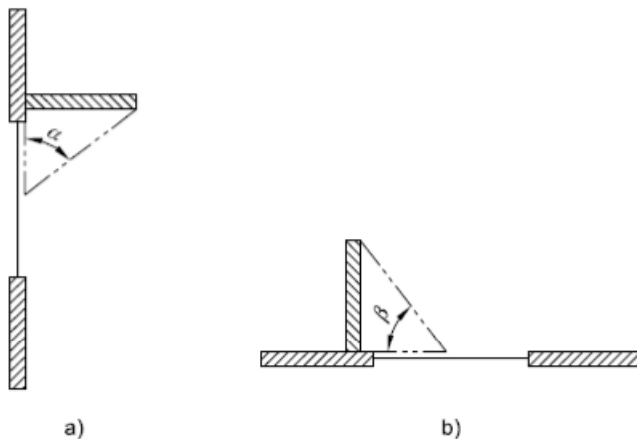
Aggetti orizzontale e verticale

Legenda

- a) Sezione verticale
- b) Sezione orizzontale

α Angolo dell'aggetto orizzontale

β Angolo dell'aggetto verticale



Angolo dell'aggetto orizzontale	45°N lat.			55°N lat.			65°N lat.		
	S	E/O	N	S	E/O	N	S	E/O	N
0°	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
30°	0,90	0,89	0,91	0,93	0,91	0,91	0,95	0,92	0,90
45°	0,74	0,76	0,80	0,80	0,80	0,80	0,85	0,81	0,80
60°	0,50	0,58	0,66	0,60	0,65	0,65	0,66	0,65	0,66

Tabella 69 - Fattore di correzione parziale per ombreggiatura dovuta agli aggetti orizzontali, F_o

Angolo dell'aggetto verticale	45°N lat.			55°N lat.			65°N lat.		
	S	E/O	N	S	E/O	N	S	E/O	N
0°	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
30°	0,90	0,89	0,91	0,93	0,91	0,91	0,95	0,92	0,90
45°	0,74	0,76	0,80	0,80	0,80	0,80	0,85	0,81	0,80
60°	0,50	0,58	0,66	0,60	0,65	0,65	0,66	0,65	0,66

Tabella 70 - Fattore di correzione parziale per ombreggiatura dovuta agli aggetti verticali, F_v

10.2.10.7. Apporti solari sui componenti opachi

Nel calcolo del fabbisogno di calore occorre tenere conto anche degli apporti termici dovuti alla radiazione solare incidente sulle chiusure opache.

In assenza di dati di progetto attendibili o comunque di informazioni più precise, il fattore di assorbimento solare di un componente opaco può essere assunto pari a 0,3 per colore chiaro della superficie esterna, 0,6 per colore medio e 0,9 per colore scuro.

L'area di captazione solare effettiva di una parte opaca dell'involucro edilizio, A_{sol} , è calcolata con la seguente formula:

$$A_{sol} = \alpha_{sol,c} R_{se} U_c A_c \text{ dove:}$$

$\alpha_{sol,c}$ è il fattore di assorbimento solare del componente opaco;

R_{se} è la resistenza termica superficiale esterna del componente opaco, determinato secondo la UNI EN ISO 6946⁴⁰;

U_c è la trasmittanza termica del componente opaco;

A_c è l'area proiettata del componente opaco.

10.2.11. Apporti termici totali

Gli apporti termici totali sono dati dalla somma fra quelli interni e quelli solari.

$$Q_g = Q_i + Q_s \text{ dove}$$

Q_i sono apporti interni

Q_s sono apporti solari

Q_g sono gli apporti totali

10.2.12. Fabbisogno termico invernale

La dispersione termica, Q_L , e gli apporti termici, Q_g sono calcolati per ciascun periodo di calcolo. Il fabbisogno termico per il riscaldamento è ricavato, per ciascun periodo di calcolo, come:

$$Q_h = Q_L - \eta Q_g$$

ponendo $Q_L = 0$ e $\eta = 0$ quando la temperatura esterna media è maggiore della temperatura di regolazione.

Il fattore di utilizzazione, η , è un fattore di riduzione degli apporti termici, introdotto per compensare la dispersione termica addizionale che probabilmente si verifica quando gli apporti termici superano la dispersione termica calcolata.

10.2.12.1. Fattore di utilizzazione degli apporti termici

Il rapporto apporti/dispersioni, γ , è definito come:

$$\gamma = \frac{Q_g}{Q_L}$$

⁴⁰ La R_{se} indica la resistenza all'avanzamento del calore offerta dalla quantità di aria a diretto contatto con l'elemento tecnico attraverso il quale scorre il flusso termico. Generalmente, i valori dipendono dalla direzione di quest'ultimo, che si considera orizzontale per inclinazioni comprese entro $\pm 30^\circ$, altrimenti verticale. Si calcola in $m^2 \times K/W$.

$R_{se} = 0,4$ per direzione del flusso termico ascendente, orizzontale, discendente.

I valori di R_{se} variano al variare della velocità dell'aria (m/s):

$R_{se} = 0,08$ per velocità dell'aria pari a 1

$R_{se} = 0,06$ per velocità dell'aria pari a 2

$R_{se} = 0,05$ per velocità dell'aria pari a 3

$R_{se} = 0,04$ per velocità dell'aria pari a 4

$R_{se} = 0,04$ per velocità dell'aria pari a 5

$R_{se} = 0,03$ per velocità dell'aria pari a 7

$R_{se} = 0,02$ per velocità dell'aria pari a 10

10.2.13. Fabbisogno termico estivo

10.2.13.1. Energia necessaria per il raffrescamento

Il calore totale trasferito in modalità di raffrescamento, denominato, $Q_{C,ht}$, e i guadagni solari, $Q_{C,gn}$ sono calcolati in ogni periodo considerato.

Il raffrescamento dell'ambiente confinato utilizzato per ogni periodo di calcolo si ottiene tramite la formula⁴¹:

$$Q_{C,nd} = Q_{C,gn} - \eta_{C,ls} Q_{C,ht}$$

Il fattore di utilizzazione delle perdite di calore, $\eta_{C,ls}$, è un fattore di riduzione di tali perdite, introdotto nel bilancio energetico per considerare il comportamento dinamico dell'edificio.

10.2.14. Fabbisogno termico: fattore di utilizzazione

10.2.14.1. Riscaldamento

Il fattore di utilizzazione degli apporti termici per il calcolo del fabbisogno di riscaldamento si calcola come:

$$\text{se } \gamma_H > 0 \text{ e } \gamma_H \neq 1: \eta_{H,gn} = \frac{1 - \gamma_H^{a_H}}{1 - \gamma_H^{a_H + 1}}$$

$$\text{se } \gamma_H = 1: \eta_{H,gn} = \frac{a_H}{a_H + 1}$$

dove:

$$\gamma_H = \frac{Q_{gn}}{Q_{H,ht}}$$
$$a_H = a_{H,0} + \frac{\tau}{\tau_{H,0}}$$

in cui τ è la costante di tempo termica della zona termica, espressa in ore, calcolata come rapporto tra la capacità termica interna della zona termica considerata (C_m) e il suo coefficiente globale di scambio termico, corretto per tenere conto della differenza di temperatura interno-esterno⁴².

Con riferimento al periodo di calcolo mensile si può assumere $a_{H,0} = 1$ e $\tau_{H,0} = 15$ h.

10.2.14.2. Raffrescamento

Il fattore di utilizzazione dello scambio termico per il calcolo del fabbisogno di raffrescamento si calcola come:

$$\text{se } \gamma_C > 0 \text{ e } \gamma_C \neq 1: \eta_{C,ls} = \frac{1 - \gamma_C^{-a_C}}{1 - \gamma_C^{-(a_C + 1)}}$$

$$\text{se } \gamma_C = 1: \eta_{C,ls} = \frac{a_C}{a_C + 1}$$

$$\text{se } \gamma_C < 0: \eta_{C,ls} = 1$$

⁴¹ Non viene incluso in questo calcolo il fabbisogno energetico per il raffrescamento latente (definito de-umidificazione).

⁴² Vedere punto 12.2.1.3 della UNI EN ISO 13790:2008

dove:

$$\gamma_c = \frac{Q_{gn}}{Q_{c,ht}}$$
$$a_c = a_{c,0} + \frac{\tau}{\tau_{c,0}} - k \frac{A_w}{A_f}$$

in cui:

A_w è l'area finestrata;

A_f è l'area di pavimento climatizzata.

Con riferimento al periodo di calcolo mensile si può assumere $a_{c,0} = 8,1$, $\tau_{c,0} = 17h$ e $k = 13$.

10.2.15. Fabbisogno termico: capacità termica

10.2.15.1. Costante di tempo dell'edificio

Questa costante di tempo, τ , caratterizza l'inerzia termica interna dell'ambiente riscaldato.

Essa si calcola come:

$$\tau = \frac{C}{H}$$

dove:

C è la capacità termica interna dell'edificio, calcolata nel paragrafo seguente;

H è il coefficiente di dispersione termica dell'edificio, calcolato a pagina 219.

Valori convenzionali della costante di tempo possono anche essere specificati a livello nazionale.

10.2.15.2. Capacità termica interna dell'edificio

La capacità termica interna dell'edificio, C , è calcolata sommando le capacità termiche di tutti gli elementi edilizi in contatto termico diretto con l'aria interna della zona in esame:

$$C = \sum \chi_j A_j = \sum_j \sum_i \rho_{ij} c_{ij} d_{ij} A_j \text{ dove:}$$

χ_j è la capacità termica areica interna dell'elemento edilizio j ;

A_j è l'area dell'elemento j ;

ρ_{ij} è la massa volumica del materiale dello strato i nell'elemento j ;

c_{ij} è il calore specifico del materiale dello strato i nell'elemento j ;

d_{ij} è lo spessore dello strato i nell'elemento j .

La sommatoria è riferita a tutti gli strati di ciascun elemento, partendo dalla superficie interna e fermandosi al primo dei tre punti seguenti: il primo strato isolante, lo spessore massimo indicato nel prospetto seguente o il centro dell'elemento edilizio.

Applicazione	Spessore massimo (cm)
Determinazione del fattore di utilizzazione	10
Effetto dell'intermittenza	3

Tabella 71 - Spessore massimo per il calcolo della capacità termica interna

La capacità termica interna dell'edificio può anche essere calcolata come somma delle capacità termiche interne di tutti gli elementi edilizi, ognuno calcolato secondo la EN ISO 13786, o specificato a livello nazionale in base alla tipologia costruttiva. Questo valore può essere approssimato ed è accettabile una incertezza relativa di 10 volte superiore a quella della dispersione termica.

Caratteristiche costruttive dei componenti edilizi				Numero piani		
Intonaci	Isolamento	Pareti esterne	Pavimenti	1	2	3
				Capacità termica		
gesso	interno	qualsiasi	tessile	75	75	85
	interno	qualsiasi	legno	85	95	105
	interno	qualsiasi	piastrelle	95	105	115
	assente/esterno	leggere/blocchi	tessile	95	95	95
	assente/esterno	medie/pesanti	tessile	105	95	95
	assente/esterno	leggere/blocchi	legno	115	115	115
	assente/esterno	medie/pesanti	legno	115	125	125
	assente/esterno	leggere/blocchi	piastrelle	115	125	135
malta	assente/esterno	medie/pesanti	piastrelle	125	135	135
	interno	qualsiasi	tessile	105	105	105
	interno	qualsiasi	legno	115	125	135
	interno	qualsiasi	piastrelle	125	135	135
	assente/esterno	leggere/blocchi	tessile	125	125	115
	assente/esterno	medie	tessile	135	135	125
	assente/esterno	pesanti	tessile	145	135	125
	assente/esterno	leggere/blocchi	legno	145	145	145
	assente/esterno	medie	legno	155	155	155
	assente/esterno	pesanti	legno	165	165	165
	assente/esterno	leggere/blocchi	piastrelle	145	155	155
	assente/esterno	medie	piastrelle	155	165	165
assente/esterno	pesanti	piastrelle	165	165	165	

Tabella 72 - Capacità termica per unità di superficie di involucro [KJ/(m² K)]

Legenda

η Fattore di utilizzazione

τ Costante di tempo dell'edificio

γ Rapporto apporti/dispersioni

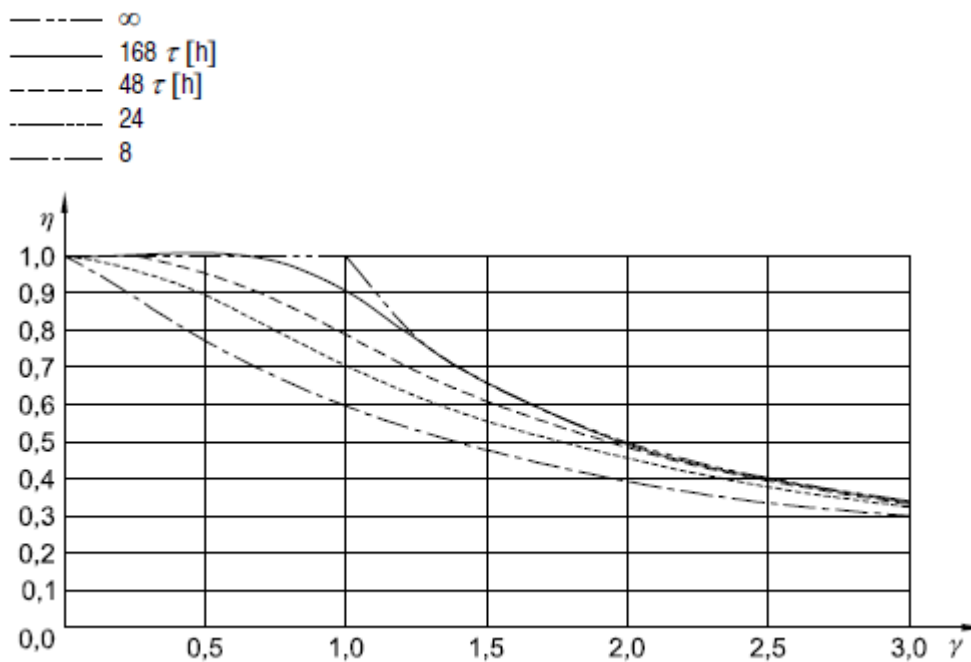


Figura 680 - Fattore di utilizzazione per costanti di tempo pari a 8 h, 1 d, 2 d, 1 settimana ed infinita, valido per il periodo di calcolo mensile di edifici riscaldati in modo continuo (edificio di tipo I, in alto), e per edifici riscaldati solo durante il giorno (edificio di tipo II, in basso)

10.2.16. Fabbisogno termico annuale dell'edificio

10.2.16.1. Metodo di calcolo mensile

Il fabbisogno termico annuale è la sommatoria, riferita a tutti i mesi in cui il fabbisogno termico è positivo:

$$Q_h = \sum_n Q_{hn}$$

Se la durata della stagione di riscaldamento è specificata a livello nazionale, la sommatoria è riferita alla sola stagione di riscaldamento indicata.

Per la stagione di raffrescamento abbiamo allo stesso modo la possibilità di calcolare la sommatoria:

$$Q_c = \sum_n Q_{c,nd}$$

10.2.17. Uso dell'energia nei sistemi di riscaldamento, raffrescamento e ventilazione dell'ambiente

Le perdite di calore del sistema sono indicate attraverso una efficienza di sistema complessiva.

$$Q_{H,sys} = \frac{Q_{H,nd}}{\eta_{H,sys}} \text{ e } Q_{C,sys} = \frac{Q_{C,nd}}{\eta_{C,sys}}$$

$Q_{H/C,sys}$ è l'energia utilizzata per il sistema di riscaldamento e raffrescamento incluse le perdite di sistema, espresso in megajoule [MJ].

$Q_{H/C,nd}$ è il fabbisogno energetico per riscaldamento e raffrescamento, che deve essere fornito dal sistema di riscaldamento considerato, espresso in megajoule [MJ].

$\eta_{H/C,sys}$ è l'efficienza complessiva del sistema per il sistema di riscaldamento e raffrescamento, inclusa la generazione, i consumi elettrici, il trasporto, lo stoccaggio, le perdite di emissione e distribuzione, a meno che queste non siano riportate separatamente come energia ausiliaria.

10.2.18. UNI/TS 11300-1 - Determinazione del fabbisogno di energia termica

Definisce le modalità per l'applicazione nazionale della UNI EN ISO 13790:2008 con riferimento al metodo mensile per il calcolo dei fabbisogni di energia termica per riscaldamento e per raffrescamento (solo sensibile).

È rivolta a tutte le possibili applicazioni previste dalla UNI EN ISO 13790:2008: calcolo di progetto (*design rating*), valutazione energetica di edifici attraverso il calcolo in condizioni standard (*asset rating*) o in particolari condizioni climatiche e d'esercizio (*tailored rating*).

Nelle appendici informative riporta:

- la determinazione semplificata della trasmittanza termica dei componenti opachi in edifici esistenti
- un abaco delle strutture murarie utilizzate in Italia in edifici esistenti
- la determinazione semplificata della trasmittanza termica dei componenti trasparenti
- i fattori di ombreggiatura

10.2.19. Normativa di riferimento per la regione Sardegna sui consumi energetici

Ben dieci Regioni (Abruzzo, Basilicata, Calabria, Campania, Lazio, Marche, Molise, Sardegna, Umbria e Veneto) non hanno una legge quadro regionale sulla materia. In queste Regioni la certificazione energetica degli edifici è comunque obbligatoria, come previsto dalla normativa nazionale, ma manca tuttora un regolamento regionale di attuazione.

La Regione Sardegna non ha legiferato in materia di certificazione energetica degli edifici.

Si applica quindi la normativa nazionale, che è basata sul Dlgs 19 agosto 2005, n. 192 e sui suoi decreti attuativi, tra cui le Linee Guida nazionali alla certificazione energetica (Dpr 2 aprile 2009) e il Regolamento sul Rendimento energetico in edilizia (Dm Sviluppo economico 26 giugno 2009).

Deliberazione Giunta Regionale 1 luglio 2010, n.25/40

Competenze e procedure per l'autorizzazione di impianti per la produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili. Chiarimenti Delib.G.R. n.10/3 del 12.3.2010. Riapprovazione Linee Guida

Allegato DGR 25-40/2010

Procedimento di autorizzazione unica per l'installazione di impianti per la produzione di energia da fonti rinnovabili - linee guida

Allegato DGR 9-15/2010

Circolare contenente indirizzi applicativi sulla legge regionale 23 ottobre 2009, n. 4, "Disposizioni straordinarie per il sostegno dell'economia mediante il rilancio del settore edilizio e per la promozione di interventi e programmi di valenza strategica per lo sviluppo" - Capo primo, Disposizioni straordinarie per la riqualificazione del patrimonio edilizio esistente

Legge regionale 23 ottobre 2009, n.4 (BUR 31/10/2009 n.35)

Disposizioni straordinarie per il sostegno dell'economia mediante il rilancio del settore edilizio e per la promozione di interventi e programmi di valenza strategica per lo sviluppo

Deliberazione giunta Regionale 3 dicembre 2008, n.68/18

Cofinanziamento interventi per l'utilizzo delle energie rinnovabili e il risparmio ed efficienza energetica sugli edifici pubblici

Deliberazione Giunta Regionale 29 novembre 2007, n.48-31

Linee guida e modalità tecniche d'attuazione per la riduzione dell'inquinamento luminoso e acustico e il conseguente risparmio energetico (art. 19, comma 1, L.R. 29 maggio 2007, n. 2). Finanziamento agli Enti pubblici. Euro 3.000.000

Allegato DGR 48-31/2007

Linee Guida per la riduzione dell'inquinamento luminoso e relativo consumo energetico (art. 19 comma1 LR 29 maggio 2007, n.2)

10.3. Strumenti utili per bilancio energetico

10.3.1. Isoreflex

Si tratta di un software prodotto dalla S.A.M.E., azienda produttrice di isolanti termoacustici riflettenti, per il calcolo delle verifiche termigrometriche delle partizioni opache.

Offre la possibilità di:

- calcolo della trasmittanza secondo la norma UNI EN ISO 6946;
- calcolo di attenuazione e sfasamento secondo la UNI EN ISO 13786 e temperatura superficiale interna estiva secondo EN ISO 13792;
- verifica del rischio di condensazione superficiale e interstiziale secondo UNI EN ISO 13788;
- calcolo degli indici acustici secondo la legge di massa.

La prima parte del software richiede la località nella quale si trova l'edificio e ne fornisce i dati climatici. Si definisce la struttura definendo i vari materiali che compongono il pacchetto murario, scegliendoli da una libreria contenuta nel programma o aggiungendoli fra i materiali dell'utente. Nella schermata viene calcolata la trasmittanza che viene confrontata con quella limite della normativa. Successivamente si considera la temperatura superficiale estiva e si possono visualizzare le verifiche termo igrometriche. Tutti i risultati possono essere salvati in pdf per una migliore gestione dei dati.

11. Analisi sul bilancio energetico delle stanze

Per il calcolo del bilancio energetico, abbiamo considerato la mensa, la cucina e la palestra, come facenti parte di un'unica "zona giorno", mentre la camera è stata inserita nel complesso di stanze del quale è parte integrante, detto "zona notte" e coincidente con il settore nord-est separato da un giunto di dilatazione dal resto dell'edificio. I casi messi a confronto sono:

1. il progetto base;
2. quello con la variazione delle finestre;
3. quello con un pacchetto murario migliorativo⁴³;
4. la soluzione che sembrerebbe ottimale dal punto di vista illuminotecnico e della trasmittanza, comprendente pacchetto alternativo e finestre modificate (solo la palestra mantiene la geometria delle aperture di progetto, ma per il calcolo, avendo le due configurazioni la stessa area vetrata, non vi sono differenze).

Ci siamo servite di un file excel modellato con le formule delle normative di riferimento. Per prima cosa abbiamo inserito i dati climatici relativi a Cagliari (zona C), fra cui la temperatura dell'aria, la radiazione solare totale, la stagione di riscaldamento (in questo caso dal 15 novembre al 31 marzo, 10 ore giornaliere), il massimo irraggiamento solare, la temperatura del suolo e l'umidità relativa.

Nel foglio concernente la UNI EN ISO 13370 sono stati scritti i valori relativi all'area di pavimento, al perimetro esposto, alla trasmittanza del pavimento, alla conduttività del terreno, allo spessore delle pareti.

La sezione della UNI EN ISO 13790 è quella più laboriosa e decisiva per l'ottenimento dei risultati. Sono richiesti parametri relativi al controllo e alle funzioni dell'edificio, come la temperatura di *set-point* per riscaldamento e raffrescamento, la frazione di ore della settimana con il *set-point*, le ore di ventilazione e il tasso relativo, le ore di utilizzo della luce artificiale e degli apparecchi elettrici e quindi i guadagni interni. Si deve sempre specificare se vi sono zone non riscaldate o adiacenti all'edificio e le rispettive superfici e trasmittanze. Per delineare la geometria dell'edificio è necessario specificare la superficie opaca e vetrata per ogni orientamento, le aree di tetto e di pavimento, nette e lorde e quindi i volumi. Successivamente si prende in analisi l'involucro dell'edificio, esprimendo tutte le trasmittanze⁴⁴, i fattori di correzione (quando necessari), il coefficiente di guadagno solare e gli altri relativi ai serramenti; per ogni orientamento si mette in evidenza il fattore di ombreggiamento.

⁴³ Il pacchetto con l'isolamento interno, introdotto nell'analisi degli scenari d'incendio, è stato ignorato poiché presenta la stessa trasmittanza della parete di progetto.

⁴⁴ Secondo il DPR 59/09 i valori limite dal 2010 sono: per strutture opache verticali $< 0,40 \text{ W/m}^2\text{K}$, strutture opache orizzontali $< 0,38 \text{ W/m}^2\text{K}$, pavimenti verso locali non riscaldati o esterno $< 0,42 \text{ W/m}^2\text{K}$, chiusure trasparenti $< 2,6 \text{ W/m}^2\text{K}$, vetri $< 2,1 \text{ W/m}^2\text{K}$. Nel nostro caso la parete presenta una trasmittanza di $0,32 \text{ W/m}^2\text{K}$, quella alternativa $0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$, la parete interna $0,33 \text{ W/m}^2\text{K}$, il soffitto e il tetto $0,37 \text{ W/m}^2\text{K}$, il solaio contro terra $0,41 \text{ W/m}^2\text{K}$, le finestre $1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$. Inoltre si deve verificare per le località in cui il valore medio mensile dell'irradianza sul piano orizzontale nel mese di massima insolazione $I_{m,s} \geq 290 \text{ W/m}^2$ (nel caso di Cagliari 316 W/m^2) che il valore del modulo della trasmittanza termica periodica Y_{IE} sia inferiore a $0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$ per le pareti opache verticali ad eccezione di quelle nel quadrante Nord-ovest/Nord/Nord-Est e che sia inferiore a $0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ per tutte le pareti opache orizzontali ed inclinate.

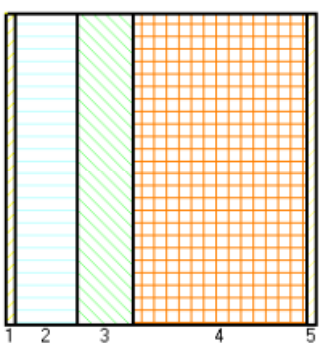
La Y_{IE} è data dalla formula $Y_{IE} = f_a \times U$ dove f_a è il fattore di attenuazione della parete e U la trasmittanza relativa. Le limitazioni sono rispettate per tutti i pacchetti murari: la parete esterna ha $Y_{ie} = 0,08 \text{ W/m}^2\text{K}$, la parete alternativa $0,05 \text{ W/m}^2\text{K}$, l'opzione con isolamento interno $0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$, il tetto $0,03 \text{ W/m}^2\text{K}$, il solaio contro terra $0,09$.

11.1.1. Analisi di pacchetti edilizi

Di seguito riportiamo le tabelle che descrivono i pacchetti murari utilizzati, sintetizzate da Isoreflex.

Pacchetto murario di progetto

Dati generali	
Spessore	0,447 m
Massa superficiale	163,89 kg/m ²
Resistenza	3,1476 m ² K/W
Trasmittanza	0,3177 W/m ² K
Parametri dinamici	
Fattore di attenuazione	0,2603
Sfasamento	9h 13'



La stratigrafia mostra cinque strati numerati da 1 a 5. Lo strato 1 è una superficie esterna con texture a linee orizzontali. Lo strato 2 è una camera debolmente ventilata con texture a linee diagonali verdi. Lo strato 3 è polistirene espanso in lastre stampate per termocompressione con texture a griglia arancione. Lo strato 4 è un blocco arg. esp. forati 25 cm. rif. 1.2.13 con texture a griglia arancione. Lo strato 5 è malta di cemento con texture a linee orizzontali.

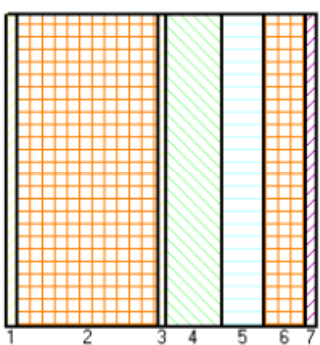
Tabella 73 - Dati pacchetto murario di progetto

	Tipo di materiale	Materiale	Spessore [m]	Massa Superficiale [kg/m ²]	Resistenza [m ² K/W]	Spessore equivalente d'aria [m]
		Superficie esterna			0,04	
1	PLA	Resine acriliche	0,012	17,4	0,06	120
2	INA	Camera debolmente ventilata	0,09	0,09	0,0956	0,09
3	ISO	Polistirene espanso in lastre stampate per termocompressione	0,08	2,4	2,0513	6,4
4	MUR	Blocchi arg. esp. forati 25 cm. rif. 1.2.13	0,25	114	0,76	3,75
5	INT	Malta di cemento	0,015	30	0,0107	0,45
		Superficie interna			0,13	

Tabella 74 - Stratigrafia pacchetto murario di progetto

Pacchetto murario migliorativo

Dati generali	
Spessore	0,440 m
Massa superficiale	267,36 kg/m ²
Resistenza	3,3138 m ² K/W
Trasmittanza	0,3018 W/m ² K
Parametri dinamici	
Fattore di attenuazione	0,1946
Sfasamento	11h 36'



La stratigrafia mostra sette strati numerati da 1 a 7. Lo strato 1 è un intonaco di cemento sabbia e calce per esterno con texture a griglia arancione. Lo strato 2 è una superficie esterna con texture a linee orizzontali. Lo strato 3 è un blocco arg. esp. forati 25 cm. rif. 1.2.13 con texture a griglia arancione. Lo strato 4 è polistirene espanso in lastre stampate per termocompressione con texture a linee diagonali verdi. Lo strato 5 è malta di cemento con texture a linee orizzontali. Lo strato 6 è un blocco arg. esp. forati 25 cm. rif. 1.2.13 con texture a griglia arancione. Lo strato 7 è una superficie interna con texture a linee diagonali verdi.

Tabella 75 - Dati pacchetto murario alternativo

	Tipo di materiale	Materiale	Spessore [m]	Massa Superficiale [kg/m ²]	Resistenza [m ² K/W]	Spessore equivalente d'aria [m]
		Superficie esterna			0,04	
1	INT	Intonaco di cemento sabbia e calce per esterno	0,015	27	0,0167	0,3

2	MUR	Laterizi alveolati sp.20 cm.rif.1.1.07	0,2	164	0,47	2
3	INT	Malta di cemento	0,01	20	0,0071	0,3
4	ISO	XPS con pelle	0,08	2,8	2,3529	13,6
5	INA	Camera debolmente ventilata	0,06	0,06	0,0956	0,06
1	MUR	Laterizi forati sp.6 cm.rif.1.1.28	0,06	40	0,13	0,3
7	VAR	Cartongesso in lastre	0,015	13,5	0,0714	0,12
		Superficie interna			0,13	

Tabella 76 - Stratigrafia pacchetto murario alternativo

Pacchetto murario con isolamento interno⁴⁵

Dati generali	
Spessore	0,447 m
Massa superficiale	163,89 kg/m ²
Resistenza	3,1476 m ² K/W
Trasmittanza	0,3177 W/m ² K
Parametri dinamici	
Fattore di attenuazione	0,2603
Sfasamento	9h 13'

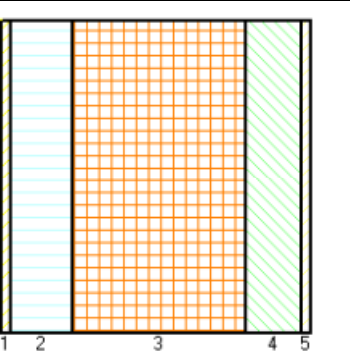


Tabella 77 - Dati pacchetto murario con isolamento interno

	Tipo di materiale	Materiale	Spessore [m]	Massa Superficiale [kg/m ²]	Resistenza [m ² K/W]	Spessore equivalente d'aria [m]
		Superficie esterna			0,04	
1	PLA	Resine acriliche	0,012	17,4	0,06	120
2	INA	Camera debolmente ventilata	0,09	0,09	0,0956	0,09
3	MUR	Blocchi arg.esp.forati 25 cm.rif.1.2.13	0,25	114	0,76	3,75
4	ISO	Polistirene espanso in lastre stampate per termocompressione	0,08	2,4	2,0513	6,4
5	INT	Malta di cemento	0,015	30	0,0107	0,45
		Superficie interna			0,13	

Tabella 78 - Stratigrafia pacchetto murario con isolamento interno

⁴⁵ Lo studio di questa stratigrafia non è stato utilizzato per la parte sul bilancio energetico, ma come vedremo più avanti, per le analisi sugli scenari di incendio.

Parete interna

Dati generali	
Spessore	0,150 m
Massa superficiale	48,00 kg/m ²
Resistenza	2,9722 m ² K/W
Trasmittanza	0,3365 W/m ² K
Parametri dinamici	
Fattore di attenuazione	0,8975
Sfasamento	2h 34'

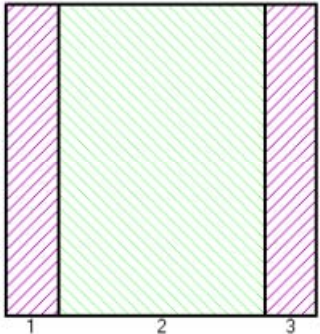


Tabella 79 - Dati parete interna

	Tipo di materiale	Materiale	Spessore [m]	Massa Superficiale [kg/m ²]	Resistenza [m ² K/W]	Spessore equivalente d'aria [m]
		Superficie esterna			0,04	
1	VAR	Cartongesso in lastre	0,025	22,5	0,119	0,2
2	ISO	Polistirene espanso in lastre stampate per termocompressione	0,1	3	2,5641	8
3	VAR	Cartongesso in lastre	0,025	22,5	0,119	0,2
		Superficie interna			0,13	

Tabella 80 - Stratigrafia parete interna

Solaio contro terra

Dati generali	
Spessore	0,296 m
Massa superficiale	261,90 kg/m ²
Resistenza	2,4304 m ² K/W
Trasmittanza	0,4115 W/m ² K
Parametri dinamici	
Fattore di attenuazione	0,2311
Sfasamento	9h 56'




Tabella 81 - Dati solaio contro terra

	Tipo di materiale	Materiale	Spessore [m]	Massa Superficiale [kg/m ²]	Resistenza [m ² K/W]	Spessore equivalente d'aria [m]
		Superficie esterna			0,17	
1	CLS	CLS generico	0,1	90	0,2941	4,5
2	CLS	CLS di argilla espansa per sottofondi non aerati	0,05	25	0,1786	1,5
3	ISO	Polistirene espanso in lastre stampate per termocompressione	0,06	1,8	1,5385	4,8
4	PLA	Polietilene (PE)	0,002	1,9	0,0057	200
5	CLS	CLS di argilla espansa per sottofondi non aerati	0,08	136	0,0635	12
6	VAR	Linoleum	0,004	7,2	0,01	80

	Superficie interna		0,17
--	--------------------	--	------

Tabella 82 - Stratigrafia solaio contro terra

Tetto

Dati generali	
Spessore	0,473 m
Massa superficiale	302,97 kg/m ²
Resistenza	2,7247 m ² K/W
Trasmittanza	0,3670 W/m ² K
Parametri dinamici	
Fattore di attenuazione	0,0917
Sfasamento	11h 13'

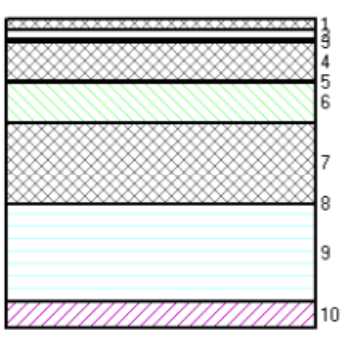


Tabella 83 - Dati tetto

	Tipo di materiale	Materiale	Spessore [m]	Massa Superficiale [kg/m ²]	Resistenza [m ² K/W]	Spessore equivalente d'aria [m]
		Superficie esterna			0,04	
1	CLS	CLS generico	0,016	8,00	0,0727	0,400
2	INA	Camera debolmente ventilata	0,015	0,02	0,1624	0,015
3	IMP	Bitume	0,004	4,8	0,0235	80,000
4	CLS	CLS di argilla espansa per pareti esterne	0,060	30,00	0,3297	1,800
5	PLA	Polietilene (PE)	0,002	1,90	0,0057	200,000
6	ISO	Polistirene espanso in lastre stampate per termocompressione	0,060	1,80	1,5385	4,800
7	CLS	CLS di argilla espansa per sottofondi non aerati	0,125	212,50	0,0992	18,750
8	MET	Acciaio	0,001	7,80	0,0000	2000,000
9	INA	Camera debolmente ventilata	0,150	0,15	0,1624	0,150
10	VAR	Cartongesso in lastre	0,040	36,00	0,1905	0,320
		Superficie interna			0,1000	

Tabella 84 - Stratigrafia tetto

Soffitto

Dati generali	
Spessore	0,492 m
Massa superficiale	379,85 kg/m ²
Resistenza	2,6791 m ² K/W
Trasmittanza	0,3733 W/m ² K
Parametri dinamici	
Fattore di attenuazione	0,0907
Sfasamento	12h 21'

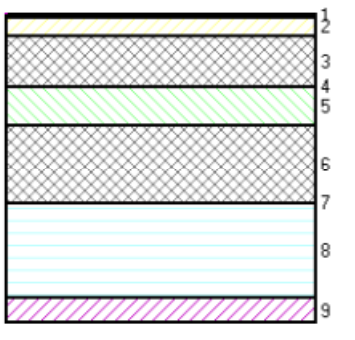


Tabella 85 - Dati soffitto

	Tipo di materiale	Materiale	Spessore [m]	Massa Superficiale [kg/m ²]	Resistenza [m ² K/W]	Spessore equivalente d'aria
		Superficie esterna			0,04	
1	VAR	Linoleum	0,004	7,2	0,01	80
2	INT	Malta di cemento	0,03	60	0,0214	0,9
3	CLS	CLS di argilla espansa per pareti interne o esterne protette	0,08	40	0,4762	2,4
4	PLA	Polietilene (PE)	0,002	1,9	0,0057	200
5	ISO	Polistirene espanso in lastre stampate per termocompressione	0,06	1,8	1,5385	4,8
6	CLS	CLS generico	0,125	225	0,1344	11,25
7	MET	Acciaio	0,001	7,8	0	2000
8	INA	Camera non ventilata	0,15	0,15	0,1624	0,15
9	VAR	Cartongesso in lastre	0,04	36	0,1905	0,32
		Superficie interna			0,1	

Tabella 86 - Stratigrafia soffitto

11.1.2. Valutazione della prestazione termica

Dopo aver completato la stesura dei dati, sono valutabili vari risultati, sia mensili, che totali, riguardanti la richiesta di energia per il fabbisogno di riscaldamento e di raffrescamento anche al metro quadro e cubo. È possibile, ipotizzando un adeguato sistema di riscaldamento e raffrescamento, pervenire alla richiesta di energia primaria Ep_i (per riscaldamento invernale) ed Ep_e (per raffrescamento estivo). Secondo il DPR 59/09 il valore limite di Ep_e è 10 kW/m³ anno, mentre l' Ep_i va calcolato tenendo conto del rapporto superficie/volume e dei gradi giorno della località in esame, in questo caso 990 per Cagliari e, di volta in volta, vanno interpolati i valori.

Per il calcolo dell' Ep si ipotizza un sistema di riscaldamento/raffrescamento con pompa di calore e sistema di emissione a fancoil che abbia i seguenti rendimenti: rendimento di generazione $\eta_{H,gen}$ (2) x rendimento di distribuzione $\eta_{H,d}$ (0,95) x rendimento di regolazione $\eta_{H,ctr}$ (0,98) x rendimento di emissione $\eta_{H,ctr}$ (0,96) = rendimento dell'impianto di riscaldamento $\eta_{H,sys}$ da moltiplicare per il rendimento elettrico nazionale (2,16), per un rendimento globale pari a 0,83.

Di seguito si riporta la domanda di energia termica per riscaldamento e raffrescamento intermittente secondo una valutazione standard⁴⁶.

Zona giorno - Riscaldamento intermittente					Zona notte - Riscaldamento intermittente				
Domanda energia (kWh)	1	2	3	4	Domanda energia (kWh)	1	2	3	4
Gennaio	3767,05	3632,91	3759,16	3625,93	Gennaio	2086,79	2144,08	2074,95	2131,74
Febbraio	2700,58	2518,78	2694,87	2513,83	Febbraio	1466,11	1526,82	1457,59	1517,87
Marzo	1191,49	962,18	1188,81	960,13	Marzo	551,58	612,84	548,11	608,97
Aprile	0,00	0,00	0,00	0,00	Aprile	0,00	0,00	0,00	0,00
Maggio	0,00	0,00	0,00	0,00	Maggio	0,00	0,00	0,00	0,00

⁴⁶ Nel caso della valutazione standard i fabbisogni energetici per riscaldamento e raffrescamento possono non coincidere con i periodi previsti dalla normativa, poiché tratta i dati climatici specifici della città e non quelli medi della zona climatica.

Giugno	0,00	0,00	0,00	0,00
Luglio	0,00	0,00	0,00	0,00
Agosto	0,00	0,00	0,00	0,00
Settembre	0,00	0,00	0,00	0,00
Ottobre	0,00	0,00	0,00	0,00
Novembre	312,52	262,88	311,53	262,09
Dicembre	3026,00	2914,84	3019,28	2908,89
Energia totale per unità di superficie (kWh/m²)	17,01	15,91	16,97	15,88
Ep_i (kW/m²)	20,55	19,23	20,50	19,19
Confronto rispetto caso 1		-6,9%	0,0%	-7,1%

Tabella 87 - Domanda di energia per riscaldamento per la zona giorno. Limite Ep_i⁴⁷: 40,14 kW/m²

Giugno	0,00	0,00	0,00	0,00
Luglio	0,00	0,00	0,00	0,00
Agosto	0,00	0,00	0,00	0,00
Settembre	0,00	0,00	0,00	0,00
Ottobre	0,00	0,00	0,00	0,00
Novembre	104,60	119,35	103,74	118,36
Dicembre	1642,78	1692,60	1632,89	1682,28
Energia totale per unità di superficie (kWh/m²)	12,18	12,69	12,11	12,61
Ep_i (kW/m²)	14,72	15,33	14,63	15,24
Confronto rispetto caso 1		4%	-1%	3%

Tabella 88 - Domanda di energia per riscaldamento per la zona notte. Limite Ep_i: 29,02 kW/m²

Zona giorno - Raffrescamento intermittente				
Domanda energia (kWh)	1	2	3	4
Gennaio	0,00	0,00	0,00	0,00
Febbraio	0,00	0,00	0,00	0,00
Marzo	0,00	0,00	0,00	0,00
Aprile	-120,35	-184,01	-120,26	-183,95
Maggio	-520,07	-750,38	-519,94	-750,43
Giugno	-	-	-	-
	2128,95	2652,26	2128,58	2652,04
Luglio	-	-	-	-
	4075,19	4712,99	4072,66	4710,68
Agosto	-	-	-	-
	3478,10	4011,79	3476,32	4010,17
Settembre	-	-	-	-
	1211,80	1516,22	1212,30	1516,80
Ottobre	-119,01	-168,29	-119,08	-168,42
Novembre	-6,47	-9,01	-6,47	-9,01
Dicembre	0,00	0,00	0,00	0,00
Energia totale per unità di volume (kWh/m³)	-6,01	-7,22	-6,01	-7,22
Ep_e (kW/m³)	-7,26	-8,72	-7,26	-8,72

Zona notte - Raffrescamento intermittente				
Domanda energia (kWh)	1	2	3	4
Gennaio	0,00	0,00	0,00	0,00
Febbraio	0,00	0,00	0,00	0,00
Marzo	0,00	0,00	0,00	0,00
Aprile	-114,44	-95,57	-114,27	-95,37
Maggio	-427,68	-367,19	-427,76	-367,13
Giugno	-1609,41	-	-	-
	1473,18	1609,20	1472,88	
Luglio	-3009,09	-	-	-
	2840,40	3004,52	2835,72	
Agosto	-2736,44	-	-	-
	2584,52	2732,67	2580,66	
Settembre	-1204,39	-	-	-
	1103,14	1205,05	1103,73	
Ottobre	-178,23	-153,06	-178,43	-153,19
Novembre	-10,66	-8,99	-10,64	-8,97
Dicembre	0,00	0,00	0,00	0,00
Energia totale per unità di volume (kWh/m³)	-6,45	-5,99	-6,44	-5,98
Ep_e (kW/m³)	-7,79	-7,23	-7,78	-7,23

⁴⁷ Il valore limite per l'energia primaria riportato è quello più restrittivo risultante dall'interpolazione secondo il rapporto di S/V

Confronto o rispetto caso 1		16,7%	0,0%	16,7%
------------------------------------	--	-------	------	-------

Tabella 89 - Domanda di energia per riscaldamento per la zona giorno. Limite E_p : 10 kW/m³

Confronto rispetto caso 1		-8%	-0,1%	-8%
----------------------------------	--	-----	-------	-----

Tabella 90 - Domanda di energia per riscaldamento per la zona notte. Limite E_p : 10 kW/m³

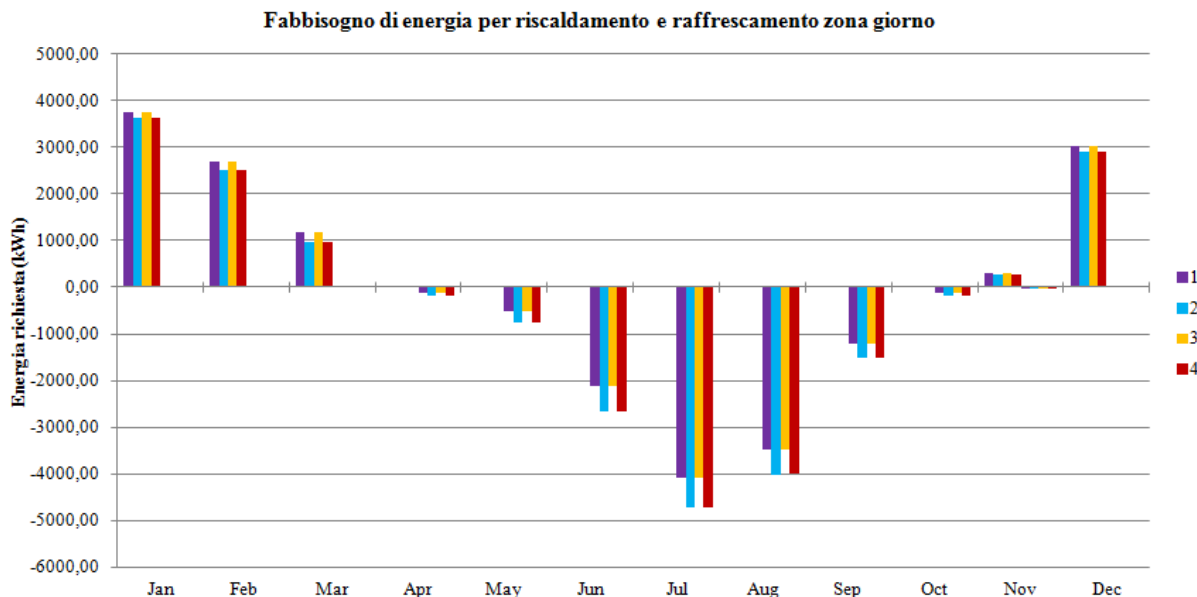


Figura 681 - Fabbisogno di energia zona giorno

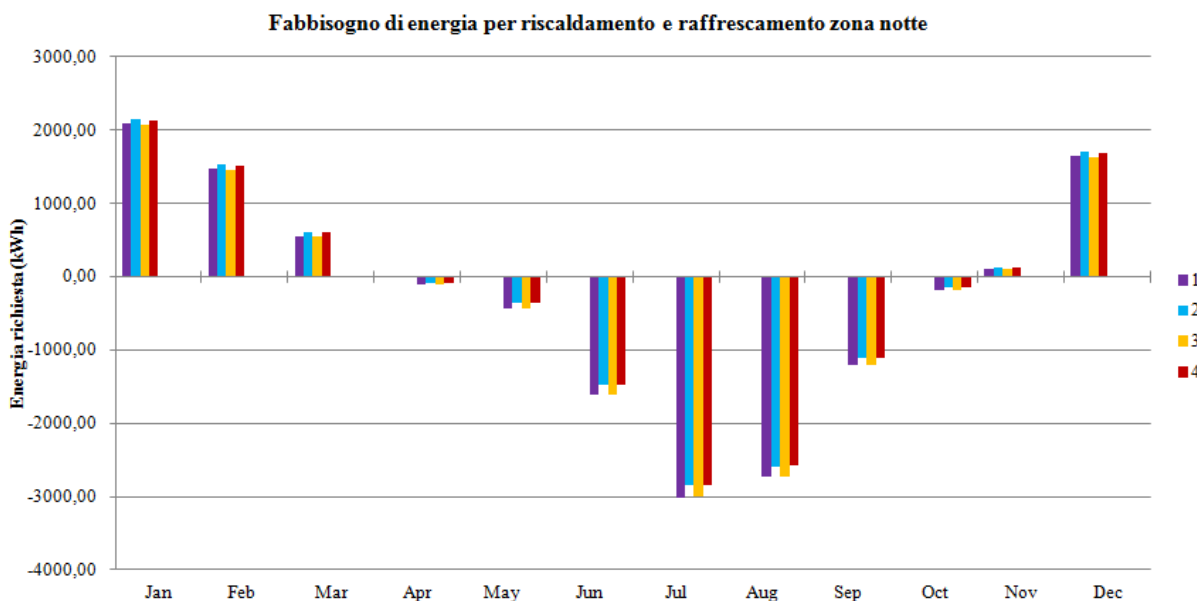


Figura 682 - Fabbisogno di energia zona notte

Entrambe le zone analizzate, in ognuna delle proprie opzioni, risultano rispettare i limiti imposti dalle normative.

La richiesta di energia primaria per riscaldamento per la zona giorno è più elevata rispetto a quella della zona notte; per la zona giorno l'opzione energeticamente peggiore è la 1, mentre la migliore è la 4. La richiesta più bassa di energia primaria per la zona notte riguarda l'opzione 3, mentre la più dispendiosa è la 2. Questa differenza si spiega ricordando che la modifica delle finestre per la zona giorno comporta un aumento della superficie vetrata, mentre per la zona notte una diminuzione.

La richiesta di energia primaria per raffrescamento è simile per zona giorno e notte. Nella zona giorno rispettivamente le opzioni 2-4 e 1-3 presentano richieste uguali, ma sono queste ultime le migliori. Nella zona notte il progetto richiede più energia rispetto agli altri e si replica l'analogia fra i casi 2 e 4, i migliori.

I grafici rivelano che il fabbisogno di riscaldamento va da metà novembre a marzo e in modo complementare il raffrescamento da aprile alla prima metà di novembre. Per la zona giorno il picco della domanda di riscaldamento è a gennaio e si avvicina a 4000 kWh, mentre la domanda massima per raffrescamento è a luglio e supera i 4000 kWh. La zona notte si assesta a valori massimi per riscaldamento pari a circa 2000 kWh di gennaio e 3000 kWh per raffrescamento a luglio. Dai grafici sono inoltre visibili le lievi differenze fra le quattro opzioni considerate.

Per comprendere se un'opzione sia migliore di un'altra sotto tutti i punti di vista o parzialmente, abbiamo elaborato una *spider chart* nella quale prendiamo in considerazione alcuni indicatori. Ad ogni caso è stato assegnato un giudizio che va da 0 a 1; l'1 corrisponde al valore dell'opzione che soddisfa meglio quell'indice, riferimento per ottenere i punteggi degli altri. Gli indici in questione sono:

- domanda totale di potenza per riscaldamento intermittente per unità di superficie (kWh/m²) - *total heating demand per unit of surface - intermittent operation (kWh/m²)*
- domanda totale di potenza per raffrescamento intermittente per unità di superficie (kWh/m³) - *total cooling demand per unit of volume - intermittent operation (kWh/m³)*
- guadagni interni e solari totali per unità di superficie (kWh/m²) - *internal + solar gains total per unit of surface (kWh/m²)*
- perdite totali (involucro + ventilazione) per unità di superficie per riscaldamento (kWh/m²) - *total losses heating per unit surface - envelope + ventilation (kWh/m²)*
- perdite totali (involucro + ventilazione) per unità di superficie per raffrescamento (kWh/m²) - *total losses cooling per unit surface - envelope + ventilation (kWh/m²)*.

Zona giorno	1	2	3	4
Total heating demand per unit of surface - intermittent operation (kWh/m²)	0,934	0,998	0,936	1,000
Total cooling demand per unit of volume - intermittent operation (kWh/m³)	1,000	0,833	1,000	0,833
Internal + solar gains total per unit of surface (kWh/m²)	0,888	1,000	0,888	1,000
Total losses heating per unit surface - envelope + ventilation (kWh/m²)	0,998	0,986	1,000	0,987
Total losses cooling per unit surface - envelope + ventilation (kWh/m²)	0,998	0,986	1,000	0,987

Tabella 91 - Confronto fra le opzioni per la zona giorno

Zona notte	1	2	3	4
Total heating demand per unit of surface - intermittent operation (kWh/m²)	0,994	0,954	1,000	0,960
Total cooling demand per unit of volume - intermittent operation (kWh/m³)	0,928	0,999	0,928	1,000
Internal + solar gains total per unit of surface (kWh/m²)	1,000	0,952	0,999	0,950
Total losses heating per unit surface - envelope + ventilation (kWh/m²)	0,989	0,996	0,993	1,000
Total losses cooling per unit surface - envelope + ventilation (kWh/m²)	0,989	0,996	0,993	1,000

Tabella 92 - Confronto fra le opzioni per la zona notte

Zona giorno

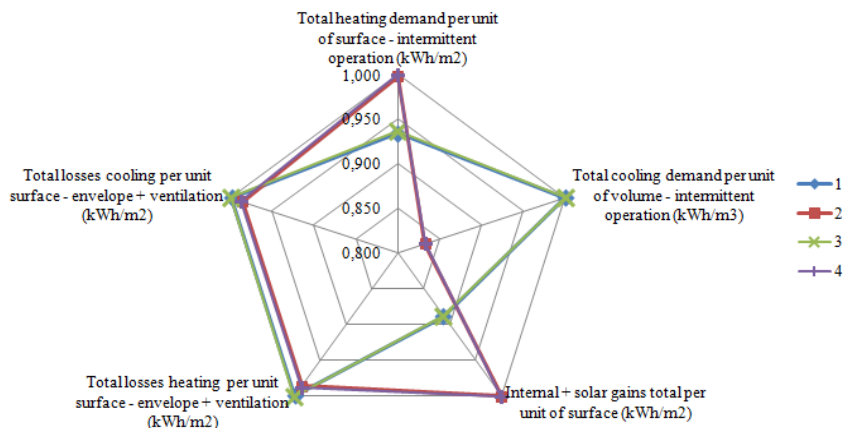


Figura 683 - Spider chart per bilancio energetico zona giorno

Per la zona giorno le opzioni 1 (progetto base) e 3 (con pacchetto murario migliorativo) sono sovrapponibili, così come la 2 (con le finestre modificate) con la 4 (pacchetto con trasmittanza migliore e finestre modificate): questo indica che la differenza è determinata dalla dimensione delle finestre, mentre la trasmittanza del muro, a meno che non sia radicalmente sconvolta, non ha molta influenza sul bilancio finale. La 1 e la 3 presentano vantaggi per la domanda totale di potenza per raffrescamento e nell'ambito delle perdite attraverso l'involucro e per ventilazione sia per il riscaldamento, sia per il raffrescamento; i casi 2 e 4 invece rivelano una maggiore domanda totale di potenza per raffrescamento, ma sono decisamente migliori per quanto concerne la domanda totale di potenza per riscaldamento e i guadagni interni e solari totali, mentre non vi è una grande differenza sulle perdite rispetto alla coppia precedente. Non essendoci un vantaggio assoluto di un'opzione sull'altra, vanno valutate nel complesso le variazioni degli indici esaminati; è nella visione d'insieme che le opzioni 2 e 4 sono preferibili rispetto alle altre, permettendo di affermare che la soluzione ottimale a livello illuminotecnico, si conferma tale anche a livello energetico.

Zona notte

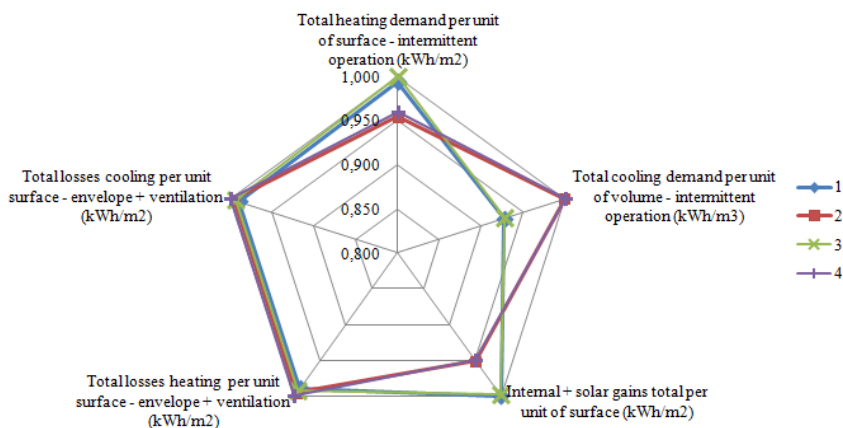


Figura 684 - Spider chart per bilancio energetico zona giorno

Anche per la zona notte si distinguono le due coppie di casi 1-3 e 2-4. L'andamento degli indici è simile a quello della zona giorno, ma le differenze sono meno evidenti. Per questo motivo si può concludere che la scelta di modificare la dimensione delle finestre è da considerarsi vincente.

12. Incendi

12.1. La resistenza al fuoco delle costruzioni con l'approccio ingegneristico alla sicurezza antincendio⁴⁸

I materiali da costruzione e le relative tecniche applicative sono i mezzi che hanno consentito all'uomo di scrivere la storia dell'architettura. Ciò dimostra che la durabilità della costruzione è proprio legata alla sapiente scelta dei materiali e alla loro appropriata posa secondo regole a lungo studiate e sperimentate. Il rapporto tra materiali e tecniche si è però modificato negli anni: da qualche tempo si può assistere ad un nuovo corso secondo il quale idee originali e anche improbabili, vengono tradotte in realtà grazie alla messa a punto di tecniche rese possibili soprattutto da materiali appositamente studiati per rispondere a precise sollecitazioni e per assolvere determinate funzioni. In ogni caso, per il periodo di vita utile previsto, si continua a essere giustamente esigenti sulla resistenza delle costruzioni ad ogni sorta di attacco, tanto da pretendere il mantenimento e l'inalterabilità delle caratteristiche volute in fase di progetto anche in presenza di eventi eccezionali (come terremoti...) e questo sia per la costruzione in sé e per il suo valore, sia soprattutto, per un'ovvia salvaguardia dell'utenza dell'opera.

È il requisito di **sicurezza**, inteso nel senso più ampio del termine quello che attualmente come in passato, viene richiesto e ricercato come assolutamente necessario e prioritario. Sicurezza che si esprime su diversi versanti, da tenere accuratamente in considerazione in fase di definizione dell'opera, al di là delle precise numerose norme che ormai da tempo, sia a livello nazionale che comunitario, supportano le stesse scelte di progetto. Un contributo normativo relativamente recente (DPR 246/93) recepimento di un'importante normativa europea (89/106/CEE), semplificando il vasto quadro delle esigenze che l'utenza sente la necessità di soddisfare, sintetizza in sei punti i requisiti fondamentali che devono possedere i materiali da costruzione in opera; di questi tre riguardano la salute e il benessere, mentre gli altri tre sono proprio imperniati sul concetto di sicurezza. Di questi ultimi, uno è specificatamente dedicato al comportamento al fuoco.

Il fuoco è indispensabile per la produzione della maggior parte dei materiali da costruzione artificiali. Le materie prime naturali possono essere profondamente trasformate nelle loro caratteristiche per perseguire i comportamenti voluti; i vari elementi vengono combinati nelle giuste proporzioni, miscelati, e grazie al fuoco, essiccati e cotti o fusi e solidificati, calibrando di volta in volta temperature e tempi di trattamento. Infatti a parte pochi materiali che ancora utilizziamo allo stato naturale, tutti gli altri prodotti da costruzione (dal mattone al cemento, dal vetro all'acciaio, ma anche i diversi tipi di polimeri) necessitano di energia termica per assumere le proprietà necessarie per essere resi idonei all'uso. Ma a sua volta il fuoco è capace di dominare i materiali. La sicurezza, però, deve essere assicurata sempre, anche in situazione di emergenza, come quando si manifesta un incendio: le strutture devono innanzitutto essere concepite in modo tale da resistere meccanicamente e quindi mantenere la loro capacità portante per un periodo determinato, in modo tale da consentire agli occupanti l'abbandono della costruzione e, nell'impossibilità che ciò avvenga senza impedimenti notevoli, di consentire alle squadre di soccorso di operare in sicurezza. È anche indispensabile che il fuoco sia limitato il più possibile sia nella produzione che nella propagazione, e ciò in relazione all'opera in sé ma anche per quanto riguarda le costruzioni adiacenti e l'intorno in generale. Questo principio vale analogamente anche per il fumo che si può sprigionare durante la combustione di molti materiali, soprattutto di quelli che vengono oggi abitualmente impiegati nelle finiture: si tratta di un

⁴⁸ L'impianto teorico per la teoria sugli incendi è stato costruito con particolare riferimento al testo *Resistenza al fuoco delle costruzioni* di L. Ponticelli, M. Caciolai.

problema i cui effetti possono incidere in modo ancora più dannoso e devastante sugli utenti della costruzione di quanto sia in grado di fare il fuoco in modo diretto.

Oltre che alla scelta dei materiali, attenzione estrema deve essere pure riservata ai criteri che regolano la distribuzione degli spazi e della progettazione dei percorsi che portano alle uscite. Ogni approccio progettuale che debba fronteggiare il rischio di incendio ha quindi quale premessa fondamentale l'analisi e la soluzione di alcuni fattori di carattere distributivo: organizzazione dei percorsi di fuga, la loro protezione contro l'invasione di esalazioni e fumi, la compartimentazione dell'edificio e la resistenza strutturale.

L'estrema complessità del fenomeno "incendio" e la variabilità e l'indeterminatezza di molti fattori che lo caratterizzano fanno sì che la cultura della prevenzione contemporanea concentri l'attenzione sulla salvaguardia dell'incolumità delle persone, evitando l'approfondimento dello studio tendente a produrre soluzioni costruttive per edifici capaci di resistere a qualsiasi tipo di incendio. L'ottenimento di questo tipo di obiettivo è giudicato eccessivamente costoso, difficile e di problematica realizzazione a causa appunto dell'indeterminatezza delle reali caratteristiche di un incendio e delle sollecitazioni da esso esercitate sulle strutture costruite. La combustione casuale di materiali non predisposti ad essere incendiati e in spazi non appositamente destinati alla combustione, cioè l'incendio, si verifica con la necessaria presenza contemporanea di materiali combustibili, di un comburente (di solito aria atmosferica) e di una sorgente di calore. La velocità di combustione di un incendio innescato è legata alle caratteristiche (calore specifico, porosità...) del materiale coinvolto, alle condizioni in cui si trova l'ambiente sede dell'incendio (temperatura, pressione, umidità dell'aria, intensità e direzione del vento), alla forma e dimensione del locale nonché alle proprietà termiche degli elementi strutturali che delimitano il locale e che si trovano al suo interno. La variabilità dei parametri in gioco rende molto difficile lo studio teorico degli incendi. Risulta impossibile ottenere gradi di sicurezza assoluti e la contemporanea necessità di utilizzare i risultati del progredire degli studi tecnologici, ed è importante sottolineare che il semplice rapporto costi-benefici non può essere l'unico parametro operativo e non deve comunque far passare in secondo piano la salvaguardia dell'incolumità delle persone.

12.1.1. Sicurezza delle strutture

È assodato che progettare un'opera architettonica significa anche rendere la struttura resistente all'azione del fuoco e dotarla di un valido sistema antincendio. Serve un giusto compromesso tra le esigenze di sicurezza di una costruzione, la sua fruibilità, l'economicità, la semplicità di realizzazione, la facilità di manutenzione e il rispetto degli obiettivi della committenza.

In Italia spesso la progettazione al fuoco di una costruzione viene relegata alla fase di completamento dell'opera e in tal caso le misure antincendio risultano invasive, eccessivamente costose e a volte irrealizzabili. Per gli edifici di nuova realizzazione, è importante invece considerare il problema delle strategie antincendio nella fase d'ideazione dell'opera come previsto nel D.M. delle infrastrutture e dei trasporti del 14.1.2008 del nuovo quadro normativo relativo alle costruzioni, in cui sono contenute le Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) del 2005 e del 2008. Queste norme, che hanno introdotto i criteri di calcolo delle strutture per la sicurezza in caso d'incendio, rendono di estrema attualità la tematica della progettazione al fuoco delle nuove costruzioni poiché il progettista dovrà occuparsi con gradualità di tale aspetto rendendolo un processo integrato con gli altri aspetti progettuali.

Progettare una struttura resistente al fuoco significa aver adottato l'insieme delle misure tecniche e tecnologiche atte a garantire la capacità portante della struttura (intera o di una sua parte) nei confronti delle azioni meccaniche di progetto (previste in condizioni di incendio), in presenza di incendio. La progettazione di una struttura in condizioni d'incendio prevede una fase preliminare alla progettazione

strutturale al fuoco che vede il coinvolgimento di numerose figure professionali come il committente, il progettista architettonico, lo strutturista, l'impiantista, il progettista antincendio, ecc.



Figura 685 - Fase preliminare del processo di progettazione al fuoco

Di fondamentale importanza è pertanto la presenza di un Coordinatore per la progettazione (che può coincidere con una delle figure professionali sopra elencate) che abbia la funzione di guida e raccordo tra i professionisti. La fase preliminare è seguita da una macro-fase di natura prettamente tecnica e di competenza prioritaria dello strutturista. Prevede la metodica progettuale al fuoco legata alle esperienze e alle conoscenze del tecnico, alla tipologia dell'opera da progettare e al quantitativo di informazioni note a priori.

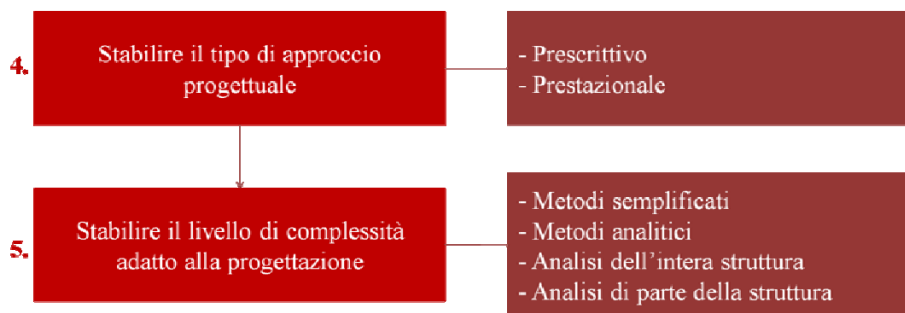


Figura 686 - Macro-fase del processo di progettazione al fuoco

In Italia esistono alcune attività cui viene riconosciuto un particolare rischio di incendio e per le quali le scelte progettuali preliminari sono state già effettuate dal legislatore mediante la pubblicazione di specifiche regole tecniche di prevenzione incendi che fissano, tra l'altro, i livelli di protezione al fuoco, le scelte impiantistiche minime, le organizzazioni gestionali di base. In tale caso, il progettista ha solo l'onere di dimostrare il rispetto dei minimi imposti mediante l'approccio descrittivo alla progettazione.

12.1.1.1. Stabilire gli obiettivi della progettazione al fuoco

Gli obiettivi per garantire la resistenza al fuoco devono essere stabiliti prima di effettuare qualsiasi progetto, sapendo che la resistenza al fuoco è solo una componente della strategia globale della sicurezza antincendio. La loro definizione per la progettazione al fuoco delle costruzioni è, in Italia, un compito storicamente legato all'azione legislativa che mette indiscutibilmente al primo posto la salvaguardia della vita umana (occupanti di un manufatto, eventuali passanti e soccorritori). Per far ciò è necessario avvertire le persone della presenza di un incendio e fornire idonei percorsi di

evacuazione, garantendo che siano liberi dal fuoco e dal fumo durante il raggiungimento di luoghi sicuri. In alcuni edifici è necessario garantire la sicurezza a persone incapaci di fuggire, come nelle carceri, negli enti sanitari (come nel nostro caso), e dei luoghi di rifugio all'interno dell'edificio. Le persone negli edifici adiacenti devono essere anch'esse protette, e si devono adottare misure per la sicurezza delle squadre di soccorso, che entrano nell'edificio per prestare aiuto o domare l'incendio.

Tra gli obiettivi vi è anche quello della protezione dei beni che include la struttura dell'edificio e il suo contenuto. Tale protezione deve applicarsi anche agli edifici circostanti.

Un ulteriore livello di protezione può essere necessario se è importante il rapido ripristino ed riutilizzo dell'immobile dopo l'incendio. In molti casi un obiettivo cruciale è quello di evitare la perdita di beni intangibili, la possibilità di svolgere un'attività oppure opere d'arte. Una perdita sproporzionata alla dimensione dell'incendio originale può avvenire se si verificano danni gravi a "servizi vitali", quali la distribuzione di energia o le telecomunicazioni.

In molti Paesi un ulteriore obiettivo è quello di limitare i danni ambientali in caso di incendio grave ed esteso. Le principali preoccupazioni riguardano le emissioni di inquinanti gassosi presenti nel fumo e l'inquinamento dell'acqua utilizzata per lo spegnimento dell'incendio, entrambi con potenziali effetti importanti sull'ambiente. Il modo migliore per evitare queste emissioni è riuscire a spegnere l'incendio nella fase iniziale.

Tutti i propositi sopra descritti possono essere soddisfatti se l'incendio è spento prima che si propaghi, il che può essere ottenuto facilmente con impianti automatici di nebulizzazione.

Oggi a livello comunitario una parte basilare di detti obiettivi è fissata dal testo consolidato della Direttiva 89/106/CEE più nota come direttiva Prodotti da Costruzione (in seguito CPD) attraverso la definizione dei cosiddetti "Requisiti Essenziali (RE)" tra i quali la "Sicurezza in caso di incendio" delle costruzioni è seconda soltanto alla "Resistenza meccanica e stabilità".

1. Resistenza meccanica e stabilità
2. Sicurezza in caso di incendio
3. Igiene, salute e ambiente
4. Sicurezza nell'impiego
5. Protezione contro il rumore
6. Risparmio energetico e ritenzione di calore.

Obiettivi della sicurezza in caso di incendio secondo la Direttiva 89/106/CEE:

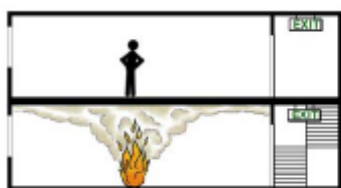


Figura 687 - Garantire la capacità portante delle strutture per un determinato periodo di tempo



Figura 688 - Limitare la produzione e la propagazione di fiamme e di fumi all'interno delle costruzioni



Figura 689 - Limitare la propagazione dell'incendio alle costruzioni vicine



Figura 690 - Consentire agli occupanti di potere abbandonare la costruzione o essere messi in salvo



Figura 691 - Prendere in considerazione la sicurezza delle squadre di soccorso

I requisiti essenziali devono essere perseguiti in ogni Paese che, appartenendo alla UE, abbia recepito la CPD (l'Italia, per esempio, li ha recepiti con il D.P.R. 21.4.1993 n.246). Traendo spunto dalla CPD anche la NTC ed il D.M. 9.3.2007 chiariscono il significato dell'espressione "sicurezza in caso d'incendio" per una costruzione.

Nella tabella sotto riportata è possibile effettuare un raffronto tra le tre norme, scoprendone la sostanziale coincidenza e osservando come pongono l'accento principalmente sulla salvaguardia della vita umana e sulla protezione delle opere vicine a quella coinvolta nell'incendio.

<i>Direttiva 89/106/CEE (testo originale)</i>	<i>D.P.R 246/199 e D.M Interno 9.3.2007</i>	<i>NTC (D.M Infrastrutture 14.1.2008)</i>
Garantire la capacità portante dell'edificio per un periodo di tempo determinato	Garantire la stabilità degli elementi portanti per un tempo utile ad assicurare il soccorso agli occupanti	Garantire la resistenza e la stabilità degli elementi portanti
Limitare la propagazione del fuoco e del fumo all'interno delle opere	Garantire la limitata propagazione del fuoco e dei fumi, anche riguardo alle opere vicine	Limitare la propagazione del fuoco e dei fumi
Limitare la propagazione del fuoco ad opere vicine		
Garantire che gli occupanti possano lasciare l'opera o essere soccorsi altrimenti	Garantire la possibilità che gli occupanti lascino l'opera indenni o che gli stessi siano soccorsi in altro modo	
Prendere in considerazione la sicurezza delle squadre di soccorso	Garantire la possibilità per le squadre di soccorso di operare in condizioni di sicurezza	

Tabella 93 - Requisiti essenziali per le costruzioni

In molti Paesi un ulteriore obiettivo è quello di limitare i danni ambientali in caso di incendio grave ed esteso. Le principali preoccupazioni riguardano le emissioni di inquinanti gassosi presenti nel fumo e l'inquinamento dell'acqua utilizzata per lo spegnimento dell'incendio, entrambi con potenziali effetti importanti sull'ambiente. Il modo migliore per evitare queste emissioni è applicare delle strategie che mirino a spegnere l'incendio nella fase iniziale attraverso il ricorso a misure impiantistiche e gestionali e non strutturali.

Sviluppo dell'incendio

La difesa dall'incendio è un obiettivo di solito raggiungibile attraverso una combinazione di sistemi di protezione dal fuoco ma, prima di definire la tipologia degli impianti di protezione antincendio che si possono adottare, è importante conoscere le varie fasi dello sviluppo completo di un incendio in un locale chiuso.

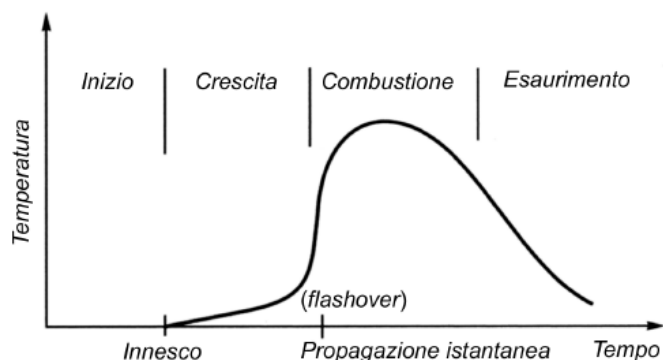


Figura 692 - Tipica evoluzione della temperatura in funzione del tempo durante lo sviluppo completo di un incendio

La Figura 692 mostra un tipico diagramma temperatura-tempo relativo allo sviluppo completo di un incendio all'interno di un ambiente normale, in assenza di dispositivi di estinzione dell'incendio e più in generale di servizi antincendio. Non tutti gli incendi evolvono in questo modo poiché alcuni si estinguono precocemente e altri non raggiungono il *flashover*, soprattutto se il materiale combustibile è in ridotta quantità ed è isolato, o se non vi è aria sufficiente per permettere la continuità della combustione. Se un locale dispone di finestre molto grandi, la trasmissione del calore all'esterno è tale da non permettere il raggiungimento del *flashover*.

Evoluzione dell'incendio

Nella fase incipiente dello sviluppo di un incendio, ha luogo il riscaldamento del potenziale materiale combustibile. L'accensione costituisce l'inizio della combustione con fiamma, che segna la transizione alla fase di propagazione. Durante questa fase, la maggior parte degli incendi si propaga lentamente, dapprima alle superfici combustibili, poi più rapidamente man mano che la temperatura aumenta, riscaldando i restanti elementi combustibili grazie all'irraggiamento da parte delle fiamme e dei gas caldi. Se le temperature degli strati superficiali raggiungono circa 600°C, la velocità di combustione aumenta rapidamente, portando al *flashover* (divampamento generalizzato) che costituisce la transizione alla fase di combustione stabilizzata (spesso chiamata "coinvolgimento totale del locale" o "fuoco completamente sviluppato").

La velocità di combustione durante la fase di crescita è in generale funzione della natura delle superfici combustibili che bruciano, mentre durante la fase di combustione stabilizzata le temperature e il flusso di calore radiante all'interno del locale sono così grandi che tutte le superfici esposte bruciano e la potenza termica emessa è di solito funzione della ventilazione disponibile. In un incendio, è la fase di combustione stabilizzata ad avere il maggior effetto sugli elementi strutturali e sulle parti circostanti il locale. Se il fuoco è lasciato ardere, alla fine i materiali combustibili si esauriscono e le temperature scendono rapidamente durante la fase di esaurimento, in cui la velocità di combustione ritorna ad essere più una funzione del materiale combustibile residuo che della ventilazione.

Comportamento umano

Le persone presenti nel locale dove si origina l'incendio possono vedere o acquisire con l'olfatto i segni del potenziale incendio durante la fase iniziale, quando il materiale combustibile si sta riscaldando per effetto di qualche fonte di calore. Molti incendi sono estinti immediatamente dalle persone presenti nell'edificio, che evitano il verificarsi di fenomeni di accensione, rimuovendo il materiale combustibile o eliminando la fonte di un eventuale innesco di fiamme. Dopo l'accensione, l'incendio diventa più evidente, dando agli occupanti, se svegli ed in grado di muoversi, la possibilità di spegnimento delle fiamme, mentre esse sono ancora contenute. Una volta che l'incendio sia cresciuto fino a coinvolgere ad esempio un intero mobile, le fiamme non possono essere spente a

mano, ma gli occupanti, se sono in grado di farlo, devono fuggire, a condizione che il fumo non abbia bloccato le vie d'uscita. Nell'incendio di un locale già durante il periodo di crescita, la situazione si fa pericolosa per l'incolumità delle persone ma, dopo il *flashover*, la sopravvivenza non è più possibile a causa delle condizioni estreme di calore, temperatura e gas tossici.

Le persone che si trovano in altre parti dell'edificio possono non venire a conoscenza dell'incendio finché esso non abbia assunto vaste proporzioni, portando a situazioni di rischio. Allo scopo di garantire la sopravvivenza nel caso di un incendio, è essenziale una tempestiva rilevazione, in modo che gli occupanti siano avvertiti in tempo utile per poter usare le vie di fuga e riuscire a raggiungere un luogo sicuro prima che le condizioni ambientali diventino intollerabili.

Innesco - Rilevazione dell'incendio	Il tipo di sistema di rilevazione non influenza il comportamento degli individui.
Segnalazione dell'allarme	Il tipo di segnalazione (in generale, l'informazione da trasmettere) deve tenere conto delle limitazioni fisiche e delle caratteristiche comportamentali dei destinatari.
Decisione delle azioni da intraprendere (tempo di reazione)	Lo stato di stress fisico, la conoscenza del luogo e la capacità di orientamento variano con il tipo di utenza e con le caratteristiche comportamentali dei destinatari.
Esodo fino a luogo sicuro finale	Le caratteristiche dei percorsi devono essere compatibili con le esigenze di tutti, mentre la capacità di orientamento varia con il tipo di utenze con le caratteristiche comportamentali dei destinatari

Tabella 94 - Sequenza di esodo e parametri da verificare

Nella seguente tabella invece sono indicati i parametri generali che influenzano il tempo di reazione delle persone raggiunte da un messaggio di allarme.

Tipo di sistema utilizzato per l'allarme	Chiarezza e adeguatezza del messaggio al destinatario.
Tipo di persona presente	Conoscenza del luogo da parte dell'individuo.
Visibilità dell'incendio	Visibilità diretta dell'evento.
Possibilità di comunicazione con altre persone	Possibilità di comunicazione tra gli individui.

Tabella 95 - Parametri che influenzano il tempo di reazione

Rilevamento dell'incendio

Il rilevamento automatico prima che le fiamme diventino evidenti è possibile se sono installati rilevatori di fumo, che sono previsti di solito solo in particolari edifici contenenti beni di valore o finalizzati all'accoglimento di grandi masse (alberghi, grandi magazzini, stazioni aeree e ferroviarie)⁴⁹.

Un incendio in crescita può essere rilevato dagli occupanti o da un rilevatore di fumo⁵⁰ o di temperatura⁵¹ o di fiamma⁵², di solito collocato sul soffitto. I rilevatori di fumo sono più sensibili dei

⁴⁹ Anche se comunque esistono vari tipi di sprinkler studiati per avere portate diverse a seconda del tipo e della dimensione dell'ambiente; dagli USA arrivano, ad esempio, gli sprinkler per le residenze.

⁵⁰ Si basa principalmente sulla capacità di rilevare particelle solide contenute nel fumo attraverso la diffusione o diffrazione della luce emessa da una sorgente luminosa (rilevatori ottici, più comuni in Europa) e l'alterazione del flusso di particelle ionizzate emesso da una sorgente radioattiva (rilevatori radioattivi, più sensibili per gli incendi a fiamma aperta). Negli ultimi tempi sono stati introdotti sistemi più sofisticati basati sulla modifica della luce emessa da un laser o da un'analisi dei prodotti della combustione con dei veri e propri analizzatori.

⁵¹ Furono introdotti a metà Ottocento con i primi sprinkler. Oggi i rilevatori a gradiente, basati sulla dilatazione differenziata di due metalli posti all'interno di un cilindro metallico, e i rilevatori di tipo elettronico, dotati di

rilevatori di temperatura, soprattutto per incendi con molto fumo ma poco fuoco (per es. incendi di materassi). Gli impianti di nebulizzazione automatici sono azionati da dispositivi di rilevamento della temperatura. Dopo il *flashover*, i vicini sono in grado di rilevare il fumo e le fiamme che escono dalle finestre o da altre aperture del compartimento sede dell'incendio.

12.1.1.2. Stabilire la strategia antincendio

La strategia antincendio rappresenta l'insieme di tutte le misure che concorrono al perseguimento degli obiettivi prefissati in fase preliminare: la tutela delle vite umane e, eventualmente, la salvaguardia di opere e di beni. Esistono due categorie di misure possibili come strategia di lotta all'incendio:

- misure di prevenzione;
- misure di protezione.

Le misure di prevenzione sono l'insieme degli accorgimenti volti a ridurre la possibilità del verificarsi dell'evento incidentale incendio. Esempi di queste misure sono rappresentati dall'utilizzo di impianti a norma rilevanti ai fini antincendio, dal rispetto di precise regole comportamentali, dalla formazione e informazione di personale e avventori, dal rispetto di specifiche normative.

Le misure di protezione, invece, intervengono dopo il verificarsi di un incendio ed hanno la funzione di limitare i danni da esso derivanti. Si suddividono in misure di protezione attive (controllano l'incendio o i suoi effetti attraverso azioni intraprese da persone o da impianti automatici) e passive (controllano gli incendi o i suoi effetti attraverso sistemi integrati nella struttura dell'edificio o nelle sue parti, senza richiedere particolari operazioni al momento dell'incendio).

Alle misure di protezione attive per esempio appartengono gli estintori, le reti di idranti, gli impianti automatici di spegnimento, i sistemi di rivelazione degli incendi, gli evacuatori di fumo e calore, le procedure di emergenza, i sistemi di estinzione a gas. La fase di protezione attiva prevede la predisposizione di apparati che consentano la scoperta e l'estinzione dei principi d'incendio prima che i loro effetti possano diventare incontrollabili. Questi interventi sono concepiti per operare immediatamente a valle del verificarsi dell'evento dannoso con lo scopo di rivelare, contrastare e ridurre lo sviluppo dell'evento, combatterlo e domarlo.

Vi è stata, nel settore dei sistemi antincendio, un'evoluzione con la progressiva eliminazione degli impianti ad Halon e di altri estinguenti a base di idroclorofluorocarburi (HCFC), messi al bando dalla Comunità Scientifica Internazionale. Questo aspetto ha rilanciato la ricerca di nuovi estinguenti, in grado di fornire le stesse prestazioni di quelli che però arrecavano danni allo strato di ozono atmosferico. È stato rilanciato l'utilizzo dell'acqua come estinguente pulito, eliminando gli effetti dannosi del bagnamento attraverso sistemi di nebulizzazione che ne esaltano la capacità di

termistore per la misurazione della temperatura, sono i più diffusi. Vi sono inoltre quelli di tipo lineare, basati sull'utilizzo di un cavo termosensibile in cui due conduttori sono isolati da un materiale basso fondente o nei quali la pressione di un fluido varia all'interno di un capillare.

⁵² Hanno grande efficacia nei casi d'incendio in cui lo sviluppo della fiamma è immediato e non sono particolarmente visibili i prodotti della combustione (per esempio incendi di liquidi infiammabili che producono poco fumo). Riescono a percepire le radiazioni elettromagnetiche della fiamma, attraverso la variazione che le radiazioni ricevute esercitano su un campo elettrico generato da una coppia di elettrodi fra i quali passa una corrente predeterminata, e sono distinti in base allo spettro di radiazione cui sono sensibili. Hanno un raggio di ricezione limitato e presentano una tecnologia più complessa degli altri apparecchi. Esiste il problema di trovare il giusto compromesso fra sensibilità, capacità di risposta e sicurezza del segnale (distinguere la fonte delle radiazioni).

raffreddamento e soffocamento. Il sistema di controllo per antonomasia è lo sprinkler⁵³, che riesce a mantenere condizioni di incendio contenute, ma non è detto riesca a estinguerlo completamente. Fra i meccanismi di estinzione più rapidi e puliti vi sono i *Clean Agents*, che consentono la ripresa dell'attività in modo pressoché immediato dopo l'evento; agiscono per via fisica, tramite la diluizione dell'ossigeno, con conseguente ridotta produzione di calore o soffocamento della fiamma, oppure per reazione chimica endotermica e conseguente reazione di decomposizione dell'agente estinguente in presenza di fiamme e formazione di radicali liberi che, catturando ossigeno, non lo rendono disponibile per la reazione di combustione.

Alla categoria di protezione passiva appartengono ad esempio la reazione al fuoco dei materiali, la resistenza al fuoco delle strutture, e la compartimentazione antincendio. La progettazione di questi espedienti richiede l'individuazione delle caratteristiche specifiche più appropriate da dare a ciascun provvedimento, cioè il tempo di resistenza al fuoco, il grado di isolamento ecc.. Il problema di questi provvedimenti di protezione passiva resta comunque quello della corretta pianificazione dell'esodo degli occupanti dell'edificio.

Le misure minime di prevenzione e protezione da adottare sono raggruppate in normative ad hoc che forniscono indicazioni anche sul numero minimo d'idranti, le caratteristiche idrauliche degli stessi, la resistenza minima delle strutture portanti, la presenza o meno di impianti di rivelazione e tempi di attivazione e autonomia.

Tali informazioni risultano utili soprattutto per quelle attività particolarmente sensibili al rischio di incendio come ospedali, scuole, locali di pubblico spettacolo, impianti sportivi, autorimesse, centrali termiche, residenze sanitarie assistenziali, e garantiscono il raggiungimento degli obiettivi minimi di salvaguardia delle vite umane stabiliti dal legislatore.

<i>Fasi dell'incendio</i>				
	<i>1- Innesco</i>	<i>2- Propagazione</i>	<i>3- Pieno sviluppo</i>	<i>4- Estinzione</i>
Comportamento dell'incendio	Riscaldamento del materiale combustibile	Combustione controllata dal combustibile	Combustione controllata dalla ventilazione	Combustione controllata dal combustibile
Comportamento umano	Attività di prevenzione	Azione primaria di spegnimento con presidi antincendio; esodo	Morte	
Misure attive impegnate	Rilevatori di fumo	Rilevatori di fumo e calore; impianti <i>sprinklers</i> ; intervento VF; sistemi di controllo del fumo	Intervento VF	Intervento VF

⁵³ Ne esistono di due tipi: uno basato sulla fusione di una lega eutettica calibrata per avere una certa temperatura di attivazione, l'altro (più economico) basato sulla dilatazione di un liquido in funzione della temperatura fino al raggiungimento di un volume tale da rompere il bulbo di vetro quarzoido che, una volta rotto, consente l'apertura dell'erogatore. Possono avere il deflettore verso l'alto (*upright*) o verso il basso (*pendent*), o a getto sferico, che può anche essere spray (diffuso in USA). Le temperature di taratura vanno da 57 a 343 °C. Il tempo di risposta rispetto al calore, RTI (*Response Time Index*), non ha relazione con la temperatura di taratura, ma è una grandezza dinamica legata alla trasmissione del calore fra ambiente circostante, elementi costitutivi dello sprinkler ed elemento sensibile; generalmente l'RTI è dell'ordine di 250 ft^{1/2}sec^{1/2} (circa 120-150 m²sec^{1/2} in unità metriche). Le testine degli sprinkler vanno posizionate ogni 9 o 12 m² a seconda che si tratti di un rischio grave o ordinario di incendio.

Misure passive impegnate	Materiali classificati per reazione al fuoco	Materiali classificati per reazione al fuoco	Strutture resistenti al fuoco; separazione antincendio	
--------------------------	----------------------------------------------	----------------------------------------------	--------------------------------------------------------	--

Tabella 96 - Azioni delle misure di protezione nelle varie fasi di un incendio

Comportamento al fuoco delle strutture e dei materiali

Il comportamento al fuoco delle strutture e dei materiali comprende due componenti che, anche se distinte, si integrano vicendevolmente:

- resistenza al fuoco: riguarda gli elementi strutturali che, in casi d'incendio, devono rispondere alle loro funzioni per un tempo determinato ("Norme di sicurezza per la protezione contro il fuoco dei fabbricati a struttura in acciaio destinati ad uso civile" - Circolare Ministeriale n. 91 - Ministero dell'Interno);
- reazione al fuoco: riguarda il grado di partecipazione del materiale combustibile al fuoco al quale è sottoposto (D.M. 26/6/1964: "Classificazione di reazione al fuoco ed omologazione dei materiali ai fini della prevenzione incendi").

La determinazione del comportamento del sistema strutturale in condizioni d'incendio richiede attente e sofisticate analisi, trattandosi di un fenomeno evolutivo nel corso del quale cambiano, senza alcuna linearità, le caratteristiche meccaniche dei materiali costituenti gli elementi e le configurazioni geometriche degli stessi, producendo, laddove contrastate, significativi stati coattivi. La norma UNI EN 1363 definisce tale comportamento come quell'insieme di trasformazioni fisico-chimiche conseguenti all'esposizione, di un materiale o di un sistema costruttivo, all'azione del fuoco.

Resistenza al fuoco

La resistenza al fuoco di un sistema strutturale è la capacità dello stesso di non subire gravi perdite di stabilità dovute alle azioni meccaniche agenti durante lo sviluppo di un incendio. Ha lo scopo di far resistere per un tempo predeterminato la struttura al cimento termico di un incendio senza crollare. Dal D.M. interno 30.11.1983 è definita come "(...) l'attitudine di un elemento costruttivo - sia esso componente o struttura - a conservare, secondo un programma termico prestabilito e per un certo periodo di tempo, la stabilità (indicata con il simbolo R), la tenuta (indicata con il simbolo E) e l'isolamento termico (indicato con il simbolo I)". Analizzando questa definizione più in dettaglio, risulta che la caratteristica della resistenza al fuoco si valuta sulla base di tre parametri:

- la stabilità meccanica R è l'attitudine di un elemento da costruzione a conservare la propria resistenza meccanica sotto l'azione dell'incendio;
- la tenuta alla fiamma E è la capacità di un elemento da costruzione di non lasciar passare (né tantomeno produrre) fiamme, vapori o gas caldi dal lato esposto a quello non esposto;
- l'isolamento termico I è l'attitudine di un elemento costruttivo a ridurre, entro determinati limiti, la trasmissione del calore.

Il valore di resistenza al fuoco REI è espresso in unità di misura "tempo" (per la precisione in minuti) e rappresenta il tempo al di sotto del quale l'elemento costruttivo è in grado di mantenere e garantire la propria stabilità, tenuta ed isolamento. Da un punto di vista generale, quindi, il valore REI è determinato dal più basso valore di uno dei tre parametri: R, E ed I (anch'essi, ovviamente, misurati in minuti). La definizione di REI è di solito "interpretata" in funzione dell'elemento costruttivo che si intende analizzare. Per esempio, nel caso di un pilastro in calcestruzzo, i termini E ed I perdono di significato in quanto risulta decisivo il solo valore R (cioè l'attitudine a conservare la capacità portante). Per contro, nel caso di un muro tagliafuoco non portante oltre all'aspetto della tenuta E, sarà necessario valutare anche quello dell'isolamento I; al contrario del caso del pilastro, il parametro R giocherà un ruolo marginale nella definizione del REI. Per valutare la REI di un singolo elemento costruttivo è necessario fare riferimento a quanto indicato all'interno della Circolare n.91 del Ministero

degli Interni, del 14/9/1961 ("Norme di sicurezza per la protezione contro il fuoco dei fabbricati a struttura in acciaio destinati ad uso civile").

Nella seguente tabella sono evidenziate le principali soluzioni costruttive in rapporto alla durata di resistenza al fuoco:

Resistenza al fuoco	Elementi strutturali
REI 240	Ossatura di acciaio con rivestimento esterno in lamiera di acciaio, materiale isolante interno
REI 120	Ossatura di acciaio con rivestimento esterno in lamiera di acciaio, materiale isolante interno
REI 60	Struttura composita comprendente legno, truciolati, lana di roccia, con superficie esterna in lamiera
REI 30	Legno massiccio, pannelli compositi

Tabella 97 - Resistenza REI riferita ai serramenti porta

La complessità del fenomeno rende d'obbligo un'attenta analisi delle variabili coinvolte e un'accurata modellazione strutturale. A questa complessità supplisce generalmente l'esperienza del progettista che ricorre a modelli semplificati e conservativi del comportamento strutturale "riducendo" l'analisi del sistema strutturale a quella della sottostruttura o dell'elemento strutturale laddove se ne ravvisano le condizioni. Il progettista è in ogni caso tenuto a valutare ogni possibile accorgimento atto ad evitare che le eventuali interazioni tra gli elementi strutturali e tra gli elementi strutturali e quelli non strutturali siano causa di pericolosi collassi locali.

Il concetto di robustezza strutturale nei confronti delle azioni eccezionali (tra cui l'incendio), di recente introdotto dalle NTC, si basa sulla possibilità di accettare un livello di danneggiamento commisurato all'entità della causa scatenante, ferma restando la stabilità degli elementi "chiave" dai quali dipende la saldezza dell'intero sistema strutturale (ad esempio i pilastri e le orditure principali di travi).

Una comoda rappresentazione dell'incendio è l'evoluzione nel tempo della temperatura media dei gas di combustione e la superficie esterna dell'elemento strutturale determinerà la quantità di calore trasmessa a quest'ultimo e la conseguente variazione di temperatura. Appare evidente che sull'entità di questo scambio di calore si giocano molteplici aspetti caratterizzanti la difesa dell'elemento strutturale dal fuoco.

La resistenza al fuoco reale degli elementi strutturali dipende dall'incendio reale, dal coefficiente di trasmissione termica tra i prodotti di combustione e la superficie della struttura, dalla geometria delle sezioni delle strutture, ecc.

Un incendio reale, per il gran numero di variabili che lo influenzano, quali la natura del combustibile (quantità, stato fisico, umidità, pezzatura, potere calorifico, temperatura di combustione), la natura del locale (dimensione, tipo parete, proprietà termiche delle pareti, ampiezza e disposizione delle aperture, tiraggio) e le condizioni ambientali (altezza sul livello del mare, pressione, temperatura, umidità relativa, direzione e intensità del vento), non è mai uguale ad un altro ed è difficilmente analizzabile. Eventuali dati che vengono calcolati per prevedere il suo andamento sono inevitabilmente molto imprecisi.

Per tali motivi si è resa necessaria la standardizzazione e si è stabilita una curva T-t (temperatura tempo) sperimentale che comprendesse sia la maggior parte degli incendi reali più gravi di lunga durata che anche gli incendi meno gravi e di breve durata.

Le curva nominale è una rappresentazione convenzionale dell'andamento delle temperature dei gas di combustione in caso di incendio generalizzato. È in genere monotona crescente e quindi ben riproducibile in laboratorio. Trascura la fase di innesco e di prima propagazione avendo inizio in corrispondenza del *flash-over*. Le curve nominali di incendio definite nell'EC sono le seguenti:

- Curva Standard ISO 834 (Eurocodice 1)
- Curva dell'incendio esterno (*External fire* - Eurocodice 1)
- Curva dell'incendio da idrocarburi (*Hydrocarbon* - Eurocodice 1)
- Curva dell'incendio latente (*Smouldering fire* - Dir. 89/106/CE)
- Curva dell'incendio nei tunnel (RWS-UNI 11076)

La curva standard (quella proposta dalla Organizzazione Internazionale per la Standardizzazione) stabilisce una legge di variazione della temperatura nel tempo secondo un programma prestabilito di riscaldamento nel forno sperimentale usato ed è utilizzata nella simulazione di incendio in cui il materiale combustibile è prevalentemente di natura cellulosa. Quindi la resistenza al fuoco convenzionale è il tempo che impiega l'elemento strutturale che conserva, sotto l'azione di un incendio standard, la stabilità, la tenuta e l'isolamento termico.

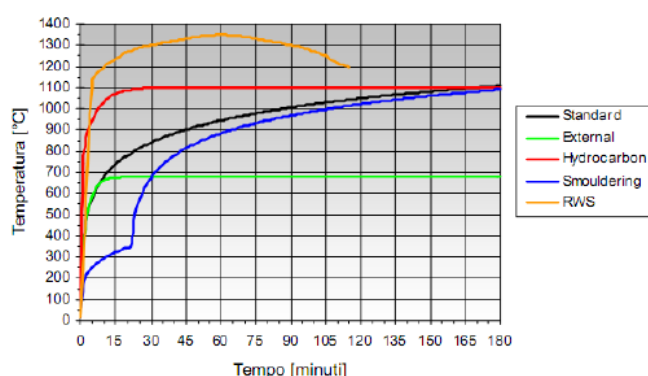


Figura 693 - Curve nominali

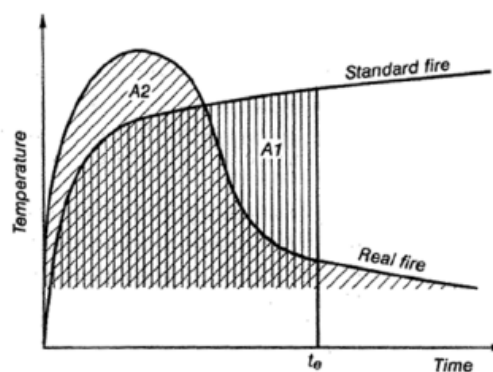


Figura 694 - Curve incendio reale e standard a confronto

Si noti che:

- le prove di resistenza al fuoco svolte in laboratorio sono effettuate su elementi strutturali isolati, indipendentemente dalle strutture di cui sono componenti, mentre nella realtà i vari elementi strutturali agiscono in modo solidale nel sopportare i carichi previsti. A tale proposito si è constatato che i risultati delle prove al forno hanno indubbia validità teorica e pratica che gli elementi singoli sottoposti a prove possono trovare impiego nelle strutture complesse. Inoltre, a seguito di esperienze, è risultato che di norma i componenti strutturali non sono colpiti da incendi di intensità e durata corrispondenti a quelli dei forni di prova;
- il metodo analitico, considerato alternativo al metodo sperimentale, consiste nell'applicazione, limitatamente alla capacità portante, ai singoli elementi costruttivi, delle modalità di calcolo indicate nelle norme UNI_VV:F: 9502-9503-9504 (attualmente dalle parti "fuoco" degli Eurocodici).

Realizzato il fabbricato, si usano materiali vari per arredare gli ambienti al fine di renderli confortevoli e idonei all'uso. Questi materiali, oltre che costituire il carico d'incendio, contribuiscono all'innesco e alla propagazione dell'incendio. Si è sentita quindi la necessità di ridurre al minimo il rischio dell'innesco e della propagazione dell'incendio una volta verificatosi.

Con esclusione dei rischi derivanti dalla densità dei fumi e dalla tossicità dei gas sviluppati dall'incendio, sono state stabilite norme, criteri e procedure per la classificazione dei materiali.

Reazione al fuoco

In Italia, ai fini di un uniforme linguaggio, con il D.M. 30 novembre 1983, viene definita reazione al fuoco "(...) il grado di partecipazione di un materiale combustibile al fuoco al quale è sottoposto. In relazione a ciò i materiali sono assegnati alle classi 0, 1, 2, 3, 4, 5 con l'aumentare della loro partecipazione alla combustione; quelli di classe 0 non sono combustibili."

La classe di reazione al fuoco fornisce quindi un giudizio sull'attitudine del materiale a contribuire o meno al carico di incendio dove per grado di partecipazione al fuoco si intende l'infiammabilità, la velocità di propagazione della fiamma, il gocciolamento, la produzione di calore, la produzione di fumo, la produzione di sostanze nocive. Il D.M. 14/1/1985 (all'art. 1) attribuisce ai materiali di seguito elencati classe di reazione 0:

- materiali da costruzione, compatti od espansi a base di ossidi metallici (ossido di calcio, magnesio, silicio, alluminio ed altri) o di composti inorganici (carbonati, solfati, silicati di calcio ed altri) privi di leganti organici;
- materiali isolanti a base di fibre minerali (di roccia, di vetro, ceramiche ed altre) privi di leganti organici;
- materiali costituiti da metalli con o senza finitura superficiale a base inorganica.

Anche se l'affermazione può sembrare scontata, vale la pena precisare che il laterizio (normale od alleggerito⁵⁴) è un materiale non combustibile e quindi di classe 0, in quanto rientra nella prima categoria dei materiali da costruzione prima riportata.

Per la valutazione della reazione al fuoco, a differenza di quella della resistenza al fuoco, esistono esclusivamente metodi sperimentali. Si stanno comunque eseguendo studi, ricerche e sperimentazioni a livello nazionale e internazionale per definire i metodi di prova per la valutazione delle opacità e delle tossicità di prodotti della combustione.

Il ministero dell'interno, con decreto del 3 settembre 2001, ha ritenuto di dover modificare e integrare il decreto del 26 giugno 1984 recependo le norme UNI riguardanti i metodi di prova per la determinazione della classe di reazione al fuoco dei materiali.

La normativa base è il decreto Ministeriale 26 giugno 1984 -classificazione di reazione al fuoco ed omologazione dei materiali ai fini della prevenzione incendi- aggiornato dal D.M. 3 settembre 2001. Trattasi di normativa orizzontale di prevenzione incendi, che contiene norme valide per tutte le attività indipendentemente dalla peculiarità dei rischi che le stesse attività presentano, a disposizione per l'emanazione di norme verticali, ossia quelle norme di prevenzione incendi che riguardano le singole attività. Quindi, in relazione alla specifica destinazione degli edifici ed all'uso dei materiali, la classe di reazione al fuoco richiesta per l'impiego dei materiali stessi viene prescritta dalle norme particolari di prevenzione incendi disciplinanti le singole attività.

⁵⁴ Quest'aspetto è del tutto ininfluenza nell'ambito della reazione al fuoco

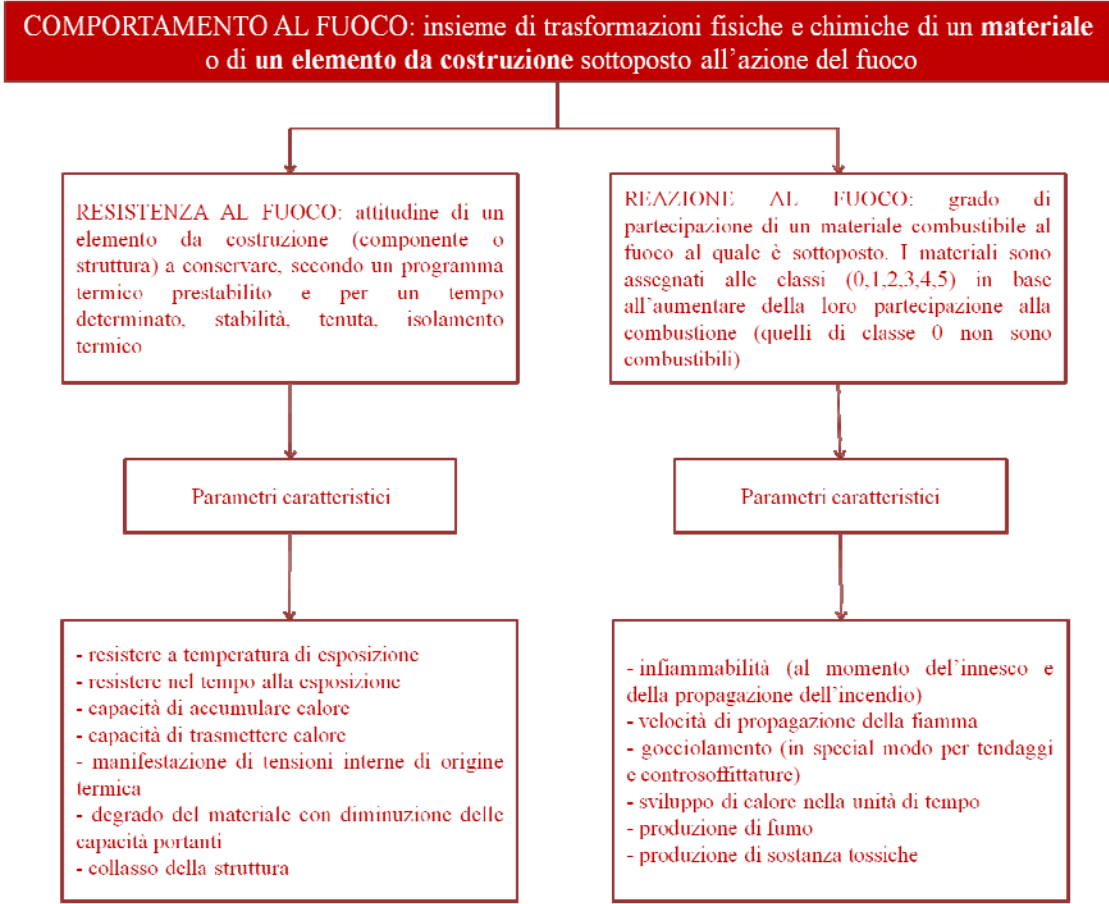


Figura 695 - Comportamento al fuoco

Compartimentazione antincendio

Per evitare la propagazione dell'incendio all'interno di un edificio da una zona ad un'altra e consentire l'evacuazione delle persone, limitare i danni e favorire l'arrivo dei soccorritori occorre dividere il fabbricato in "compartimenti d'incendio" o "celle di fuoco" con pareti tagliafuoco, che evitino la diffusione del fuoco per il tempo d'incendio di progetto.

Si tratta di ambienti di dimensioni più contenute, ciascuno dei quali è in gradi di contenere, per un tempo prefissato, l'incendio al suo interno. Tale strategia consente di affrontare incendi di dimensioni modeste e tali da esaltare l'efficacia di tutte le altre misure di lotta antincendio, oltre che facilitare l'esodo degli occupanti attraverso vie raggiungibili da qualsiasi punto in tempi congrui con la loro salvaguardia e l'efficace intervento delle squadre di soccorso.

Le dimensioni del compartimento e le caratteristiche prestazionali dello stesso devono tenere conto dell'eventuale presenza di specifici impianti di protezione attiva, il cui funzionamento garantisce ugualmente un contenimento delle dimensioni dell'incendio.

Tra le molte ragioni che giustificano la suddivisione in compartimenti vi sono anche la riduzione degli effetti dell'incendio sulla struttura, la localizzazione dell'incendio (con localizzazione dei rischi, isolamento e protezione delle vie di fuga). Le separazioni sono di solito costituite da solette o pareti.

La compartimentazione antincendio quindi è una strategia che di norma va attuata contestualmente alla definizione di tutte le altre strategie adottate per la lotta all'incendio e i cui aspetti progettuali vanno definiti fin dalla prima stesura del layout della costruzione, in quanto costituisce un elemento estremamente vincolante per tutto lo sviluppo del progetto. La compartimentazione permette di attuare

il concetto fondamentale di frazionamento del rischio che è di fatto uno dei principali criteri di prevenzione.

La determinazione dell'estensione di un comparto deve tener conto di fattori quali la presenza o meno di impianti antincendio, la conformazione planivolumetrica dell'edificio, la destinazione d'uso, ecc. Il compartimento antincendio può racchiudere uno o più ambienti di un singolo o più piani all'interno di una costruzione multipiano, ovvero coincidere con la costruzione intera. In generale lo spazio di riferimento comprende anche una quota parte all'esterno della costruzione e gli elementi di compartimentazione devono in taluni casi prolungarsi oltre le tamponature esterne o il tetto della costruzione.

La realizzazione di un compartimento antincendio coinvolge il progettista nella scelta di idonei elementi di separazione, nonché nell'adozione di soluzioni atte al ripristino della compartimentazione di quei vani necessari per il passaggio delle persone, dei beni e degli impianti. Nel campo della progettazione quindi è indispensabile considerare il calcolo del carico d'incendio dei vari ambienti, la determinazione della resistenza al fuoco della struttura e la compartimentazione che consentono principalmente la sicurezza delle persone.

Determinazione del carico d'incendio⁵⁵

Il carico d'incendio è il potenziale termico di tutti i materiali combustibili esistenti in uno spazio. È espresso dalla quantità equivalente di legna per metro quadro che si ottiene dividendo per 4400 (potere calorifico superiore del legno) il numero di calorie per unità di superficie orizzontale del locale o del piano considerato, che al massimo si possono sviluppare per effetto della combustione di tutti i materiali combustibili presenti:

$$q = \frac{\sum_{i=1}^n g_i H_i}{4400 A}$$

dove:

q è il carico di incendio (in kg legna/m²)⁵⁶

g_i il peso (in kg del generico fra gli n combustibili che si prevedono presenti nel locale o nel piano nelle condizioni più gravose di carico d'incendio

H_i è il potere calorifico superiore (in Cal/kcal/kg) del generico fra gli n combustibili di peso g_i

A è la superficie orizzontale (in m²) del locale o del piano del fabbricato considerato

4400 è il potere calorifico superiore del legno (in Cal/kg o kcal/kg)

Le condizioni più gravose del carico d'incendio di un certo locale o piano sono quelle per le quali la sommatoria g_iH_i è massima e vanno determinate esaminando le previste utilizzazioni dei locali e dei piani come dichiarato dal progettista e dal proprietario del fabbricato stesso.

L'utilizzo dei prodotti elettronici quali computer, stampanti, fax, ecc., dovuti alla rapida evoluzione dei sistemi informativi costituenti l'edificio tecnologico, vanno considerati nella valutazione del carico di incendio in quanto lo fanno aumentare in modo considerevole. Durante un incendio i prodotti elettronici, oltre che contribuire alla propagazione del fuoco, danno luogo ad affluenti gassosi che provocano danni a persone e cose.

⁵⁵ Con esclusione del caso di locali aventi strutture portanti in legno.

⁵⁶ L'unità di misura d'incendio è convenzionalmente data in "chilogrammi di legna equivalente" riferita all'unità di superficie lorda dello spazio interessato.

ESEMPI DI CARICHI DI INCENDIO AMMISSIBILI IN ITALIA	
Attività	Carico di incendio massimo (kg/m²)
OSPEDALI, SCUOLE E SIMILI	30
corridoi-passaggi-scale-atri	10
ALBERGHI	30 ÷ 50
corridoi-passaggi-scale-atri	10
LOCALI DI INTRATTENIMENTO IN GENERE	30 ÷ 50
LOCALI DI PUBBLICO SPETTACOLO	30 ÷ 50
UFFICI	50
EDIFICI CIVILI:	
Superficie fino a 600 m ²	60 ÷ 120
Superficie fino a 1200 m ²	30 ÷ 60
Superficie fino a 2500 m ²	12,5 ÷ 30
Superficie fino a 5000 m ²	2,5 ÷ 12,5
1° e 2° piano interrato (anche per altre attività)	20
Oltre il 2° piano interrato (anche per altre attività)	15

Tabella 98 - Carichi d'incendio ammissibili⁵⁷

Il carico d'incendio, moltiplicato per un coefficiente che tiene conto delle reali condizioni d'incendio, perviene alla classe dell'edificio che corrisponde al numero di minuti di resistenza al fuoco da chiedere allo stesso. La classe del piano o del locale considerato si determina in base alla formula:

$$c = kq$$

dove:

c numero indicativo della classe

q carico d'incendio dichiarato dal costruttore o progettista

k coefficiente di riduzione che tiene conto delle condizioni reali d'incendio del piano o del locale, compreso fra 0,2 e 1.

Le classi di edifici sono: 15, 30, 45, 60, 90, 180. Questi valori rappresentano la durata dell'incendio convenzionale, ovvero il tempo durante il quale gli elementi strutturali possono essere sottoposti all'incendio conservando la capacità portante e quella d'impedirne la propagazione.

Per capire le dimensioni di un incendio, probabilmente il miglior modo è considerare l'RHR (Heat Release Rate), ovvero il calore rilasciato dalla combustione di un materiale per unità di tempo per unità di area.

Nella fase iniziale di un incendio (controllata dal combustibile), la potenza segue una legge che è ben approssimata da una funzione quadratica del tempo; se si considera una potenza costante al m², l'incendio si propaga radialmente a velocità costante (area ~ t²). A seconda del tipo e della quantità di combustibile l'incendio può avere diverse velocità e quindi la legge parabolica diverse pendenze, espresse da curve predefinite di sviluppo con t_g, tempo necessario affinché RHR(t_g) raggiunga 1000 kW pari rispettivamente a 75 s per incendio ultraveloce, 150 s per quello veloce, 300 s per quello

⁵⁷ I valori dei piani interrati possono essere raddoppiati con l'installazione di impianti automatici di spegnimento. Per locali fuori terra i valori possono essere raddoppiati con l'installazione di impianti di rilevazione automatica d'incendio.

medio e 600 s per quello lento. In prossimità del *flashover* la velocità di crescita raggiunge valori compresi fra 1 kW/s e qualche decina di kW/s.

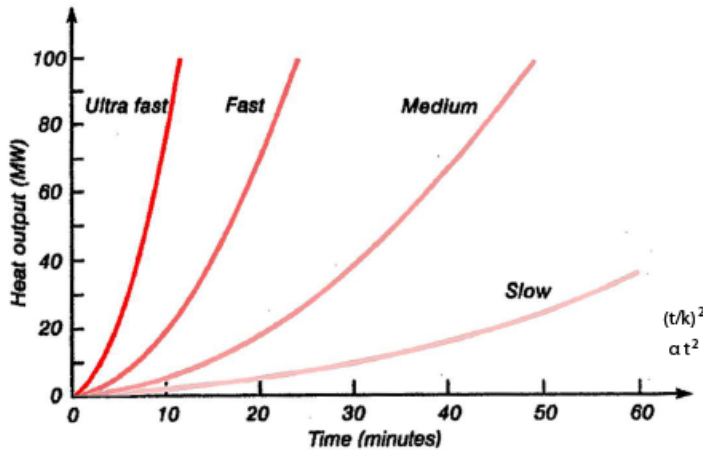


Figura 696 - Curva t^2

Quando la potenza raggiunge il valore massimo⁵⁸, e l'incendio è controllato dalla superficie di ventilazione, si mantiene costante. Nel 1958 Kawagoe aveva infatti identificato la seguente relazione fra la portata massica e le dimensioni delle aperture:

$$m' \left[\frac{kg}{s} \right] = 0,09 A_w \sqrt{h_w} \text{ in kg/s dove}$$

A_w è la superficie dell'apertura di ventilazione (m^2)

h_w l'altezza dell'apertura di ventilazione (m).

Si raggiunge infine una fase di decadimento lineare, che avviene quando è stato consumato circa il 70% dell'energia, per esaurimento del combustibile.

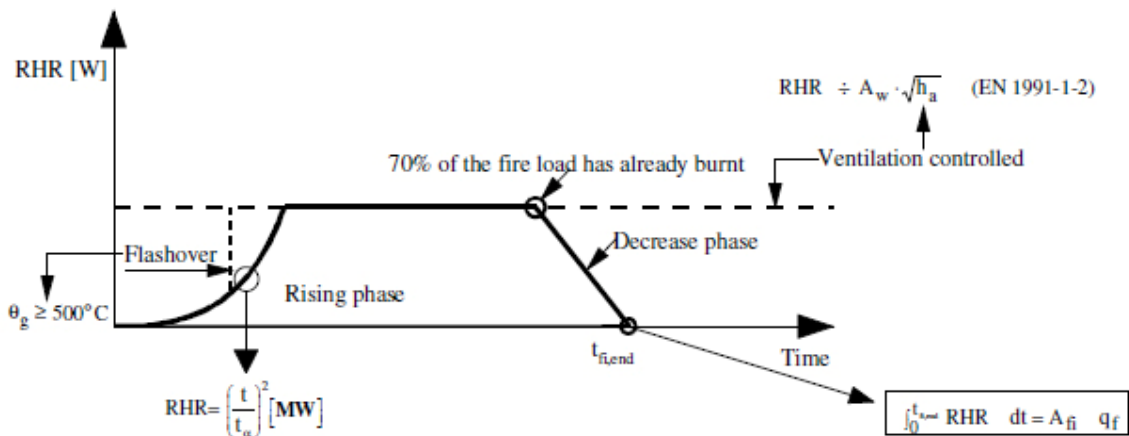


Figura 697 - Curva potenza-temperatura detta t^2

⁵⁸ $RHR_{max} = 0,1 m H A_v h_{eq}^{0,5}$ dove

m fattore di partecipazione alla combustione (stesso del D.M. 9/3/2007)

H potere calorifico del materiale combustibile

A_v superficie complessiva delle aperture di aerazione del locale

H_{eq} altezza equivalente

La curva RHR(t) qualitativa rappresenta la base di partenza per il calcolo mediante software specifici di simulazione di incendi (a zone o di campo). Si possono però distinguere una RHR teorica (che fa riferimento alla pirolisi, legata alla geometria e alla qualità dei materiali ed utilizzata dai software) ed una effettiva che dipende dalla ventilazione dell'ambiente, quindi dalla forma e dimensione delle aperture.

12.1.1.3. Stabilire i criteri di progettazione strutturale in funzione degli obiettivi prefissati e della strategia antincendio scelta

I criteri di progettazione per garantire la stabilità del sistema strutturale e della compartimentazione antincendio per un periodo sufficiente ad assicurare l'esodo degli occupanti e per contenere l'incendio devono far riferimento in particolare alle misure di prevenzione e alle misure di protezione attive e passive. Ad esempio se per la tutela degli occupanti si privilegiano le misure preventive e di protezione attive rispetto alle passive il criterio di progettazione strutturale nei confronti dell'incendio sarà determinato in funzione del tempo necessario affinché gli occupanti, con un certo margine di sicurezza, possano raggiungere un luogo sicuro all'esterno della costruzione. Oppure si potrebbe ammettere la presenza di persone nell'edificio durante tutta la durata del fenomeno (ad esempio per via della difficoltà di spostare gli occupanti a causa delle loro ridotte capacità motorie). Allora il criterio di progettazione strutturale nei confronti dell'incendio sarà quello di garantire la stabilità meccanica durante l'intero evento. Un altro caso può essere altrimenti quello rappresentato da un edificio che abbia rilevanza storico-artistica in cui bisognerà garantire la resistenza strutturale durante tutto l'incendio con limitati danneggiamenti.

Quadro normativo italiano

In Italia i settori su cui si applicano gli atti normativi riguardanti la resistenza al fuoco sono tre:

- A1 le richieste di prestazione nei confronti della resistenza al fuoco quantificabile con il lasso di tempo minimo richiesto alla stabilità strutturale in fase di incendio;
- A2 la progettazione strutturale delle costruzioni in caso di incendio effettuabile seguendo specifiche norme tecniche di riferimento;
- A3 la qualificazione dei prodotti da costruzione nei confronti del requisito della sicurezza in caso di incendio ai fini del loro impiego nelle costruzioni.

Il primo settore è strettamente legato al livello di sicurezza nei confronti dell'incendio richiesto per una costruzione. Esso può essere esplicitamente prescritto da un regolamento di prevenzione incendi oppure, quando consentito, può essere stabilito dal progettista.

Il secondo aspetto afferisce alle modalità tecniche di effettuazione delle verifiche strutturali in condizioni di incendio, che possono essere affrontate con differenti livelli di approfondimento e complessità.

Il terzo settore riguarda i prodotti da costruzione per i quali è di interesse il RE di sicurezza in caso di incendio. I prodotti da costruzione sono oggi disciplinati, anche per quanto attiene la loro qualificazione prestazionale, dalla CPD attraverso una costellazione di norme EN di prodotto e di supporto.

Un'ulteriore distinzione deve essere effettuata in merito ai soggetti normatori protagonisti nel settore della resistenza al fuoco.

- B1: il Ministero dell'Interno in virtù del D.L. 8.3.2006, n.163 abrogativo della 1.27.12.1941, n.1570 istitutiva del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco.

- B2: il Ministero delle Infrastrutture (ex Ministero dei Lavori Pubblici o delle Infrastrutture e dei Trasporti) mediante il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici in virtù della 1.5.11.1971, n.1086 che sancisce l’emanazione e l’aggiornamento delle norme tecniche sulle costruzioni con cadenza biennale.
- B3 Il Comitato Europeo di Normazione (CEN) e l’Ente Nazionale di Unificazione (UNI) nell’ambito della normazione in seno alla CPD oppure in ambito volontario.

Evoluzione del quadro normativo per la resistenza al fuoco

Negli anni sessanta, in seguito all’aumento dell’utilizzo di materiale ferroso come struttura portante negli edifici di civile abitazione, per evitare il determinarsi di gravi pericoli per la stabilità delle opere e quindi per le persone in caso di incendio, vennero presi in considerazione i requisiti della resistenza al fuoco delle strutture in acciaio. Si rilevò che la valutazione della resistenza al fuoco delle strutture (ovvero il tempo massimo durante il quale la struttura sottoposta all’azione del fuoco deve assolvere alle proprie funzioni prima del collasso) non era facilmente determinabile, essendo l’incendio reale influenzato da molteplici e variabilissimi fattori; per tale motivo in campo internazionale era stata accettata la vita sperimentale che consentiva la determinazione della resistenza al fuoco convenzionale.

La storia italiana della normazione in materia di resistenza al fuoco, si può ritenere iniziata nel 1961 con l’emanazione, da parte della Direzione Generale dei Servizi Antincendio del Ministero dell’Interno (soggetto B1), della circolare 14.9.1961, n.91 “Norme di sicurezza per la protezione contro il fuoco dei fabbricati a struttura in acciaio ad uso civile”. Questa norma fu redatta per disciplinare le modalità di resistenza al fuoco di elementi strutturali mediante tabelle o prove sperimentali (ambito A2) e per quantificarne la richiesta minima di prestazione in termini di tempo di esposizione ad una curva di incendio convenzionale (ambito A1). Può essere suddivisa in tre parti, ognuna delle quali affronta i seguenti argomenti:

- Valutazione del carico d’incendio e conseguente classificazione degli edifici
- Definizione della resistenza al fuoco per varie tipologie di elementi costruttivi
- Modalità di prova per la determinazione sperimentale della resistenza al fuoco di un elemento costruttivo.

Questa circolare per oltre quarant’anni è stata il punto di riferimento per tutti coloro che hanno avuto la necessità di realizzare strutture e materiali resistenti al fuoco.

In seguito con il D.M. Interno 8.3.1985, si estende il campo di applicazione agli edifici aventi struttura realizzata con materiali diversi dall’acciaio venendo riproposta dai regolamenti di prevenzione incendi per le varie attività, conferendole una indiscussa universalità sancita dal D.P.R. 29.7.1982 n.577 che lo fece diventare decreto ministeriale. La novità è costituita soprattutto dal fatto che vengono forniti i valori delle velocità di carbonizzazione degli elementi strutturali in legno.

Sulla base di tali concetti fu emanato il decreto ministeriale 6 marzo 1986 che codificò le modalità per il calcolo del carico di incendio per i locali dove sono presenti strutture portanti in legno integrando la formula della circolare 91 con il valore della quota di partecipazione alla combustione di tali strutture.

Alla fine degli anni ’80 furono pubblicate le norme UNI 9502, 9503 e 9504 valide per la verifica al fuoco di elementi strutturali in calcestruzzo, acciaio e legno; nel 1999 fu pubblicato invece il Bollettino CNR n.192 “Istruzioni per la progettazione di strutture resistenti al fuoco” come strumento alternativo alla circ.91/61 per le conoscenze tecniche.

Si arriva al 2005, anno in cui viene pubblicato il D.M. delle infrastrutture e dei trasporti del 14 settembre 2005, che affronta gli aspetti connessi alla protezione delle costruzioni dall’incendio per le

attività non soggette ai controlli di prevenzione incendi, rinviando per le altre attività alle specifiche regole tecniche di prevenzione incendi in vigore. Per tale motivo e per riassumere l'insieme delle disposizioni emanate nel corso degli anni per la resistenza al fuoco, aggiornandole ed armonizzandole con la disciplina comunitaria, è stata rivisitata l'intera normativa di settore. Questo lavoro, curato dalla Direzione Centrale prevenzione e sicurezza tecnica del Dipartimento dei Vigili del Fuoco, si è concretizzato con la emanazione di due provvedimenti. Si tratta del decreto 16 febbraio 2007 che risponde all'obiettivo di adempiere agli obblighi connessi all'attuazione delle decisioni e raccomandazioni della Commissione Europea per le prove e la classificazione di resistenza al fuoco e per il ricorso agli Eurocodici per il calcolo di strutture resistenti al fuoco; nonché all'obiettivo di superare la circolare 91 per la definizione delle prestazioni di resistenza al fuoco possedute da prodotti ed elementi costruttivi.

L'ulteriore provvedimento che completa il panorama normativo del settore è il decreto 9 marzo 2007 che stabilisce i criteri per determinare le prestazioni di resistenza al fuoco che devono possedere le costruzioni ove si svolgono attività soggette al controllo dei vigili del fuoco che integra e completa, come accennato, il quarto capitolo del D.M. 14 settembre 2005 applicabile unicamente alle attività non soggette ai controlli di prevenzione incendi. La metodologia messa a punto con il decreto del 9 marzo, risulta essere più moderna e in linea con gli attuali riferimenti presenti nella letteratura tecnica (documenti CNR, Eurocodici, ecc.), ed è valida per tutti i tipi di costruzioni sia civili che industriali, ad esclusione delle attività per le quali i requisiti di resistenza al fuoco sono già fissati dalle regole tecniche di prevenzione incendi di settore. Questo decreto inoltre introduce una novità di rilievo nel settore della prevenzione incendi che consiste nella possibilità di fruire dell'approccio prestazionale per verificare la sicurezza strutturale dei sistemi costruttivi in caso di incendio.

Questo argomento è stato recentemente ripreso ed ampliato dal D.M. 9 maggio 2007 con l'intento di fornire un ulteriore strumento di analisi e di valutazione del rischio di incendio per la individuazione delle misure di sicurezza in tutte quelle situazioni di particolare rilevanza sotto il profilo antincendio ove non esiste una specifica regola tecnica ovvero dove la regola tecnica risulta di difficile applicazione.

Direttiva prodotti da costruzione - CPD

La direttiva 89/106/CEE prodotti da costruzione è una delle prime del cosiddetto nuovo approccio ed ha il compito di rendere possibile la libera circolazione dei beni, destinati ad essere incorporati permanentemente in opere da costruzione, sul territorio dei Paesi appartenenti all'UE, abbattendo gli ostacoli tecnici e amministrativi presenti tra i vari Stati e all'interno degli stessi. I prodotti da costruzione devono essere immessi sul mercato descrivendo le loro prestazioni in relazione a un determinato numero di caratteristiche che influiscono sui requisiti essenziali delle costruzioni. A tale riguardo, essi devono consentire la costruzione di opere che soddisfano, per una durata di vita economicamente accettabile, i requisiti essenziali in materia di resistenza meccanica e di stabilità, di sicurezza in caso d'incendio, d'igiene, di sanità e di ambiente, di sicurezza di utilizzazione, di protezione dal rumore, di economia di energia e di isolamento termico. Tali requisiti essenziali sono definiti nell'allegato I della direttiva. I requisiti essenziali sono precisati in prima istanza da documenti interpretativi elaborati da comitati tecnici e poi sviluppati mediante specifiche tecniche che possono basarsi su:

- norme armonizzate europee adottate dagli organismi europei di normalizzazione (CEN o/e CENELEC), a seguito di mandati rilasciati dalla Commissione, previa consultazione del comitato permanente per la costruzione;
- benessere tecnici europei che valutano l'idoneità di un prodotto all'impiego previsto nei casi in cui non esista né una norma armonizzata, né una norma nazionale riconosciuta, né un mandato

per una norma europea. La Commissione, previa consultazione degli Stati membri nel comitato permanente per la costruzione, non ritiene possibile elaborare una norma. Per facilitare tale compito, la "European Organization of Technical Approvals" (EOTA) (EN) (Organizzazione europea per il benessere tecnico), che raggruppa gli organismi nazionali competenti per il benessere tecnico, può elaborare orientamenti per il benessere tecnico europeo per un prodotto o una famiglia di prodotti da costruzione, su mandato della Commissione e previa consultazione del Comitato permanente per la costruzione.

I requisiti essenziali indicati dalla CPD per le costruzioni, e per i quali devono essere idonei i prodotti, sono sei e sono già stati specificati nella parte introduttiva del presente lavoro:

REQUISITI ESSENZIALI
<p>I prodotti devono essere idonei alla realizzazione di opere pronte all'uso, nell'integrità e nelle relative parti, tenendo conto dell'aspetto economico e, a tal fine, devono soddisfare i seguenti requisiti essenziali, laddove siano stabiliti. Detti requisiti devono, fatta salva la normale manutenzione, essere soddisfatti per un periodo di tempo economicamente adeguato. I requisiti come norma presuppongono azioni prevedibili.</p>
<p>1. Resistenza meccanica e stabilità L'opera deve essere concepita e costruita in modo che le azioni cui può essere sottoposta durante la costruzione e l'utilizzazione non provochino:</p> <ul style="list-style-type: none"> - il crollo di intera opera o di una sua parte; - deformazioni di importanza inammissibile; - danni ed altre parti dell'opera o alle attrezzature principali o accessorie in seguito a una deformazione di primaria importanza degli elementi portanti; - danni accidentali sproporzionati alla causa che li ha provocati.
<p>2. Sicurezza in caso d'incendio L'opera deve essere concepita e costruita in modo che in caso d'incendio:</p> <ul style="list-style-type: none"> - la capacità portante dell'edificio possa essere garantita per un periodo di tempo determinato; - la produzione e la propagazione del fuoco e del fumo all'interno delle opere siano limitate; - la propagazione del fuoco ed opere vicine sia limitata; - gli occupanti possano lasciare l'opera o essere soccorsi altrimenti; - sia presa in considerazione la sicurezza delle squadre di soccorso.
<p>3. Igiene, salute e ambiente L'opera deve essere concepita e costruita in modo da non compromettere l'igiene o la salute degli occupanti o dei vicini e in particolare in modo da non provocare:</p> <ul style="list-style-type: none"> - sviluppo di gas tossici; - presenza nell'aria di particelle o di gas pericolosi; - emissione di radiazioni pericolose; - inquinamento o tossicità dell'acqua o del suolo; - difetti nell'eliminazione delle acque di scarico, dei fumi e dei rifiuti solidi o liquidi; - formazione di umidità su parti o pareti dell'opera.
<p>4. Sicurezza nell'impiego L'opera deve essere concepita e costruita in modo che la sua utilizzazione non comporti rischi di incendi inammissibili, quali scivolate, cadute, collisioni, bruciature, folgorazioni, ferimenti a seguito di esplosioni.</p>
<p>5. Protezioni contro il rumore L'opera deve essere concepita e costruita in modo che il rumore cui sono sottoposti gli occupanti e le persone in prossimità si mantenga a livelli che non noccano alla loro salute e tali da consentire soddisfacenti condizioni di sonno, di riposo e di lavoro.</p>
<p>6. Risparmio energetico e ritenzione di calore L'opera ed i relativi impianti di riscaldamento, raffreddamento ed areazione devono essere concepiti e costruiti in modo che il consumo di energia durante l'utilizzazione dell'opera sia moderato, tenuto conto delle condizioni climatiche del luogo senza che ciò pregiudichi il benessere termico degli occupanti.</p>

Tabella 99 - Requisiti essenziali applicabili alle opere e suscettibili di influenzare le caratteristiche tecniche di un prodotto (fonte: direttiva 89/106/CEE sui prodotti da costruzione)

La commissione europea periodicamente aggiorna un elenco di famiglie di prodotti soggetti alla CPD per uno o più RE. La marcatura CE sui prodotti attesta il rispetto della CPD (e di tutte le altre direttive

cui gli stessi sono soggetti) comprese le procedure di valutazione previste. Il rispetto della CPD si dimostra mediante una delle tre seguenti attestazioni:

- conformità alle norme nazionali che recepiscono norme armonizzate i cui estremi sono stati pubblicati nella GU C E⁵⁹;
- conformità nel caso in cui non esitano norme nazionali riconosciute dalla Commissione tali da beneficiare della presunzione di conformità. A tal fine le competenti amministrazioni tramite il Ministero dell'Industria, del commercio e dell'artigianato (oggi Ministero dello sviluppo economico), comunicano alla Commissione europea i testi delle specificazioni tecniche nazionali ritenute conformi agli specifici requisiti essenziali;
- conformità al benessere tecnico europeo.

Gli Eurocodici strutturali

Gli Eurocodici (EC) strutturali costituiscono un gruppo di norme relative alla progettazione strutturale e geotecnica degli edifici e delle opere di ingegneria civile. Trattano l'esecuzione e il controllo solo nella misura atta a definire la qualità dei prodotti da costruzione e il livello di preparazione professionale necessario per soddisfare le ipotesi assunte nella progettazione.

Con l'avvento degli Eurocodici è disponibile uno strumento avanzato di per la valutazione della resistenza al fuoco, che costituirà quindi per il progettista strutturale il nuovo campo d'azione. Gli Eurocodici prevedono che la resistenza al fuoco di un incendio o di un compartimento debba essere valutata come resistenza al fuoco dei singoli elementi strutturali, ovvero del complesso strutturale.

L'idea degli Eurocodici nacque nel 1975 quando la Commissione della Comunità Europea decise di dare vita ad un progetto di regole comuni per consentire la commercializzazione in sede comunitaria dei prodotti da costruzione, nonché la predisposizione di regole tecniche comuni nel campo dell'ingegneria civile tra i Paesi aderenti. La prima versione risale al 1980. La moderna versione è frutto delle esperienze dei comitati C.E.B (*Comité Euro-International du Béton*) e F.I.P (*Fédération International de la Précontrainte*) per le strutture in cemento armato e della C.E.C.M (Convenzione europea per le Costruzioni Metalliche).

Gli eurocodici strutturali hanno subito una notevole spinta in avanti con l'avvento della direttiva prodotti da costruzione (CPD 89/106/CEE) e del connesso documento interpretativo n.2 "sicurezza in caso di incendio". Tale direttiva ha infatti provocato un grande sviluppo nello studio delle strategie riferite alla sicurezza antincendio. Più specificatamente, le parti fuoco degli Eurocodici strutturali costituiscono oggi un potente strumento di progettazione per le costruzioni resistenti al fuoco.

Il Comitato Tecnico CEN TC 250 "*Structural Eurocodes*", attraverso la partecipazione di 29 Paesi della UE, ha affrontato e sviluppato per circa 30 anni il notevole lavoro di unificazione europea delle norme di progettazione delle strutture e si trova attualmente ancora impegnato assieme al comitato CEN TC 127 "*Fire safety in building*" ad implementare all'interno degli Stati Membri della UE le parti delle articolatissime norme europee dedicate all'incendio.

Attualmente esistono dieci Eurocodici⁶⁰ ognuno dei quali consiste generalmente in una serie di parti che coprono:

⁵⁹ La Gazzetta ufficiale dell'Unione europea (GU) è l'unico periodico pubblicato ogni giorno lavorativo in tutte le lingue ufficiali dell'Unione europea, si articola in due serie collegate tra loro (L per gli atti legislativi e C per comunicazioni e informazioni) e un supplemento (S per i bandi di appalto). Esiste anche una sezione elettronica della serie C, nota come GU C E. I documenti contenuti nella GU C E sono pubblicati solo in versione elettronica.

- le basi del progetto strutturale (EN 1990, il codice base);
- le azioni sulle strutture (EN 1991);
- il progetto delle principali tipologie strutturali (cemento armato, acciaio, acciaio-calcestruzzo, legno, muratura ed alluminio) (da EN 1996 e EN 1999);
- il progetto geotecnico (EN 1997);
- il progetto antisismico (EN 1998).

Ogni Eurocodice è dotato di un Documento di Applicazione Nazionale (DAN) emesso dall'Autorità competente in ogni Stato Membro, in cui vengono specificati i Parametri Determinati dalle Nazioni (PDN).

I livelli di prestazione nei confronti della resistenza al fuoco

Le prestazioni da richiedere alle strutture, in funzione degli obiettivi sono individuate nei seguenti livelli descritti dalle NTC:

Livello 1	Nessun requisito specifico di resistenza al fuoco dove le conseguenze del crollo delle strutture siano accettabili o dove il rischio di incendio sia trascurabile
Livello 2	Requisiti di resistenza al fuoco delle strutture per un periodo sufficiente a garantire l'evacuazione degli occupanti in luogo sicuro
Livello 3	Requisiti di resistenza al fuoco delle strutture tali da evitare, per tutta la durata dell'incendio, il collasso delle strutture stesse
Livello 4	Requisiti di resistenza al fuoco delle strutture per garantire, dopo la fine dell'incendio, un limitato danneggiamento delle strutture stesse
Livello 5	Requisiti di resistenza al fuoco delle strutture per garantire, dopo la fine dell'incendio, il mantenimento della totale funzionalità delle strutture stesse

Tabella 100 - Livelli di prestazione

I livelli di prestazione comportano classi di capacità portante stabilite in base al rischio e alle strategie antincendio per i diversi tipi di costruzioni e di attività. La capacità portante dovrà essere mantenuta per tutto il tempo necessario a garantire le prestazioni assopite a ciascun livello.

Livello I

Il livello di prestazione è da ritenersi adeguato per le costruzioni ove si verificano tutte le seguenti condizioni:

- gli eventuali crolli totali o parziali della costruzione non devono arrecare danno ad altre costruzioni;
- gli eventuali crolli totali o parziali della costruzione non devono compromettere l'efficacia di elementi di compartimentazione e dai sistemi antincendio che proteggono altre costruzioni;
- la costruzione non deve essere adibita, interamente o in parte, ad attività che comportino presenza di persone, esclusa quella occasionale e di breve durata di personale addetto.

-
- ⁶⁰ EC 0 indicazioni di base per affrontare la progettazione con il metodo semiprobabilistico agli stati limite, combinazioni di verifica, fattori di sicurezza per la combinazione delle azioni.
 - EC 1 basi di calcolo ed azioni sulle strutture;
 - EC 2 progettazione delle strutture in calcestruzzo;
 - EC 3 progettazione delle strutture in acciaio;
 - EC 4 progettazione delle strutture miste acciaio-calcestruzzo;
 - EC 5 progettazione delle strutture in legno;
 - EC 6 progettazione delle strutture in muratura;
 - EC 7 progettazione geotecnica;
 - EC 8 indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture;
 - EC 9 progettazione delle strutture in alluminio.

Il livello 1 di prestazione è da ritenersi adeguato anche per le costruzioni ove si verificano tutte le seguenti condizioni:

- d) la costruzione non deve essere adibita ad attività che comportino un carico d'incendio specifico, riferito ai compartimenti antincendi e tutti gli ambienti che li compongono, superiore a 100 MJ/m²;
- e) la costruzione non deve essere adibita ad attività che comportino impiego o deposito di sostanze infiammabile, esplosive o tossiche;
- f) la costruzione non deve essere adibita ad attività che comportino impiego di fiamme libere, di resistenze elettriche in vista e di corpi incandescenti non protetti.

Il livello 1 di prestazione è inoltre da ritenersi sufficiente per gli elementi strutturali posti all'interno di compartimenti antincendio ove si verificano tutte le seguenti condizioni:

- g) il compartimento deve soddisfare le condizioni indicate ai precedenti punti d), e), f);
- h) i elementi costruttivi che separano il compartimento da altre parti della costruzione devono possedere capacità di compartimentazione non inferiore alla capacità portante richiesta alle strutture che non fanno parte del compartimento;
- i) le eventuali comunicazioni tra il compartimento e gli altri locali della costruzione devono avere luogo tramite filtro a prova di fumo.

Per garantire il livello 1 di prestazione non è richiesta alcuna classe di capacità portante delle strutture.

Livello II

Il livello 2 di prestazione è da ritenersi adeguato per le costruzioni ove si verificano tutte le seguenti condizioni:

- a) gli eventuali crolli totali o parziali della costruzione non devono arrecare danni ad altre costruzioni;
- b) gli eventuali crolli totali o parziali della costruzione non devono compromettere l'efficacia di elementi di compartimentazione e sistemi antincendio che proteggono altre costruzioni;
- c) il massimo affollamento complessivo della costruzione non deve superare le 100 persone;
- d) la costruzione non deve essere adibita ad attività che prevedono posti letto;
- e) la costruzione non deve essere adibita ad attività destinate a portatori di handicap, malati, anziani o bambini.

Il livello 2 di prestazione è da altresì consentito per i soli elementi strutturali secondari contenuti in costruzioni che devono garantire il livello 3, purché siano verificate tutte le seguenti condizioni:

- f) l'eventuale crollo degli elementi strutturali secondari non deve compromettere la capacità portante di altre parti della struttura;
- g) l'eventuale crollo degli elementi strutturale non deve compromettere la efficacia di elementi costruttivi di compartimentazione e di sistemi antincendio;
- h) l'eventuale crollo degli elementi strutturali secondari non deve interessare le vie di esodo e i locali che non rispettano le condizioni indicate ai precedenti punti c), d) ed e).

Le classi di capacità portante necessarie per garantire il livello 2 di prestazione sono le seguenti:

- R15 per costruzioni ad un piano fuori terra senza interrati;
- R30 per costruzioni fino a due piani fuori terra ed uno interrato;
- R45 per le altre costruzioni.

Livello III

Il livello 3 di prestazione è da ritenersi adeguato per tutte le costruzioni fatte salve quelle per le quali sono richiesti i livelli 4 o 5.

I valori di riferimento della capacità portante sufficienti a garantire il livello 3 di prestazione sono indicati nella seconda colonna della seguente tabella, in funzione di un carico d'incendio specifico di progetto.

Carichi d'incendio specifici di progetto delle attività svolte nella costruzione	Capacità portante	
	Classe di riferimento	Classe minima
Non superiore a 150 MJ/m ²	R15	R15
Non superiore a 200 MJ/m ²	R20	R15
Non superiore a 300 MJ/m ²	R30	R15
Non superiore a 450 MJ/m ²	R45	R30
Non superiore a 600 MJ/m ²	R60	R30
Non superiore a 900 MJ/m ²	R90	R45
Non superiore a 1200 MJ/m ²	R120	R60
Non superiore a 1800 MJ/m ²	R180	R90
Superiore a 1800 MJ/m ²	R240	R120

Tabella 101 - Classi di capacità portante in funzione del carico d'incendio

Per carico d'incendio deve intendersi il potenziale termico della totalità dei materiali combustibili contenuti in uno spazio e riferito all'unità di superficie. I valori del carico d'incendio specifico di progetto sono determinati secondo la seguente relazione, nella quale i γ sono coefficienti che modificano il potenziale termico per tenere conto dell'effettiva possibilità di innesco, propagazione e sviluppo dell'incendio e quindi del rischio per la struttura:

$$Q_d = \gamma_q \gamma_n q_k$$

dove:

γ_q fattore di parziale sicurezza associato alla pericolosità dell'attività svolta nella costruzione ed è

$\gamma_q = 1$ per rischio d'incendio basso

$\gamma_q = 1,2$ per rischio d'incendio medio

$\gamma_q = 1,5$ per rischio d'incendio alto

γ_n fattore parziale sicurezza associato alla eventuale presenza di sistemi di protezione ed è pari a:

$\gamma_n = 1$ in assenza di evacuatori di fumo e di impianti antincendio ad attivazione automatica

$\gamma_n = 0,85$ in presenza di evacuatori di fumo e calore ad attivazione automatica di comprovata efficacia

$\gamma_n = 0,7$ in presenza di impianti di estinzione ad attivazione automatica di comprovata efficacia

q_k valore caratteristico del carico d'incendio specifico.

I livelli di rischio di incendio sono definiti nel seguente modo:

- Rischio d'incendio basso. Si intendono a rischio di incendio basso le attività in cui sono presenti sostanze a basso tasso di infiammabilità e le condizioni locali e di esercizio offrono scarse possibilità di sviluppo di principi di incendio e in cui, in caso di incendio, la probabilità di propagazione dello stesso è da ritenersi limitata.

- Rischio di incendio medio. Si intendono a rischio d'incendio medio le attività in cui sono presenti sostanze infiammabili e/o di esercizio che possono favorire lo sviluppo di incendio, ma nei quali, in caso di incendio, la probabilità di propagazione è da ritenersi limitata.
- Rischio di incendio elevato. Si intendono a rischio d'incendio elevato le attività in cui, per presenza di sostanze altamente infiammabili e/o per le condizioni locali e/o di esercizio, sussistono notevoli probabilità di sviluppo di incendi e nella fase iniziale sussistono forti probabilità di propagazione delle fiamme, ovvero non è possibile la classificazione come luogo a rischio di incendio basso o medio. Tali luoghi comprendono:
 - o aree dove i processi lavorativi comportano l'utilizzo di sostanze altamente infiammabili (es. impianti di verniciatura), o di fiamme libere, o la produzione di notevole calore in presenza di materiali combustibili;
 - o aree dove c'è deposito o manipolazione di sostanze chimiche che possono, in determinate circostanze, produrre reazioni esotermiche, emanare gas o vapori infiammabili, o reagire con altre sostanze combustibili;
 - o aree dove vengono depositate o manipolate sostanze esplosive o altamente infiammabili;
 - o aree dove c'è una notevole quantità di materiali combustibili che sono facilmente incendiabili.

Il valore caratteristico di carico d'incendio specifico q_k per diverse tipologie di attività è riportato nella Tabella 98. Tali valori sono d'intendersi riferiti alla destinazione d'uso primaria, ma non riguardano i locali ad uso specifico, quali i depositi di materiali combustibili e/o infiammabili.

Destinazione d'uso	Carico d'incendio specifico [MJ/m ²]	
	Valore medio	Frattile 95%
Civili abitazioni	300	450
Ospedali (stanza)	350	600
Alberghi (stanza)	400	600
Scuole	300	450
Biblioteche	1200	2400
Uffici	300	(1)
Attività commerciali	600	(1)
Locali di pubblico spettacolo o intrattenimento	350	600
Autorimesse con superficie specifica di parcheggio $20 \text{ m}^2 > A \geq 10 \text{ m}^2$	400	500
Autorimesse con superficie specifica di parcheggio $A \geq 20 \text{ m}^2$	200	250

Tabella 102 - Valori caratteristico di q_k per le diverse attività con (1) =valori molto variabili con lo specifico tipo di ufficio o attività da calcolare volta per volta

In genere il valore caratteristico del carico d'incendio specifico può altresì essere valutato come segue:

$$q_k = \frac{\sum_i M_i H_{u,i} m_j \psi_i}{A}$$

dove:

M_i è la quantità del singolo materiale combustibile [kg]

$H_{u,i}$ è il potere calorifico inferiore del singolo materiale [MJ/kg]

m_i è il fattore che descrive la partecipazione alla combustione del singolo materiale combustibile; in assenza di più precise determinazioni si assume $m_i = 1$

ψ_i è il fattore che descrive la protezione dal fuoco del singolo materiale combustibile; per materiali contenuti in contenitori appositamente progettati per resistere al fuoco si assume $\psi_i = 0$; per materiali

contenuti in contenitori non combustibili e non appositamente progettati per resistere al fuoco si assuma $\psi_i = 0.85$; in tutti gli altri casi, $\psi_i = 1$

A è la superficie planimetrica netta del compartimento [m^2].

I valori del carico d'incendio e delle caratteristiche del compartimento adottati per l'applicazione del metodo costituiscono un vincolo d'esercizio per le attività da svolgere all'interno della costruzione.

In alternativa ai metodi che fanno riferimento alle classi, la capacità portante può essere verificata rispetto all'azione termica del cosiddetto incendio naturale, applicata per l'intervallo di tempo necessario al ritorno alla temperatura ordinaria. Le curve da adottare per rappresentare gli incendi naturali sono quelle parametriche o quelle ottenute con modelli di calcolo di comprovata attendibilità che tengano conto della caratteristica del combustibile e di quelle del compartimento.

Livelli IV e V

I livelli 4 e 5 di prestazione possono essere richiesti dall'autorità competente per costruzioni destinate ad attività di particolare importanza. Possono inoltre essere previsti dai capitolati tecnici ed essere oggetto di specifiche richieste del committente. Per garantire il livello 4 le costruzioni devono essere oggetto delle seguenti verifiche:

- capacità portante mantenuta per tutta la durata dell'incendio;
- regime deformativo contenuto;
- capacità portante residua che consenta interventi di ripristino.

Per garantire il livello 5 le costruzioni devono essere oggetto delle seguenti verifiche:

- capacità portante mantenuta per tutta la durata dell'incendio;
- regime deformativo trascurabile;
- capacità portante residua adeguata alla funzione immediata della costruzione.

12.1.1.4. Stabilire il tipo di approccio progettuale

L'approccio per la progettazione strutturale è mirato sia all'individuazione del livello di prestazione richiesta alle strutture portanti in caso d'incendio, sia alla determinazione delle prestazioni di prodotti ed elementi di strutture portanti in caso d'incendio. La prestazione di un'opera o di un prodotto da costruzione è relativa a una specifica azione. Per azione s'intende un'azione meccanica (ad esempio i carichi applicati, le forze risultanti dalle espansioni termiche impedito, gli urti), un'azione termica, un'azione determinata dalle condizioni ambientali o da una combinazione di queste.

Tra le azioni termiche, per i differenti effetti che hanno sugli elementi della struttura portante, sono distinti i seguenti livelli di esposizione:

- piccola sorgente d'ignizione (tipo fiammifero);
- singoli elementi di combustione (combustione di un arredo, di singoli materiali stoccati in un edificio industriale);
- incendi pienamente sviluppati.

In presenza di azioni termiche, la valutazione della resistenza al fuoco delle strutture può essere condotta secondo le seguenti possibilità:

- analisi di scenari di incendio convenzionali (ad esempio esposizione alla curva di incendio standard temperatura-tempo);
- analisi di scenari di incendio naturali.

Queste due possibilità danno luogo a due differenti approcci per la valutazione della sicurezza strutturale in caso di incendio, un approccio prescrittivo ed un approccio prestazionale, che di seguito vengono presentati.

Approccio prescrittivo

Per alcune attività svolte negli edifici i regolamenti nazionali stabiliscono un periodo minimo di stabilità delle strutture portanti, espresso in termini di tempo di resistenza all'azione di un incendio convenzionale. Con questo tipo di approccio, detto prescrittivo, è la norma vigente che stabilisce le condizioni sufficienti per il raggiungimento del requisito di sicurezza in caso di incendio (ovviamente nei limiti attribuibili al ruolo svolto dalle strutture portanti).

Quando si applica un approccio prescrittivo, l'analisi strutturale sarà rivolta a garantire la stabilità almeno per il tempo di esposizione all'incendio stabilito dalla norma di riferimento. Il progettista deve seguire le regole stabilite dalla norma come garanzia di sicurezza in caso di incendio. Le normative di riferimento consentono opportune semplificazioni nella schematizzazione strutturale, al fine di rendere più veloce la valutazione della resistenza al fuoco delle strutture portanti.

In particolare, l'approccio correntemente assunto, ad esempio in EN 1991-1-2 (2002) o in D.M. 09/03/07 sulla base dei principi definiti nel Documento Interpretativo n.2, è che una determinata resistenza al fuoco di una struttura sia soddisfatta se è dimostrato che la resistenza al fuoco dei suoi elementi non sia inferiore e se essa non venga ridotta dal comportamento dei collegamenti.

Tuttavia è da ricordare come le deformazioni e le dilatazioni causate dall'incremento di temperatura, ma contrastate dai vincoli o dalla iperstaticità strutturale, possono giocare un ruolo importante per la stabilità della struttura in condizioni di incendio. Trascurare la loro presenza non sempre risulta a favore della sicurezza. In pratica ciò è consentito laddove, attraverso l'adozione di una classe di resistenza al fuoco stabilita nell'ambito di un approccio prescrittivo, viene messa in conto un'azione termica sensibilmente maggiore rispetto a quella che nella realtà può verificarsi. Nei casi in cui ciò non avviene, come ad esempio quando l'azione termica è definita mediante l'analisi di incendi naturali, l'analisi strutturale non può trascurare questi effetti. Essa quindi non può essere condotta nelle ipotesi semplificative valide per l'approccio prescrittivo.

Approccio prestazionale

Lo sviluppo tecnologico delle costruzioni e l'obbligo sociale di addivenire a costruzioni più economiche a parità di livello di sicurezza ha sollecitato, se non l'abbandono, il ridimensionamento dell'approccio prescrittivo a favore di un approccio che abbia chiaro l'obiettivo di sicurezza da raggiungere e faccia uso di tutte le soluzioni ingegneristiche che la tecnica delle costruzioni e la tecnologia dei materiali mettono a disposizione. L'approccio prestazionale in campo antincendio ha ricevuto proprio dal settore strutturale il primo impulso e deve lo sviluppo odierno, che copre tutti i settori della sicurezza antincendio, proprio agli investimenti sostenuti in gran parte dai produttori delle materie prime strutturali, ritenute più vulnerabili in caso di incendio (acciaio e legno).

Il progettista che segue l'approccio prestazionale deve essere in grado di definire con la migliore approssimazione possibile l'entità delle azioni termiche e meccaniche agenti in caso di incendio sulla costruzione e deve determinare la resistenza da conferire alle strutture in relazione ad un preciso obiettivo e livello di sicurezza, tenendo conto della contemporanea presenza delle altre misure protettive.

Tutto ciò richiede conoscenze approfondite, strumenti di calcolo adeguati e tempi di progettazione maggiori, ma consente di superare i limiti applicativi del metodo prescrittivo (come ad esempio quelli connessi con opere rilevanti dal punto di vista storico, artistico, ambientale) di progettare opere

innovative sicure e garantire un significativo contenimento dei costi della sicurezza. A differenza del metodo prescrittivo, il progettista è libero di modellare l'incendio reale, al fine di determinare tra gli incendi attesi quello maggiormente probabile o quello più gravoso per la costruzione.

Già da tempo gli Eurocodici prevedono tale approccio, ma è solo con la pubblicazione delle NTC e del D.M. 9.3.2007, che per lo specifico aspetto si correla con il D.M. Interno 9.5.2007 recante "misure per l'attuazione del metodo ingegneristico alla sicurezza incendio", che esso è stato ufficialmente attivato in Italia. Nelle norme sopra indicate è riportato che, a seconda dell'incendio convenzionale di progetto adottato, l'andamento delle temperature negli elementi può essere valutato in riferimento:

- ad una curva di incendio nominale per un tempo di esposizione pari alla minima classe di resistenza al fuoco della costruzione;
- ad una curva di incendio naturale, tenendo conto dell'intera durata dell'incendio, compresa la fase di raffreddamento fino al ritorno alla temperatura ambiente.

Nel caso di modellazione dell'incendio reale quindi, la curva dovrà descrivere il fenomeno per l'intera durata dello stesso fino al ritorno alla temperatura iniziale. Trattandosi di un ambito strutturale la temperatura iniziale può essere confusa con una temperatura cui non corrisponde più alcun pericolo per la costruzione stessa (ad esempio 200°C). Questa condizione assume significato per quelle situazioni in cui l'incendio, per particolari condizioni geometriche e di ventilazione, ritorna alla temperatura iniziale, a fine incendio, con un andamento delle temperature di tipo asintotico con asintoto orizzontale in corrispondenza della temperatura ambiente iniziale (ad esempio 20°C).

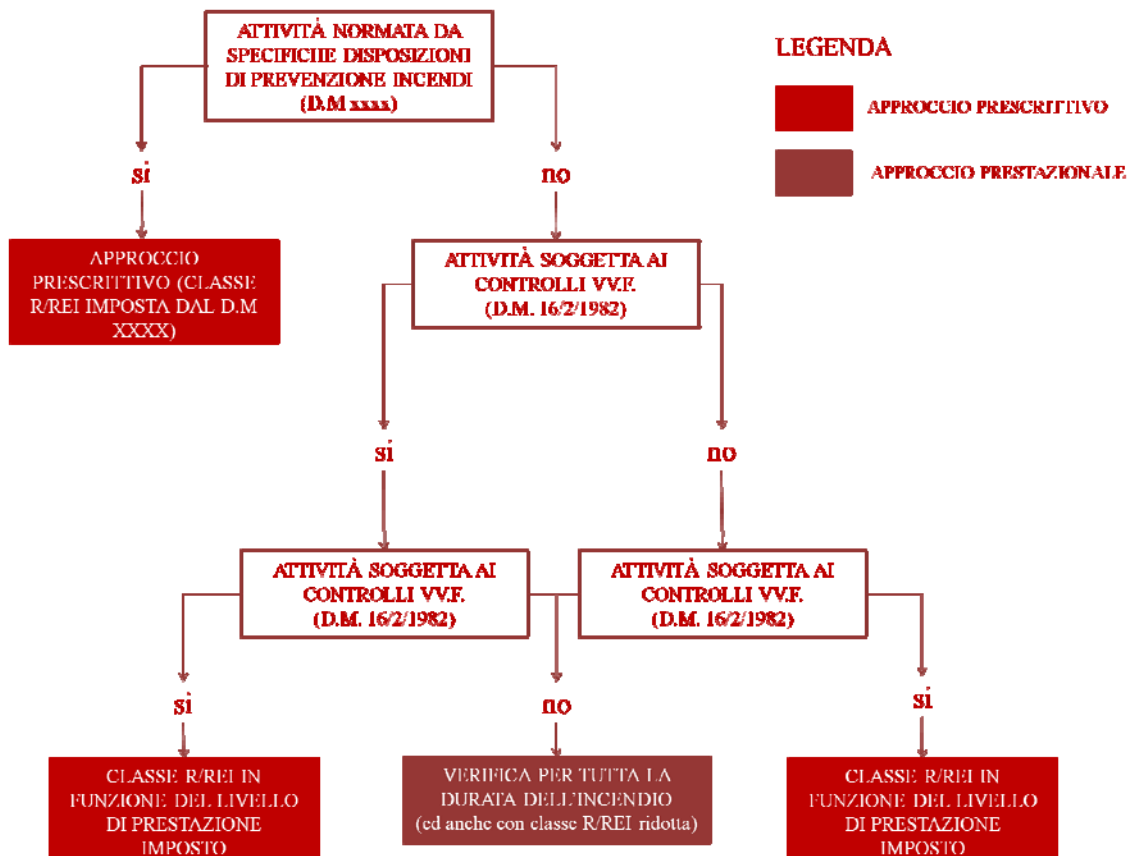


Figura 698 - Determinazione del livello di prestazione minimo nei confronti della resistenza al fuoco

12.1.1.5. Stabilire il livello di complessità adatto alla progettazione

L'ultimo passo prima dell'approdo alle fasi pratiche della progettazione al fuoco è rappresentato dalla scelta da parte del progettista del livello di complessità della progettazione strutturale al fuoco.

I tre aspetti che caratterizzano il livello di complessità della progettazione al fuoco sono rappresentati dalla modellazione dell'incendio, dall'analisi di trasmissione del calore nelle membrature e dalla modellazione strutturale per l'effettuazione delle verifiche. La scelta del livello di complessità della progettazione può dipendere da numerosi fattori quali ad esempio:

- gli obiettivi della progettazione. Un approccio troppo semplificato potrebbe non consentire la verifica di requisiti specifici quali il controllo del danneggiamento della struttura, i punti critici delle strutture, l'interferenza con manufatti adiacenti ecc;
- le capacità tecniche del progettista. È necessario avere conoscenze nel campo della termo-fluidodinamica, della strategia antincendio, dell'analisi strutturale e disporre di adeguati e affidabili sistemi di calcoli;
- i costi di progettazione. È evidente che più la progettazione è sofisticata, maggiore sarà il dispendio in termini di risorse da parte del progettista;
- la necessità di realizzare edifici dall'alto contenuto architettonico, artistico o inseriti in contesti di pregio urbanistico e ambientale;
- la necessità di realizzare edifici che fanno uso di tecnologie innovative;
- la disponibilità di un sufficiente quantitativo di dati appropriati per la modellazione sia dell'incendio che della struttura;
- il tempo a disposizione per la redazione del progetto, che può essere limitato da esigenze a carattere burocratico.

Per le analisi termiche e/o le verifiche strutturali, il progettista può scegliere se utilizzare metodi semplificati, avanzati o tabellari.

Applicare metodi semplificati

In questo caso si valuta in maniera approssimata la resistenza delle membrature. Essi sono di solito applicabili a singole membrature sottoposte ad incendi standard perché i modelli strutturali semplificati sono affetti da semplificazioni delle condizioni al contorno che non consentono al progettista di capire gli effetti del comportamento dell'intera struttura stia trascurando.

L'applicazione di tali metodi a sottosistemi strutturali sottoposti ad incendi normali i metodi semplificati è ammessa in linea di principio, ma data la particolare complessità del problema non sono disponibili nella letteratura tecnica molti algoritmi risolutivi del problema.

Metodi avanzati

Consentono analisi strutturali dettagliate applicabili in questa circostanza costituendo lo strumento esclusivo nel caso di analisi su intere strutture.

Verifiche tabellari

Queste verifiche sono vincolate dalla disponibilità di dati sperimentali che derivano solitamente da esperienze su singole membrature sottoposte ad incendi standard. Per questo motivo i metodi tabellari possono essere applicati solo in queste circostanze.

La tendenza della comunità scientifica è quella di rendere disponibili metodi sempre più sofisticati sia per la modellazione di incendio sia per la modellazione della risposta sperimentale, data la disponibilità di potenze di elaborazioni quasi illimitate. Gli stessi software si arricchiscono di moduli di analisi non lineare per la rappresentazione del comportamento della struttura nel campo delle grandi deformazioni (non linearità geometrica) e del comportamento dei materiali alle alte temperature (non linearità di materiale).

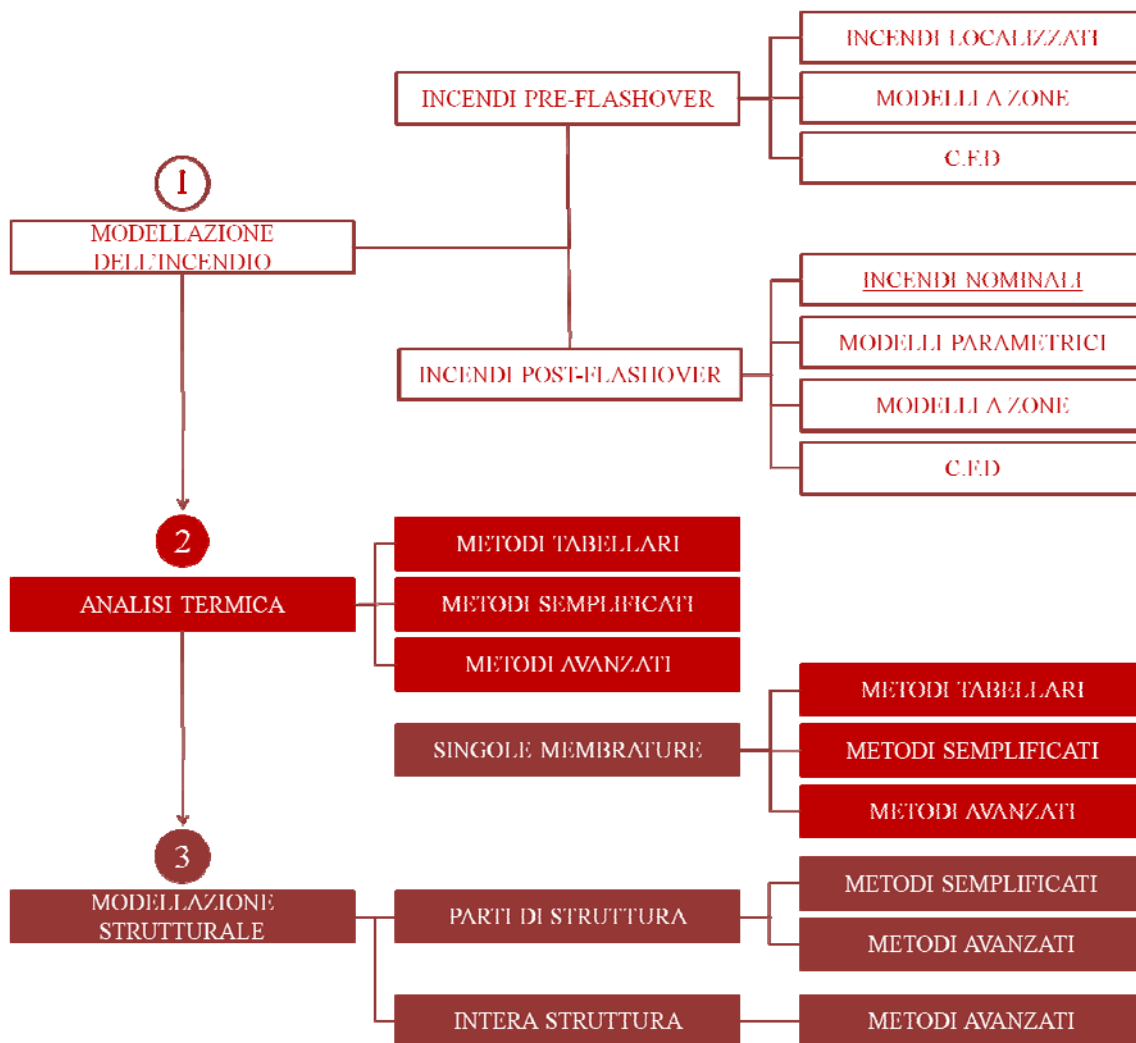


Figura 699 - Livelli di complessità della progettazione

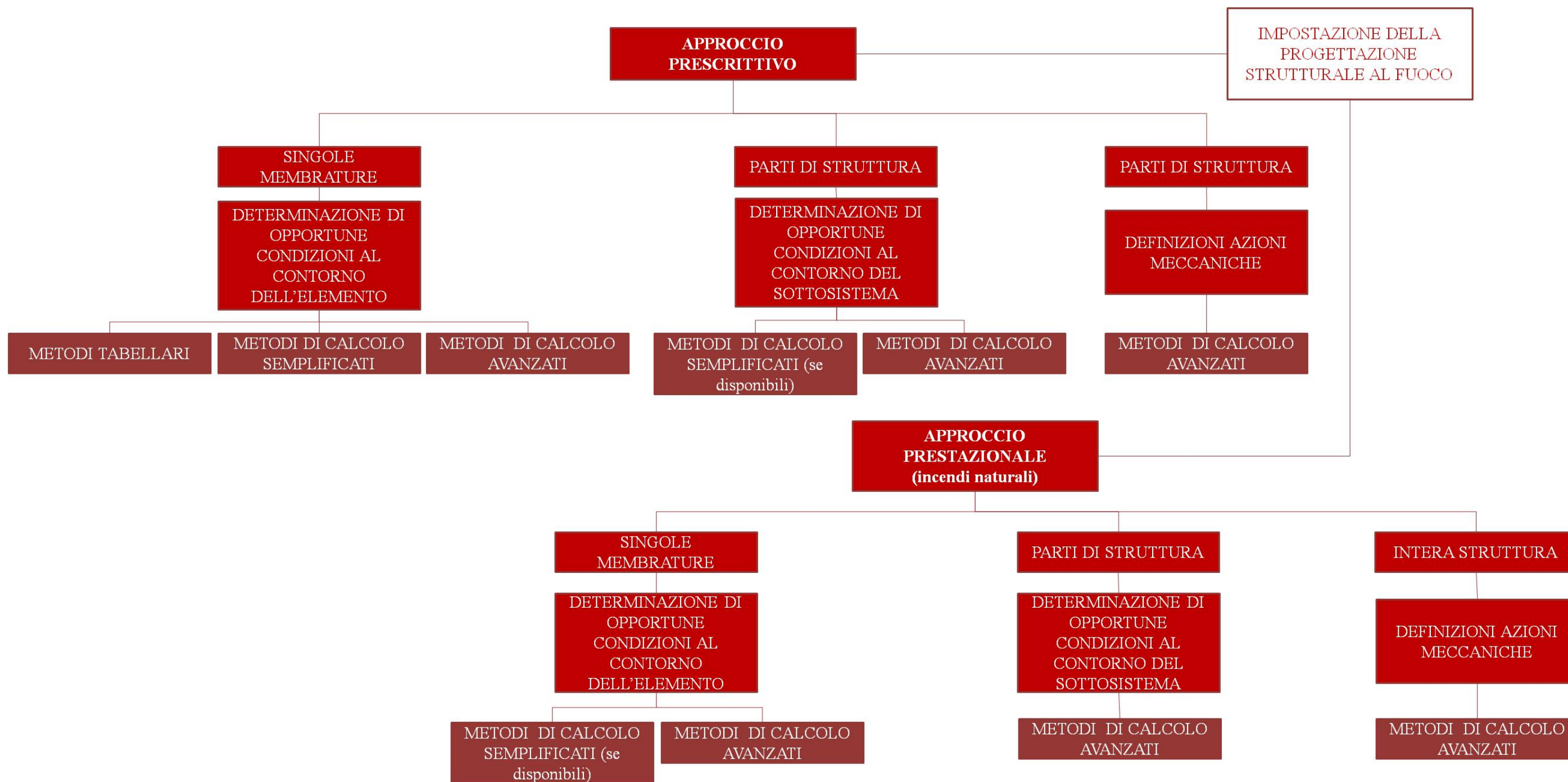


Figura 700 - Procedure per l'effettuazione delle verifiche al fuoco (da Eurocodice EN1991-1-2).

12.2. Normativa antincendio per strutture sanitarie assistenziali

La normativa di riferimento per le strutture sanitarie assistenziali in materia di prevenzione antincendio è il D.M. 18 settembre 2002 “Approvazione della regola tecnica di prevenzione incendi per la progettazione, la costruzione e l'esercizio delle strutture sanitarie pubbliche e private”, che ha per scopo l'emanazione di disposizioni di prevenzione incendi riguardanti la progettazione, la costruzione e l'esercizio delle strutture sanitarie.

Ai fini della prevenzione incendi, le strutture sanitarie, sono realizzate e gestite in modo da:

- minimizzare le cause di incendio;
- garantire la stabilità delle strutture portanti al fine di assicurare il soccorso agli occupanti;
- limitare la produzione e la propagazione di un incendio all'interno dei locali;
- limitare la propagazione di un incendio ad edifici e/o locali contigui;
- assicurare la possibilità che gli occupanti lascino il locale indenni o che gli stessi siano soccorsi in altro modo;
- garantire la possibilità per le squadre di soccorso di operare in condizioni di sicurezza.

Le aree delle strutture sanitarie, ai fini antincendio, sono così classificate:

- tipo A - aree od impianti a rischio specifico, classificati come attività soggette al controllo del C.N.VV.FF (impianti di produzione calore, gruppi elettrogeni, autorimesse, ecc.);
- tipo B - aree a rischio specifico accessibili al solo personale dipendente (laboratori di analisi e ricerca, depositi, lavanderie, ecc.) ubicate nel volume degli edifici destinati, anche in parte, ad aree di tipo C e D;
- tipo C - aree destinate a prestazioni medico-sanitarie di tipo ambulatoriale (ambulatori, centri specialistici, centri di diagnostica, consultori, ecc.) in cui non è previsto il ricovero;
- tipo D - aree destinate a ricovero in regime ospedaliero e/o residenziale nonché aree adibite ad unità speciali (terapia intensiva, neonatologia, reparto di rianimazione, sale operatorie, terapie particolari, ecc.);
- tipo E - aree destinate ad altri servizi pertinenti (uffici amministrativi, scuole e convitti professionali, spazi per riunioni e convegni, mensa aziendale, spazi per visitatori inclusi bar e limitati spazi commerciali).

Le strutture e i sistemi di compartimentazione devono garantire rispettivamente requisiti di resistenza al fuoco R e REI secondo quanto sotto riportato:

- piani interrati: R/REI 120;
- edifici di altezza antincendio fino a 24 m: R/REI 90 (il nostro caso);
- edifici di altezza antincendio oltre 24 m: R/REI 120.

I materiali installati devono essere conformi a quanto di seguito specificato:

- a) negli atri, nei corridoi, nei disimpegni, nelle scale, nelle rampe, nei percorsi orizzontali protetti, nei passaggi in genere, è consentito l'impiego di materiali di classe 1 in ragione del 50% massimo della loro superficie totale (pavimento + pareti + soffitto + proiezioni orizzontali delle scale). Per le restanti parti devono essere impiegati materiali di classe 0 (non combustibili);
- b) in tutti gli altri ambienti è consentito che le pavimentazioni, compresi i relativi rivestimenti, siano di classe 2 e che gli altri materiali di rivestimento siano di classe 1, oppure di classe 2, se

in presenza di impianti di spegnimento automatico o di sistemi di smaltimento dei fumi asserviti ad impianti di rivelazione degli incendi;

- c) i materiali di rivestimento combustibili devono essere posti in opera in aderenza agli elementi costruttivi di classe 0 escludendo spazi vuoti o intercapedini. È consentita l'installazione di controsoffitti nonché di materiali di rivestimento e di materiali isolanti in vista posti non in aderenza agli elementi costruttivi, purché abbiano classe di reazione al fuoco non superiore a 1 o 1-1 e siano omologati tenendo conto delle effettive condizioni di impiego anche in relazione alle possibili fonti di innesco;
- d) i materiali suscettibili di prendere fuoco su entrambe le facce (tendaggi, ecc.) devono essere di classe di reazione al fuoco non superiore ad 1;
- e) i mobili imbottiti (poltrone, poltrone letto, divani, divani letto, sedie imbottite, ecc.) ed i materassi devono essere di classe 1 IM;
- f) i materiali isolanti in vista, con componente isolante direttamente esposte alle fiamme, devono essere di classe di reazione al fuoco non superiore ad 1. Nel caso di materiale isolante in vista, con componente isolante non esposto direttamente alle fiamme, sono ammesse le classi di reazione al fuoco 0-1, 1-0, 1-1;
- g) le sedie non imbottite devono essere di classe non superiore a 2.

Le strutture sanitarie devono essere progettate in modo da circoscrivere e limitare la propagazione di un eventuale incendio. A tal fine devono essere osservate le prescrizioni di seguito indicate:

- a) le aree di tipo C devono essere suddivise in compartimenti, distribuiti sul medesimo livello, di superficie singola non superiore a 1.500 m²;
- b) le aree di tipo D devono essere suddivise in compartimenti, distribuiti sul medesimo livello, di superficie singola non superiore a 1.000 m²;
- c) le aree di tipo E devono essere suddivise in compartimenti antincendio per attività omogenee e, qualora nel loro ambito siano previste attività soggette ai controlli dei Vigili del fuoco ai sensi del decreto ministeriale 16 febbraio 1982, queste devono rispondere ai requisiti di compartimentazione stabiliti nelle specifiche normative di prevenzione incendi, ove esistenti;
- d) i compartimenti delle aree di tipo D (limitatamente alle unità speciali quali terapia intensiva, rianimazione, neonatologia, sale operatorie, ecc.) ed E (limitatamente a scuole e convitti, spazi per riunioni, mensa aziendale), possono comunicare con altri compartimenti e con i percorsi di esodo orizzontali e verticali, tramite filtri a prova di fumo o spazi scoperti;
- e) i compartimenti delle aree di tipo C, D (limitatamente alle aree destinate a ricovero) ed E (limitatamente agli uffici amministrativi fino a 500 addetti e agli spazi per visitatori), possono comunicare con altri compartimenti e con i percorsi di esodo orizzontali e verticali, tramite porte aventi caratteristiche REI.

Tutte le scale devono essere almeno di tipo protetto. Le scale a servizio di edifici destinati anche in parte ad aree di tipo D, devono essere a prova di fumo. I filtri a prova di fumo a servizio di aree di tipo D, devono avere dimensioni tali da consentire l'agevole movimentazione di letti o barelle in caso di emergenza. Le scale, sia protette che a prova di fumo, devono immettere, direttamente o tramite percorsi orizzontali protetti, in luogo sicuro all'esterno dell'edificio. I vani scala privi di aperture di aerazione su parete esterna, devono essere provvisti di aperture di aerazione in sommità di superficie non inferiore ad 1 m², con sistema di apertura degli infissi comandato sia automaticamente da rivelatori di incendio che manualmente mediante dispositivo posto in prossimità dell'entrata alle scale, in posizione segnalata.

Tutti gli ascensori ed i montacarichi devono avere il vano corsa di tipo protetto. Gli edifici destinati anche in parte ad aree di tipo D devono disporre di almeno un ascensore montalettighe antincendio. Si considera vano a prova di fumo un vano di corsa per il quale sono soddisfatti i seguenti requisiti:

- le pareti del vano di corsa devono essere separate dal resto dell'edificio a tutti i piani e su tutte le aperture, ivi comprese le porte di piano, di soccorso e di ispezione sul vano di corsa, mediante filtro a prova di fumo. È consentito che il filtro a prova di fumo sia unico per l'accesso sia alle scale che all'impianto di sollevamento;
- le pareti del vano di corsa, comprese le porte di piano, le porte di soccorso e porte e portelli d'ispezione, le pareti del locale del macchinario, se esiste, le pareti del locale delle pulegge di rinvio, se esiste, nonché gli spazi del macchinario e le aree di lavoro, se disposti fuori del vano di corsa, devono avere le stesse caratteristiche di resistenza al fuoco del compartimento;
- le porte di piano, di ispezione e di soccorso, possono dare accesso direttamente ad aree di sbarco che siano aperte per almeno un lato verso uno spazio scoperto, ovvero verso filtri a prova di fumo.

Il massimo affollamento è stabilito in:

- aree di tipo B: persone effettivamente presenti incrementate del 20%;
- aree di tipo C: ambulatori e simili: 0,1 persone/m²; sale di attesa: 0,4 persone/m²;
- aree di tipo D: 3 persone per posto letto in strutture ospedaliere; 2 persone per posto letto in strutture residenziali;
- aree di tipo E: uffici amministrativi: 0,1 persone/m²; spazi per riunioni, mensa aziendale, scuole, convitti e simili: numero dei posti effettivamente previsti; spazi riservati ai visitatori: 0,4 persone/m².

Ai fini del dimensionamento delle uscite, le capacità di deflusso non devono essere superiori ai seguenti valori:

- 50 per piani con pavimento a quota compresa tra più o meno un metro rispetto al piano di uscita dall'edificio;
- 37,5 per piani con pavimento a quota compresa tra più o meno 7,5 m rispetto al piano di uscita dall'edificio;
- 33 per piani con pavimento a quota al di sopra o al di sotto di più o meno 7,5 m rispetto al piano di uscita dall'edificio.

Tutti i piani che contengono aree di tipo D, devono essere progettati in modo da consentire l'esodo orizzontale progressivo. Per conseguire tale obiettivo ciascun piano deve essere suddiviso in almeno due compartimenti. Ciascun compartimento deve poter contenere in situazioni di emergenza, oltre ai suoi normali occupanti, il numero di persone previste per il compartimento adiacente con la capienza più alta, considerando una superficie media di 0,70 m²/persona. Tale superficie deve essere elevata a 1,50 m²/persona qualora l'evacuazione dei degenti debba necessariamente avvenire con letti o barelle.

Il percorso di esodo, misurato a partire dalla porta di ciascun locale nonché da ogni punto dei locali ad uso comune, non può essere superiore a 40 m per raggiungere un'uscita su luogo sicuro o su scala di sicurezza esterna, 30 m per raggiungere un'uscita su scala protetta. Nei piani destinati ad aree di tipo D, progettati in modo da garantire l'esodo orizzontale progressivo, deve essere possibile raggiungere, partendo da qualsiasi punto di un compartimento, un compartimento attiguo od un percorso orizzontale protetto ad esso adducente, con percorsi di lunghezza non superiore a 30 m. Sono ammessi corridoi ciechi di lunghezza non superiore a 15 m.

La larghezza utile delle vie d'uscita deve essere misurata deducendo l'ingombro di eventuali elementi sporgenti con esclusione degli estintori. Tra gli elementi sporgenti non sono considerati quelli posti ad

altezza superiore a 2 m ed eventuali corrimano lungo le pareti, con ingombro non superiore ad 8 cm. L'altezza dei percorsi delle vie d'uscita deve essere, in ogni caso, non inferiore a 2 m. La larghezza utile delle vie di uscita deve essere multipla del modulo di uscita e non inferiore a due moduli (1,20 m). La misurazione della larghezza delle uscite deve essere eseguita nel punto più stretto della luce. Nelle aree di tipo D, la profondità dei pianerottoli delle scale, con cambi di direzione di 180°, deve essere non inferiore a 2 m, misurata nella direzione dell'asse delle rampe, per consentire la movimentazione di letti o barelle in caso di emergenza. La larghezza totale delle uscite da ogni piano, espressa in numero di moduli, deve essere determinata dal rapporto tra il massimo affollamento previsto e la capacità di deflusso del piano.

Le porte installate lungo le vie di uscita ed in corrispondenza delle uscite di piano devono aprirsi nel verso dell'esodo a semplice spinta mediante l'azionamento di dispositivi a barra orizzontale. Esse vanno previste a uno o due battenti. I battenti delle porte, quando sono aperti, non devono ostruire passaggi, corridoi e pianerottoli.

Nei filtri a prova di fumo aerati direttamente dall'esterno, qualora specifiche esigenze funzionali dovessero richiedere l'installazione di elementi di chiusura delle aperture di aerazione, è consentito installare infissi purché apribili automaticamente a seguito dell'attivazione del dispositivo elettromagnetico di chiusura delle porte resistenti al fuoco del filtro stesso. In ogni caso, tali infissi devono essere dotati anche di dispositivo di apertura a comando manuale, posto in posizione segnalata, e non devono ridurre la sezione netta di aerazione quando sono in posizione di apertura.

Le uscite da ciascun piano dell'edificio non devono essere inferiori a due, ed essere posizionate in punti ragionevolmente contrapposti.

Gli impianti ed i servizi tecnologici devono essere realizzati a regola d'arte e devono essere intercettabili sia centralmente che localmente da posizioni segnalate e facilmente accessibili. Gli impianti di produzione calore devono essere di tipo centralizzato.

Nei filtri a prova di fumo devono prevedersi intercettazioni a comando manuale, ubicate in apposito quadro, dei seguenti impianti a servizio dei compartimenti attigui:

- impianto elettrico;
- impianto di distribuzione dei gas medicali;
- impianto di condizionamento e ventilazione.

All'interno dei filtri devono essere ripetuti in apposito pannello i segnali relativi allo stato di servizio dei seguenti impianti dei compartimenti attigui:

- impianto elettrico;
- impianto di distribuzione dei gas medicali;
- rete idrica antincendio;
- impianto di rivelazione e allarme.

È consentito destinare a deposito di materiali combustibili, per le esigenze giornaliere dei reparti, locali di superficie limitata e comunque non eccedente i 10 m², anche privi di aerazione naturale, alle seguenti condizioni:

- carico di incendio non superiore a 30 kg/m² di legna standard;
- strutture di separazione con caratteristiche non inferiori a REI 30;
- porte di accesso con caratteristiche non inferiori a REI 30, munite di dispositivo di auto-chiusura;
- rilevatore di fumo collegato all'impianto di allarme.

Ogni impianto deve essere dotato di un dispositivo di comando manuale, situato in un punto facilmente accessibile, per l'arresto dei ventilatori in caso d'incendio. Inoltre gli impianti devono essere dotati di sistema di rivelazione di presenza di fumo all'interno delle condotte che comandi automaticamente l'arresto dei ventilatori e la chiusura delle serrande tagliafuoco. L'intervento dei rivelatori deve essere segnalato nella centrale di controllo. L'intervento dei dispositivi, sia manuali che automatici, non deve permettere la rimessa in funzione dei ventilatori senza l'intervento manuale dell'operatore.

Gli estintori devono essere ubicati in posizione facilmente accessibile e visibile in modo che la distanza che una persona deve percorrere per utilizzarli non sia superiore a 30 m; appositi cartelli segnalatori devono facilitarne l'individuazione, anche a distanza. Gli estintori portatili devono essere installati in ragione di almeno uno ogni 100 m² di pavimento, o frazione, con un minimo di due estintori per piano o per compartimento e di uno per ciascun impianto a rischio specifico.

Oltre che nei casi previsti ai punti precedenti, deve essere installato un impianto di spegnimento automatico a protezione di ambienti con carico di incendio superiore a 30 kg/m² di legna standard.

Nelle strutture sanitarie deve essere prevista l'installazione in tutte le aree di:

- segnalatori di allarme incendio del tipo a pulsante manuale opportunamente distribuiti ed ubicati, in ogni caso, in prossimità delle uscite;
- impianto fisso di rivelazione e segnalazione automatica degli incendi in grado di rilevare e segnalare a distanza un principio d'incendio.

Ai fini del necessario coordinamento delle operazioni da affrontare in situazioni di emergenza, deve essere predisposto un apposito centro di gestione delle emergenze. Nelle strutture sanitarie fino a 100 posti letto, il centro di gestione delle emergenze può eventualmente coincidere con il locale portineria, se di caratteristiche idonee.

12.2.1. Impianti antincendio ospedali e case di riposo

Gli ambienti ospedalieri sono considerati a rischio incendio elevato secondo i criteri di cui all'allegato 1 del DM 10-03-98, fra le misure di prevenzione e protezione che il datore di lavoro deve adottare (DM 10 marzo '98 art. 3) vanno annoverati:

- estintori
- impianti idrici
- impianti di rivelazione e segnalazione incendi

Estintore 6 Kg	Locali	Tempo di azione (s)
Estintore a polvere	centrale termica centrale di condizionamento locale compressori serbatoio gasolio per CT centrale gas medicali cucina lavanderia - stireria archivi reparti degenza pronto soccorso (camera calda) deposito materiali infiammabili autorimesse sala riunioni	6-25 (9 secondo UNI)
Estintore CO ₂ (anidride carbonica)	Centrali elettriche Sotto centrali di zona Quadri di piano	8-20 (9 secondo UNI)

	Gruppo elettrogeno Volume tecnico ascensore Centrali di sterilizzazione Quadri comando CDZ Sala operatoria rianimazione Reparti degenza Pronto soccorso Laboratori Diagnostiche Ambulatori	
--	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

Tabella 103 - Scelta estintori per locali

Tutte le attività ospedaliere secondo la Bozza di disposizioni di Prevenzione Incendi “Ospedali” del 4-4-98, devono essere dotate di un adeguato numero di estintori portatili da incendio. Gli estintori devono essere distribuiti in modo uniforme nell’area da proteggere, è comunque necessario che almeno alcuni si trovino:

- in prossimità degli accessi
- in vicinanza di aree di maggior pericolo

12.2.1.1. Estintori

Il numero e la capacità estinguente degli estintori portatili devono rispondere ai valori indicati nella tabella 1 dell’allegato 5 del DM 10-3-98 che classifica gli ospedali come attività ad elevato rischio di incendio; tale decreto inoltre prescrive che in ogni caso il percorso per raggiungere l’estintore non può superare i 30m.

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

Tabella 104 - Superficie protetta per un estintore

12.2.1.2. Impianti idrici

L’impianto idrico di una struttura ospedaliera parte dal collettore collegato alla rete idrica stradale; passando attraverso un disgiuntore di pressione, per evitare il ritorno di pressione nella rete idrica, si installa l’attacco motopompa che ha la doppia funzione di passaggio dell’acqua in pressione ai montanti e in caso di emergenza l’innesto dell’attacco autobotte dei VVFF. Dall’attacco motopompa si crea un anello che va a collegare tutti i montanti degli idranti interni ed esterni. La rete sarà corredata da ulteriori valvole di intercettazione per isolare in caso di necessità una parte dell’impianto; la loro collocazione ha l’obiettivo di isolare agevolmente parti dell’impianto per le verifiche periodiche, evitando di porre fuori servizio l’intera protezione.

Tali impianti devono essere realizzati a regola d’arte ed in conformità alle norme:

- UNI -VV.F 9487 Apparecchiature per estinzione incendi - Tubazioni flessibili antincendio di DN 45 e 70 per pressioni di esercizio fino a 1,2 MPa
- UNI- VV.F 9488 - Apparecchiature per estinzione incendi - Tubazioni semirigide DN 20 e 25 per nastri antincendio
- UNI-VV.F 9491 - Apparecchiature per estinzione incendi, impianti fissi di estinzione automatici a pioggia, erogatori (sprinkler)

Secondo la Bozza di disposizioni di Prevenzione Incendi “Ospedali” del 4-4-98, gli impianti devono prevedere quanto indicato dalla seguente tabella:

Posti letto	Tipo di impianto
Fino a 60 (il nostro caso)	Impianti composti da naspi DN 20
Oltre 60 posti fino a 300	Impianti composti da idranti DN 45 e naspi DN 20
Oltre 300	Impianti composti da idranti DN 70

Tabella 105 - Impianti secondo il numero degli ospiti

Bisogna inoltre fare riferimento alla norma UNI 10779 appendice B definizione delle Aree di livello e delle rete idranti per ogni aree di livello (gli ospedali sono classificati di aree di livello 1)

La collocazione degli idranti DN45 e dei naspi DN20 deve avvenire in modo che pur in presenza di interferenze, ogni punto dell’edificio venga a trovarsi a non più di 20 m dalla lancia di erogazione.

Tutti gli idranti devono essere segnalati con cartellonistica a norma europea.

Le dotazioni dei naspi ed idranti devono essere corredate di:

- naspi: tubazione semirigida e flessibile lunga 20 m, lancia A25 con bocchello da 10 mm
- idranti DN45: tubazione semirigida e flessibile lunga m 20, lancia A45 con bocchello da 12 mm
- idranti DN70: tubazione semirigida e flessibile lunga m 20, lancia A70 con bocchello da 18 mm

Dovranno essere garantite le seguenti caratteristiche idrauliche minime: portata minima di 360 l/min per ogni colonna montante e nel caso di due colonne il funzionamento di entrambe viene considerato una erogazione di 120 l/min nella parte più sfavorita

Con le nuove normative che verranno promulgate verranno imposte delle vasche di accumulo per alimentazione di riserva.

La rete idrica si può realizzare sia in tubo zincato UNI 8863, UNI 6363 ad alta pressione per ridurre i rischi delle correnti vaganti e agevolare l’installazione.

12.3. Modifiche antincendio al progetto di base

Analizzando il nostro progetto dal punto di vista antincendio si è prestata maggiore attenzione alla valutazione della sicurezza al fuoco del sistema costruttivo servendoci di numerose documentazioni forniteci dai professori e recuperate on-line. La più importante è sicuramente quella del D.M. 18 settembre 2002 inerente alla prevenzione degli incendi nelle attività ospedaliere; queste strutture sono sicuramente da collocare fra quelle con alto profilo di rischio per i seguenti motivi:

- grande complessità impiantistica;
- distributivo spesso articolato;
- elevato carico di incendio;
- elevato affollamento;
- presenza di persone con limitate capacità motorie.

Per soddisfare i requisiti normativi di tale decreto ministeriale abbiamo dovuto aggiungere ulteriori informazioni al nostro progetto apportando diverse modifiche a quello di partenza (Figura 702).

Innanzitutto l’edificio è stato suddiviso in compartimenti per evitare che l’incendio che potrebbe appiccarsi in una di queste parti si propaghi facilmente in un’altra. Essi, costituiti da una o più stanze, sono delimitati come prevede la normativa specifica, da elementi costruttivi di resistenza al fuoco predeterminata e organizzati per rispondere alle esigenze della prevenzione incendi. Ognuno di essi

possiede quindi caratteristiche REI conformi, un sistema organizzato di vie di fuga che porta a luoghi sicuri o direttamente verso l'esterno e mette in comunicazione gli altri ambienti. L'utilizzazione dei compartimenti è risultata molto utile ed essenziale in un edificio complesso come una struttura sanitaria assistenziale in cui un piccolo incendio potrebbe compromettere la vita di molte persone e danneggiare molti beni.

Altre misure di sicurezza adottate o a cui sono state apportate modifiche seguendo la normativa antincendio sono le seguenti:

- inserimento di filtri a prova di fumo;
- aggiunta di porte antincendio;
- modifica dell'orientamento di alcune porte antincendio per la fuga;
- progettazione di lucernari;
- aggiunta di strumenti di rilevazione del fumo;
- modifica della classe antincendio dei compartimenti.

I filtri a prova di fumo inseriti sono sei, di cui quattro localizzati nella zona giorno, il quinto nella zona notte interposto tra quest'ultima e il compartimento adiacente contenente diversi ambienti tra cui mensa e cucina. Il sesto filtro è equivalente all'unica scala totalmente esterna rispetto al fabbricato. Questi vani sono stati delimitati da strutture con resistenza al fuoco REI 120 come previsto dalla normativa. I filtri F₂, e F₆ sono provvisti di camino di ventilazione di sezione adeguata e comunque non inferiore a 0,10 m² sfociante al di sopra della copertura dell'edificio; i vani F₁, F₄, e F₅ hanno le stesse caratteristiche di resistenza al fuoco e sono mantenuti in sovrappressione ad almeno 0,3 mbar, anche in condizioni di emergenza; l' F₃ e l' F₆ invece sono aerati direttamente verso l'esterno con aperture libere di superficie non inferiore ad 1 m².

L'unico compartimento che non comunica con gli altri ambienti attraverso un filtro a prova di fumo è il locale tecnico, situato ad ovest dell'edificio, che possiede strutture di resistenza al fuoco equivalenti a quelle del vano corsa, ha una superficie netta di areazione permanente non inferiore al 3% della superficie del pavimento rispettando il minimo di 0,05 m² e permette un'immediata via di fuga verso l'esterno.

Sono state previste porte antincendio, ove risultasse opportuno in relazione al sistema organizzato di vie di uscita, precedentemente dimensionato in base al massimo affollamento previsto in funzione della capacità di deflusso. Queste sono dotate di due o più ante munite di congegni di auto-chiusura con resistenza al fuoco REI 90 poiché l'edificio non supera i 24 metri di altezza.

L'orientamento di apertura è stato cambiato in modo tale da permettere l'esodo con una semplice spinta. Abbiamo contemporaneamente verificato che la loro larghezza utile sia multipla del modulo di uscita e non inferiore a due moduli (1,20 m) nel punto più stretto della luce e che la lunghezza del percorso non sia superiore a 40 m.

Per alcuni locali è stata rivalutata la classe di reazione al fuoco a seconda dei materiali impiegati seguendo il decreto ministeriale 26 giugno 1984.

È stato inoltre ridisposto e aggiunto i rilevatori di fumo e sprinkler tenendo in considerazione che il raggio di copertura rispetti 6,5 m per il nostro edificio dove l'inclinazione della copertura non supera i 20° e che l'altezza di installazione non sia superiore a 12 m dal pavimento come richiesto dalla UNI 9795.

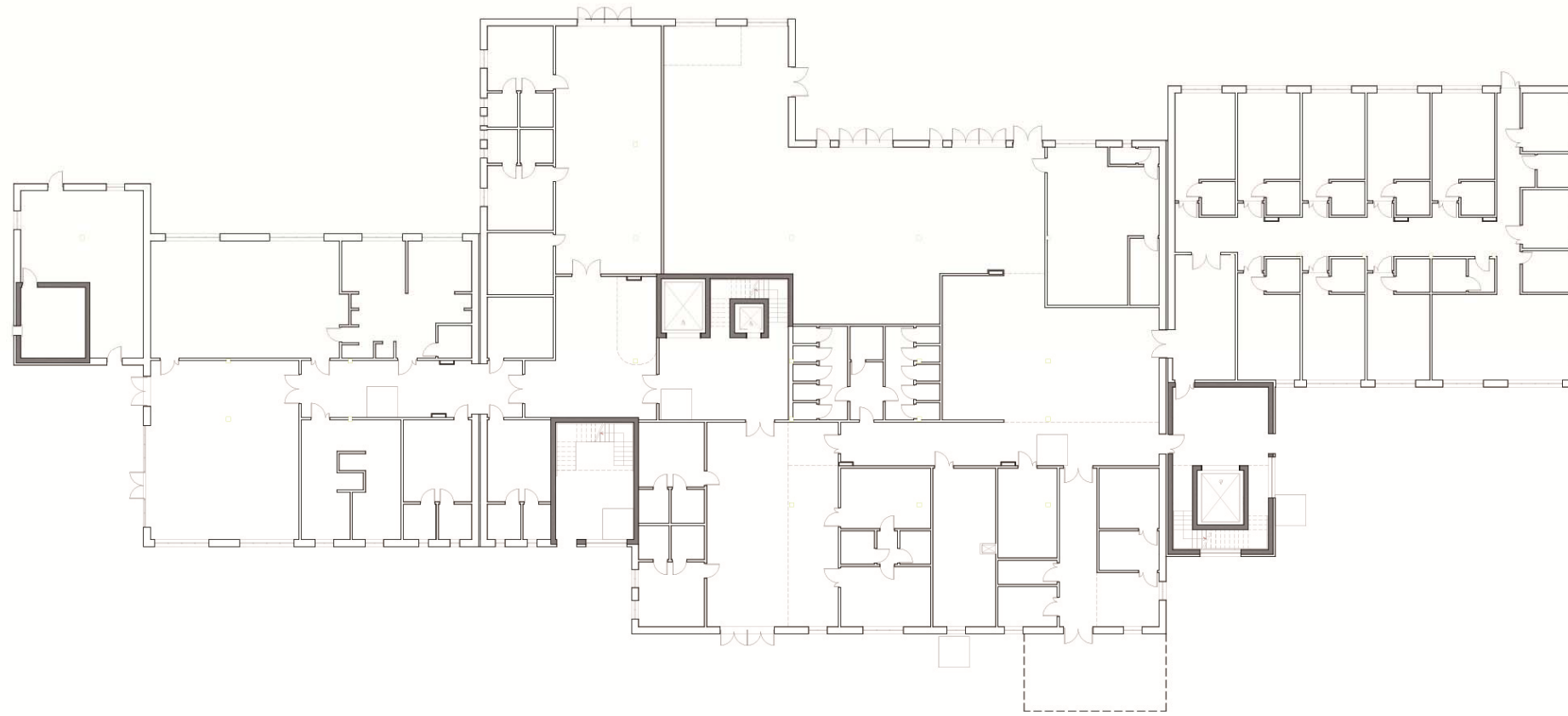










Figura 701 - Planimetria di progetto



Figura 702 - Planimetria di progetto con le modifiche antincendio

-  Compartimenti
-  Aree antincendio precedenti
-  Porte antincendio
-  Porte antincendio con corretto orientamento per la fuga
-  Filtro a prova di fumo
-  Camini di ventilazione
-  Classe antincendio
-  Strumenti rilevatori di fumo e sprinkler

12.4. Modelli numerici per la simulazione degli scenari di incendio

Nell'ultimo ventennio, la rapida evoluzione delle conoscenze scientifiche ha consentito lo sviluppo di modelli di calcolo che, attraverso algoritmi complessi, permettono di simulare un incendio per ogni specifico scenario e le sue grandezze fisiche fondamentali, utili per verificare lo stato di sollecitazione e resistenza delle strutture al fine di garantire la sicurezza delle persone.

Gli scenari di incendio rappresentano la schematizzazione degli eventi che possono ragionevolmente verificarsi nell'edificio. È chiaro che nell'ambito dell'applicazione dell'approccio ingegneristico per la valutazione della sicurezza strutturale devono essere analizzati gli incendi realisticamente ipotizzabili, scegliendo i più gravosi per la sollecitazione strutturale. La definizione degli scenari di incendio di progetto costituisce il passaggio più importante della fase progettuale nel processo di applicazione dell'approccio ingegneristico per la valutazione della sicurezza strutturale in caso di incendio. Pertanto si illustrano di seguito alcuni software che possono essere impiegati per la definizione di questi scenari fondamentali per la progettazione strutturale degli edifici. In particolare, oltre a verificare la rispondenza ai criteri fissati dal D.M. 09/05/2007, il progetto deve essere definito nell'ambito delle normative vigenti negli altri Paesi membri della Comunità Europea.

Ai sensi del D.M. 09/05/07 per "scenario di incendio" deve intendersi "la descrizione qualitativa dell'evoluzione di un incendio che individua gli eventi chiave che lo caratterizzano e che lo differenziano dagli altri incendi. Di solito può comprendere le seguenti fasi: innesco, crescita, incendio pienamente sviluppato, decadimento. Deve, inoltre, definire l'ambiente nel quale si sviluppa l'incendio di progetto ed i sistemi che possono avere impatto sulla sua evoluzione, come ad esempio eventuali impianti di protezione attiva".

La norma ISO PTDS 16733 - *Fire safety engineering - selection of design fire scenarios and design fires* - definisce lo scenario d'incendio come l'insieme degli elementi che descrivono lo sviluppo dell'incendio, fino alla fase di decadimento. Considerata l'ampiezza e diversità del numero di scenari possibili, di solito è necessario ridurre il numero a quelli più critici. Al fine di definire correttamente l'approccio ingegneristico ci si riferisce inoltre a un modello generale di combustione, in assenza del quale le considerazioni tecniche e scientifiche rischiano di essere inappropriate.

Gli scenari di incendio rappresentano dunque la schematizzazione degli eventi che possono ragionevolmente verificarsi. A partire da queste premesse appare chiaro che la corretta individuazione degli scenari di incendio costituisce lo stadio centrale nell'ambito del processo di progettazione prestazionale e pertanto è quanto mai opportuno che la loro definizione sia condivisa in fase preventiva da parte dell'organo di controllo.

Lo scenario di incendio è sensibilmente influenzato, tra l'altro, dalla geometria dei locali che costituiscono il compartimento, dalle loro condizioni di ventilazione naturale, dalle sostanze combustibili presenti, dalle caratteristiche geometriche e di ventilazione. Tutto ciò consente di individuare un numero limitato di scenari di incendio di progetto mediante i quali è possibile rappresentare i prevedibili e più pericolosi eventi ai fini della stabilità strutturale. In generale, ai sensi del D.M. 09 maggio 2007, per ognuno degli scenari definiti è necessario approfondire i seguenti aspetti:

- valutazione del tipo e della quantità di combustibili presenti, con il relativo tasso di combustione;
- determinazione dei quantitativi di aria disponibile durante la combustione (in funzione degli scambi con l'esterno);
- individuazione della geometria dell'ambiente confinato, definita dal compartimento;

- definizione delle proprietà termiche della frontiera del compartimento, come pavimenti, pareti e soffitti.

A seconda della particolare strategia antincendio adottata, la valutazione può includere anche:

- influenza degli impianti di spegnimento dell'incendio (ad esempio gli sprinkler);
- intervento delle squadre di soccorso.

Individuazione scenari:

- Scenari di tipo localizzato: eventi incidentali che iniziano in un punto preciso del fabbricato e sono percepiti, inizialmente, solo da chi si trova nelle immediate vicinanze dell'evento incidentale
 - o Scenario A – Scenari circoscritti a una parte del comparto
 - o Scenario B - Incendio esteso a tutto il comparto
- Scenario di tipo generalizzato: eventi incidentali che possono essere percepiti da tutti nello stesso istante
 - o Scenario C - Evento che coinvolge più comparti.

Aspetti comuni a tutti gli scenari:

- caratteristiche generali relative all'esodo;
- velocità degli individui e curva velocità/densità;
- grado di affollamento;
- uscite dal piano ed uscite di sistema;
- sistemi attivi considerati nelle simulazioni:
 - o impianto sprinkler;
 - o impianto di rivelazione fumi;
 - o interblocchi impianto di ventilazione/condizionamento.

12.4.1. Obiettivi

L'approccio ingegneristico permette di valutare quantitativamente gli effetti di un incendio (temperatura, potenza termica, ecc.) verificando l'adeguatezza delle misure di sicurezza esistenti oppure definendo delle condizioni di sicurezza equivalente. Per tale motivo si utilizzano i *Fire Modelling*, simulazioni d'incendio, basate sulla risoluzione di equazioni di conservazione dell'energia, quantità di moto, momento, equazione dei gas ideali, ecc. I modelli di incendio sono una rappresentazione della realtà e, come tale, forniscono una approssimazione di ciò che può accadere in un incendio. Quelli più conosciuti e utilizzati per il calcolo della propagazione e degli effetti dell'incendio, derivati per gran parte da studi condotti dal N.I.S.T. (*National Institute of Standards and Technology* - U.S.A.), sono:

- modelli numerici di incendio semplificati;
- modelli numerici di incendio avanzati:
 - o modelli di simulazione dell'incendio a zona (mono-zona o bi-zona per ambienti confinati; principalmente OZone e CFAST, Asetbx);
 - o modelli di simulazione dell'incendio di campo o fluidodinamico (CFD= *Computational Fluid Dynamics*: FDS, Ansys CFX, Ansys Fluent, CPI win);
- modelli di simulazione dell'esodo (Exodus)
- modelli di simulazione del comportamento strutturale in caso d'incendio (Adina, Abaco, Diana, OSSA2D, Safir)

Allo stato attuale si richiama il fatto che modelli analitici semplificati (manuali) possono garantire buone stime di effetti specifici dell'incendio, come ad esempio il calcolo del tempo di *flashover* in un

locale, mentre per analisi più complesse che coinvolgano interazioni dipendenti dal tempo di più processi di tipo fisico e chimico presenti nello sviluppo di un incendio si ricorre generalmente a modelli di tipo automatico.

È possibile anche l'utilizzo di più tipologie di modelli come ad esempio:

- l'uso di modelli specifici per la valutazione del tempo di attivazione di un impianto di rilevazione e di spegnimento, della rottura di un vetro in funzione della temperatura ecc., utilizzando poi i dati ricavati in una modellazione più complessa, ad esempio effettuata con modelli di campo;
- l'uso di modelli semplificati (ad esempio a zona) per valutare in una prima fase le condizioni di maggiore criticità per poi approfondire la trattazione degli effetti con modelli più complessi.

Nel 1992, R. Friedman svolse una ricerca sui modelli di calcolo per l'incendio per il "*Forum for International Co-operation on Fire Research*". Nel 2003, S. M. Olenick e D. J. Carpenter lo aggiornarono inserendo più programmi di calcolo e una discussione sulle categorie in cui suddividerli. Per valutare i programmi di calcolo per il fuoco bisogna stabilire gli aspetti più importanti che fan sì che i programmi si adattino alle necessità degli utilizzatori. Sono stati trovati un totale di 177 programmi di calcolo, di cui 30 sono pubblicamente disponibili. I modelli più evoluti e complessi si basano su una modellazione di dettaglio della forma delle stanze, dei materiali presenti e sulla discretizzazione dei volumi in numerose celle tra le quali vengono scritte le equazioni di conservazione. In generale ad output molto dettagliati corrispondono input più complessi e maggiori tempi di esecuzione sul computer. Utilizzando un qualsiasi modello automatico è necessario che il progettista valuti la sensibilità degli output al variare degli input (analisi di sensitività). Se piccole variazioni dei dati di ingresso, o di alcuni di questi, portano a forti cambiamenti nei risultati, è necessario considerare con grande attenzione e cautela i dati di input critici.

Il progettista deve inoltre distinguere tra i parametri interni ed esterni al modello. Alcuni parametri interni possono infatti essere modificati dall'utente (ad esempio, nei modelli di fluidodinamica numerica la dimensione della griglia ed il passo temporale di calcolo *time step*).

I parametri esterni sono quelli che costituiscono i valori di input e possono essere distinti nelle tre categorie:

- geometrica (dimensioni dell'ambiente, aperture di ventilazione, comunicazione tra ambienti, ecc.);
- di scenario (legato alla conoscenza del rilascio termico, della velocità di perdita di massa, di distribuzione del combustibile dello stato delle porte e delle finestre, ecc.);
- termofisica (come le proprietà delle pareti dell'ambiente tra cui la conduttività, il calore specifico, la massa volumica, il contenuto di umidità, l'emissività delle superfici, ecc.).

Uno dei parametri chiave per la scelta di un modello è inoltre la validazione. Il confronto dei risultati delle simulazioni effettuate con dati sperimentali è importante per determinare l'applicabilità di quel software ad una particolare situazione. Gli studi di comparazione tra casi reali e simulazioni effettuate con modelli sono limitati, ed il numero di analisi sperimentali svolte varia molto da modello a modello. Il professionista deve dimostrare di aver valutato attentamente gli studi di validazione esistenti per un particolare modello.

Occorre aver chiaro e documentato l'insieme delle possibilità e delle limitazioni di ciascun modello le cui applicazioni dovrebbero sempre essere dimostrate nell'ambito delle prove di validazione sperimentali. Spesso utenti esperti preferiscono utilizzare più modelli per valutare situazioni particolarmente complesse.

12.4.2. Modelli di simulazione dell'incendio a zona

12.4.2.1. Modelli a zona (mono-zona o bi-zona)

I modelli a zone sono caratterizzati dall'individuazione, nell'ambiente oggetto della valutazione, di zone separate, all'interno delle quali i parametri di temperatura, densità e pressione sono omogenei, infatti per zona si intende quello strato orizzontale omogeneo nel volume della stanza. Normalmente queste zone, sebbene adiacenti, non possono scambiare massa o energia se non attraverso una terza zona, che rappresenta il “*plume*”, che rappresenti il pennacchio di fumo che si leva dal focolaio.

Il modello a zona prende in analisi i moti convettivi prodotti dalla combustione che attivano dei flussi di gas e di calore tra le zone; scrivendo le equazioni di conservazione della massa, della quantità di moto e dell'energia per passi temporali successivi è possibile calcolare lo spessore, la temperatura e la concentrazione di fumi e aria negli strati e i flussi gassosi attraverso le aperture. I modelli a zone non simulano la propagazione del fuoco ad oggetti e superfici e quindi richiedono un incendio di progetto come dato di partenza (es. quelli forniti dalla legge in cui la potenza è proporzionale a t^2). Seppure le semplificazioni citate siano estremamente grossolane, questi modelli si sono rivelati di notevole utilità, sia per la facilità d'uso sia per l'attendibilità dei risultati. In un certo senso, però, quest'ultimo aspetto deve essere considerato un limite di questi modelli, in quanto permettono di trarre dei risultati verosimili anche nei casi in cui la simulazione non rispecchi le condizioni di base.

Questi modelli si basano sull'osservazione che, in un ambiente confinato, l'evoluzione dell'incendio induce a schematizzare i flussi di aria e dei fumi secondo un'organizzazione spaziale con uno strato caldo verso l'alto e, al di sotto, l'aria ambiente, quasi non contaminata dai fumi a temperatura sensibilmente più bassa. Anche se è evidente che all'interno dei due strati le condizioni non sono omogenee, in prima approssimazione tale disomogeneità può essere trascurata.

Si evidenzia che la selezione di un modello a zone per un particolare scenario dipende da svariati fattori, infatti la maggior parte dei modelli a zone si basano sulle stesse equazioni fondamentali, ma essi possono differire per svariate importanti caratteristiche.

Il modello “mono-zona” è indicato per la fase *post-flashover* in un singolo compartimento. Questi modelli assumono il locale in cui si sviluppa l'incendio come un'unica zona in cui i valori di temperatura e degli altri parametri significativi sono uguali in ogni punto. Non forniscono una buona approssimazione delle prime fasi dell'incendio.

Il modello a zone (il più comune) suddivide il locale in un piccolo numero di volumi di controllo (chiamati “*layer*”) che sono divisi da un'interfaccia e ipotizzati con caratteristiche uniformi al loro interno (i valori di temperatura, quantità di fumo, concentrazione dei prodotti della combustione sono uguali in ogni punto dello stesso volume). Tra i modelli a zone abbiamo i seguenti software:

- modelli adatti alla simulazione delle fasi successive al *flashover*: OZone
- modelli non adatti alla simulazione delle fasi successive al *flashover*:
 - o CFast, in cui la propagazione dell'incendio e flusso di fumi sono analizzati fino a 30 stanze interconnesse. Sviluppato dal gruppo di ricerca BFRL⁶¹
 - o Asetbx, per stanze senza aperture significative.

OZone

Il software OZone, disponibile online per il download pubblico, è utile per calcolare l'evoluzione dell'incendio nei compartimenti esposti ad esso secondo la norma europea EN 1991-1-2. Valuta la

⁶¹ BFRL (*Building and Fire Research and Laboratory*) del NIST (*National Institute of Standards and Technology*) degli Stati Uniti.

resistenza al fuoco degli elementi sottoposti alla sua azione basandosi sulla descrizione del compartimento e sui parametri ad esso collegati. Questo software è stato concepito espressamente come supporto alla progettazione di elementi in acciaio esposti al fuoco. Ne consegue una parte relativa alla resistenza strutturale di questo tipo di membrature. Rimane il fatto che la parte preliminare di simulazione dello scenario di incendio ha validità generale, a prescindere dal tipo di materiale considerato. La metodologia del progetto può essere divisa in sei fasi principali.

Fasi

1. Descrizione del vano:

- la sua forma;
- le sue dimensioni e la sua altezza;
- le caratteristiche delle partizioni orizzontali e verticali: spessore strati e proprietà termiche dei materiali;
- la dimensione e la posizione delle aperture orizzontali e verticali e le loro caratteristiche termo-fisiche (es: adiabaticità del sistema).

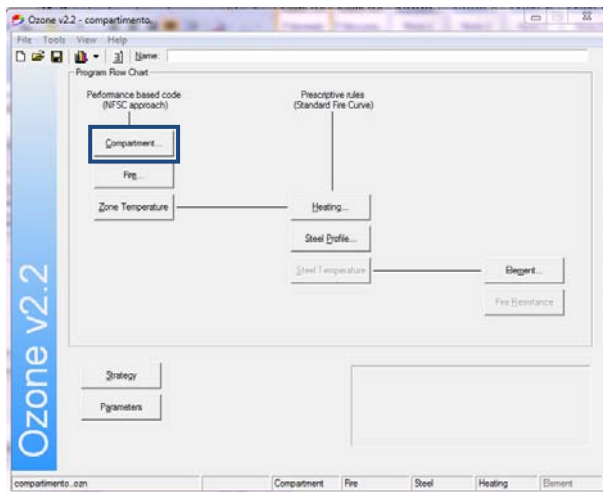


Figura 703 - Sezione di analisi

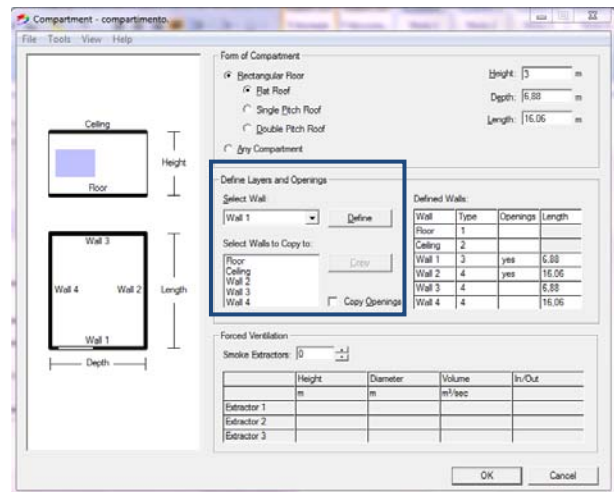


Figura 704 - Caratteristiche del vano e selezione della partizione

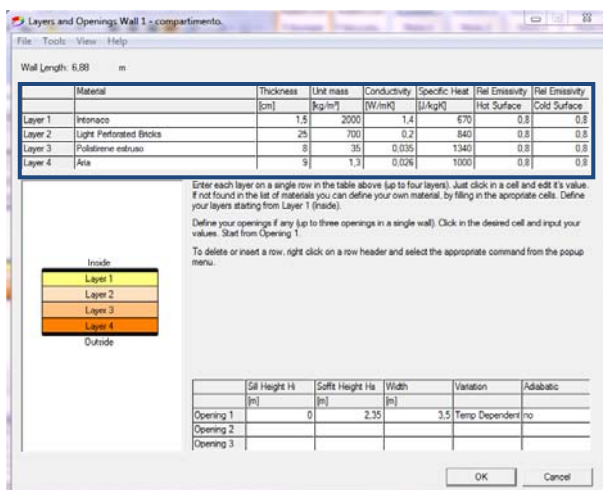


Figura 705 - Definizione dei materiali della partizione

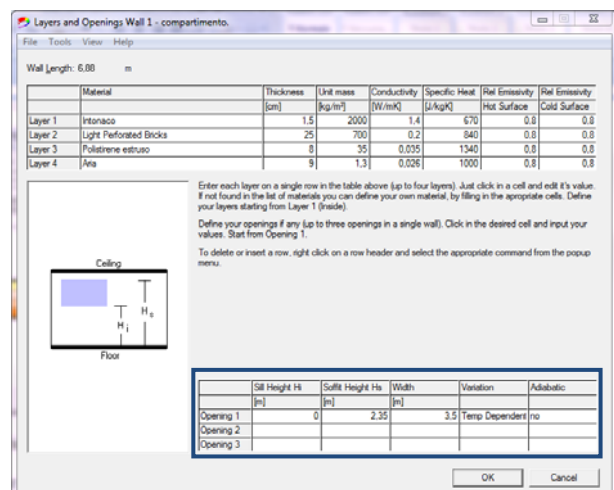


Figura 706 - Definizione delle caratteristiche delle aperture

2. Definizione dei parametri relativi al fuoco.

La sezione permette di scegliere due opzioni riguardanti la curva del fuoco:

- EN 1991-1-2;

- *User Defined Fire*.

Se si sceglie di selezionare la norma EN 1991-1-2, il software propone all'utente dei valori relativi a:

- tasso di crescita e di rilascio termico RHR_f del fuoco;
- carico d'incendio;
- pericolo di attivazione dell'incendio,

che possono essere da lui modificati.

Si propongono di seguito delle possibili misure antincendio da selezionare per il progetto.

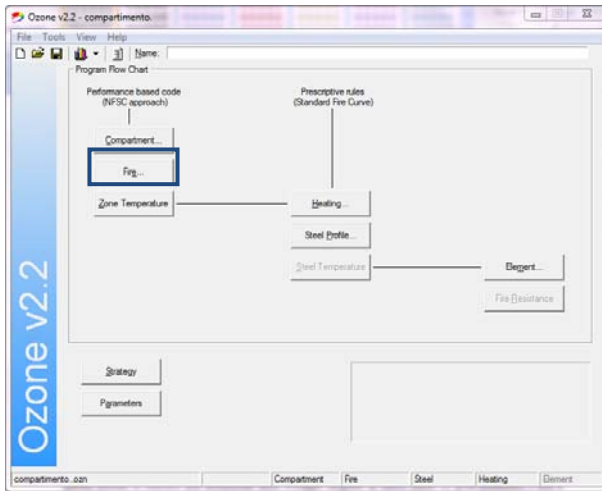


Figura 707 - Sezione di analisi

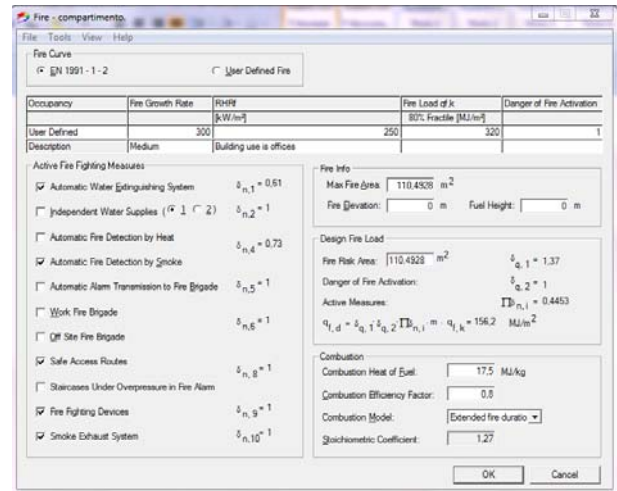


Figura 708 - Definizione dei valori secondo la EN 1991 -1 -2

Se si sceglie l'opzione "*User Defined Fire*" i dati richiesti sono:

- il tasso di rilascio termico $RHR(t)$ [W];
- il tasso di pirolisi (t) [kg/s];
- i valori della zona esposta al fuoco A_{fi} (t) in funzione del tempo;

L'utente è libero di definire i valori richiesti.

Questa sezione si riferisce alla definizione dello sviluppo sorgente di fuoco (RHR (t) principalmente) e non a curve temperatura-tempo. La procedura si basa sul "*Natural Fire Safety Concept*".

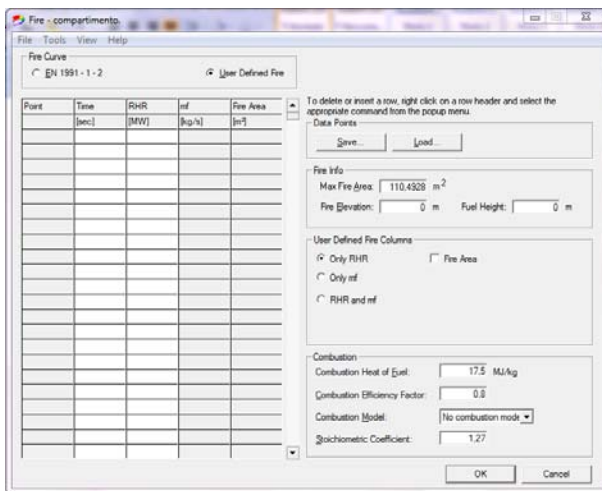


Figura 709 - Definizione dei valori secondo la voce "*User Defined Fire*"

3. Calcolo delle temperature nel vano

Questa sezione mostra i risultati del comportamento del fuoco nel compartimento. Nella finestra “Results” il software indica:

- la superficie massima del compartimento coinvolta dall'incendio e la modalità di distribuzione;
- lo scambio di calore all'interno del compartimento in termini di percentuale e tempo;
- la temperatura del compartimento in relazione al tempo nella situazione in cui il compartimento viene investito completamente dall'incendio.

Di seguito un grafico che mette in relazione temperatura e tempo mostra l'andamento dell'incendio all'interno della zona interessata. È possibile inoltre visualizzare il grafico delle temperature della zona calda, della zona fredda, l'altezza dell'interfaccia fra le due, e altri dati che permettono di comprendere meglio il comportamento dell'incendio nel compartimento analizzato.

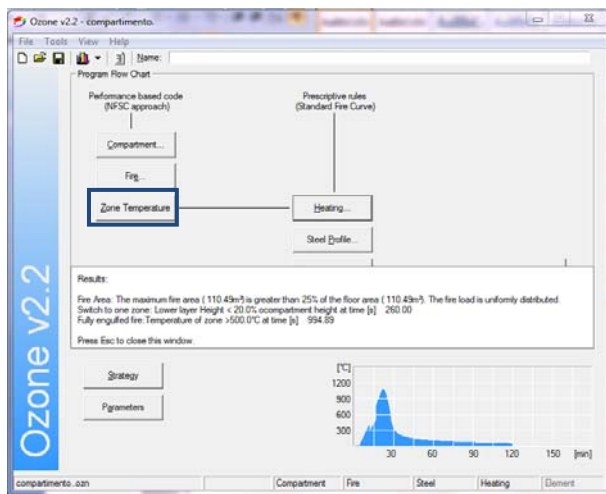


Figura 710 - Comportamento del fuoco

4. Temperatura della sezione di acciaio

- Definizione delle proprietà di sezione termiche e meccaniche, delle proprietà termiche del materiale isolante se la sezione è protetta e delle condizioni al contorno della sezione termiche;
- calcolo della temperatura di elementi metallici, tenendo conto, se necessario, dell'effetto localizzato del fuoco con l'aiuto del modello di Hasemi⁶².

⁶² Metodo per incendi localizzati con fiamme impattanti su piano orizzontale (soffitto).

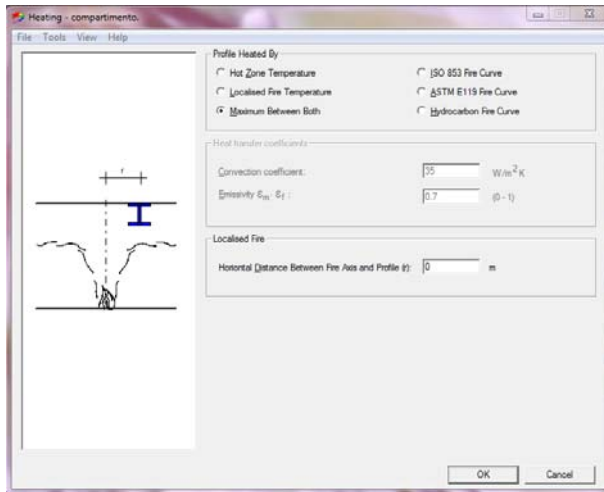


Figura 711 - Definizione proprietà sezione acciaio

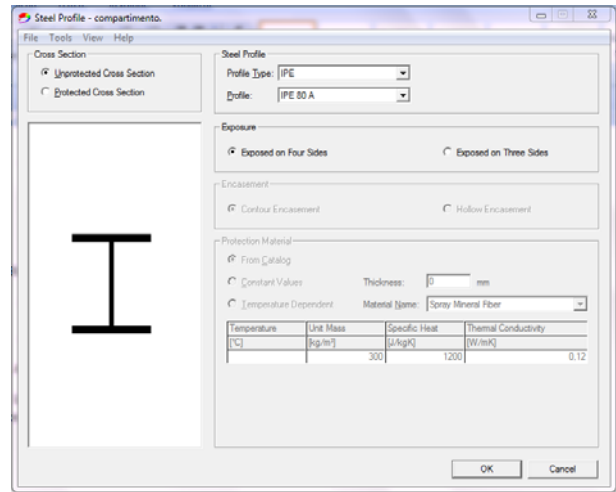


Figura 712 - Definizione temperatura del profilo metallico

5. Resistenza al fuoco dell'elemento

- la definizione delle dimensioni, gli effetti delle azioni e le condizioni al contorno statiche del membro;
- calcolo della resistenza al fuoco degli elementi in acciaio.

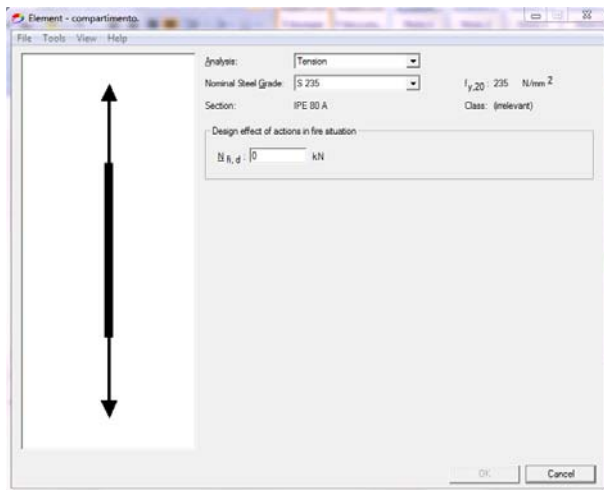


Figura 713 - Definizione dei parametri dell'elemento in acciaio e della sua resistenza al fuoco

6. Strategie e parametri che permettono di concludere l'analisi del comportamento dell'incendio nel caso di progetto

Le strategie consentono di stabilire i criteri di transizione del calore dalla zona 1 alla zona 2 attraverso la definizione dei seguenti parametri:

- la temperatura dello strato superiore della zona;
- la temperatura di inizio combustione;
- l'altezza dell'interfaccia relativa all'altezza del compartimento;
- l'occupazione dell'incendio relativa all'area del pavimento;
- strategia di analisi:
 - o combinata;
 - o ad una zona;
 - o a due zone.

La finestra “parametri” è relativa alle caratteristiche riguardanti le aperture, il compartimento, i materiali delle partizioni, la tempistica relativa al calcolo dei parametri e alle aperture che dipendono dalla temperatura dell’incendio.

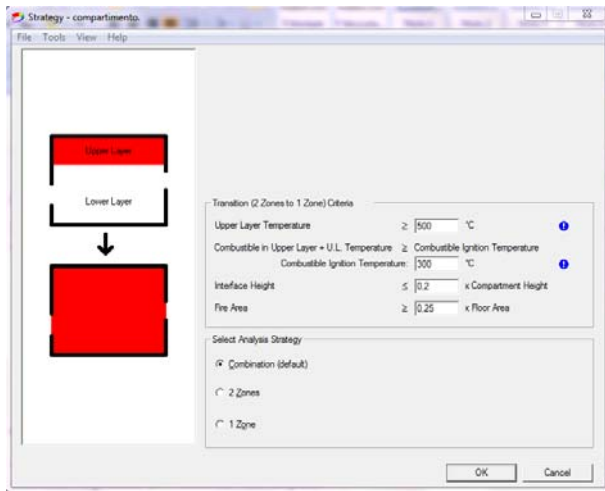


Figura 714 - Definizione proprietà sezione acciaio

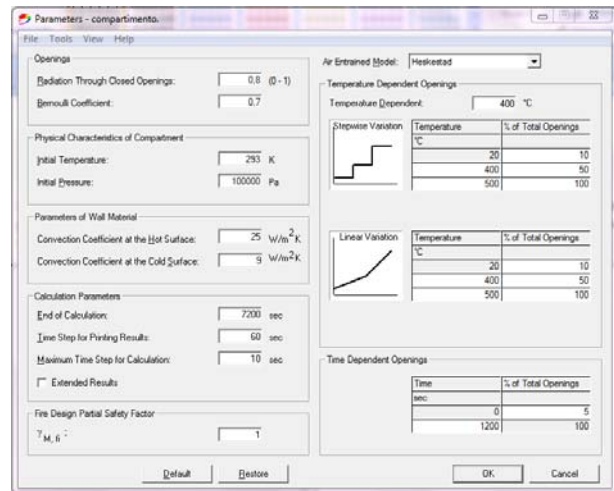


Figura 715 - Definizione proprietà sezione acciaio

CFAST 6

CFast è un modello di simulazione a zone in grado di predire le condizioni ambientali in una struttura composta da più compartimenti e soggetta all’incendio. In qualità di modello a zone CFAST suddivide i compartimenti in due layer, i quali rappresentano la parte bassa e quella alta di una stanza, all’interno della quale le condizioni possono variare solamente in senso verticale tra pavimento e soffitto, e rimangono costanti sullo stesso piano orizzontale.

Il funzionamento dell’algoritmo contenuto nel software è basato sulla risoluzione di equazioni che predicono le variabili di stato (pressione, temperatura ecc.) basandosi sulla conoscenza dei flussi di calore e di massa per ogni istante di tempo.

In CFAST l’incendio è considerato come una sorgente di combustibile rilasciata con una determinata velocità. La combustione può avere luogo sia nella zona bassa che in quella alta all’interno di un compartimento; in ogni caso vi deve essere presenza di ossigeno. Sopra ogni oggetto che brucia si forma una fiamma che non viene considerata facente parte di alcun layer ma come una pompa che spinge il calore e la massa dalla zona sottostante a quella in alto. Sono due le cause di tale movimento ascensionale: il primo è la fiamma stessa, il secondo è il flusso d’aria proveniente dalle aperture quali porte e finestre ma anche da aperture poste sul pavimento o sul soffitto dei locali.

CFAST tiene conto dei trasferimenti di calore che avvengono con la struttura in esame e permette di selezionare diversi tipi di materiale che caratterizzano pareti, pavimento, e soffitto. Il modello consente all’utente di definire tutti i parametri che caratterizzano l’incendio da simulare, in particolare la curva del rateo di rilascio di calore; esiste comunque un database di incendi standard che comprende anche le caratteristiche di alcuni oggetti di uso comune.

Il risultato fornito da CFAST consiste negli andamenti nel tempo (per la durata della simulazione), dei parametri che caratterizzano gli effetti dell’incendio ed in particolare della quantità di fumi prodotti, delle temperature e delle concentrazioni delle specie chimiche.

Procedimento per gli scenari di incendio

La prima schermata del software riguarda l’ambiente di simulazione, nella quale si possono impostare il tempo, la temperatura interna ed esterna e le caratteristiche ambientali.

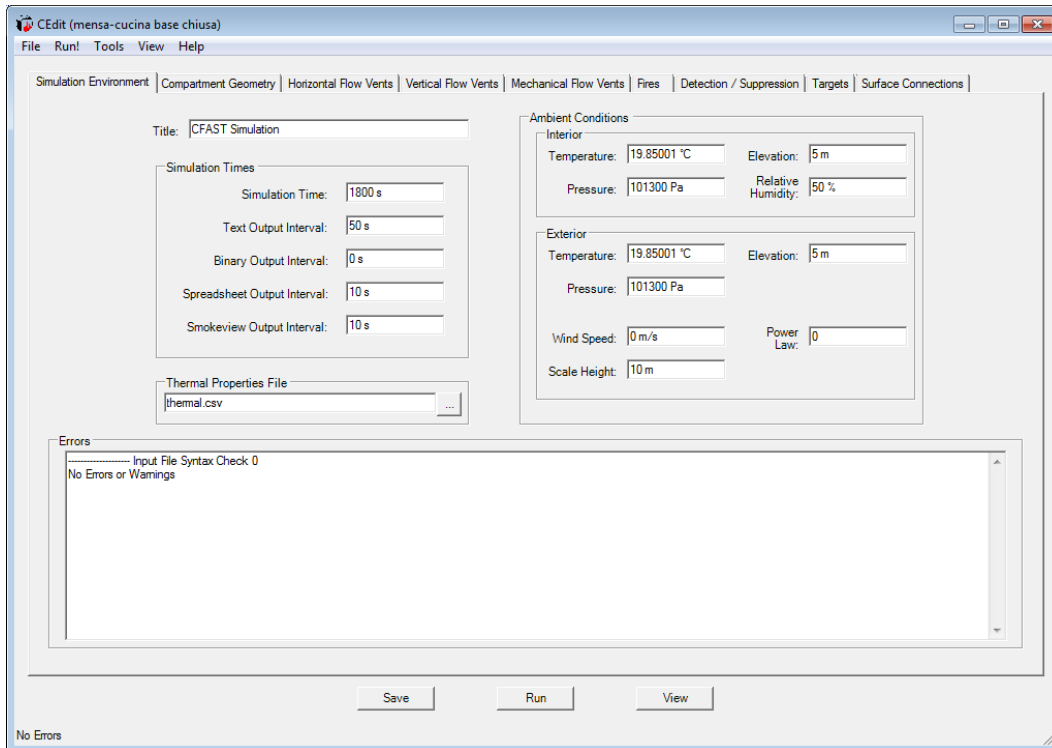


Figura 716 - Ambiente di simulazione

La seconda schermata definisce la geometria del compartimento: è possibile specificare la dimensione degli ambienti e collocarli in uno spazio cartesiano, evidenziando il materiale⁶³ di finitura delle superfici.

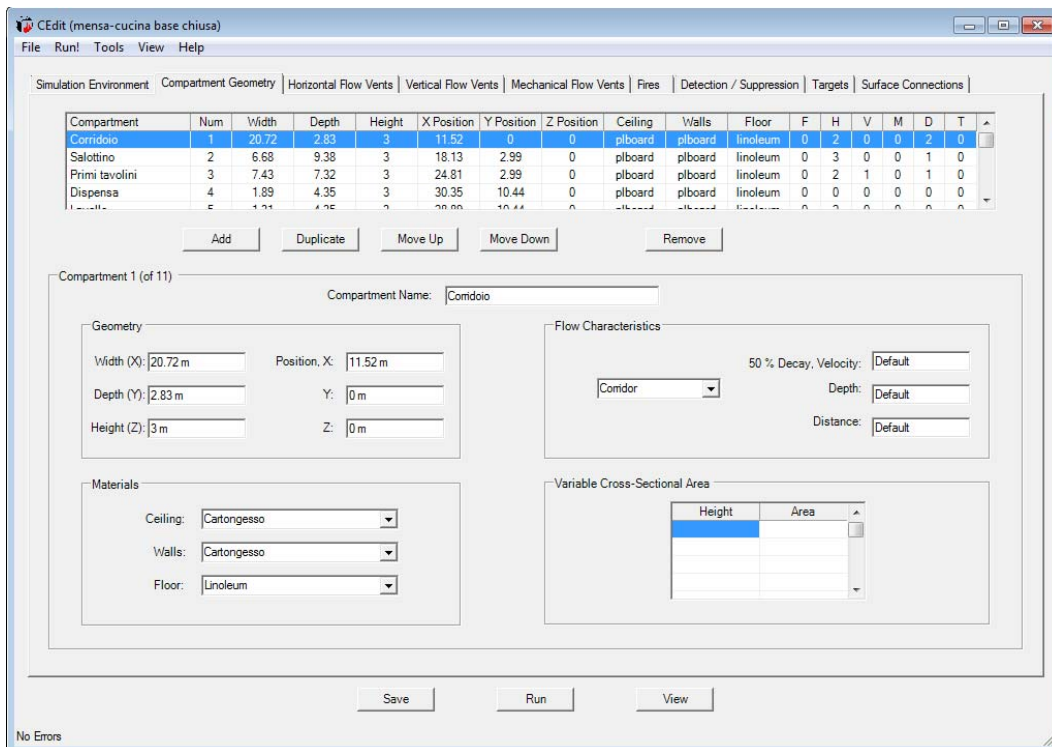


Figura 717 - Geometria del compartimento

⁶³ È possibile creare i propri materiali inserendo i parametri richiesti dal software, che vengono salvati in un file detto thermal.csv

Successivamente vengono richiesti i flussi per ventilazione orizzontale (le comuni finestre o porte di collegamento fra un ambiente e l'altro), con dimensioni, posizionamento e momento di apertura.

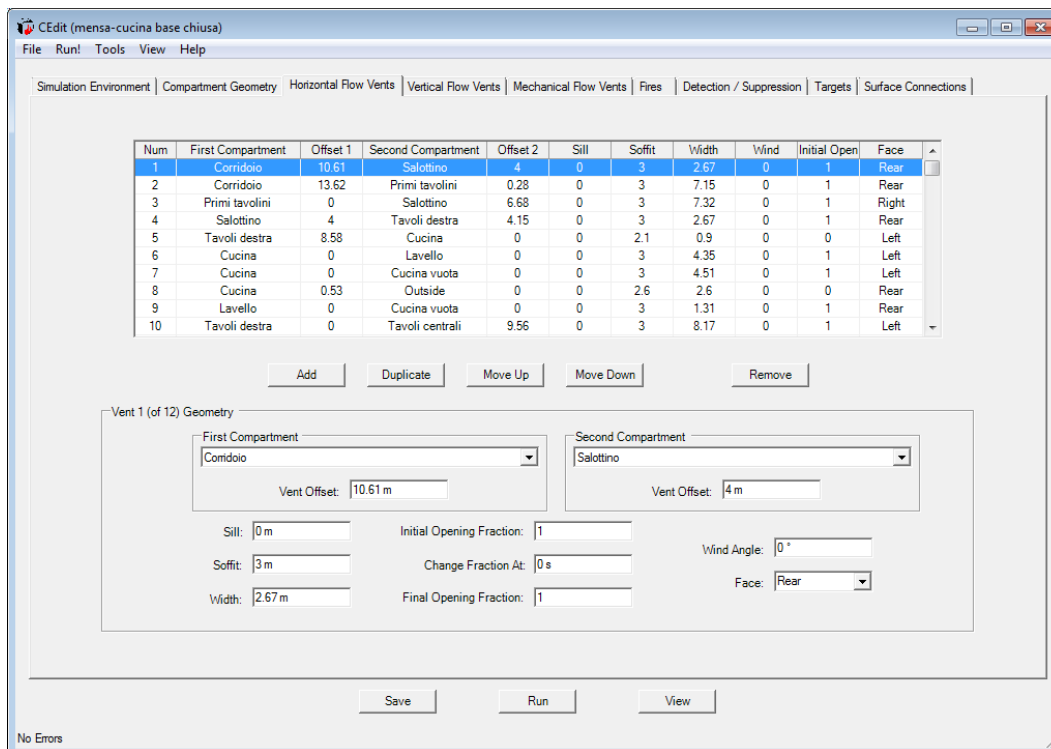


Figura 718 - Flussi orizzontali attraverso le aperture

Eventualmente si possono inserire flussi verticali attraverso le aperture nel caso si disponga di lucernari o patio.

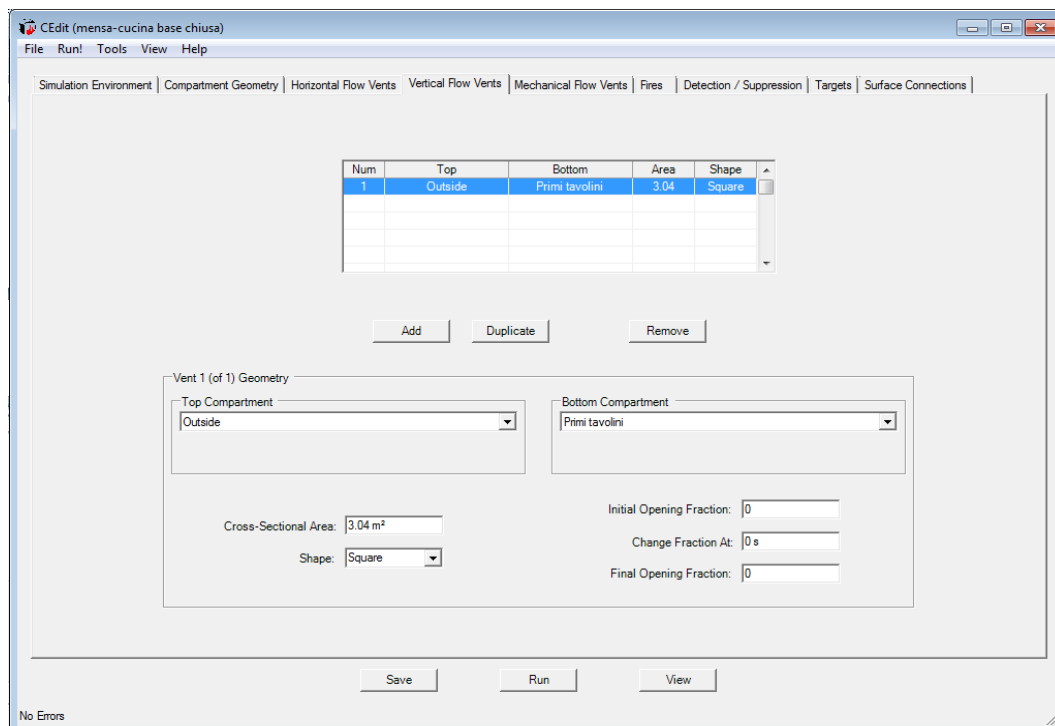


Figura 719 - Flussi verticali attraverso le aperture

È possibile prevedere flussi di ventilazione meccanica nell'apposita finestra.

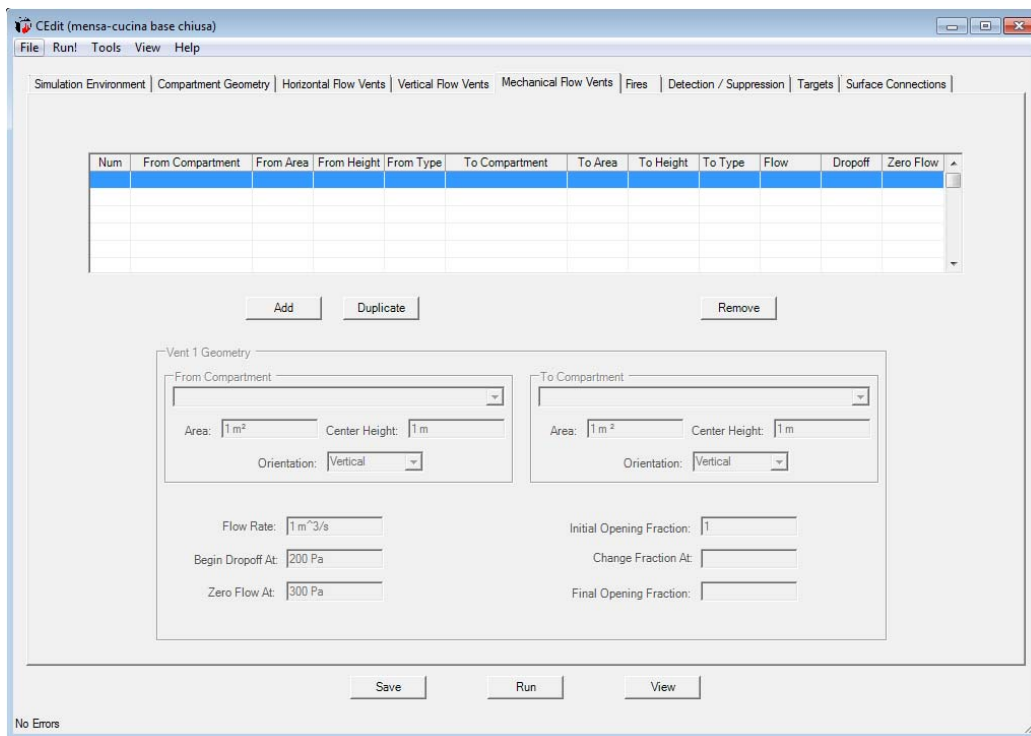


Figura 720 - Flussi per ventilazione meccanica

Nella sezione dedicata agli incendi si possono scegliere da una lista reimpostata, oppure si può modellarne uno proprio partendo dalla curva t^2 ed esplicitando il valore massimo della RHR e altri parametri.

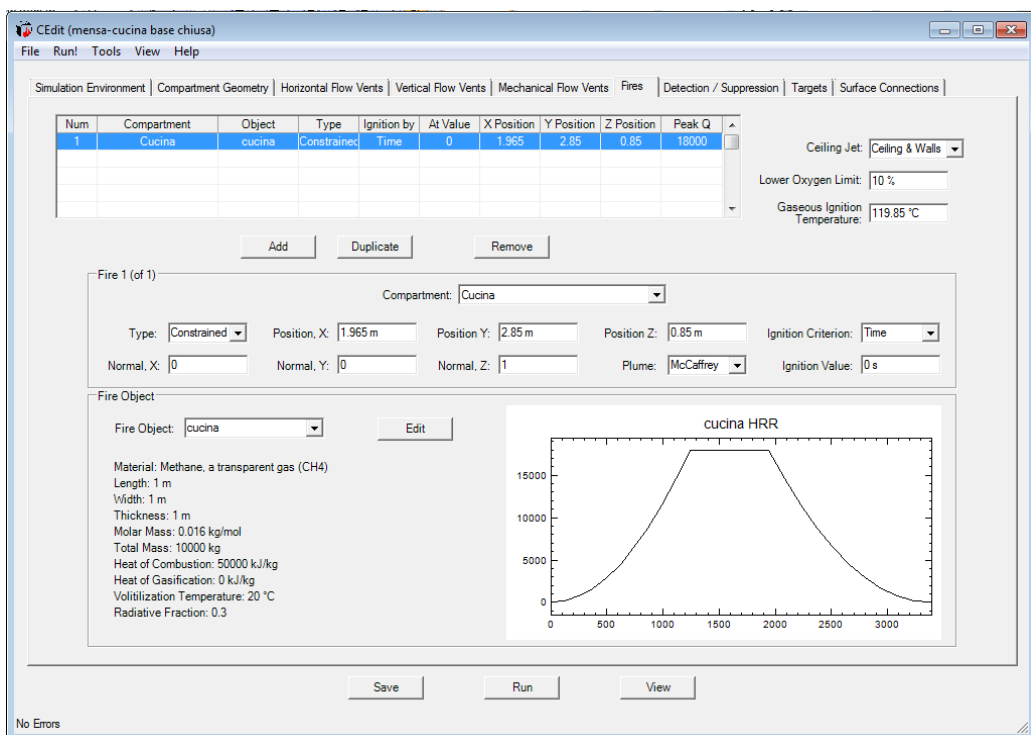


Figura 721 - Progetto dell'incendio

Il software permette di posizionare sistemi di rilevamento e soppressione dell'incendio, scegliendo fra rilevatori di fumo, di calore, o sprinkler.

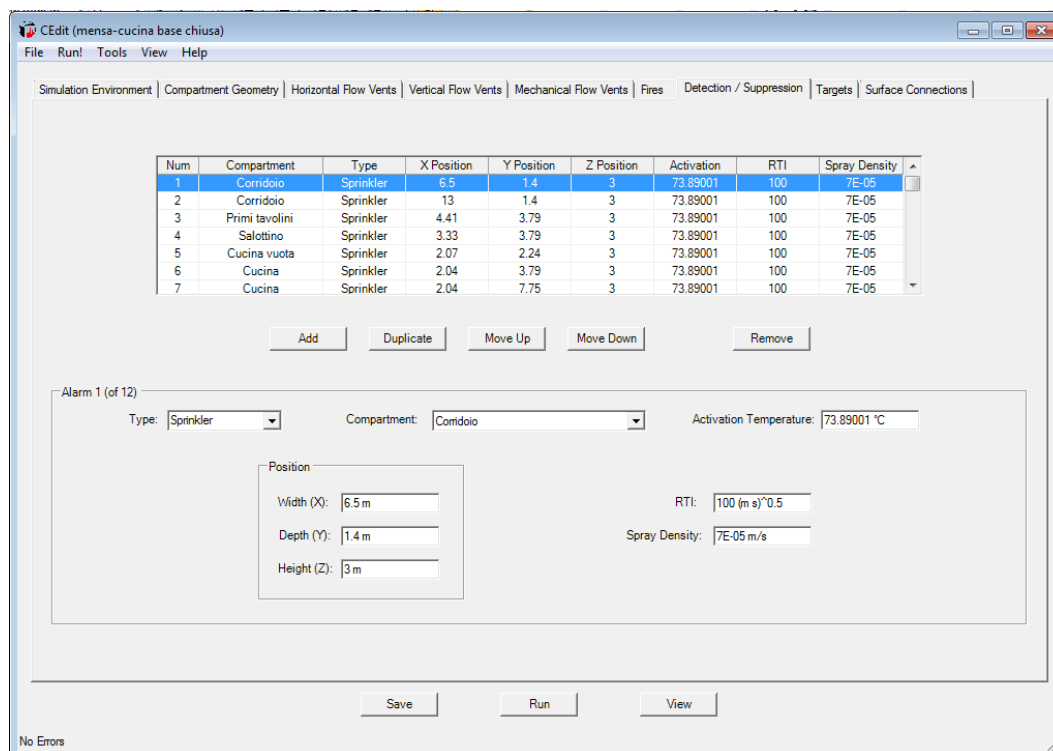


Figura 722 - Sistemi di rilevamento e soppressione dell'incendio

Infine si può decidere di aggiungere dei *Target*, ovvero punti particolari in cui sondare le temperature, ed evidenziare connessioni fra le superfici per tenere in conto la trasmissione del calore per convezione.

Asetbx

Asetbx consente di stimare la crescita di temperatura e la discesa dello strato di gas caldi prodotti dalla combustione nell'ambiente di origine dell'incendio. Per ciascun scenario sono stati definiti:

- altezza e superficie (*Room Ceiling Height* e *Room Floor Area*);
- l'altezza alla quale si sviluppa l'incendio (*Height at base of flames*);
- la frazione di perdita di calore (*Heat Loss Fraction*);
- il tempo massimo di simulazione (*Maximum Simulation Time*);
- la curva di rilascio termico HRR (*Heat Release Rate*).

12.4.2.2. Modelli di simulazione dell'incendio di campo (CFD= Computational Fluid Dynamics)

I modelli di campo o fluidodinamici forniscono la stima dell'evoluzione dell'incendio in uno spazio per via numerica. Si basano sulla soluzione di equazioni di Navier-Stokes che simulano i fenomeni di trasporto di massa, il meccanismo di reazione del combustibile e le loro mutue interazioni e, per facilitare la soluzione delle equazioni, il compartimento è diviso in una griglia tridimensionale. Calcolano le condizioni fisiche in ciascun volume in funzione del tempo tenendo conto dei cambiamenti fisici che si originano nello spazio e dei mutamenti di stato generati per effetto delle variazioni avvenute nei volumi circostanti. Sono particolarmente indicati per geometrie molto complesse o per carichi di incendio diversificati e permettono approfondimenti sulla dinamica di un incendio fin dalla fase dell'innesco. Si impostano sulla fluidodinamica dei flussi turbolenti derivanti dalle teorie canoniche della termodinamica. Restituiscono infatti tutte le grandezze caratterizzanti la termo-fluidodinamica dell'incendio nello spazio e nel tempo, compatibilmente con la discretizzazione

fatta in volumi finiti. Questo approccio è sviluppato attraverso i metodi agli elementi finiti e alle aperture, ma in realtà permettono di simulare anche spazi non compartimentati, come i *plumes* (cioè il pennacchio di fiamme e gas caldi che si eleva dalla regione di combustione) ed i camini.

Tra questi abbiamo:

- FDS (Fire Dynamics Simulator) per stanze con aperture (anche questo come CFast sviluppato dal gruppo di ricerca BFRL);
- Ansys CFX;
- Fluent.

Qualunque sia lo strumento che si intende utilizzare è di fondamentale importanza sottolineare che i modelli di incendio sono utilizzati per la previsione delle condizioni ambientali che durante un incendio forniscono una serie di informazioni utili per la progettazione; nel momento in cui, però, essi sono inevitabilmente affetti da errore, se una struttura è progettata in accordo con i risultati da essi prodotti, il progetto stesso riporterà l'errore.

Una sottostima della gravità delle conseguenze dell'incendio può portare a soluzioni progettuali che non garantiscono la sicurezza della persona, mentre risultati troppo conservativi possono portare ad una spesa inutilmente onerosa. Per questo motivo è importante poter valutare correttamente l'incertezza associata ai risultati. D'altro canto la necessità di svolgere analisi di sensitività sui dati di input e di incertezza sul modello utilizzato, che possono essere tradotti in fattori correttivi dei risultati ottenuti, è palese nell'ambito del processo di progettazione con metodi prestazionali ed è riconosciuta dalla norma NFPA⁶⁴914 al punto 6.7.1.

FDS

FDS è un modello sviluppato dal NIST che risolve numericamente, con metodo ai volumi finiti, le equazioni che governano la reazione di combustione ed i fenomeni di trasporto (di energia, di massa e di quantità di moto), tenendo conto dinamicamente delle mutue interazioni tra i processi, simulando in questo modo l'incendio e prevedendone gli effetti.

Il software contiene un modello di combustione che, a partire da un dato materiale, permette la modellazione dell'incendio secondo una determinata reazione chimica. La dinamica dell'incendio è poi simulata in base ai parametri che caratterizzano ciascun materiale presente nel dominio di simulazione, ciascuno con le proprie caratteristiche termiche e di reazione all'incendio. Il moto dei fumi generati dalla combustione all'interno del dominio di interesse viene calcolato mediante la risoluzione di una forma delle equazioni di Navier-Stokes appropriata per flussi termici lentamente variabili (Mach inferiore a 0.2).

Il modello di turbolenza utilizzato è quello K- ϵ tipico per la modellazione dei fenomeni di questo tipo ed è costituito da un insieme di due equazioni in cui sono calcolate l'energia cinetica della turbolenza (K) e la sua dissipazione. FDS è in grado di fornire come dati di uscita, previo un opportuno set-up della simulazione in modo che le quantità di interesse vengano effettivamente calcolate e misurate mediante "termocoppie virtuali", i valori di tutte le variabili, scalari e vettoriali, calcolate in ciascuna delle celle del dominio, utili alla comprensione dei fenomeni ed alla analisi degli effetti (concentrazioni delle specie chimiche, distribuzioni delle temperature / pressioni / velocità dei gas / fumi, visibilità, ...). FDS è stato oggetto di numerosi studi di validazione sia interni al NIST sia di enti esterni, pertanto, opportunamente utilizzato, è ritenuto un codice di calcolo di comprovata attendibilità.

⁶⁴ *National Fire Protection Association*

Ansys Cfx

Ansys cfx è un software di fluidodinamica numerica che consente di simulare e analizzare le prestazioni di sistemi e/o processi fisici con deflusso di fluidi in presenza o meno di scambio termico. Ansys cfx è in grado di simulare un'ampia gamma di fenomeni termo-fluidodinamici e fornisce un set completo di modelli fisici avanzati:

- flussi incomprimibili e comprimibili;
- scambio termico;
- turbolenza;
- terne rotanti;
- flussi multi-fase;
- flussi reagenti e combustione;
- radiazione;
- mesh mobili;
- interazione fluido-struttura;
- calcolo parallelo.

CFX è un codice “multi purpose”, quindi l'utente stesso deve implementare il modello matematico che descrive l'incendio.

CPI win

CPI win è la famiglia di software leader in Italia per risolvere in modo professionale, veloce e intuitivo tutte le problematiche legate al settore della prevenzione incendi. Nata nel 1995, oggi è l'unica suite che consente di operare secondo i nuovi indirizzi dell'Ingegneria della Sicurezza Antincendio (FSE). La suite permette di espletare tutte le pratiche legate all'ottenimento e al rinnovo del Certificato di Prevenzione Incendi, di progettare gli impianti antincendio, anche i più complessi e di verificare, con metodo tabellare e/o analitico, la resistenza al fuoco delle strutture. CPI win è l'unica suite in Italia che consente inoltre di analizzare il fenomeno dell'incendio e dell'evacuazione delle persone mediante vere e proprie simulazioni sulla base dei modelli FDS.

È costituito da un pre-processore che consente l'input dei dati e dei parametri fondamentali richiesti dal motore di calcolo FDS del NIST; lanciato il modulo e creato il video della simulazione (*smokeview*), il programma attiva un post-processore in grado di semplificare (tramite curve e diagrammi) la lettura e l'interpretazione dei risultati. Il pre-processore consente l'input dei dati tramite un semplice CAD, utilizzando linee e blocchi e definendone le proprietà (griglie di calcolo, muri, finestre, sonde, sprinkler, materiale di innesco, arredamento, ecc.), per creare l'intero layout ambientale. Eseguito il disegno, è possibile definire uno o più scenari di simulazione per poi attivare il motore di calcolo FDS, che genererà il video della simulazione di sviluppo e propagazione sia dell'incendio sia dei prodotti generati dalla combustione.

Per la corretta interpretazione di quanto ipotizzato e simulato, il post-processore fornisce i valori fondamentali e necessari, dall'andamento delle temperature, al livello di visibilità, alle percentuali di ossigeno, fino all'ottenimento, per ciascuna termocoppia inserita, della relativa curva tempo-temperatura (curva di incendio reale) da applicare alle strutture per calcolare analiticamente la resistenza al fuoco delle stesse (R) tramite i moduli CPI win REI.

12.4.3. Modelli di simulazione dell'esodo

Questi modelli permettono di simulare al calcolatore l'evacuazione considerando i principali fattori che concorrono a descrivere l'interazione tra persone-ambiente-incendio e possono essere utilizzati

con successo per uno studio dettagliato del processo d'evacuazione. L'intero procedimento di modellazione, soprattutto se riferito a scenari complessi, può però risultare temporalmente oneroso, quindi tali modelli risultano di difficile applicazione per una rapida valutazione del sistema d'esodo a fini gestionali e per scenari emergenziali.

La capacità di evacuazione di una infrastruttura in sotterraneo, in fase di progetto o verifica, fino a non molto tempo addietro, poteva essere valutata esclusivamente sulla base di criteri, relativamente semplici, basati sulla larghezza e sulla lunghezza dei percorsi di esodo. Questi parametri si fondano principalmente sulle lezioni apprese dagli incidenti del passato e sui risultati di esperimenti su scala reale: gli occupanti sono considerati prossimi alle uscite fin dal primo istante di evacuazione e il calcolo dei tempi di esodo è dedicato generalmente alle sole interfacce di connessione tra le varie parti della struttura, e tra questa e l'esterno. Al fine di ottenere schematizzazioni più realistiche della realtà, la ricerca scientifica ha cominciato a dedicare una notevole attenzione alla modellazione numerica anche nel campo dell'esodo, allargando l'ambito di esplorazione della sicurezza a strutture in cui sono presenti centinaia o migliaia di individui. Negli ultimi anni, pertanto, si è assistito allo sviluppo dei cosiddetti modelli di movimento condizionato dal comportamento, ossia basati, oltre che sul movimento, anche sul comportamento reciproco degli individui, simulato istante per istante anche in condizioni ambientali variabili nel tempo.

Nella definizione della strategia di evacuazione, è quindi necessario considerare che, ad esempio il sesso, l'età, la prontezza di riflessi, la mobilità, il grado di informazione e la familiarità degli occupanti sono alcuni dei fattori che influenzano il tempo di evacuazione e le modalità comportamentali in caso di emergenza. Anche la condizione del singolo occupante è da considerarsi una variabile importante: una persona sola o in gruppo, un frequentatore abituale o semplice visitatore hanno comportamenti diversi di fronte ad un'emergenza. Non minore importanza hanno certamente le caratteristiche dell'edificio, intese soprattutto come caratteristiche di progetto (larghezza e numero di uscite e di scale, ecc.) e dei sistemi di allertamento e segnalamento delle vie di fuga. Utili informazioni sui tempi di ritardo nell'esodo sono fornite dalla norma BS PD 7974-6.

Un modello d'esempio è Exodus, che serve a capire come si svolge e in che tempi (indicativi) avviene il movimento delle persone all'interno di un edificio.

Exodus

Exodus è un modello tra quelli impiegati per simulare l'evacuazione e quindi è un modello per la simulazione dell'esodo, che tiene in considerazione contemporaneamente i movimenti dei passeggeri e i loro comportamenti.

Considera non solo le caratteristiche fisiche ma tratta l'individuo come un agente attivo, in grado di reagire a stimoli esterni e ai pericoli in maniera individuale e personale, reagendo ad esempio al sopraggiungere di un incendio dopo un personale tempo di reazione, o scegliendo una determinata uscita di sicurezza.

12.4.4. Modelli di simulazione del comportamento strutturale in caso d'incendio

OSSA2D

Questo software svolge un'analisi elastica delle strutture planari, con un ampio catalogo di profili di carico, tipi e materiali. Permette ugualmente di tener conto di nodi semi-rigidi e degli effetti del secondo ordine P-Delta. L'introduzione dei dati e la visualizzazione dei risultati avviene in un'interfaccia *friendly* permettendo un facile accesso a diverse opzioni del software. Tra le

caratteristiche recentemente introdotte troviamo, fra l'altro, il calcolo dei carichi critici e dei modi propri della struttura e il calcolo e la rappresentazione delle linee di influenza.

SAFIR

Safir è un modello ad elementi finiti per il comportamento al fuoco delle strutture. Questo software calcola:

- l'evoluzione delle temperature in una struttura sottoposta al fuoco;
- l'evoluzione delle condizioni di equilibrio (sollecitazioni, deformazioni, spostamenti, momenti, ecc) della struttura riscaldata fino alla rottura.

Spostamenti di grandi dimensioni e proprietà non lineari dei materiali vengono prese in considerazione in strutture 2D o 3D. Alcuni file di esempio, così come il preprocessore grafica e post-processore e ulteriori informazioni sono a disposizione per il download al pubblico, ma la versione completa del software non è disponibile al pubblico.

12.4.5. Altri software

ClaRaF

Il programma, realizzato dell'Area V Protezione Passiva della DCPST dei Vigili del Fuoco, vuole rappresentare un passo iniziale per affrontare i nuovi e più moderni concetti introdotti dal decreto, e rappresentare un valido strumento per coloro che sono impegnati nell'attività di prevenzione incendi.

Il software applicativo "ClaRaF" serve per il calcolo del carico di incendio specifico di progetto e della classe del compartimento in applicazione del D. M. 9 marzo 2007.

In ClaRaF 1.2 (ormai la terza *release* del programma) è stata inserita inoltre una procedura che consente di tenere conto della presenza di elementi strutturali lignei, ai fini della classificazione di resistenza al fuoco, secondo le modalità stabilite nella Lettera Circolare n. 414/4122 sott. 55 del 28 marzo 2008: "DM 9 marzo 2007 - Prestazioni di resistenza al fuoco delle costruzioni nelle attività soggette al controllo del C.N.VV.F. Chiarimenti ed indirizzi applicativi".

AntiFuocus

AntiFuocus è il programma nato per affrontare in maniera semplice e professionale la progettazione antincendio nel pieno rispetto della normativa vigente.

Consente di effettuare le seguenti procedure:

- generazione automatica della relazione tecnica per l'esame del progetto da parte dei VV.F.;
- calcolo del carico d'incendio, verifica delle strutture e generazione automatica del Fascicolo per il SUAP;
- CAD per la composizione delle tavole grafiche con simbologia antincendio;
- archivio di oggetti grafici per percorsi d'esodo, idranti, naspi sprinkler, luci di emergenza, compartimentazione dei locali, distanze di sicurezza, segnaletica di sicurezza;
- richieste di deroga con calcolo automatico di importi ed ore;
- appendice normativa a supporto della redazione dei documenti;
- verifica tabellare della classe di resistenza delle strutture;
- computo automatico con PriMus-DCF di estintori, idranti, rivelatori, segnaletica antincendio, etc.;
- progettazione antincendio di attività generiche non dotate di regola tecnica (attività non normate).

Blumatica Antincendio

Blumatica Antincendio consente la valutazione analitica del rischio incendio e la relativa gestione ai sensi del D.L. 81/08, del D.M. 10 Marzo 1998 e del D.M. 9 Marzo 2007. La soluzione si rivolge a tutti i Professionisti della Sicurezza e consente di effettuare:

- la redazione, in formato Word, del documento di valutazione del rischio incendio che comprende:
 - o l'identificazione di materiali e sostanze pericolose e/o infiammabili, delle attrezzature pericolose, di eventuali sorgenti di innesco nonché dei lavoratori e di altre persone particolarmente esposte al rischio (diversamente abili, ecc.);
 - o le misure necessarie per l'eliminazione o la riduzione dei pericoli e la valutazione del rischio residuo d'incendio;
 - o il calcolo dettagliato del carico d'incendio specifico e specifico di progetto come previsto dal D.M. 09/03/2007, mediante l'utilizzo di un database professionale contenente l'elenco delle varie sostanze e materiali combustibili con relativo potere calorifico (in MJ/kg);
 - o la determinazione della classe dell'edificio;
 - o il calcolo delle vie di esodo e la larghezza ed il numero delle uscite di emergenza;
 - o la valutazione dell'adeguatezza delle misure di sicurezza con particolare attenzione alle misure tese alla riduzione della probabilità di insorgenza degli incendi, vie di esodo, rivelatori ed allarmi di incendio, impianti di estinzione incendi (allegati II, III e IV del D.M. 10.03.1998);
- la redazione di un dettagliato PEE (Piano di Emergenza ed Evacuazione) in formato Word con possibilità di integrazione con il modulo CAD interno o con il modulo opzionale BlumaticaCAD Antincendio per l'importazione degli elementi caratteristici e degli apprestamenti;
- la redazione e la gestione di check list specialistiche;
- l'elaborazione grafica degli apprestamenti antincendio con CAD integrato e possibilità di importare file DXF, DWG, WMF, BMP.

Esistono numerosi software che simulano i diversi aspetti coinvolti di un incendio: scenario, occupanti, struttura.

13. Prova di resistenza al fuoco del vetrocamera

I software utilizzati nelle analisi, OZone e CFAST, richiedono a quale temperatura o in quale momento le finestre e le porte si aprono; ciò può essere inteso sia a livello di scelta volontaria dell'utenza (ad esempio con il fine della fuga), oppure come rottura delle aperture vetrate a causa delle temperature troppo elevate.

In letteratura esistono articoli e sperimentazioni che illustrano il livello di resistenza al fuoco e quindi la temperatura di collasso dei vetri singoli, da tempo non più utilizzati nei paramenti murari in edilizia: queste fonti analizzano il comportamento dei vetri in caso di incendio, segnalano la temperatura della prima rottura intorno ai 280° e il collasso a circa 500°, con variazioni a seconda della posizione del serramento rispetto al prospetto, dello spessore del vetro, del tipo di simulazione (con incendio in una cella o su forno) e della presenza o meno dell'infisso. Un solo articolo⁶⁵ fra quelli indicati in bibliografia prende in considerazione la casistica del vetrocamera a confronto con quello singolo (utilizzati negli USA) e denuncia il fatto che quelli più recenti si rompono prima dei secondi, probabilmente per il loro ridotto spessore. Non potendo considerare esauriente la documentazione a nostra disposizione, abbiamo organizzato una prova sperimentale utilizzando come campioni due diversi tipi di vetrocamera⁶⁶, uno stratificato (come da progetto) e uno temperato.

Il vetro temperato ha migliori caratteristiche meccaniche e termiche rispetto al vetro float; proprio per il trattamento che subisce sono presenti al suo interno tensioni permanenti di compressione che bilanciano quelle di trazione provocate dalle sollecitazioni flettenti. La resistenza a flessione è aumentata da tre a cinque volte, ma in caso di rottura si divide in tanti piccoli frammenti, per questo è considerato il vetro di sicurezza quando l'unico obiettivo è la protezione contro il rischio di ferite dovute a schegge di vetro taglienti.

Nonostante sia usato da molti anni, il vetro di sicurezza tradizionale (singola lastra temperata), potrebbe correre il rischio di frantumarsi improvvisamente, a causa delle inclusioni di solfuro di nickel, con la possibilità di provocare pericolose cadute di frammenti di vetro. Il vetro stratificato di sicurezza si comporta in modo completamente differente, poiché due o più pannelli di vetro piano vengono stratificati insieme usando un interstrato polimerico (polivinilbutirrale ovvero PVB) che aderisce saldamente al vetro. Il risultato è un vetro stratificato molto trasparente, resistente ad agenti atmosferici, atti di vandalismo, esplosioni e altri rischi per la sicurezza. In caso di rottura i frammenti di vetro rimangono saldamente attaccati all'interstrato invece di precipitare come pericolosi proiettili, danneggiando persone, apparecchiature o mobili; per questo ultimamente si preferiscono nell'edilizia pubblica a quelli temperati.

Di seguito riportiamo le schede tecniche relative ad entrambi.

⁶⁵ S. Kerber, *Analysis of changing residential fire dynamics and its implications on firefighter operational timeframes*, Springer Science+Business Media, LLC. Manufactured in The United States, 2011

⁶⁶ Gentilmente forniti dalla Vetraria Cogliati di Lissone (MB, viale della Repubblica, 85)

Vetro stratificato

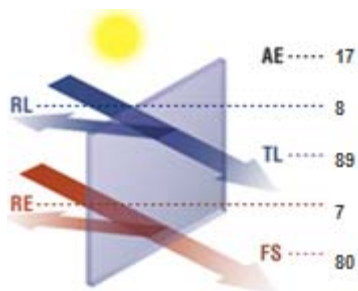


Figura 723 - Lastra singola interna Stratobel 33.1 (3 mm Planibel Clear + 0.38 mm clear pvb + 3 mm Planibel Clear)

Proprietà termiche (EN 673)			
Valore Ug (W/(m ² .K))	5,7		
Caratteristiche luminose (EN 410)			
Trasmissione luminosa (τ_v)	89		
Riflessione luminosa (ρ_v)	8		
Riflessione interna (ρ_{vi})	8		
Indice di resa dei colori - RD65 (R_a)	99		
Caratteristiche energetiche		EN 410	ISO 9050
Trasmissione energetica diretta (τ_e)	76	74	
Riflessione energetica (ρ_e)	7	7	
Assorbimento energetico (α_e)	17	19	
Fattore solare (g)	80	79	
Coefficiente di shading (SC)	0,92	0,91	
Trasmissione dei raggi ultravioletti (UV)	0		
Schattenfaktor (DE) (b-Faktor)		99,0	
Altre caratteristiche			
Resistenza al fuoco (EN 13501-2)	ND ⁶⁷		
Reazione al fuoco (EN 13501-1)	ND		
Resistenza ai proiettili (EN 1063)	ND		
Resistenza agli attacchi manuali (EN 356)	ND		
Resistenza agli urti (Prova del pendolo) (EN 12600)	2B2		
Isolamento al rumore aereo diretto (EN 12758 - Rw (C;Ctr): dB)	32 (-1, -3)		

Tabella 106 - Scheda tecnica lastra singola interna vetro stratificato Stratobel 33.1 (3 mm Planibel Clear + 0.38 mm clear pvb + 3 mm Planibel Clear)

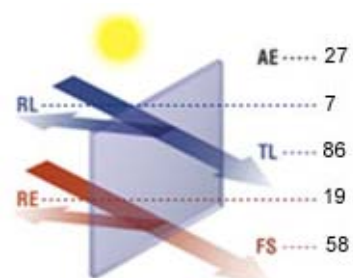


Figura 724 - Lastra singola esterna vetro stratificato Stratobel Low-e 33.1 I-Top (Planibel Clear + Planibel I-Top)

⁶⁷ Non disponibile

Proprietà termiche (EN 673)			
Valore Ug (W/(m².K))	3,2		
Caratteristiche luminose (EN 410)			
Trasmissione luminosa (τ_v)	86		
Riflessione luminosa (ρ_v)	7		
Riflessione interna (ρ_{vi})	6		
Indice di resa dei colori - RD65 (R_a)	98		
Caratteristiche energetiche		EN 410	ISO 9050
Trasmissione energetica diretta (τ_e)	54	51	
Riflessione energetica (ρ_e)	19	19	
Assorbimento energetico (α_e)	27	30	
Fattore solare (g)	58	55	
Coefficiente di shading (SC)	0,67	0,63	
Trasmissione dei raggi ultravioletti (UV)	0		
Schattenfaktor (DE) (b-Faktor)		69,0	
Altre caratteristiche			
Resistenza al fuoco (EN 13501-2)	ND		
Reazione al fuoco (EN 13501-1)	ND		
Resistenza ai proiettili (EN 1063)	ND		
Resistenza agli attacchi manuali (EN 356)	ND		
Resistenza agli urti (Prova del pendolo) (EN 12600)	2B2		
Isolamento al rumore aereo diretto (EN 12758 - Rw (C;Ctr): dB)	32 (-1, -3)		

Tabella 107 - Scheda tecnica lastra singola esterna vetro stratificato Stratobel Low-e 33.1 I-Top (Planibel Clear + Planibel I-Top)

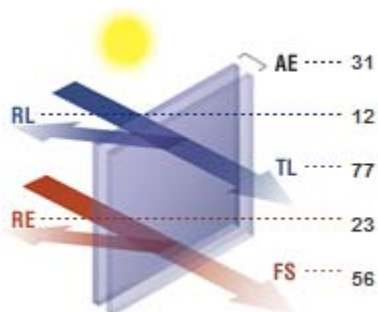


Figura 725 - Vetrocamera Stratobel 33.1 - 15 mm Argon 90% - Stratobel Low-e 33.1 I-Top (Planibel I-Top + Planibel Clear)

Proprietà termiche (EN 673)			
Valore Ug (W/(m².K))	1,1		
Caratteristiche luminose (EN 410)			
Trasmissione luminosa (τ_v)	77		
Riflessione luminosa (ρ_v)	12		
Riflessione interna (ρ_{vi})	13		
Indice di resa dei colori - RD65 (R_a)	96		
Caratteristiche energetiche		EN 410	ISO 9050
Trasmissione energetica diretta (τ_e)	46	43	
Riflessione energetica (ρ_e)	23	23	
Assorbimento energetico (α_e)	31	34	
Assorbimento energetico vetro 1 ($\alpha_{e(1)}$)	21	24	

Assorbimento energetico vetro 2 ($\alpha_{e(2)}$)	10	10
Fattore solare (g)	56	53
Coefficiente di shading (SC)	0,64	0,61
Trasmissione dei raggi ultravioletti (UV)	0	
Schattenfaktor (DE) (b-Faktor)		66,0
Altre caratteristiche		
Resistenza al fuoco (EN 13501-2)		ND
Reazione al fuoco (EN 13501-1)		ND
Resistenza ai proiettili (EN 1063)		ND
Resistenza agli attacchi manuali (EN 356)		ND
Resistenza agli urti (Prova del pendolo) (EN 12600)		2B2
Isolamento al rumore aereo diretto (EN 12758 - R_w (C;Ctr): dB)		36 (-1, -5)

Tabella 108 - Scheda tecnica vetrocamera Stratobel 33.1 - 15 mm Argon 90% - Stratobel Low-e 33.1 I-Top (Planibel I-Top + Planibel Clear)

Vetro temperato

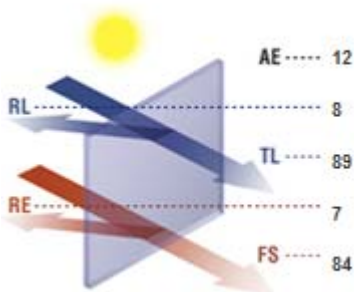


Figura 726 - Lastra singola interna vetro temperato 6 mm Planibel Clear

Proprietà termiche (EN 673)			
Valore Ug (W/(m ² .K))	5,7		
Caratteristiche luminose (EN 410)			
Trasmissione luminosa (τ_v)	89		
Riflessione luminosa (ρ_v)	8		
Riflessione interna (ρ_{vi})	8		
Indice di resa dei colori - RD65 (R_a)	99		
Caratteristiche energetiche		EN 410	ISO 9050
Trasmissione energetica diretta (τ_e)	81	80	
Riflessione energetica (ρ_e)	7	7	
Assorbimento energetico (α_e)	12	13	
Fattore solare (g)	84	84	
Coefficiente di shading (SC)	0,97	0,97	
Trasmissione dei raggi ultravioletti (UV)	56		
Schattenfaktor (DE) (b-Faktor)			105,0
Altre caratteristiche			
Resistenza al fuoco (EN 13501-2)	ND		
Reazione al fuoco (EN 13501-1)	A1		
Resistenza ai proiettili (EN 1063)	ND		
Resistenza agli attacchi manuali (EN 356)	ND		

Resistenza agli urti (Prova del pendolo) (EN 12600)	ND
Isolamento al rumore aereo diretto (EN 12758 - R_w (C;Ctr): dB)	31 (-2, -3)

Tabella 109 - Scheda tecnica lastra singola interna vetro temperato 6 mm Planibel Clear

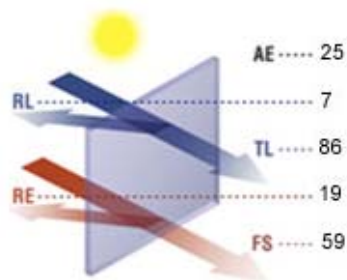


Figura 727 - Lastra singola esterna vetro temperato 6 mm Planibel I - Top

Proprietà termiche (EN 673)			
Valore Ug (W/(m ² .K))	3,2		
Caratteristiche luminose (EN 410)			
Trasmissione luminosa (τ_v)	86		
Riflessione luminosa (ρ_v)	7		
Riflessione interna (ρ_{vi})	5		
Indice di resa dei colori - RD65 (R_a)	97		
Caratteristiche energetiche		EN 410	ISO 9050
Trasmissione energetica diretta (τ_e)	56	52	
Riflessione energetica (ρ_e)	19	21	
Assorbimento energetico (α_e)	25	27	
Fattore solare (g)	59	56	
Coefficiente di shading (SC)	0,68	0,64	
Trasmissione dei raggi ultravioletti (UV)	25		
Schattenfaktor (DE) (b-Faktor)		70,0	
Altre caratteristiche			
Resistenza al fuoco (EN 13501-2)	ND		
Reazione al fuoco (EN 13501-1)	A1		
Resistenza ai proiettili (EN 1063)	ND		
Resistenza agli attacchi manuali (EN 356)	ND		
Resistenza agli urti (Prova del pendolo) (EN 12600)	ND		
Isolamento al rumore aereo diretto (EN 12758 - R_w (C;Ctr): dB)	31 (-2, -3)		

Tabella 110 - Scheda tecnica lastra singola esterna vetro temperato 6 mm Planibel I - Top

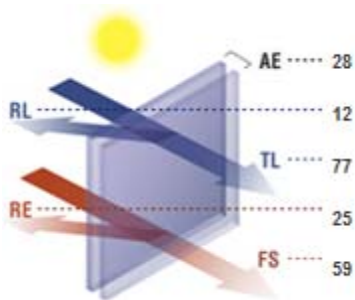


Figura 728 - Vetrocamera temperato 6 mm Planibel Clear - 15 mm Argon 90% - 6 mm Planibel I - Top

Proprietà termiche (EN 673)			
Valore Ug (W/(m ² .K))	1,1		
Caratteristiche luminose (EN 410)			
Trasmissione luminosa (τ_v)	77		
Riflessione luminosa (ρ_v)	12		
Riflessione interna (ρ_{vi})	13		
Indice di resa dei colori - RD65 (R_a)	96		
Caratteristiche energetiche		EN 410	ISO 9050
Trasmissione energetica diretta (τ_e)	47	45	
Riflessione energetica (ρ_e)	25	27	
Assorbimento energetico (α_e)	28	28	
Assorbimento energetico vetro 1 ($\alpha_{e(1)}$)	15	17	
Assorbimento energetico vetro 2 ($\alpha_{e(2)}$)	13	11	
Fattore solare (g)	59	56	
Coefficiente di shading (SC)	0,68	0,64	
Trasmissione dei raggi ultravioletti (UV)	20		
Schattenfaktor (DE) (b-Faktor)			70,0
Altre caratteristiche			
Resistenza al fuoco (EN 13501-2)	ND		
Reazione al fuoco (EN 13501-1)	ND		
Resistenza ai proiettili (EN 1063)	ND		
Resistenza agli attacchi manuali (EN 356)	ND		
Resistenza agli urti (Prova del pendolo) (EN 12600)	ND / ND		
Isolamento al rumore aereo diretto (EN 12758 - R_w (C;Ctr): dB)	32 (-1, -3)		

Tabella 111 - Scheda tecnica vetrocamera 6 mm Planibel Clear - 15 mm Argon 90% - 6 mm Planibel I - Top

13.1. Allestimento della prova⁶⁸

La fase preliminare dell'esperimento è consistita nella preparazione per l'applicazione dei sensori sui vetrocamera. Per la misurazione della pressione interna, sono stati praticati dei forellini in corrispondenza dell'intercapedine di ciascun vetro, debitamente sigillati con colla siliconica dopo l'inserimento dell'estremità del trasduttore. Sono stati applicati sulla superficie del vetro esposta quattro termocoppie di tipo K⁶⁹ disposte in modo da avere un'idea di temperatura per ogni quadrante; sulle superfici non esposte ne sono state incollate due.

⁶⁸ Riferimento alla UNI EN 1363-1 "Prove di resistenza al fuoco"

⁶⁹ In Chromel (Ni-Cr) (+)/Alumel (Ni-Al) (-). Sono termocoppie di uso generale, economiche e disponibili in una grande varietà di formati. Il loro intervallo di misura va da -200 C a 1260 C. La sensibilità è di circa 41 μ V/°C.



Figura 729 - Foratura della superficie metallica in corrispondenza dell'intercapedine



Figura 730 - Sigillatura del foro



Figura 731 - I due vetrocamera con sonde applicate sulla superficie interna

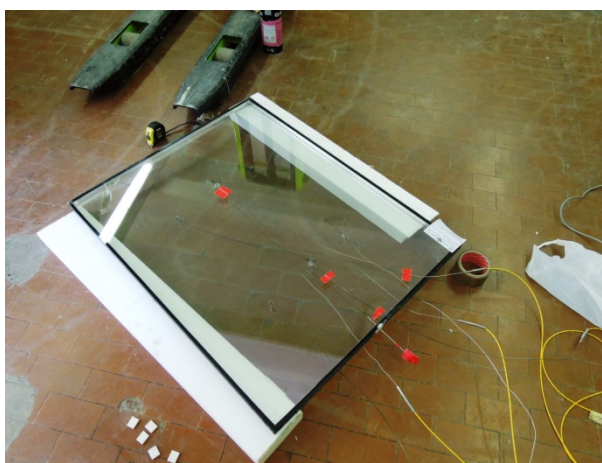


Figura 732 - Vetrocamera con sonde applicate sulla superficie esterna

È stato poi preparato il software per l'acquisizione dei dati. Labview 7.1 è stato utile per guidare tutto il processo di acquisizione di parametri relativi alla temperatura, alla pressione, alla curva di incendio da seguire e a quelli grafici. Con una struttura simile a quella che si usa nella progettazione in campo elettrico, si è riusciti a coordinare l'ingresso di diversi valori: scelta una curva di riferimento ottenuta con le analisi di CFast a porte e finestre chiuse, è stato definito un intervallo di tempo per registrare simultaneamente le diverse misure: le termocoppie erano otto in totale, di cui la prima posta nel forno⁷⁰ per misurarne la temperatura, le successive relative al vetrocamera e l'ultima riferita alla temperatura dell'aria vicino alla telecamera.

⁷⁰ Le termocoppie del forno devono essere termometri a piastra formati da un assieme di una piastra di acciaio piegato, della termocoppia ad essa fissata e del materiale isolante in essa contenuto. L'assieme costituito da piastra e termocoppia deve essere munito di un tampone di materiale isolante inorganico.



Figura 733 - Schermata di Labview 7.1



Figura 734 - Preparazione strumenti di lavoro: computer, schermo grande, multimetro, alimentatore, condizionatore-amplificatore per termocoppie



Figura 735 - Termocoppia relativa al forno

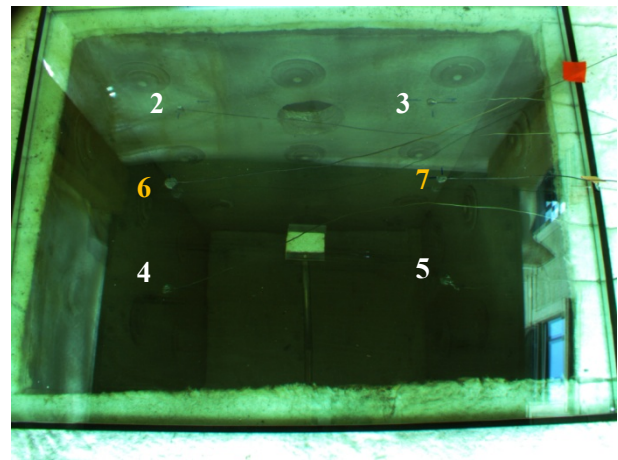


Figura 736 - Disposizione delle termocoppie

Alcuni passi sono stati registrati anche attraverso scatti fotografici programmati a intervalli di tempo stabiliti. Provando a scattare qualche foto, con una macchina fotografica su un treppiede di fronte al forno, prima dell'avvio della simulazione vera e propria, ci siamo accorti che la sua posizione implicava un riflesso della volta celeste che creava disturbo per la comprensione e la resa dell'immagine. È stato quindi necessario costruire un tetto sopra il forno: pilastri in legno ai quattro spigoli reggevano una tettoia, anch'essa in legno, sulla quale è stato fissato un telo che copriva i lati da cui arrivava maggior riflesso.



Figura 737 - Disposizione del vetro sul forno



Figura 738 - Lanciafiamme in funzione



Figura 739 - Forno



Figura 740 - Forno con strutture anti-riflesso

Il forno è una scatola di dimensioni interne (0,8 x 0,6) m e altezza 1,20 m con un foro di diametro 100 mm situato nella parte bassa di un lato per la sistemazione del lanciafiamme. Sul fondo è stato sistemato uno strato di fibra ceramica per poter rimuovere facilmente in un secondo momento i pezzi di vetro che prevedevamo sarebbero caduti all'interno; lo stesso materiale è stato appoggiato ai bordi superiori come guarnizione per evitare, una volta disposti i campioni, perdite di calore.

Ha preso quindi avvio la simulazione con il vetro stratificato. Di seguito si riportano gli eventi significativi dell'esperimento.

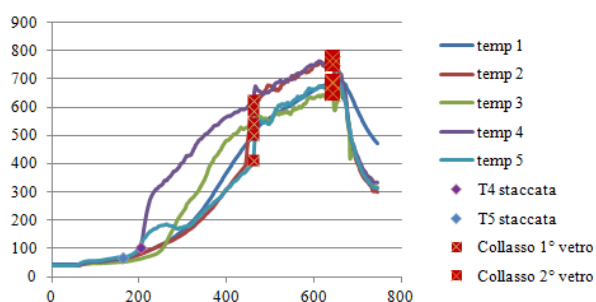


Figura 741 - Grafico temperatura-tempo dei sensori di temperatura interni

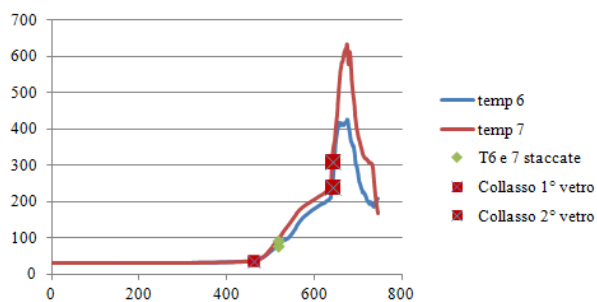


Figura 742 - Grafico temperatura-tempo dei sensori di temperatura esterna

- Termocoppia 5 si stacca allo step 48 (1618 s)
- Termocoppia 4 si stacca allo step 81 (203 s)
- Allo step 340 si rompe il vetro esposto (461 s)
- Termocoppia 6 e 7 si staccano allo step 395 (516 s)
- Allo step 512 collassa anche l'ultimo strato di vetro (641 s).

Successivamente con il vetro temperato:

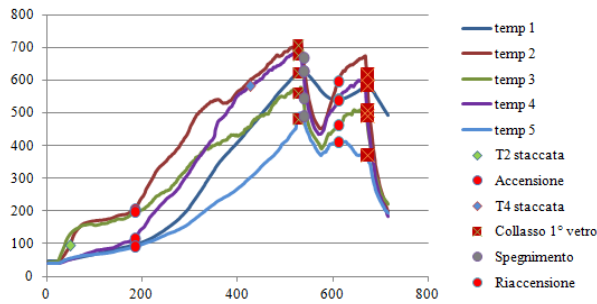


Figura 743 - Grafico temperatura-tempo dei sensori di temperatura interni

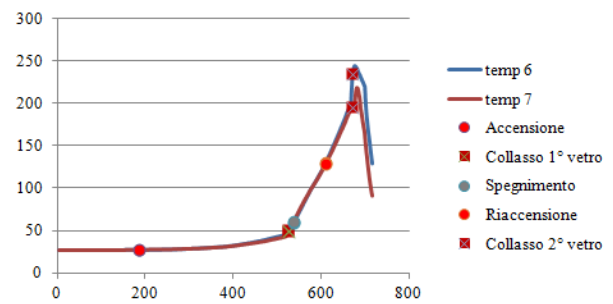


Figura 744 - Grafico temperatura-tempo dei sensori di temperatura esterna

- Termocoppia 2 si stacca allo step 29 (50 s)
- Fiamma dalla 117 (185 s)
- Termocoppia 4 si stacca allo step 356 (426 s)
- Allo step 455 si rompe il vetro esposto (526 s)
- Fuoco spento dalla 466 (538 s) alla 538 (611 s)
- Allo step 598 si rompe anche l'ultimo strato di vetro (672 s).

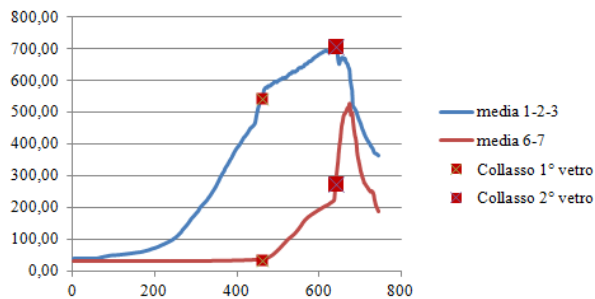


Figura 745 - Grafico temperatura-tempo delle medie delle temperature interne ed esterne per il vetro stratificato

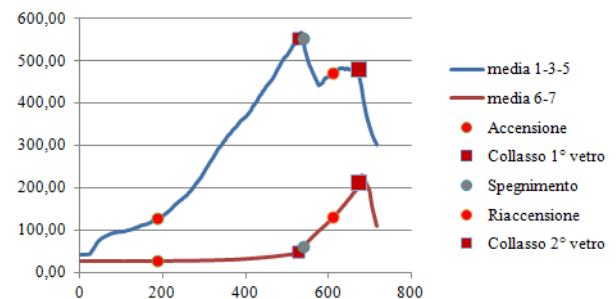
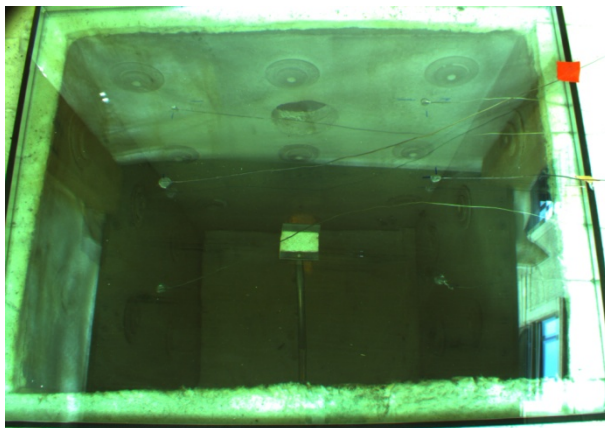
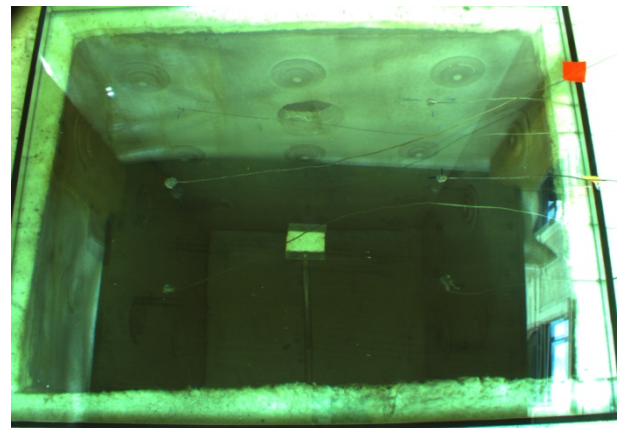


Figura 746 - Grafico temperatura-tempo delle medie delle temperature interne ed esterne per il vetro temperato



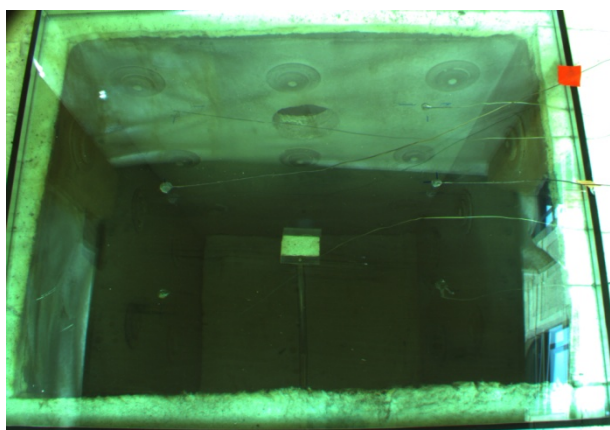
Tempo	Temp 1	Temp 2	Temp 3	Temp 4
56,58	41,4	38,6	39,5	38,4
Tempo ISO	Temp 5	Temp 6	Temp 7	Temp 8
0	40,7	28,7	28,9	27,9

Figura 747 - Step 6 vetro stratificato, momento iniziale



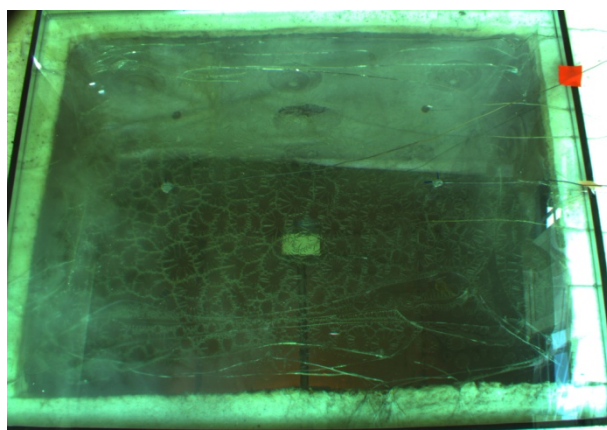
Tempo	Temp 1	Temp 2	Temp 3	Temp 4
203,08	80,0	78,8	63,1	103,9
Tempo ISO	Temp 5	Temp 6	Temp 7	Temp 8
140,60	105,3	28,8	29,0	27,8

Figura 748 - Step 81 vetro stratificato, si stacca la termocoppia 4



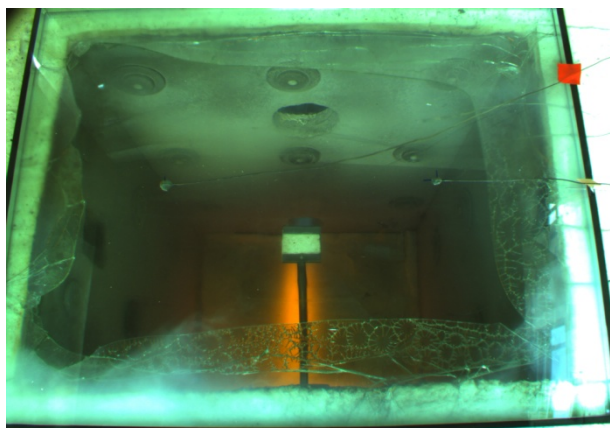
Tempo	Temp 1	Temp 2	Temp 3	Temp 4
265,68	154,0	123,8	120,6	129,7
Tempo ISO	Temp 5	Temp 6	Temp 7	Temp 8
203,30	184,2	29,1	29,3	27,9

Figura 749 - Step 143 vetro stratificato, prima crepa nell'angolo in basso a sinistra



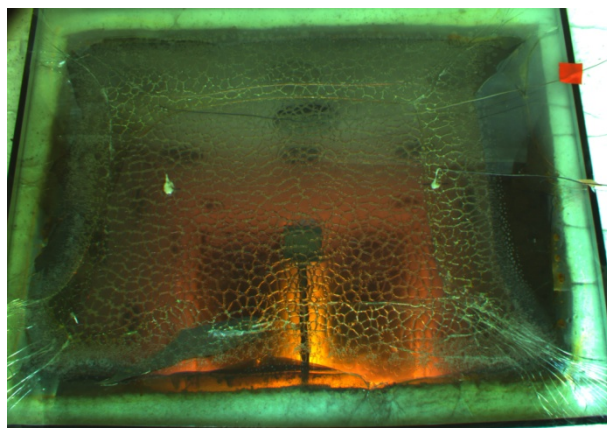
Tempo	Temp 1	Temp 2	Temp 3	Temp 4
453,88	489,6	486,2	537	533,9
Tempo ISO	Temp 5	Temp 6	Temp 7	Temp 8
391,40	388,5	34,0	33,4	27,9

Figura 750 - Step 332 vetro stratificato, poco prima della rottura dello strato più esposto



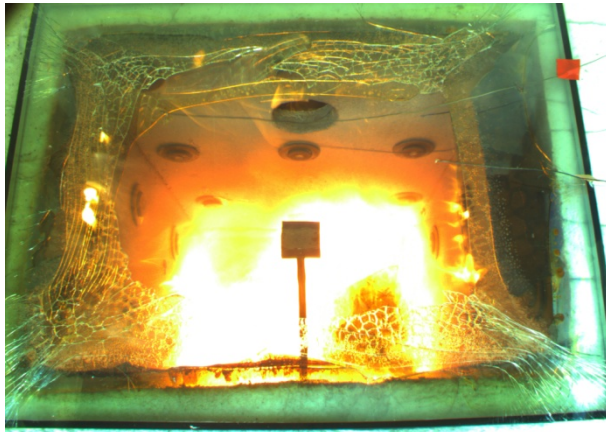
Tempo	Temp 1	Temp 2	Temp 3	Temp 4
464,33	514,4	509,0	604,9	541,7
Tempo ISO	Temp 5	Temp 6	Temp 7	Temp 8
401,85	469,7	35,0	34,8	28,0

Figura 751 - Step 343 vetro stratificato, rottura della prima lastra



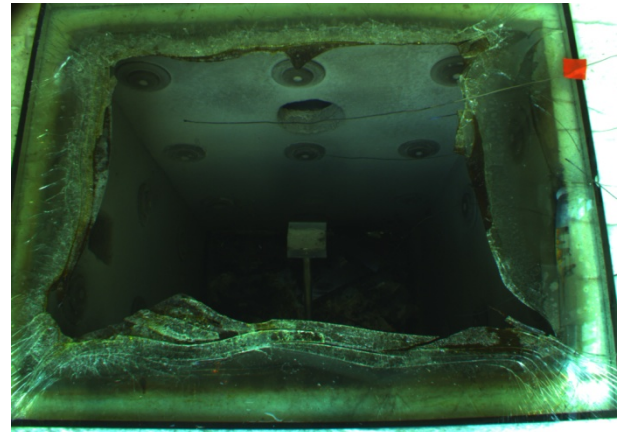
Tempo	Temp 1	Temp 2	Temp 3	Temp 4
635,33	685,1	750,9	643,8	740,7
Tempo ISO	Temp 5	Temp 6	Temp 7	Temp 8
572,85	671,0	206,2	232,6	27,9

Figura 752 - Step 507 vetro stratificato, poco prima della rottura della seconda lastra



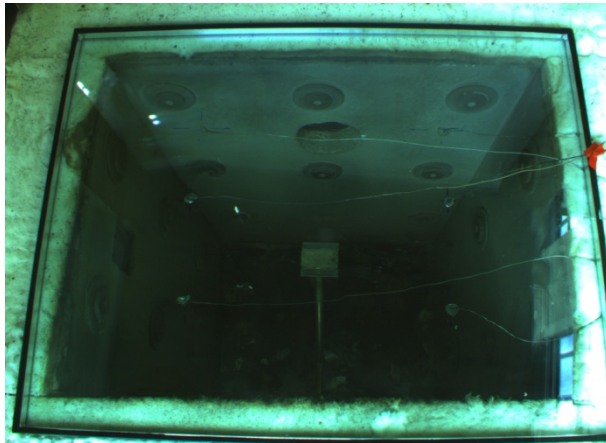
Tempo	Temp 1	Temp 2	Temp 3	Temp 4
641,03	690,3	774,9	648,5	752,1
Tempo ISO	Temp 5	Temp 6	Temp 7	Temp 8
578,55	685,6	238,9	310,3	27,9

Figura 753 - Step 512 vetro stratificato, rottura dell'ultima lastra



Tempo	Temp 1	Temp 2	Temp 3	Temp 4
743,63	476,0	300,8	319,5	333,2
Tempo ISO	Temp 5	Temp 6	Temp 7	Temp 8
681,15	313,1	205,2	178,6	27,7

Figura 754 - Step 605 vetro stratificato, dopo aver spento l'incendio della pellicola PVB



Tempo	Temp 1	Temp 2	Temp 3	Temp 4
39,60	48,6	68,6	100,4	46,5
Tempo ISO	Temp 5	Temp 6	Temp 7	Temp 8
8,55	49,1	26,8	27,0	26,3

Figura 755 - Step 18 vetro temperato, momento iniziale



Tempo	Temp 1	Temp 2	Temp 3	Temp 4
50,05	51,3	95,6	130,5	51,9
Tempo ISO	Temp 5	Temp 6	Temp 7	Temp 8
19,00	54,8	26,8	27,0	26,4

Figura 756 - Step 29 vetro temperato, si stacca la termocoppia 2



Tempo	Temp 1	Temp 2	Temp 3	Temp 4
185,90	96,0	206,7	197,4	117,1
Tempo ISO	Temp 5	Temp 6	Temp 7	Temp 8
154,85	91,0	27,2	27,6	26,3

Figura 757 - Step 117 vetro temperato, accensione della fiamma



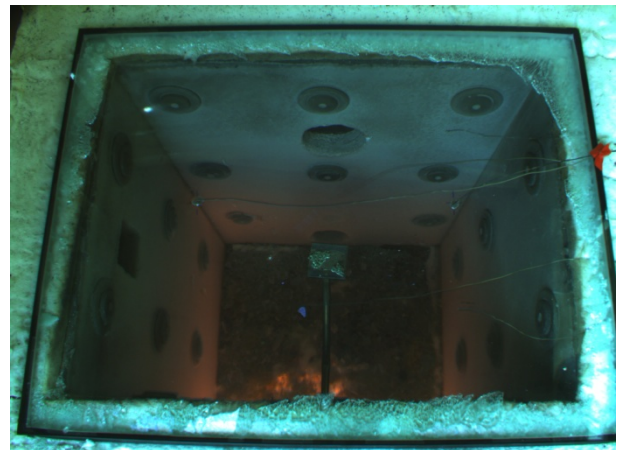
Tempo	Temp 1	Temp 2	Temp 3	Temp 4
426,25	453,3	598,4	457,5	581,1
Tempo ISO	Temp 5	Temp 6	Temp 7	Temp 8
395,20	300,8	34,4	34,0	26,3

Figura 758 - Step 356 vetro temperato, si stacca la termocoppia 4



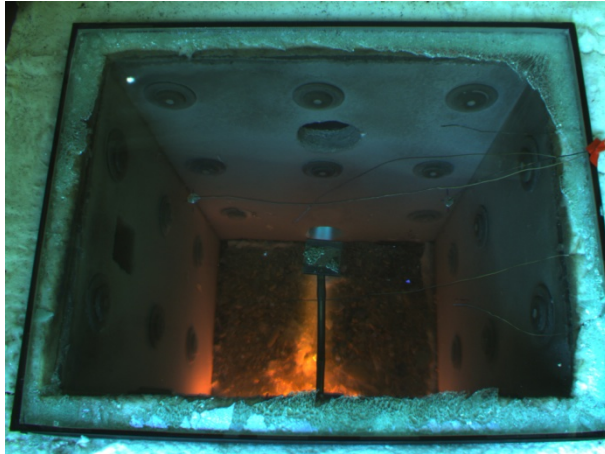
Tempo	Temp 1	Temp 2	Temp 3	Temp 4
520,30	614,1	702,8	568,8	682,7
Tempo ISO	Temp 5	Temp 6	Temp 7	Temp 8
489,25	448,4	45,3	43,3	26,3

Figura 759 - Step 449 vetro temperato, poco prima della rottura della prima lastra



Tempo	Temp 1	Temp 2	Temp 3	Temp 4
530,75	624,5	717,1	568,5	685,2
Tempo ISO	Temp 5	Temp 6	Temp 7	Temp 8
499,70	499,7	52,9	52,6	26,3

Figura 760 - Step 459 vetro temperato, rottura della prima lastra



Tempo	Temp 1	Temp 2	Temp 3	Temp 4
666,60	578,3	672,7	510,1	602,5
Tempo ISO	Temp 5	Temp 6	Temp 7	Temp 8
635,55	376,3	196,7	191,3	26,1

Figura 761 - Step 593 vetro temperato, poco prima della rottura della seconda lastra



Tempo	Temp 1	Temp 2	Temp 3	Temp 4
677,05	578,5	512,2	426,5	439,5
Tempo ISO	Temp 5	Temp 6	Temp 7	Temp 8
646,00	348,1	243,8	198,0	26,1

Figura 762 - Step 603 vetro temperato, rottura della seconda lastra

Tenendo presente che l'esperimento è stato condotto con una certa ristrettezza di mezzi e con un forno orizzontale, che quindi non riproduce la situazione del serramento posto verticalmente sul prospetto e senza la possibilità di esporlo gradualmente a un gradiente termico (realisticamente la zona calda investirebbe dall'alto il vetro), i risultati mostrano comunque una certa differenza rispetto a quelli illustrati nei riferimenti: dai 280° per la prima rottura e dai 500° per il collasso del vetro singolo, si passerebbe ai 580° e circa 650° per il vetrocamera. Ciò comporta un cambiamento delle aspettative per gli scenari di incendio ipotizzati.

14. Analisi degli scenari di incendio

Per le analisi sugli scenari di incendio abbiamo scelto di utilizzare due software, OZone e CFast. Il primo opera sulla singola stanza e punta l'attenzione sulla resistenza della struttura, poiché il tempo di simulazione a disposizione è di 2 ore, mentre il secondo permette di concentrarsi sulla sicurezza delle persone, trattando la prima fase dell'incendio.

14.1. OZone

Le analisi di OZone sugli scenari di incendio sono state svolte partendo dai risultati ottenuti da quelle illuminotecniche e termiche: la soluzione di aperture e pacchetti più vantaggiosa è diventata la base per le simulazioni. I casi esaminati⁷¹ sono quindi:

1. pacchetto migliorativo + finestre modificate⁷²;
2. pacchetto migliorativo + finestre modificate + vetro singolo⁷³;
3. pacchetto migliorativo + finestre di progetto;
4. pacchetto di progetto + finestre modificate;
5. pacchetto con isolamento interno⁷⁴ + finestre modificate.

L'opzione 5, che a livello termico per edifici di nuova costruzione sarebbe obsoleta, sarebbe ragionevole nel caso di ristrutturazione di fabbricati esistenti.

Si definiscono solo i primi quattro strati di ogni elemento murario poiché la trasmissione del calore attraverso l'intero spessore del pacchetto impiegherebbe un tempo maggiore di quello di simulazione. L'incendio è stato calcolato impostando i coefficienti di riduzione corrispondenti ai sistemi antincendio pari a 1 (quindi come se non vi fossero dispositivi attivi), per valutarne la potenza senza restrizioni.

Le aperture inserite sono quelle vetrate, con larghezza pari alla somma di quelle con la stessa dimensione, appartenenti allo stesso lato; la variazione di temperatura è stata impostata come lineare, inserendone una di rottura pari a 650°, valore che rispetta i risultati della sperimentazione sul vetrocamera. La durata di ogni analisi è pari a 120 minuti.

Per ciascuna stanza sono stati riportati i grafici relativi alla temperatura della zona calda, della zona fredda e, di quest'ultima, l'altezza.

14.1.1. Mensa

È stata utilizzata l'opzione di compartimento irregolare, a causa della geometria complessa dell'ambiente, lavorando su un rettangolo equivalente che abbia la stessa area e perimetro della figura

⁷¹ Generalmente si considera il vetrocamera utilizzato attualmente, tranne dove specificato.

⁷² Nel caso della mensa con l'aggiunta del lucernario. Per la palestra invece è risultata più conveniente la configurazione delle finestre di progetto, quindi i suoi casi si sviluppano in questo modo:

1. pacchetto migliorativo + finestre di progetto;
2. pacchetto migliorativo + finestre di progetto + vetro singolo;
3. pacchetto migliorativo + finestre modificate;
4. pacchetto di progetto + finestre di progetto;
5. pacchetto con isolamento interno + finestre di progetto.

⁷³ Rottura a 500°.

⁷⁴ Descritto a pagina 235.

di progetto; per questo motivo i muri definiti in per questa stanza sono solo tre, essendoci tre tipi di stratigrafia diversi.

14.1.1.1. Caso 1

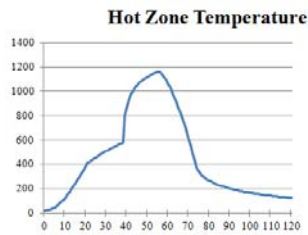


Figura 763 - Temperatura dello strato caldo

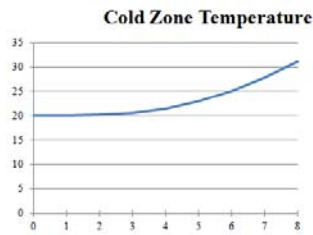


Figura 764 - Temperatura dello strato freddo

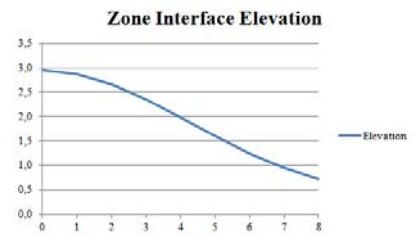


Figura 765 - Altezza dello strato freddo

Per l'opzione con pacchetto migliorativo e finestre modificate, la temperatura della zona calda si evolve gradualmente, subisce una variazione in corrispondenza della rottura dei vetri con un'impennata improvvisa, raggiungendo il picco di quasi 1200° dopo quasi un'ora dall'inizio dell'incendio, per iniziare poi una fase di decadimento. La temperatura dello strato freddo invece, seguendo un andamento parabolico, viene sondata solo per i primi 8 minuti, al termine dei quali si assesta sui 31°, mentre la sua altezza cala progressivamente nello stesso tempo a 70 cm da terra.

14.1.1.2. Caso 2⁷⁵

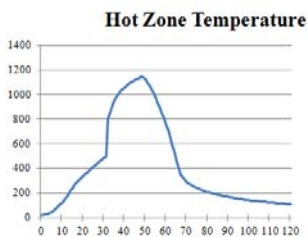


Figura 766 - Temperatura dello strato caldo

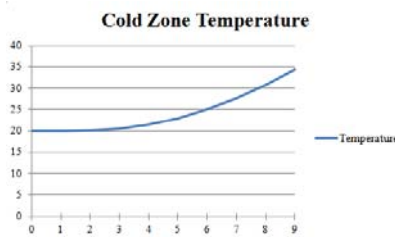


Figura 767 - Temperatura dello strato freddo

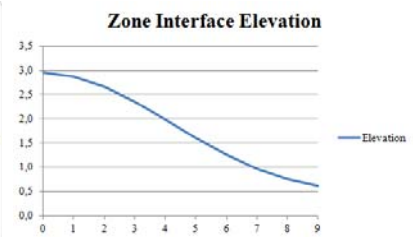


Figura 768 - Altezza dello strato freddo

Inserendo al posto del vetro moderno, quello singolo, il picco giunge ancora in prossimità dei 1200° ma entro 50 minuti dall'inizio dell'incendio, per iniziare poi una fase di decadimento. La temperatura dello strato freddo si comporta in modo simile al caso precedente ma arriva quasi a 35°, mentre la sua altezza cala progressivamente nello stesso tempo a 60 cm da terra.

14.1.1.3. Caso 3

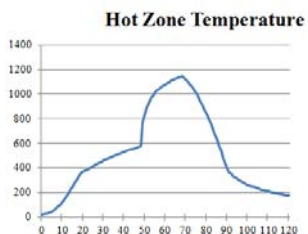


Figura 769 - Temperatura dello strato caldo

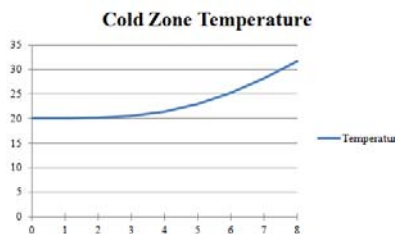


Figura 770 - Temperatura dello strato freddo

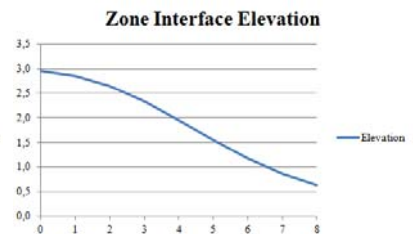


Figura 771 - Altezza dello strato freddo

Mantenendo il pacchetto alternativo, ma utilizzando la configurazione delle finestre di progetto si nota che i grafici sono simili al caso 1.

⁷⁵ Nei casi successivi al primo si riportano solo le schermate nelle quali sono state fatte delle modifiche.

14.1.1.4. Caso 4

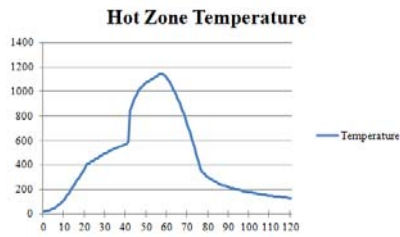


Figura 772 - Temperatura dello strato caldo

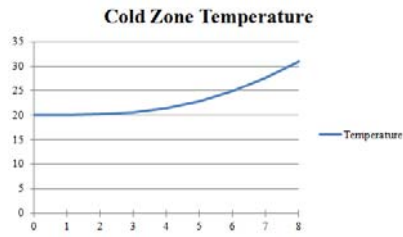


Figura 773 - Temperatura dello strato freddo

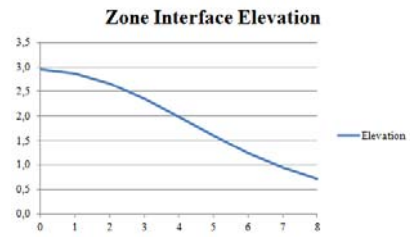


Figura 774 - Altezza dello strato freddo

Quando si utilizza il pacchetto murario di progetto associato alle finestre modificate, le curve presentano somiglianze ancora con il caso 1.

14.1.1.5. Caso 5

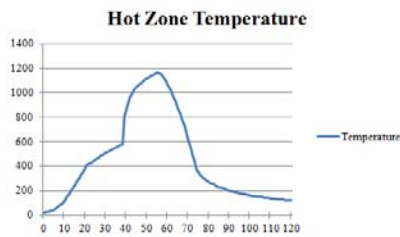


Figura 775 - Temperatura dello strato caldo

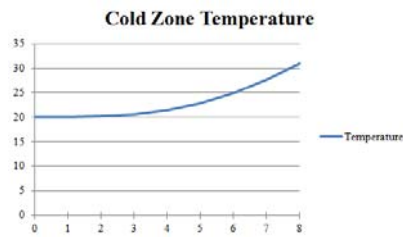


Figura 776 - Temperatura dello strato freddo

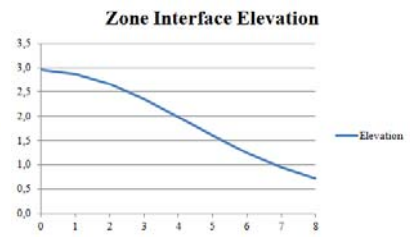


Figura 777 - Altezza dello strato freddo

Impostando il pacchetto con isolamento interno e conservando la modifica alle finestre, apparentemente non vi sono grandi differenze dalle analisi precedenti, ma considerazioni più approfondite saranno fatte in sede di confronto diretto.

14.1.1.6. Confronto fra i casi

Temperatura zona calda

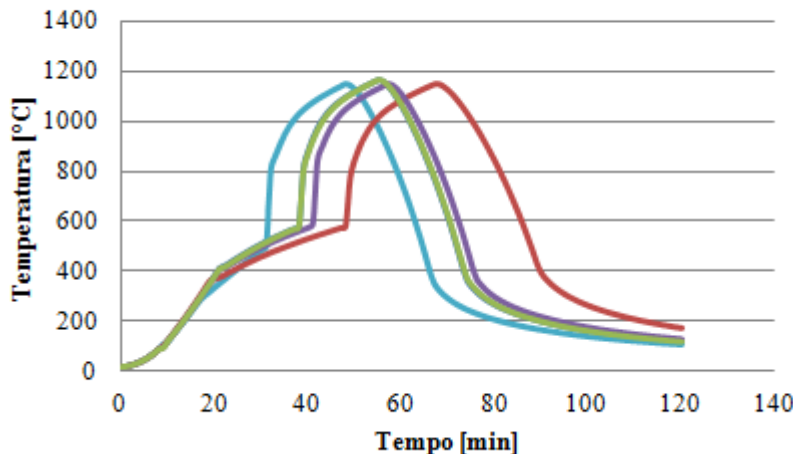


Figura 778 - Confronto fra temperature dello strato caldo

Temperatura zona fredda

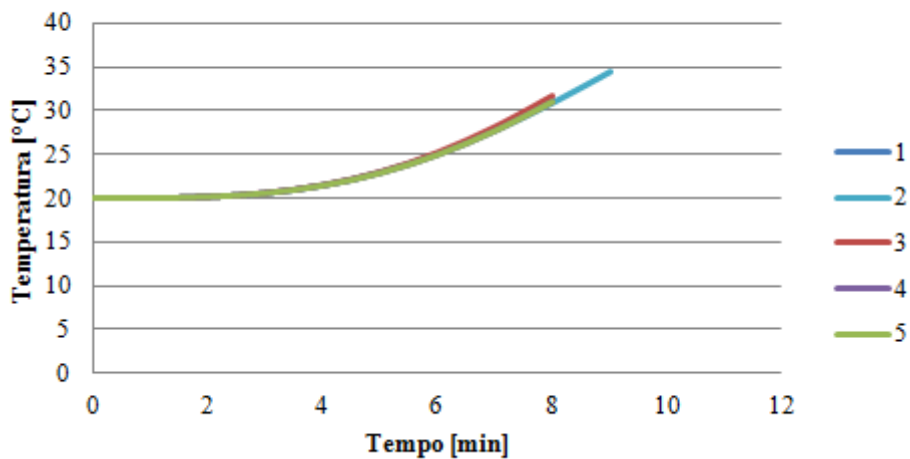


Figura 779 - Confronto fra temperature dello strato freddo

Altezza zona fredda

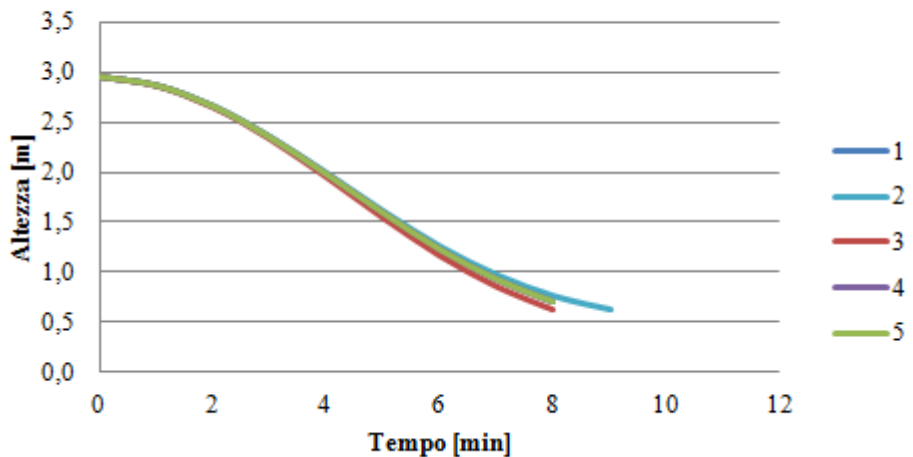


Figura 780 - Confronto fra altezze dello strato freddo

Dai grafici precedenti si nota che le curve hanno la stessa forma, ma raggiungono il proprio picco in tempi diversi. Le temperature della zona fredda quasi si sovrappongono, come le altezze.

Per comprendere meglio quanto gli incendi simulati si distinguono nei vari casi, si è scelto di calcolare un parametro indicatore della sua gravità: l'area della curva temperatura-tempo a partire da 300°. Il valore più basso è stato considerato pari all'unità e gli altri sono stati valutati in relazione ad esso.

Il caso 2 (col vetro singolo) fa da punto di partenza per gli altri, che presentano valori simili, tranne il 3 (con le finestre di progetto), che risulta peggiore. Ciò significa che in presenza del vetro singolo, quando le finestre collassano a un tempo minore, l'incendio non raggiunge la potenza distruttiva degli altri casi. Le varianti di pacchetto non determinano grandi variazioni nello scenario, al contrario della modifica delle finestre, che permette di intuire che un'area vetrata più piccola limita lo smaltimento dei fumi e implica una maggiore potenza dell'incendio.

Mensa	1	2	3	4	5
	45011,45	39214,84	55143,53	44918,49	45081,62
Prestazione	0,87	1,00	0,71	0,87	0,87

Tabella 112 - Tabella delle valutazioni dei casi rispetto all'indicatore

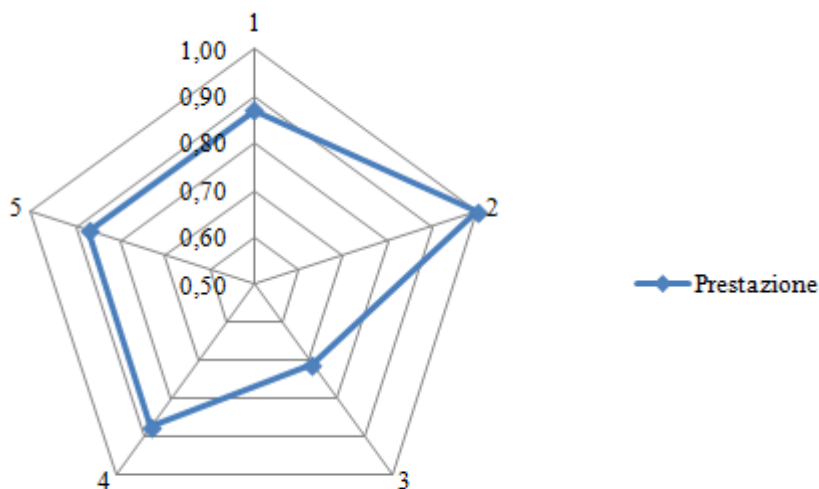


Figura 781 - Valutazioni dei casi rispetto all'indicatore

14.1.2. Cucina

È stata utilizzata l'opzione di compartimento irregolare, lavorando su un rettangolo equivalente che abbia la stessa area e perimetro della figura di progetto; per questo motivo i muri definiti in per questa stanza sono solo due.

14.1.2.1. Caso 1

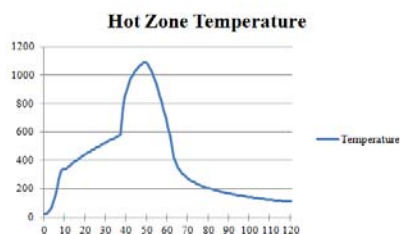


Figura 782 - Temperatura dello strato caldo

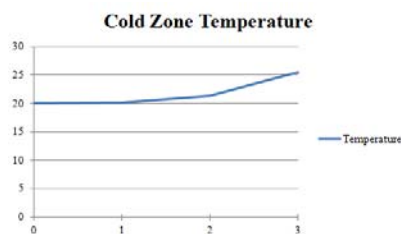


Figura 783 - Temperatura dello strato freddo

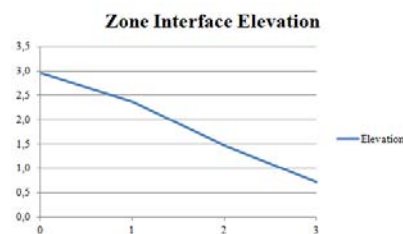


Figura 784 - Altezza dello strato freddo

La temperatura della zona calda si evolve gradualmente, subisce una variazione in corrispondenza della rottura dei vetri con un'impennata improvvisa, raggiungendo il picco di quasi 1200° dopo circa un'ora dall'inizio dell'incendio, per iniziare poi una fase di decadimento. La temperatura dello strato freddo invece, viene sondata solo per i primi 3 minuti, al termine dei quali si assesta sui 25°, mentre la sua altezza cala progressivamente nello stesso tempo a 70 cm da terra.

14.1.2.2. Caso 2

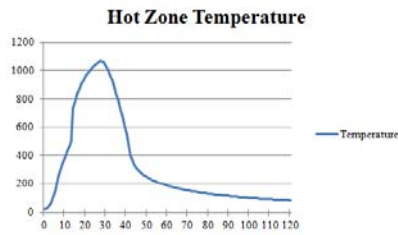


Figura 785 - Temperatura dello strato caldo

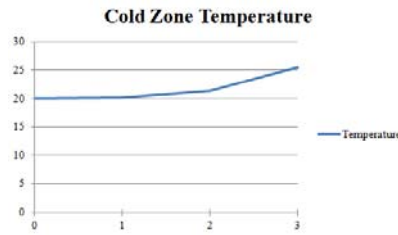


Figura 786 - Temperatura dello strato freddo

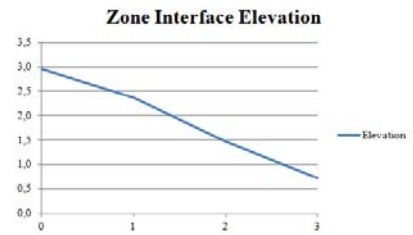


Figura 787 - Altezza dello strato freddo

Con il vetro singolo il picco giunge a 1100° entro 30 minuti dall'inizio dell'incendio, per avviarsi poi a una fase di decadimento. Temperatura e altezza dello strato freddo si comportano in modo simile al caso precedente.

14.1.2.3. Caso 3

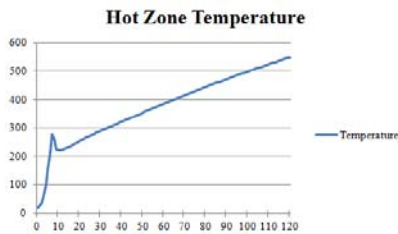


Figura 788 - Temperatura dello strato caldo

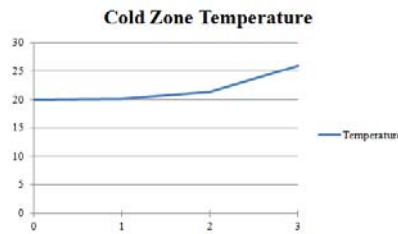


Figura 789 - Temperatura dello strato freddo

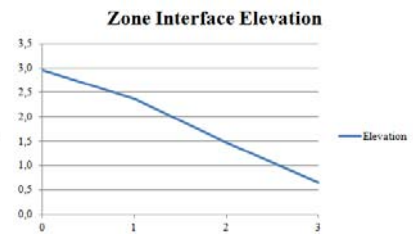


Figura 790 - Altezza dello strato freddo

Con la finestra di progetto si nota un notevole cambiamento rispetto ai grafici precedenti. Dopo 7 minuti si raggiunge 280°, la temperatura cala fino a 220° (11') e cresce quasi linearmente fino al termine della simulazione per terminare con 550°. Questo si spiega per il fatto che nei casi analizzati prima l'apertura arrivava fino a terra, mentre qui vi è un davanzale all'altezza di 1,10 m. Gli altri due grafici non sono molto diversi dai precedenti.

14.1.2.4. Caso 4

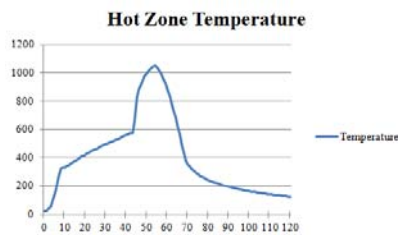


Figura 791 - Temperatura dello strato caldo

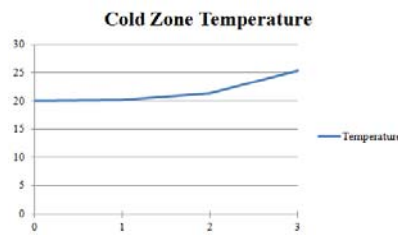


Figura 792 - Temperatura dello strato freddo

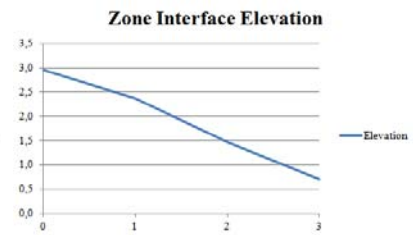


Figura 793 - Altezza dello strato freddo

Inserendo il pacchetto di progetto l'andamento delle curve sembra simile al primo caso.

14.1.2.5. Caso 5

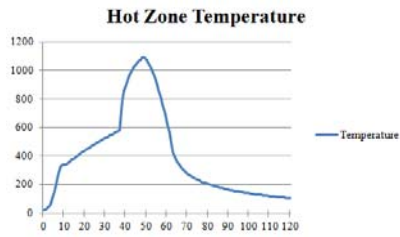


Figura 794 - Temperatura dello strato caldo

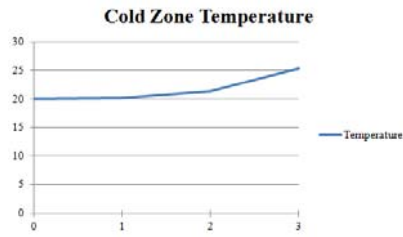


Figura 795 - Temperatura dello strato freddo

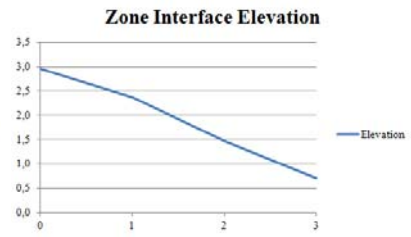


Figura 796 - Altezza dello strato freddo

Nel caso dell'isolamento interno apparentemente non vi sono grandi differenze dall'analisi precedente.

14.1.2.6. Confronto fra i casi

Temperatura zona calda

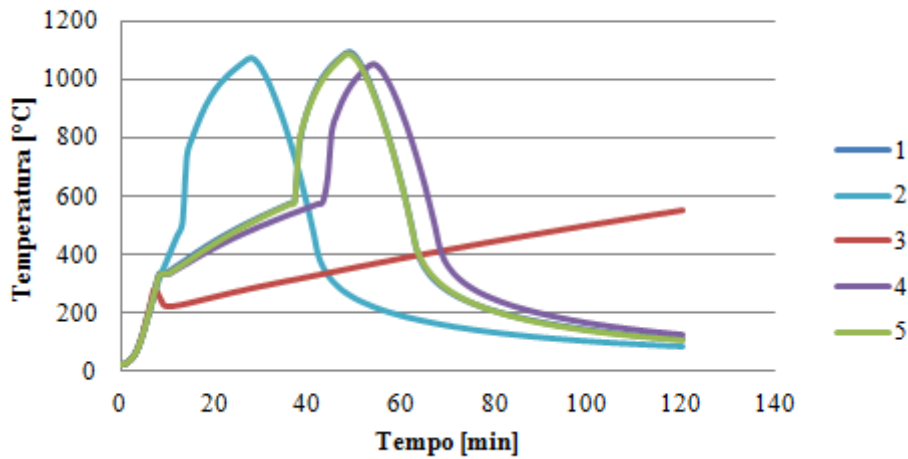


Figura 797 - Confronto fra temperature dello strato caldo

Temperatura zona fredda

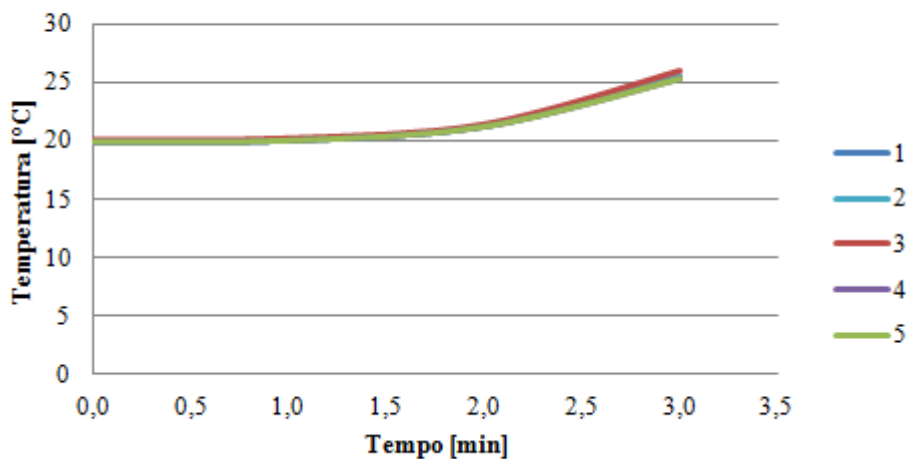


Figura 798 - Confronto fra temperature dello strato freddo

Altezza zona fredda

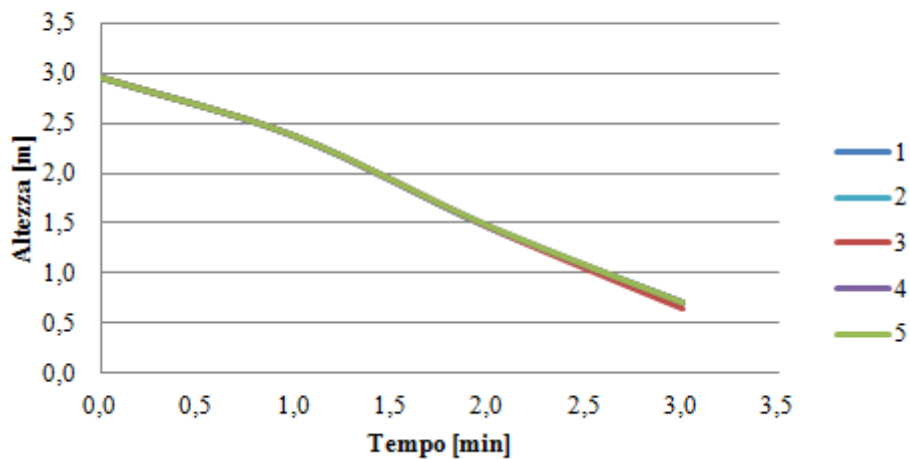


Figura 799 - Confronto fra altezze dello strato freddo

Dai grafici precedenti si nota che le curve 1 (pacchetto migliorativo) e 5 (isolamento interno) quasi coincidono, mentre la 4 (pacchetto di progetto) ha lo stesso andamento ma ritardato nel tempo; la 2 (vetro singolo) e la 3 (finestra di progetto) si distinguono dalle altre: la prima cresce più rapidamente rispetto a quelle prima citate e raggiunge il picco in meno tempo, l'altra ha un andamento diverso da tutte, poiché ha un lieve picco a 7 minuti, una fase di calo e una crescente in modo quasi lineare. Le temperature e altezze della zona fredda, essendo quasi sovrapposte nel breve tempo esaminato, non sono utili per comprendere le particolarità dei casi.

Il parametro considerato svela che il caso 2 è sempre quello di riferimento, mentre gli altri si assestano su valori simili, ma non come per la mensa. Il caso 3 resta ancora il peggiore.

Cucina	1	2	3	4	5
	38217,72	28677,99	37480,37	39483,91	38470,89
Prestazione	0,75	1,00	0,76	0,72	0,74

Tabella 113 - Valutazioni dei casi rispetto all'indicatore

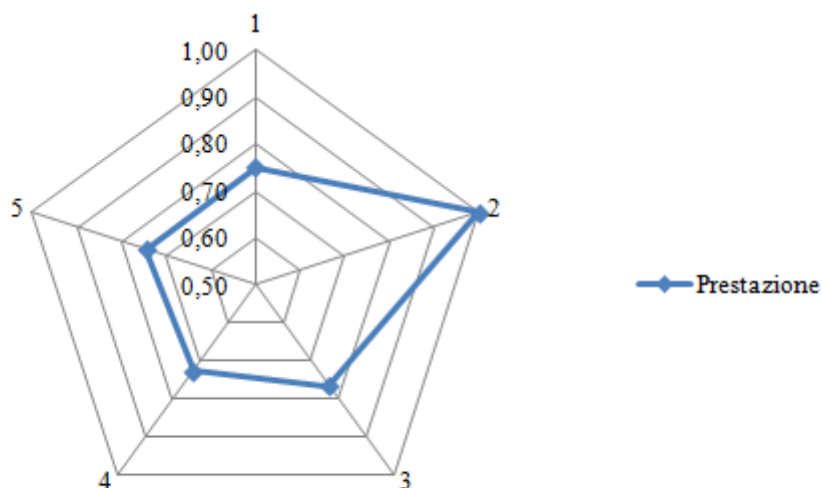


Figura 800 - Valutazioni dei casi rispetto all'indicatore

14.1.3. Palestra

Per la palestra è stato possibile utilizzare l'opzione di compartimento rettangolare.

14.1.3.1. Caso 1

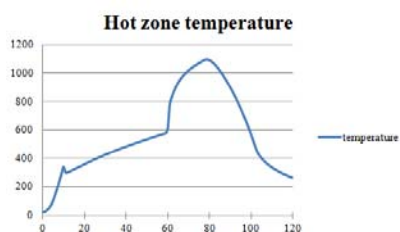


Figura 801 - Temperatura dello strato caldo

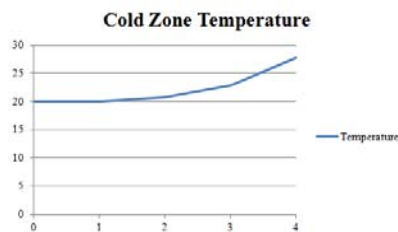


Figura 802 - Temperatura dello strato freddo

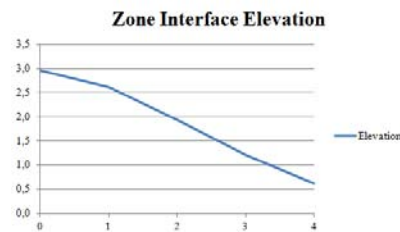


Figura 803 - Altezza dello strato freddo

Si ricorda che, diversamente da tutte le altre stanze, per la palestra il caso 1 è caratterizzato dal pacchetto migliorativo con le finestre di progetto. I grafici indicano che la zona calda avanza gradatamente nella prima ora dell'incendio mostrando subito dopo un picco improvviso quasi fino a raggiungere i 1200°C. La zona fredda invece rimane costante sui 20°C per i primi 2 minuti dopodiché la temperatura inizia ad aumentare in modo parabolico; infatti l'altezza dello strato d'area fredda iniziale da 3 metri passa a 0,5 metri dopo i primi 4 minuti.

14.1.3.2. Caso 2

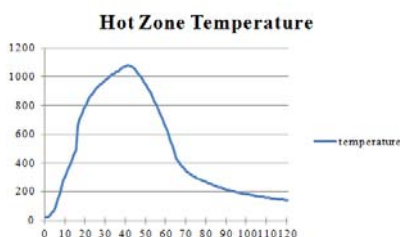


Figura 804 - Temperatura dello strato caldo

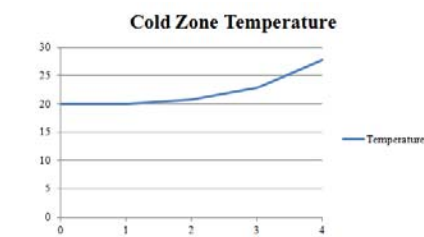


Figura 805 - Temperatura dello strato freddo

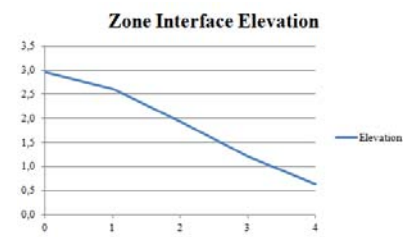


Figura 806 - Altezza dello strato freddo

Optando per il vetro singolo al posto del vetrocamera, la temperatura della zona calda cresce superando i 1000°C dopo la prima mezz'ora, scendendo piuttosto gradatamente dopo quasi un'ora. La zona fredda inizia ad alzarsi di temperatura dopo 2 minuti e, come previsto, risulta essere già a mezzo metro da terra a 4 minuti dall'innesco dell'incendio.

14.1.3.3. Caso 3

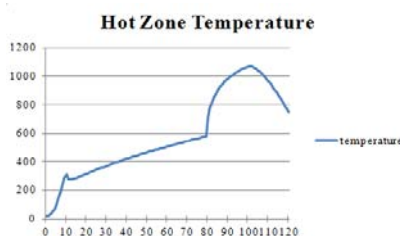


Figura 807 - Temperatura dello strato caldo

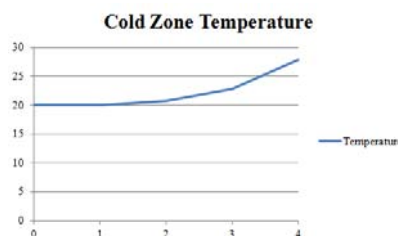


Figura 808 - Temperatura dello strato freddo

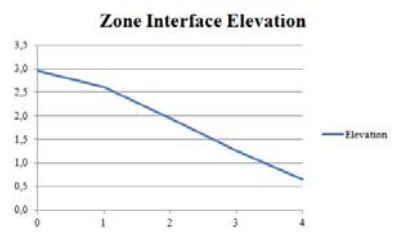


Figura 809 - Altezza dello strato freddo

Con la scelta delle finestre modificate, il grafico della zona calda presenta, dopo un lieve picco a 10 minuti, un comportamento quasi lineare per la prima ora dopo l'incendio arrivando a 600 °C, mentre si registra un cambio di pendenza intorno agli 80 minuti, culminante con temperature di quasi 1100°, che

segnano l'inizio del decadimento. L'andamento della temperatura e dell'altezza della zona fredda sono analoghi ai casi precedenti.

14.1.3.4. Caso 4

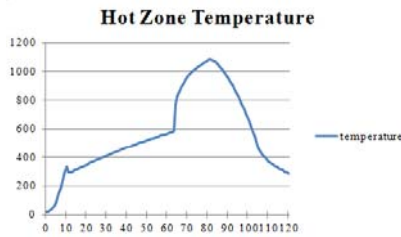


Figura 810 - Temperatura dello strato caldo

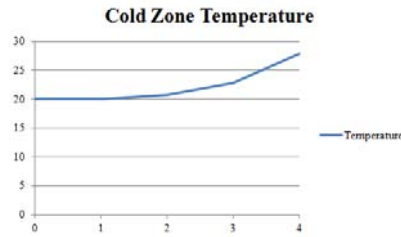


Figura 811 - Temperatura dello strato freddo

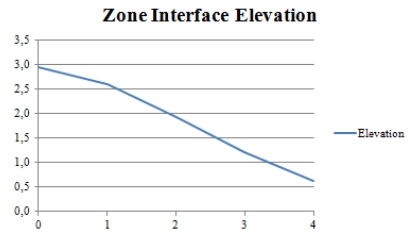


Figura 812 - Altezza dello strato freddo

Scegliendo il pacchetto di progetto con finestre di progetto, si nota che le curve hanno lo stesso andamento del caso 1.

14.1.3.5. Caso 5

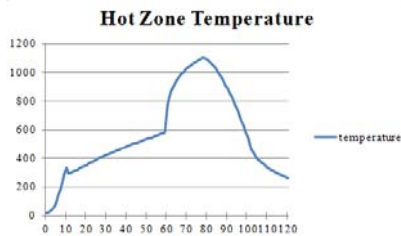


Figura 813 - Temperatura dello strato caldo

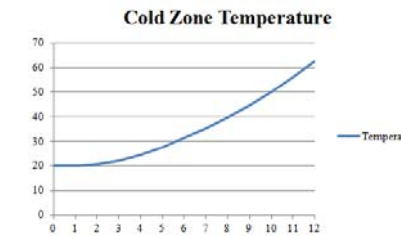


Figura 814 - Temperatura dello strato freddo

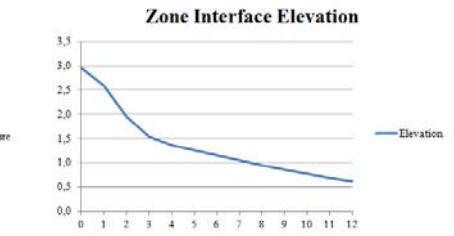


Figura 815 - Altezza dello strato freddo

Inserendo il pacchetto con l'isolamento interno, i grafici riportano un andamento delle curve praticamente simile all'ultimo; diversamente da tutte le altre analisi, questa presenta un intervallo di tempo di analisi per le temperature e le altezze della zona fredda più lungo degli altri, dal quale si può notare la crescita parabolica della temperatura e il raggiungimento dell'altezza di 60 cm al dodicesimo minuto.

14.1.3.6. Confronto fra i casi

Temperatura zona calda

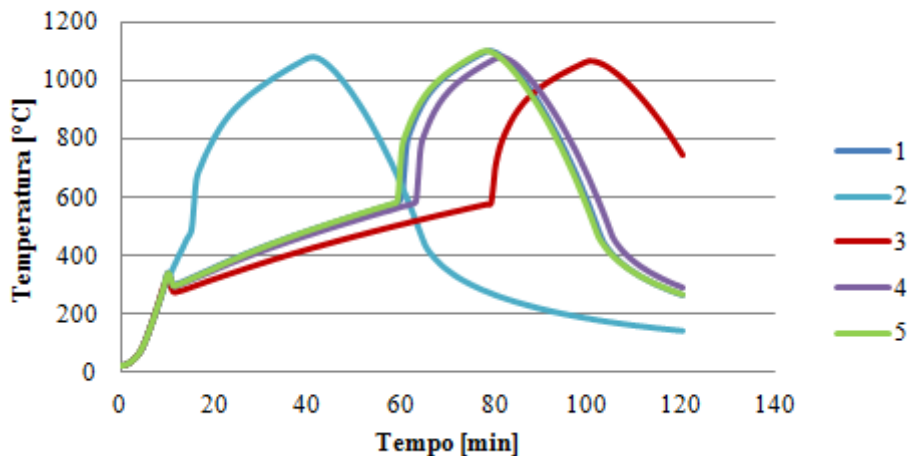


Figura 816 - Confronto fra temperature dello strato caldo

Temperatura zona fredda

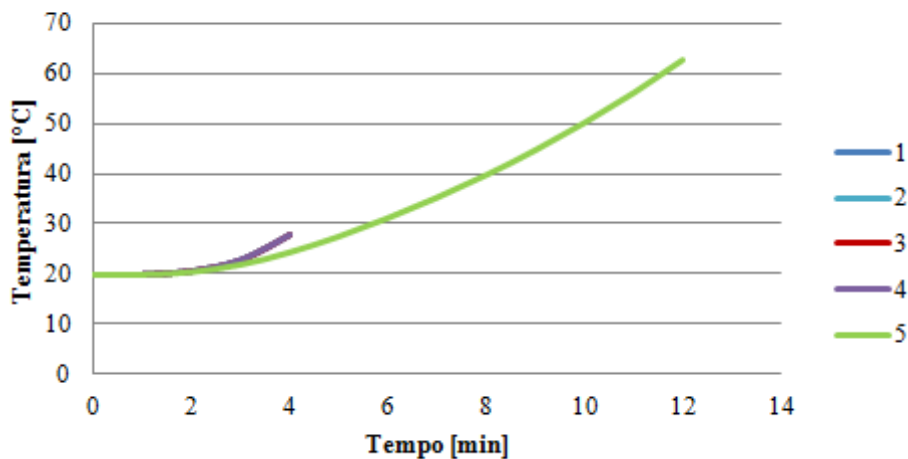


Figura 817 - Confronto fra temperature dello strato freddo

Altezza zona fredda

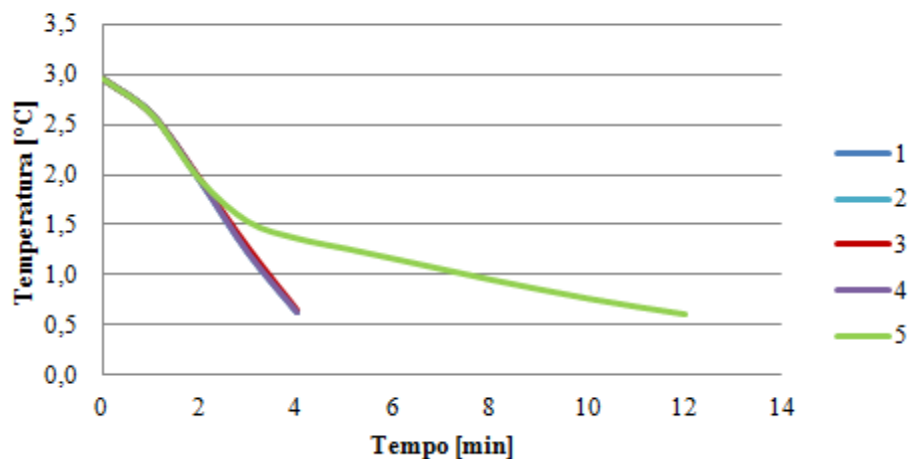


Figura 818 - Confronto fra altezze dello strato freddo

Dai grafici precedenti si nota che le curve del caso 1, 3, 4, 5 hanno la stessa forma, ma raggiungono il proprio picco in tempi diversi. Nel caso 2 (vetro singolo) invece la differenza è data dal fatto che la temperatura cresce più repentinamente nei primi minuti. Le temperature della zona fredda quasi si sovrappongono, come le altezze tranne nel caso 5 che si separa dagli altri e si protende per un tempo di analisi maggiore. Di seguito si riportano le varie opzioni secondo il parametro scelto.

Il distacco fra il caso 2 e gli altri indica che il tipo di vetro utilizzato comporta la principale differenza; la palestra infatti, nell'opzione con le finestre modificate, mantiene la stessa superficie finestrata, semplicemente cambiandone la geometria.

Palestra	1	2	3	4	5
	64143,41	49355,10	67132,35	65803,43	65058,11
Prestazione	0,77	1,00	0,73	0,75	0,76

Tabella 114 - Valutazioni dei casi rispetto all'indicatore

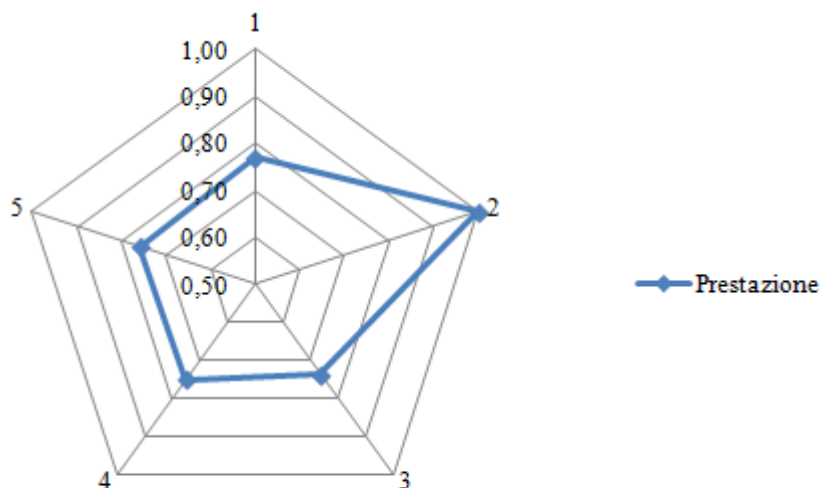


Figura 819 - Valutazioni dei casi rispetto all'indicatore

14.1.4. Camera

È stata utilizzata l'opzione di compartimento rettangolare.

14.1.4.1. Caso 1

Figura 820 - Risultato della simulazione

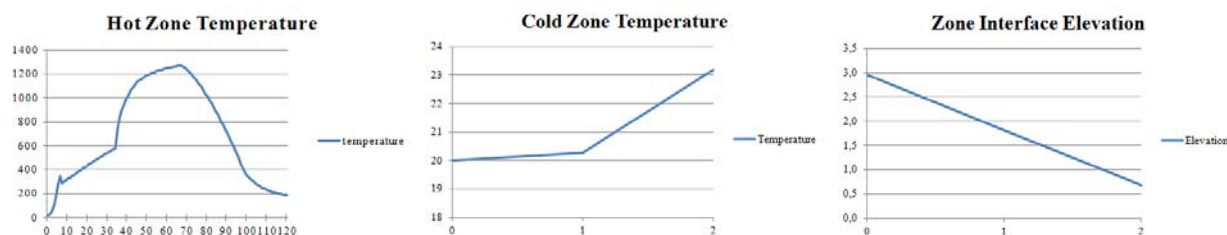


Figura 821 - Temperatura dello strato caldo

Figura 822 - Temperatura dello strato freddo

Figura 823 - Altezza dello strato freddo

La temperatura della zona calda ha un breve picco entro i 10 minuti che non supera i 400°; segue un andamento lineare fino a circa 600°, momento in cui vi è un'impennata con un massimo di oltre 1200°, che segna l'inizio del decadimento. I grafici sulla zona fredda ne mostrano il comportamento solo per i primi 2 minuti.

14.1.4.2. Caso 2

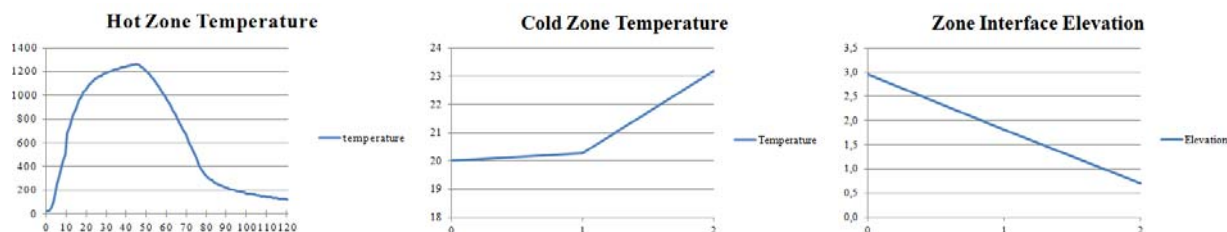


Figura 824 - Temperatura dello strato caldo

Figura 825 - Temperatura dello strato freddo

Figura 826 - Altezza dello strato freddo

Con il vetro singolo, la temperatura dello strato caldo cresce oltre i 1200°C senza particolari variazioni. La zona fredda invece rimane costante sui 20 °C nel primo minuto dopodiché la

temperatura inizia ad aumentare; l'altezza dello strato d'area fredda iniziale da 3 metri passa nel giro di 2 minuti a poco più di mezzo metro.

14.1.4.3. Caso 3

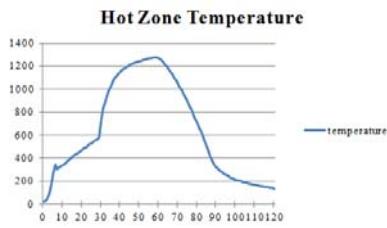


Figura 827 - Temperatura dello strato caldo

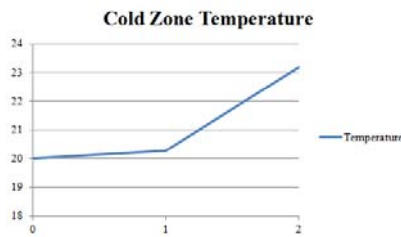


Figura 828 - Temperatura dello strato freddo

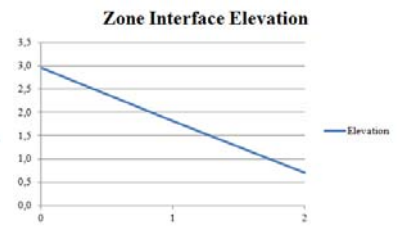


Figura 829 - Altezza dello strato freddo

Scegliendo la finestra di progetto (leggermente più grande rispetto a quella modificata), i grafici sono simili a quelli del caso 1.

14.1.4.4. Caso 4

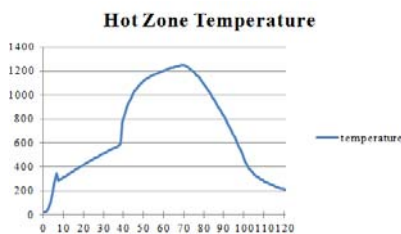


Figura 830 - Temperatura dello strato caldo

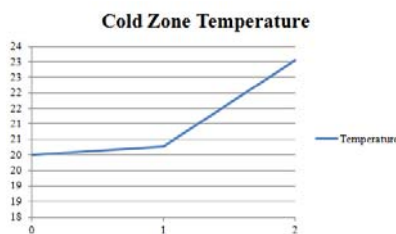


Figura 831 - Temperatura dello strato freddo

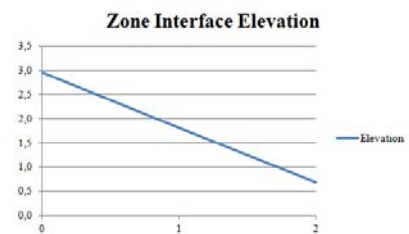


Figura 832 - Altezza dello strato freddo

Anche con il pacchetto di progetto, a colpo d'occhio la situazione iniziale si reitera allo stesso modo dell'opzione 1.

14.1.4.5. Caso 5

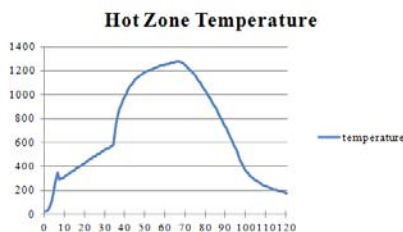


Figura 833 - Temperatura dello strato caldo

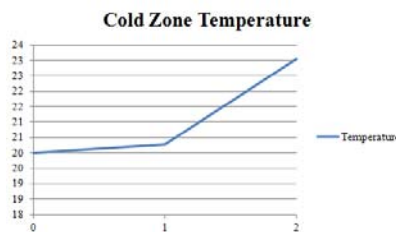


Figura 834 - Temperatura dello strato freddo

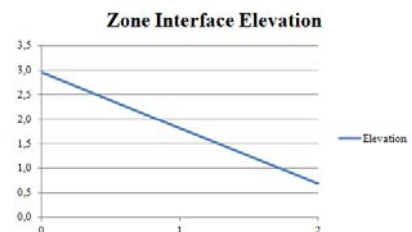


Figura 835 - Altezza dello strato freddo

Con l'isolamento interno non vi sono particolari differenze rispetto ai casi visti prima.

14.1.4.6. Confronto fra i casi

Temperatura zona calda

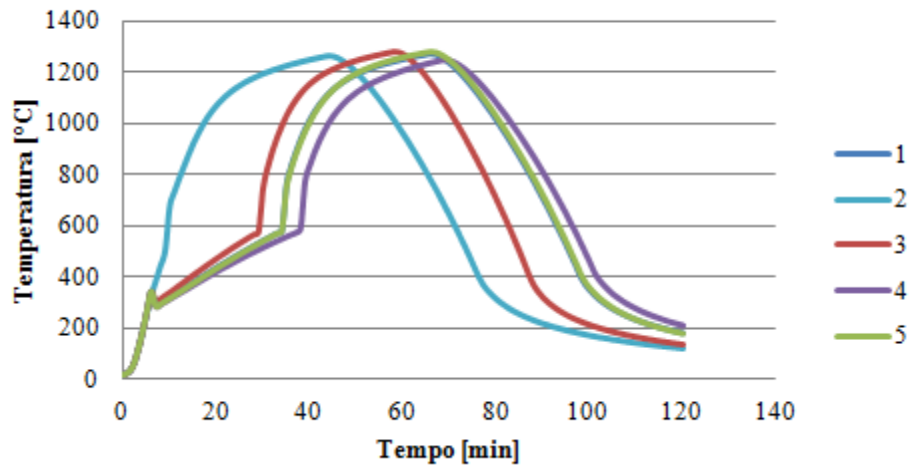


Figura 836 - Confronto fra temperature dello strato caldo

Temperatura zona fredda

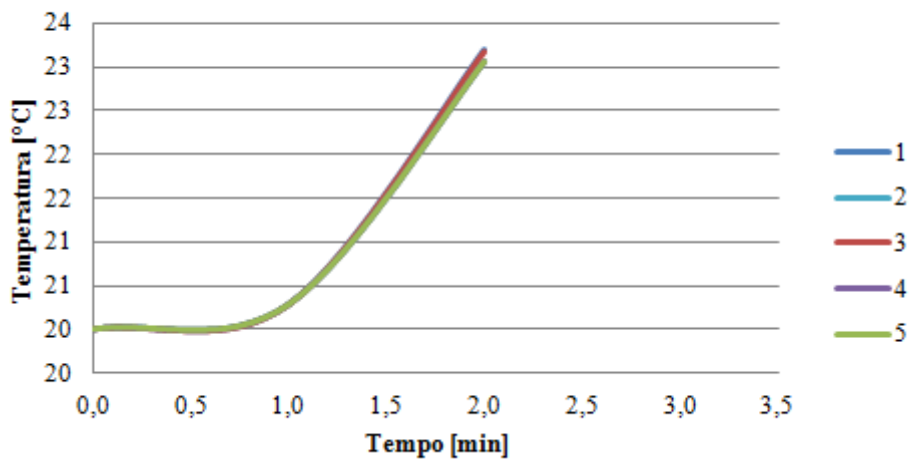


Figura 837 - Confronto fra temperature dello strato freddo

Altezza zona fredda

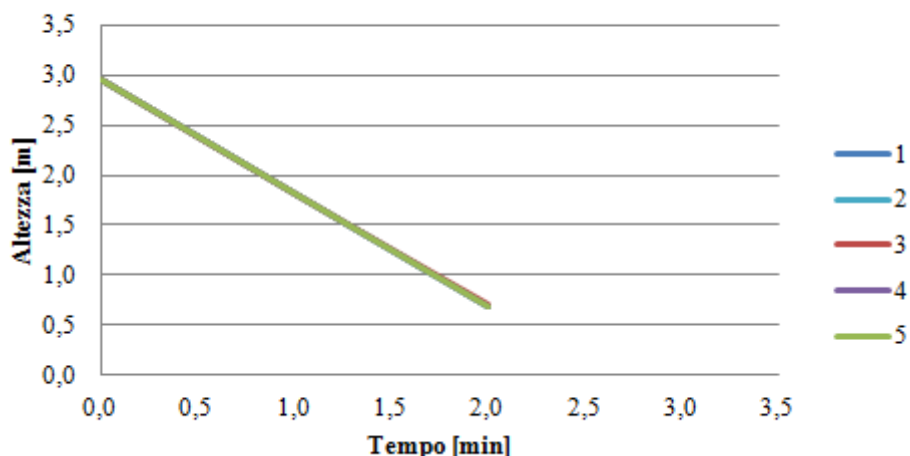


Figura 838 - Confronto fra altezze dello strato freddo

Dai grafici precedenti si nota che l'andamento dell'incendio è pressoché simile fra i casi e ciò che differenzia il comportamento della curva è uno sfasamento temporale, tranne per la 2 (vetro singolo) che cresce e si estingue più rapidamente delle altre.

L'indicatore di prestazione rileva che il caso 2 è sempre quello di riferimento e il 3 (con finestra di progetto) è quello che gli si approssima di più, mentre gli altri presentano valori simili. La somiglianza fra il caso 2 e il 3 potrebbe essere spiegata col fatto che nel primo la temperatura di rottura del vetro è più bassa rispetto agli altri casi, ma nel secondo vi è una maggiore superficie che al momento del collasso permette un più rilevante deflusso dei fumi.

Camera	1	2	3	4	5
	79372,24	70766,25	71722,29	79696,83	79587,12
Prestazione	0,89	1,00	0,99	0,89	0,89

Tabella 115 - Valutazioni dei casi rispetto all'indicatore

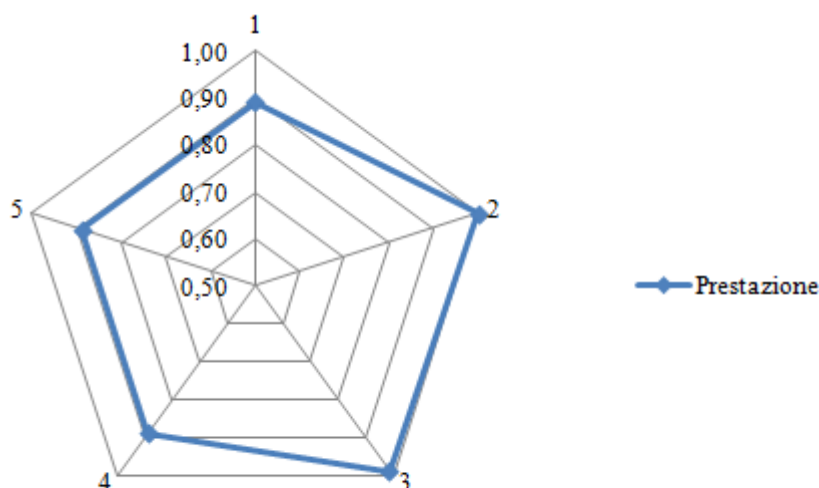


Figura 839 - Valutazioni dei casi rispetto all'indicatore

14.2. CFast

Per il software CFast le stanze sono state raggruppate in zona giorno e zona notte: la prima si compone di mensa e cucina (la palestra non ha aperture che la collegano alle altre due, quindi non è stata esaminata), la seconda corrisponde a tutto il blocco est dell'edificio.

Entrambi i compartimenti sono stati analizzati utilizzando come base le opzioni migliori delle analisi sulla luce ed energetiche, con vetrocamera e sistema di sprinkler. Dunque i casi considerati sono questi:

1. base: pacchetto migliorativo + finestre modificate;
2. pacchetto migliorativo + finestre di progetto;
3. pacchetto di progetto + finestre modificate.

Per ognuno di essi sono stati ipotizzati diversi comportamenti degli utenti, che comportassero l'apertura o meno delle porte di connessione o delle uscite verso l'esterno. Di seguito riportiamo le opzioni esaminate:

- a) nessuna apertura: si apre solo la finestra del luogo in cui nasce l'incendio al tempo in cui si raggiunge la temperatura di rottura (650°);
- b) scappa l'involontario piromane: si apre il collegamento più prossimo all'esterno, tenendo conto dei tempi di reazione degli ospiti della struttura;
- c) si aprono tutte le aperture verso l'esterno: gli utenti presenti nel fabbricato scelgono la via di fuga più breve.

Ci è parso interessante confrontare i risultati delle analisi con le stesse, ma sprovviste di impianto antincendio (in tabella indicato con "n"). Queste ultime sono state redatte solo per i comportamenti a) e c).

Per la zona giorno inoltre con analisi aggiuntive abbiamo voluto ipotizzare la presenza di un meccanismo di sicurezza antincendio integrato nel lucernario (indicato in tabella con #) che ne permetta l'apertura in caso di incendio, al raggiungimento di 73°, soglia di allerta che il software suggerisce per i sistemi di rilevamento dei fumi.

14.2.1. Zona giorno

Si è ipotizzato un unico focolaio in corrispondenza dei fornelli, modellando di nostro pugno la curva t^2 .

È il caso di specificare una differenza di impostazione fra il comportamento b e il c: nel primo la via di fuga è direttamente rivolta verso l'esterno (si ipotizza che il cuoco responsabile dell'incendio scappi dalla porta-finestra), mentre nell'altro caso, per dare l'allarme agli ospiti presenti nella mensa, non viene aperta la porta-finestra, bensì la porta di connessione fra la cucina e la zona pranzo e in un secondo momento le aperture che danno sull'esterno.

Di seguito riportiamo i risultati messi a confronto. Prima di tutto verifichiamo le temperature dello strato caldo nel luogo dove nasce l'incendio.

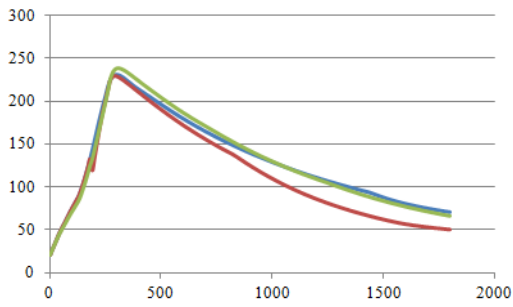


Figura 840 - Confronto temperature strato caldo caso 1

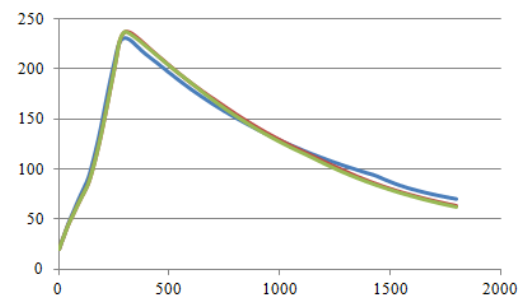


Figura 841 - Confronto temperature strato caldo caso 2

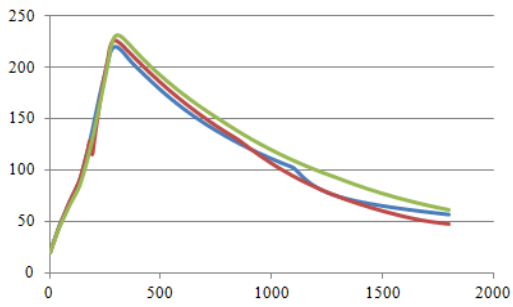


Figura 842 - Confronto temperature strato caldo caso 3

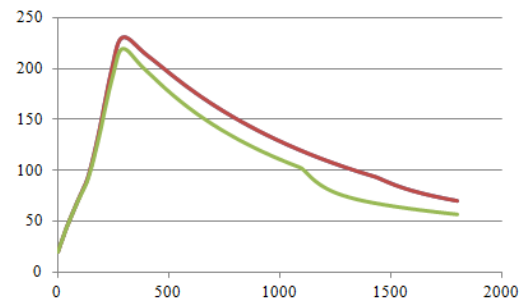


Figura 843 - Confronto temperature strato caldo opzione a

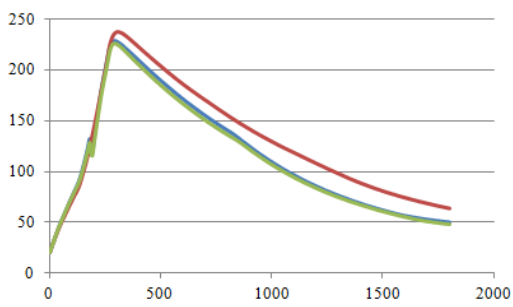


Figura 844 - Confronto temperature strato caldo opzione b

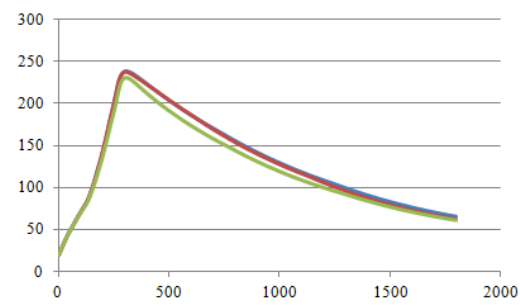


Figura 845 - Confronto temperature strato caldo opzione c

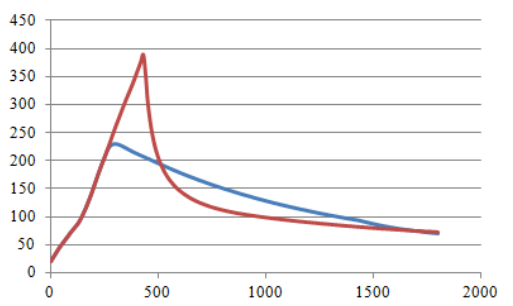


Figura 846 - Confronto temperature strato caldo caso 1a, variabile n

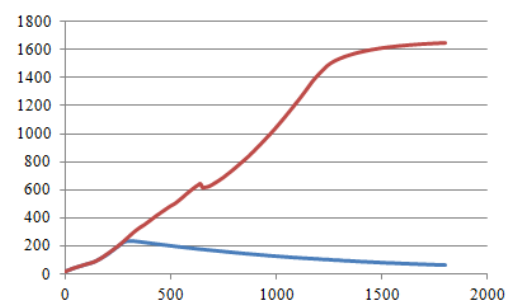


Figura 847 - Confronto temperature strato caldo caso 1c, variabile n

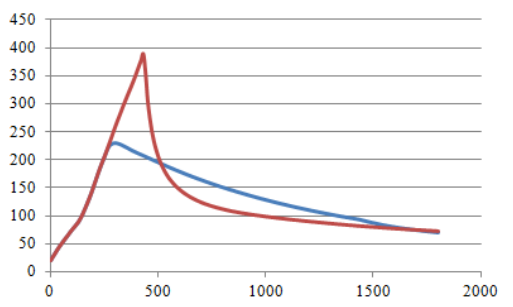


Figura 848 - Confronto temperature strato caldo caso 2a, variabile n

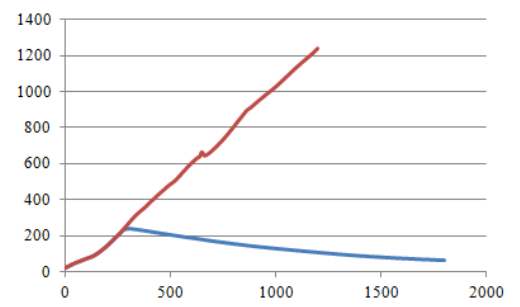


Figura 849 - Confronto temperature strato caldo caso 2c, variabile n

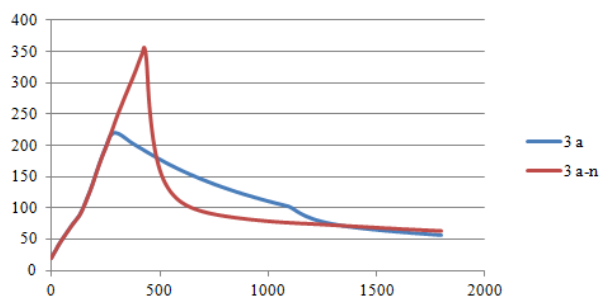


Figura 850 - Confronto temperature strato caldo caso 3a, variabile n

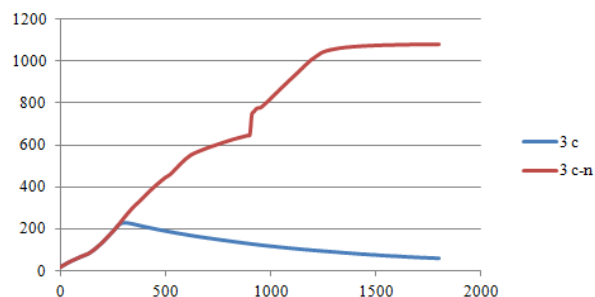


Figura 851 - Confronto temperature strato caldo caso 3c, variabile n

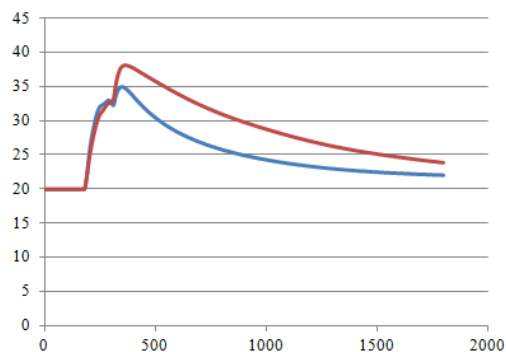


Figura 852 - Confronto temperature strato caldo caso 1c, variabile #

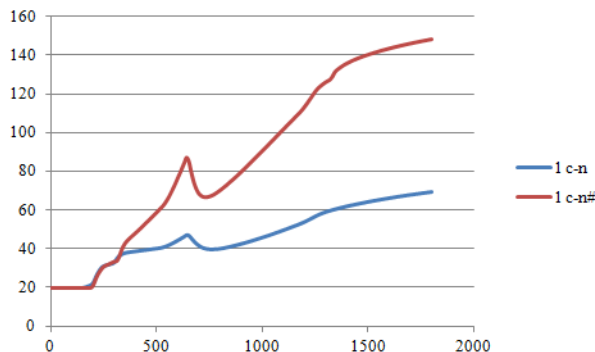


Figura 853 - Confronto temperature strato caldo caso 1c-n, variabile #

Dai grafici si può desumere che le varianti progettuali riguardanti i pacchetti murari e la dimensione delle finestre non hanno una grande influenza sull'andamento dell'incendio, durante il quale le temperature non arrivano a 250°. Il fattore discriminante è costituito dalla presenza o meno dell'impianto antincendio. Si nota infatti che in assenza di sprinkler le temperature raggiungono valori molto più elevati, talvolta superando i 1600°; è in considerazione di tale variabile che i comportamenti degli utenti assumono più rilevanza rispetto al caso standard.

L'ultima coppia di grafici sulla funzione del lucernario, si differenziano rispetto agli altri per il fatto che le temperature sono state rilevate in corrispondenza della sua posizione, quindi non dove nasce l'incendio. Resta il fatto che vi è una certa differenza in presenza del meccanismo di apertura del lucernario, che, contrariamente alle attese, fomenta il fumo già presente che fluisce dalla cucina e determina un aumento delle temperature. Con lucernario chiuso l'aria ristagna e si scalda meno.

I dati sull'altezza dello strato freddo possono essere di ulteriore aiuto per comprendere la situazione.

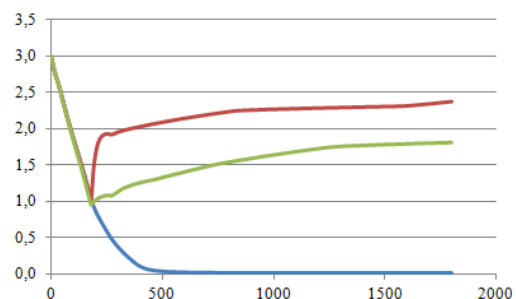


Figura 854 - Confronto altezze strato freddo caso 1

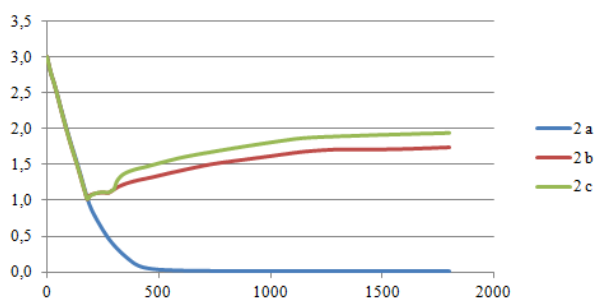


Figura 855 - Confronto altezze strato freddo caso 2

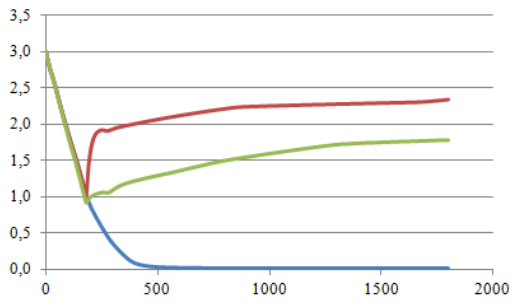


Figura 856 - Confronto altezze strato freddo caso 3

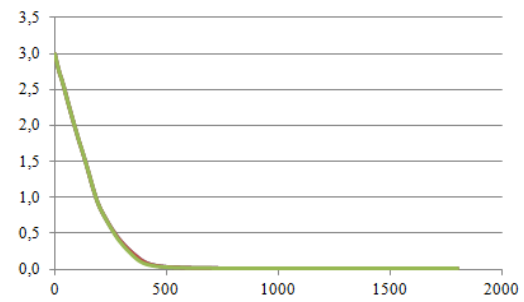


Figura 857 - Confronto altezze strato freddo opzione a

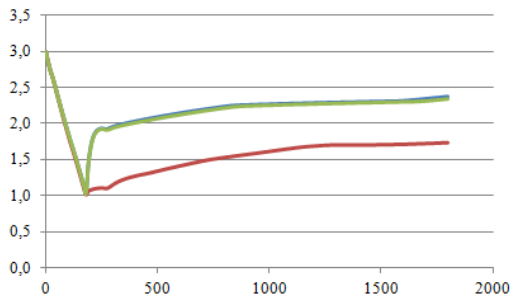


Figura 858 - Confronto altezze strato freddo opzione b

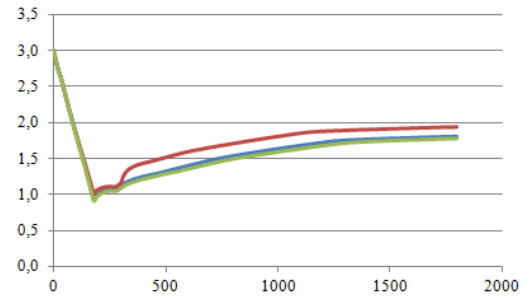


Figura 859 - Confronto altezze strato freddo opzione c

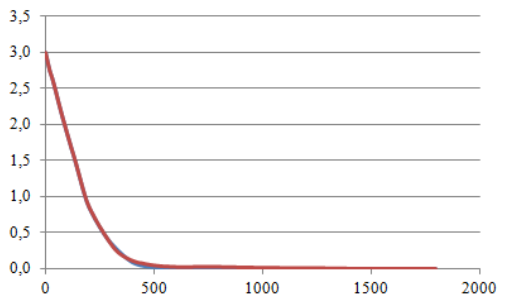


Figura 860 - Confronto altezze strato freddo caso 1a, variabile n

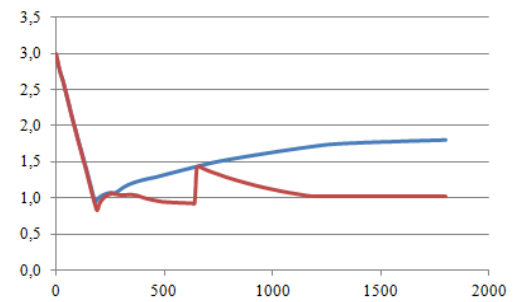


Figura 861 - Confronto altezze strato freddo caso 1c, variabile n

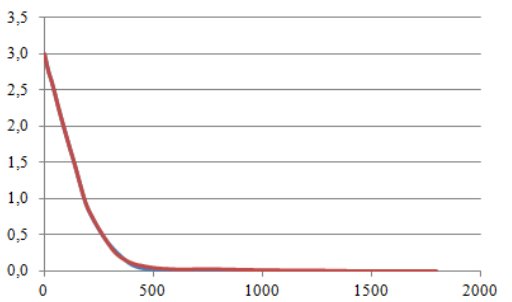


Figura 862 - Confronto altezze strato freddo caso 2a, variabile n

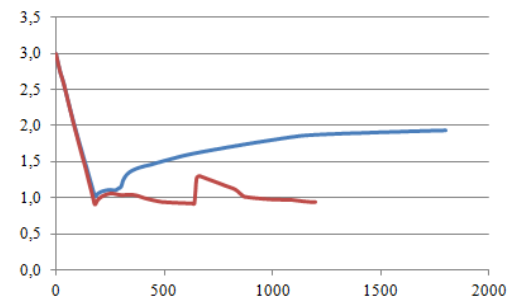


Figura 863 - Confronto altezze strato freddo caso 2c, variabile n

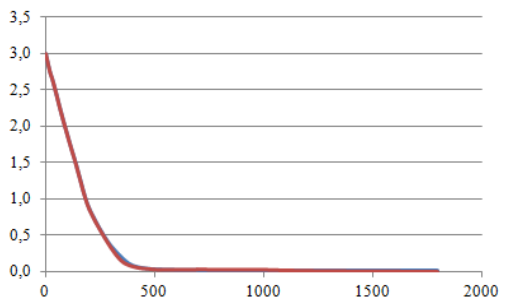


Figura 864 - Confronto altezze strato freddo caso 3a, variabile n

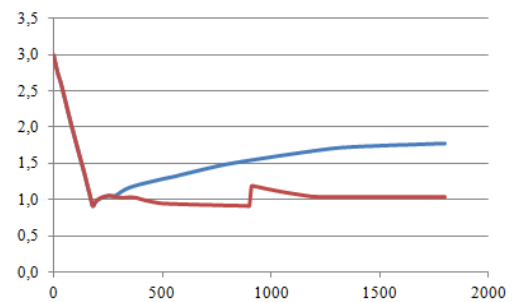


Figura 865 - Confronto altezze strato freddo caso 3c, variabile n

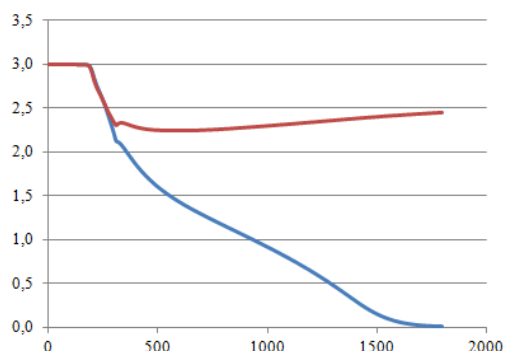


Figura 866 - Confronto altezze strato freddo caso 1c, variabile #

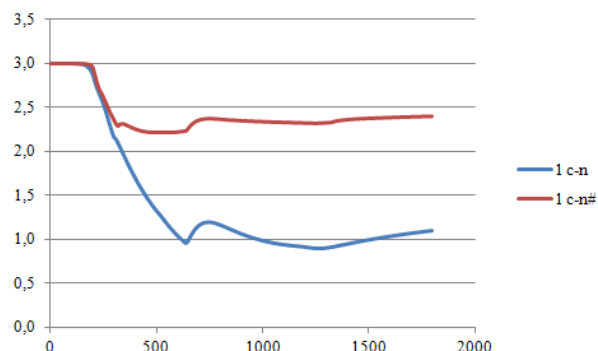


Figura 867 - Confronto altezze strato freddo caso 1c-n, variabile #

I grafici mostrano che, nel caso in cui tutte le aperture siano chiuse, lo strato caldo giunge nel giro di 10 minuti a toccare il pavimento, contrariamente rispetto ai casi in cui si ha modo di generare flussi d'aria fra gli ambienti, pur arrivando sempre a circa 1 metro da terra. Le differenze dell'opzione 2 (con le finestre di progetto) si notano solo quando vi è un ricircolo minimo di aria. Inoltre va ricordato che nel caso b si apre nell'ambiente del focolaio un'apertura che dà sull'esterno, mentre nel c i fumi attraversano il varco che collega due interni; ciò è visibile nel fatto che l'altezza dello strato caldo b è minore di quello c, eccetto per la 2. In assenza di sprinkler le curve subiscono delle variazioni di pendenza nei momenti in cui si rompono i vetri. Se prima il sistema di apertura del lucernario favoriva l'alta temperatura dello strato caldo, adesso si può constatare l'utilità della sua funzione, poiché non gli permette di espandersi e ingombrare lo spazio fino al pavimento, bensì lo confina entro i 60 cm dal soffitto.

14.2.2. Zona notte

Nella zona notte vi sono due focolai, uno che si sviluppa sul letto e l'altro nell'armadio della stanza di un paziente. Di seguito riportiamo i risultati messi a confronto⁷⁶.

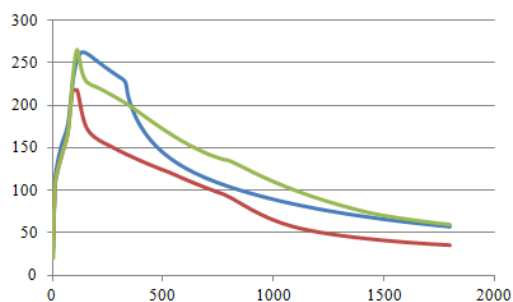


Figura 868 - Confronto temperature strato caldo caso 1

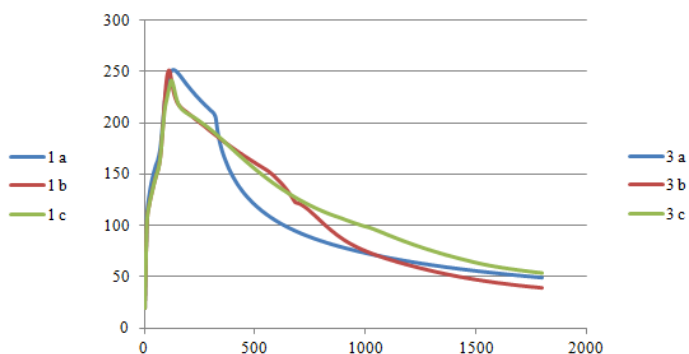


Figura 869 - Confronto temperature strato caldo caso 3

⁷⁶ Il caso 2 non è stato riportato poiché i valori delle temperature sono equivalenti al caso 1, essendo la differenza di superficie vetrata troppo ridotta per produrre variazioni significative nei valori.

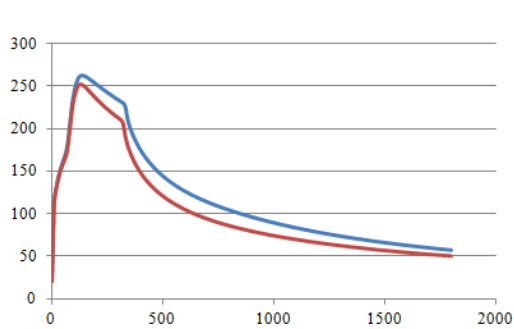


Figura 870 - Confronto temperature strato caldo opzione a

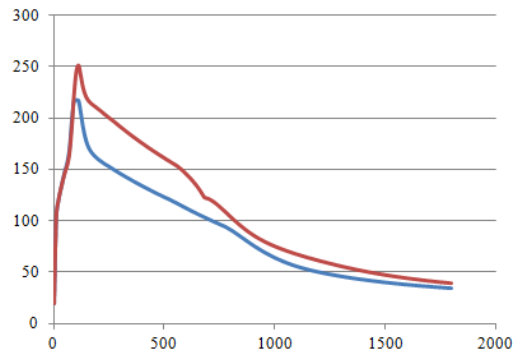


Figura 871 - Confronto temperature strato caldo opzione b

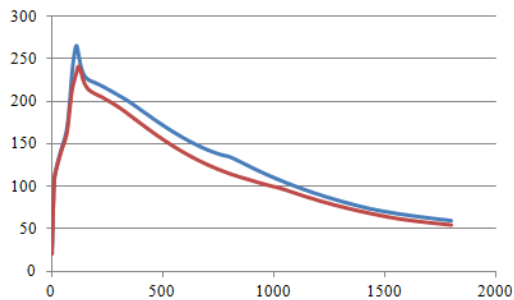


Figura 872 - Confronto temperature strato caldo opzione c

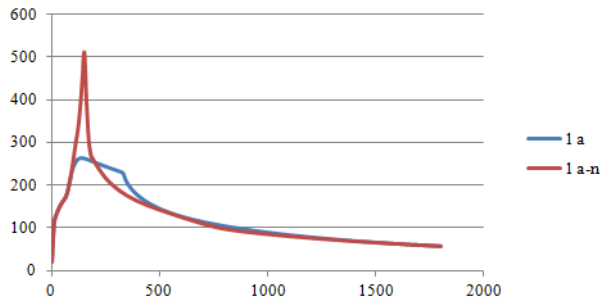


Figura 873 - Confronto temperature strato caldo caso 1a, variabile n

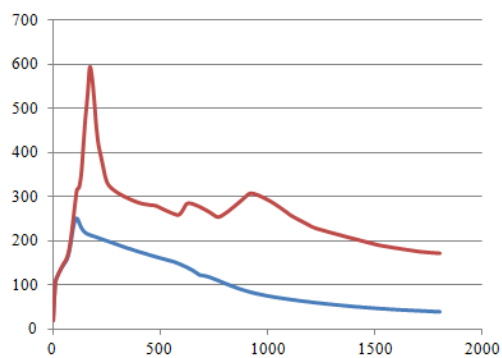


Figura 874 - Confronto temperature strato caldo caso 1c, variabile n

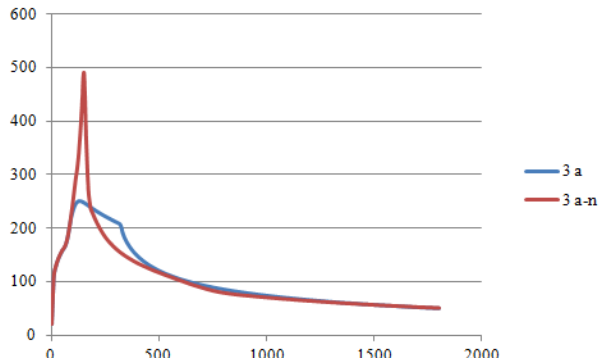


Figura 875 - Confronto temperature strato caldo caso 3a, variabile n

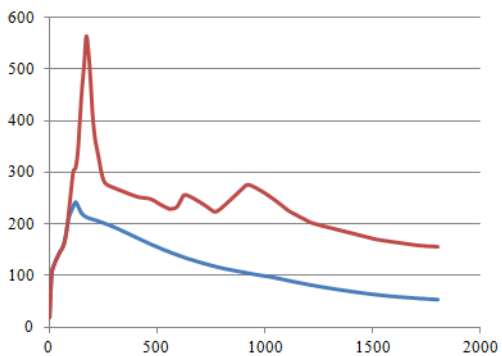


Figura 876 - Confronto temperature strato caldo caso 3c, variabile n

Ancora una volta è evidente che le varianti progettuali riguardanti i pacchetti murari e la dimensione delle finestre non hanno una grande influenza sull'andamento dell'incendio, durante il quale le temperature superano di poco i 250°C. L'impianto antincendio la fa da padrone. Si nota infatti che in assenza di sprinkler le temperature raggiungono valori molto più elevati, arrivando a 600°C; è in

considerazione di tale variabile che i comportamenti degli utenti assumono più rilevanza rispetto al caso standard.

Riportiamo ora i dati relativi all'altezza dello strato freddo.

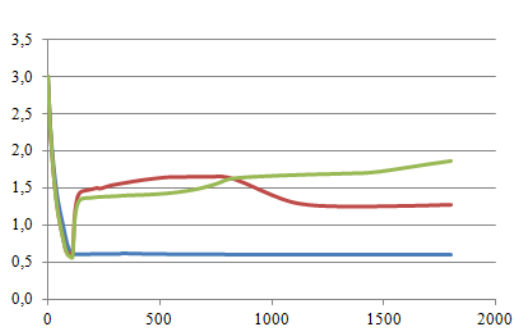


Figura 877 - Confronto altezze strato freddo caso 1

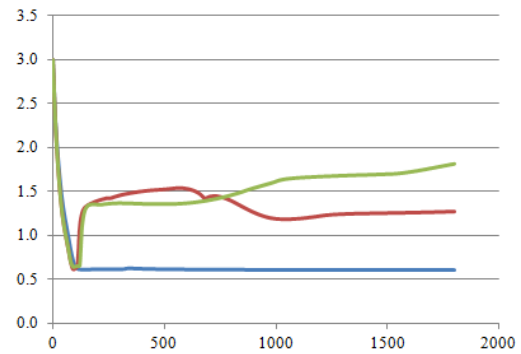


Figura 878 - Confronto altezze strato freddo caso 3

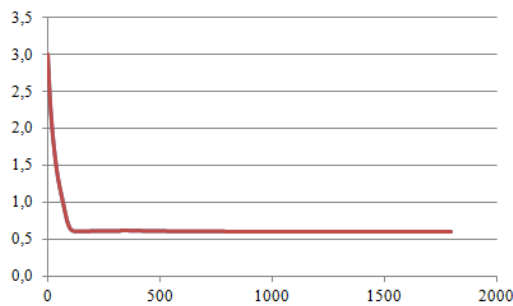


Figura 879 - Confronto altezze strato freddo opzione a

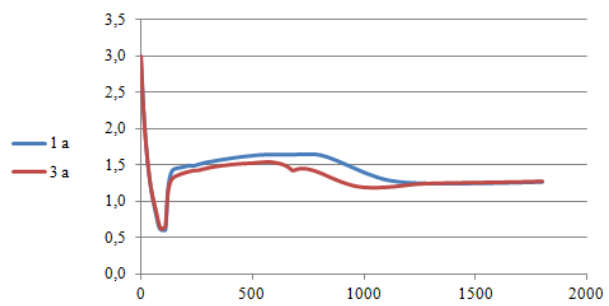


Figura 880 - Confronto altezze strato freddo opzione b

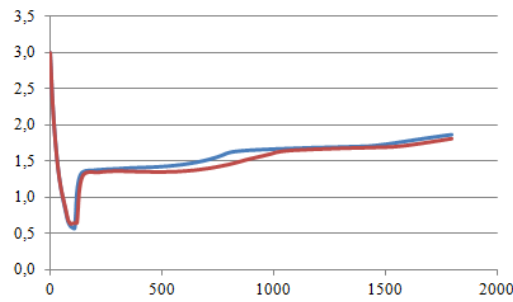


Figura 881 - Confronto altezze strato freddo opzione c

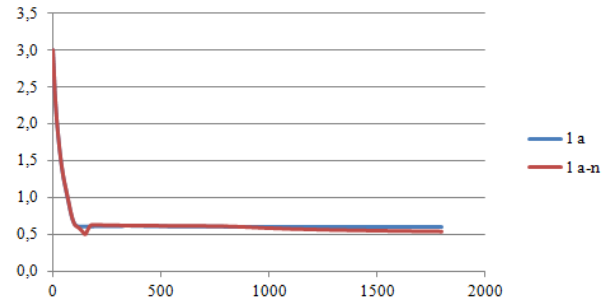


Figura 882 - Confronto altezze strato freddo caso 1a,variabile n

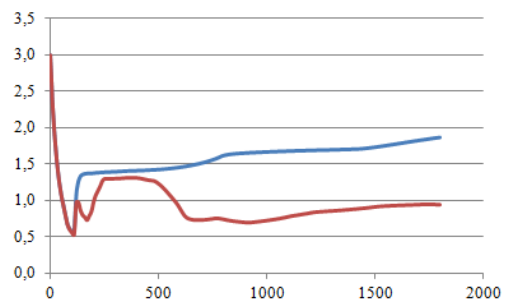


Figura 883 - Confronto altezze strato freddo caso 1c,variabile n

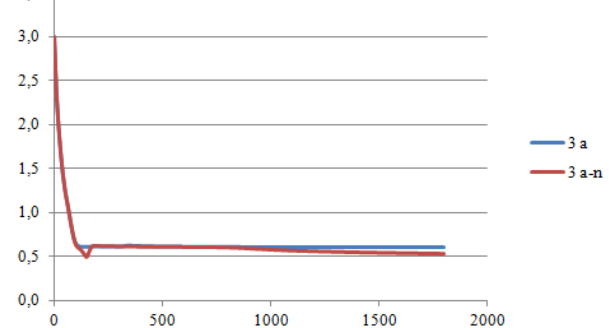


Figura 884 - Confronto altezze strato freddo caso 3a,variabile n

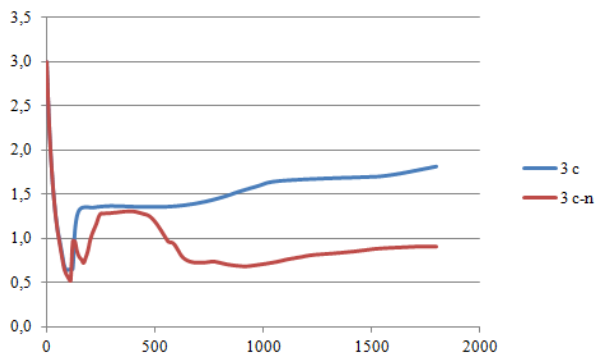


Figura 885 - Confronto altezze strato freddo caso 3c,variabile n

Dai grafici si può desumere che la presenza o meno dell'impianto antincendio influenza l'andamento dell'incendio, ad eccezione dell'opzione a in cui tutto rimane chiuso. L'assenza di un impianto antincendio determina la maggior quantità di fumi che invadono l'ambiente arrivando fino a 50 cm da terra.

14.3. Considerazioni sulle analisi degli scenari di incendio

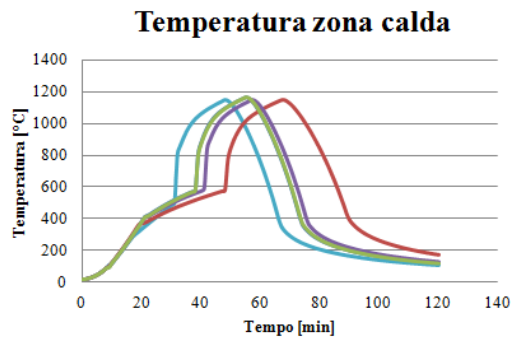


Figura 886 - OZone - Confronto temperature strato caldo, mensa

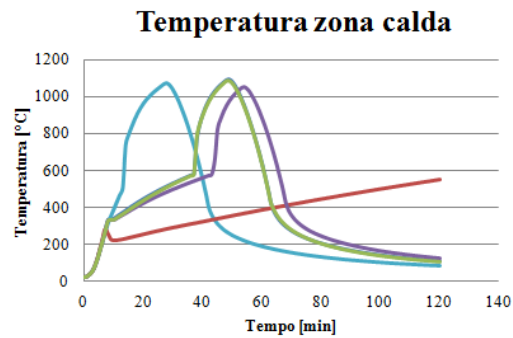


Figura 887 - OZone - Confronto temperature strato caldo, cucina

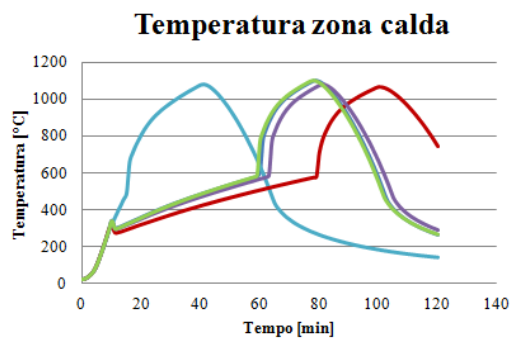


Figura 888 - OZone - Confronto temperature strato caldo, palestra

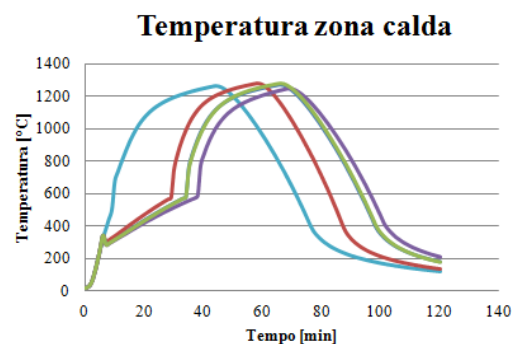


Figura 889 - OZone - Confronto temperature strato caldo, camera

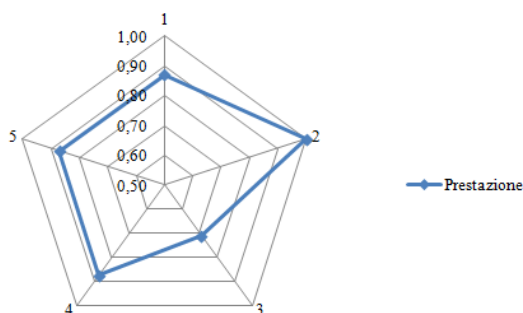


Figura 890 - OZone - Confronto prestazioni, mensa

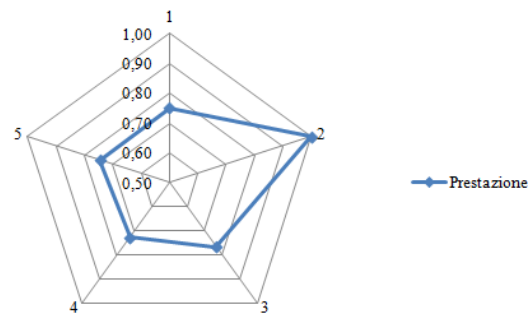


Figura 891 - OZone - Confronto prestazioni, cucina

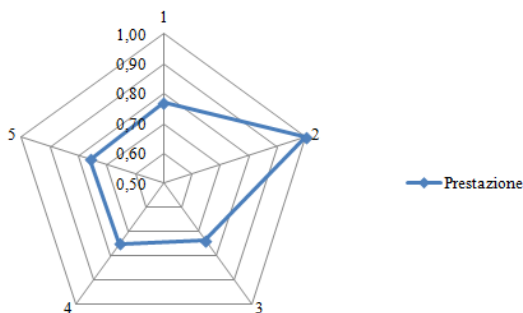


Figura 892 - OZone - Confronto prestazioni, palestra

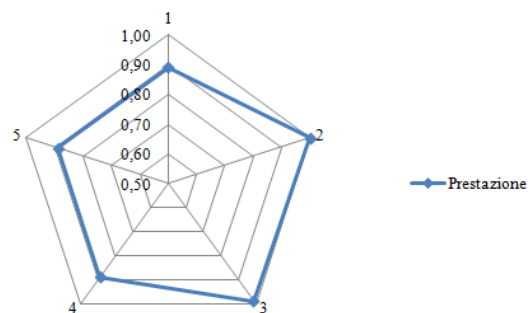


Figura 893 - OZone - Confronto prestazioni, camera

I grafici temperatura-tempo di OZone rivelano situazioni simili per forma della curva, eccetto solitamente il caso 2 (col vetro singolo), ma sfasate nel tempo; un andamento particolare è il 3 per la cucina, che per la notevole diminuzione di superficie vetrata, si sviluppa in modo diverso.

Il fattore discriminante l'andamento di un incendio è la scelta del vetro moderno o antico; se si sceglie quest'ultimo, le temperature sopra i 300° hanno vita più breve. Tutte le altre varianti al caso 1 (pacchetto migliorativo + finestre modificate) sono simili fra loro, ad eccezione della 3 (finestra di progetto) per la camera, dovuta probabilmente, come già detto, a una superficie finestrata maggiore.

Le analisi di CFast invece, mettono in evidenza come lo strato di rifinitura o la dimensione delle finestre non influiscano molto sull'andamento dello scenario; elementi essenziali sono invece i sistemi antincendio come gli sprinkler o il sistema di sicurezza del lucernario, che comportano il primo un'inibizione della crescita delle temperature e il secondo dello spessore dello strato caldo.

15. Conclusioni

Il lavoro di tesi svolto ha riguardato tre aree tematiche distinte, di cui sono state indagate le interrelazioni a livello progettuale. Le aree analizzate rispetto ad un caso progettuale di RSA hanno interessato:

- l'uso della luce naturale per il comfort visivo e la riduzione dei consumi energetici dovuti all'uso dell'illuminazione artificiale degli spazi confinati;
- il bilancio energetico della costruzione e la riduzione dei consumi termici per la climatizzazione invernale ed estiva in relazione alle caratteristiche di involucro;
- gli scenari di incendio per quanto riguarda la sicurezza delle utenze e la resistenza delle strutture edilizie in casi estremi.

Le indagini sono state svolte con l'ausilio di sofisticati software specialistici a supporto delle valutazioni di progetto, andando a utilizzare anche strumenti innovativi e in alcuni casi ancora in fase di sviluppo.

Gli ambienti del progetto che sono stati analizzati descrivono le condizioni di alcune specifiche stanze delle zone giorno e notte della RSA, situata a Cagliari e orientata con l'asse maggiore est-ovest, determinando esposizioni nord e sud per i locali utilizzati dalle utenze.

Nella zona giorno sono state prese in considerazione la mensa, la cucina e la palestra, esposte verso nord-ovest mentre per la zona notte è stata studiata una stanza tipo delle degenze.

In prima istanza il progetto è stato analizzato rispetto all'esposizione alla radiazione solare delle aperture, per verificare l'effettiva incidenza del carico solare dal punto di vista visivo e termico sulla costruzione, considerando le schermature derivanti dalle ombre proprie e portate dell'edificio. A seguito di questa prima verifica sono state svolte le analisi specifiche sull'uso della luce naturale.

I primi studi sono stati incentrati sulla valutazione del comfort visivo, con identificazione dei problemi a livello illuminotecnico, essenzialmente per dare una risposta funzionale alle necessità logiche organizzative, di distribuzione e flessibilità.

Le simulazioni svolte per la verifica della possibilità di uso della luce naturale hanno consentito di rilevare per la mensa, la cucina e la palestra, problemi di ridotta illuminazione a causa fondamentalmente della profondità degli ambienti e dell'esposizione mono-affaccio delle finestrate. La camera analizzata per la zona notte, invece, presentava potenziali problemi di abbagliamento che, rispetto al tipo d'uso della RSA, non possono essere trascurati ai fini del comfort dei degenti.

A seguito della prima analisi sugli spazi progettati si è provveduto a introdurre delle modifiche a livello dimensionale e geometrico delle superficie trasparente rispetto alle istanze iniziali. Si è provato quindi ad ampliare l'area delle vetrate nelle prime due stanze (mensa e cucina), cambiando la geometria dell'apertura per la terza (palestra) e riducendo leggermente quella dell'ultima (camera). L'esito del cambiamento ha mostrato miglioramenti delle condizioni di comfort visivo per la palestra e per la camera, mentre la cucina e la mensa, pur mostrando progressi, non avevano la possibilità di raggiungere un livello di illuminazione accettabile. Sono state a questo punto introdotte delle proposte progettuali per eliminare le deficienze ancora gravanti sugli ambienti più svantaggiati, verificando le prestazioni ottenibili con sistemi evoluti per il controllo del daylighting. Per la mensa si è pensato di inserire un light-shelf che riflettesse la radiazione solare più in profondità nell'ambiente, tuttavia, probabilmente a causa dell'orientamento nord-ovest, il provvedimento non è risultato efficace, comportando anzi l'annullamento del vantaggio apportato dall'ampliamento dell'apertura vetrata. Si è allora deciso di introdurre, mantenendo la modifica delle finestre rispetto alla configurazione base, un lucernario, che ha permesso di risolvere il problema dell'illuminazione nella parte più lontana (dai 14

ai 20 metri) dalla parete nord-ovest. Per la cucina, non essendo possibile inserire un'ulteriore apertura per la limitata estensione del muro esterno, è stato proposto direttamente un progetto di illuminazione artificiale, mirato al raggiungimento dei valori di illuminamento adeguati allo svolgimento delle attività di cucina, a integrazione della luce naturale.

Le proposte progettuali dell'inserimento del lucernario per la mensa, l'ampliamento delle finestre di mensa e cucina con l'aggiunta in quest'ultima dell'illuminazione artificiale, il mantenimento delle condizioni di progetto originarie della palestra e la riduzione della superficie finestrata per la camera, sono state quindi verificate tramite le analisi come scelte risolutive dei problemi rilevati nel progetto iniziale.

Dal punto di vista energetico sono state suddivise le analisi e riportati i risultati accorpando gli spazi analizzati della zona giorno e della zona notte. La mensa e la cucina sono state considerate come parte della zona giorno, mentre la camera è stata inserita nella zona notte.

I risultati individuati come ottimali per il campo illuminotecnico sono stati valutati anche a livello termico e hanno mostrato vantaggi rispetto alla domanda di riscaldamento della zona giorno e di raffrescamento della zona notte. Risultano invece leggermente peggiorativi nei casi complementari (per la zona giorno il fabbisogno di riscaldamento diminuisce circa del 7%, mentre quello di raffrescamento aumenta del 16,7%; per la zona notte la necessità di riscaldamento subisce un incremento del 3%, mentre quella di raffrescamento cala dell'8%). L'aumento della superficie vetrata favorisce maggiori guadagni solari, migliorando le condizioni in inverno, ma non in estate. La zona notte, nella quale la superficie trasparente è ridotta rispetto al progetto iniziale, presenta un comportamento opposto, con peggioramento nel periodo invernale e miglioramento nella stagione calda, ma in ogni caso la soluzione prospettata nella tesi è ottimale nel suo bilancio finale.

Gli scenari di incendio sono stati simulati con due software diversi, il primo che si concentra su un solo comparto con maggior enfasi sulla fase post *flashover*, che permette perciò di focalizzare l'attenzione sulla sicurezza strutturale, e il secondo che consente una simulazione di ambienti più complessi per un tempo più limitato, che si concentra sulla sicurezza delle persone.

Le analisi svolte col primo software hanno, ovviamente, tenuto conto del percorso che le ha precedute e ha permesso di comprendere la situazione delle singole stanze a livello illuminotecnico ed energetico. Si è partiti quindi distinguendo cinque casi, dei quali il primo corrisponde alla scelta migliore per luce naturale ed energia termica (si tratta infatti del pacchetto migliorativo con finestre modificate, tranne per quanto riguarda la palestra, che ha mantenuto la configurazione delle finestre di progetto), il secondo ipotizzando di avere nei serramenti un vetro obsoleto (singolo), il terzo con le finestre di progetto (modificate per la palestra), il quarto con la stratigrafia muraria di progetto, e il quinto con un pacchetto che avesse l'isolamento interno (si pensi per esempio a una ristrutturazione di un edificio esistente). L'indagine ha rivelato che dettagli di progettazione stratigrafica o sulla dimensione delle aperture non sconvolgono l'andamento di un incendio, al contrario della scelta obbligata in direzione del vetrocamera al posto di quello singolo.

Gli scenari prodotti con il secondo software, che riguardavano ancora una volta (come per il bilancio energetico) la zona giorno e la zona notte, hanno vagliato tre casi: il primo con pacchetto migliorativo e finestre modificate (come per l'altra applicazione), il secondo con la variante delle finestre di progetto e il terzo con il pacchetto di progetto. Non sono state esaminate tante combinazioni come per la prova precedentemente descritta poiché era possibile inserire fra i parametri considerati solo lo strato di finitura, senza considerare quelli più in profondità. Potendo studiare il comportamento dei fumi di un incendio in più ambienti fra loro comunicanti, si è deciso di incrociare le opzioni sopra descritte con altre ipotesi riguardanti diversi comportamenti ipotizzabili degli utenti, che comportassero l'apertura o meno delle porte di connessione o delle uscite verso l'esterno. Si è pensato

al caso in cui non fosse aperto alcun passaggio, ne fosse aperto uno solo, oppure tutti. Non ritenendo sufficiente porre sotto indagine queste variabili, è stato interessante verificare le differenze generate dall'assenza di un impianto antincendio o dall'introduzione di un sistema di apertura automatica del lucernario.

Ne è risultato che i comportamenti degli utenti possono influenzare l'incendio solo se vi è aperta una via che permetta al fumo di fluire da una stanza all'altra, ma il fattore discriminante è indubbiamente la presenza o meno di un impianto antincendio, che consente di mantenere le temperature piuttosto ridotte, e di un sistema di apertura del lucernario, che nonostante non incida positivamente sulla temperatura dello strato caldo, lo costringe entro limiti di spessore esigui.

In sintesi questo lavoro ha evidenziato come l'individuazione delle scelte ottimali del progetto coinvolga conoscenze multidisciplinari e la ricerca del miglior compromesso tra requisiti che richiedono a volte soluzioni differenti e apparentemente contrastanti. Diventa quindi importante poter verificare e quantificare in modo preciso l'impatto delle scelte progettuali tramite strumenti adeguati, in modo da valutarne l'efficacia complessiva. A questo scopo gli studi devono essere supportati da software specifici per l'analisi dei parametri fisico-tecnici dal punto di vista illuminotecnico e termico, senza chiaramente prescindere da una solida conoscenza dei fenomeni trattati e del giudizio critico del progettista, che rappresenta un fondamentale momento di controllo sulla stabilità e affidabilità delle valutazioni ottenute.

Bibliografia e sitografia

AA.VV., *Cracking behavior of glazings with different thicknesses by radiant exposure*, Fire and materials, Fire Mater, 2011

AA.VV., *Definizione e simulazione degli scenari di incendio di progetto nella valutazione della sicurezza antincendio con metodi prestazionali negli edifici di interesse storico artistico*, Convegno Nazionale Valutazione e gestione del rischio negli insediamenti civili ed industriali a cura di M. Carcassi e A. De Varti, Pisa, 2004

AA.VV., *Full-scale experimental study on crack and fallout of toughened glass with different thicknesses*, Fire and materials, Fire Mater, 2008; 32:293-306

A. Amico, G. Bellomia, *Calcolo del carico di incendio e verifica della resistenza al fuoco delle strutture in cemento armato legno acciaio*, in *Carico di incendio*, Dario Flaccovio Editore, 2010

E. Arbizzani, R. Di Giulio, *Residenze sanitarie assistenziali. Il progetto e la realizzazione*, Maggioli Editore, Progettazione Tecniche & Materiali, Rimini, 2002

E. Bazzan, *Un esempio pratico di sicurezza antincendio*, in "Il perito industriale. Progettare - dirigere - costruire - collaudare" n.4/2010

L. Bellia, A. Cesarano, G. Spada, *Application of videophotometer in the evaluation of DGI in scholastic environment. International Journal on Architectural Science*, Vol. 6, 2, pp.82-88, 2005

A. H. Buchanan, *Sicurezza antincendio negli edifici*, in *Progetto delle strutture resistenti al fuoco*, a cura di P. Gambarova, R. Felicetti, Hoepli, 2009

M. Buldrini, G. Zappellini, *Lo Studio dell'evacuazione in condizioni di emergenza: modelli di simulazione ed aspetti applicativi critici*, Convegno Nazionale Valutazione e gestione del rischio negli insediamenti civili ed industriali a cura di M. Carcassi e A. De Varti, Pisa, 2004

F. M. Butera, *Architettura e ambiente. Manuale per il controllo della qualità termica, luminosa e acustica degli edifici*, Etas Libri, Milano, 1995

G. Cammarata, *Fisica tecnica ambientale*, Mc Grow-Hill, Milano, 2007

V. Cirillo, S. Inzerillo, *Linee guida per la progettazione antincendio Redazione del piano di emergenza*, in *La sicurezza antincendio nelle attività lavorative, adempimenti e sanzioni alla luce del D.Lgs 81/2008*, Ipsosa, 2008

V. Cirillo, S. Inzerillo, *Contenuti e modalità di gestione del registro antincendio*, Blumatica srl, 2008

Desktop Radiance 2.0 BETA User Manual, Lawrence Berkeley National Laboratory Environmental Energy Technologies Division Building Technologies Department

Determinazione scenari d'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, 2007

S. Domeniconi, *Implementazione di un modello simulativo per l'evacuazione di edifici in caso di emergenza*, Tesi di laurea in laboratorio di Simulazione per la Logistica LS, Università degli studi di Bologna, 2008-2009

S. Doyle, C. Reinhart, *High dynamic range imaging & glare analysis*, Harvard graduate school of design, 2010

DPR 59/09 – *Attuazione del DLgs 192/05*

Energy and Buildings Volume 38, number 7, July 2006

A. Ferrari, *"water based fire suppression systems" nella definizione degli scenari della Fire Safety Engineering*, 13° Convegno AllA Evoluzione della Protezione Automatica Sprinkler e Sviluppi Normativi, Milano, Novembre 2011

- A. del Gallo, *La resistenza al fuoco delle costruzioni con l'approccio ingegneristico alla sicurezza antincendio*
- S. Ghezzi, *La progettazione dell' illuminazione naturale. Confronto tra metodi semplificati e modelli*, Politecnico di Milano, 2008-2009
- G. Giomi, *Evoluzione del quadro normativo nazionale*
- F. Gugliermetti, F. Bisegna, *Integrazione luce naturale/artificiale in ambito terziario e abitativo*, Report RSE/2009/13, ENEA
- A. Jakubiec, C. Reinhart, *The use of glare metrics in the design of daylight spaces: recommendations for practice*, 9th international Radiance workshop, Harvard Design School, 2010
- K. Kang, *Assessment of a model development for window glass breakage due to fire exposure in a field model*, Fire Safety Journal, 2008
- S. Kerber, *Analysis of changing residential fire dynamics and its implications on firefighter operational timeframes*, Springer Science+Business Media, LLC. Manufactured in The United States, 2011
- G. W. Larson, R. Shakespeare, J. Mardaljevic, C. Ehrlich, *Rendering with Radiance: a practical tool for global illumination*, ACM Siggraph '98 course #33, Orlando, 1998
- M. Malizia, *Prevenzione Incendi nelle attività ospedaliere*, D.M 18 settembre 2002
- S. Marsena, G. Calocchia, *Barriere architettoniche e prevenzione incendi*, Il Sole 24 Ore, 2000
- A. Marsh, *The interaction of Radiance and Ecotect*, 5th annual Radiance workshop, Leicester, 2006
- R. G. Mistrick, *Desktop Radiance Overview*, the Pennsylvania State University, 2000
- A. Monaco, G. Spada, *Vie ed uscite di emergenza nei luoghi di lavoro e nelle attività soggette a controlli di prevenzione incendi*, guida tecnica n. 5, Ministero dell'Interno COMANDO provinciale Vigili del Fuoco - Udine
- A. Nabil, J. Mardaljevic, *Useful daylight illuminance: a new paradigm for assessing daylight in buildings*. Lighting Research and Technologies 37,1 (2005) 41-59.
- A. Nabil, J. Mardaljevic, *Useful daylight illuminance: a replacement for daylight factors*. Energy and Buildings 38 (2006) 905-913.
- L. Nigro, A. Ferrari, *Esperienze di casi reali sull'esodo per fabbricati di grande altezza*, Istituto Superiore Antincendi Roma, Settembre 2007
- L. Nigro, S. Marinelli, *Impianti antincendio. Tipologia, progettazione, realizzazione, collaudo, manutenzione, esempi pratici*, EPC Libri, Roma, 2007
- E. Nigro, *Sicurezza strutturale in caso di incendio e metodi di calcolo*, in *Progettazione di strutture in acciaio e composte acciaio-calcestruzzo in caso di incendio*, AA.VV., Hoepli, 2009
- Norma UNI EN 357, *Elementi vetrificati resistenti al fuoco comprendenti prodotti di vetro trasparenti o traslucidi*
- Norma UNI EN 1279-1, *Vetrature isolanti. Parte 1: Generalità, tolleranze dimensionali e regole per la descrizione del sistema*
- Norma UNI EN 1364, *Valutazione resistenza al fuoco*
- Norma UNI 9795, *Rilevazione fumi*
- Norma UNI EN ISO 6946, *Resistenza termica e trasmittanza termica. Metodo di calcolo*
- Norma UNI 10339, *Impianti aeraulici a fini di benessere. Generalità, classificazione e requisiti*
- Norma UNI 10349:1994, *Riscaldamento e raffrescamento degli edifici. Dati climatici*

Norma UNI/TS 11300-1, *Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale*

Norma UNI EN 12464-1:2004, *Luce e illuminazione - Illuminazione dei posti di lavoro - Parte 1: Posti di lavoro in interni*

Norma UNI EN ISO 13370, *Trasferimento di calore attraverso il terreno. Metodi di calcolo*

Norma UNI EN 13501, *Classificazione al fuoco dei prodotti e degli elementi da costruzione*

Norma UNI EN ISO 13789:2001, *Prestazione termica degli edifici - Coefficiente di perdita di calore per trasmissione - Metodo di calcolo*

Norma UNI EN ISO 13790:2005, *Prestazione termica degli edifici - Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento*

A. Nucara, M. Pietrafesa, *Elementi di illuminotecnica. Quaderno di dipartimento*, Università degli Studi "Mediterranea" di Reggio Calabria, Facoltà di Ingegneria, Dipartimento di Informatica Matematica Elettronica e Trasporti

T. Otis, C. Reinhart, *A design sequence for diffuse daylighting "Daylighting rules of thumb"*, Harvard graduate school of design, 2009

R. D. Peacock, W. W. Jones, P. A. Reneke, G. P. Forney, *CFAST - Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport (Version 6) User's Guide*, NIST Special Publication 1041, August 2005

G. Petinelli, C. Reinhart, *Advanced daylight simulations using Ecotect / Radiance / Daysim 'Getting started'*, 2006

L. Ponticelli, M. Caciolai, *Resistenza al fuoco delle costruzioni*, a cura di C. De Angelis, Utet Scienze Tecniche, 2008

C. F. Reinhart, *Tutorial on the use of Daysim Simulations for Sustainable Design*, Harvard graduate school of design, Cambridge, 2010

C. Reinhart, J. Wienold, *The daylighting dashboard - a simulation based design analysis for daylit spaces*, SimBuild 2010, New York City, 2010

C. F. Reinhart, J. Wienold, *The daylight dashboard - A simulation-based design analysis for daylit spaces*, *Building and Environment*, 2011

T. J. Shields, G. W. H. Silcock and M. F. Flood, *Performance of a Single Glazing Assembly Exposed to Enclosure Corner Fires of Increasing Severity*, *Fire and materials*, Fire Mater, 2001

T.J. Shields, G.W.H. Silcock, M. Flood, *Performance of a Single Glazing Assembly Exposed to a Fire in the Centre of an Enclosure*, *Fire and materials*, Fire Mater. 2002; 26: 51-75

Short description of evalglare, Version v0.9, July 2008

S. L. Spagnolo, *Classe energetica degli edifici: le procedure di calcolo secondo le UNI/TS 11300.1,-2,-3*, Maggioli Editore, 2011

J. Wienold, J. Christoffersen, *Evaluation methods and development of a new glare prediction model for daylight environments with the use of CCD cameras*, *Energy and Buildings*, 2006

J. Wienold, *Dynamic daylight glare evaluation*, Eleventh international IBPSA conference, Building Simulation 2009, 2009

J. Wienold, *Evalglare. A Radiance based tool for glare evaluation*, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

J. Wienold, *Evalglare. A new Radiance-based tool to evaluate glare in office spaces*, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

J. Wienold, F. Frontini, S. Herkel, S. Mende, *Climate based simulation of different shading device system for comfort and energy demand*, in *Proceeding of building Simulation 2011: 12th conference of international building performance simulation association*, Sydney

Q. Xie, *Experimental study on critical breakage stress of float glass with different thicknesses under conditions with temperatures of 25 and 200°C*, Fire and materials, Fire Mater, 2011

C. Zancanaro, *Il ruolo del progetto nella prevenzione incendi*, Maggioli Editore, 1999

<http://195.103.237.153/minisiti/energia/documenti/Servizi/prontuario/uni.htm>

<http://www.antincendio.it>

<http://www.arch.unige.it/did/11/disegnoind/secondonau0203/fisica/dispense/illuminazioneNaturale.pdf>

<http://www.arch.unige.it/did/11/disegnoind/secondonau0203/fisica/dispense/fotometria.pdf>

<http://www.argenco.ulg.ac.be/logiciel.php>

<http://www.blumatica.it/software/valutazione-del-rischio-di-incendio.asp>

<http://www.bmsistemi.com/software-antincendio.asp>

<http://www.bmsistemi.com/software-fire-safety-engineering.asp>

<http://www.castfvg.it/notiziar/1998/ccd.htm>

<http://chimicitrentinoalloadige.wordpress.com/2012/01/30/la-progettazione-strutturale-e-la-sicurezza-in-caso-di-incendio/>

<http://www.dial.de/DIAL/it/dialux.html>

<http://www.enginsoft.it/software/ansys/cfd/cfx/index.html>

<http://www.fisica.uniud.it/~soramel/FisicageneraleII/>

<http://fseg.gre.ac.uk/exodus/>

http://www.isaac.supsi.ch/ISAAC/materiale_progetti/uisol/private/Materiale%20scaricabile/UiSOL_A2b%20-%20powerpoint/modulo%201/m1_13.pdf

<http://iafss-es.brunamal.is/efd/ch4/ch4co.html>

<http://www.lightitaly.it/illuminotecnica/cmsx.asp?IDPg=296>

<http://www.moncini.it/prodotti-moncini/pavimenti-sopraelevati-moncini/normative-pavimenti-galleggianti-moncini.html>

http://new-learn.info/learn/student/resources/radiance/doc/radiance_ambient_parameters.pdf

<http://www.ordinearchitetticomo.it/uploads/pdf/I2-%20Bilancio%20energetico.pdf>

<http://www.progettazione-impianti-elettrici.it>

<http://www.proiezionisti.com/pagine/rei.php>

<http://www.puntosicuro.it/prevenzione-incendi-cat-11/software-gratuito-per-il-calcolo-del-carico-di-incendio-art-7403/>

<http://radsite.lbl.gov/radiance/refer/Notes/glare.html>

http://safe.uniud.it/FEE1_it.htm

<http://www.settimanabioarchitetturaedomotica.it/PDF/MARTPOM/MURANO.pdf>

<http://www.sicurezzaonline.it/primop/pppin/pppindoc/murfuo/murcomfuoric.htm>

<http://www.ssosa.com/rsa.htm>

<http://www.studiosartor.com/TSDay12.htm>

http://www.terzaeta.com/serv/serv_residen/non_autosufficienti/resid_sanit_assisten.html

<http://www.voltimum.it/news/5565/s/Software-gratuito-per-il-calcolo-del-carico-di-incendio.html>

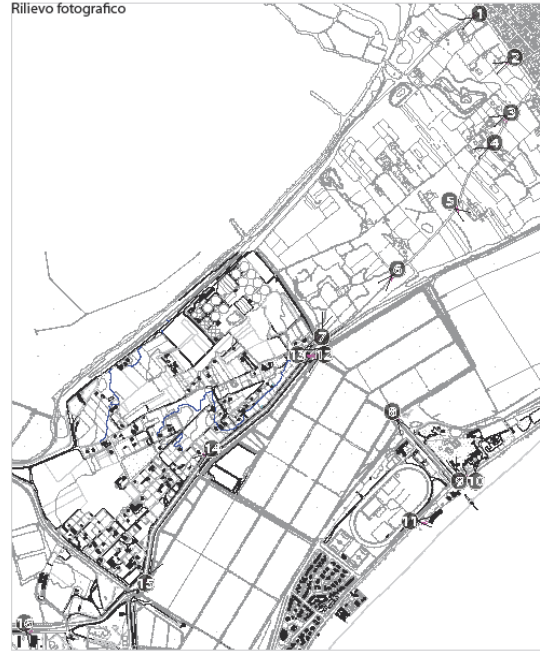
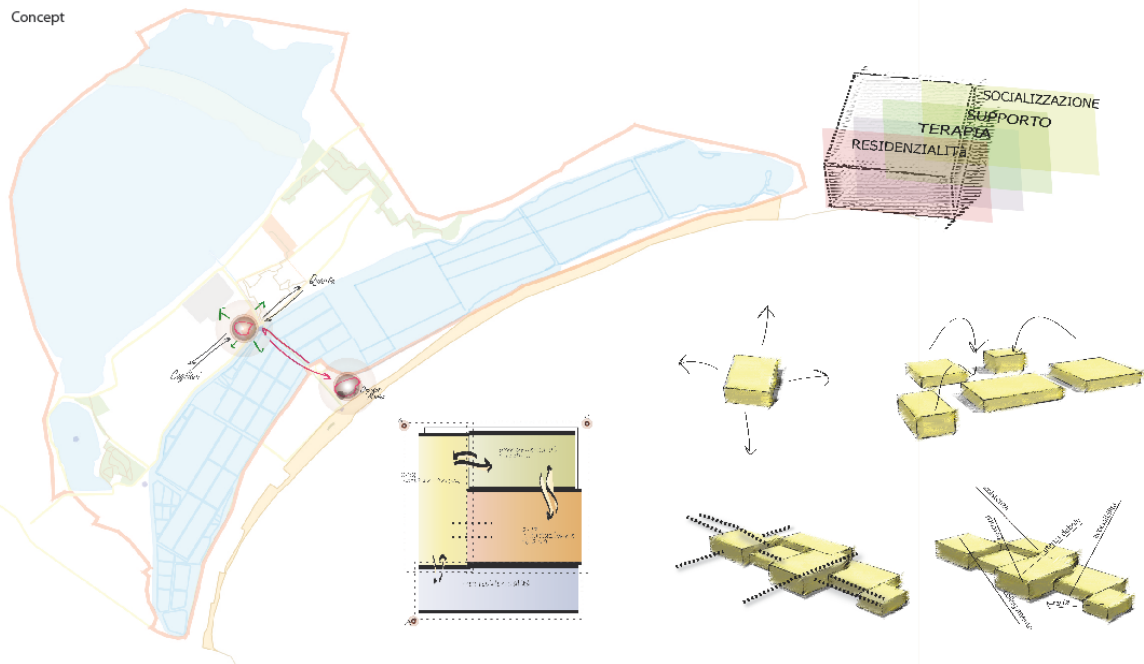
http://web.taed.unifi.it/fisica_tecnica/dispense/fond_luce.pdf

http://it.wikipedia.org/wiki/Residenza_Sanitaria_Assistenziale

<http://www.zenomoretti.com/impianti/antincendio/ospedalicaseriposo.htm>

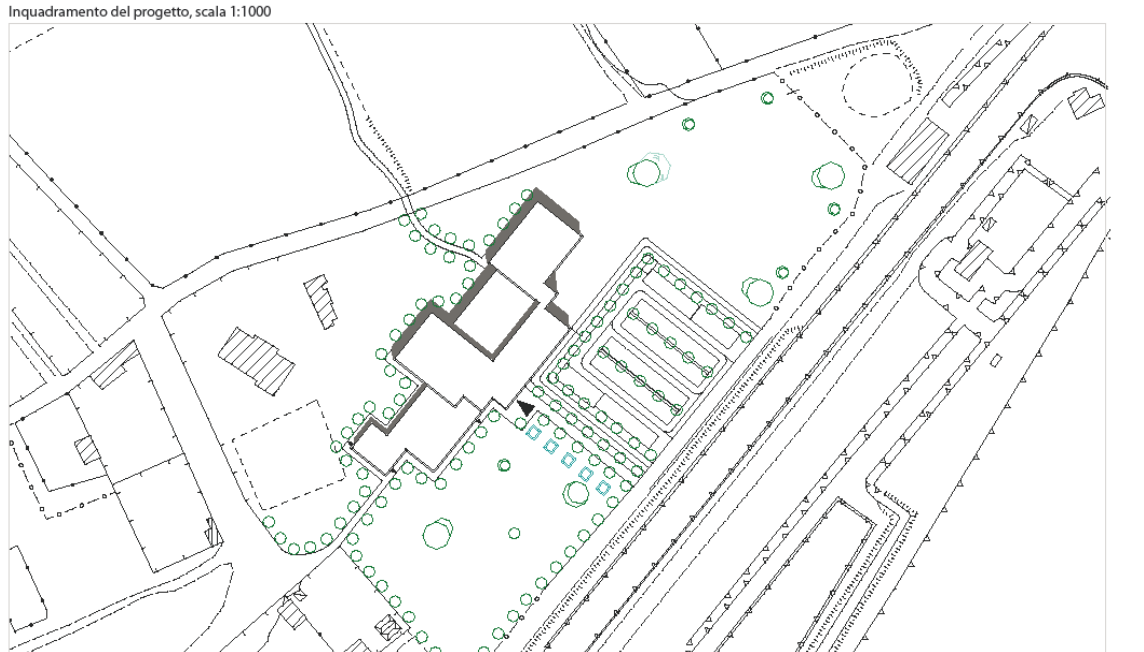
Appendice

Tavole di presentazione del progetto



Piante locali

OLEA EUROPAEA Comunemente chiamato "Olivio", è una pianta sempreverde appartenente alla famiglia delle Oleaceae. Attivo in modo attenuato nel periodo invernale.	QUERCUS ILEX Comunemente chiamato "Leccio", è una pianta appartenente alla famiglia delle Fagaceae. Sempreverde può raggiungere fino a 25 metri di altezza.	CITRUS SINENSIS Comunemente chiamato "Arancio", è un albero appartenente alla famiglia delle Rutaceae. Può raggiungere 12 metri di altezza e ha fiori candidi.	CERATONIA SILIQUA Comunemente chiamato "Carubo" e appartiene alla famiglia delle Fabaceae. Sempreverde a chioma espansa, può raggiungere fino a 10 metri di altezza.
QUERCUS SUBER Comunemente chiamato "Quercia-sughero", è un albero sempreverde appartenente alla famiglia delle Quercus. Di colore grigio-rossastro nei rami di alcuni anni d'età, con screpolature grigio-chiare.	MYRTUS COMMUNIS Comunemente chiamato "Mirto", è un arbusto sempreverde della famiglia delle Myrtaceae, vive in luoghi aridi e alto da 50 a 300 cm, molto serrato. La corteccia, rosciosa nei rami giovani, col tempo assume un colore grigiastro.	ROSUMARINUS Comunemente chiamata "Rosmarino", appartiene alla famiglia delle Labiatae, vive in luoghi aridi e rocciosi lungo le coste. Arbusto sempreverde aromatico, ha foglie scure di sopra, bianco tomentoso di sotto.	CERCIS SILIQUASTRUM Comunemente chiamato "Albero di Giuda" e fa parte della famiglia delle leguminose, può raggiungere sino a 10 metri di altezza. Ha vistosi fiori rosa-violacei, foglie tonde, cuoriformi o reniformi.
ULMUS MINOR Comunemente chiamato "Olmo", è un albero appartenente alla famiglia delle Ulmaceae. Può raggiungere i 20-30 metri di altezza, con chioma densa e irregolare, tronco diritto molto ramificato.	CHAMAEROPS HUMILIS Comunemente chiamata "Palma nana", è un arbusto sempreverde della famiglia delle Arecaceae. Raggiunge normalmente altezze sino a 2 metri con foglie larghe, robuste, a ventaglio.	ARTHROCNEMUM Comunemente chiamata "Salicornia", della famiglia delle Chenopodiaceae. Diffusa su suoli salini presso stagni e paludi costiere. Pianta tipicamente alofila, accumula grandi quantità di sale, nei rami carnos.	PHRAGMITES AUSTRALIS Comunemente chiamata "Cannuccia di palude", pianta erbacea perenne della famiglia delle Poaceae. All'apice del fusto, è presente una pannocchia di colore bruno o violaceo, lunga fino a 40 centimetri.



Riferimenti progettuali

OAXACA SCHOOL OF PLASTIC ARTS
Oaxaca, Mexico, 2009
Taller de Arquitectura Mauricio Rocha

CASA DE MASI
Lecce, Italy, 2008
Piergiorgio Semeraro

CASA DAS HISTÓRIAS
Cascais, Portugal, 2008
Eduardo Souto de Moura

OLISUR OLIVE OIL FACTORY AND OFFICES
San José de Marchigue, Chile, 2008
Guillermo Hevia - GHA Architects

Inquadramento territoriale

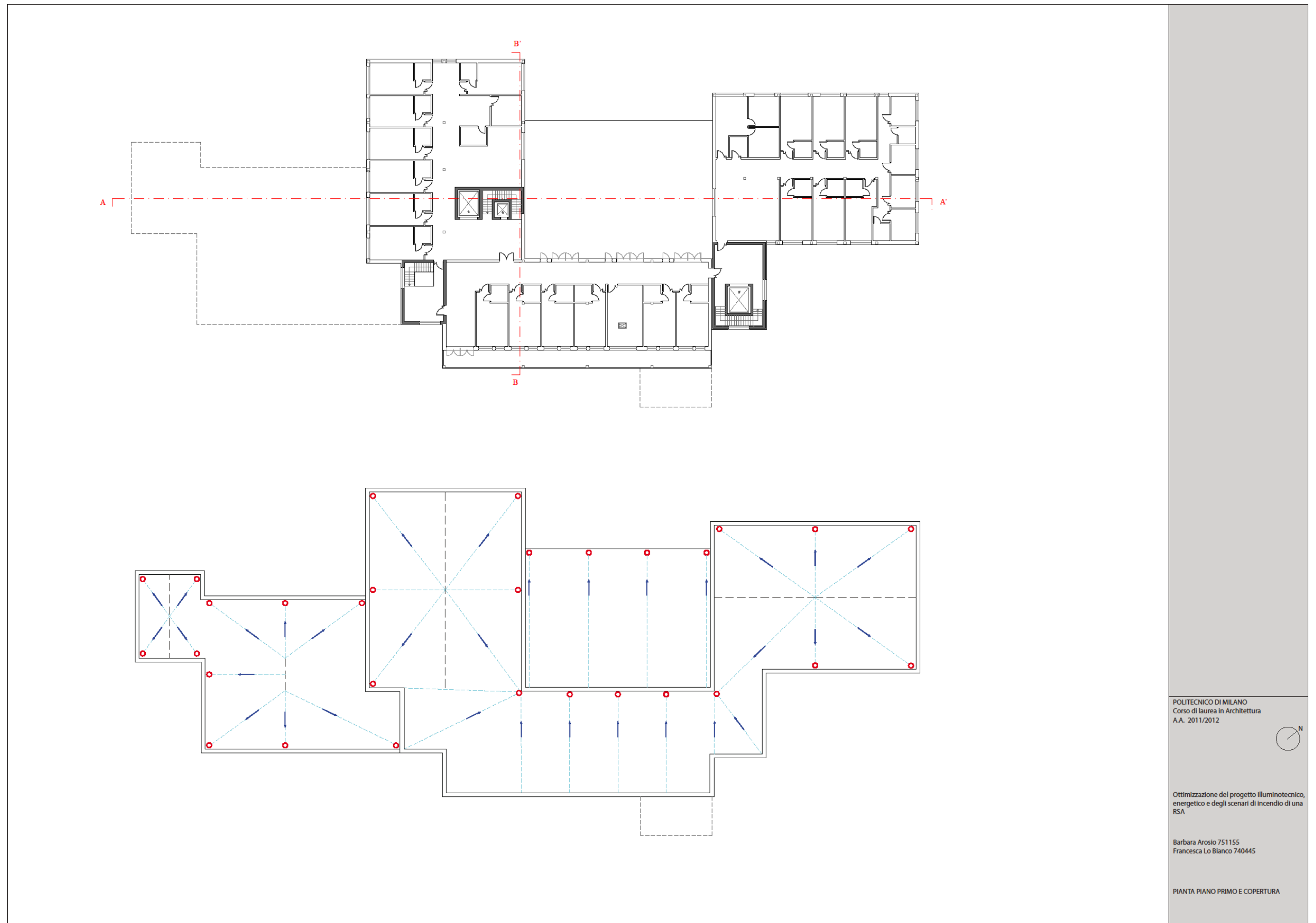
POLITECNICO DI MILANO
Corso di laurea in Architettura
A.A. 2011/2012

Ottimizzazione del progetto illuminotecnico, energetico e degli scenari di incendio di una RSA

Barbara Arosio 751155
Francesca Lo Bianco 740445

PROGETTO EURISTICO E PRELIMINARE

Figura 894 - Tavola progetto euristico e preliminare



POLITECNICO DI MILANO
 Corso di laurea in Architettura
 A.A. 2011/2012

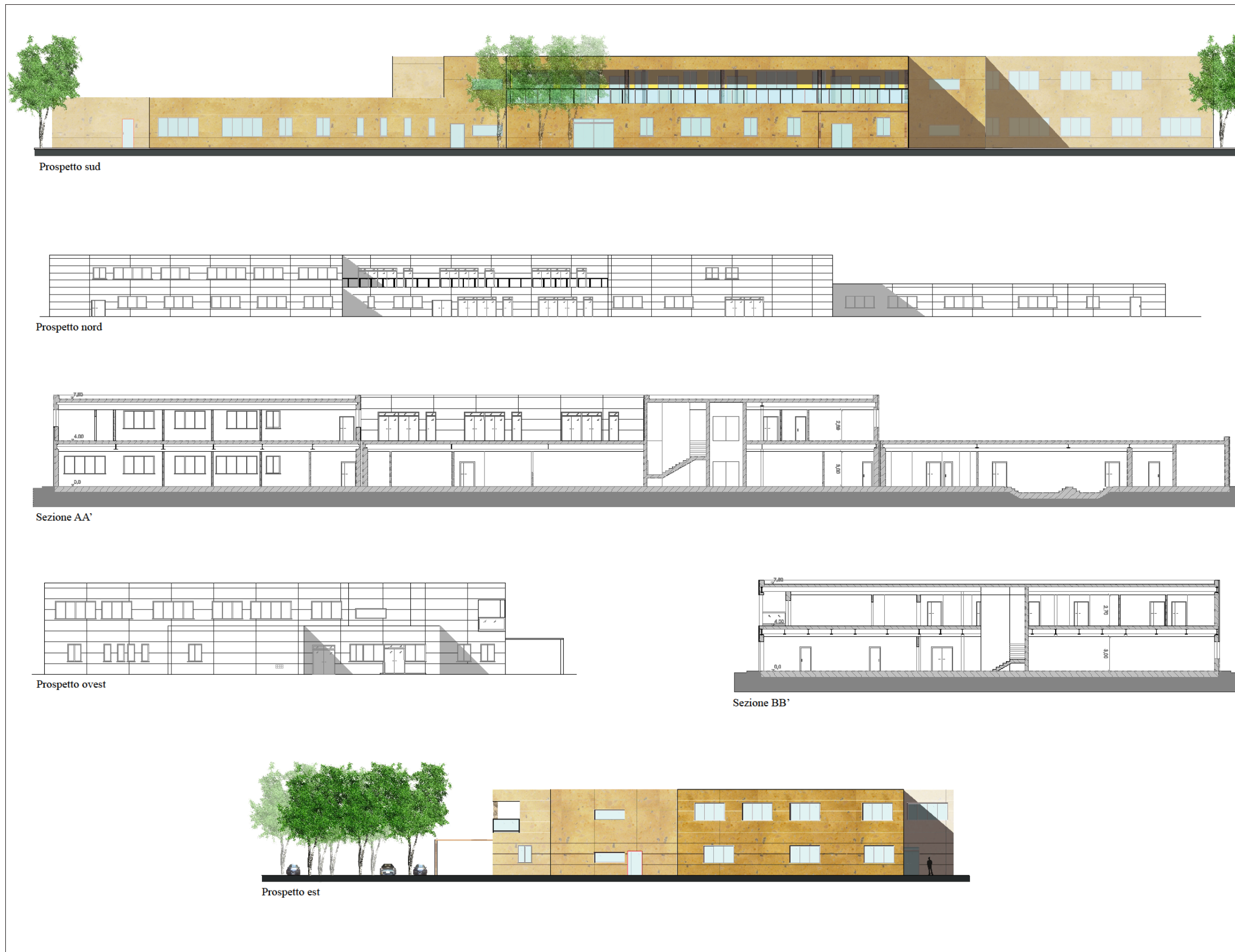


Ottimizzazione del progetto illuminotecnico,
 energetico e degli scenari di incendio di una
 RSA

Barbara Arosio 751155
 Francesca Lo Bianco 740445

PIANTA PIANO PRIMO E COPERTURA

Figura 895 - Tavola pianta piano primo e copertura



Prospetto sud

Prospetto nord

Sezione AA'

Prospetto ovest

Sezione BB'

Prospetto est

POLITECNICO DI MILANO
 Corso di laurea in Architettura
 A.A. 2011/2012



Ottimizzazione del progetto illuminotecnico,
 energetico e degli scenari di incendio di una
 RSA

Barbara Arosio 751155
 Francesca Lo Bianco 740445

PROSPETTIVE SEZIONI

Figura 896 - Tavola prospetti e sezioni



LEGENDA

UNITA' FUNZIONALE

AR Area destinata alla residenzialità

- AR 1 camera doppia
- AR 1.1 servizio igienico camera doppia
- AR 2 camera singola
- AR 2.1 servizio igienico ogni due
- AR 3 soggiorno, gioco-tv
- AR 4 bagno assistito
- AR 5 servizi igien. ospiti
- AR 6 locale deposito attrezzature
- AR 7 ambulatorio-medicheria
- AR 8 locale di servizio personale di assistenza
- AR 9 biancheria pulito-sporca

AG Area generali di supporto

- AG 1 ingresso / atrio
- AG 2 reception - informazioni
- AG 3 segreteria / direzione
- AG 3.1 WC area amministrativa
- AG 4 spogliatoio personale (M)
- AG 4.1 WC personale (M)
- AG 5 spogliatoio personale (F)
- AG 5.1 WC personale (F)
- AG 6 lavanderia - stireria
- AG 7 deposito materiali sanitari
- AG 8 magazzino / deposito
- AG 9 cucina
- AG 9.1 WC personale cucina

AS Area di socializzazione

- AS 1 soggiorno, musica, lettura
- AS 2 sala pranzo
- AS 3 bar
- AS 4 permanenza
- AS 5 servizi igienici

AV Area destinata alle valutazioni e alle terapie

- AV 1 filochinesi
- AV 1.1 WC personale
- AV 2 telecamerale
- AV 3 bagni galvanici
- AV 4 placina
- AV 5 spogliatoio terapia (M)
- AV 5.1 WC terapia (M)
- AV 6 spogliatoio terapia (F)
- AV 6.1 WC terapia (F)
- AV 7 palestra
- AV 8 spogliatoio palestra (M)
- AV 8.1 WC palestra (M)
- AV 9 spogliatoio palestra (F)
- AV 9.1 WC palestra (F)

AD distribuzioni

- AD 1 collegamenti orizzontali
- AD 2 collegamenti verticali

FS Area generali di supporto fuori standard

- FS 1 centrali tecnologiche
- FS 2 terrazze

POLITECNICO DI MILANO
 Corso di laurea in Architettura
 A.A. 2011/2012

Ottimizzazione del progetto illuminotecnico, energetico e degli scenari di incendio di una RSA

Barbara Arosio 751155
 Francesca Lo Bianco 740445

PIANTA PIANO TERRA CON FUNZIONI

Figura 897 - Tavola pianta piano terra con funzioni



LEGENDA

- Punto luce
- Punto luce a parete
- Lampada da tavolo
- Interruttore comando luci
- Deviatore comando luci
- Punto accensione luce doppiamento
- Presa di corrente
- Presa telefono
- Presa televisione
- Termostato ambiente
- Quadro elettrico principale

Gli impianti elettrici interni hanno origine da appositi quadri generali da cui si dipartono le linee montanti atte ad alimentare i quadri secondari di distribuzione, sia per luce che per prese motrici, una linea indipendente per l'alimentazione dei motori degli ascensori, altre linee indipendenti per i motori della centrale termica, della lavanderia, della cucina. Saranno perciò da distinguere i circuiti per l'illuminazione e i circuiti per forza motrice a corrente alternata monofase da 220V e a corrente trifase.

- Tubi di andata
- Tubi di ritorno
- Collettore di collegamento alla caldaia
- Venti collettore

Il riscaldamento concorre ad assicurare l'adeguato grado di benessere ai degenti e al personale. Generalmente i valori di temperatura dell'aria richiesti sono:
 stanze di degenza 20-22°
 bagni e locali di medicazione 22°
 sale di attesa, soggiorni, uffici, spogliatoi, laboratori 18°
 corridoi e scale 15-16°.
 Sistema ad acqua calda (termosifone), a circolazione meccanica, con radiatori a elementi lisc; temperatura conveniente nei serpenti 40-45°.

POLITECNICO DI MILANO
 Corso di laurea in Architettura
 A.A. 2011/2012



Ottimizzazione del progetto illuminotecnico, energetico e degli scenari di incendio di una RSA

Barbara Arosio 751155
 Francesca Lo Bianco 740445

PIANTA IMPIANTO ELETTRICO
 PIANA IMPIANTO DI RISCALDAMENTO

Figura 898 - Tavola pianta impianto elettrico e pianta di riscaldamento

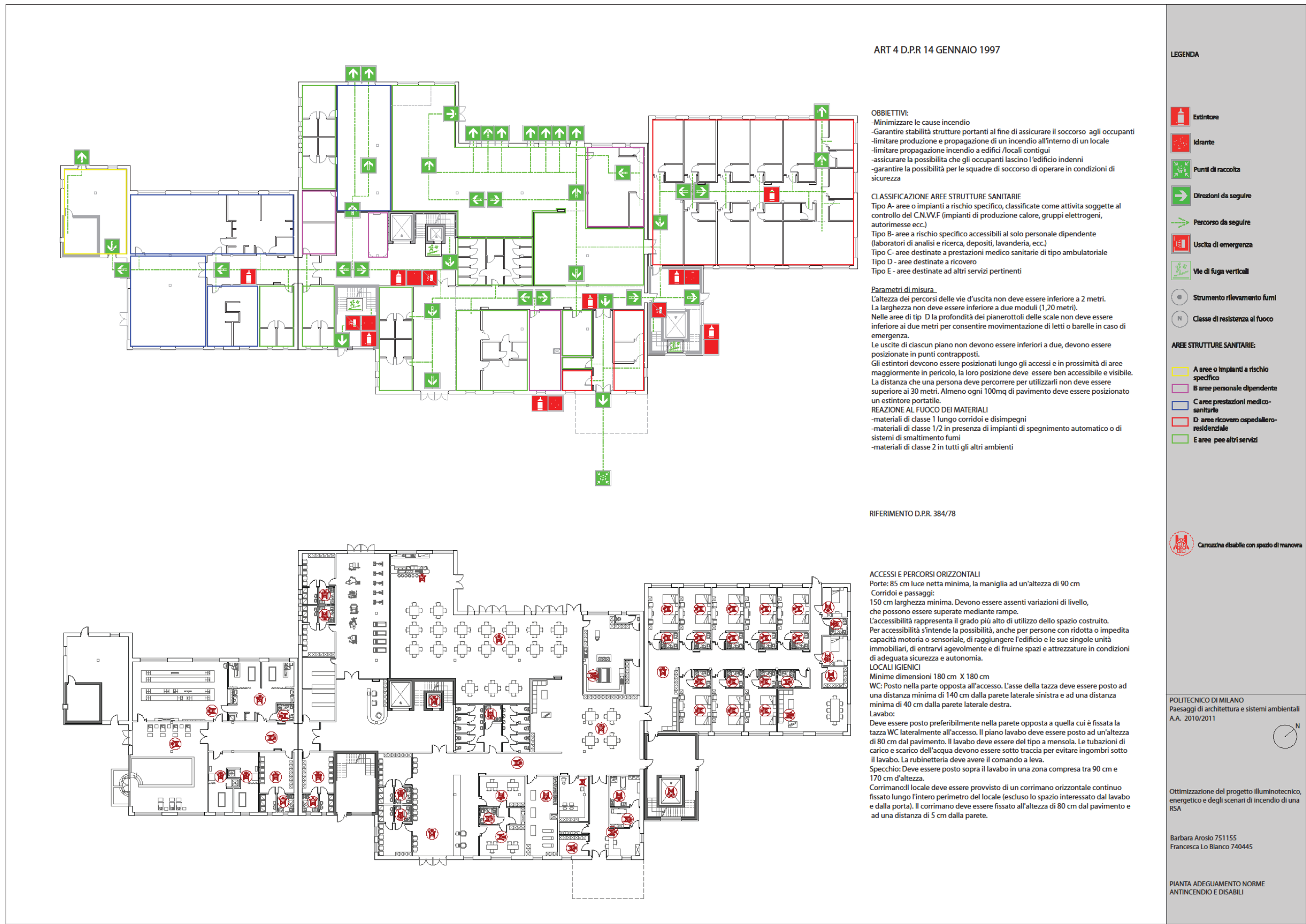


Figura 899 - Tavola pianta adeguamento norme antincendio e disabili

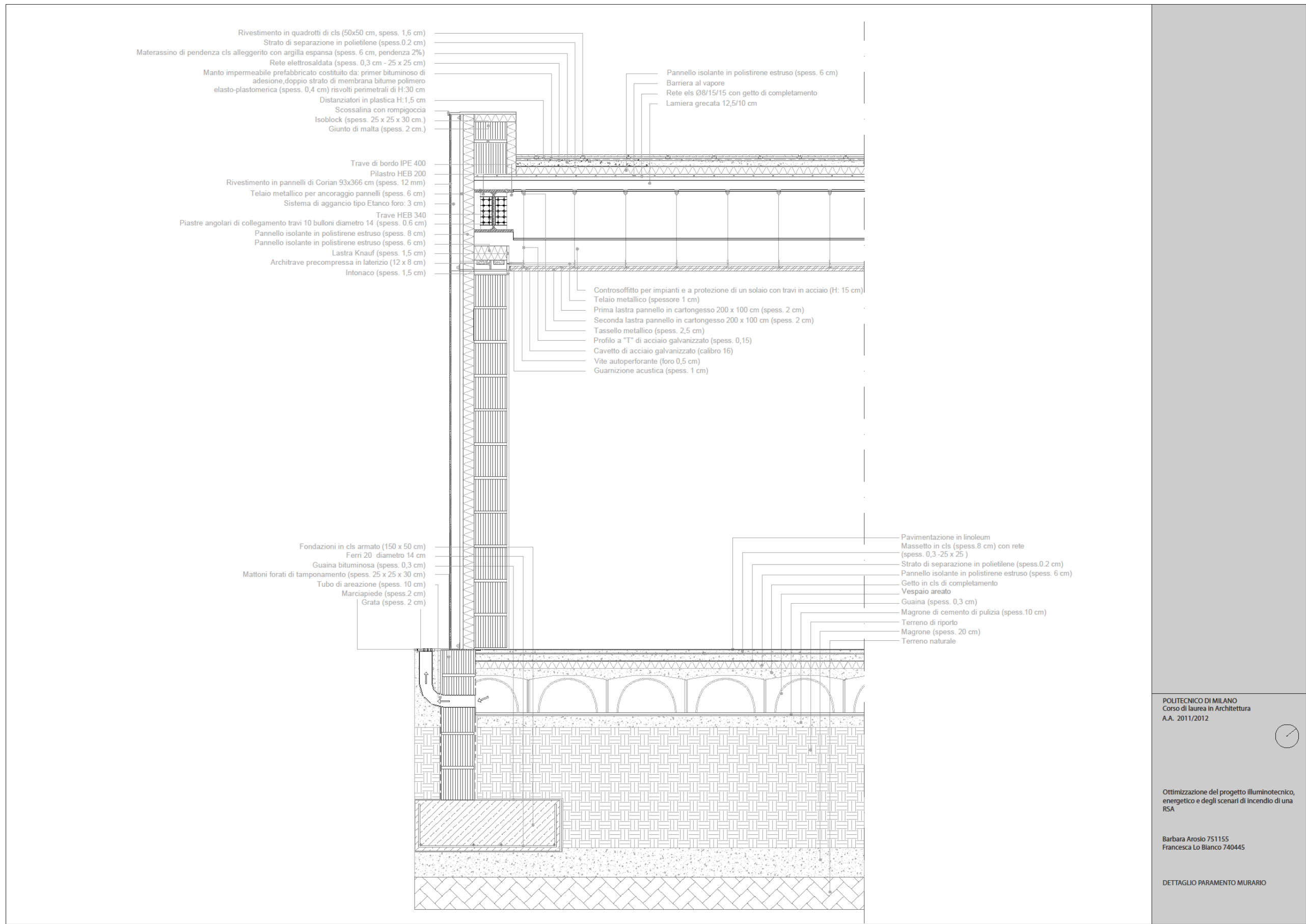


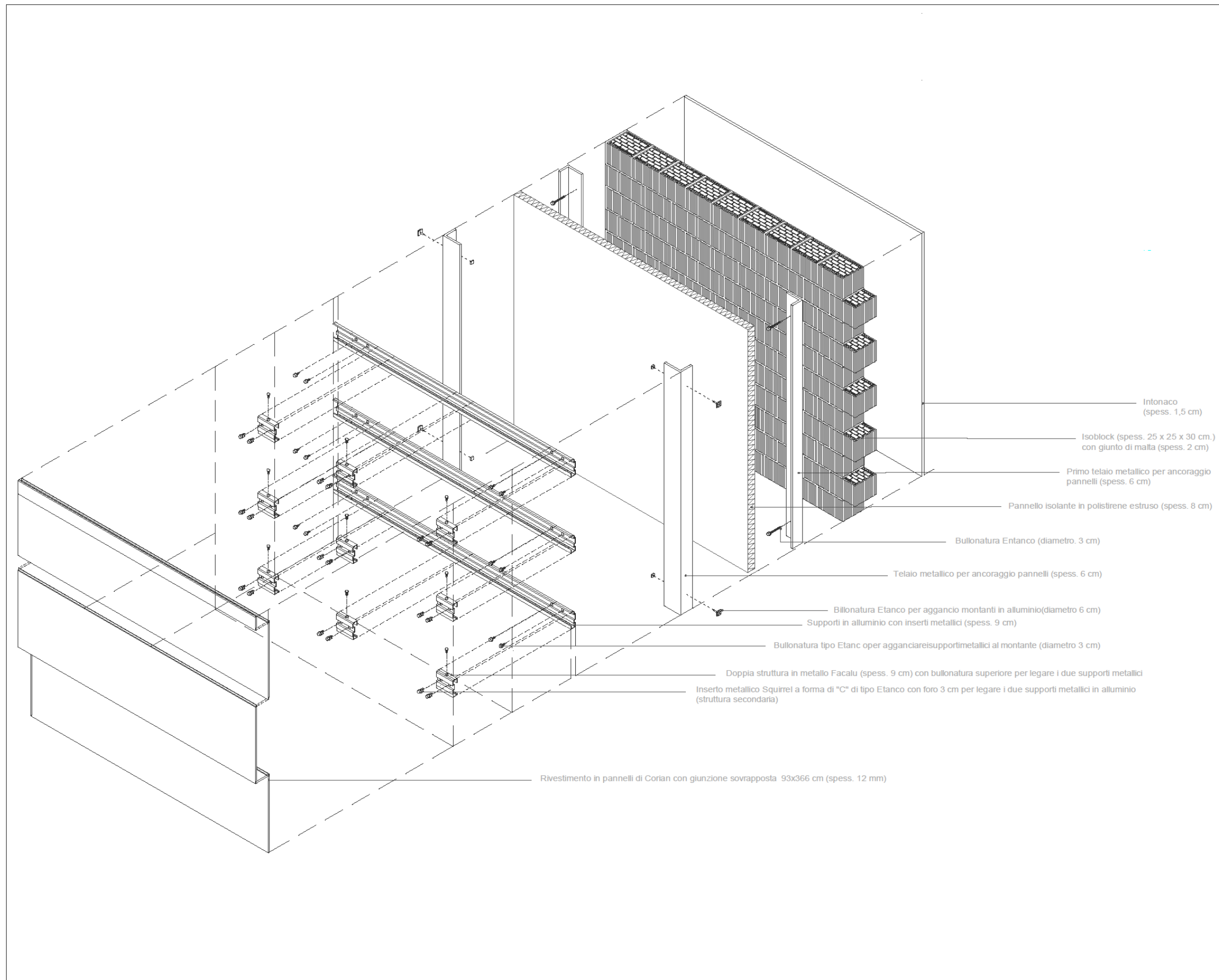
Figura 900 - Tavola dettaglio paramento murario

POLITECNICO DI MILANO
 Corso di laurea in Architettura
 A.A. 2011/2012

Ottimizzazione del progetto illuminotecnico, energetico e degli scenari di incendio di una RSA

Barbara Arosio 751155
 Francesca Lo Bianco 740445

DETTAGLIO PARAMENTO MURARIO



POLITECNICO DI MILANO
 Corso di laurea in Architettura
 A.A. 2011/2012



Ottimizzazione del progetto illuminotecnico, energetico e degli scenari di incendio di una RSA

Barbara Arosio 751155
 Francesca Lo Bianco 740445

ESPLOSO ASSONOMETRICO

Figura 901 - Tavola esplosa assonometrico

Scenari di incendi: immagini e tabelle

OZone

Mensa

Caso 1

Layers Ceiling - compartimento mensa base

File Tools View Help

Form of Compartment

Rectangular Floor
 Flat Roof
 Single Pitch Roof
 Double Pitch Roof
 Any Compartment

Number of Walls: 3
Floor Area: 446.86 m²
Height: 3 m

Define Layers and Openings

Select Wall: Ceiling Define

Select Walls to Copy to: Floor Wall 1 Wall 2 Wall 3 Copy

Copy Openings

Defined Walls:

Wall	Type	Openings	Length
Floor	1		
Ceiling	2	yes	
Wall 1	3	yes	32.67
Wall 2	4	yes	77.22
Wall 3	5		11.65
Wall 4		yes	

Forced Ventilation

Smoke Extractors: 0

	Height	Diameter	Volume	In/Out
	m	m	m ³ /sec	
Extractor 1				
Extractor 2				
Extractor 3				

OK Cancel

Figura 902 - Scheda generale del compartimento

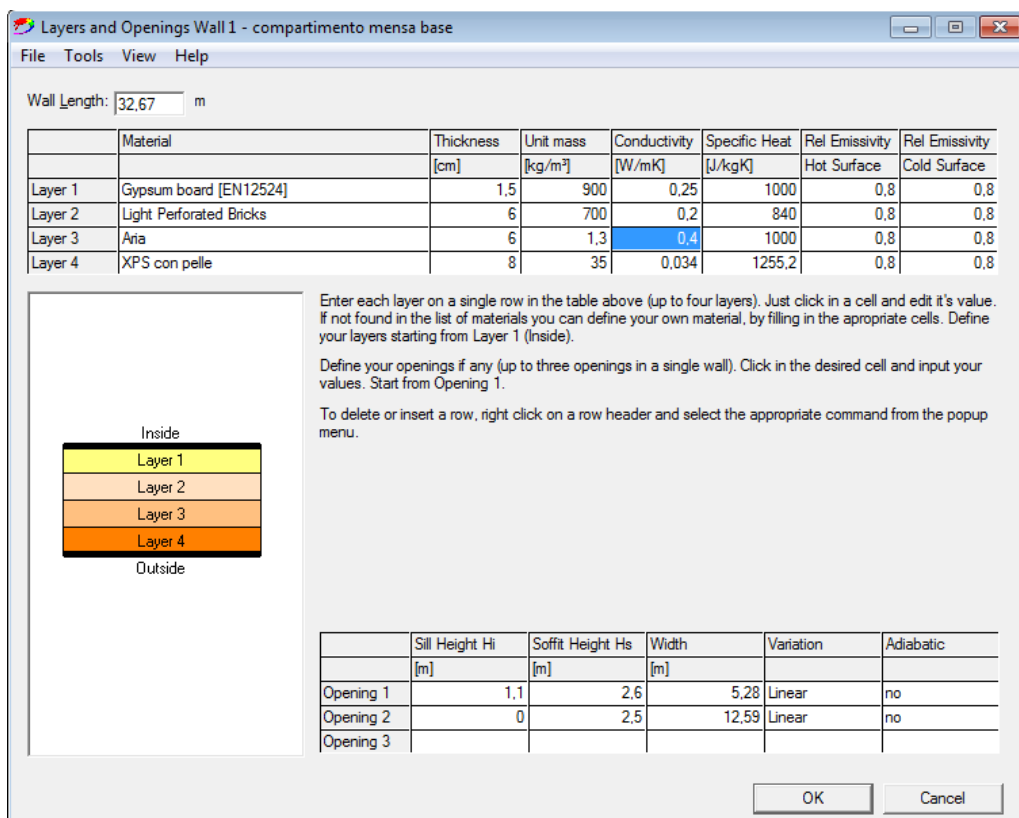


Figura 903 - Definizione della parete 1

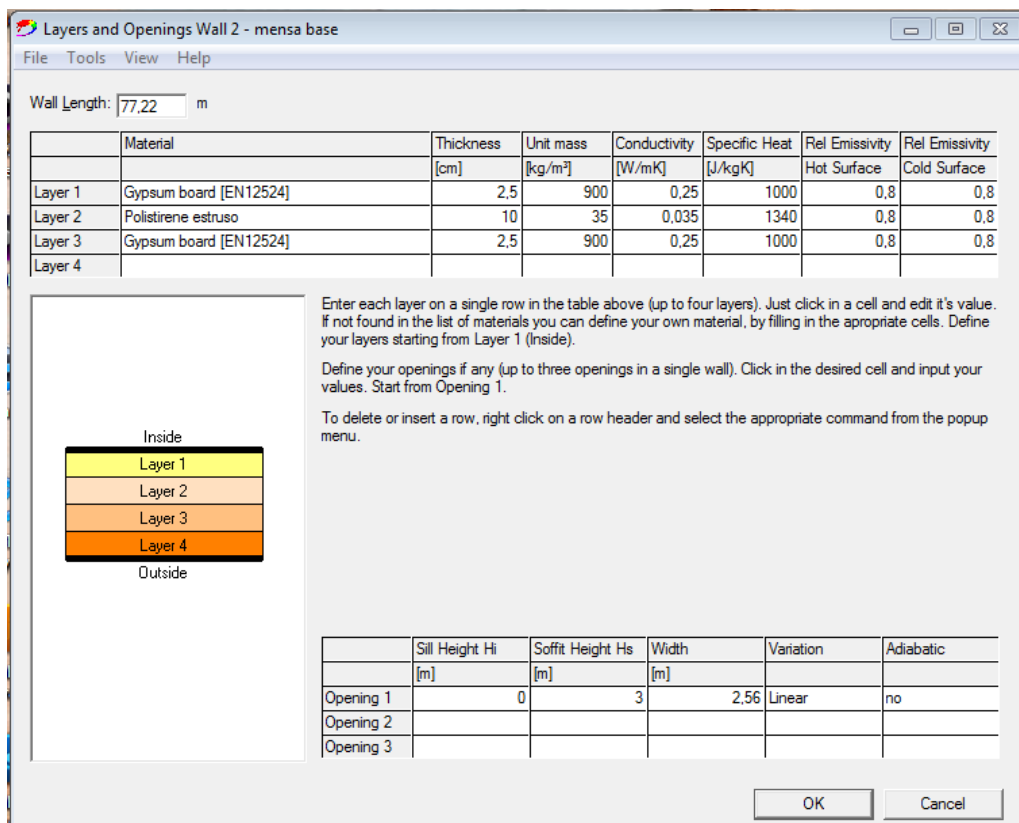


Figura 904 - Definizione della parete 2

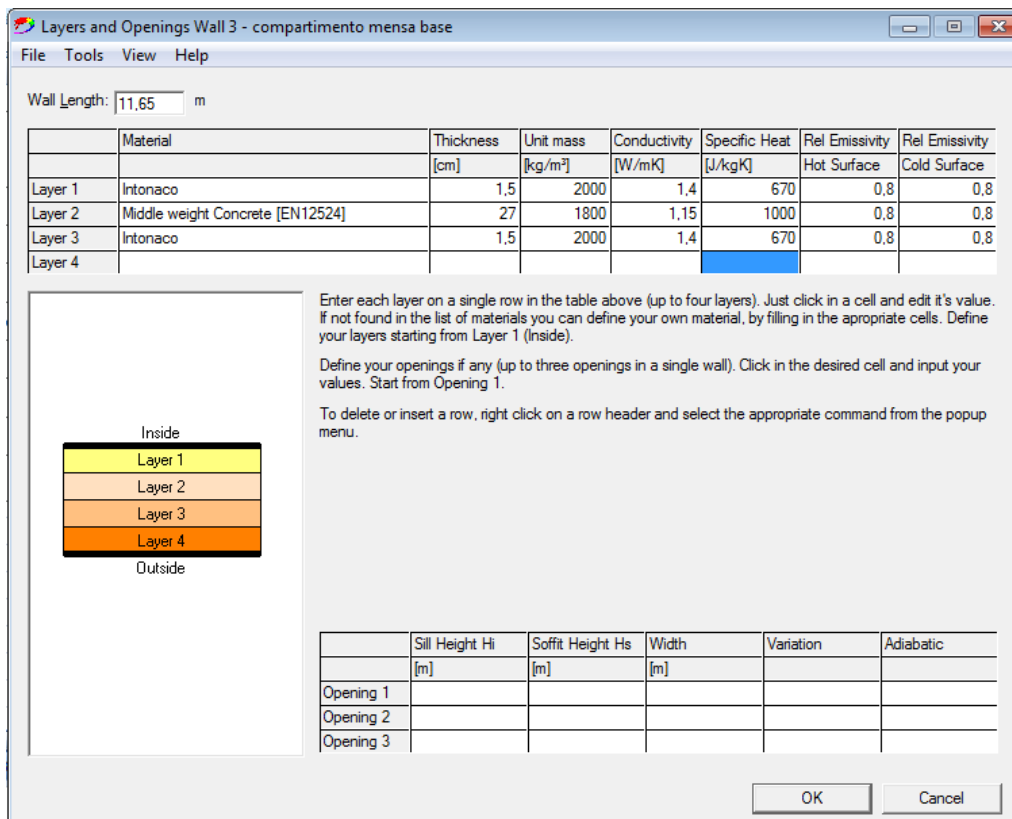


Figura 905 - Definizione della parete 3

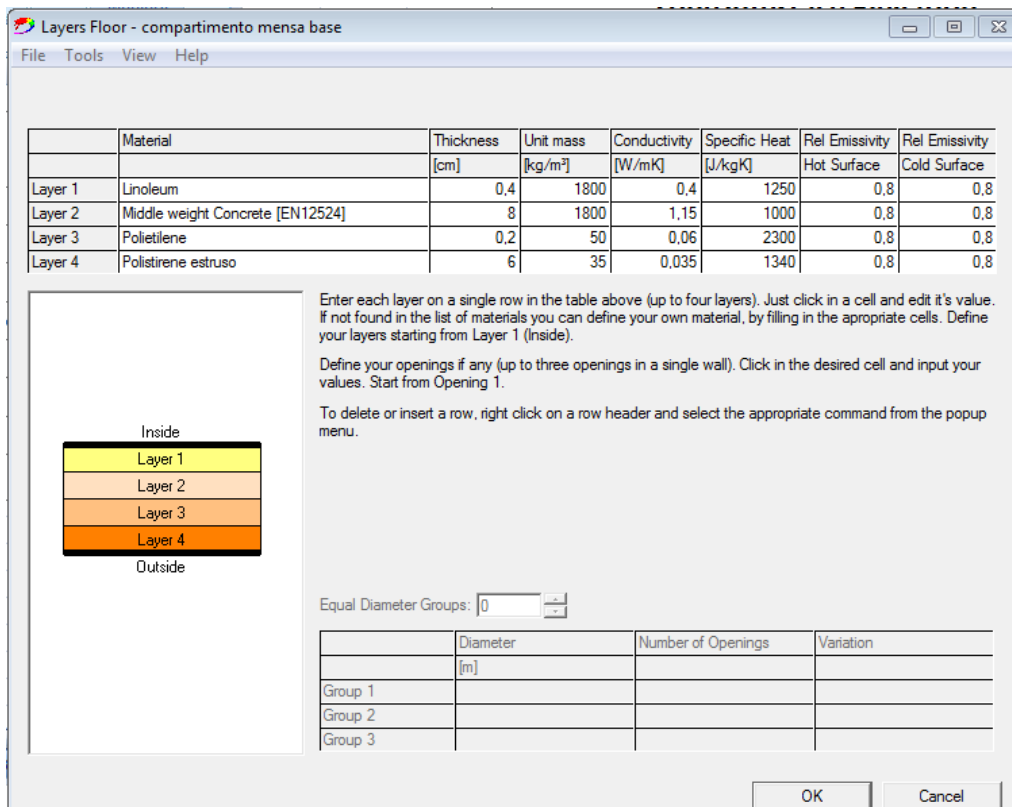


Figura 906 - Definizione del pavimento

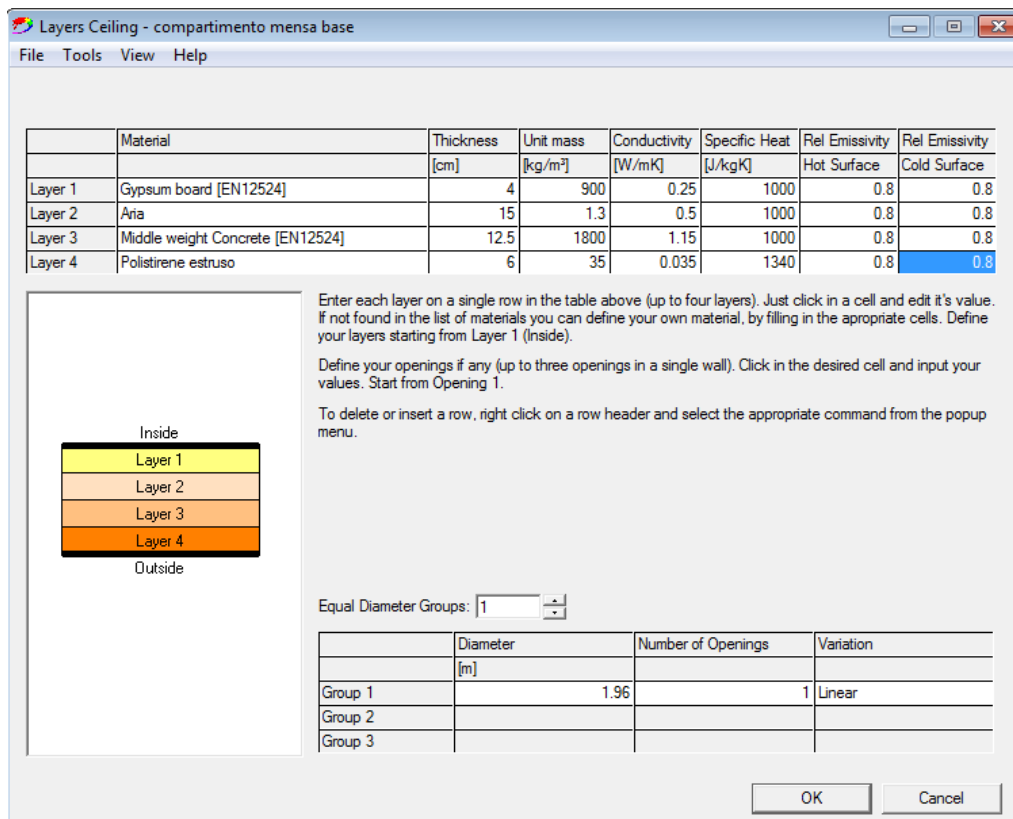


Figura 907 - Definizione del soffitto

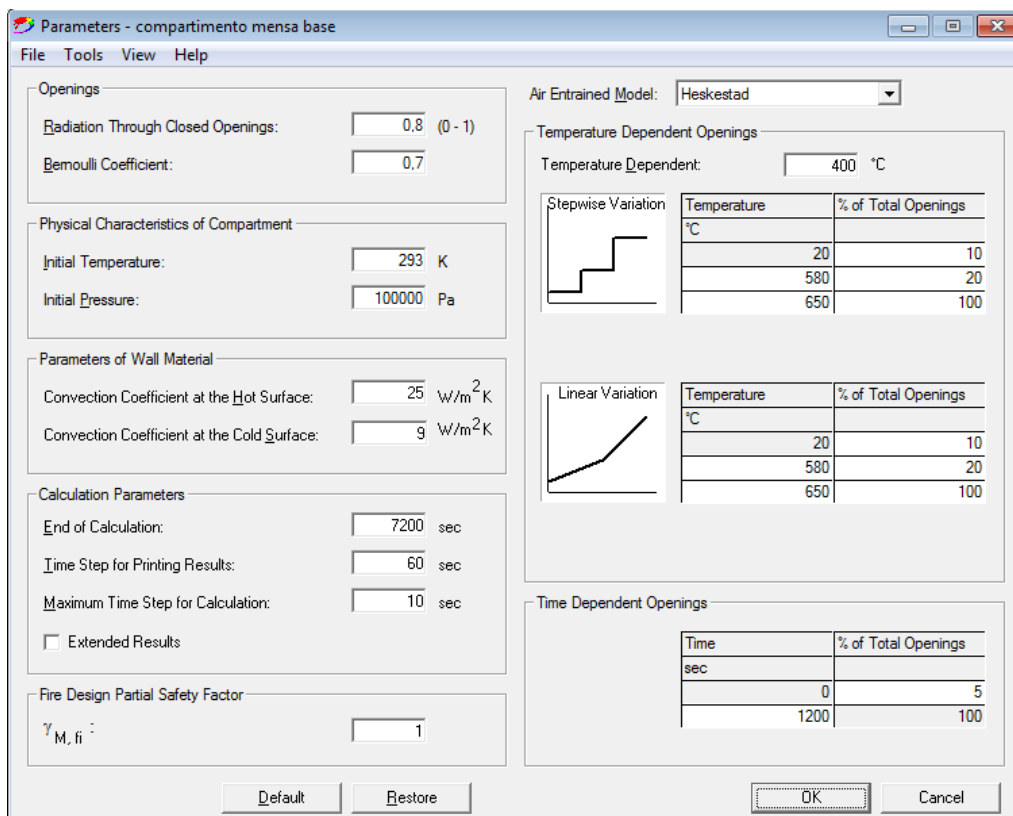


Figura 908 - Parametri per la simulazione

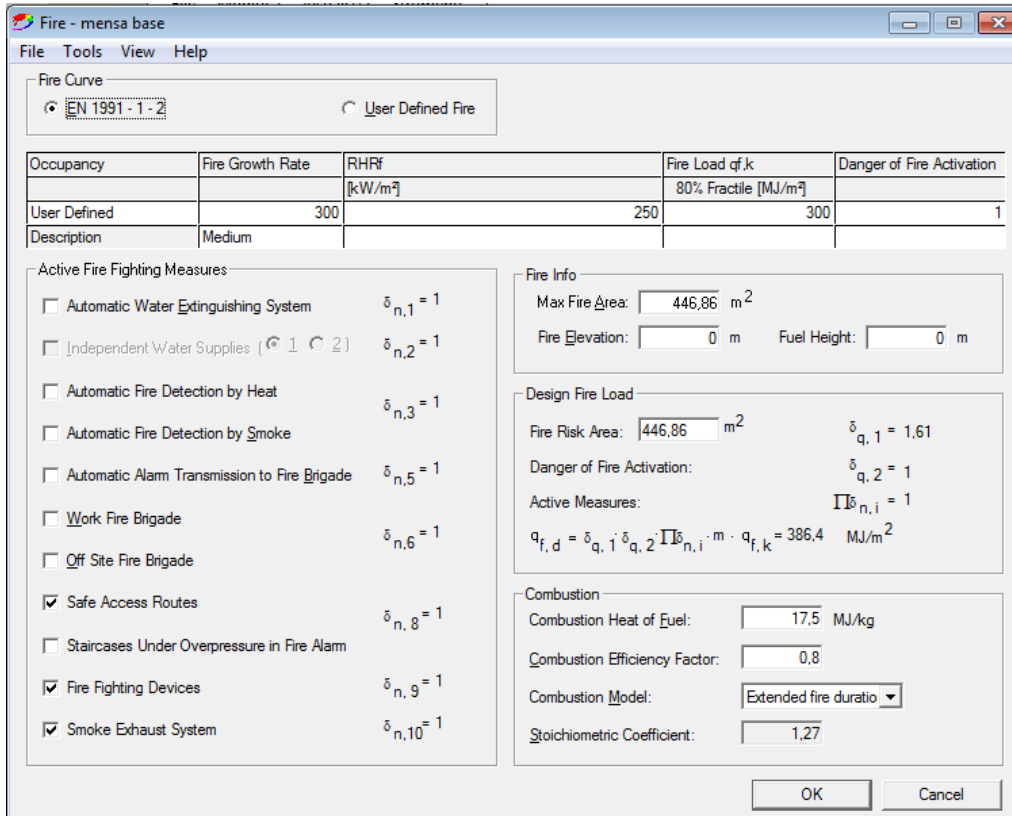


Figura 909 - Caratteristiche dell'incendio

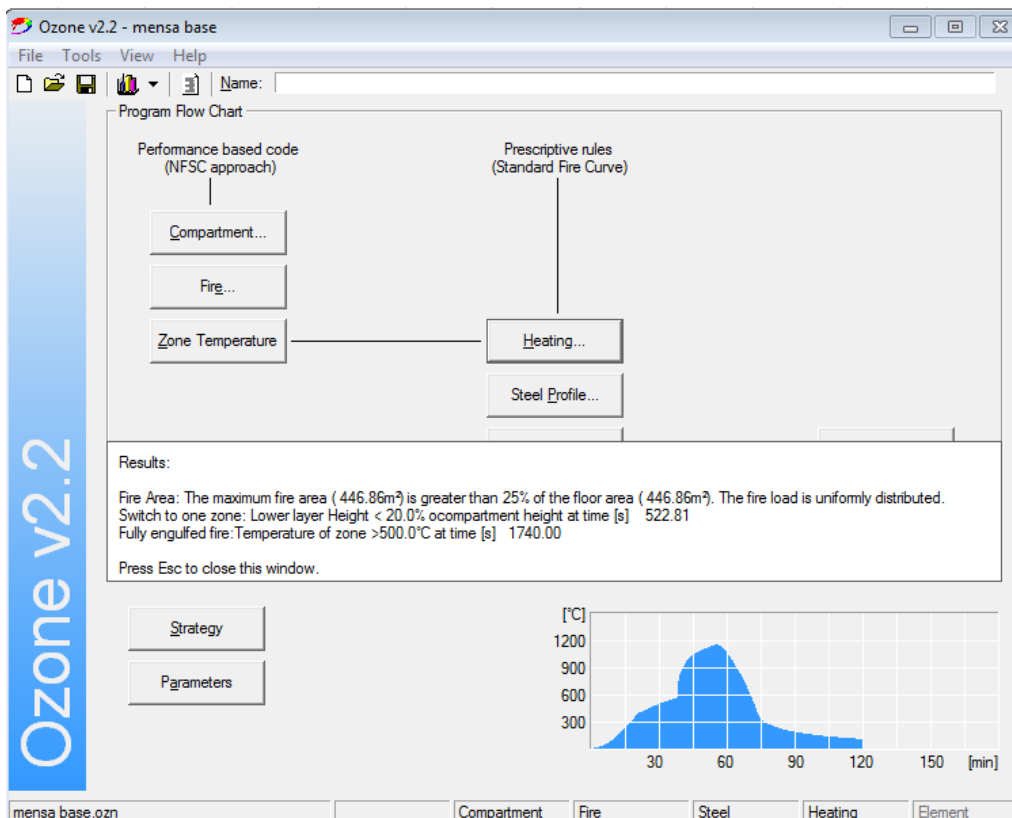


Figura 910 - Risultato della simulazione

Caso 2

Parameters - compartimento mensa base v sing

File Tools View Help

Openings

Radiation Through Closed Openings: (0 - 1)

Bemoulli Coefficient:

Physical Characteristics of Compartment

Initial Temperature: K

Initial Pressure: Pa

Parameters of Wall Material

Convection Coefficient at the Hot Surface: W/m²K

Convection Coefficient at the Cold Surface: W/m²K

Calculation Parameters

End of Calculation: sec

Time Step for Printing Results: sec

Maximum Time Step for Calculation: sec

Extended Results

Fire Design Partial Safety Factor

$\gamma_{M,fi}$:

Air Entrained Model:

Temperature Dependent Openings

Temperature Dependent: °C

Stepwise Variation

Temperature °C	% of Total Openings
20	10
580	20
650	100

Linear Variation

Temperature °C	% of Total Openings
20	10
280	20
500	100

Time Dependent Openings

Time sec	% of Total Openings
0	5
1200	100

Default Restore OK Cancel

Figura 911 - Parametri per la simulazione

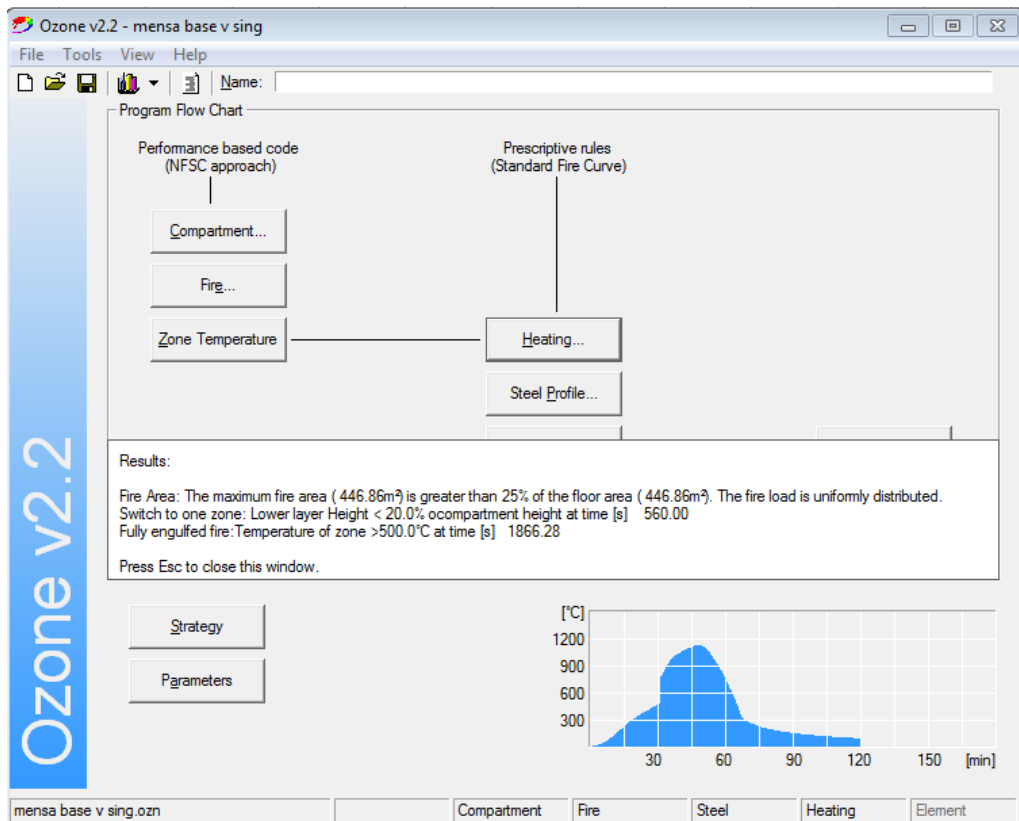


Figura 912 - Risultato della simulazione

Caso 3

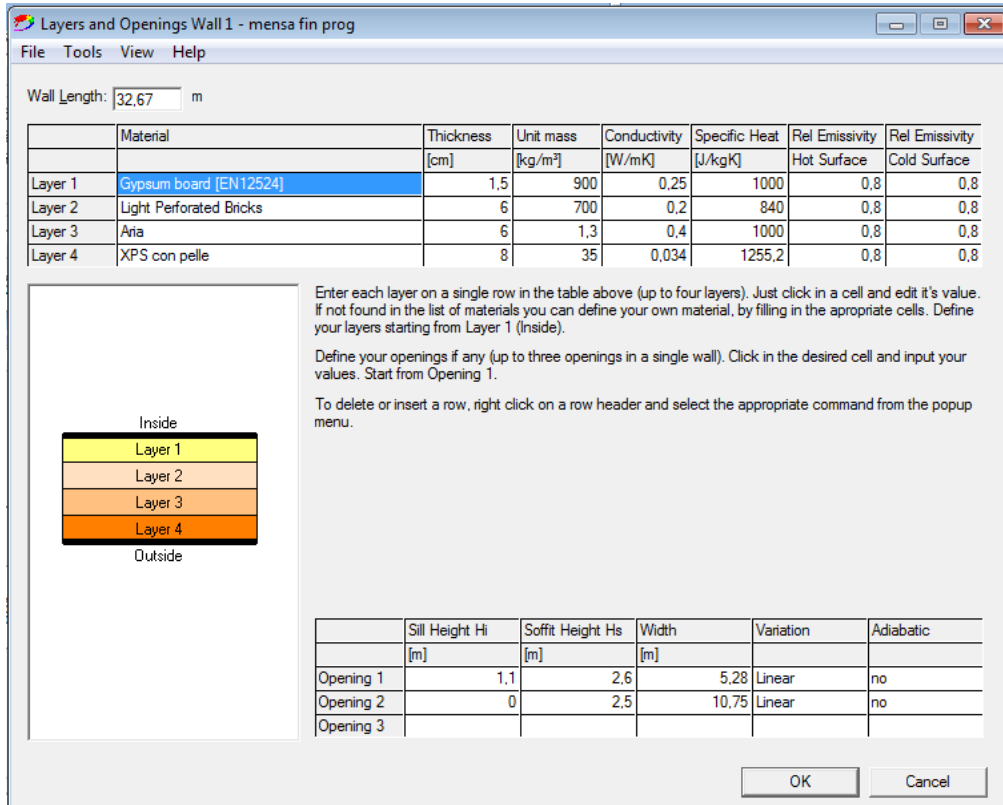


Figura 913 - Definizione della parete 1

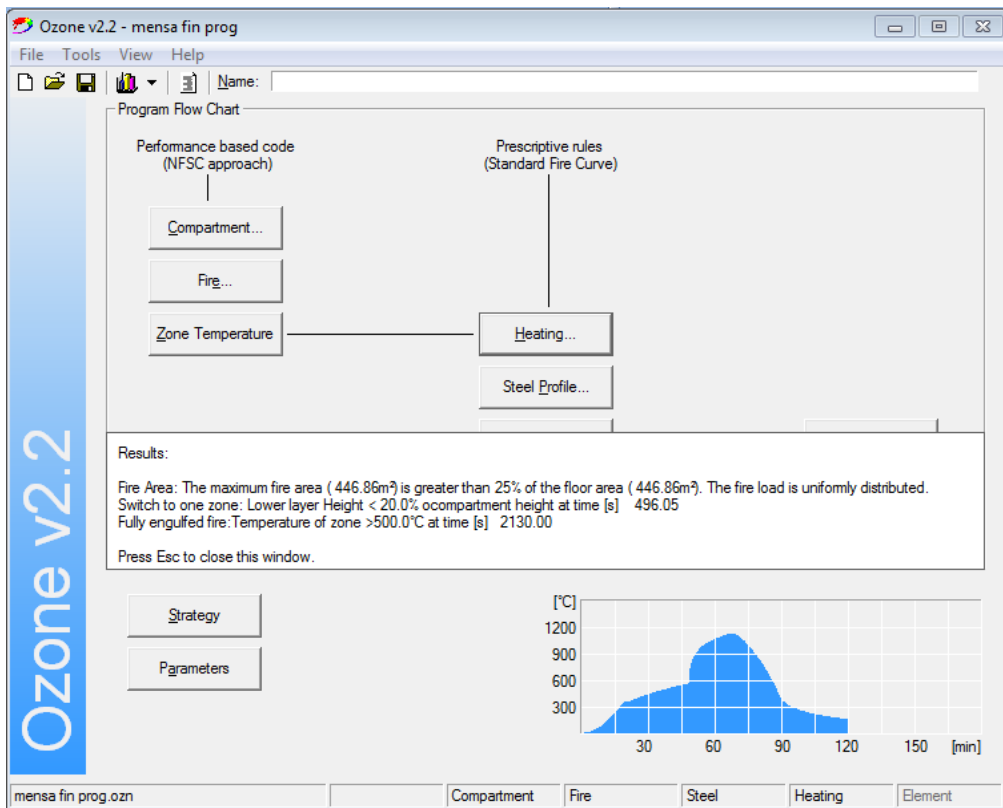


Figura 914 - Risultato della simulazione

Caso 4

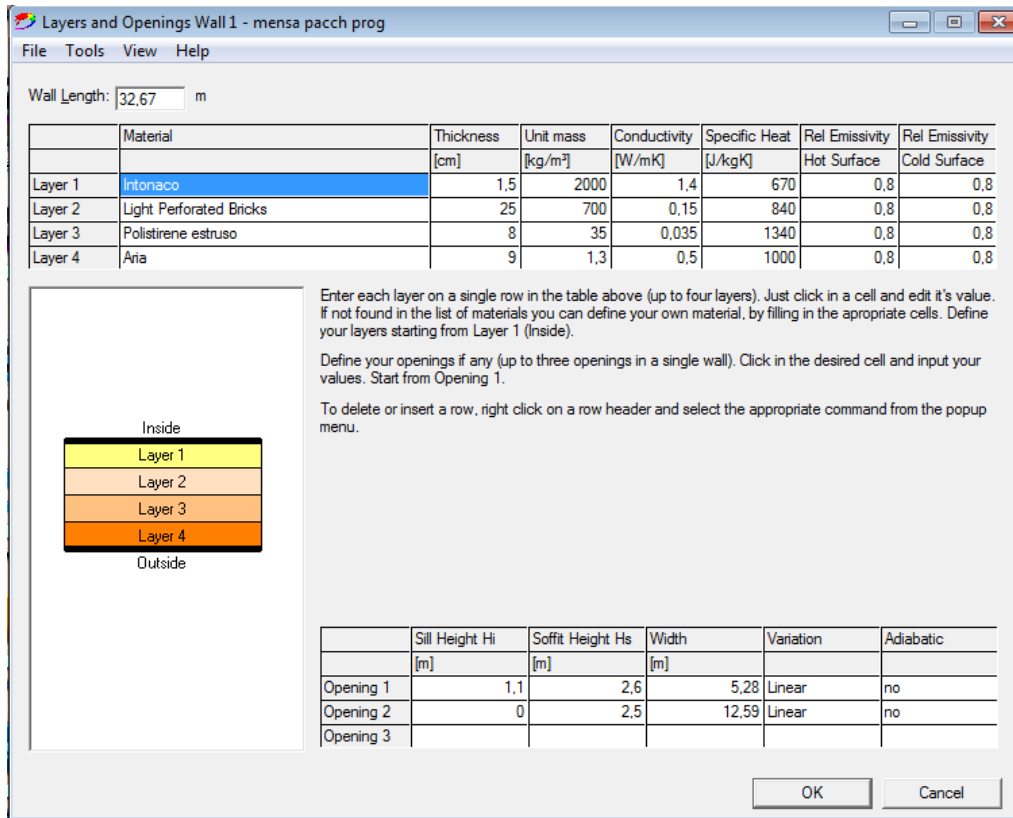


Figura 915 - Definizione della parete 1

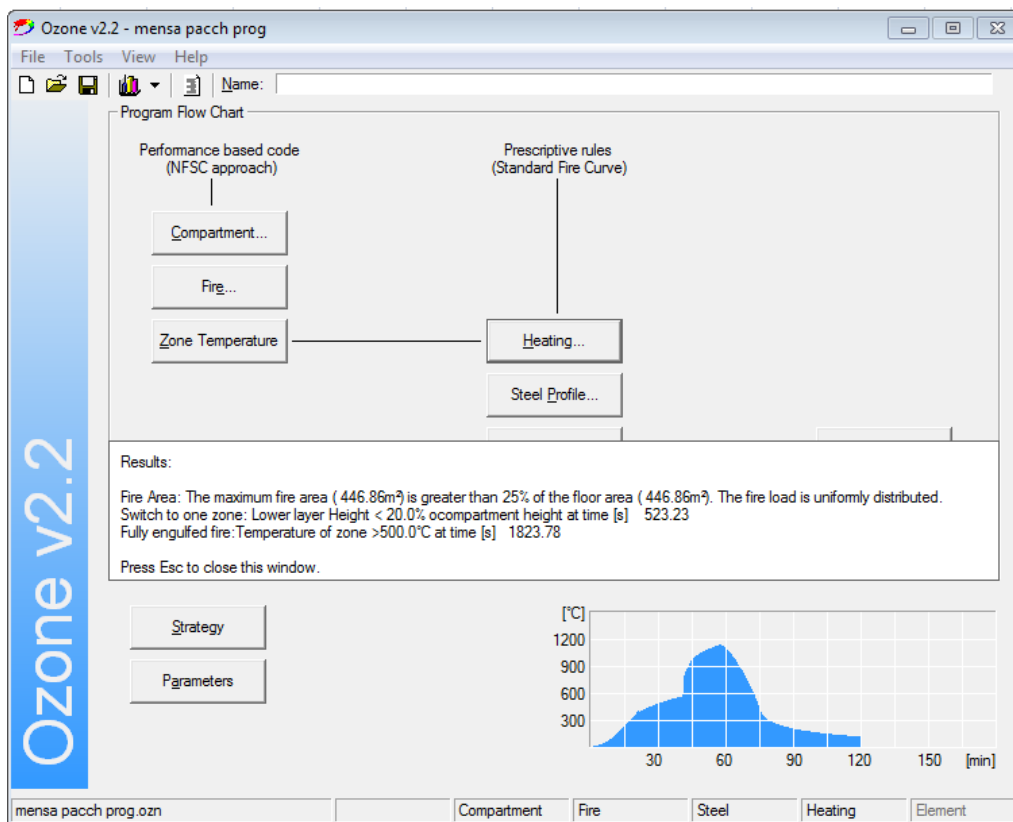


Figura 916 - Risultato della simulazione

Caso 5

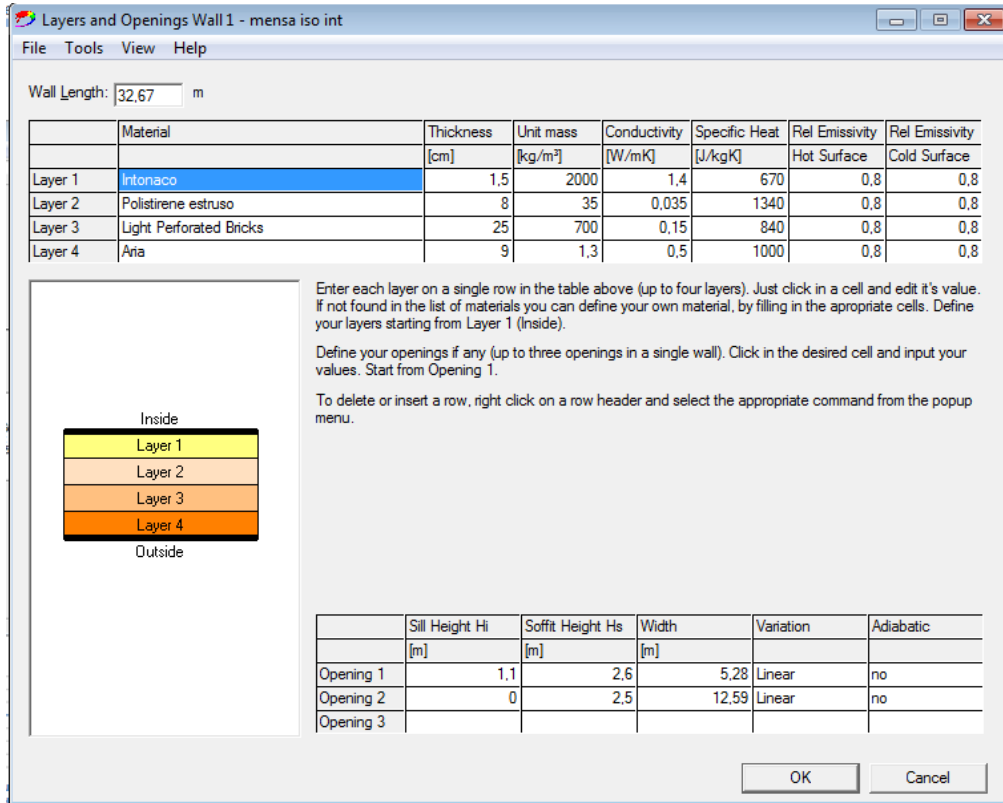


Figura 917 - Definizione della parete 1

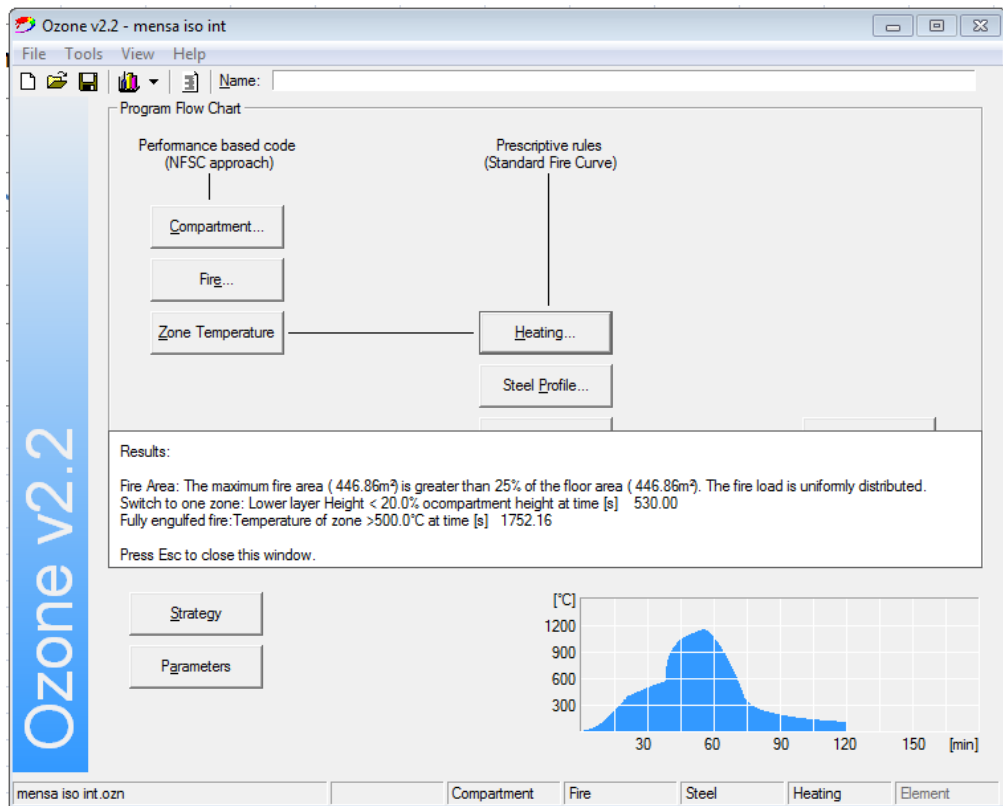


Figura 918 - Risultato della simulazione

Confronto fra i casi

Hot zone temperature - mensa					
Time	1	2	3	4	5
0	20	20	20	20	20
1	22	22	22	22	22
2	26	26	26	26	26
3	32	32	32	32	32
4	39	39	39	39	39
5	49	49	49	49	49
6	60	60	60	60	60
7	74	74	74	74	74
8	91	91	91	90	91
9	99	110	104	98	97
10	125	122	127	124	124
11	148	146	150	147	148
12	172	169	175	171	171
13	197	192	200	195	196
14	222	216	226	220	221
15	249	241	253	246	247
16	275	266	280	272	274
17	302	288	307	299	300
18	330	305	335	326	328
19	357	321	364	353	355
20	385	336	370	380	383
21	413	352	375	408	411
22	422	367	385	413	419
23	433	382	395	424	429
24	445	397	405	435	442
25	457	412	414	447	454
26	469	427	424	457	465
27	480	441	433	468	477
28	490	456	442	478	487
29	501	471	450	488	498
30	511	485	459	497	508
31	520	500	467	506	518
32	530	805	475	515	528
33	538	862	482	523	537
34	547	908	490	531	546
35	555	947	497	539	554
36	563	980	504	546	563
37	571	1006	511	554	571
38	579	1027	518	561	579
39	811	1045	524	568	805
40	882	1060	531	575	876
41	933	1074	537	591	926

Cold zone temperature - mensa					
Time	1	2	3	4	5
0	20	20	20	20	20
1	20	20	20	20	20
2	20	20	20	20	20
3	21	21	21	21	21

Tabella 117 - Confronto delle temperature dello strato freddo

Zone interface elevation - mensa					
Time	1	2	3	4	5
0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
1	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9
2	2,7	2,7	2,6	2,7	2,7
3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3

Tabella 118 - Confronto delle altezze dello strato freddo

42	973	1086	543	842	967
43	1006	1098	549	899	1001
44	1032	1109	555	943	1028
45	1052	1119	561	978	1049
46	1069	1129	567	1007	1067
47	1084	1138	573	1029	1082
48	1097	1147	579	1047	1096
49	1108	1141	774	1063	1108
50	1119	1125	847	1076	1120
51	1129	1102	895	1089	1130
52	1139	1074	934	1100	1140
53	1148	1043	966	1110	1150
54	1157	1009	992	1120	1158
55	1165	972	1014	1130	1167
56	1160	933	1031	1139	1163
57	1144	892	1046	1148	1148
58	1121	848	1059	1144	1125
59	1093	802	1071	1129	1098
60	1062	754	1082	1107	1067
61	1027	703	1092	1080	1034
62	991	650	1102	1050	997
63	951	593	1111	1017	958
64	910	533	1120	981	917
65	866	470	1129	943	874
66	820	403	1137	903	828
67	772	351	1145	861	780
68	721	326	1145	816	730
69	668	307	1136	769	677
70	612	291	1121	720	620
71	552	278	1102	668	561
72	489	267	1081	613	498
73	422	257	1056	554	432
74	367	248	1030	493	375
75	340	240	1002	427	347
76	320	232	972	373	326
77	303	225	941	347	308
78	289	219	908	327	294
79	278	213	874	311	281
80	267	208	838	298	270
81	258	203	800	286	261
82	249	198	761	276	252
83	242	193	720	266	244
84	235	189	677	258	236
85	228	185	632	250	229
86	222	181	585	243	223

87	216	177	536	236	217
88	211	174	484	230	211
89	206	170	429	224	206
90	201	167	391	219	201
91	196	164	367	214	196
92	192	161	349	209	192
93	188	158	333	204	188
94	184	155	320	200	184
95	180	153	308	196	180
96	177	150	298	192	176
97	174	148	288	188	173
98	170	145	279	184	169
99	167	143	271	181	166
100	164	141	264	177	163
101	161	139	257	174	160
102	158	137	250	171	157
103	156	135	244	168	155
104	153	133	238	165	152
105	151	131	233	162	149
106	148	129	227	160	147
107	146	127	222	157	145
108	144	126	218	155	142
109	142	124	213	152	140
110	140	123	209	150	138
111	138	121	205	148	136
112	136	120	201	146	134
113	134	118	197	143	132
114	132	117	193	141	130
115	130	115	190	139	129
116	129	114	187	138	127
117	127	113	183	136	125
118	125	111	180	134	124
119	124	110	177	132	122
120	122	109	174	131	121

Tabella 116 - Confronto delle temperature dello strato caldo

Cucina

Caso 1

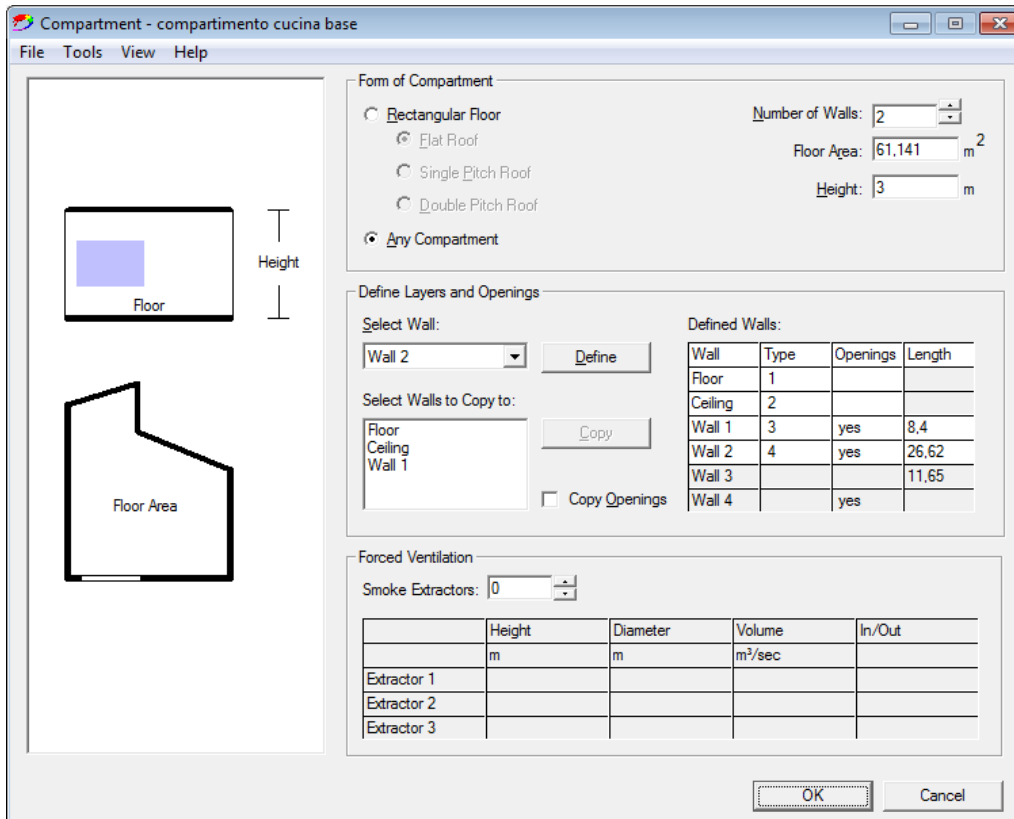


Figura 919 - Scheda generale del compartimento

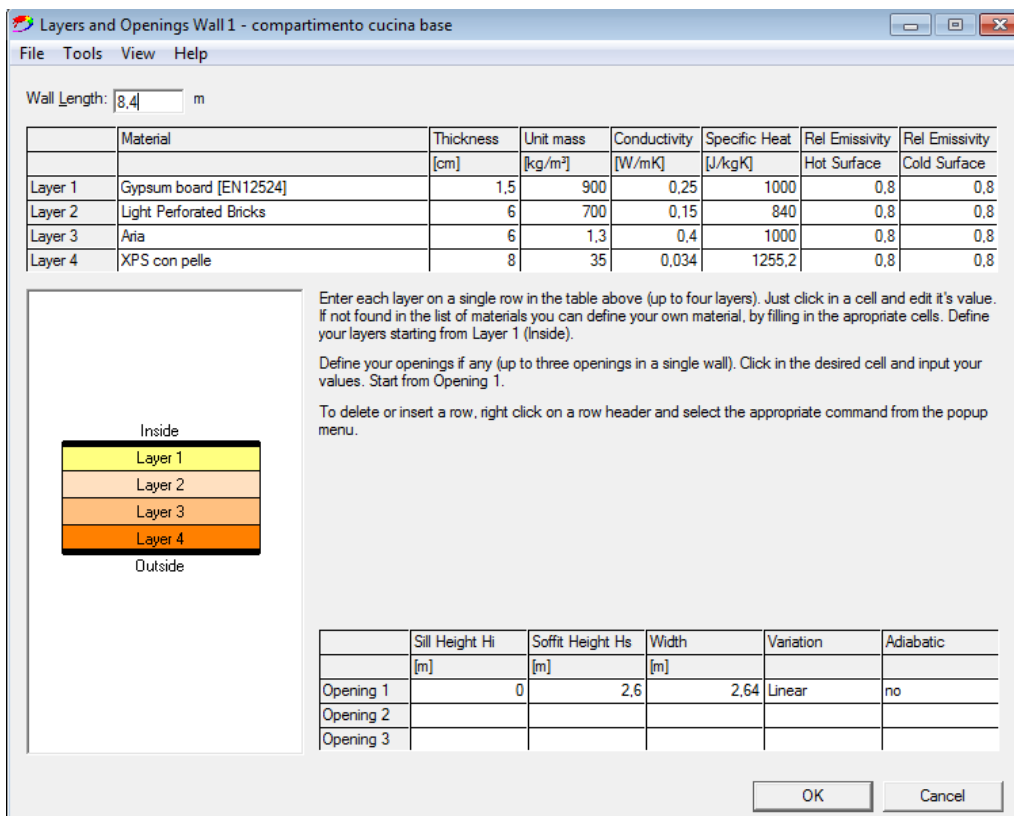


Figura 920 - Definizione della parete 1

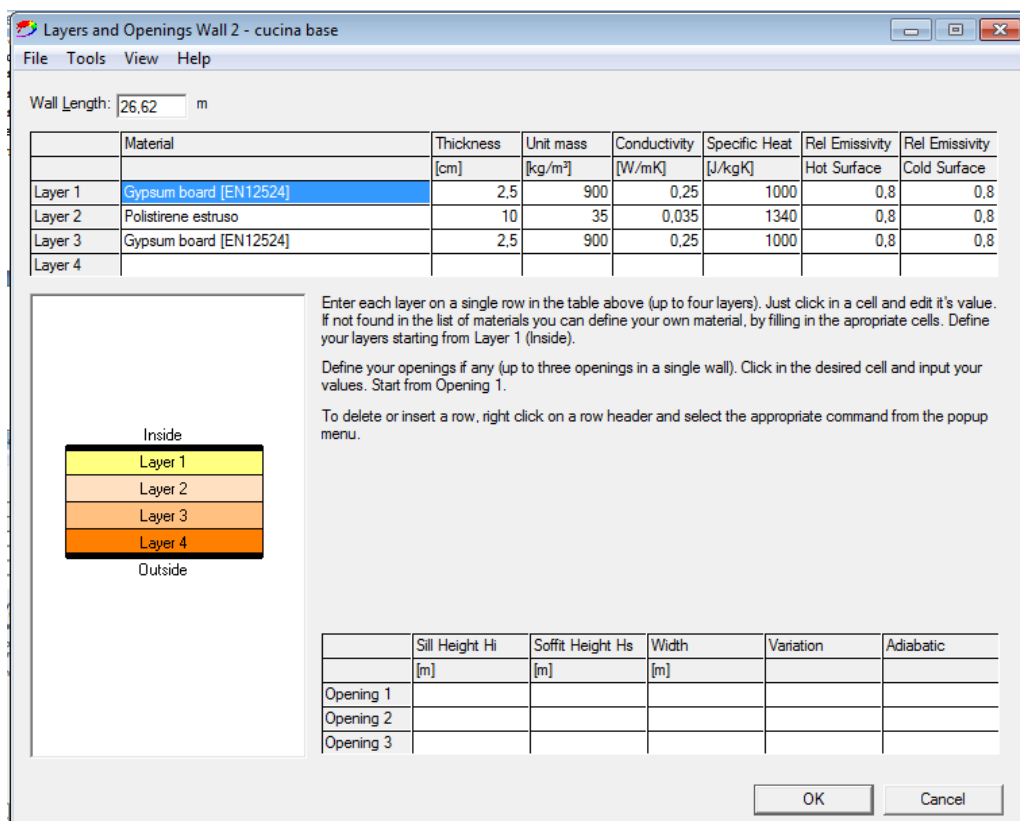


Figura 921 - Definizione della parete 2

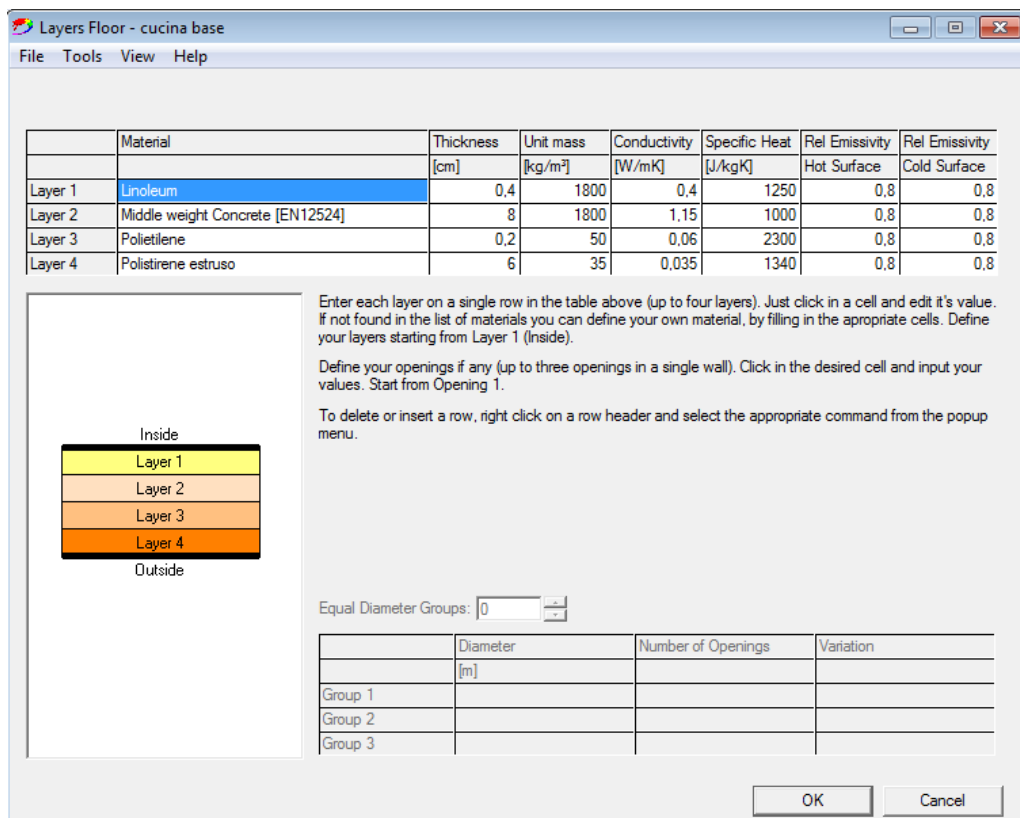


Figura 922 - Definizione del pavimento

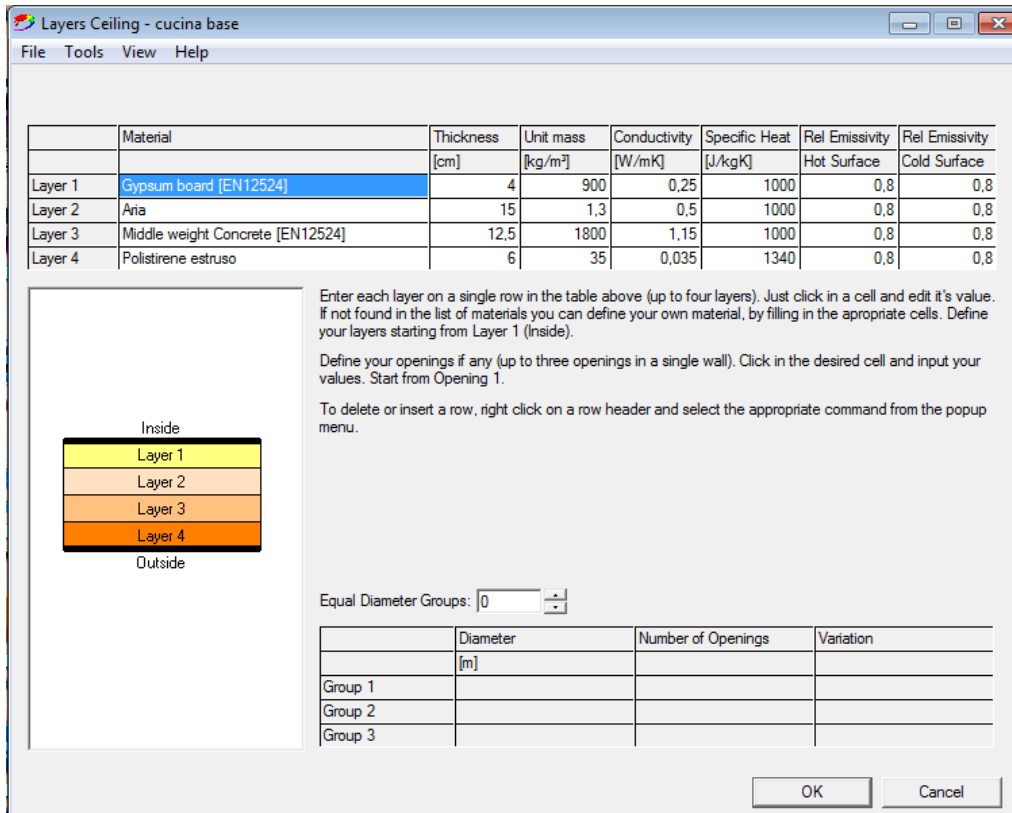


Figura 923 - Definizione del soffitto

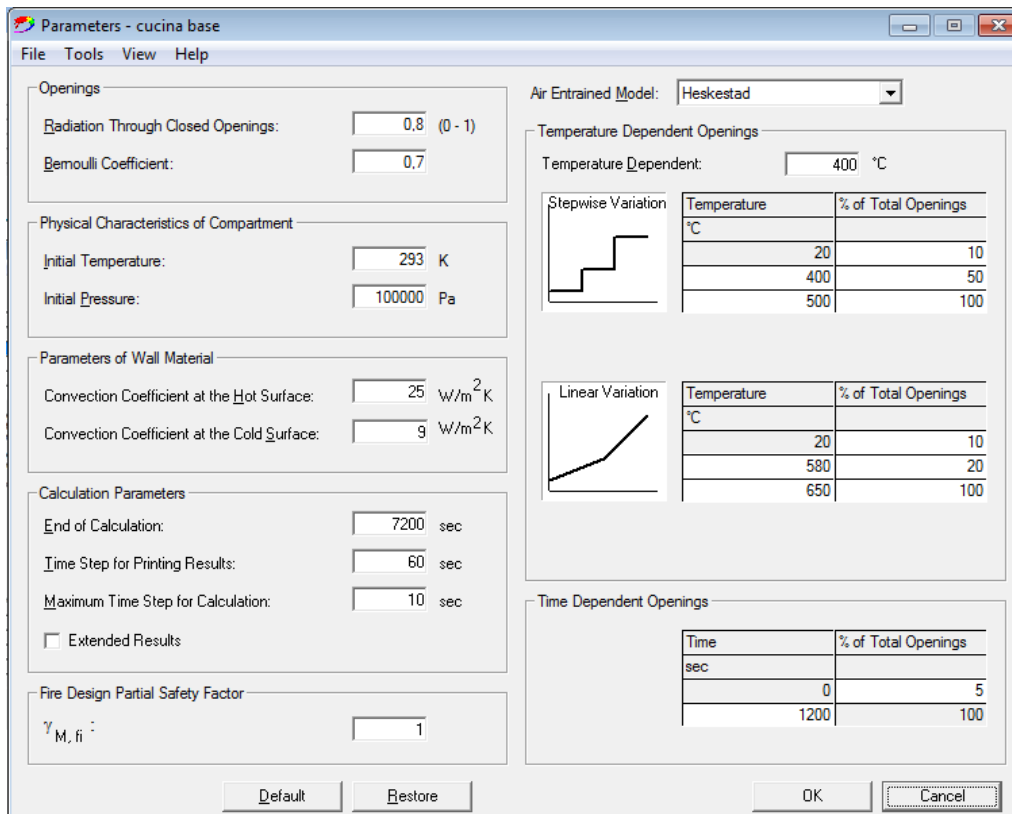


Figura 924 - Parametri per la simulazione

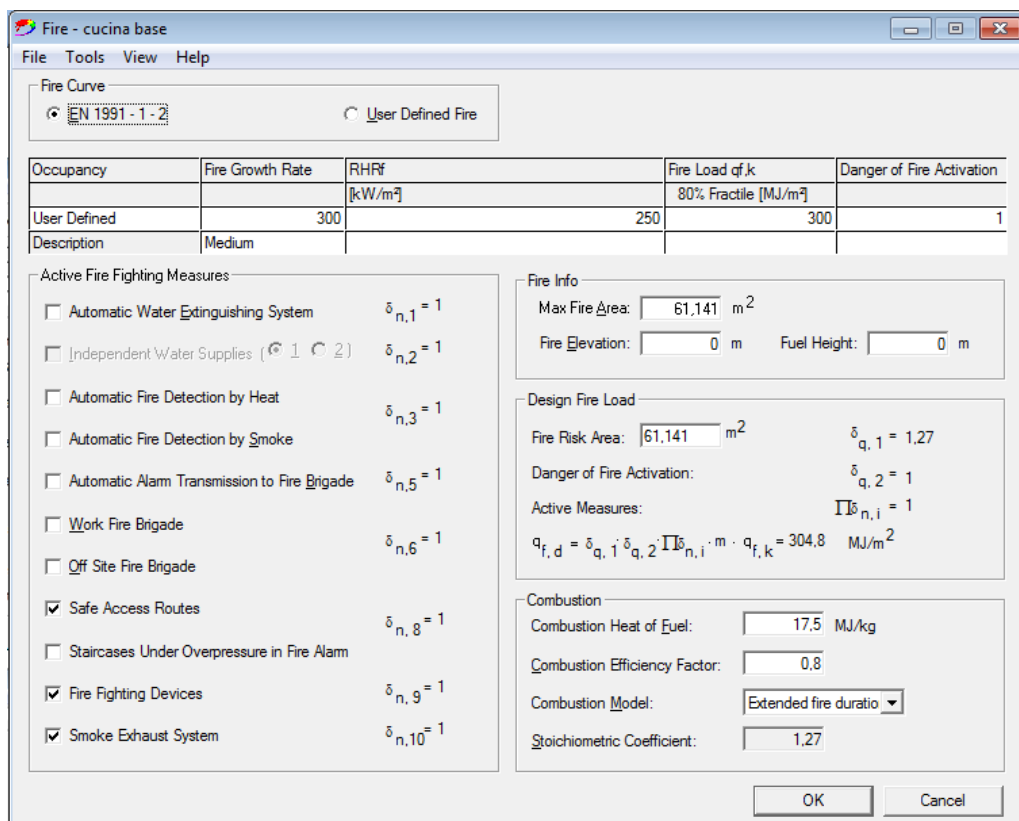


Figura 925 - Caratteristiche dell'incendio

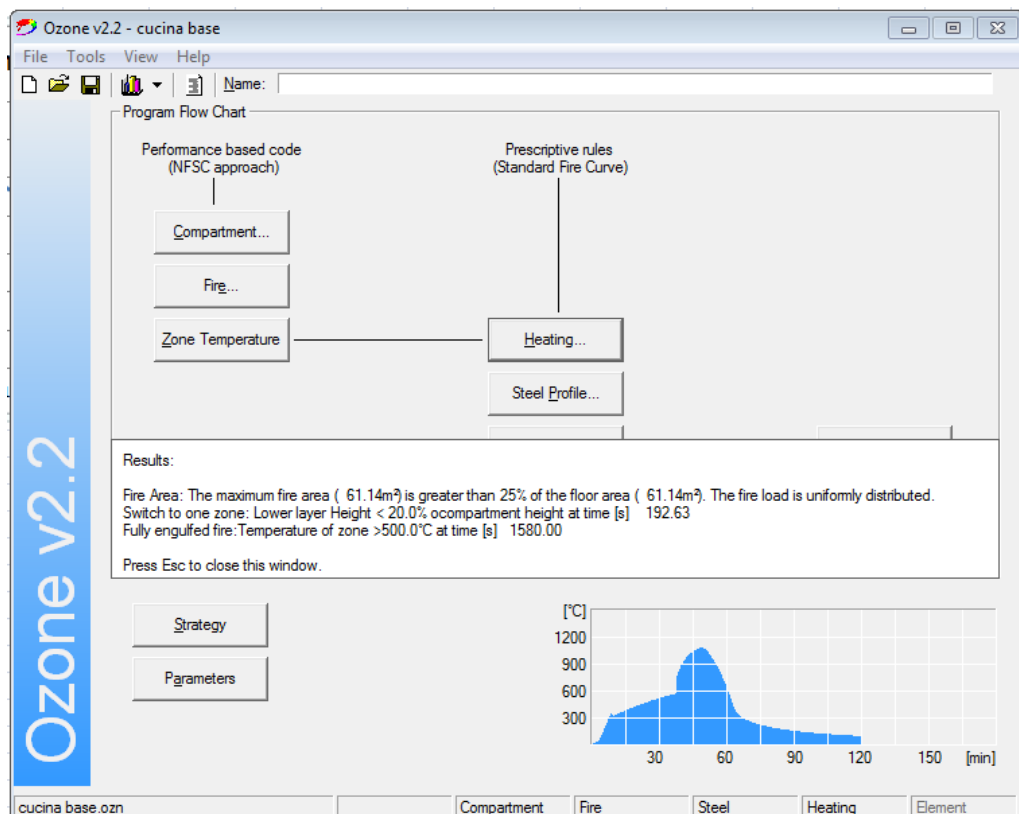


Figura 926 - Risultato della simulazione

Caso 2

Parameters - cucina base v sing

File Tools View Help

Openings

Radiation Through Closed Openings: (0 - 1)

Bemoulli Coefficient:

Physical Characteristics of Compartment

Initial Temperature: K

Initial Pressure: Pa

Parameters of Wall Material

Convection Coefficient at the Hot Surface: W/m²K

Convection Coefficient at the Cold Surface: W/m²K

Calculation Parameters

End of Calculation: sec

Time Step for Printing Results: sec

Maximum Time Step for Calculation: sec

Extended Results

Fire Design Partial Safety Factor

$\gamma_{M,fi}$:

Air Entrained Model:

Temperature Dependent Openings

Temperature Dependent: °C

Stepwise Variation

Temperature °C	% of Total Openings
20	10
400	50
500	100

Linear Variation

Temperature °C	% of Total Openings
20	10
280	20
500	100

Time Dependent Openings

Time sec	% of Total Openings
0	5
1200	100

Default Restore OK Cancel

Figura 927 - Parametri per la simulazione

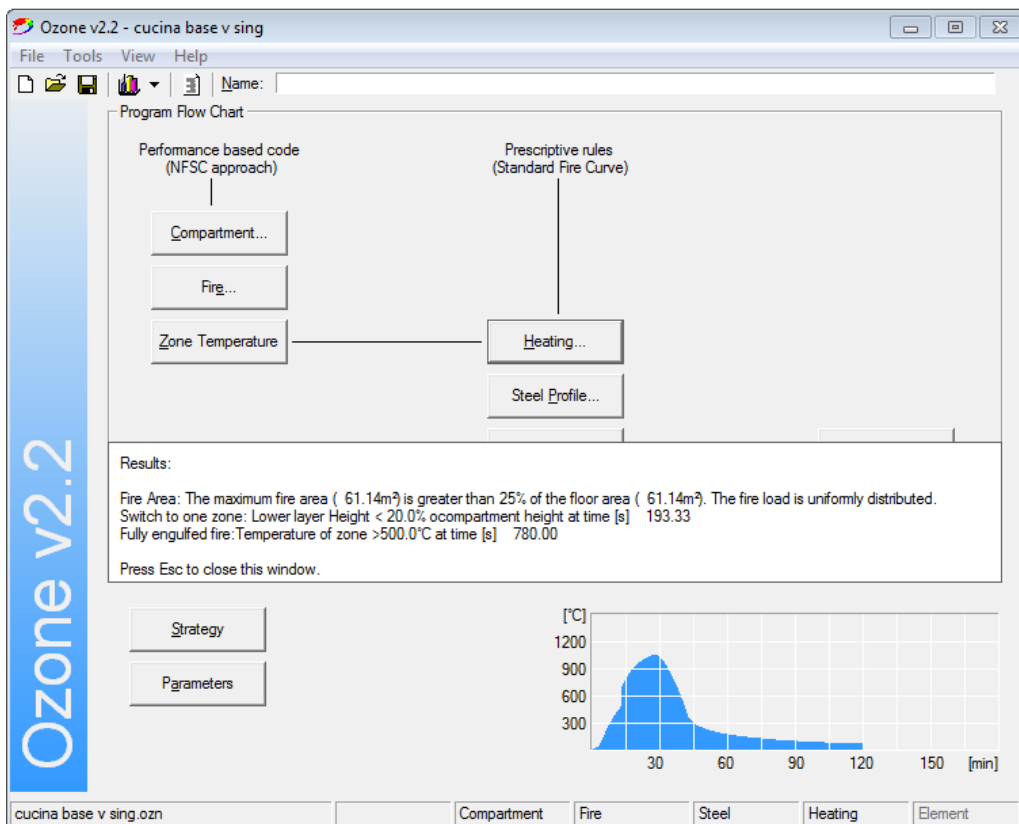


Figura 928 - Risultato della simulazione

Caso 3

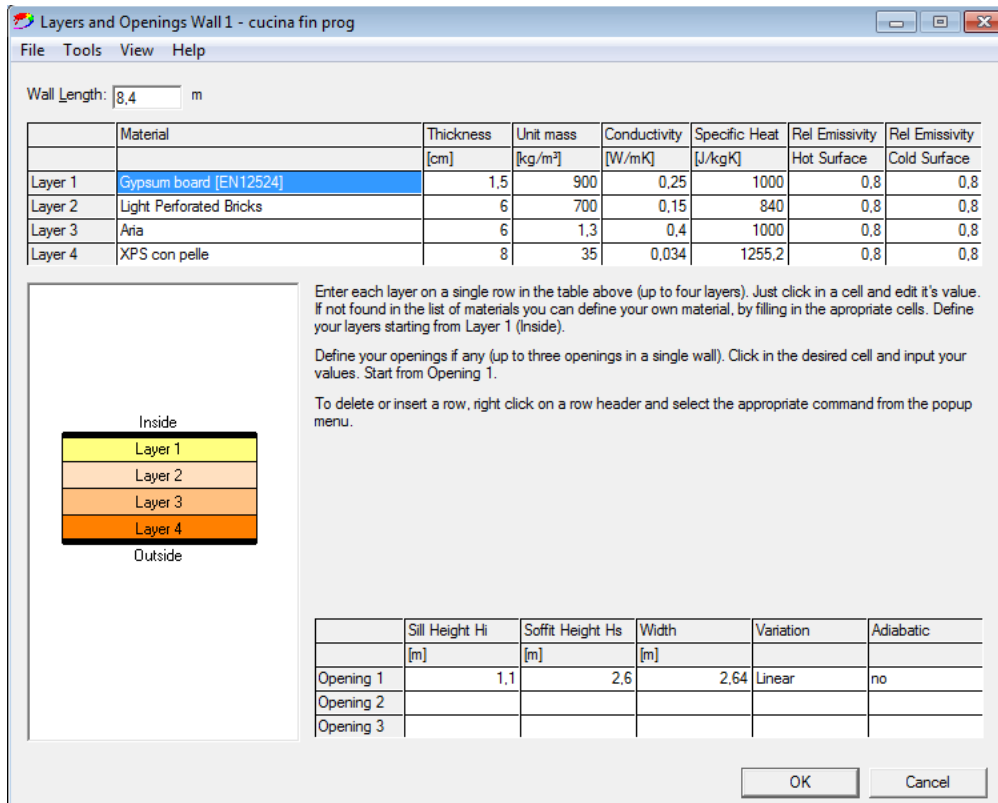


Figura 929 - Definizione della parete 1

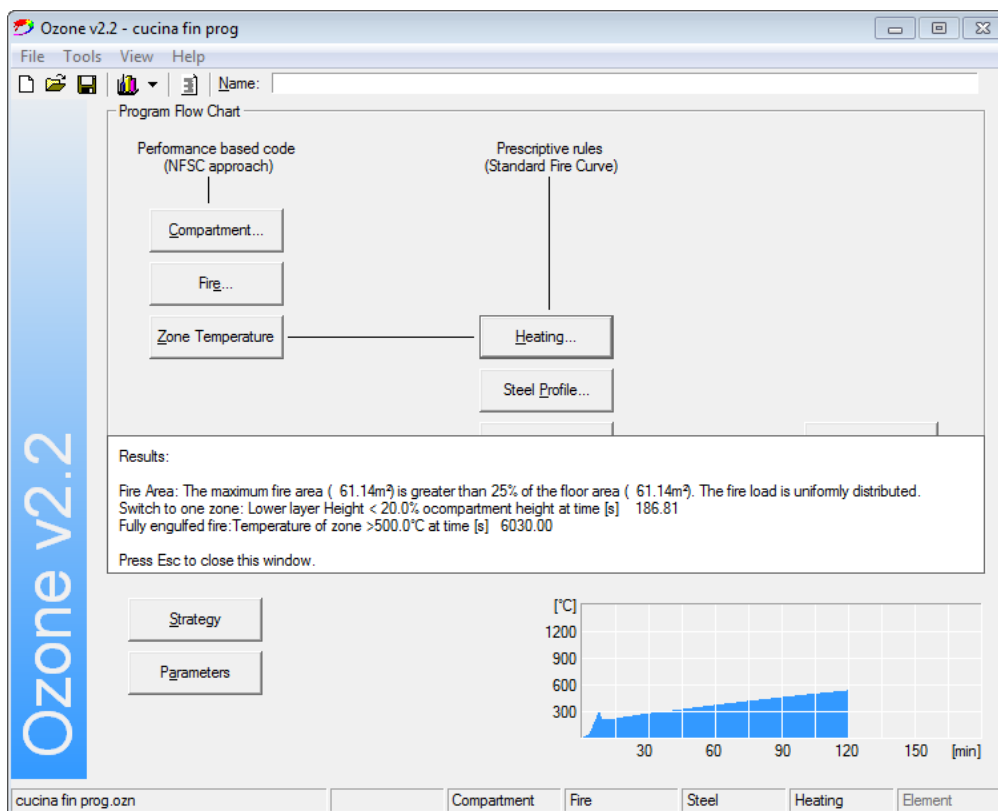


Figura 930 - Risultato della simulazione

Caso 4

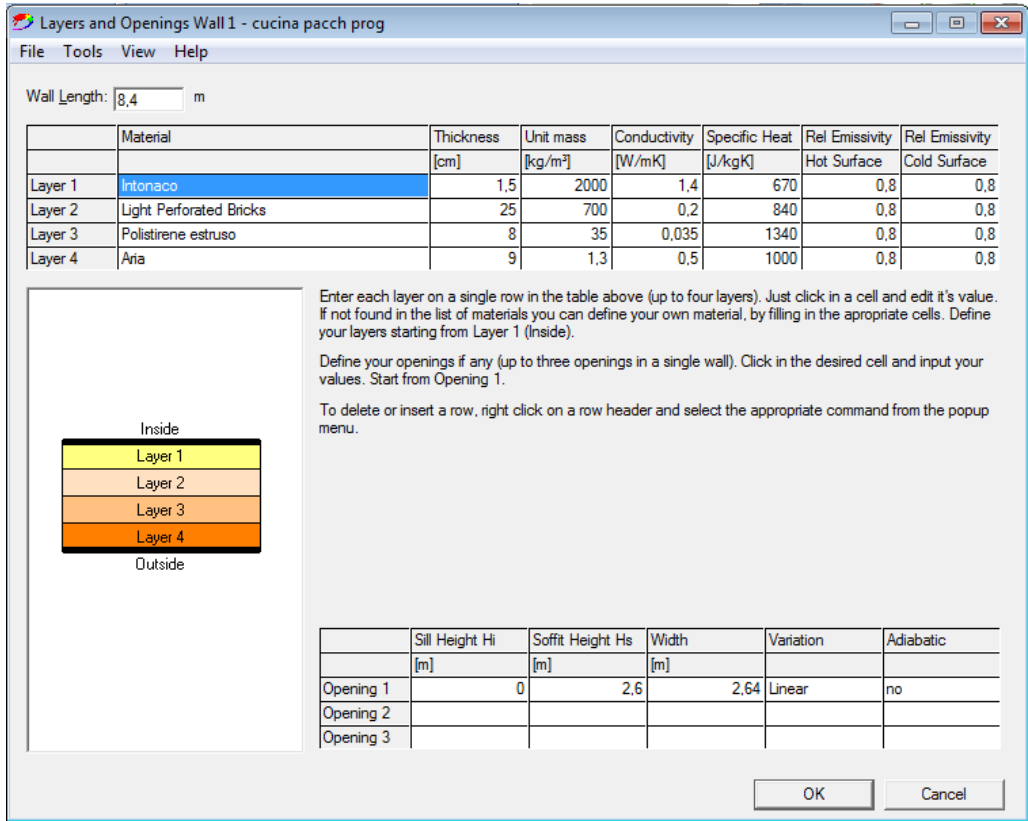


Figura 931 - Definizione della parete 1

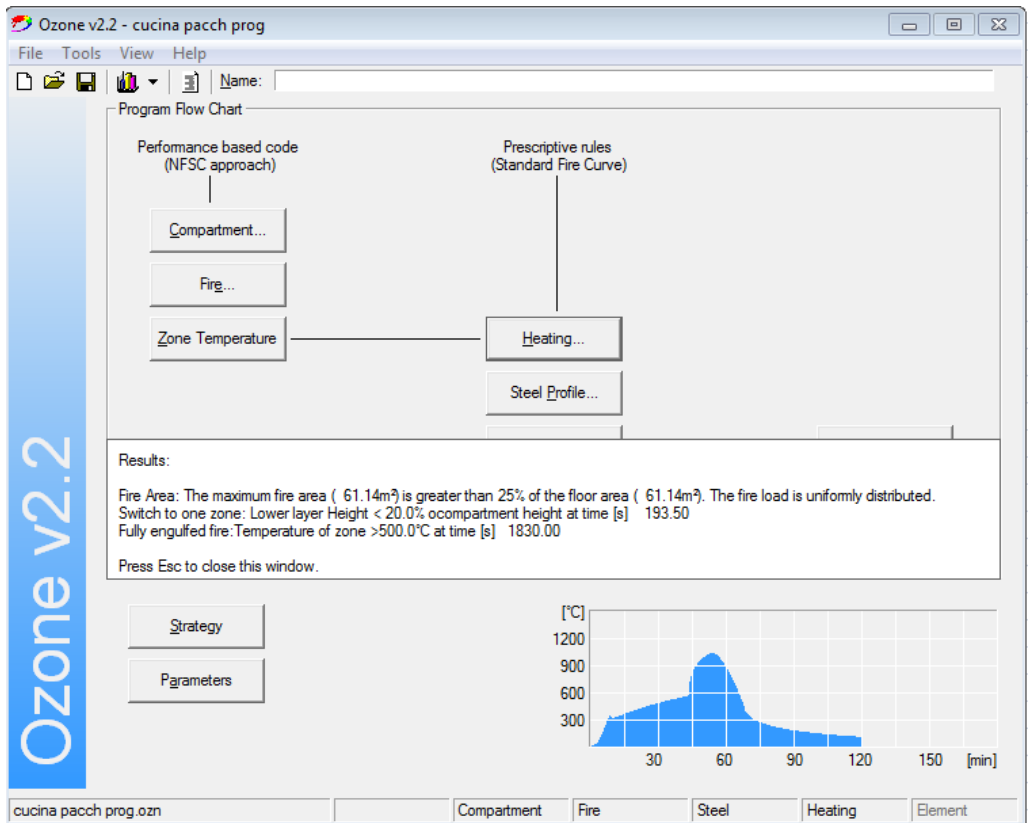


Figura 932 - Risultato della simulazione

Caso 5

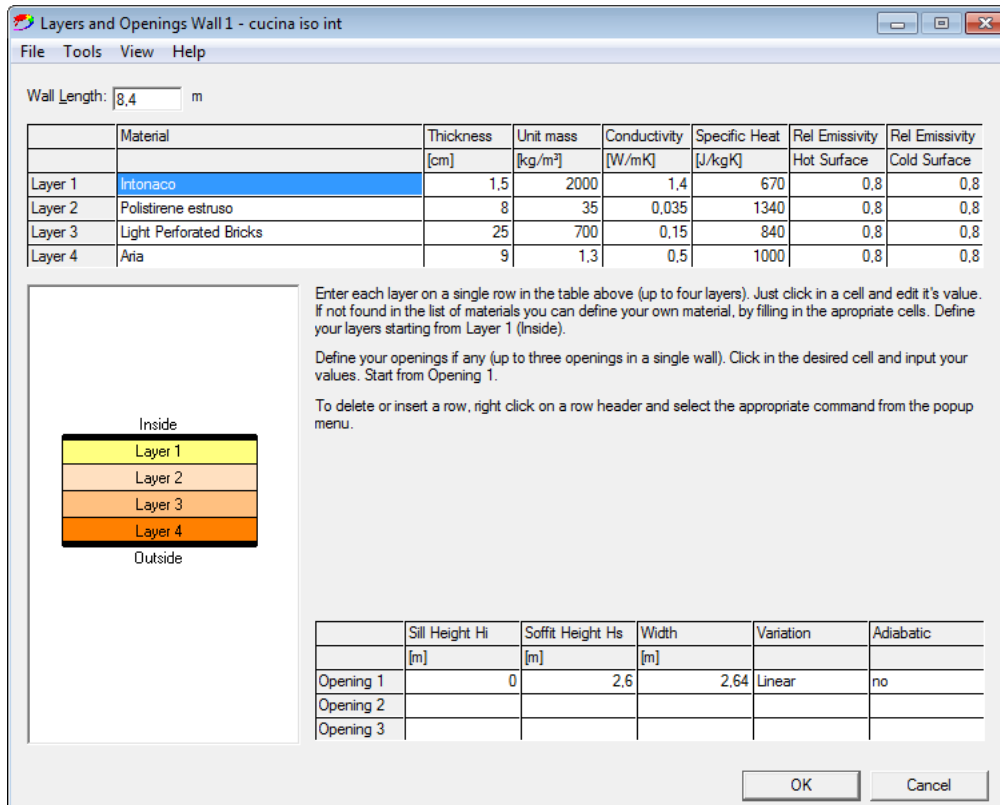


Figura 933 - Definizione della parete 1

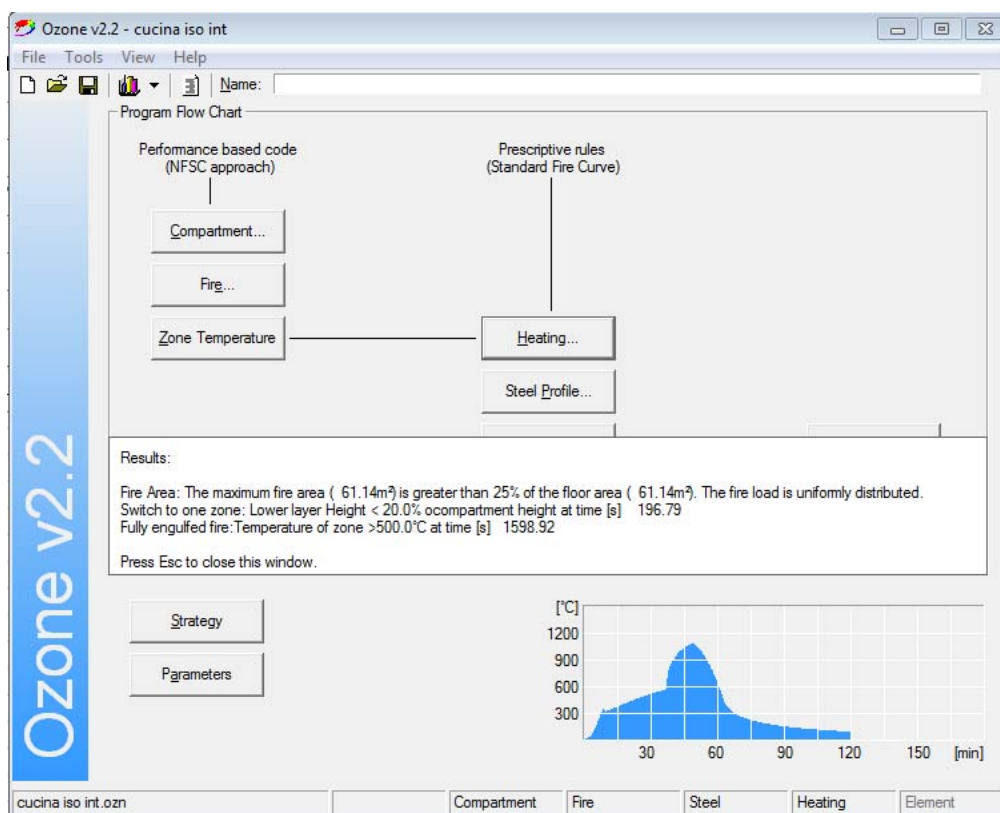


Figura 934 - Risultato della simulazione

Confronto fra i casi

Hot zone temperature - cucina					
Time	1	2	3	4	5
0	20	20	20	20	20
1	26	26	26	26	26
2	39	39	39	39	39
3	60	60	60	60	60
4	99	98	101	98	98
5	151	149	155	149	150
6	208	204	216	206	206
7	268	262	280	265	266
8	330	311	256	325	326
9	334	351	226	330	334
10	338	389	221	331	334
11	349	427	221	340	344
12	360	465	223	349	354
13	371	502	226	358	364
14	382	738	230	367	375
15	393	791	234	377	386
16	404	835	238	387	397
17	414	873	242	396	408
18	425	907	246	405	418
19	435	936	250	414	429
20	444	961	253	422	439
21	454	981	257	431	449
22	463	999	261	439	458
23	472	1015	265	447	468
24	481	1029	269	454	477
25	489	1042	272	462	486
26	498	1055	276	469	495
27	506	1066	279	476	503
28	514	1070	283	483	511
29	521	1056	286	490	520
30	529	1033	290	497	528
31	536	1003	293	504	536
32	544	968	296	510	543
33	551	928	300	517	551
34	558	885	303	523	558
35	565	838	306	529	566
36	572	787	309	535	573
37	579	733	312	542	580
38	768	676	315	548	785
39	848	614	318	554	854
40	902	548	322	560	903
41	943	477	325	566	943

Cold zone temperature - cucina					
Time	1	2	3	4	5
0	20	20	20	20	20
1	20	20	20	20	20
2	21	21	21	21	21
3	26	26	26	25	25

Tabella 120 - Confronto delle temperature dello strato freddo

Time	1	2	3	4	5
0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
1	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
2	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
3	0,7	0,7	0,6	0,7	0,7

Tabella 121 - Confronto delle altezze dello strato freddo

42	977	400	328	571	975
43	1005	358	331	577	1003
44	1027	330	335	650	1025
45	1045	309	338	823	1044
46	1061	292	341	877	1061
47	1075	278	344	917	1076
48	1087	267	348	950	1089
49	1090	256	351	977	1089
50	1077	247	354	998	1075
51	1054	239	357	1016	1052
52	1024	231	360	1032	1022
53	989	225	364	1045	988
54	949	218	367	1051	949
55	905	212	370	1040	905
56	858	207	373	1020	859
57	808	202	376	993	808
58	754	197	379	960	755
59	696	192	382	923	697
60	635	188	385	883	635
61	569	184	388	839	569
62	498	180	391	791	497
63	422	176	394	740	424
64	377	172	397	686	386
65	348	169	400	628	358
66	326	166	403	565	336
67	309	162	406	497	317
68	294	159	409	424	302
69	282	156	412	381	289
70	271	154	415	354	277
71	262	151	418	334	267
72	253	148	421	318	257
73	245	146	424	304	248
74	238	143	427	292	241
75	231	141	430	282	233
76	225	139	433	273	227
77	219	137	436	264	220
78	214	134	438	257	214
79	208	132	441	250	209
80	204	130	444	243	204
81	199	129	447	237	199
82	194	127	450	231	194
83	190	125	453	226	190
84	186	123	455	221	185
85	182	121	458	216	181
86	179	120	461	211	177

87	175	118	464	207	174
88	172	117	466	203	170
89	169	115	469	199	167
90	166	114	472	195	164
91	163	112	475	191	161
92	160	111	477	187	158
93	157	109	480	184	155
94	154	108	483	181	152
95	152	107	485	177	149
96	149	105	488	174	147
97	147	104	491	171	144
98	144	103	493	169	142
99	142	102	496	166	140
100	140	101	499	163	137
101	138	100	501	160	135
102	136	99	504	158	133
103	134	98	507	156	131
104	132	97	509	153	129
105	130	96	512	151	127
106	128	95	514	149	126
107	126	94	517	147	124
108	125	93	520	144	122
109	123	92	522	142	120
110	121	91	525	140	119
111	120	90	527	139	117
112	118	89	530	137	116
113	117	88	532	135	114
114	115	88	535	133	113
115	114	87	537	131	111
116	113	86	540	130	110
117	111	85	542	128	109
118	110	84	545	127	107
119	109	84	547	125	106
120	108	83	550	123	105

Tabella 119 - Confronto delle temperature dello strato caldo

Palestra

Caso 1

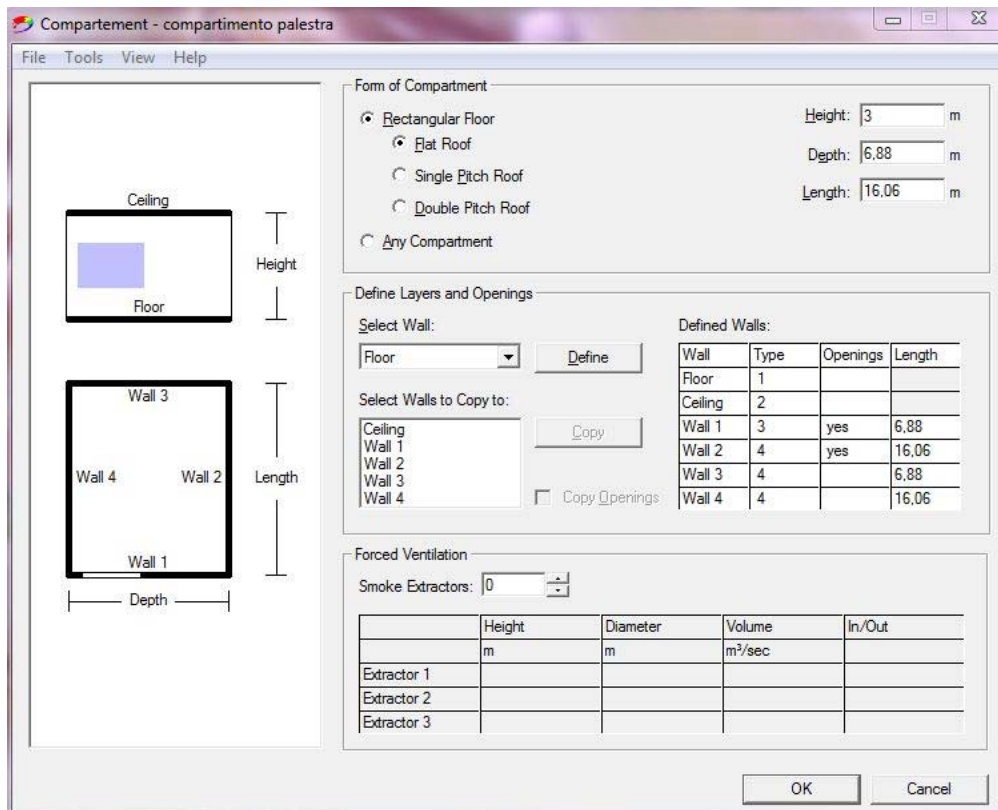


Figura 935 - Scheda generale del compartimento

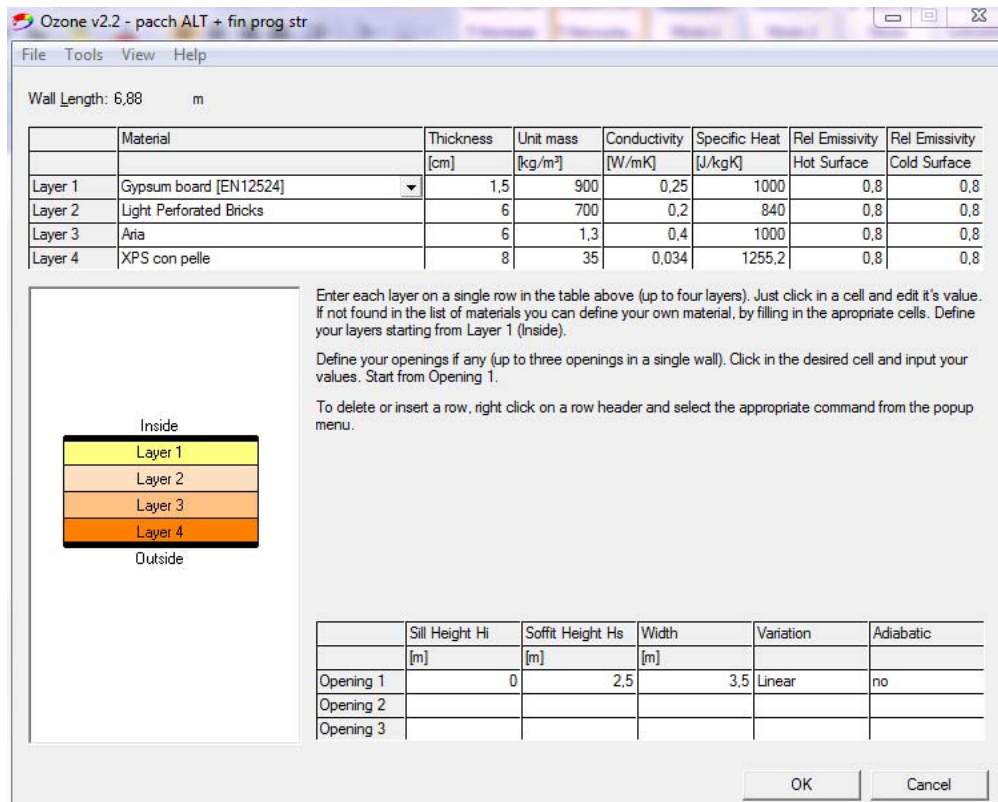


Figura 936 - Definizione della parete 1

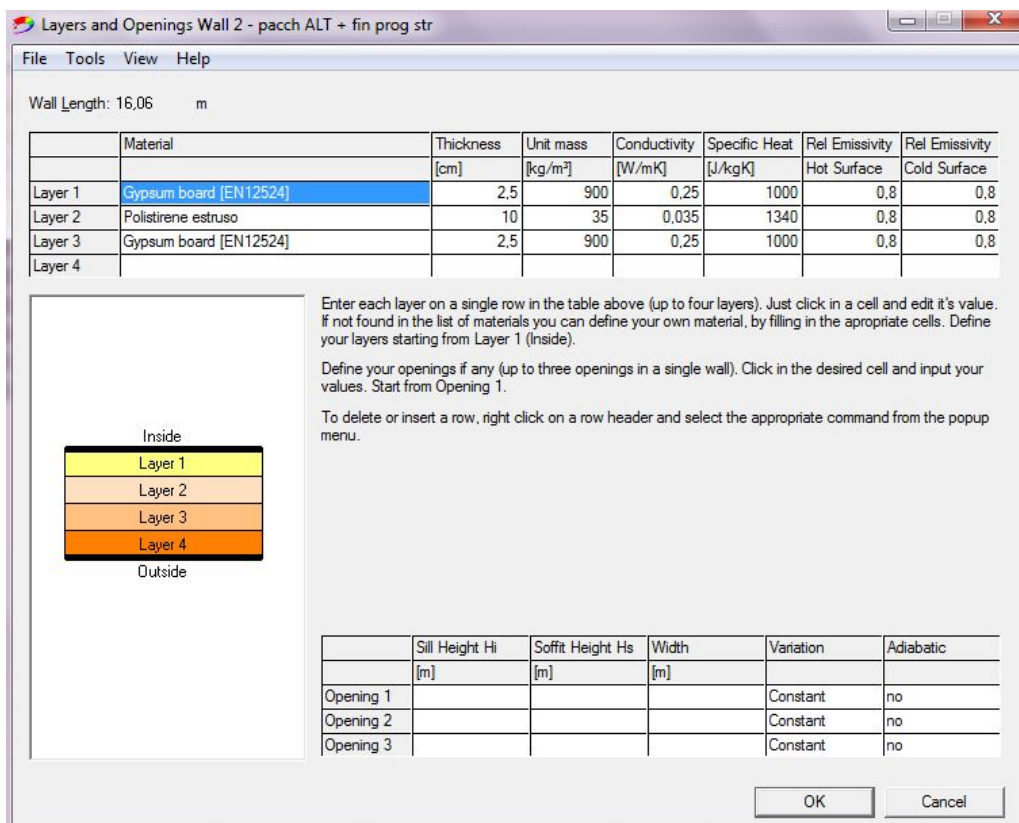


Figura 937 - Definizione della parete 2

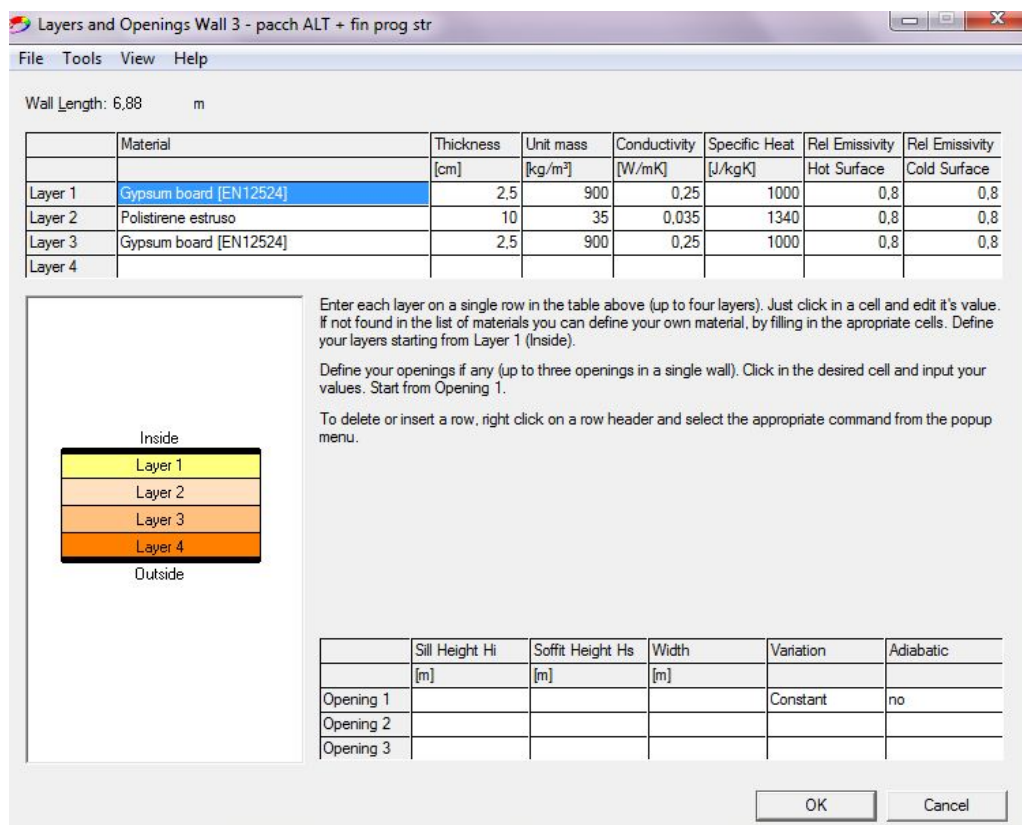


Figura 938 - Definizione della parete 3

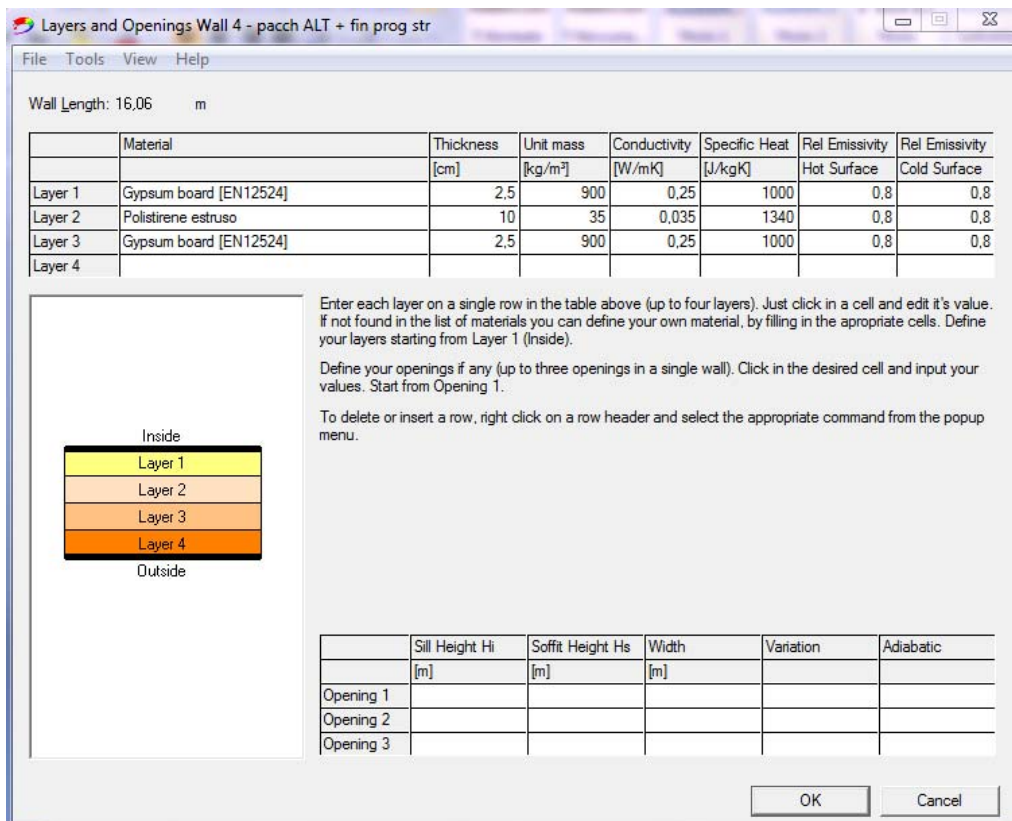


Figura 939 - Definizione della parete 4

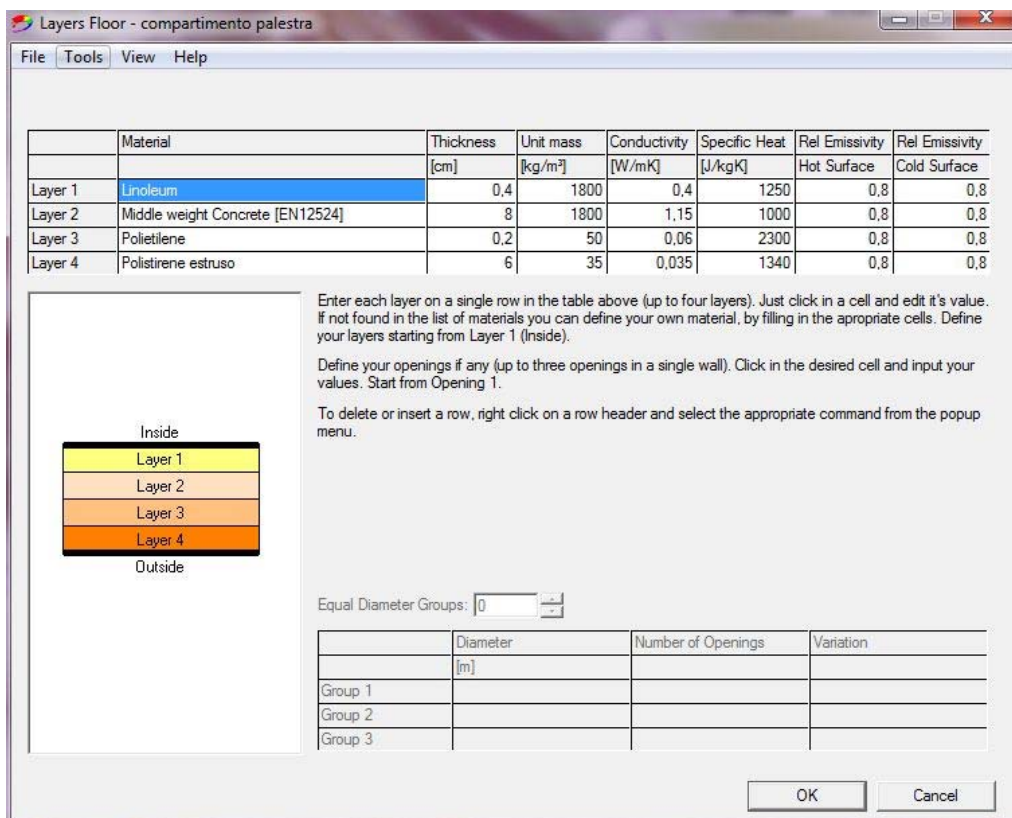


Figura 940 - Definizione del pavimento

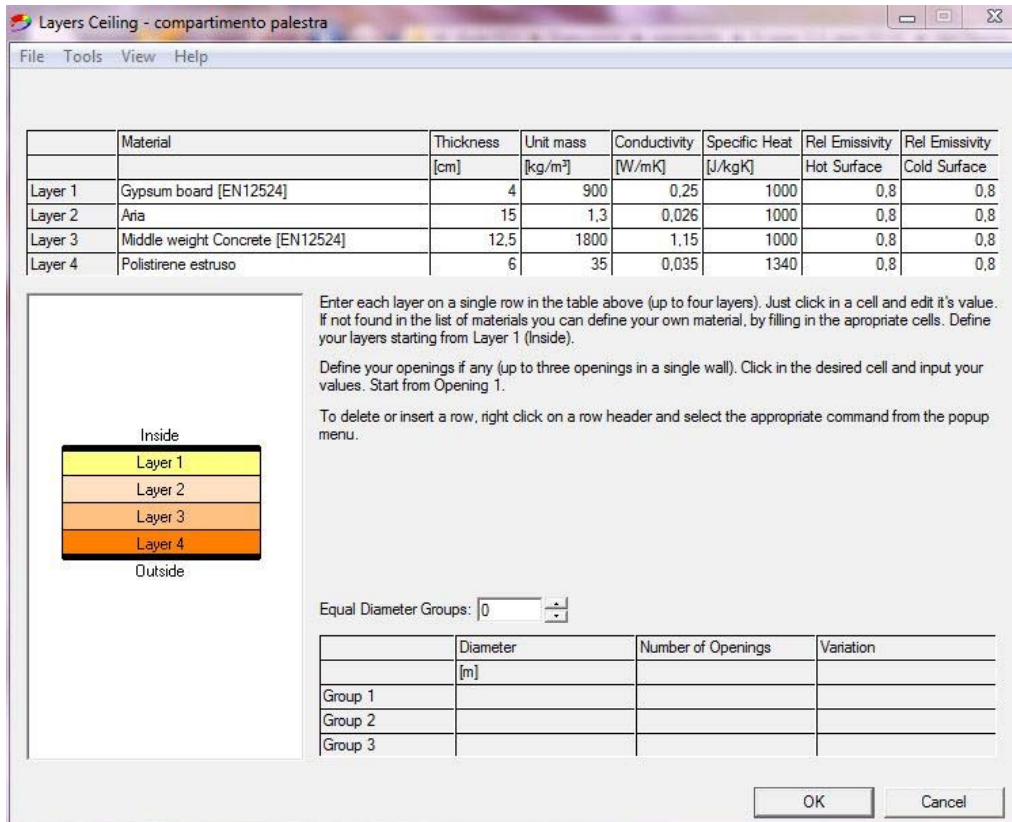


Figura 941 - Definizione del soffitto

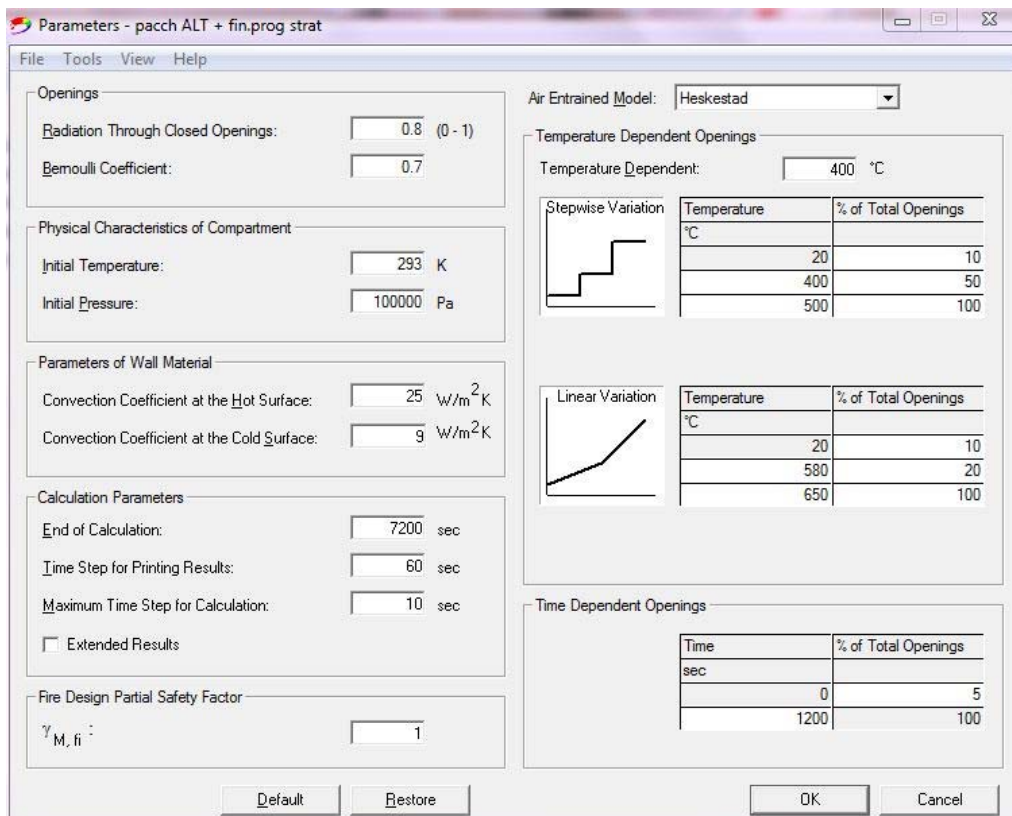


Figura 942 - Parametri per la simulazione

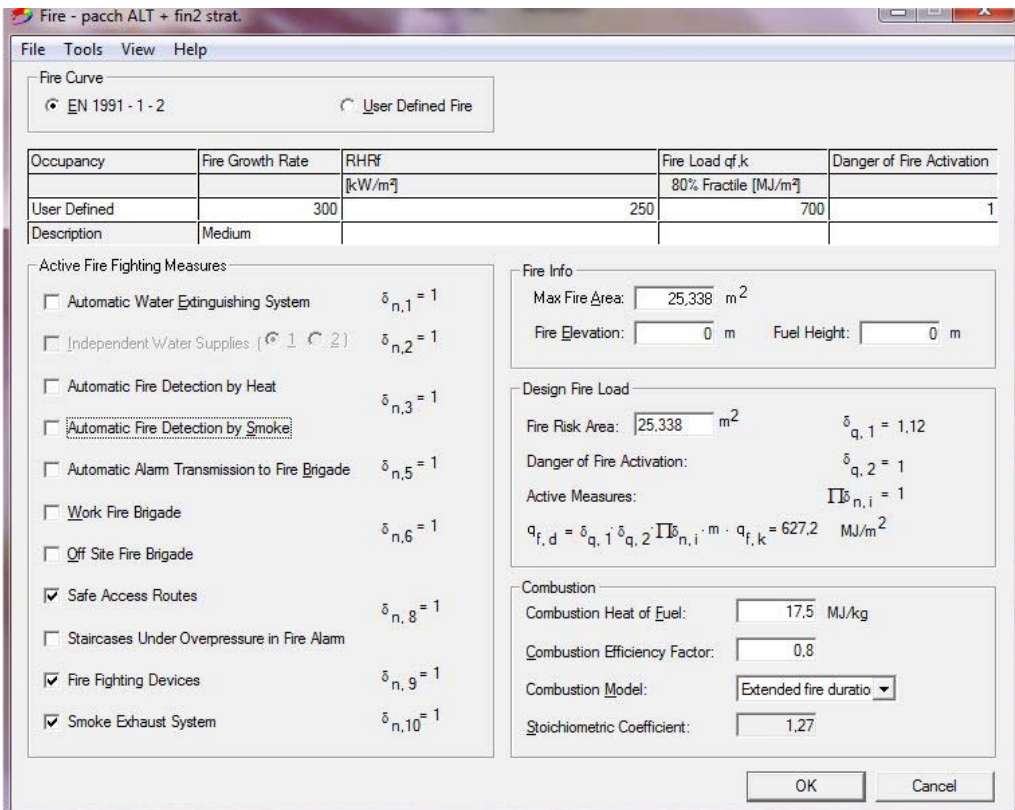


Figura 943 - Caratteristiche dell'incendio

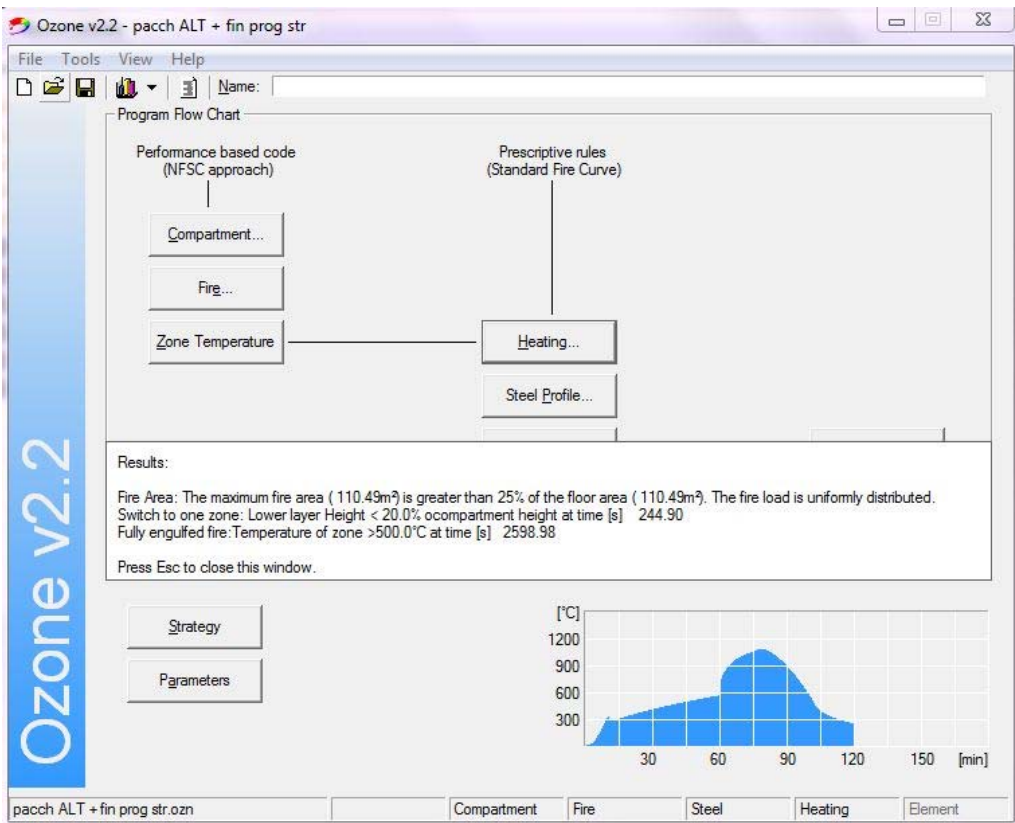


Figura 944 - Risultato della simulazione

Caso 2

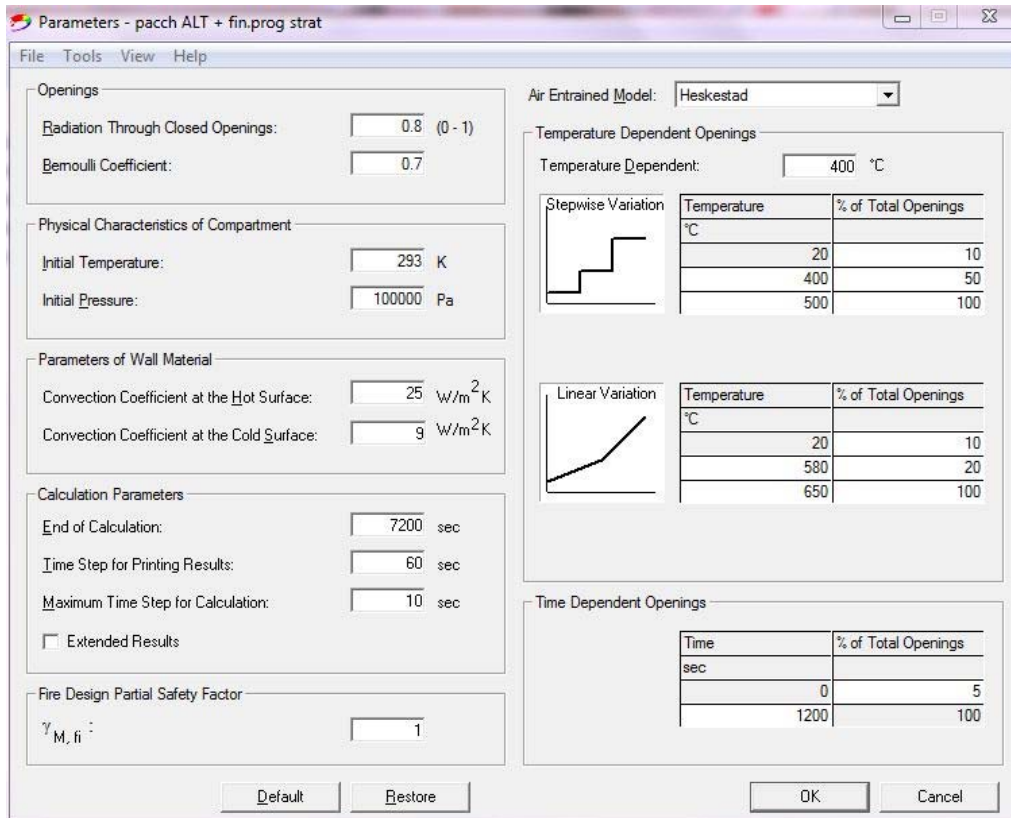


Figura 945 - Parametri per la simulazione

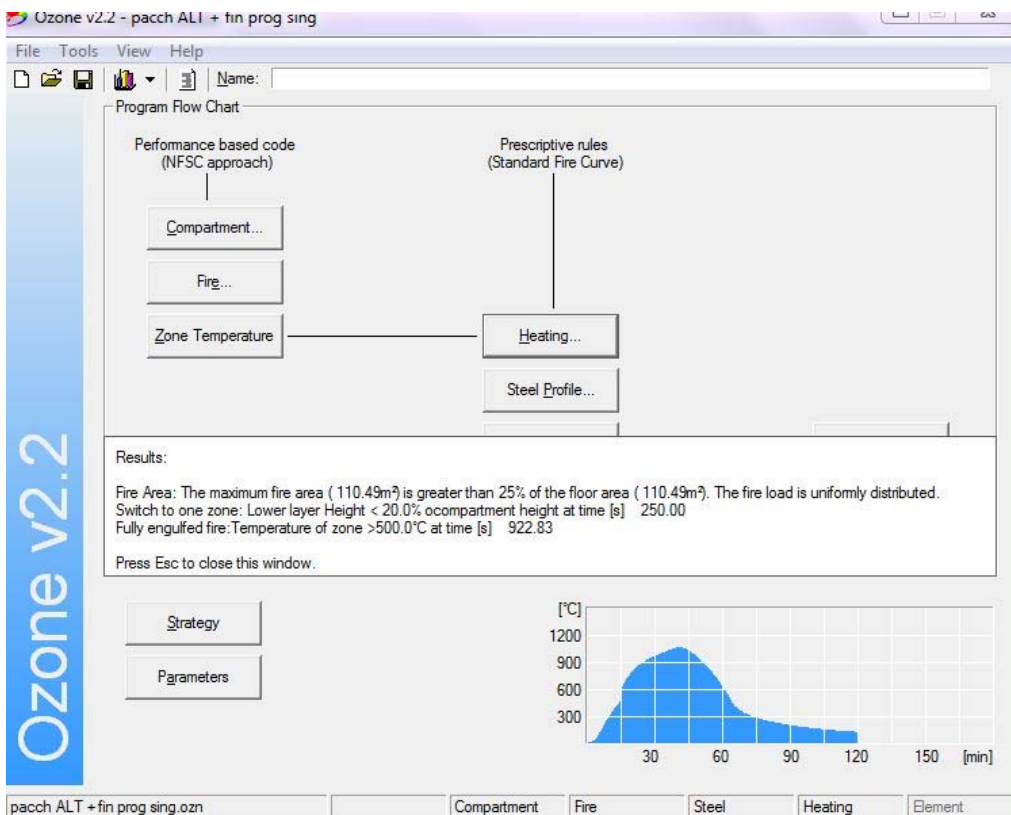


Figura 946 - Risultato della simulazione

Caso 3

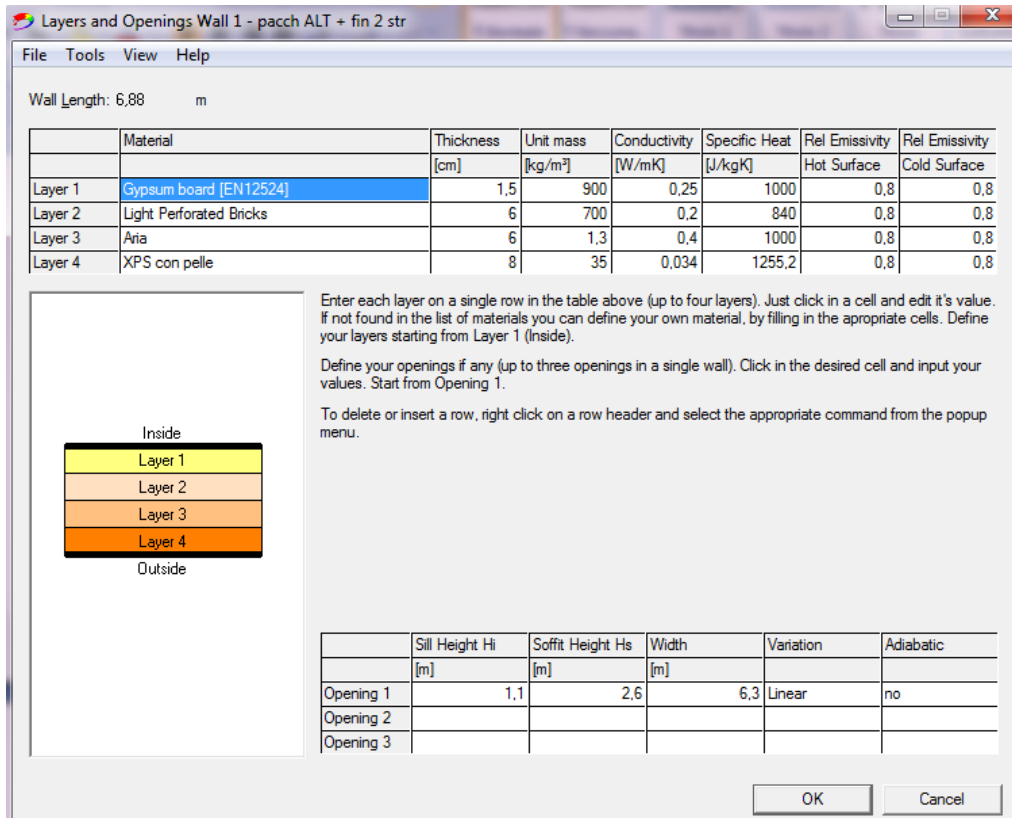


Figura 947 - Definizione della parete 1

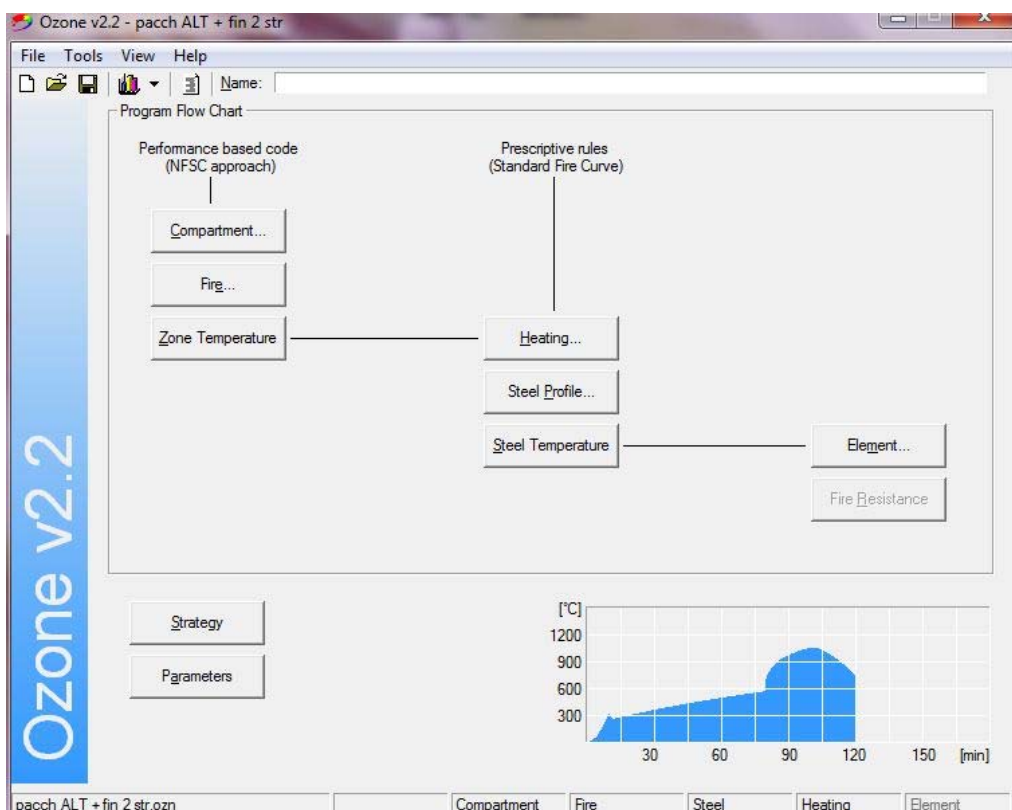


Figura 948 - Risultato della simulazione

Caso 4

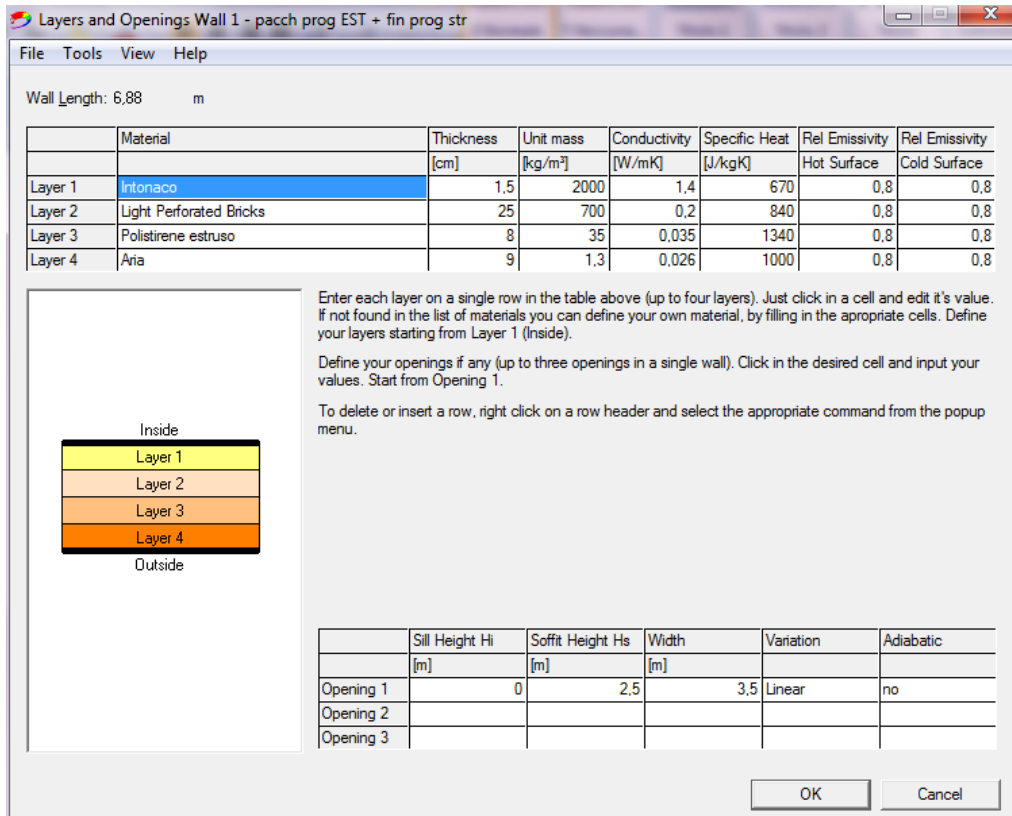


Figura 949 - Definizione della parete 1

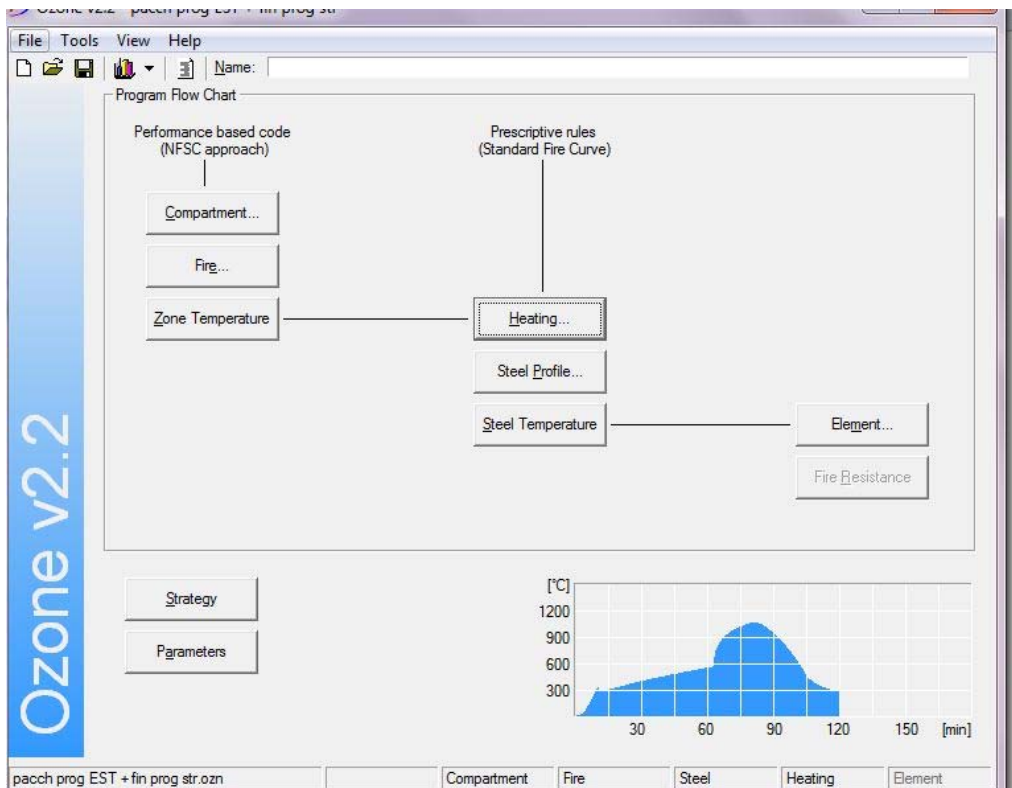


Figura 950 - Risultati della simulazione

Caso 5

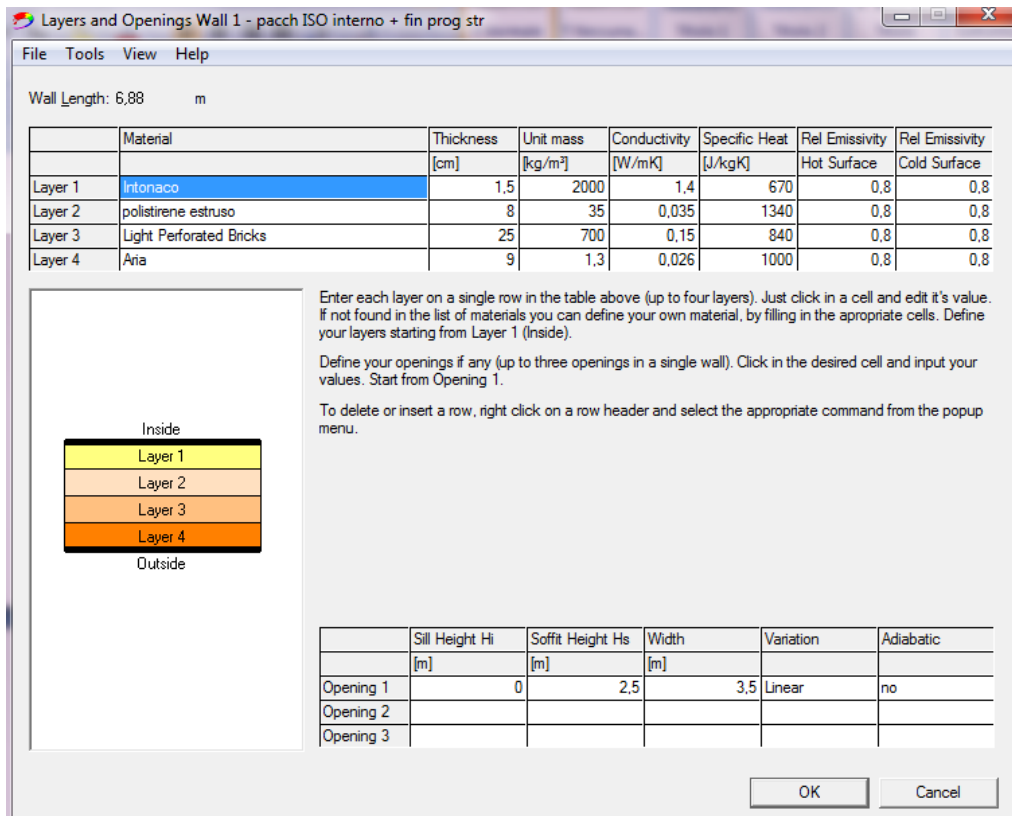


Figura 951 - Definizione della parete 1

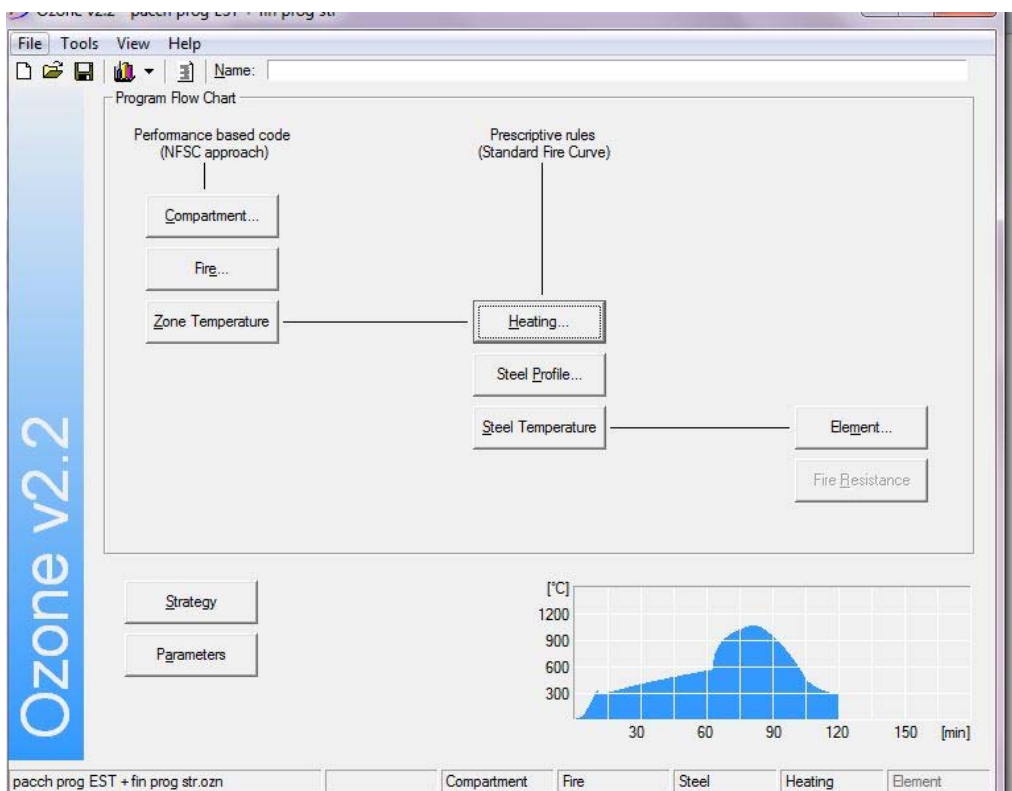


Figura 952 - Risultati della simulazione

Confronto fra i casi

Hot zone temperature - palestra					
Time	1	2	3	4	5
0	20	20	20	20	20
1	24	24	24	24	24
2	34	34	34	34	34
3	48	48	48	48	48
4	69	69	69	69	69
5	102	101	102	101	101
6	144	143	145	143	144
7	190	187	192	189	189
8	239	234	241	237	238
9	289	282	292	287	287
10	339	320	313	337	338
11	299	354	277	296	297
12	301	388	276	297	299
13	307	422	280	303	305
14	314	455	285	310	312
15	322	488	291	317	320
16	329	657	297	324	327
17	336	706	303	331	334
18	343	744	309	337	341
19	350	777	314	344	348
20	358	807	320	351	356
21	365	834	325	358	363
22	372	858	331	365	371
23	379	879	336	371	378
24	386	897	341	378	385
25	393	913	347	385	392
26	400	928	352	391	399
27	406	942	358	397	406
28	413	955	363	403	412
29	419	967	368	409	419
30	425	979	373	415	425
31	431	990	379	421	431
32	437	1001	384	427	438
33	443	1012	389	433	444
34	449	1022	394	438	450
35	455	1031	399	444	456
36	461	1041	403	449	461
37	466	1050	408	455	467
38	472	1059	413	460	473
39	477	1068	418	465	479
40	483	1076	422	471	484
41	488	1079	427	476	490

Cold zone temperature - palestra					
Time	1	2	3	4	5
0	20	20	20	20	20
1	20	20	20	20	20
2	21	21	21	21	21
3	23	23	23	23	22
4	28	28	28	28	24
5					28
6					31
7					35
8					40
9					45
10					50
11					56
12					63

Tabella 123 - Confronto delle temperature dello strato freddo

Zone interface elevation - palestra					
Time	1	2	3	4	5
0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
1	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6
2	1,9	1,9	2,0	1,9	1,9
3	1,2	1,2	1,3	1,2	1,5
4	0,6	0,6	0,7	0,6	1,4
5					1,3
6					1,2
7					1,1
8					1,0
9					0,9
10					0,8
11					0,7
12					0,6

Tabella 124 - Confronto delle altezze dello strato freddo

42	493	1075	431	481	495
43	499	1066	436	486	501
44	504	1054	440	491	506
45	509	1039	445	496	511
46	514	1022	449	501	517
47	519	1003	454	506	522
48	524	983	458	511	527
49	529	961	462	516	532
50	534	938	467	521	537
51	539	913	471	526	542
52	544	887	475	530	547
53	549	860	479	535	552
54	554	832	483	540	557
55	559	802	488	545	562
56	564	771	492	549	567
57	568	739	496	554	572
58	573	706	500	559	577
59	578	671	504	563	587
60	605	634	508	568	771
61	780	596	512	573	826
62	833	556	516	577	866
63	873	514	520	589	899
64	906	471	524	774	927
65	933	431	528	827	951
66	956	407	531	866	971
67	975	388	535	898	989
68	992	372	539	925	1004
69	1006	357	543	947	1017
70	1019	345	547	966	1030
71	1031	333	550	982	1041
72	1042	323	554	997	1052
73	1052	314	558	1010	1062
74	1062	305	562	1021	1072
75	1071	297	565	1032	1081
76	1080	289	569	1042	1090
77	1089	282	573	1052	1098
78	1097	275	576	1061	1102
79	1098	269	580	1070	1098
80	1093	262	710	1079	1090
81	1083	257	778	1084	1079
82	1071	251	820	1082	1064
83	1055	246	854	1074	1048
84	1038	241	882	1063	1029
85	1019	236	906	1050	1009
86	998	231	926	1034	988

87	976	227	944	1016	965
88	952	223	959	997	941
89	927	218	972	976	915
90	901	214	984	954	889
91	874	211	995	931	861
92	846	207	1005	906	831
93	816	203	1015	880	801
94	785	200	1024	853	769
95	752	197	1033	825	736
96	719	193	1041	796	701
97	684	190	1049	765	665
98	647	187	1057	733	628
99	609	184	1065	699	589
100	569	182	1070	664	548
101	527	179	1070	627	505
102	484	176	1065	589	462
103	445	174	1058	549	437
104	421	171	1049	508	416
105	402	169	1038	465	399
106	385	167	1026	439	384
107	371	164	1012	419	370
108	358	162	997	402	358
109	347	160	981	388	347
110	336	158	964	375	337
111	326	156	947	363	327
112	317	154	928	353	319
113	309	152	908	343	311
114	301	150	888	334	303
115	294	148	866	325	296
116	287	147	844	317	289
117	280	145	821	310	282
118	274	143	797	303	276
119	268	142	772	296	270
120	262	140	746	290	265

Tabella 122 - Confronto delle temperature dello strato caldo

Camera

Caso 1

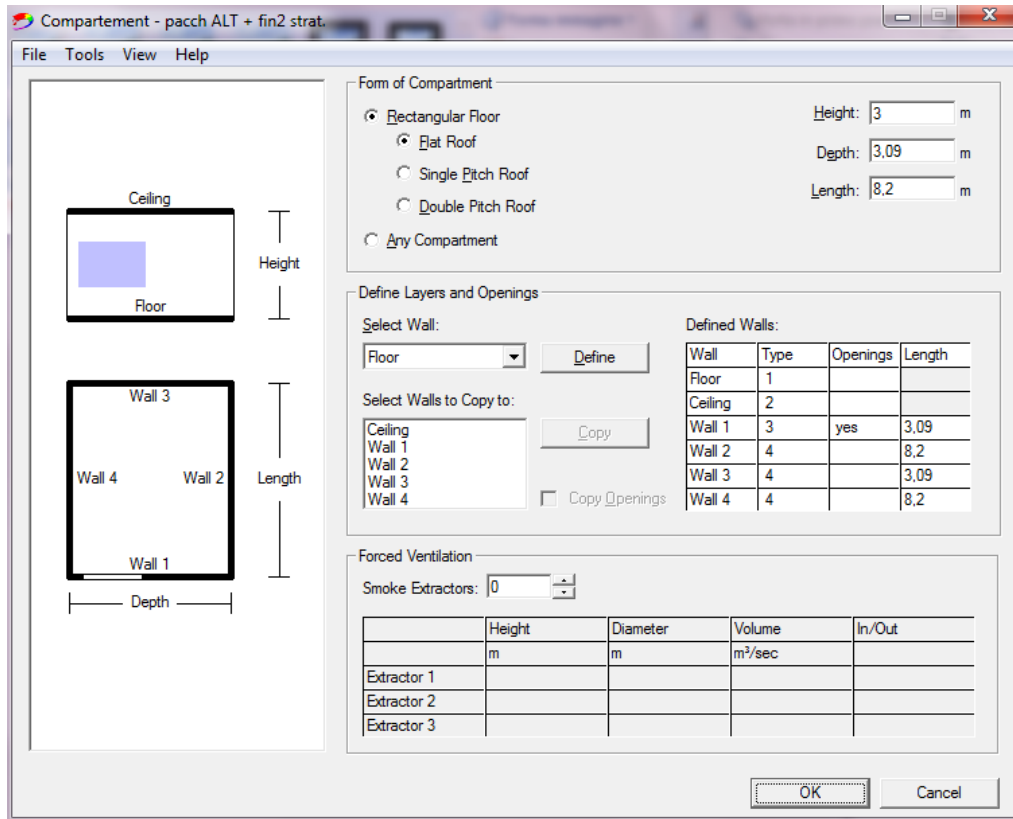


Figura 953 - Scheda generale del compartimento

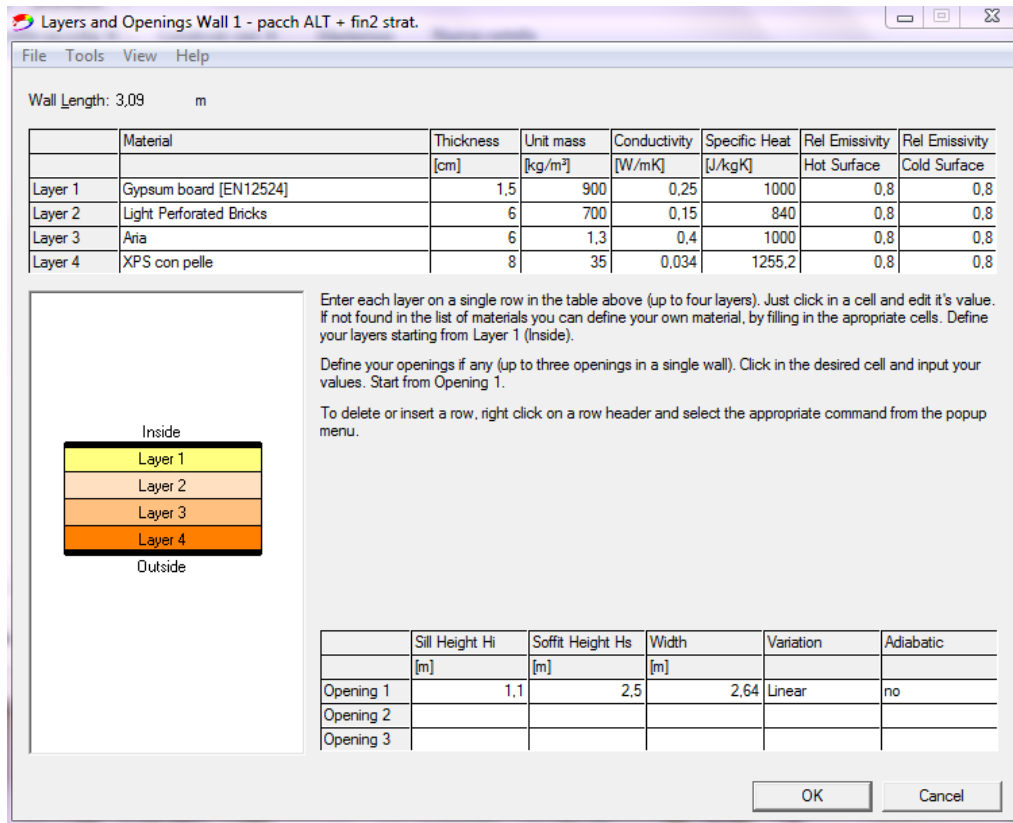


Figura 954 - Definizione della parete 1

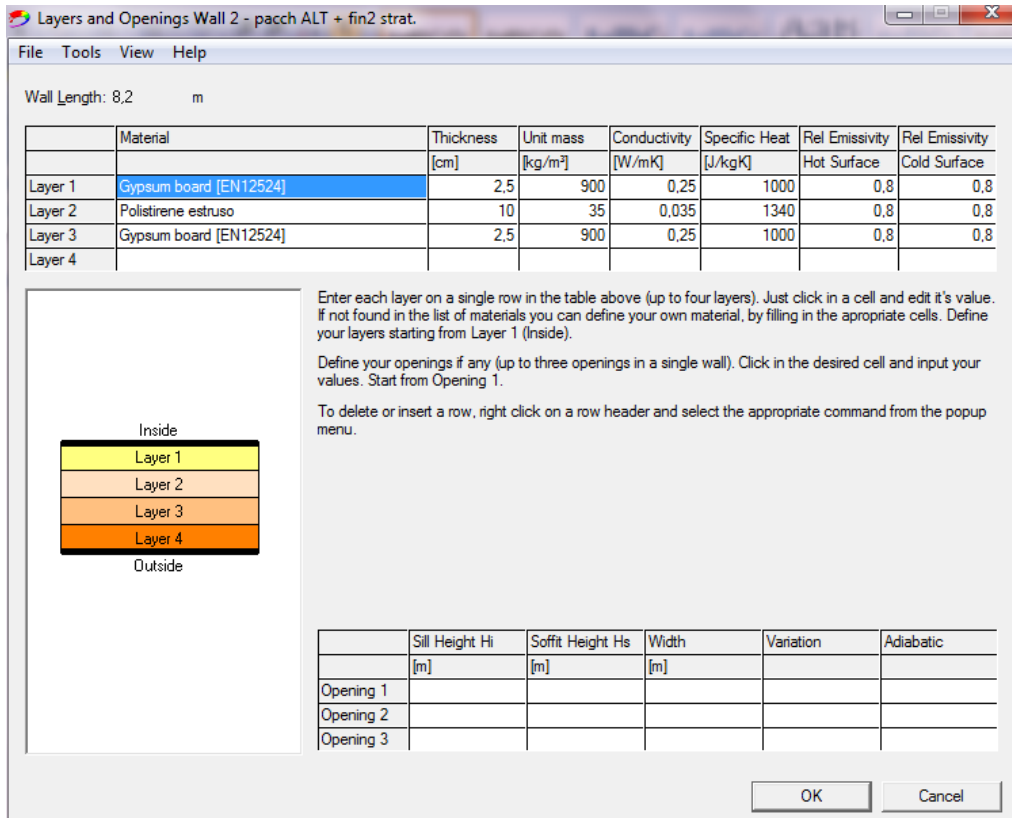


Figura 955 - Definizione della parete 2

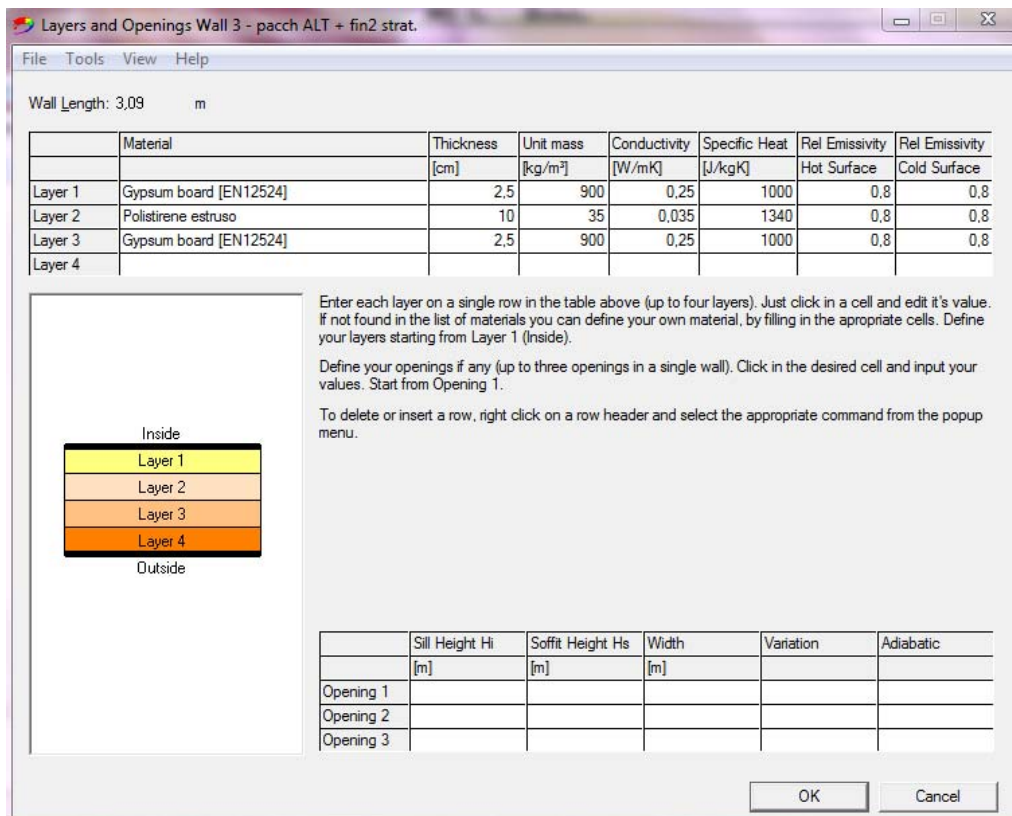


Figura 956 - Definizione della parete 3

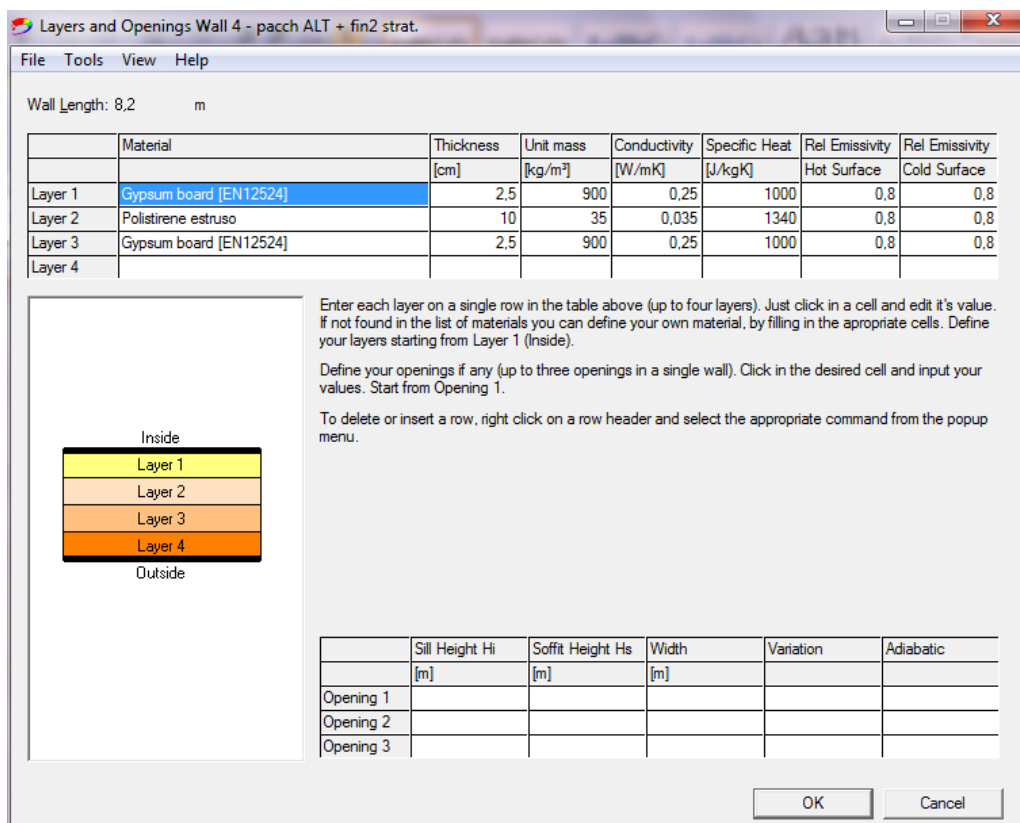


Figura 957 - Definizione della parete 4

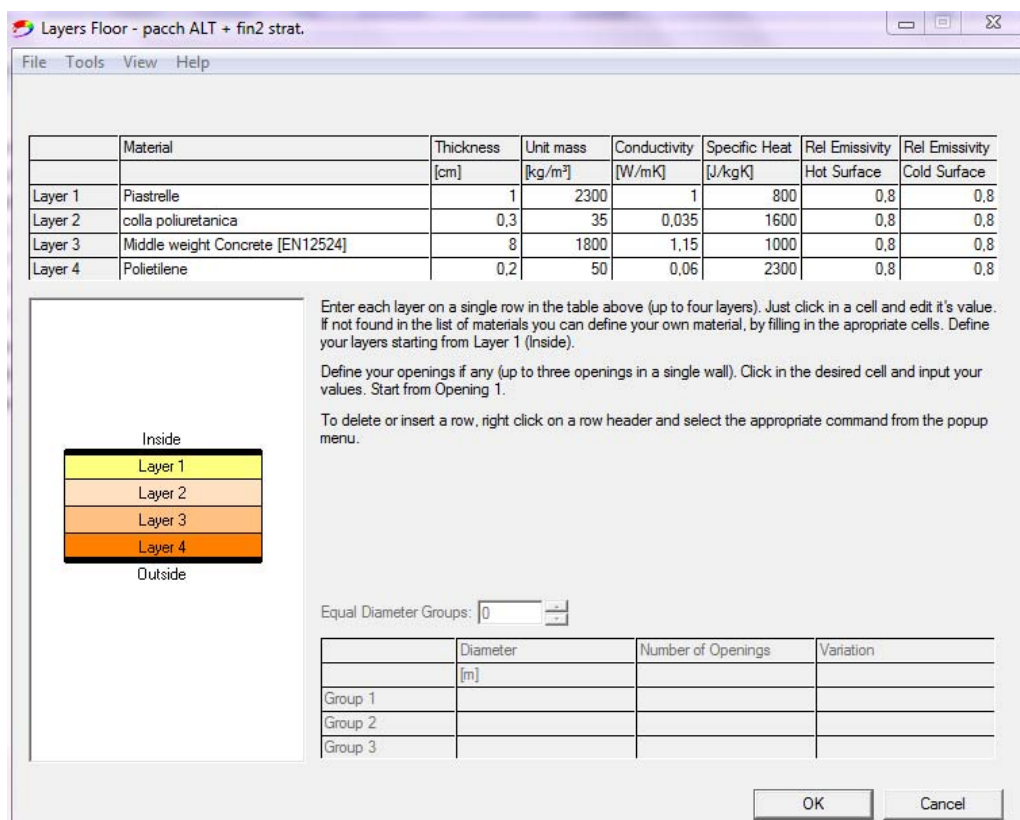


Figura 958 - Definizione del pavimento

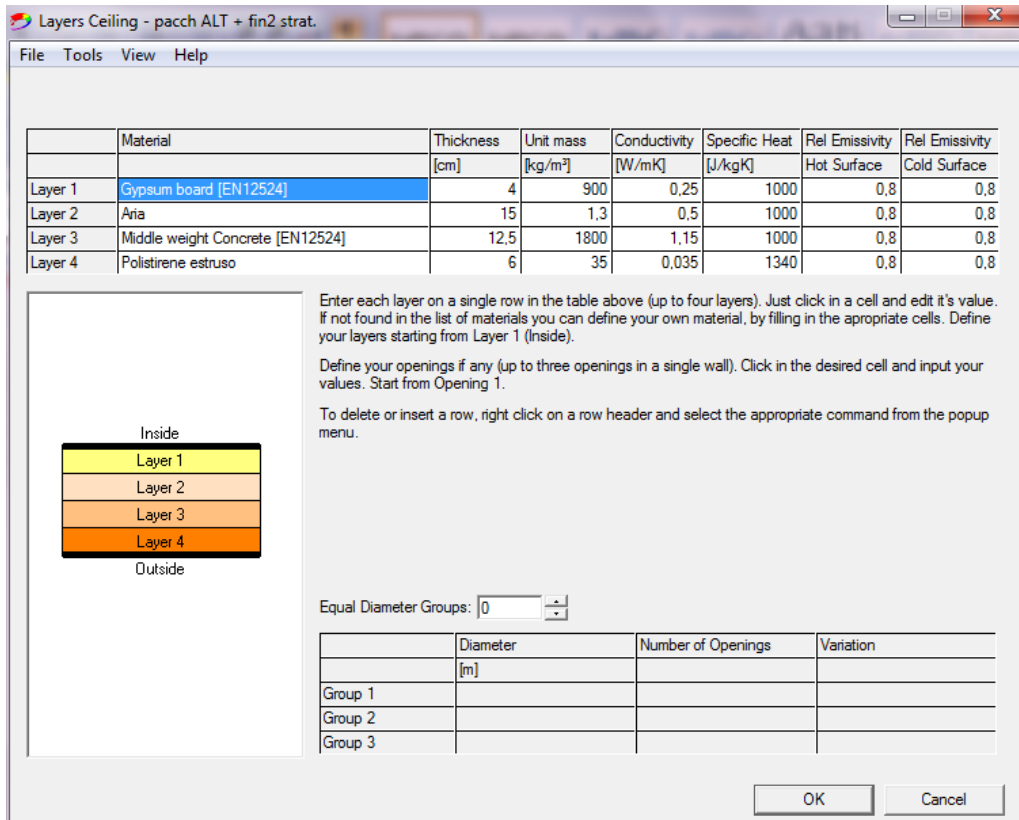


Figura 959 - Definizione del soffitto

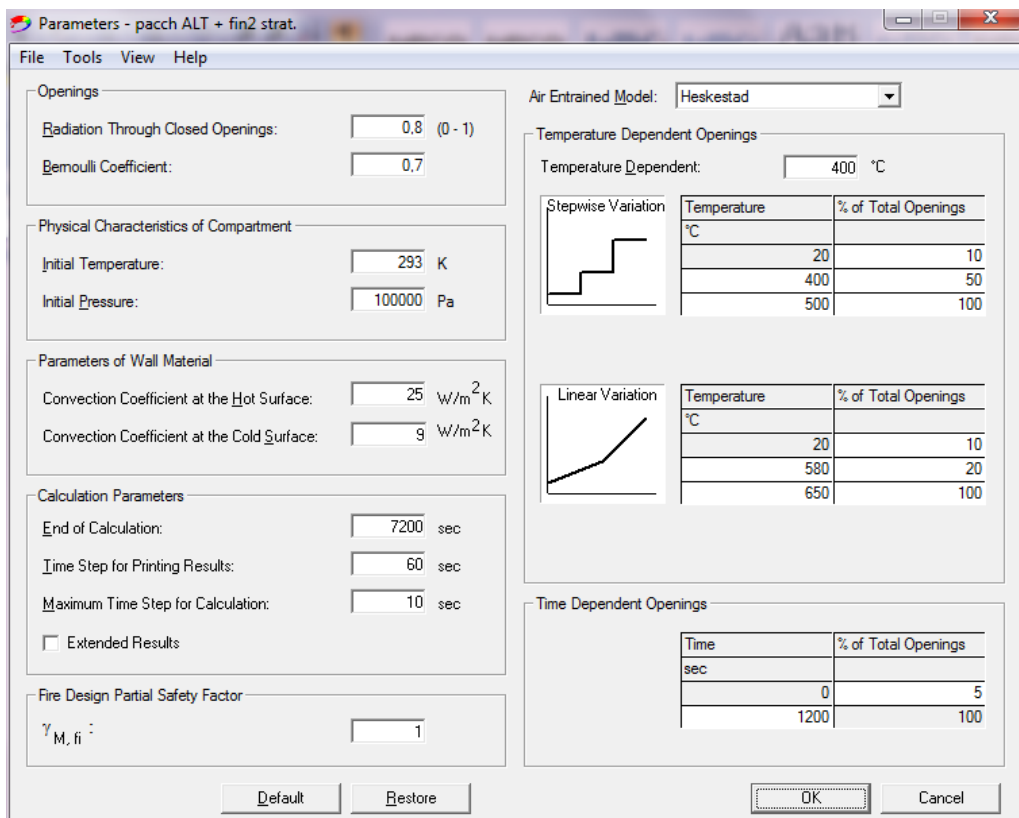


Figura 960 - Parametri per la simulazione

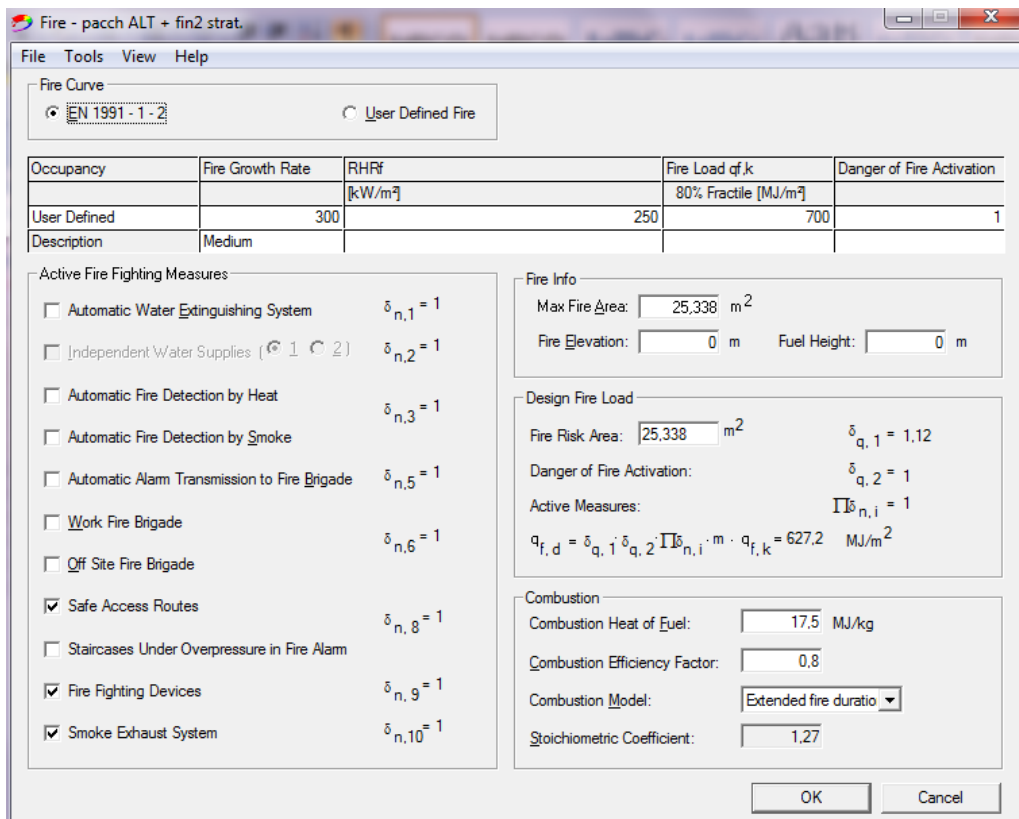


Figura 961 - Caratteristiche dell'incendio

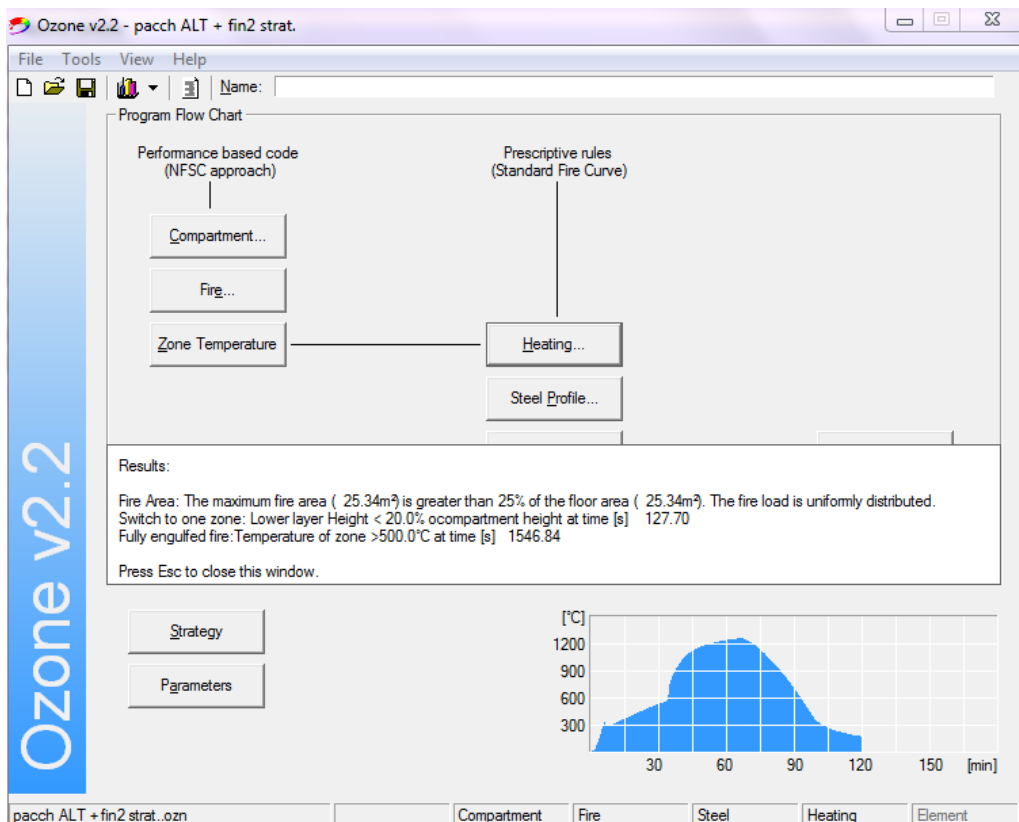


Figura 962 - Risultato della simulazione

Caso 2

Parameters - pacch ALT + fin2 sing

File Tools View Help

Openings

Radiation Through Closed Openings: (0 - 1)

Bernoulli Coefficient:

Physical Characteristics of Compartment

Initial Temperature: K

Initial Pressure: Pa

Parameters of Wall Material

Convection Coefficient at the Hot Surface: W/m²K

Convection Coefficient at the Cold Surface: W/m²K

Calculation Parameters

End of Calculation: sec

Time Step for Printing Results: sec

Maximum Time Step for Calculation: sec

Extended Results

Fire Design Partial Safety Factor

$\gamma_{M,fi}$:

Air Entrained Model:

Temperature Dependent Openings

Temperature Dependent: °C

Stepwise Variation

Temperature °C	% of Total Openings
20	10
400	50
500	100

Linear Variation

Temperature °C	% of Total Openings
20	10
280	20
500	100

Time Dependent Openings

Time sec	% of Total Openings
0	5
1200	100

Default Restore OK Cancel

Figura 963 - Parametri per la simulazione

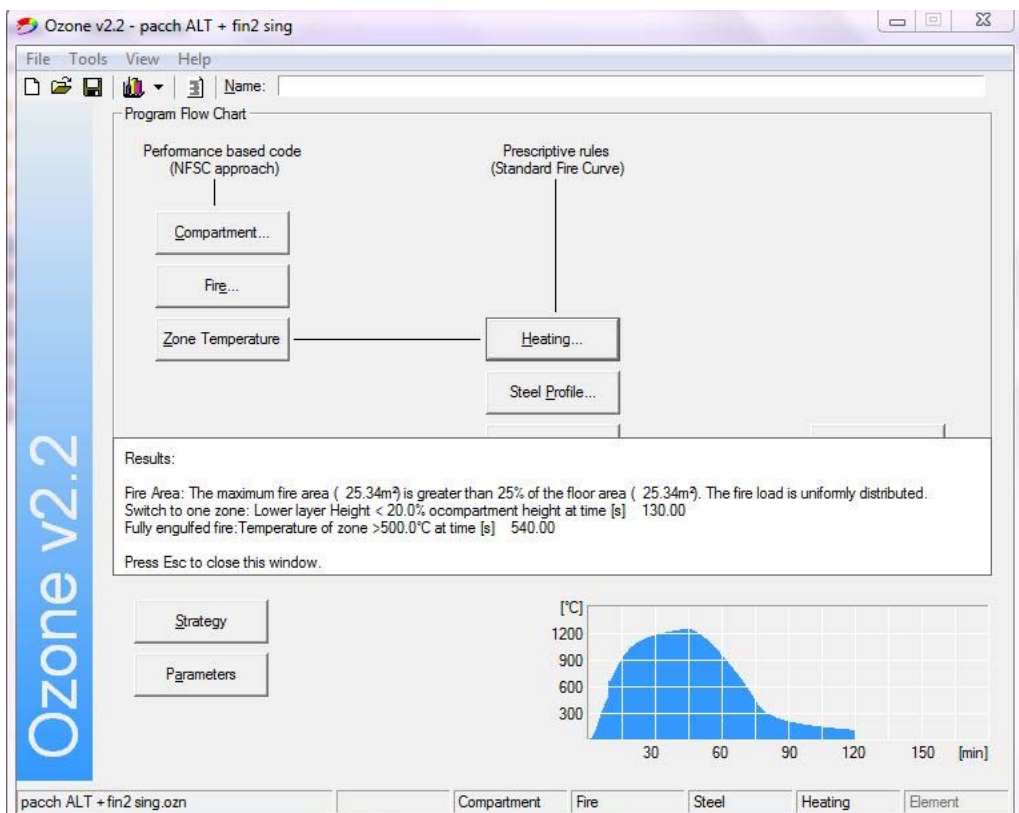


Figura 964 - Risultato della simulazione

Caso 3

Layers and Openings Wall 1 - pacch ALT + fin.prog strat

File Tools View Help

Wall Length: 3.09 m

	Material	Thickness [cm]	Unit mass [kg/m ³]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]	Rel Emissivity Hot Surface	Rel Emissivity Cold Surface
Layer 1	Gypsum board [EN12524]	1.5	900	0.25	1000	0.8	0.8
Layer 2	Light Perforated Bricks	6	700	0.15	840	0.8	0.8
Layer 3	Aria	6	1.3	0.4	1000	0.8	0.8
Layer 4	XPS con pelle	8	35	0.034	1255.2	0.8	0.8

Enter each layer on a single row in the table above (up to four layers). Just click in a cell and edit it's value. If not found in the list of materials you can define your own material, by filling in the appropriate cells. Define your layers starting from Layer 1 (Inside).

Define your openings if any (up to three openings in a single wall). Click in the desired cell and input your values. Start from Opening 1.

To delete or insert a row, right click on a row header and select the appropriate command from the popup menu.

Inside

Layer 1
Layer 2
Layer 3
Layer 4

Outside

	Sill Height Hi [m]	Soffit Height Hs [m]	Width [m]	Variation	Adiabatic
Opening 1	1.1	2.6	2.64	Linear	no
Opening 2					
Opening 3					

OK Cancel

Figura 965 - Definizione della parete 1

Ozone v2.2 - pacch ALT + fin.prog strat

File Tools View Help

Name: _____

Program Flow Chart

```

    graph TD
      subgraph NFSC [Performance based code (NFSC approach)]
        C[Compartment...]
        F[Fire...]
        ZT[Zone Temperature]
      end
      subgraph Prescriptive [Prescriptive rules (Standard Fire Curve)]
        H[Heating...]
        SP[Steel Profile...]
        ST[Steel Temperature]
      end
      ZT --- H
      H --- SP
      SP --- ST
      ST --- E[Element...]
      E --- FR[Fire Resistance]
  
```

Strategy Parameters

pacch ALT + fin.prog strat.ozn | Compartment | Fire | Steel | Heating | Element

Figura 966 - Risultato della simulazione

Caso 4

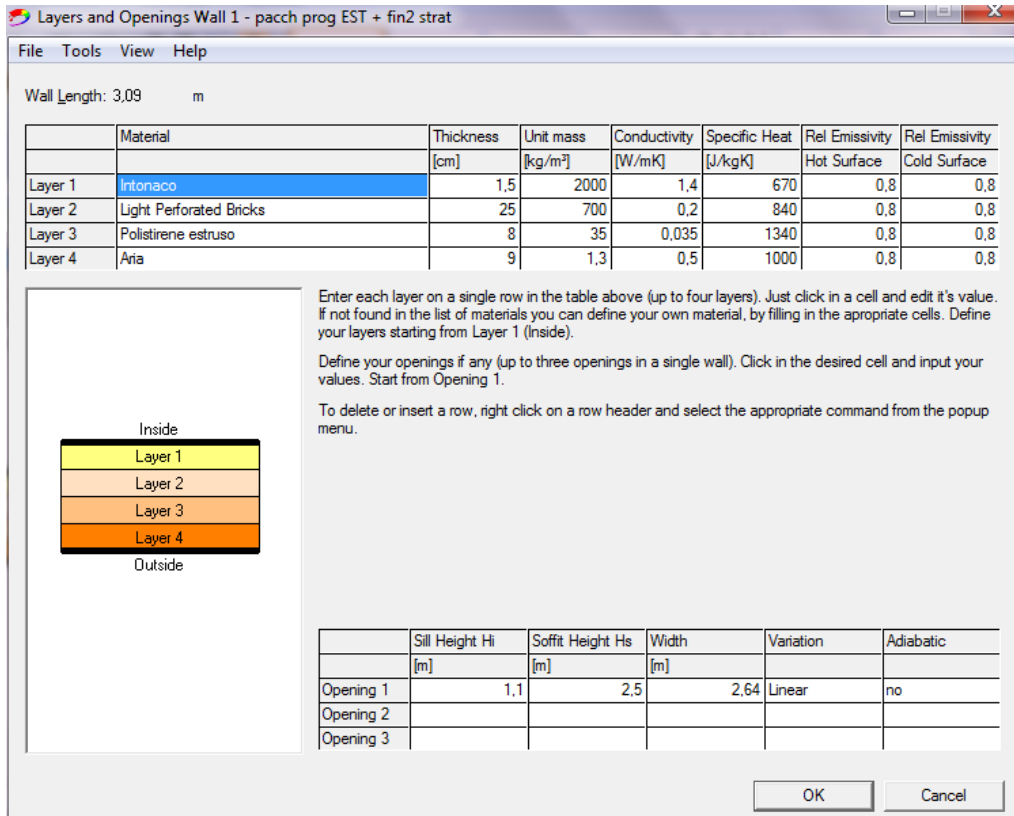


Figura 967 - Definizione della parete 1

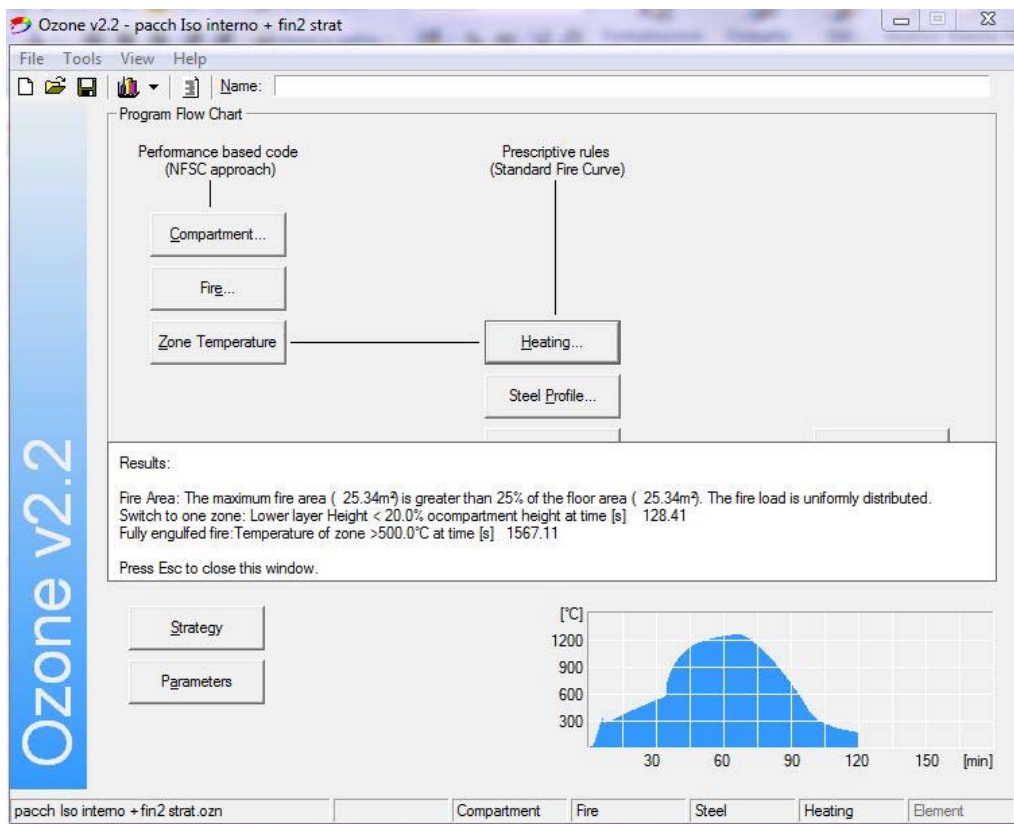


Figura 968 - Risultati della simulazione

Caso 5

Layers and Openings Wall 1 - pacch Iso interno + fin2 strat

File Tools View Help

Wall Length: 3.09 m

	Material	Thickness [cm]	Unit mass [kg/m ²]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]	Rel Emissivity Hot Surface	Rel Emissivity Cold Surface
Layer 1	Intonaco	1.5	2000	1.4	670	0.8	0.8
Layer 2	Polistirene estruso	8	35	0.035	1340	0.8	0.8
Layer 3	Light Perforated Bricks	25	700	0.15	840	0.8	0.8
Layer 4	Aria	9	1.3	0.5	1000	0.8	0.8

Enter each layer on a single row in the table above (up to four layers). Just click in a cell and edit it's value. If not found in the list of materials you can define your own material, by filling in the appropriate cells. Define your layers starting from Layer 1 (Inside).

Define your openings if any (up to three openings in a single wall). Click in the desired cell and input your values. Start from Opening 1.

To delete or insert a row, right click on a row header and select the appropriate command from the popup menu.

Inside

Outside

	Sill Height Hi [m]	Soffit Height Hs [m]	Width [m]	Variation	Adiabatic
Opening 1	1.1	2.5	2.64	Linear	no
Opening 2					
Opening 3					

OK Cancel

Figura 969 - Definizione della parete 1

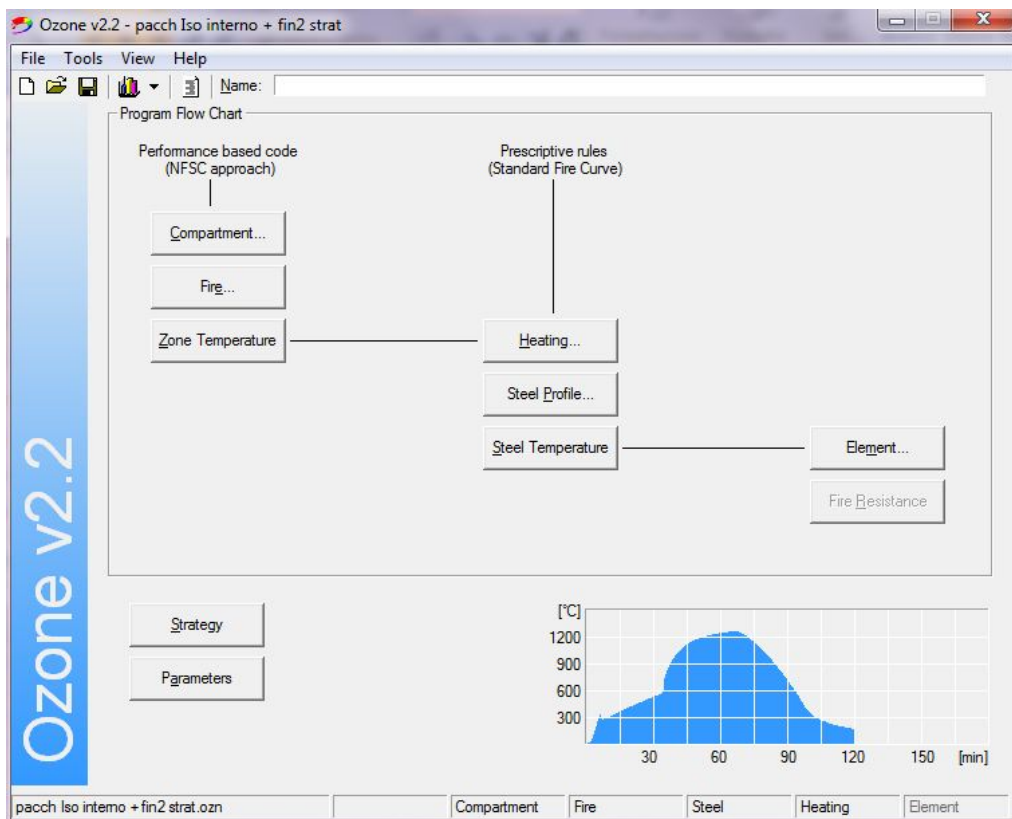


Figura 970 - Risultati della simulazione

Confronto fra i casi

Hot zone temperature - camera					
Time	1	2	3	4	5
0	20	20	20	20	20
1	28	28	28	28	28
2	51	51	51	51	51
3	104	104	104	104	104
4	178	176	177	177	177
5	260	256	259	259	259
6	345	326	343	343	343
7	290	386	305	286	287
8	299	445	315	294	295
9	310	503	329	305	307
10	322	679	342	316	318
11	333	734	354	327	329
12	345	784	368	337	340
13	356	831	381	347	352
14	368	877	395	358	364
15	380	919	408	369	376
16	392	957	422	380	387
17	404	991	435	391	399
18	415	1021	448	402	411
19	427	1047	460	412	422
20	438	1069	473	422	434
21	449	1089	485	433	445
22	460	1106	497	443	456
23	471	1121	510	452	467
24	482	1135	521	462	478
25	493	1147	533	472	489
26	503	1158	544	481	500
27	513	1168	556	490	510
28	524	1177	567	499	521
29	534	1185	577	508	531
30	543	1193	748	517	541
31	553	1200	831	526	551
32	562	1206	893	534	561
33	572	1212	946	543	570
34	581	1218	991	551	580
35	761	1224	1030	559	749
36	833	1229	1064	567	822
37	889	1234	1092	575	877
38	936	1238	1116	590	925
39	978	1243	1137	775	968
40	1015	1247	1154	839	1005

Cold zone temperature - camera					
Time	1	2	3	4	5
0	20	20	20	20	20
1	20	20	20	20	20
2	23	23	23	23	23
3					

Tabella 126 - Confronto delle temperature dello strato freddo

Zone interface elevation - camera					
Time	1	2	3	4	5
0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
1	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
2	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
3					

Tabella 127 - Confronto delle altezze dello strato freddo

41	1046	1251	1169	889	1037
42	1073	1255	1182	932	1065
43	1096	1259	1193	969	1090
44	1116	1262	1203	1002	1111
45	1133	1261	1212	1030	1129
46	1148	1254	1220	1054	1145
47	1161	1244	1227	1075	1159
48	1172	1231	1234	1093	1172
49	1183	1216	1240	1109	1183
50	1192	1198	1245	1123	1193
51	1200	1179	1251	1135	1202
52	1208	1159	1255	1146	1210
53	1214	1137	1260	1156	1217
54	1221	1114	1264	1165	1224
55	1227	1090	1268	1174	1230
56	1232	1066	1272	1182	1236
57	1237	1040	1276	1189	1241
58	1242	1014	1279	1196	1246
59	1247	986	1278	1202	1251
60	1251	959	1270	1208	1255
61	1255	930	1258	1214	1260
62	1259	901	1242	1220	1263
63	1263	871	1224	1225	1267
64	1266	840	1203	1230	1271
65	1269	808	1180	1234	1274
66	1272	776	1156	1239	1277
67	1268	743	1130	1243	1274
68	1261	709	1103	1248	1267
69	1249	675	1075	1250	1256
70	1235	640	1046	1247	1243
71	1219	603	1016	1240	1227
72	1201	566	985	1230	1209
73	1182	528	953	1217	1190
74	1161	490	920	1202	1170
75	1138	450	886	1185	1148
76	1115	409	852	1167	1125
77	1091	374	816	1147	1101
78	1066	351	780	1126	1076
79	1040	331	743	1105	1050
80	1013	314	704	1082	1024
81	986	300	665	1058	996
82	958	287	625	1034	968
83	929	275	584	1008	939
84	899	265	541	982	910
85	869	256	498	955	880

86	838	247	453	928	849
87	806	239	407	899	817
88	774	232	368	870	784
89	740	226	342	841	751
90	706	219	321	810	717
91	672	213	304	779	682
92	636	208	289	747	647
93	600	203	275	714	610
94	563	198	264	680	573
95	524	193	254	646	535
96	485	189	244	611	496
97	445	185	236	574	455
98	404	181	228	537	414
99	373	177	221	499	381
100	350	173	214	459	357
101	331	170	208	419	337
102	315	167	203	391	320
103	301	163	197	369	305
104	288	160	192	351	291
105	277	157	188	335	279
106	267	154	183	321	269
107	257	152	179	308	259
108	249	149	175	297	250
109	241	146	171	287	242
110	234	144	167	277	234
111	227	141	164	269	227
112	221	139	161	261	221
113	215	137	157	253	214
114	210	135	154	246	209
115	205	133	151	240	203
116	200	130	149	234	198
117	195	128	146	228	193
118	191	126	143	223	189
119	187	125	141	218	184
120	183	123	138	213	180

Tabella 125 - Confronto delle temperature dello strato caldo

CFast

Zona giorno

1	Temperature				
	a	a-n	b	c	c-n
0	20	20	20	20	20
10	26	26	26	26	26
20	32	32	32	32	32
30	39	39	39	38	38

2	Temperature				
	a	a-n	b	c	c-n
0	20	20	20	20	20
10	26	26	26	26	26
20	32	32	32	32	32
30	39	39	39	38	38

40	45	45	45	44	44
50	50	50	50	49	48
60	55	55	55	53	53
70	60	60	60	58	58
80	65	65	65	63	62
90	70	70	70	67	67
100	75	75	75	72	71
110	80	80	80	76	75
120	85	85	85	80	80
130	90	90	90	85	84
140	97	97	97	91	91
150	105	105	105	99	98
160	113	113	113	107	106
170	123	123	123	116	115
180	132	132	132	125	124
190	142	142	119	133	136
200	153	153	133	143	146
210	165	165	149	155	156
220	176	176	164	166	167
230	187	187	178	177	179
240	197	197	191	189	190
250	206	206	202	200	201
260	217	217	213	212	213
270	224	227	224	225	226
280	228	238	228	233	240
290	230	249	229	237	253
300	231	260	229	239	267
310	230	270	228	239	280
320	229	280	226	238	293
330	227	290	224	237	306
340	225	300	222	235	317
350	223	310	220	233	328
360	221	319	218	232	338
370	219	328	216	230	348
380	217	337	214	228	358
390	215	347	212	226	369
400	213	358	210	224	381
410	211	368	208	222	392
420	210	379	206	220	403
430	208	390	204	218	414
440	206	358	202	216	425
450	205	309	200	214	435
460	203	275	198	212	446
470	201	251	196	210	456
480	199	232	194	208	466
490	198	217	192	206	477
500	196	205	190	204	486
510	194	195	188	203	494
520	192	186	186	201	504
530	191	179	184	199	515
540	189	173	182	197	527
550	187	167	180	195	540
560	186	162	179	193	553

40	45	45	45	44	44
50	50	50	50	49	48
60	55	55	55	53	53
70	60	60	60	58	58
80	65	65	65	63	62
90	70	70	70	67	67
100	75	75	75	72	71
110	80	80	80	76	75
120	85	85	85	80	80
130	90	90	90	85	84
140	97	97	97	91	91
150	105	105	105	99	98
160	113	113	113	107	106
170	123	123	123	116	115
180	132	132	132	125	124
190	142	142	119	133	136
200	153	153	133	143	146
210	165	165	149	155	156
220	176	176	164	166	167
230	187	187	178	177	179
240	197	197	191	189	190
250	206	206	202	200	201
260	217	217	213	212	213
270	224	227	224	225	226
280	228	238	228	233	240
290	230	249	229	237	253
300	231	260	229	239	267
310	230	270	228	239	280
320	229	280	226	238	293
330	227	290	224	237	306
340	225	300	222	235	317
350	223	310	220	233	328
360	221	319	218	232	338
370	219	328	216	230	348
380	217	337	214	228	358
390	215	347	212	226	369
400	213	358	210	224	381
410	211	368	208	222	392
420	210	379	206	220	403
430	208	390	204	218	414
440	206	358	202	216	425
450	205	309	200	214	435
460	203	275	198	212	446
470	201	251	196	210	456
480	199	232	194	208	466
490	198	217	192	206	477
500	196	205	190	204	486
510	194	195	188	203	494
520	192	186	186	201	504
530	191	179	184	199	515
540	189	173	182	197	527
550	187	167	180	195	540
560	186	162	179	193	553

570	184	157	177	192	565
580	182	153	175	190	578
590	181	150	173	188	591
600	179	146	172	187	603
610	178	143	170	185	614
620	176	140	168	183	625
630	174	138	166	182	635
640	173	135	165	180	643
650	171	133	163	178	616
660	170	131	162	177	618
670	169	129	160	175	620
680	167	127	158	174	624
690	166	125	157	172	631
700	164	124	155	171	640
710	163	122	154	169	649
720	162	121	152	168	659
730	160	119	151	166	669
740	159	118	149	165	679
750	157	117	148	163	690
760	156	116	146	162	701
770	155	115	145	160	713
780	154	114	143	159	725
790	152	113	142	157	737
800	151	112	141	156	750
810	150	111	139	154	762
820	149	110	138	153	775
830	147	109	136	152	788
840	146	108	135	150	801
850	145	108	133	149	814
860	144	107	131	147	828
870	143	106	130	146	841
880	141	105	128	145	856
890	140	105	126	143	871
900	139	104	125	142	886
910	138	104	123	141	901
920	137	103	121	139	916
930	136	102	120	138	932
940	135	102	118	137	948
950	134	101	117	136	964
960	133	101	115	134	980
970	132	100	114	133	996
980	131	100	112	132	1012
990	130	99	111	131	1029
1000	129	99	109	130	1046
1010	128	98	108	129	1063
1020	127	98	106	127	1081
1030	126	97	105	126	1099
1040	125	97	104	125	1117
1050	124	96	103	124	1135
1060	123	96	101	123	1154
1070	122	95	100	122	1172
1080	121	95	99	121	1191
1090	120	94	97	120	1210

570	184	157	177	192	565
580	182	153	175	190	578
590	181	150	173	188	591
600	179	146	172	187	603
610	178	143	170	185	614
620	176	140	168	183	625
630	174	138	166	182	635
640	173	135	165	180	643
650	171	133	163	178	616
660	170	131	162	177	618
670	169	129	160	175	620
680	167	127	158	174	624
690	166	125	157	172	631
700	164	124	155	171	640
710	163	122	154	169	649
720	162	121	152	168	659
730	160	119	151	166	669
740	159	118	149	165	679
750	157	117	148	163	690
760	156	116	146	162	701
770	155	115	145	160	713
780	154	114	143	159	725
790	152	113	142	157	737
800	151	112	141	156	750
810	150	111	139	154	762
820	149	110	138	153	775
830	147	109	136	152	788
840	146	108	135	150	801
850	145	108	133	149	814
860	144	107	131	147	828
870	143	106	130	146	841
880	141	105	128	145	856
890	140	105	126	143	871
900	139	104	125	142	886
910	138	104	123	141	901
920	137	103	121	139	916
930	136	102	120	138	932
940	135	102	118	137	948
950	134	101	117	136	964
960	133	101	115	134	980
970	132	100	114	133	996
980	131	100	112	132	1012
990	130	99	111	131	1029
1000	129	99	109	130	1046
1010	128	98	108	129	1063
1020	127	98	106	127	1081
1030	126	97	105	126	1099
1040	125	97	104	125	1117
1050	124	96	103	124	1135
1060	123	96	101	123	1154
1070	122	95	100	122	1172
1080	121	95	99	121	1191
1090	120	94	97	120	1210

1100	119	94	96	119	1229
1110	118	93	95	118	1248
1120	117	93	94	117	1267
1130	116	93	93	116	1287
1140	115	92	92	115	1307
1150	115	92	91	114	1328
1160	114	91	90	113	1348
1170	113	91	88	112	1369
1180	112	91	87	111	1387
1190	111	90	86	110	1404
1200	110	90	85	109	1420
1210	110	89	84	108	1436
1220	109	89	83	107	1451
1230	108	89	82	106	1466
1240	107	88	81	105	1480
1250	106	88	81	104	1492
1260	106	88	80	103	1502
1270	105	87	79	103	1511
1280	104	87	78	102	1518
1290	103	87	77	101	1526
1300	103	86	76	100	1532
1310	102	86	75	99	1538
1320	101	85	74	98	1544
1330	100	85	74	97	1549
1340	100	85	73	96	1554
1350	99	84	72	95	1559
1360	98	84	71	94	1564
1370	98	84	70	94	1568
1380	97	83	70	93	1572
1390	96	83	69	92	1576
1400	96	83	68	91	1579
1410	95	82	68	90	1583
1420	94	82	67	89	1586
1430	94	82	66	89	1589
1440	93	82	65	88	1592
1450	92	81	65	87	1595
1460	91	81	64	86	1598
1470	90	81	63	86	1600
1480	89	80	63	85	1603
1490	88	80	62	84	1605
1500	87	80	62	83	1607
1510	86	80	61	83	1609
1520	86	79	60	82	1611
1530	85	79	60	81	1613
1540	84	79	59	81	1615
1550	83	78	59	80	1617
1560	83	78	58	79	1619
1570	82	78	58	79	1620
1580	81	78	57	78	1622
1590	80	77	57	77	1623
1600	80	77	56	77	1625
1610	79	77	56	76	1626
1620	79	77	55	75	1628

1100	119	94	96	119	1229
1110	118	93	95	118	1248
1120	117	93	94	117	1267
1130	116	93	93	116	1287
1140	115	92	92	115	1307
1150	115	92	91	114	1328
1160	114	91	90	113	1348
1170	113	91	88	112	1369
1180	112	91	87	111	1387
1190	111	90	86	110	1404
1200	110	90	85	109	1420
1210	110	89	84	108	1436
1220	109	89	83	107	1451
1230	108	89	82	106	1466
1240	107	88	81	105	1480
1250	106	88	81	104	1492
1260	106	88	80	103	1502
1270	105	87	79	103	1511
1280	104	87	78	102	1518
1290	103	87	77	101	1526
1300	103	86	76	100	1532
1310	102	86	75	99	1538
1320	101	85	74	98	1544
1330	100	85	74	97	1549
1340	100	85	73	96	1554
1350	99	84	72	95	1559
1360	98	84	71	94	1564
1370	98	84	70	94	1568
1380	97	83	70	93	1572
1390	96	83	69	92	1576
1400	96	83	68	91	1579
1410	95	82	68	90	1583
1420	94	82	67	89	1586
1430	94	82	66	89	1589
1440	93	82	65	88	1592
1450	92	81	65	87	1595
1460	91	81	64	86	1598
1470	90	81	63	86	1600
1480	89	80	63	85	1603
1490	88	80	62	84	1605
1500	87	80	62	83	1607
1510	86	80	61	83	1609
1520	86	79	60	82	1611
1530	85	79	60	81	1613
1540	84	79	59	81	1615
1550	83	78	59	80	1617
1560	83	78	58	79	1619
1570	82	78	58	79	1620
1580	81	78	57	78	1622
1590	80	77	57	77	1623
1600	80	77	56	77	1625
1610	79	77	56	76	1626
1620	79	77	55	75	1628

1630	78	76	55	75	1629
1640	77	76	55	74	1630
1650	77	76	54	74	1631
1660	76	76	54	73	1632
1670	76	75	53	73	1633
1680	75	75	53	72	1634
1690	75	75	53	71	1635
1700	74	75	52	71	1636
1710	74	74	52	70	1637
1720	73	74	52	70	1638
1730	73	74	52	69	1639
1740	73	74	51	69	1640
1750	72	73	51	68	1640
1760	72	73	51	68	1641
1770	71	73	50	67	1642
1780	71	73	50	67	1643
1790	70	73	50	66	1643
1800	70	72	50	66	1644

Tabella 128 - Confronto fra i comportamenti nel caso 1

1630	78	76	55	75	1629
1640	77	76	55	74	1630
1650	77	76	54	74	1631
1660	76	76	54	73	1632
1670	76	75	53	73	1633
1680	75	75	53	72	1634
1690	75	75	53	71	1635
1700	74	75	52	71	1636
1710	74	74	52	70	1637
1720	73	74	52	70	1638
1730	73	74	52	69	1639
1740	73	74	51	69	1640
1750	72	73	51	68	1640
1760	72	73	51	68	1641
1770	71	73	50	67	1642
1780	71	73	50	67	1643
1790	70	73	50	66	1643
1800	70	72	50	66	1644

Tabella 129 - Confronto fra i comportamenti nel caso 2

3	Temperature				
Time	a	a-n	b	c	c-n
0	20	20	20	20	20
10	26	26	26	26	26
20	32	32	32	32	32
30	39	39	39	38	38
40	45	45	45	44	44
50	50	50	50	49	48
60	55	55	55	53	53
70	60	60	60	58	58
80	65	65	65	63	62
90	70	70	70	67	67
100	75	75	75	72	71
110	80	80	80	76	75
120	85	85	85	80	80
130	90	90	90	85	84
140	97	97	97	91	91
150	105	105	105	99	98
160	113	113	113	107	106
170	123	123	123	116	115
180	132	132	132	125	124
190	142	142	119	133	136
200	153	153	133	143	146
210	165	165	149	155	156
220	176	176	164	166	167
230	187	187	178	177	179
240	197	197	191	189	190
250	206	206	202	200	201
260	217	217	213	212	213
270	224	227	224	225	226
280	228	238	228	233	240
290	230	249	229	237	253
300	231	260	229	239	267

1	Temperature			
Time	c	c#	c-n	c-n#
0	20	20	20	20
10	20	20	20	20
20	20	20	20	20
30	20	20	20	20
40	20	20	20	20
50	20	20	20	20
60	20	20	20	20
70	20	20	20	20
80	20	20	20	20
90	20	20	20	20
100	20	20	20	20
110	20	20	20	20
120	20	20	20	20
130	20	20	20	20
140	20	20	20	20
150	20	20	20	20
160	20	20	20	20
170	20	20	21	20
180	20	20	21	20
190	22	22	22	20
200	25	24	23	21
210	27	26	25	24
220	29	28	27	27
230	30	29	29	28
240	31	30	31	30
250	32	31	31	31
260	32	31	32	32
270	33	32	32	32
280	33	32	32	32
290	33	33	33	33
300	33	33	33	33

310	230	270	228	239	280
320	229	280	226	238	293
330	227	290	224	237	306
340	225	300	222	235	317
350	223	310	220	233	328
360	221	319	218	232	338
370	219	328	216	230	348
380	217	337	214	228	358
390	215	347	212	226	369
400	213	358	210	224	381
410	211	368	208	222	392
420	210	379	206	220	403
430	208	390	204	218	414
440	206	358	202	216	425
450	205	309	200	214	435
460	203	275	198	212	446
470	201	251	196	210	456
480	199	232	194	208	466
490	198	217	192	206	477
500	196	205	190	204	486
510	194	195	188	203	494
520	192	186	186	201	504
530	191	179	184	199	515
540	189	173	182	197	527
550	187	167	180	195	540
560	186	162	179	193	553
570	184	157	177	192	565
580	182	153	175	190	578
590	181	150	173	188	591
600	179	146	172	187	603
610	178	143	170	185	614
620	176	140	168	183	625
630	174	138	166	182	635
640	173	135	165	180	643
650	171	133	163	178	616
660	170	131	162	177	618
670	169	129	160	175	620
680	167	127	158	174	624
690	166	125	157	172	631
700	164	124	155	171	640
710	163	122	154	169	649
720	162	121	152	168	659
730	160	119	151	166	669
740	159	118	149	165	679
750	157	117	148	163	690
760	156	116	146	162	701
770	155	115	145	160	713
780	154	114	143	159	725
790	152	113	142	157	737
800	151	112	141	156	750
810	150	111	139	154	762
820	149	110	138	153	775
830	147	109	136	152	788

310	32	33	35	34
320	34	35	36	35
330	34	37	37	39
340	35	38	38	41
350	35	38	38	43
360	35	38	38	44
370	35	38	38	45
380	34	38	39	46
390	34	38	39	47
400	33	38	39	48
410	33	37	39	49
420	33	37	39	50
430	32	37	39	51
440	32	37	39	52
450	32	37	40	53
460	31	36	40	55
470	31	36	40	56
480	31	36	40	57
490	31	36	40	58
500	30	36	40	59
510	30	36	41	60
520	30	35	41	61
530	30	35	41	62
540	29	35	41	64
550	29	35	42	65
560	29	35	42	67
570	29	34	43	70
580	29	34	43	72
590	28	34	44	74
600	28	34	45	77
610	28	34	45	79
620	28	34	46	82
630	28	33	47	84
640	28	33	47	87
650	27	33	47	86
660	27	33	46	81
670	27	33	45	76
680	27	33	44	73
690	27	32	43	70
700	27	32	42	68
710	27	32	41	67
720	27	32	41	67
730	26	32	40	67
740	26	32	40	67
750	26	32	40	67
760	26	31	40	67
770	26	31	40	68
780	26	31	40	69
790	26	31	40	69
800	26	31	40	70
810	26	31	40	71
820	25	31	41	72
830	25	31	41	73

840	146	108	135	150	801
850	145	108	133	149	814
860	144	107	131	147	828
870	143	106	130	146	841
880	141	105	128	145	856
890	140	105	126	143	871
900	139	104	125	142	886
910	138	104	123	141	901
920	137	103	121	139	916
930	136	102	120	138	932
940	135	102	118	137	948
950	134	101	117	136	964
960	133	101	115	134	980
970	132	100	114	133	996
980	131	100	112	132	1012
990	130	99	111	131	1029
1000	129	99	109	130	1046
1010	128	98	108	129	1063
1020	127	98	106	127	1081
1030	126	97	105	126	1099
1040	125	97	104	125	1117
1050	124	96	103	124	1135
1060	123	96	101	123	1154
1070	122	95	100	122	1172
1080	121	95	99	121	1191
1090	120	94	97	120	1210
1100	119	94	96	119	1229
1110	118	93	95	118	1248
1120	117	93	94	117	1267
1130	116	93	93	116	1287
1140	115	92	92	115	1307
1150	115	92	91	114	1328
1160	114	91	90	113	1348
1170	113	91	88	112	1369
1180	112	91	87	111	1387
1190	111	90	86	110	1404
1200	110	90	85	109	1420
1210	110	89	84	108	1436
1220	109	89	83	107	1451
1230	108	89	82	106	1466
1240	107	88	81	105	1480
1250	106	88	81	104	1492
1260	106	88	80	103	1502
1270	105	87	79	103	1511
1280	104	87	78	102	1518
1290	103	87	77	101	1526
1300	103	86	76	100	1532
1310	102	86	75	99	1538
1320	101	85	74	98	1544
1330	100	85	74	97	1549
1340	100	85	73	96	1554
1350	99	84	72	95	1559
1360	98	84	71	94	1564

840	25	30	41	74
850	25	30	41	75
860	25	30	42	76
870	25	30	42	77
880	25	30	42	78
890	25	30	42	79
900	25	30	43	80
910	25	30	43	81
920	25	30	43	82
930	25	29	44	83
940	25	29	44	84
950	24	29	44	85
960	24	29	45	86
970	24	29	45	87
980	24	29	45	88
990	24	29	46	89
1000	24	29	46	91
1010	24	29	46	92
1020	24	28	47	93
1030	24	28	47	94
1040	24	28	48	95
1050	24	28	48	96
1060	24	28	48	97
1070	24	28	49	98
1080	24	28	49	99
1090	24	28	49	101
1100	24	28	50	102
1110	24	28	50	103
1120	24	28	51	104
1130	24	27	51	105
1140	23	27	51	106
1150	23	27	52	107
1160	23	27	52	108
1170	23	27	53	109
1180	23	27	53	111
1190	23	27	54	112
1200	23	27	54	113
1210	23	27	55	115
1220	23	27	55	116
1230	23	27	56	118
1240	23	27	56	120
1250	23	27	57	121
1260	23	26	58	122
1270	23	26	58	123
1280	23	26	58	124
1290	23	26	59	125
1300	23	26	59	126
1310	23	26	60	127
1320	23	26	60	127
1330	23	26	60	129
1340	23	26	61	131
1350	23	26	61	132
1360	23	26	61	133

1370	98	84	70	94	1568
1380	97	83	70	93	1572
1390	96	83	69	92	1576
1400	96	83	68	91	1579
1410	95	82	68	90	1583
1420	94	82	67	89	1586
1430	94	82	66	89	1589
1440	93	82	65	88	1592
1450	92	81	65	87	1595
1460	91	81	64	86	1598
1470	90	81	63	86	1600
1480	89	80	63	85	1603
1490	88	80	62	84	1605
1500	87	80	62	83	1607
1510	86	80	61	83	1609
1520	86	79	60	82	1611
1530	85	79	60	81	1613
1540	84	79	59	81	1615
1550	83	78	59	80	1617
1560	83	78	58	79	1619
1570	82	78	58	79	1620
1580	81	78	57	78	1622
1590	80	77	57	77	1623
1600	80	77	56	77	1625
1610	79	77	56	76	1626
1620	79	77	55	75	1628
1630	78	76	55	75	1629
1640	77	76	55	74	1630
1650	77	76	54	74	1631
1660	76	76	54	73	1632
1670	76	75	53	73	1633
1680	75	75	53	72	1634
1690	75	75	53	71	1635
1700	74	75	52	71	1636
1710	74	74	52	70	1637
1720	73	74	52	70	1638
1730	73	74	52	69	1639
1740	73	74	51	69	1640
1750	72	73	51	68	1640
1760	72	73	51	68	1641
1770	71	73	50	67	1642
1780	71	73	50	67	1643
1790	70	73	50	66	1643
1800	70	72	50	66	1644

Tabella 130 - Confronto fra i comportamenti nel caso 3

Elevation	1				
Time	a	a-n	b	c	c-n
0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
10	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9
20	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7
30	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6
40	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5

1370	23	26	61	134
1380	23	26	62	134
1390	23	26	62	135
1400	23	26	62	136
1410	23	26	62	136
1420	23	25	63	137
1430	23	25	63	137
1440	23	25	63	138
1450	22	25	63	138
1460	22	25	64	138
1470	22	25	64	139
1480	22	25	64	139
1490	22	25	64	140
1500	22	25	64	140
1510	22	25	65	140
1520	22	25	65	141
1530	22	25	65	141
1540	22	25	65	141
1550	22	25	65	142
1560	22	25	66	142
1570	22	25	66	142
1580	22	25	66	143
1590	22	25	66	143
1600	22	25	66	143
1610	22	25	67	143
1620	22	24	67	144
1630	22	24	67	144
1640	22	24	67	144
1650	22	24	67	145
1660	22	24	67	145
1670	22	24	68	145
1680	22	24	68	145
1690	22	24	68	146
1700	22	24	68	146
1710	22	24	68	146
1720	22	24	68	146
1730	22	24	69	146
1740	22	24	69	147
1750	22	24	69	147
1760	22	24	69	147
1770	22	24	69	147
1780	22	24	69	148
1790	22	24	69	148
1800	22	24	70	148

Tabella 131 - Confronto temperature strato caldo caso 1, variabile #

Elevation	2				
Time	a	a-n	b	c	c-n
0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
10	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9
20	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7
30	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6
40	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5

50	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
60	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3
70	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
80	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
90	2,0	2,0	2,0	1,9	1,9
100	1,9	1,9	1,9	1,8	1,8
110	1,8	1,8	1,8	1,7	1,7
120	1,7	1,7	1,7	1,6	1,6
130	1,6	1,6	1,6	1,5	1,5
140	1,5	1,5	1,5	1,4	1,4
150	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3
160	1,2	1,2	1,2	1,2	1,1
170	1,1	1,1	1,1	1,1	1,0
180	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9
190	0,9	0,9	1,4	1,0	0,8
200	0,9	0,9	1,7	1,0	0,9
210	0,8	0,8	1,8	1,0	1,0
220	0,7	0,7	1,9	1,1	1,0
230	0,7	0,7	1,9	1,1	1,0
240	0,6	0,6	1,9	1,1	1,0
250	0,6	0,6	1,9	1,1	1,1
260	0,5	0,5	1,9	1,1	1,1
270	0,5	0,5	1,9	1,1	1,1
280	0,4	0,4	1,9	1,1	1,1
290	0,4	0,4	1,9	1,1	1,0
300	0,4	0,3	2,0	1,1	1,0
310	0,3	0,3	2,0	1,1	1,0
320	0,3	0,3	2,0	1,2	1,0
330	0,3	0,2	2,0	1,2	1,0
340	0,2	0,2	2,0	1,2	1,0
350	0,2	0,2	2,0	1,2	1,0
360	0,2	0,2	2,0	1,2	1,0
370	0,2	0,2	2,0	1,2	1,0
380	0,1	0,1	2,0	1,2	1,0
390	0,1	0,1	2,0	1,2	1,0
400	0,1	0,1	2,0	1,3	1,0
410	0,1	0,1	2,0	1,3	1,0
420	0,1	0,1	2,0	1,3	1,0
430	0,1	0,1	2,1	1,3	1,0
440	0,1	0,1	2,1	1,3	1,0
450	0,0	0,1	2,1	1,3	1,0
460	0,0	0,1	2,1	1,3	1,0
470	0,0	0,1	2,1	1,3	1,0
480	0,0	0,1	2,1	1,3	1,0
490	0,0	0,1	2,1	1,3	1,0
500	0,0	0,0	2,1	1,3	0,9
510	0,0	0,0	2,1	1,3	0,9
520	0,0	0,0	2,1	1,3	0,9
530	0,0	0,0	2,1	1,3	0,9
540	0,0	0,0	2,1	1,4	0,9
550	0,0	0,0	2,1	1,4	0,9
560	0,0	0,0	2,1	1,4	0,9
570	0,0	0,0	2,1	1,4	0,9

50	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
60	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3
70	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
80	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
90	2,0	2,0	2,0	2,0	1,9
100	1,9	1,9	1,8	1,8	1,8
110	1,8	1,8	1,7	1,7	1,7
120	1,7	1,7	1,6	1,6	1,6
130	1,6	1,6	1,5	1,5	1,5
140	1,5	1,5	1,4	1,4	1,4
150	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3
160	1,2	1,2	1,2	1,2	1,1
170	1,1	1,1	1,1	1,1	1,0
180	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9
190	0,9	0,9	1,1	1,0	1,0
200	0,9	0,9	1,1	1,1	1,0
210	0,8	0,8	1,1	1,1	1,0
220	0,7	0,7	1,1	1,1	1,0
230	0,7	0,7	1,1	1,1	1,0
240	0,6	0,6	1,1	1,1	1,1
250	0,6	0,6	1,1	1,1	1,1
260	0,5	0,5	1,1	1,1	1,1
270	0,5	0,5	1,1	1,1	1,1
280	0,4	0,4	1,1	1,1	1,1
290	0,4	0,4	1,1	1,1	1,0
300	0,4	0,4	1,2	1,2	1,0
310	0,3	0,3	1,2	1,2	1,0
320	0,3	0,3	1,2	1,3	1,0
330	0,3	0,2	1,2	1,3	1,0
340	0,2	0,2	1,2	1,4	1,0
350	0,2	0,2	1,2	1,4	1,0
360	0,2	0,2	1,2	1,4	1,0
370	0,2	0,2	1,2	1,4	1,0
380	0,1	0,1	1,3	1,4	1,0
390	0,1	0,1	1,3	1,4	1,0
400	0,1	0,1	1,3	1,4	1,0
410	0,1	0,1	1,3	1,4	1,0
420	0,1	0,1	1,3	1,4	1,0
430	0,1	0,1	1,3	1,5	1,0
440	0,1	0,1	1,3	1,5	1,0
450	0,0	0,1	1,3	1,5	1,0
460	0,0	0,1	1,3	1,5	1,0
470	0,0	0,1	1,3	1,5	1,0
480	0,0	0,1	1,3	1,5	1,0
490	0,0	0,1	1,3	1,5	0,9
500	0,0	0,0	1,3	1,5	0,9
510	0,0	0,0	1,3	1,5	0,9
520	0,0	0,0	1,4	1,5	0,9
530	0,0	0,0	1,4	1,5	0,9
540	0,0	0,0	1,4	1,5	0,9
550	0,0	0,0	1,4	1,6	0,9
560	0,0	0,0	1,4	1,6	0,9
570	0,0	0,0	1,4	1,6	0,9

580	0,0	0,0	2,1	1,4	0,9
590	0,0	0,0	2,1	1,4	0,9
600	0,0	0,0	2,1	1,4	0,9
610	0,0	0,0	2,2	1,4	0,9
620	0,0	0,0	2,2	1,4	0,9
630	0,0	0,0	2,2	1,4	0,9
640	0,0	0,0	2,2	1,4	0,9
650	0,0	0,0	2,2	1,4	1,4
660	0,0	0,0	2,2	1,4	1,4
670	0,0	0,0	2,2	1,5	1,4
680	0,0	0,0	2,2	1,5	1,4
690	0,0	0,0	2,2	1,5	1,4
700	0,0	0,0	2,2	1,5	1,4
710	0,0	0,0	2,2	1,5	1,4
720	0,0	0,0	2,2	1,5	1,4
730	0,0	0,0	2,2	1,5	1,4
740	0,0	0,0	2,2	1,5	1,3
750	0,0	0,0	2,2	1,5	1,3
760	0,0	0,0	2,2	1,5	1,3
770	0,0	0,0	2,2	1,5	1,3
780	0,0	0,0	2,2	1,5	1,3
790	0,0	0,0	2,2	1,5	1,3
800	0,0	0,0	2,2	1,5	1,3
810	0,0	0,0	2,2	1,5	1,3
820	0,0	0,0	2,2	1,5	1,3
830	0,0	0,0	2,2	1,6	1,3
840	0,0	0,0	2,3	1,6	1,2
850	0,0	0,0	2,3	1,6	1,2
860	0,0	0,0	2,3	1,6	1,2
870	0,0	0,0	2,3	1,6	1,2
880	0,0	0,0	2,3	1,6	1,2
890	0,0	0,0	2,3	1,6	1,2
900	0,0	0,0	2,3	1,6	1,2
910	0,0	0,0	2,3	1,6	1,2
920	0,0	0,0	2,3	1,6	1,2
930	0,0	0,0	2,3	1,6	1,2
940	0,0	0,0	2,3	1,6	1,2
950	0,0	0,0	2,3	1,6	1,2
960	0,0	0,0	2,3	1,6	1,1
970	0,0	0,0	2,3	1,6	1,1
980	0,0	0,0	2,3	1,6	1,1
990	0,0	0,0	2,3	1,6	1,1
1000	0,0	0,0	2,3	1,6	1,1
1010	0,0	0,0	2,3	1,6	1,1
1020	0,0	0,0	2,3	1,6	1,1
1030	0,0	0,0	2,3	1,7	1,1
1040	0,0	0,0	2,3	1,7	1,1
1050	0,0	0,0	2,3	1,7	1,1
1060	0,0	0,0	2,3	1,7	1,1
1070	0,0	0,0	2,3	1,7	1,1
1080	0,0	0,0	2,3	1,7	1,1
1090	0,0	0,0	2,3	1,7	1,1
1100	0,0	0,0	2,3	1,7	1,1

580	0,0	0,0	1,4	1,6	0,9
590	0,0	0,0	1,4	1,6	0,9
600	0,0	0,0	1,4	1,6	0,9
610	0,0	0,0	1,4	1,6	0,9
620	0,0	0,0	1,4	1,6	0,9
630	0,0	0,0	1,4	1,6	0,9
640	0,0	0,0	1,4	1,6	0,9
650	0,0	0,0	1,4	1,6	1,3
660	0,0	0,0	1,5	1,6	1,3
670	0,0	0,0	1,5	1,6	1,3
680	0,0	0,0	1,5	1,6	1,3
690	0,0	0,0	1,5	1,6	1,3
700	0,0	0,0	1,5	1,7	1,3
710	0,0	0,0	1,5	1,7	1,3
720	0,0	0,0	1,5	1,7	1,2
730	0,0	0,0	1,5	1,7	1,2
740	0,0	0,0	1,5	1,7	1,2
750	0,0	0,0	1,5	1,7	1,2
760	0,0	0,0	1,5	1,7	1,2
770	0,0	0,0	1,5	1,7	1,2
780	0,0	0,0	1,5	1,7	1,2
790	0,0	0,0	1,5	1,7	1,2
800	0,0	0,0	1,5	1,7	1,2
810	0,0	0,0	1,5	1,7	1,1
820	0,0	0,0	1,5	1,7	1,1
830	0,0	0,0	1,5	1,7	1,1
840	0,0	0,0	1,5	1,7	1,1
850	0,0	0,0	1,6	1,7	1,1
860	0,0	0,0	1,6	1,7	1,0
870	0,0	0,0	1,6	1,7	1,0
880	0,0	0,0	1,6	1,7	1,0
890	0,0	0,0	1,6	1,8	1,0
900	0,0	0,0	1,6	1,8	1,0
910	0,0	0,0	1,6	1,8	1,0
920	0,0	0,0	1,6	1,8	1,0
930	0,0	0,0	1,6	1,8	1,0
940	0,0	0,0	1,6	1,8	1,0
950	0,0	0,0	1,6	1,8	1,0
960	0,0	0,0	1,6	1,8	1,0
970	0,0	0,0	1,6	1,8	1,0
980	0,0	0,0	1,6	1,8	1,0
990	0,0	0,0	1,6	1,8	1,0
1000	0,0	0,0	1,6	1,8	1,0
1010	0,0	0,0	1,6	1,8	1,0
1020	0,0	0,0	1,6	1,8	1,0
1030	0,0	0,0	1,6	1,8	1,0
1040	0,0	0,0	1,6	1,8	1,0
1050	0,0	0,0	1,6	1,8	1,0
1060	0,0	0,0	1,6	1,8	1,0
1070	0,0	0,0	1,6	1,8	1,0
1080	0,0	0,0	1,6	1,8	1,0
1090	0,0	0,0	1,7	1,8	1,0
1100	0,0	0,0	1,7	1,8	1,0

1110	0,0	0,0	2,3	1,7	1,1
1120	0,0	0,0	2,3	1,7	1,1
1130	0,0	0,0	2,3	1,7	1,1
1140	0,0	0,0	2,3	1,7	1,0
1150	0,0	0,0	2,3	1,7	1,0
1160	0,0	0,0	2,3	1,7	1,0
1170	0,0	0,0	2,3	1,7	1,0
1180	0,0	0,0	2,3	1,7	1,0
1190	0,0	0,0	2,3	1,7	1,0
1200	0,0	0,0	2,3	1,7	1,0
1210	0,0	0,0	2,3	1,7	1,0
1220	0,0	0,0	2,3	1,7	1,0
1230	0,0	0,0	2,3	1,7	1,0
1240	0,0	0,0	2,3	1,7	1,0
1250	0,0	0,0	2,3	1,7	1,0
1260	0,0	0,0	2,3	1,7	1,0
1270	0,0	0,0	2,3	1,7	1,0
1280	0,0	0,0	2,3	1,7	1,0
1290	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1300	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1310	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1320	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1330	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1340	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1350	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1360	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1370	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1380	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1390	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1400	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1410	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1420	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1430	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1440	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1450	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1460	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1470	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1480	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1490	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1500	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1510	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1520	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1530	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1540	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1550	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1560	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1570	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1580	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1590	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1600	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1610	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1620	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1630	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0

1110	0,0	0,0	1,7	1,9	1,0
1120	0,0	0,0	1,7	1,9	1,0
1130	0,0	0,0	1,7	1,9	1,0
1140	0,0	0,0	1,7	1,9	1,0
1150	0,0	0,0	1,7	1,9	1,0
1160	0,0	0,0	1,7	1,9	1,0
1170	0,0	0,0	1,7	1,9	0,9
1180	0,0	0,0	1,7	1,9	0,9
1190	0,0	0,0	1,7	1,9	0,9
1200	0,0	0,0	1,7	1,9	0,9
1210	0,0	0,0	1,7	1,9	
1220	0,0	0,0	1,7	1,9	
1230	0,0	0,0	1,7	1,9	
1240	0,0	0,0	1,7	1,9	
1250	0,0	0,0	1,7	1,9	
1260	0,0	0,0	1,7	1,9	
1270	0,0	0,0	1,7	1,9	
1280	0,0	0,0	1,7	1,9	
1290	0,0	0,0	1,7	1,9	
1300	0,0	0,0	1,7	1,9	
1310	0,0	0,0	1,7	1,9	
1320	0,0	0,0	1,7	1,9	
1330	0,0	0,0	1,7	1,9	
1340	0,0	0,0	1,7	1,9	
1350	0,0	0,0	1,7	1,9	
1360	0,0	0,0	1,7	1,9	
1370	0,0	0,0	1,7	1,9	
1380	0,0	0,0	1,7	1,9	
1390	0,0	0,0	1,7	1,9	
1400	0,0	0,0	1,7	1,9	
1410	0,0	0,0	1,7	1,9	
1420	0,0	0,0	1,7	1,9	
1430	0,0	0,0	1,7	1,9	
1440	0,0	0,0	1,7	1,9	
1450	0,0	0,0	1,7	1,9	
1460	0,0	0,0	1,7	1,9	
1470	0,0	0,0	1,7	1,9	
1480	0,0	0,0	1,7	1,9	
1490	0,0	0,0	1,7	1,9	
1500	0,0	0,0	1,7	1,9	
1510	0,0	0,0	1,7	1,9	
1520	0,0	0,0	1,7	1,9	
1530	0,0	0,0	1,7	1,9	
1540	0,0	0,0	1,7	1,9	
1550	0,0	0,0	1,7	1,9	
1560	0,0	0,0	1,7	1,9	
1570	0,0	0,0	1,7	1,9	
1580	0,0	0,0	1,7	1,9	
1590	0,0	0,0	1,7	1,9	
1600	0,0	0,0	1,7	1,9	
1610	0,0	0,0	1,7	1,9	
1620	0,0	0,0	1,7	1,9	
1630	0,0	0,0	1,7	1,9	

1640	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1650	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1660	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1670	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1680	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1690	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1700	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1710	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1720	0,0	0,0	2,4	1,8	1,0
1730	0,0	0,0	2,4	1,8	1,0
1740	0,0	0,0	2,4	1,8	1,0
1750	0,0	0,0	2,4	1,8	1,0
1760	0,0	0,0	2,4	1,8	1,0
1770	0,0	0,0	2,4	1,8	1,0
1780	0,0	0,0	2,4	1,8	1,0
1790	0,0	0,0	2,4	1,8	1,0
1800	0,0	0,0	2,4	1,8	1,0

Tabella 132 - Confronto fra i comportamenti nel caso 1

1640	0,0	0,0	1,7	1,9	
1650	0,0	0,0	1,7	1,9	
1660	0,0	0,0	1,7	1,9	
1670	0,0	0,0	1,7	1,9	
1680	0,0	0,0	1,7	1,9	
1690	0,0	0,0	1,7	1,9	
1700	0,0	0,0	1,7	1,9	
1710	0,0	0,0	1,7	1,9	
1720	0,0	0,0	1,7	1,9	
1730	0,0	0,0	1,7	1,9	
1740	0,0	0,0	1,7	1,9	
1750	0,0	0,0	1,7	1,9	
1760	0,0	0,0	1,7	1,9	
1770	0,0	0,0	1,7	1,9	
1780	0,0	0,0	1,7	1,9	
1790	0,0	0,0	1,7	1,9	
1800	0,0	0,0	1,7	1,9	

Tabella 133 - Confronto fra i comportamenti nel caso 2

Elevation	3				
Time	a	a-n	b	c	c-n
0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
10	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9
20	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7
30	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6
40	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
50	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
60	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3
70	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
80	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
90	2,0	2,0	2,0	1,9	1,9
100	1,9	1,9	1,9	1,8	1,8
110	1,8	1,8	1,8	1,7	1,7
120	1,7	1,7	1,7	1,6	1,6
130	1,6	1,6	1,6	1,5	1,5
140	1,5	1,5	1,5	1,4	1,4
150	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3
160	1,2	1,2	1,2	1,2	1,1
170	1,1	1,1	1,1	1,1	1,0
180	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9
190	0,9	0,9	1,4	1,0	0,8
200	0,9	0,9	1,7	1,0	0,9
210	0,8	0,8	1,8	1,0	1,0
220	0,7	0,7	1,9	1,1	1,0
230	0,7	0,7	1,9	1,1	1,0
240	0,6	0,6	1,9	1,1	1,0
250	0,6	0,6	1,9	1,1	1,1
260	0,5	0,5	1,9	1,1	1,1
270	0,5	0,5	1,9	1,1	1,1
280	0,4	0,4	1,9	1,1	1,1
290	0,4	0,4	1,9	1,1	1,0
300	0,4	0,3	2,0	1,1	1,0
310	0,3	0,3	2,0	1,1	1,0

1	Elevation			
Time	c	c#	c-n	c-n#
0	3,0	3,0	3,0	3,0
10	3,0	3,0	3,0	3,0
20	3,0	3,0	3,0	3,0
30	3,0	3,0	3,0	3,0
40	3,0	3,0	3,0	3,0
50	3,0	3,0	3,0	3,0
60	3,0	3,0	3,0	3,0
70	3,0	3,0	3,0	3,0
80	3,0	3,0	3,0	3,0
90	3,0	3,0	3,0	3,0
100	3,0	3,0	3,0	3,0
110	3,0	3,0	3,0	3,0
120	3,0	3,0	3,0	3,0
130	3,0	3,0	3,0	3,0
140	3,0	3,0	3,0	3,0
150	3,0	3,0	3,0	3,0
160	3,0	3,0	3,0	3,0
170	3,0	3,0	3,0	3,0
180	3,0	3,0	3,0	3,0
190	3,0	3,0	2,9	3,0
200	2,9	2,9	2,9	3,0
210	2,8	2,8	2,8	2,9
220	2,8	2,7	2,7	2,8
230	2,7	2,7	2,7	2,7
240	2,7	2,6	2,6	2,7
250	2,6	2,6	2,5	2,6
260	2,5	2,5	2,5	2,6
270	2,5	2,5	2,4	2,5
280	2,4	2,4	2,3	2,5
290	2,3	2,4	2,2	2,4
300	2,2	2,3	2,2	2,4
310	2,1	2,3	2,1	2,3

320	0,3	0,3	2,0	1,2	1,0
330	0,3	0,2	2,0	1,2	1,0
340	0,2	0,2	2,0	1,2	1,0
350	0,2	0,2	2,0	1,2	1,0
360	0,2	0,2	2,0	1,2	1,0
370	0,2	0,2	2,0	1,2	1,0
380	0,1	0,1	2,0	1,2	1,0
390	0,1	0,1	2,0	1,2	1,0
400	0,1	0,1	2,0	1,3	1,0
410	0,1	0,1	2,0	1,3	1,0
420	0,1	0,1	2,0	1,3	1,0
430	0,1	0,1	2,1	1,3	1,0
440	0,1	0,1	2,1	1,3	1,0
450	0,0	0,1	2,1	1,3	1,0
460	0,0	0,1	2,1	1,3	1,0
470	0,0	0,1	2,1	1,3	1,0
480	0,0	0,1	2,1	1,3	1,0
490	0,0	0,1	2,1	1,3	1,0
500	0,0	0,0	2,1	1,3	0,9
510	0,0	0,0	2,1	1,3	0,9
520	0,0	0,0	2,1	1,3	0,9
530	0,0	0,0	2,1	1,3	0,9
540	0,0	0,0	2,1	1,4	0,9
550	0,0	0,0	2,1	1,4	0,9
560	0,0	0,0	2,1	1,4	0,9
570	0,0	0,0	2,1	1,4	0,9
580	0,0	0,0	2,1	1,4	0,9
590	0,0	0,0	2,1	1,4	0,9
600	0,0	0,0	2,1	1,4	0,9
610	0,0	0,0	2,2	1,4	0,9
620	0,0	0,0	2,2	1,4	0,9
630	0,0	0,0	2,2	1,4	0,9
640	0,0	0,0	2,2	1,4	0,9
650	0,0	0,0	2,2	1,4	1,4
660	0,0	0,0	2,2	1,4	1,4
670	0,0	0,0	2,2	1,5	1,4
680	0,0	0,0	2,2	1,5	1,4
690	0,0	0,0	2,2	1,5	1,4
700	0,0	0,0	2,2	1,5	1,4
710	0,0	0,0	2,2	1,5	1,4
720	0,0	0,0	2,2	1,5	1,4
730	0,0	0,0	2,2	1,5	1,4
740	0,0	0,0	2,2	1,5	1,3
750	0,0	0,0	2,2	1,5	1,3
760	0,0	0,0	2,2	1,5	1,3
770	0,0	0,0	2,2	1,5	1,3
780	0,0	0,0	2,2	1,5	1,3
790	0,0	0,0	2,2	1,5	1,3
800	0,0	0,0	2,2	1,5	1,3
810	0,0	0,0	2,2	1,5	1,3
820	0,0	0,0	2,2	1,5	1,3
830	0,0	0,0	2,2	1,6	1,3
840	0,0	0,0	2,3	1,6	1,2

320	2,1	2,3	2,1	2,3
330	2,1	2,3	2,0	2,3
340	2,1	2,3	2,0	2,3
350	2,0	2,3	1,9	2,3
360	2,0	2,3	1,9	2,3
370	2,0	2,3	1,8	2,3
380	1,9	2,3	1,8	2,3
390	1,9	2,3	1,7	2,3
400	1,9	2,3	1,7	2,3
410	1,8	2,3	1,7	2,2
420	1,8	2,3	1,6	2,2
430	1,8	2,3	1,6	2,2
440	1,7	2,3	1,5	2,2
450	1,7	2,3	1,5	2,2
460	1,7	2,3	1,5	2,2
470	1,7	2,2	1,4	2,2
480	1,6	2,2	1,4	2,2
490	1,6	2,2	1,4	2,2
500	1,6	2,2	1,3	2,2
510	1,6	2,2	1,3	2,2
520	1,6	2,2	1,3	2,2
530	1,5	2,2	1,2	2,2
540	1,5	2,2	1,2	2,2
550	1,5	2,2	1,2	2,2
560	1,5	2,2	1,1	2,2
570	1,5	2,2	1,1	2,2
580	1,5	2,2	1,1	2,2
590	1,4	2,2	1,1	2,2
600	1,4	2,2	1,0	2,2
610	1,4	2,2	1,0	2,2
620	1,4	2,2	1,0	2,2
630	1,4	2,2	1,0	2,2
640	1,4	2,2	1,0	2,2
650	1,4	2,2	1,0	2,3
660	1,3	2,2	1,0	2,3
670	1,3	2,2	1,1	2,3
680	1,3	2,2	1,1	2,3
690	1,3	2,2	1,1	2,3
700	1,3	2,2	1,2	2,4
710	1,3	2,2	1,2	2,4
720	1,3	2,2	1,2	2,4
730	1,3	2,2	1,2	2,4
740	1,2	2,2	1,2	2,4
750	1,2	2,2	1,2	2,4
760	1,2	2,2	1,2	2,4
770	1,2	2,3	1,2	2,4
780	1,2	2,3	1,2	2,4
790	1,2	2,3	1,2	2,4
800	1,2	2,3	1,2	2,4
810	1,2	2,3	1,2	2,4
820	1,1	2,3	1,1	2,4
830	1,1	2,3	1,1	2,4
840	1,1	2,3	1,1	2,4

850	0,0	0,0	2,3	1,6	1,2
860	0,0	0,0	2,3	1,6	1,2
870	0,0	0,0	2,3	1,6	1,2
880	0,0	0,0	2,3	1,6	1,2
890	0,0	0,0	2,3	1,6	1,2
900	0,0	0,0	2,3	1,6	1,2
910	0,0	0,0	2,3	1,6	1,2
920	0,0	0,0	2,3	1,6	1,2
930	0,0	0,0	2,3	1,6	1,2
940	0,0	0,0	2,3	1,6	1,2
950	0,0	0,0	2,3	1,6	1,2
960	0,0	0,0	2,3	1,6	1,1
970	0,0	0,0	2,3	1,6	1,1
980	0,0	0,0	2,3	1,6	1,1
990	0,0	0,0	2,3	1,6	1,1
1000	0,0	0,0	2,3	1,6	1,1
1010	0,0	0,0	2,3	1,6	1,1
1020	0,0	0,0	2,3	1,6	1,1
1030	0,0	0,0	2,3	1,7	1,1
1040	0,0	0,0	2,3	1,7	1,1
1050	0,0	0,0	2,3	1,7	1,1
1060	0,0	0,0	2,3	1,7	1,1
1070	0,0	0,0	2,3	1,7	1,1
1080	0,0	0,0	2,3	1,7	1,1
1090	0,0	0,0	2,3	1,7	1,1
1100	0,0	0,0	2,3	1,7	1,1
1110	0,0	0,0	2,3	1,7	1,1
1120	0,0	0,0	2,3	1,7	1,1
1130	0,0	0,0	2,3	1,7	1,1
1140	0,0	0,0	2,3	1,7	1,0
1150	0,0	0,0	2,3	1,7	1,0
1160	0,0	0,0	2,3	1,7	1,0
1170	0,0	0,0	2,3	1,7	1,0
1180	0,0	0,0	2,3	1,7	1,0
1190	0,0	0,0	2,3	1,7	1,0
1200	0,0	0,0	2,3	1,7	1,0
1210	0,0	0,0	2,3	1,7	1,0
1220	0,0	0,0	2,3	1,7	1,0
1230	0,0	0,0	2,3	1,7	1,0
1240	0,0	0,0	2,3	1,7	1,0
1250	0,0	0,0	2,3	1,7	1,0
1260	0,0	0,0	2,3	1,7	1,0
1270	0,0	0,0	2,3	1,7	1,0
1280	0,0	0,0	2,3	1,7	1,0
1290	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1300	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1310	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1320	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1330	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1340	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1350	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1360	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1370	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0

850	1,1	2,3	1,1	2,4
860	1,1	2,3	1,1	2,4
870	1,1	2,3	1,1	2,4
880	1,1	2,3	1,1	2,4
890	1,1	2,3	1,1	2,4
900	1,0	2,3	1,1	2,4
910	1,0	2,3	1,1	2,4
920	1,0	2,3	1,0	2,3
930	1,0	2,3	1,0	2,3
940	1,0	2,3	1,0	2,3
950	1,0	2,3	1,0	2,3
960	1,0	2,3	1,0	2,3
970	1,0	2,3	1,0	2,3
980	0,9	2,3	1,0	2,3
990	0,9	2,3	1,0	2,3
1000	0,9	2,3	1,0	2,3
1010	0,9	2,3	1,0	2,3
1020	0,9	2,3	1,0	2,3
1030	0,9	2,3	1,0	2,3
1040	0,9	2,3	1,0	2,3
1050	0,9	2,3	1,0	2,3
1060	0,8	2,3	1,0	2,3
1070	0,8	2,3	0,9	2,3
1080	0,8	2,3	0,9	2,3
1090	0,8	2,3	0,9	2,3
1100	0,8	2,3	0,9	2,3
1110	0,8	2,3	0,9	2,3
1120	0,8	2,3	0,9	2,3
1130	0,7	2,3	0,9	2,3
1140	0,7	2,3	0,9	2,3
1150	0,7	2,3	0,9	2,3
1160	0,7	2,3	0,9	2,3
1170	0,7	2,3	0,9	2,3
1180	0,7	2,3	0,9	2,3
1190	0,7	2,3	0,9	2,3
1200	0,6	2,3	0,9	2,3
1210	0,6	2,3	0,9	2,3
1220	0,6	2,3	0,9	2,3
1230	0,6	2,3	0,9	2,3
1240	0,6	2,3	0,9	2,3
1250	0,6	2,3	0,9	2,3
1260	0,5	2,3	0,9	2,3
1270	0,5	2,3	0,9	2,3
1280	0,5	2,4	0,9	2,3
1290	0,5	2,4	0,9	2,3
1300	0,5	2,4	0,9	2,3
1310	0,5	2,4	0,9	2,3
1320	0,4	2,4	0,9	2,3
1330	0,4	2,4	0,9	2,3
1340	0,4	2,4	0,9	2,3
1350	0,4	2,4	0,9	2,3
1360	0,4	2,4	0,9	2,4
1370	0,4	2,4	0,9	2,4

1380	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1390	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1400	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1410	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1420	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1430	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1440	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1450	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1460	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1470	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1480	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1490	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1500	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1510	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1520	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1530	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1540	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1550	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1560	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1570	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1580	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1590	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1600	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1610	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1620	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1630	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1640	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1650	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1660	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1670	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1680	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1690	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1700	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1710	0,0	0,0	2,3	1,8	1,0
1720	0,0	0,0	2,4	1,8	1,0
1730	0,0	0,0	2,4	1,8	1,0
1740	0,0	0,0	2,4	1,8	1,0
1750	0,0	0,0	2,4	1,8	1,0
1760	0,0	0,0	2,4	1,8	1,0
1770	0,0	0,0	2,4	1,8	1,0
1780	0,0	0,0	2,4	1,8	1,0
1790	0,0	0,0	2,4	1,8	1,0
1800	0,0	0,0	2,4	1,8	1,0

Tabella 134 - Confronto fra i comportamenti nel caso 3

1380	0,3	2,4	0,9	2,4
1390	0,3	2,4	0,9	2,4
1400	0,3	2,4	0,9	2,4
1410	0,3	2,4	0,9	2,4
1420	0,3	2,4	1,0	2,4
1430	0,3	2,4	1,0	2,4
1440	0,2	2,4	1,0	2,4
1450	0,2	2,4	1,0	2,4
1460	0,2	2,4	1,0	2,4
1470	0,2	2,4	1,0	2,4
1480	0,2	2,4	1,0	2,4
1490	0,2	2,4	1,0	2,4
1500	0,2	2,4	1,0	2,4
1510	0,1	2,4	1,0	2,4
1520	0,1	2,4	1,0	2,4
1530	0,1	2,4	1,0	2,4
1540	0,1	2,4	1,0	2,4
1550	0,1	2,4	1,0	2,4
1560	0,1	2,4	1,0	2,4
1570	0,1	2,4	1,0	2,4
1580	0,1	2,4	1,0	2,4
1590	0,1	2,4	1,0	2,4
1600	0,1	2,4	1,0	2,4
1610	0,1	2,4	1,0	2,4
1620	0,0	2,4	1,0	2,4
1630	0,0	2,4	1,0	2,4
1640	0,0	2,4	1,0	2,4
1650	0,0	2,4	1,1	2,4
1660	0,0	2,4	1,1	2,4
1670	0,0	2,4	1,1	2,4
1680	0,0	2,4	1,1	2,4
1690	0,0	2,4	1,1	2,4
1700	0,0	2,4	1,1	2,4
1710	0,0	2,4	1,1	2,4
1720	0,0	2,4	1,1	2,4
1730	0,0	2,4	1,1	2,4
1740	0,0	2,4	1,1	2,4
1750	0,0	2,4	1,1	2,4
1760	0,0	2,4	1,1	2,4
1770	0,0	2,4	1,1	2,4
1780	0,0	2,4	1,1	2,4
1790	0,0	2,4	1,1	2,4
1800	0,0	2,4	1,1	2,4

Tabella 135 - Confronto altezze strato freddo caso 1, variabile #

Zona notte

1	Temperature				
	Time	a	a-n	b	c
0	20	20	20	20	20
10	111	111	105	105	105
20	130	130	121	121	121
30	143	143	131	131	131

3	Temperature				
	Time	a	a-n	b	c
0	20	20	20	20	20
10	111	111	106	106	105
20	130	130	121	121	120
30	142	142	131	131	130

40	153	153	141	141	141
50	162	162	150	150	150
60	168	168	158	158	158
70	181	181	172	172	172
80	203	203	198	198	198
90	227	231	218	232	237
100	243	264	218	254	278
110	253	299	218	265	315
120	259	330	207	254	321
130	262	379	193	241	350
140	262	446	182	233	414
150	261	510	175	228	478
160	260	395	170	226	529
170	258	306	167	224	592
180	256	270	164	223	572
190	254	260	162	222	524
200	252	252	160	221	461
210	250	243	159	219	419
220	248	236	157	218	395
230	246	228	156	217	373
240	244	222	154	215	349
250	242	215	153	214	333
260	240	210	152	212	325
270	239	205	150	211	320
280	237	200	149	209	316
290	235	196	148	208	312
300	233	192	146	206	309
310	232	188	145	205	306
320	230	184	144	203	303
330	226	181	143	202	301
340	212	178	141	200	298
350	203	175	140	198	296
360	195	172	139	197	294
370	189	169	138	195	292
380	183	166	137	193	290
390	179	164	135	191	288
400	174	161	134	189	286
410	170	159	133	187	284
420	166	157	132	186	283
430	163	155	131	184	283
440	160	153	130	182	282
450	157	151	129	180	281
460	154	149	128	178	281
470	151	147	127	176	280
480	148	145	126	175	279
490	146	143	125	173	277
500	144	142	123	171	274
510	142	140	122	169	272
520	140	138	121	168	270
530	138	136	120	166	267
540	136	135	119	164	265
550	134	133	118	163	263
560	132	131	117	161	261

40	151	151	140	140	139
50	159	159	148	148	147
60	165	165	155	155	154
70	176	176	167	167	167
80	197	197	191	191	192
90	220	224	222	213	228
100	236	255	245	224	268
110	246	289	251	234	303
120	250	318	242	242	308
130	251	364	230	236	337
140	250	429	223	226	399
150	248	489	219	220	460
160	246	368	216	216	507
170	243	272	214	213	563
180	240	238	212	211	534
190	237	227	210	210	477
200	234	218	209	208	409
210	232	209	207	207	367
220	229	201	205	206	344
230	227	194	203	204	323
240	225	188	202	203	300
250	222	182	200	201	285
260	220	177	198	200	279
270	218	172	197	198	276
280	216	168	195	197	273
290	214	164	193	195	272
300	212	160	192	193	270
310	210	157	190	192	268
320	206	154	188	190	267
330	191	151	186	188	265
340	181	148	185	186	263
350	173	145	183	184	262
360	166	143	182	182	260
370	161	140	180	180	259
380	156	138	178	178	257
390	151	136	177	176	255
400	147	134	175	174	254
410	144	132	174	172	253
420	140	130	172	170	252
430	137	128	171	168	251
440	134	126	169	166	251
450	131	124	168	164	250
460	129	123	167	162	250
470	126	121	165	161	248
480	124	119	164	159	247
490	122	118	162	157	244
500	120	116	161	155	242
510	118	114	160	153	239
520	116	113	158	152	237
530	115	111	157	150	234
540	113	110	156	148	232
550	111	108	154	147	231
560	110	107	153	145	229

570	130	130	116	160	260
580	129	128	115	158	258
590	127	126	114	157	261
600	126	125	113	155	267
610	124	123	111	154	275
620	123	121	110	152	283
630	122	120	109	151	285
640	120	118	108	150	285
650	119	117	107	148	283
660	118	115	106	147	282
670	117	113	105	146	280
680	116	112	104	145	277
690	114	111	103	143	275
700	113	109	102	142	272
710	112	108	101	141	270
720	111	106	100	140	267
730	110	105	99	139	264
740	109	104	98	138	261
750	108	102	97	138	258
760	107	101	96	137	255
770	106	100	95	136	254
780	105	99	94	135	256
790	105	98	93	135	258
800	104	97	92	134	262
810	103	96	90	133	265
820	102	96	89	132	269
830	101	95	87	131	273
840	100	94	86	129	277
850	99	93	84	128	281
860	99	93	83	127	285
870	98	92	81	125	289
880	97	91	80	124	293
890	96	91	78	123	298
900	96	90	77	121	302
910	95	90	75	120	306
920	94	89	74	119	308
930	93	88	73	118	307
940	93	88	71	117	306
950	92	87	70	115	304
960	91	87	69	114	302
970	91	86	68	113	300
980	90	86	67	112	298
990	89	85	66	111	295
1000	89	85	65	110	293
1010	88	84	64	108	290
1020	88	84	63	107	287
1030	87	83	62	106	284
1040	86	83	61	105	281
1050	86	82	60	104	278
1060	85	82	59	103	274
1070	85	81	58	102	271
1080	84	81	57	101	267
1090	83	81	57	100	264

570	108	105	151	143	230
580	107	104	149	142	231
590	105	102	147	140	233
600	104	101	145	139	240
610	103	100	143	137	248
620	102	98	141	136	255
630	100	97	138	135	257
640	99	95	136	133	256
650	98	94	133	132	254
660	97	93	130	130	252
670	96	91	127	129	249
680	95	90	123	128	247
690	94	89	122	127	244
700	93	88	121	125	242
710	92	87	120	124	239
720	91	85	119	123	236
730	91	84	118	122	234
740	90	83	116	121	231
750	89	82	114	120	228
760	88	81	112	119	225
770	87	81	110	118	224
780	87	80	108	117	226
790	86	79	106	116	229
800	85	78	104	115	232
810	84	78	102	114	236
820	84	77	100	113	240
830	83	77	98	112	244
840	82	76	96	111	248
850	82	76	95	110	252
860	81	75	93	110	256
870	81	75	91	109	260
880	80	74	90	108	263
890	79	74	88	107	267
900	79	73	87	107	271
910	78	73	85	106	275
920	78	73	84	105	277
930	77	72	83	104	276
940	77	72	82	103	274
950	76	71	80	103	272
960	75	71	79	102	269
970	75	71	78	101	267
980	74	70	77	101	265
990	74	70	76	100	262
1000	73	70	75	99	259
1010	73	69	75	99	257
1020	73	69	74	98	254
1030	72	69	73	97	251
1040	72	68	72	97	248
1050	71	68	71	96	245
1060	71	68	71	95	242
1070	70	67	70	94	239
1080	70	67	69	93	235
1090	69	67	68	92	232

1100	83	80	56	99	260
1110	82	80	55	98	257
1120	82	79	55	97	254
1130	81	79	54	96	251
1140	81	78	54	95	249
1150	80	78	53	94	246
1160	80	77	52	93	243
1170	79	77	52	93	241
1180	79	77	51	92	238
1190	78	76	51	91	236
1200	78	76	50	90	233
1210	77	75	50	89	231
1220	77	75	50	88	229
1230	76	75	49	87	227
1240	76	74	49	87	226
1250	75	74	48	86	225
1260	75	73	48	85	223
1270	74	73	48	84	222
1280	74	73	47	84	220
1290	73	72	47	83	219
1300	73	72	46	82	218
1310	73	72	46	81	216
1320	72	71	46	81	215
1330	72	71	45	80	214
1340	71	71	45	79	213
1350	71	70	45	78	211
1360	71	70	44	78	210
1370	70	69	44	77	209
1380	70	69	44	76	207
1390	69	69	43	76	206
1400	69	68	43	75	205
1410	69	68	43	74	204
1420	68	68	43	74	202
1430	68	67	42	73	201
1440	68	67	42	73	200
1450	67	67	42	72	198
1460	67	66	42	72	197
1470	66	66	41	71	196
1480	66	66	41	71	195
1490	66	66	41	70	193
1500	65	65	40	70	192
1510	65	65	40	69	191
1520	65	65	40	69	190
1530	64	64	40	68	189
1540	64	64	40	68	188
1550	64	64	39	67	187
1560	63	63	39	67	187
1570	63	63	39	67	186
1580	63	63	39	66	185
1590	62	63	38	66	184
1600	62	62	38	66	183
1610	62	62	38	65	183
1620	62	62	38	65	182

1100	69	66	68	91	228
1110	69	66	67	90	226
1120	68	66	66	90	223
1130	68	65	66	89	221
1140	67	65	65	88	219
1150	67	65	64	87	216
1160	67	64	64	86	214
1170	66	64	63	85	212
1180	66	64	63	85	210
1190	66	64	62	84	208
1200	65	63	61	83	205
1210	65	63	61	82	203
1220	64	63	60	82	202
1230	64	62	60	81	201
1240	64	62	59	80	200
1250	63	62	59	79	198
1260	63	62	58	79	197
1270	63	61	58	78	196
1280	62	61	57	77	195
1290	62	61	57	77	194
1300	62	61	56	76	193
1310	61	60	56	75	192
1320	61	60	55	75	191
1330	61	60	55	74	190
1340	61	60	54	73	189
1350	60	59	54	73	188
1360	60	59	53	72	187
1370	60	59	53	71	186
1380	59	59	52	71	185
1390	59	58	52	70	184
1400	59	58	52	70	183
1410	58	58	51	69	182
1420	58	58	51	68	181
1430	58	57	50	68	180
1440	58	57	50	67	179
1450	57	57	49	67	177
1460	57	57	49	66	176
1470	57	56	49	66	175
1480	57	56	48	65	174
1490	56	56	48	65	173
1500	56	56	48	64	172
1510	56	56	47	64	171
1520	56	55	47	63	170
1530	55	55	47	63	170
1540	55	55	46	62	169
1550	55	55	46	62	168
1560	55	55	46	61	168
1570	54	54	45	61	167
1580	54	54	45	61	167
1590	54	54	45	60	166
1600	54	54	44	60	165
1610	53	53	44	60	165
1620	53	53	44	59	164

1630	61	61	38	64	181
1640	61	61	37	64	180
1650	61	61	37	64	180
1660	60	61	37	63	179
1670	60	60	37	63	178
1680	60	60	37	63	178
1690	60	60	37	62	177
1700	59	59	36	62	176
1710	59	59	36	62	176
1720	59	59	36	61	175
1730	58	59	36	61	175
1740	58	58	36	61	174
1750	58	58	36	60	174
1760	58	58	35	60	173
1770	57	58	35	60	173
1780	57	57	35	60	173
1790	57	57	35	59	172
1800	57	57	35	59	172

Tabella 136 - Confronto fra i comportamenti nel caso 1

1630	53	53	44	59	164
1640	53	53	43	59	163
1650	53	53	43	58	162
1660	52	53	43	58	162
1670	52	52	43	58	161
1680	52	52	42	57	161
1690	52	52	42	57	160
1700	52	52	42	57	160
1710	51	52	42	56	159
1720	51	51	41	56	159
1730	51	51	41	56	158
1740	51	51	41	56	158
1750	51	51	41	55	158
1760	50	51	40	55	157
1770	50	50	40	55	157
1780	50	50	40	55	157
1790	50	50	40	54	157
1800	50	50	40	54	156

Tabella 137 - Confronto fra i comportamenti nel caso 3

1	Elevation				
	Time	a	a-n	b	c
0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
10	2,4	2,4	2,3	2,3	2,3
20	2,0	2,0	1,9	1,9	1,9
30	1,7	1,7	1,5	1,5	1,5
40	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3
50	1,2	1,2	1,1	1,1	1,1
60	1,1	1,1	0,9	0,9	0,9
70	1,0	1,0	0,8	0,8	0,8
80	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7
90	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6
100	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
110	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5
120	0,6	0,6	1,1	1,1	1,0
130	0,6	0,6	1,3	1,3	1,0
140	0,6	0,5	1,4	1,3	0,9
150	0,6	0,5	1,4	1,4	0,8
160	0,6	0,5	1,5	1,4	0,8
170	0,6	0,6	1,5	1,4	0,7
180	0,6	0,6	1,5	1,4	0,8
190	0,6	0,6	1,5	1,4	0,8
200	0,6	0,6	1,5	1,4	1,0
210	0,6	0,6	1,5	1,4	1,1
220	0,6	0,6	1,5	1,4	1,1
230	0,6	0,6	1,5	1,4	1,2
240	0,6	0,6	1,5	1,4	1,3
250	0,6	0,6	1,5	1,4	1,3
260	0,6	0,6	1,5	1,4	1,3
270	0,6	0,6	1,5	1,4	1,3
280	0,6	0,6	1,5	1,4	1,3
290	0,6	0,6	1,5	1,4	1,3
300	0,6	0,6	1,5	1,4	1,3

3	Elevation				
	Time	a	a-n	b	c
0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
10	2,4	2,4	2,3	2,3	2,4
20	2,0	2,0	1,9	1,9	2,0
30	1,7	1,7	1,5	1,5	1,7
40	1,4	1,4	1,3	1,3	1,4
50	1,2	1,2	1,1	1,1	1,2
60	1,1	1,1	1,0	1,0	1,1
70	1,0	1,0	0,8	0,8	1,0
80	0,8	0,8	0,7	0,7	0,8
90	0,7	0,7	0,6	0,6	0,7
100	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
110	0,6	0,6	0,7	0,6	0,6
120	0,6	0,6	1,1	0,7	0,6
130	0,6	0,6	1,3	1,1	0,6
140	0,6	0,5	1,3	1,3	0,5
150	0,6	0,5	1,3	1,3	0,5
160	0,6	0,5	1,4	1,3	0,5
170	0,6	0,6	1,4	1,4	0,6
180	0,6	0,6	1,4	1,4	0,6
190	0,6	0,6	1,4	1,4	0,6
200	0,6	0,6	1,4	1,3	0,6
210	0,6	0,6	1,4	1,3	0,6
220	0,6	0,6	1,4	1,4	0,6
230	0,6	0,6	1,4	1,4	0,6
240	0,6	0,6	1,4	1,4	0,6
250	0,6	0,6	1,4	1,4	0,6
260	0,6	0,6	1,4	1,4	0,6
270	0,6	0,6	1,4	1,4	0,6
280	0,6	0,6	1,4	1,4	0,6
290	0,6	0,6	1,5	1,4	0,6
300	0,6	0,6	1,5	1,4	0,6

310	0,6	0,6	1,5	1,4	1,3
320	0,6	0,6	1,6	1,4	1,3
330	0,6	0,6	1,6	1,4	1,3
340	0,6	0,6	1,6	1,4	1,3
350	0,6	0,6	1,6	1,4	1,3
360	0,6	0,6	1,6	1,4	1,3
370	0,6	0,6	1,6	1,4	1,3
380	0,6	0,6	1,6	1,4	1,3
390	0,6	0,6	1,6	1,4	1,3
400	0,6	0,6	1,6	1,4	1,3
410	0,6	0,6	1,6	1,4	1,3
420	0,6	0,6	1,6	1,4	1,3
430	0,6	0,6	1,6	1,4	1,3
440	0,6	0,6	1,6	1,4	1,3
450	0,6	0,6	1,6	1,4	1,3
460	0,6	0,6	1,6	1,4	1,3
470	0,6	0,6	1,6	1,4	1,3
480	0,6	0,6	1,6	1,4	1,3
490	0,6	0,6	1,6	1,4	1,3
500	0,6	0,6	1,6	1,4	1,2
510	0,6	0,6	1,6	1,4	1,2
520	0,6	0,6	1,6	1,4	1,2
530	0,6	0,6	1,6	1,4	1,1
540	0,6	0,6	1,6	1,4	1,1
550	0,6	0,6	1,6	1,4	1,1
560	0,6	0,6	1,6	1,4	1,0
570	0,6	0,6	1,6	1,4	1,0
580	0,6	0,6	1,6	1,4	1,0
590	0,6	0,6	1,6	1,4	0,9
600	0,6	0,6	1,6	1,5	0,9
610	0,6	0,6	1,6	1,5	0,8
620	0,6	0,6	1,6	1,5	0,8
630	0,6	0,6	1,6	1,5	0,8
640	0,6	0,6	1,6	1,5	0,7
650	0,6	0,6	1,6	1,5	0,7
660	0,6	0,6	1,6	1,5	0,7
670	0,6	0,6	1,6	1,5	0,7
680	0,6	0,6	1,6	1,5	0,7
690	0,6	0,6	1,6	1,5	0,7
700	0,6	0,6	1,6	1,5	0,7
710	0,6	0,6	1,6	1,5	0,7
720	0,6	0,6	1,6	1,5	0,7
730	0,6	0,6	1,7	1,5	0,7
740	0,6	0,6	1,7	1,5	0,7
750	0,6	0,6	1,7	1,6	0,7
760	0,6	0,6	1,7	1,6	0,8
770	0,6	0,6	1,7	1,6	0,8
780	0,6	0,6	1,7	1,6	0,8
790	0,6	0,6	1,6	1,6	0,7
800	0,6	0,6	1,6	1,6	0,7
810	0,6	0,6	1,6	1,6	0,7
820	0,6	0,6	1,6	1,6	0,7
830	0,6	0,6	1,6	1,6	0,7

310	0,6	0,6	1,5	1,4	0,6
320	0,6	0,6	1,5	1,4	0,6
330	0,6	0,6	1,5	1,4	0,6
340	0,6	0,6	1,5	1,4	0,6
350	0,6	0,6	1,5	1,4	0,6
360	0,6	0,6	1,5	1,4	0,6
370	0,6	0,6	1,5	1,4	0,6
380	0,6	0,6	1,5	1,4	0,6
390	0,6	0,6	1,5	1,4	0,6
400	0,6	0,6	1,5	1,4	0,6
410	0,6	0,6	1,5	1,4	0,6
420	0,6	0,6	1,5	1,4	0,6
430	0,6	0,6	1,5	1,4	0,6
440	0,6	0,6	1,5	1,4	0,6
450	0,6	0,6	1,5	1,4	0,6
460	0,6	0,6	1,5	1,4	0,6
470	0,6	0,6	1,5	1,4	0,6
480	0,6	0,6	1,5	1,4	0,6
490	0,6	0,6	1,5	1,4	0,6
500	0,6	0,6	1,5	1,4	0,6
510	0,6	0,6	1,5	1,4	0,6
520	0,6	0,6	1,5	1,4	0,6
530	0,6	0,6	1,5	1,4	0,6
540	0,6	0,6	1,5	1,4	0,6
550	0,6	0,6	1,5	1,4	0,6
560	0,6	0,6	1,5	1,4	0,6
570	0,6	0,6	1,5	1,4	0,6
580	0,6	0,6	1,5	1,4	0,6
590	0,6	0,6	1,5	1,4	0,6
600	0,6	0,6	1,5	1,4	0,6
610	0,6	0,6	1,5	1,4	0,6
620	0,6	0,6	1,5	1,4	0,6
630	0,6	0,6	1,5	1,4	0,6
640	0,6	0,6	1,5	1,4	0,6
650	0,6	0,6	1,5	1,4	0,6
660	0,6	0,6	1,5	1,4	0,6
670	0,6	0,6	1,4	1,4	0,6
680	0,6	0,6	1,4	1,4	0,6
690	0,6	0,6	1,4	1,4	0,6
700	0,6	0,6	1,4	1,4	0,6
710	0,6	0,6	1,4	1,4	0,6
720	0,6	0,6	1,5	1,4	0,6
730	0,6	0,6	1,5	1,4	0,6
740	0,6	0,6	1,4	1,4	0,6
750	0,6	0,6	1,4	1,4	0,6
760	0,6	0,6	1,4	1,4	0,6
770	0,6	0,6	1,4	1,4	0,6
780	0,6	0,6	1,4	1,4	0,6
790	0,6	0,6	1,4	1,5	0,6
800	0,6	0,6	1,4	1,5	0,6
810	0,6	0,6	1,4	1,5	0,6
820	0,6	0,6	1,4	1,5	0,6
830	0,6	0,6	1,4	1,5	0,6

840	0,6	0,6	1,6	1,6	0,7
850	0,6	0,6	1,6	1,6	0,7
860	0,6	0,6	1,6	1,6	0,7
870	0,6	0,6	1,6	1,6	0,7
880	0,6	0,6	1,6	1,6	0,7
890	0,6	0,6	1,5	1,6	0,7
900	0,6	0,6	1,5	1,6	0,7
910	0,6	0,6	1,5	1,7	0,7
920	0,6	0,6	1,5	1,7	0,7
930	0,6	0,6	1,5	1,7	0,7
940	0,6	0,6	1,5	1,7	0,7
950	0,6	0,6	1,5	1,7	0,7
960	0,6	0,6	1,5	1,7	0,7
970	0,6	0,6	1,4	1,7	0,7
980	0,6	0,6	1,4	1,7	0,7
990	0,6	0,6	1,4	1,7	0,7
1000	0,6	0,6	1,4	1,7	0,7
1010	0,6	0,6	1,4	1,7	0,7
1020	0,6	0,6	1,4	1,7	0,7
1030	0,6	0,6	1,4	1,7	0,7
1040	0,6	0,6	1,4	1,7	0,7
1050	0,6	0,6	1,3	1,7	0,7
1060	0,6	0,6	1,3	1,7	0,8
1070	0,6	0,6	1,3	1,7	0,8
1080	0,6	0,6	1,3	1,7	0,8
1090	0,6	0,6	1,3	1,7	0,8
1100	0,6	0,6	1,3	1,7	0,8
1110	0,6	0,6	1,3	1,7	0,8
1120	0,6	0,6	1,3	1,7	0,8
1130	0,6	0,6	1,3	1,7	0,8
1140	0,6	0,6	1,3	1,7	0,8
1150	0,6	0,6	1,3	1,7	0,8
1160	0,6	0,6	1,3	1,7	0,8
1170	0,6	0,6	1,3	1,7	0,8
1180	0,6	0,6	1,3	1,7	0,8
1190	0,6	0,6	1,3	1,7	0,8
1200	0,6	0,6	1,3	1,7	0,8
1210	0,6	0,6	1,3	1,7	0,8
1220	0,6	0,6	1,3	1,7	0,8
1230	0,6	0,6	1,3	1,7	0,8
1240	0,6	0,6	1,3	1,7	0,8
1250	0,6	0,6	1,3	1,7	0,8
1260	0,6	0,6	1,3	1,7	0,8
1270	0,6	0,6	1,3	1,7	0,8
1280	0,6	0,6	1,3	1,7	0,9
1290	0,6	0,6	1,2	1,7	0,9
1300	0,6	0,6	1,2	1,7	0,9
1310	0,6	0,6	1,2	1,7	0,9
1320	0,6	0,6	1,2	1,7	0,9
1330	0,6	0,5	1,2	1,7	0,9
1340	0,6	0,5	1,2	1,7	0,9
1350	0,6	0,5	1,2	1,7	0,9
1360	0,6	0,5	1,2	1,7	0,9

840	0,6	0,6	1,3	1,5	0,6
850	0,6	0,6	1,3	1,5	0,6
860	0,6	0,6	1,3	1,5	0,6
870	0,6	0,6	1,3	1,5	0,6
880	0,6	0,6	1,3	1,5	0,6
890	0,6	0,6	1,3	1,5	0,6
900	0,6	0,6	1,3	1,5	0,6
910	0,6	0,6	1,3	1,5	0,6
920	0,6	0,6	1,2	1,6	0,6
930	0,6	0,6	1,2	1,6	0,6
940	0,6	0,6	1,2	1,6	0,6
950	0,6	0,6	1,2	1,6	0,6
960	0,6	0,6	1,2	1,6	0,6
970	0,6	0,6	1,2	1,6	0,6
980	0,6	0,6	1,2	1,6	0,6
990	0,6	0,6	1,2	1,6	0,6
1000	0,6	0,6	1,2	1,6	0,6
1010	0,6	0,6	1,2	1,6	0,6
1020	0,6	0,6	1,2	1,6	0,6
1030	0,6	0,6	1,2	1,6	0,6
1040	0,6	0,6	1,2	1,6	0,6
1050	0,6	0,6	1,2	1,6	0,6
1060	0,6	0,6	1,2	1,6	0,6
1070	0,6	0,6	1,2	1,6	0,6
1080	0,6	0,6	1,2	1,7	0,6
1090	0,6	0,6	1,2	1,7	0,6
1100	0,6	0,6	1,2	1,7	0,6
1110	0,6	0,6	1,2	1,7	0,6
1120	0,6	0,6	1,2	1,7	0,6
1130	0,6	0,6	1,2	1,7	0,6
1140	0,6	0,6	1,2	1,7	0,6
1150	0,6	0,6	1,2	1,7	0,6
1160	0,6	0,6	1,2	1,7	0,6
1170	0,6	0,6	1,2	1,7	0,6
1180	0,6	0,6	1,2	1,7	0,6
1190	0,6	0,6	1,2	1,7	0,6
1200	0,6	0,6	1,2	1,7	0,6
1210	0,6	0,6	1,2	1,7	0,6
1220	0,6	0,6	1,2	1,7	0,6
1230	0,6	0,6	1,2	1,7	0,6
1240	0,6	0,6	1,2	1,7	0,6
1250	0,6	0,6	1,2	1,7	0,6
1260	0,6	0,6	1,2	1,7	0,6
1270	0,6	0,6	1,2	1,7	0,6
1280	0,6	0,6	1,2	1,7	0,6
1290	0,6	0,6	1,2	1,7	0,6
1300	0,6	0,6	1,2	1,7	0,6
1310	0,6	0,6	1,2	1,7	0,6
1320	0,6	0,6	1,2	1,7	0,6
1330	0,6	0,5	1,2	1,7	0,5
1340	0,6	0,5	1,2	1,7	0,5
1350	0,6	0,5	1,2	1,7	0,5
1360	0,6	0,5	1,3	1,7	0,5

1370	0,6	0,5	1,2	1,7	0,9
1380	0,6	0,5	1,2	1,7	0,9
1390	0,6	0,5	1,2	1,7	0,9
1400	0,6	0,5	1,2	1,7	0,9
1410	0,6	0,5	1,2	1,7	0,9
1420	0,6	0,5	1,2	1,7	0,9
1430	0,6	0,5	1,2	1,7	0,9
1440	0,6	0,5	1,2	1,7	0,9
1450	0,6	0,5	1,2	1,7	0,9
1460	0,6	0,5	1,2	1,7	0,9
1470	0,6	0,5	1,2	1,7	0,9
1480	0,6	0,5	1,2	1,7	0,9
1490	0,6	0,5	1,3	1,7	0,9
1500	0,6	0,5	1,3	1,7	0,9
1510	0,6	0,5	1,3	1,7	0,9
1520	0,6	0,5	1,3	1,7	0,9
1530	0,6	0,5	1,3	1,7	0,9
1540	0,6	0,5	1,3	1,7	0,9
1550	0,6	0,5	1,3	1,8	0,9
1560	0,6	0,5	1,3	1,8	0,9
1570	0,6	0,5	1,3	1,8	0,9
1580	0,6	0,5	1,3	1,8	0,9
1590	0,6	0,5	1,3	1,8	0,9
1600	0,6	0,5	1,3	1,8	0,9
1610	0,6	0,5	1,3	1,8	0,9
1620	0,6	0,5	1,3	1,8	0,9
1630	0,6	0,5	1,3	1,8	0,9
1640	0,6	0,5	1,3	1,8	0,9
1650	0,6	0,5	1,3	1,8	0,9
1660	0,6	0,5	1,3	1,8	0,9
1670	0,6	0,5	1,3	1,8	0,9
1680	0,6	0,5	1,3	1,8	0,9
1690	0,6	0,5	1,3	1,8	0,9
1700	0,6	0,5	1,3	1,8	0,9
1710	0,6	0,5	1,3	1,8	0,9
1720	0,6	0,5	1,3	1,8	0,9
1730	0,6	0,5	1,3	1,8	0,9
1740	0,6	0,5	1,3	1,8	0,9
1750	0,6	0,5	1,3	1,8	0,9
1760	0,6	0,5	1,3	1,8	0,9
1770	0,6	0,5	1,3	1,9	0,9
1780	0,6	0,5	1,3	1,9	0,9
1790	0,6	0,5	1,3	1,9	0,9
1800	0,6	0,5	1,3	1,9	0,9

Tabella 138 - Confronto fra i comportamenti nel caso 1

1370	0,6	0,5	1,3	1,7	0,5
1380	0,6	0,5	1,3	1,7	0,5
1390	0,6	0,5	1,3	1,7	0,5
1400	0,6	0,5	1,3	1,7	0,5
1410	0,6	0,5	1,3	1,7	0,5
1420	0,6	0,5	1,3	1,7	0,5
1430	0,6	0,5	1,3	1,7	0,5
1440	0,6	0,5	1,3	1,7	0,5
1450	0,6	0,5	1,3	1,7	0,5
1460	0,6	0,5	1,3	1,7	0,5
1470	0,6	0,5	1,3	1,7	0,5
1480	0,6	0,5	1,3	1,7	0,5
1490	0,6	0,5	1,3	1,7	0,5
1500	0,6	0,5	1,3	1,7	0,5
1510	0,6	0,5	1,3	1,7	0,5
1520	0,6	0,5	1,3	1,7	0,5
1530	0,6	0,5	1,3	1,7	0,5
1540	0,6	0,5	1,3	1,7	0,5
1550	0,6	0,5	1,3	1,7	0,5
1560	0,6	0,5	1,3	1,7	0,5
1570	0,6	0,5	1,3	1,7	0,5
1580	0,6	0,5	1,3	1,7	0,5
1590	0,6	0,5	1,3	1,7	0,5
1600	0,6	0,5	1,3	1,7	0,5
1610	0,6	0,5	1,3	1,7	0,5
1620	0,6	0,5	1,3	1,7	0,5
1630	0,6	0,5	1,3	1,7	0,5
1640	0,6	0,5	1,3	1,7	0,5
1650	0,6	0,5	1,3	1,7	0,5
1660	0,6	0,5	1,3	1,7	0,5
1670	0,6	0,5	1,3	1,8	0,5
1680	0,6	0,5	1,3	1,8	0,5
1690	0,6	0,5	1,3	1,8	0,5
1700	0,6	0,5	1,3	1,8	0,5
1710	0,6	0,5	1,3	1,8	0,5
1720	0,6	0,5	1,3	1,8	0,5
1730	0,6	0,5	1,3	1,8	0,5
1740	0,6	0,5	1,3	1,8	0,5
1750	0,6	0,5	1,3	1,8	0,5
1760	0,6	0,5	1,3	1,8	0,5
1770	0,6	0,5	1,3	1,8	0,5
1780	0,6	0,5	1,3	1,8	0,5
1790	0,6	0,5	1,3	1,8	0,5
1800	0,6	0,5	1,3	1,8	0,5

Tabella 139 - Confronto fra i comportamenti nel caso 3

Ringraziamenti

Eccoci infine probabilmente all'unica parte che da molti sarà letta fino in fondo, per cercare i propri nomi (non aspettavate altro, vero?). Il lavoro non avrebbe una degna conclusione se fosse carente nei ringraziamenti.

Procediamo con ordine. Il primo pensiero va agli insegnanti che, destreggiandosi fra mille impegni, ci hanno assistito nell'impresa: ringraziamo di cuore il professor Felicetti, che ha sacrificato giornate prefestive e festive per guidarci nella ricerca e sperimentazione (!) sugli scenari di incendio; la professoressa Tagliabue, che è stata pronta ad affrontare qualche notte in bianco per correggere la parte sulla luce; il professor Manfren, che ha cercato di spianarci la strada per elaborare il bilancio energetico. Un contributo per la comprensione della normativa antincendio sulle RSA ci è stato inoltre concesso dal professor Maistrello, che vogliamo qui ricordare. Dobbiamo citare la vetraria Cogliati, che è stata così gentile da offrirci i campioni per l'esperimento.

Barbara

Una menzione necessaria va ai familiari, innanzitutto ai miei genitori, che mi hanno supportata (e sopportata) durante tutta la carriera di studi (possiamo proprio dire durante tutta la vita), offrendoci man forte anche in caso di problemi tecnici con i software utilizzati. Sono grata anche a Davide, che mi ha offerto sostegno morale, ma purtroppo non sarà presente alla discussione "per cause di forza maggiore". Marta, sei perdonata, so che ci sei vicina col pensiero, dalla bianca spiaggia siciliana. Un pensiero va a mia cugina Silvia, più vicina in questi ultimi anni.

Sono riconoscente ai tuoi genitori, Francesca, che mi hanno fatta sentire come a casa mia durante le trasferte di studio e, ovviamente, non posso non dedicare a te un paragrafetto. Con i primi laboratori della specialistica abbiamo avuto i primi attriti, ma imparando a conoscerci col tempo, abbiamo scoperto di poter andare molto d'accordo e di poter far affidamento l'una sull'altra, per questioni di studio o personali. Sono contenta di aver affrontato insieme questo passo importante.

Ricordo gli amici con i quali sono cresciuta o che ho conosciuto recentemente. Ringrazio "la Titty", sempre presente in casa Arosio; i ragazzi della "TPC", compagni di sventure dai tempi del liceo, che hanno animato le sere di svago e mi hanno accettata anche quando ero intrattabile per lo stress; i "palestrati", *new entry* del 2012, pronti a offrirmi la tentazione (a cui non ho ceduto) della frescura della piscina o del parco in fase precedente la conclusione della tesi; gli amici dell'università, che abbiamo assillato durante la pausa pranzo, con i quali abbiamo condiviso e scambiato dolci degustazioni (Nitzan, ti senti chiamata in causa?); Diana, conosciuta da poco (ma non si direbbe) e che, sfortunatamente per noi, sarà già in viaggio di nozze il giorno della discussione.

Francesca

Ringrazio...

I miei genitori e mio fratello Mauro che mi sono stati sempre vicini durante il mio percorso universitario, ognuno a modo suo, regalandomi forza nei momenti di ansia, tristezza e sconforto e grinta per raggiungere la meta.

L'intera famiglia, che mi ha supportata, in particolare mia cugina Sara, dose di dolcezza e complicità.

I miei pazzi amici della "cantina" che mi regalano continui sorrisi e chi di loro mi ha trasmesso forti emozioni.

Le amiche di sempre: Sara, Moni, Fra; Susi, Ali, Betti e Ila.

I miei compagni e amici di università che mi hanno accompagnata in questi anni.

Ho imboccato questa strada insieme a te Barbara, che ho scoperto essere oltre che compagna di viaggio, una grande amica!

Ringrazio i tuoi familiari per l'ospitalità dimostrata in ogni occasione.

...Dedico questa tesi a te, nonno Pietro, la roccia della famiglia; so che in questo giorno come in altri mi sarai accanto. Le tue parole e la tua saggezza mi accompagnano sempre...

Un grazie anche agli amici non appartenenti ai gruppi citati, non per questo meno importanti, che ci hanno sempre incoraggiate. Non si offendano coloro che non sono stati nominati, perché con i loro gesti o pensieri, hanno influenzato il nostro modo di essere, il nostro umore, la nostra concentrazione, la fiducia in noi stesse e ci hanno quindi aiutate a giungere dove siamo ora; per questo un ringraziamento va anche a voi.

A questo punto non ci resta che salutarvi. *That's all folks!*