



Università degli Studi di Cagliari

**DOTTORATO DI RICERCA**

**INGEGNERIA STRUTTURALE**

Ciclo XXVI

**TITOLO TESI**

**IL COMPORTAMENTO TERMOIGROMETRICO  
DEGLI EDIFICI IN LEGNO NEL CLIMA MEDITERRANEO**

Settore/i scientifico disciplinari di afferenza

ING-IND/11

Presentata da:	Elena Agus
Coordinatore Dottorato	Prof. Ing. Francesco Ragnedda
Tutor/Relatore	Prof. Ing. Barbara De Nicolo
	Prof. Peter Erlacher

Esame finale anno accademico 2013 – 2014



## *Ringraziamenti*

Desidero ringraziare di cuore:

il Professor Peter Erlacher di Naturno, per il tempo e le forze dedicate a questa ricerca, per avermi seguita con costanza ed entusiasmo e per avermi trasmesso delle preziose conoscenze;

la Professoressa Barbara de Nicolo, per aver creduto in me e per aver trovato le parole giuste nei momenti di difficoltà e sconforto;

l'Ingegnere Matteo Rondoni dell'Agenzia CasaClima di Bolzano, per la sua collaborazione e la sua infinita pazienza;

l'Ingegnere Monica Valdés del Dipartimento di Ingegneria Strutturale dell'Università di Cagliari e l'Ingegnere Eleonora Marra del Fraunhofer IBP per la loro continua disponibilità;

Davide e la mia famiglia che hanno aspettato in silenzio e con estrema fiducia la conclusione di questo lavoro.

Infine ringrazio quanti, con un sorriso di incoraggiamento, mi hanno sostenuto in questi anni di ricerca.

## *Abstract*

In Sardinia timber and particularly cross laminated timber (CLT) are starting to be used for buildings due to their excellent properties and speed of execution.

But timber is not a traditional material for wall in Sardinia and the climate (very wet but also very hot in summer) brought about many questions in designers.

In this work dynamic hygrothermal simulations are performed by the use of WUFI software (Wärme und Feuchte Instationär – transient heat and moisture) developed by Fraunhofer Institute for Building Physics (IBP) and demonstrated that CLT is suitable in weather conditions of Sardinia. The commercial research software (WUFI PRO 5.3) was used to calculate heat and moisture transfer through 7 different walls and 7 types of roof in Cagliari, Oristano, Nuoro and Sassari due to their climatic conditions. The results show that there are no risks of surface or interstitial condensation and hygrothermal conditions inhibit mould growth.

In the second part the research shows the project of a family house and townhouses in Cagliari using ProCasaClima software.

ProCasaClima 2013 software was used to calculate heating and cooling in the buildings and thermal comfort for the occupants.

The buildings observe Italian regulations on energy efficiency but in order to obtain a “zero energy building” and to increase thermal comfort passive design strategies must be applied.

These strategies are not the same for all the Italian climates.

In Cagliari the most effective strategies to reduce the need for cooling are: shading elements to avoid summer sun, night ventilation of thermal mass, areal heat capacity and light colours for building envelope. The research shows that also in Sardinia a building in CLT can reach high thermal performance and can provide comfort to its occupants.

# SOMMARIO

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>LA RICERCA .....</b>	<b>13</b>
2.1	SIMULAZIONI DINAMICHE TERMOIGROMETRICHE.....	13
<b>3</b>	<b>SIMULAZIONI DINAMICHE TERMOIGROMETRICHE – CAGLIARI .....</b>	<b>28</b>
3.1	<b>SIMULAZIONE 01: CAGLIARI – PARETE NORD – NON VENTILATA 01 (NV.01).....</b>	<b>30</b>
3.1.1	VERIFICA SUPERFICIALE	36
3.1.2	VERIFICA INTERSTIZIALE	41
3.2	<b>SIMULAZIONE 02: CAGLIARI – PARETE NORD – NON VENTILATA 02 (NV.02).....</b>	<b>47</b>
3.2.1	VERIFICA SUPERFICIALE	49
3.2.2	VERIFICA INTERSTIZIALE	50
3.3	<b>SIMULAZIONE 03: CAGLIARI – PARETE NORD – NON VENTILATA 03 (NV.03).....</b>	<b>55</b>
3.3.1	VERIFICA SUPERFICIALE	57
3.3.2	VERIFICA INTERSTIZIALE	58
3.4	<b>SIMULAZIONE 04: CAGLIARI – PARETE NORD – NON VENTILATA 04 (NV.04).....</b>	<b>62</b>
3.4.1	VERIFICA SUPERFICIALE	64
3.4.2	VERIFICA INTERSTIZIALE	65
3.5	<b>SIMULAZIONE 05: CAGLIARI – PARETE NORD – VENTILATA 01 (V.01).....</b>	<b>69</b>
3.5.1	VERIFICA SUPERFICIALE	70
3.5.2	VERIFICA INTERSTIZIALE	71
3.6	<b>SIMULAZIONE 06: CAGLIARI – PARETE NORD – VENTILATA 02.....</b>	<b>73</b>
3.6.1	VERIFICA SUPERFICIALE	74
3.6.2	VERIFICA INTERSTIZIALE	75
3.7	<b>SIMULAZIONE 07: CAGLIARI – PARETE NORD - VENTILATA 03 (NV.03) .....</b>	<b>77</b>
3.7.1	VERIFICA SUPERFICIALE	78
3.7.2	VERIFICA INTERSTIZIALE	79
3.8	<b>SIMULAZIONE 08: CAGLIARI – COPERTURA NORD – VENTILATA 01 (V.01) .....</b>	<b>81</b>
3.8.1	VERIFICA SUPERFICIALE	82
3.8.2	VERIFICA INTERSTIZIALE	83
3.9	<b>SIMULAZIONE 09: CAGLIARI – COPERTURA NORD – VENTILATA 02 (V.02) .....</b>	<b>86</b>
3.9.1	VERIFICA SUPERFICIALE	87
3.9.2	VERIFICA INTERSTIZIALE	88
3.10	<b>SIMULAZIONE 10: CAGLIARI – COPERTURA NORD – VENTILATA 03 (V.03) .....</b>	<b>93</b>
3.10.1	VERIFICA SUPERFICIALE	94
3.10.2	VERIFICA INTERSTIZIALE	95
3.11	<b>SIMULAZIONE 11: CAGLIARI – COPERTURA NORD – VENTILATA 04 (V.04) .....</b>	<b>99</b>
3.11.1	VERIFICA SUPERFICIALE	100
3.11.2	VERIFICA INTERSTIZIALE	104
3.12	<b>SIMULAZIONE 12: CAGLIARI – COPERTURA NORD – VENTILATA 05 (V.05) .....</b>	<b>106</b>
3.12.1	VERIFICA SUPERFICIALE	107
3.12.2	VERIFICA INTERSTIZIALE	108
3.13	<b>SIMULAZIONE 13: CAGLIARI – COPERTURA NORD – VENTILATA 06 (V.06) .....</b>	<b>110</b>
3.13.1	VERIFICA SUPERFICIALE	111
3.13.2	VERIFICA INTERSTIZIALE	112
3.14	<b>SIMULAZIONE 14: CAGLIARI – COPERTURA NORD – VENTILATA 07 (V.07) .....</b>	<b>114</b>
3.14.1	VERIFICA SUPERFICIALE	115
3.14.2	VERIFICA INTERSTIZIALE	116

<b>4</b>	<b>SIMULAZIONI DINAMICHE TERMOIGROMETRICHE - ORISTANO.....</b>	<b>118</b>
4.1	<b>V.01 – ORISTANO – PARETE NORD.....</b>	<b>119</b>
4.1.1	VERIFICA SUPERFICIALE	119
4.1.2	VERIFICA INTERSTIZIALE	119
4.2	<b>V.02 – ORISTANO – PARETE NORD.....</b>	<b>120</b>
4.2.1	VERIFICA SUPERFICIALE	120
4.2.2	VERIFICA INTERSTIZIALE	120
4.3	<b>V.03 – ORISTANO – PARETE NORD.....</b>	<b>121</b>
4.3.1	VERIFICA SUPERFICIALE	121
4.3.2	VERIFICA INTERSTIZIALE	121
4.4	<b>NV.01 – ORISTANO – PARETE NORD .....</b>	<b>122</b>
4.4.1	VERIFICA SUPERFICIALE	122
4.4.2	VERIFICA INTERSTIZIALE	122
4.5	<b>NV.02 – ORISTANO – PARETE NORD .....</b>	<b>125</b>
4.5.1	VERIFICA SUPERFICIALE	125
4.5.2	VERIFICA INTERSTIZIALE	125
4.6	<b>NV.03 – ORISTANO – PARETE NORD .....</b>	<b>128</b>
4.6.1	VERIFICA SUPERFICIALE	128
4.6.2	VERIFICA INTERSTIZIALE	128
4.7	<b>NV.04 – ORISTANO – PARETE NORD .....</b>	<b>130</b>
4.7.1	VERIFICA SUPERFICIALE	130
4.7.2	VERIFICA INTERSTIZIALE	130
4.8	<b>V.01 – ORISTANO – COPERTURA NORD.....</b>	<b>132</b>
4.8.1	VERIFICA SUPERFICIALE	132
4.8.2	VERIFICA INTERSTIZIALE	132
4.9	<b>V.02 – ORISTANO – COPERTURA NORD.....</b>	<b>133</b>
4.9.1	VERIFICA SUPERFICIALE	133
4.9.2	VERIFICA INTERSTIZIALE	133
4.10	<b>V.03 – ORISTANO – COPERTURA NORD.....</b>	<b>136</b>
4.10.1	VERIFICA SUPERFICIALE	136
4.10.2	VERIFICA INTERSTIZIALE	136
4.11	<b>V.04 – ORISTANO – COPERTURA NORD.....</b>	<b>139</b>
4.11.1	VERIFICA SUPERFICIALE	139
4.11.2	VERIFICA INTERSTIZIALE	139
4.12	<b>V.05 – ORISTANO – COPERTURA NORD.....</b>	<b>142</b>
4.12.1	VERIFICA SUPERFICIALE	142
4.12.2	VERIFICA INTERSTIZIALE	142
4.13	<b>V.06 – ORISTANO – COPERTURA NORD.....</b>	<b>143</b>
4.13.1	VERIFICA SUPERFICIALE	143
4.13.2	VERIFICA INTERSTIZIALE	143
4.14	<b>V.07 – ORISTANO – COPERTURA NORD.....</b>	<b>144</b>
4.14.1	VERIFICA SUPERFICIALE	144
4.14.2	VERIFICA INTERSTIZIALE	144
<b>5</b>	<b>SIMULAZIONI DINAMICHE TERMOIGROMETRICHE - NUORO .....</b>	<b>145</b>
5.1	<b>V.01 – NUORO – PARETE NORD .....</b>	<b>146</b>
5.1.1	VERIFICA SUPERFICIALE	146
5.1.2	VERIFICA INTERSTIZIALE	146
5.2	<b>V.02 – NUORO – PARETE NORD .....</b>	<b>147</b>

5.2.1	VERIFICA SUPERFICIALE	147
5.2.2	VERIFICA INTERSTIZIALE	147
<b>5.3</b>	<b>V.03 – NUORO – PARETE NORD</b> .....	<b>148</b>
5.3.1	VERIFICA SUPERFICIALE	148
5.3.2	VERIFICA INTERSTIZIALE	148
<b>5.4</b>	<b>NV.01 – NUORO – PARETE NORD</b> .....	<b>149</b>
5.4.1	VERIFICA SUPERFICIALE	149
5.4.2	VERIFICA INTERSTIZIALE	149
<b>5.5</b>	<b>NV.02 – NUORO – PARETE NORD</b> .....	<b>152</b>
5.5.1	VERIFICA SUPERFICIALE	152
5.5.2	VERIFICA INTERSTIZIALE	152
<b>5.6</b>	<b>NV.03 – NUORO – PARETE NORD</b> .....	<b>155</b>
5.6.1	VERIFICA SUPERFICIALE	155
5.6.2	VERIFICA INTERSTIZIALE	155
<b>5.7</b>	<b>NV.04 – NUORO – PARETE NORD</b> .....	<b>157</b>
5.7.1	VERIFICA SUPERFICIALE	157
5.7.2	VERIFICA INTERSTIZIALE	157
<b>5.8</b>	<b>V.01 – NUORO – COPERTURA NORD</b> .....	<b>159</b>
5.8.1	VERIFICA SUPERFICIALE	159
5.8.2	VERIFICA INTERSTIZIALE	159
<b>5.9</b>	<b>V.02 – NUORO – COPERTURA NORD</b> .....	<b>161</b>
5.9.1	VERIFICA SUPERFICIALE	161
5.9.2	VERIFICA INTERSTIZIALE	161
<b>5.10</b>	<b>V.03 – NUORO – COPERTURA NORD</b> .....	<b>163</b>
5.10.1	VERIFICA SUPERFICIALE	163
5.10.2	VERIFICA INTERSTIZIALE	163
<b>5.11</b>	<b>V.04 – NUORO – COPERTURA NORD</b> .....	<b>165</b>
5.11.1	VERIFICA SUPERFICIALE	165
5.11.2	VERIFICA INTERSTIZIALE	165
<b>5.12</b>	<b>V.05 – NUORO – COPERTURA NORD</b> .....	<b>168</b>
5.12.1	VERIFICA SUPERFICIALE	168
5.12.2	VERIFICA INTERSTIZIALE	168
<b>5.13</b>	<b>V.06 – NUORO – COPERTURA NORD</b> .....	<b>169</b>
5.13.1	VERIFICA SUPERFICIALE	169
5.13.2	VERIFICA INTERSTIZIALE	169
<b>5.14</b>	<b>V.07 – NUORO – COPERTURA NORD</b> .....	<b>170</b>
5.14.1	VERIFICA SUPERFICIALE	170
5.14.2	VERIFICA INTERSTIZIALE	170
<b>6</b>	<b>SIMULAZIONI DINAMICHE TERMOIGROMETRICHE - SASSARI</b> .....	<b>171</b>
<b>6.1</b>	<b>V.01 – SASSARI – PARETE NORD</b> .....	<b>172</b>
6.1.1	VERIFICA SUPERFICIALE	172
6.1.2	VERIFICA INTERSTIZIALE	172
<b>6.2</b>	<b>V.02 – SASSARI – PARETE NORD</b> .....	<b>173</b>
6.2.1	VERIFICA SUPERFICIALE	173
6.2.2	VERIFICA INTERSTIZIALE	173
<b>6.3</b>	<b>V.03 – SASSARI – PARETE NORD</b> .....	<b>174</b>
6.3.1	VERIFICA SUPERFICIALE	174
6.3.2	VERIFICA INTERSTIZIALE	174

<b>6.4</b>	<b>NV.01 – SASSARI – PARETE NORD</b> .....	<b>175</b>
6.4.1	VERIFICA SUPERFICIALE	175
6.4.2	VERIFICA INTERSTIZIALE	175
<b>6.5</b>	<b>NV.02 – SASSARI – PARETE NORD</b> .....	<b>178</b>
6.5.1	VERIFICA SUPERFICIALE	178
6.5.2	VERIFICA INTERSTIZIALE	178
<b>6.6</b>	<b>NV.03 – SASSARI – PARETE NORD</b> .....	<b>182</b>
6.6.1	VERIFICA SUPERFICIALE	182
6.6.2	VERIFICA INTERSTIZIALE	182
<b>6.7</b>	<b>NV.04 – SASSARI – PARETE NORD</b> .....	<b>184</b>
6.7.1	VERIFICA SUPERFICIALE	184
6.7.2	VERIFICA INTERSTIZIALE	184
<b>6.8</b>	<b>V.01 – SASSARI – COPERTURA NORD</b> .....	<b>186</b>
6.8.1	VERIFICA SUPERFICIALE	186
6.8.2	VERIFICA INTERSTIZIALE	186
<b>6.9</b>	<b>V.02 – SASSARI – COPERTURA NORD</b> .....	<b>188</b>
6.9.1	VERIFICA SUPERFICIALE	188
6.9.2	VERIFICA INTERSTIZIALE	188
<b>6.10</b>	<b>V.03 – SASSARI – COPERTURA NORD</b> .....	<b>190</b>
6.10.1	VERIFICA SUPERFICIALE	190
6.10.2	VERIFICA INTERSTIZIALE	190
<b>6.11</b>	<b>V.04 – SASSARI – COPERTURA NORD</b> .....	<b>191</b>
6.11.1	VERIFICA SUPERFICIALE	191
6.11.2	VERIFICA INTERSTIZIALE	191
<b>6.12</b>	<b>V.05 – SASSARI – COPERTURA NORD</b> .....	<b>194</b>
6.12.1	VERIFICA SUPERFICIALE	194
6.12.2	VERIFICA INTERSTIZIALE	194
<b>6.13</b>	<b>V.06 – SASSARI – COPERTURA NORD</b> .....	<b>195</b>
6.13.1	VERIFICA SUPERFICIALE	195
6.13.2	VERIFICA INTERSTIZIALE	195
<b>6.14</b>	<b>V.07 – SASSARI – COPERTURA NORD</b> .....	<b>196</b>
6.14.1	VERIFICA SUPERFICIALE	196
6.14.2	VERIFICA INTERSTIZIALE	196
<b>7</b>	<b>PROGETTO DI UN EDIFICIO UNIFAMILIARE</b> .....	<b>198</b>
<b>8</b>	<b>LA NORMATIVA PER GLI EDIFICI DI NUOVA COSTRUZIONE</b> .....	<b>200</b>
<b>9</b>	<b>IL COMPORTAMENTO ESTIVO DEGLI EDIFICI</b> .....	<b>204</b>
<b>10</b>	<b>EDIFICIO UNIFAMILIARE DI RIFERIMENTO</b> .....	<b>208</b>
<b>11</b>	<b>DIFFERENZE DI CALCOLO FRA LA NORMATIVA UNI TS 11300 E GLI ALGORITMI DI CALCOLO DEL SOFTWARE PROCASACLIMA 2013</b> .....	<b>211</b>
<b>12</b>	<b>PROGETTAZIONE PER LE CONDIZIONI CLIMATICHE DI CAGLIARI</b> .....	<b>213</b>
12.1	PROPOSTA BASE .....	213
12.2	INTERVENTO 1: DIMUZIONE DELLA TRASMITTANZA DEI COMPONENTI OPACHI ORIZZONTALI E VERTICALI AI LIMITI DI LEGGE PER GLI EDIFICI SOTTOPOSTI A RISTRUTTURAZIONE .....	217
12.3	INTERVENTO 2.1: DIMINUZIONE DELLA TRASMITTANZA DEI COMPONENTI OPACHI .....	220
12.4	INTERVENTO 2.2: ULTERIORE DIMINUZIONE DELLA TRASMITTANZA DEI COMPONENTI OPACHI .....	223
12.5	INTERVENTO 2.3: ULTERIORE DIMINUZIONE DELLA TRASMITTANZA DEI COMPONENTI OPACHI .....	226
12.6	INTERVENTO 3.1: DIMINUZIONE DELLA TRASMITTANZA DEI COMPONENTI TRASPARENTI .....	229

12.7	INTERVENTO 3.2: ULTERIORE DIMINUZIONE DELLA TRASMITTANZA DEI COMPONENTI TRASPARENTI.....	231
12.8	INTERVENTO 3.3: ULTERIORE DIMINUZIONE DELLA TRASMITTANZA DEI COMPONENTI TRASPARENTI.....	233
12.9	INTERVENTO 4: SCHERMATURA MOBILE DEGLI INFISSI ESTERNI.....	235
12.10	INTERVENTO 5.1: VENTILAZIONE NOTTURNA .....	238
12.11	INTERVENTO 5.2: VENTILAZIONE NOTTURNA .....	240
12.12	INTERVENTO 5.3: VENTILAZIONE NOTTURNA .....	242
12.13	INTERVENTO 6.1: AUMENTO DELLA CAPACITA' TERMICA AREICA INTERNA .....	244
12.14	INTERVENTO 6.2: AUMENTO DELLA CAPACITA' TERMICA AREICA INTERNA .....	247
12.15	INTERVENTO 6.3: AUMENTO DELLA CAPACITA' TERMICA AREICA INTERNA .....	250
12.16	INTERVENTO 6.4: AUMENTO DELLA CAPACITA' TERMICA AREICA INTERNA .....	253
12.17	INTERVENTO 6.5: AUMENTO DELLA CAPACITA' TERMICA AREICA INTERNA .....	256
12.18	INTERVENTO 7: DIMINUZIONE DEL COEFFICIENTE DI ASSORBIMENTO DI PARETE E COPERTURA.....	259
12.19	CONCLUSIONI .....	262
12.20	COMBINAZIONE DI INTERVENTI .....	263
12.21	TEMPERATURA INTERNA DI 27°C E 28°C .....	273
13	LA CASA IN CLT IN ITALIA .....	279
14	GRAFICI DI COMPARAZIONE .....	283
15	PROGETTO DI UN EDIFICIO A SCHIERA.....	294
16	CONCLUSIONI .....	304
	BIBLIOGRAFIA.....	305

# 1 INTRODUZIONE

L'Università degli studi di Cagliari e l'Università degli Studi di Sassari, nel 2009 hanno firmato una convenzione con l'Ente Foreste della Regione Sardegna e con l'Azienda Regionale per l'Edilizia Abitativa (AREA) con l'obiettivo di promuovere l'utilizzo di legno locale nella realizzazione di edifici sostenibili e avviare un programma di ricerca sperimentale volto allo sviluppo di un sistema costruttivo adatto all'uso del legno sardo nelle costruzioni.

Il sistema costruttivo individuato è il Cross Laminated Timber (CLT) ovvero i pannelli di legno massiccio a strati incrociati.

In questi anni le fasi portate a termine nella ricerca sono state le seguenti:

1. Caratterizzazione delle proprietà meccaniche di base del legname di produzione locale, con riferimento alle specie legnose più adatte alla crescita in Sardegna, identificate insieme all'Ente Foreste della Regione Sardegna;
2. Prove distruttive sulle tavole al fine di valutarne la resistenza;
3. Costruzione di alcuni prototipi di pannelli, prove distruttive e non distruttive sui pannelli per identificarne le proprietà meccaniche di resistenza e rigidità.

Il CLT è un sistema strutturale nato negli anni 90 in Germania. I pannelli sono composti da strati di tavole di conifera – da tre a sette - incollati uno all'altro e incrociati. Le tavole sono giuntate in direzione longitudinale tramite giunti incollati a pettine. Questo sistema permette l'utilizzo del legname che per dimensione o qualità non può essere utilizzato per produrre travi di legno.

I pannelli di legno massiccio a strati incrociati assumono le caratteristiche strutturali di lastre e piastre e per questo possono essere utilizzati, con minimi spessori, per realizzare pareti, solai e coperture.

I maggiori vantaggi del CLT sono i seguenti:

1. **SOSTENIBILITA' DEL MATERIALE:** avviando una filiera corta è possibile avere il materiale strutturale con il più basso impatto ambientale esistente;
2. **STABILITA' DIMENSIONALE:** l'incollaggio permette una eccellente stabilità dimensionale e i valori di ritiro e di rigonfiamento sono minimi e indicati nella scheda tecnica di ciascun produttore;
3. **COSTRUZIONE ANTISISMICA:** dal 2006 l'istituto IVALSA del Consiglio Nazionale delle Ricerche attraverso il progetto SOFIE (**S**istema **C**ostruttivo **F**iemme) ha intrapreso un programma di ricerca in collaborazione con il Laboratorio prove materiali e strutture della Facoltà di Ingegneria di Trento, il National Institute for Earth Science and Disaster Prevention (NIED), il Building Research Institute (BRI), l'Università di Shizuoka e il Centre for Better Living in Giappone, per studiare il comportamento di edifici costruiti in CLT sottoposti ad una serie simulata di terremoti in sequenza che riproducevano i peggiori terremoti conosciuti della storia: gli edifici hanno riportato danni minimi nelle giunzioni metalliche e riparabili con semplici interventi;

4. PREFABBRICAZIONE: i pannelli CLT permettono una totale prefabbricazione industriale con una precisione e un controllo di qualità che un normale cantiere non consente. Nello stabilimento di produzione dei pannelli è possibile, con macchine a controllo numerico, tagliare le aperture per le finestre o per il vano scala, è possibile montare gli infissi o i vari strati che compongono la parete finale;
5. TEMPI DI POSA IN OPERA RIDOTTI: il montaggio a secco tramite connettori metallici e la prefabbricazione riducono notevolmente i tempi di cantiere;
6. PRESTAZIONI TERMICHE: la bassa conducibilità del legno ( $\lambda = 0,13 \text{ W/mK}$ ) e l'elevata capacità termica ( $>2000 \text{ J/kgK}$ ) consentono di ottenere delle ottime prestazioni termiche in accoppiamento ad un adeguato spessore di coibentazione;
7. CARICO IMMEDIATO: gli edifici in CLT possono essere immediatamente sottoposti a carico.

La presente tesi di Dottorato si inserisce nel quadro più ampio della *sostenibilità degli edifici in legno* e ha come obiettivo lo studio delle caratteristiche termoigrometriche degli edifici in legno in un clima caldo come quello della Sardegna.

Come molte regioni d'Italia la Sardegna è caratterizzata da un clima tipico Mediterraneo con inverni miti, in cui la temperatura scende raramente al di sotto dello zero ed estati calde e prolungate in cui la temperatura raggiunge i 35°C- 40°C. La maggiore preoccupazione è la difesa dal caldo torrido estivo che, accompagnato spesso da elevata umidità, peggiora la temperatura percepita e il discomfort.

L'utilizzo del legno nella storia costruttiva sarda è limitato alla realizzazione di solai, infissi e architravi.

In realtà la Sardegna ha un'antica tradizione forestale. Attualmente l'isola è coperta per il 50,36 % da superficie forestale (*fonte* IFNC 2005 - Inventario nazionale delle foreste e dei serbatoi forestali di carbonio). Metà di questo patrimonio è composto da boschi propriamente detti mentre nell'altra metà rientrano arbusti e alberi con altezza fino a 4 metri e la macchia mediterranea. Circa l'85% dei boschi della Sardegna è composto da latifoglie (leccete e sugherete ai primi posti); circa l'8% da conifere e il 4% da impianti di arboricoltura da legno.

Molte foreste sono gestite dall'Ente Foreste della Regione Sardegna (che gestisce il 10% della superficie Regionale).

In passato l'estensione e la qualità di questo patrimonio boschivo era conosciuto in tutto il Regno e ha portato ad un uso intensivo e non controllato delle sue foreste per la realizzazione di navi e traversine ferroviarie.

Il Piano Forestale Ambientale Regionale (PFAR), redatto nel 2007, prevede un ulteriore incremento della superficie forestale e un possibile uso potrebbe essere, oltre che per la produzione di biomassa, per la produzione di legno a fini strutturali.

Negli ultimi anni numerose aziende anche sull'isola propongono la realizzazione di edifici realizzati in CLT. I pannelli sono di produzione Tedesca, Austriaca o Altoatesina. La sostenibilità del prodotto si scontra con

il consumo di carburante per il trasporto e con il conseguente aumento dei costi. La creazione di una filiera corta permetterebbe di creare nuovi prodotti, processi e servizi per l'utilizzo del legno sardo nelle costruzioni.

## 2 LA RICERCA

La ricerca si suddivide in due parti:

1. La prima parte riguarda lo studio igrometrico dei particolari costruttivi nelle condizioni climatiche della Sardegna. Lo scopo è quello di verificare l'assenza di condensa superficiale e interstiziale in accordo con la norma UNI EN 15026 e la crescita microbiologica sui materiali utilizzati.
2. La seconda parte riguarda la simulazione di un edificio unifamiliare e di un edificio a schiera realizzati in CLT.

L'obiettivo è di quantificare gli effetti degli interventi di progettazione "passiva" sui fabbisogni termici dell'edificio e di individuare delle soluzioni progettuali in grado di minimizzare il fabbisogno termico di raffrescamento e massimizzare la sensazione di comfort degli abitanti.

### 2.1 SIMULAZIONI DINAMICHE TERMOIGROMETRICHE

Sono stati studiati 14 componenti costruttivi di **parete** e **copertura** con il massimo utilizzo di materiali prodotti in Sardegna e traendo ispirazione dalle soluzioni progettuali proposte sul mercato.

I componenti costruttivi dell'edificio sono stati simulati attraverso il software WUFI PRO 5.3.

WUFI (**W**ärme **u**nd **F**euchte **I**nstationär – Transient Heat and Moisture) è una famiglia di software che consente il calcolo realistico del trasporto di calore e umidità in maniera monodimensionale e bidimensionale in componenti edilizi multistrato esposti alle condizioni climatiche esterne. E' stato sviluppato dal Fraunhofer Institute for Building Physics (IBP) con sede a Stoccarda.

Il Fraunhofer IBP ha concesso una licenza gratuita a tempo per la Ricerca di Dottorato.

WUFI si basa sulle conoscenze più recenti della diffusione del vapore e del trasporto di acqua nei materiali da costruzione ed è stato convalidato dalle misurazioni effettuate in laboratorio e sul campo di prove dell'IBP.

Il software utilizzato nella ricerca è la versione monodimensionale WUFI PRO 5.3.

La volontà di utilizzare WUFI PRO deriva dalla necessità di studiare, preventivamente, il comportamento termoigrometrico del legno nelle condizioni climatiche della Sardegna.

La sensazione comune dei progettisti è che la Sardegna abbia un clima spesso troppo umido perché questo non influenzi negativamente le prestazioni di un materiale organico come il legno.

La durata dei materiali da costruzione è influenzata infatti dall'umidità.

La presenza eccessiva di umidità può causare:

- Riduzione dell'isolamento termico;
- Crescita microbiologica (alghe, muffe, etc.);
- Sollecitazione meccanica attraverso il rigonfiamento causato dai cambiamenti di umidità e dalla cristallizzazione dei sali;

- Danni dovuti al gelo, alla marcescenza e alla corrosione.

Il comportamento termico e il comportamento igrometrico di un materiale sono strettamente connessi: un aumento dell'umidità del materiale favorisce la dispersione di calore e la situazione termica influisce sul trasporto di umidità. Pertanto i due fattori dovrebbero essere studiati insieme in quanto si influenzano vicendevolmente.

Il calcolo per la verifica termoigrometrica, previsto in Italia dalla UNI EN ISO 13788 che nel 2003 ha sostituito la UNI 10350:1999, è un metodo semplificato per lo studio del comportamento igrometrico delle strutture relativamente alla formazione di condensa superficiale e interstiziale.

La UNI EN ISO 13788 non considera alcuni fenomeni fondamentali:

1. La variazione delle proprietà dei materiali in funzione del contenuto di umidità;
2. La risalita capillare e il trasporto di umidità allo stato liquido all'interno dei materiali;
3. Il movimento dell'aria nei componenti, attraverso fessure o intercapedini;
4. La capacità igroscopica dei materiali.

Inoltre il metodo considera una condizione stazionaria con condizioni al contorno semplificate: non può riprodurre eventi di breve durata o l'effetto della pioggia e della radiazione solare sul comportamento igrometrico dei materiali.

La verifica interstiziale ai sensi della UNI EN ISO 13788:2013 considera il rischio di condensa delle stratigrafie dovuto al trasporto di umidità per sola diffusione del vapore. In regime stazionario, con temperature mensili considerate costanti, la temperatura e l'umidità relativa all'esterno e dentro gli ambienti determinano una certa pressione parziale di vapore. Le pressioni parziali di vapore e le temperature medie mensili esterne per le più importanti località Italiane sono riportate nella norma UNI 10349:1994.

Con una temperatura interna costante pari a 20°C e una umidità relativa interna del 65%, per compensare la differenza di pressione si crea un meccanismo di diffusione di vapore attraverso l'elemento costruttivo.

<b>CAGLIARI</b>				
<b>Mese</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Pressione esterna</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Pressione interna</b>
<b>ottobre</b>	19,4	1508	20,0	1519
<b>novembre</b>	15,5	1258	20,0	1519
<b>dicembre</b>	11,7	1150	20,0	1519
<b>gennaio</b>	10,3	972	20,0	1519
<b>febbraio</b>	10,8	922	20,0	1519
<b>marzo</b>	12,8	1010	20,0	1519
<b>aprile</b>	15,1	1179	20,0	1519
<b>maggio</b>	18,4	1384	20,0	1519
<b>giugno</b>	22,9	1717	20,0	1519
<b>luglio</b>	25,5	1974	20,0	1519
<b>agosto</b>	25,5	2029	20,0	1519
<b>settembre</b>	23,3	1936	20,0	1519

Da ottobre a maggio, con le condizioni interne definite precedentemente, il meccanismo di diffusione del vapore avviene dall'interno all'esterno ( $p_{vi} > p_{ve}$ ), da giugno a settembre il meccanismo di diffusione del vapore avviene dall'esterno verso l'interno ( $p_{ve} > p_{vi}$ ).

Il flusso di vapore, descritto dalla legge di Fick, è proporzionale alla differenza di vapore e alla permeabilità dei materiali della stratigrafia:

$$g_v = -\frac{\delta_0}{\mu} \times \nabla p$$

In cui:  $\delta_0$  = coefficiente di diffusione del vapore d'acqua dell'aria [kg/msPa]

$\mu$  = fattore di resistenza alla diffusione del vapore del materiale secco [-]

La verifica eseguita secondo UNI EN ISO 13788 prevede che si formi condensa all'interno della stratigrafia ogni volta che la pressione di vapore supera la pressione di saturazione.

A partire dal primo mese in cui è prevista condensazione, vengono considerate le condizioni medie mensili esterne per calcolare la quantità di acqua condensata o evaporata in ciascuno dei dodici mesi dell'anno. La quantità di acqua condensata alla fine dei mesi in cui è avvenuta condensazione viene confrontata con quella evaporata complessivamente durante il resto dell'anno.

Un componente edilizio è considerato idoneo se tutta la condensa riesce ad evaporare prima della successiva stagione di riscaldamento e se la quantità di condensa alla fine del periodo di condensazione è inferiore a 500 g/m<sup>2</sup> e ai valori riportati nella Tabella 1 per ciascun materiale:

MATERIALE	MASSA VOLUMICA [kg/m <sup>3</sup> ]	Q <sub>amm</sub> [g/m <sup>2</sup> ]
Laterizi	600 - 2000	≤ 500
Calcestruzzi	400 - 2400	≤ 500
Legnami e derivati	500 - 800	≤ 30 ρ x d
Intonaci e malte	600 - 2000	≤ 30 ρ x d
Fibre di natura organica:		
• con collanti resistenti all'acqua	300 - 700	≤ 20 ρ x d
• con collanti non resistenti all'acqua	300 - 700	≤ 5 ρ x d
Fibre minerali	10 - 150	≤ 5000 ρ x d [λ/(1-1,7 x λ)]
Materie plastiche cellulari	10 - 80	5000 ρ x d [λ/(1-1,7 x λ)]

*d è espresso in [m], ρ in [kg/m<sup>3</sup>], λ in [W/mK]*

Tabella 1: quantità limite di condensa alla fine del periodo di condensazione (UNI EN ISO 13788:2013)

La semplificazione introdotta nella UNI EN ISO 13788 comporta diverse fonti di errore:

1. La conduttività termica dipende dal contenuto di umidità dei materiali. Nel processo di condensazione/evaporazione viene ceduta e assorbita una certa quantità di calore che modifica la distribuzione delle temperature e i valori a saturazione. Questo fenomeno condiziona la quantità di acqua condensata ed evaporata;

2. In molti materiali può verificarsi un assorbimento capillare e trasporto di acqua liquida che possono cambiare la distribuzione dell'umidità;
3. I movimenti dell'aria attraverso i materiali, i giunti, le fessure e le intercapedini, possono cambiare la distribuzione dell'umidità per trasporto convettivo del vapore;
4. Le condizioni al contorno non sono costanti durante il mese;
5. La maggior parte dei materiali è igroscopica e può assorbire vapore d'acqua;
6. Si assume che il trasporto di vapore sia monodimensionale;
7. Si trascurano gli effetti della radiazione solare e della emissività delle superfici.

Il metodo di calcolo descritto nella norma può sovrastimare il rischio di formazione di condensa interstiziale e "risulta meno adatto per alcuni componenti edilizi e per alcuni climi" (fonte UNI EN ISO 13788:2013).

La diffusione del vapore è infatti solo uno dei meccanismi di trasporto di umidità nei materiali.

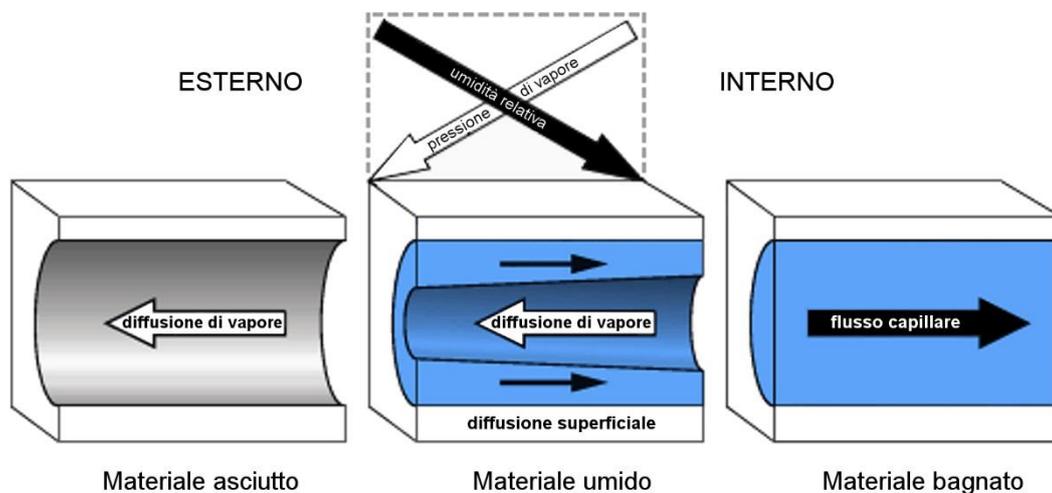


Figura 1: trasporto di umidità nei materiali porosi  
(fonte [http://www.wufi.de/index\\_e.html](http://www.wufi.de/index_e.html) → software/WUFI/Basics/Overview of WUFI/Figura 4)

Se il materiale è asciutto o non igroscopico il vapore si diffonde dall'interno verso l'esterno a causa del gradiente di pressione (secondo quanto riportato nella UNI EN ISO 13788).

Se il materiale è umido, oltre alla diffusione del vapore, si manifesta il fenomeno della diffusione superficiale dovuta alla presenza sulle pareti del capillare di uno strato di molecole di acqua adsorbite. Lo spessore di questo strato e la mobilità delle molecole aumenta con l'umidità relativa e la direzione è opposta alla diffusione del vapore la cui forza motrice è la differenza di pressione.

Infine, se il materiale è bagnato, i pori si riempiono d'acqua e inizia la conduzione capillare che è la forma più efficiente di trasporto dell'umidità. La forza motrice è la tensione capillare che deriva dalla tensione superficiale dell'acqua nel menisco in corrispondenza dell'interfaccia fra l'acqua e l'aria dei pori.

La norma UNI EN 15026:2008 “Valutazione del trasferimento di umidità mediante una simulazione numerica”, tiene conto dei fenomeni trascurati dalla UNI EN ISO 13788 in condizioni climatiche maggiormente rappresentative della realtà e considera tutti i meccanismi di trasporto dell’umidità nei materiali [Fig.1].

Il software WUFI è stato il primo ad essere validato per la norma UNI EN 15026 e consente il calcolo dinamico del comportamento termoigrometrico dei componenti edilizi esposti alle condizioni climatiche reali.

Il primo passo in una simulazione dinamica è quello di definire il clima esterno e il clima interno.

WUFI contiene i dati climatici di molte località del mondo ma non possiede i dati delle 4 città della Sardegna. Attraverso il software Meteonorm (Meteonorm è un software per la simulazione di dati climatici che utilizza i dati reali delle stazioni meteo) sono stati creati i file climatici utilizzabili con WUFI.

Per quanto riguarda la simulazione del clima interno WUFI permette di scegliere fra:

- **CLIMA INTERNO SINUSOIDALE**

La temperatura e l’umidità interna seguono un andamento annuale sinusoidale con valori massimi in estate e valori minimi in inverno. E’ possibile scegliere se il clima interno ha bassi, medi o alti valori di umidità.



Selezionare la curva sinusoidale:

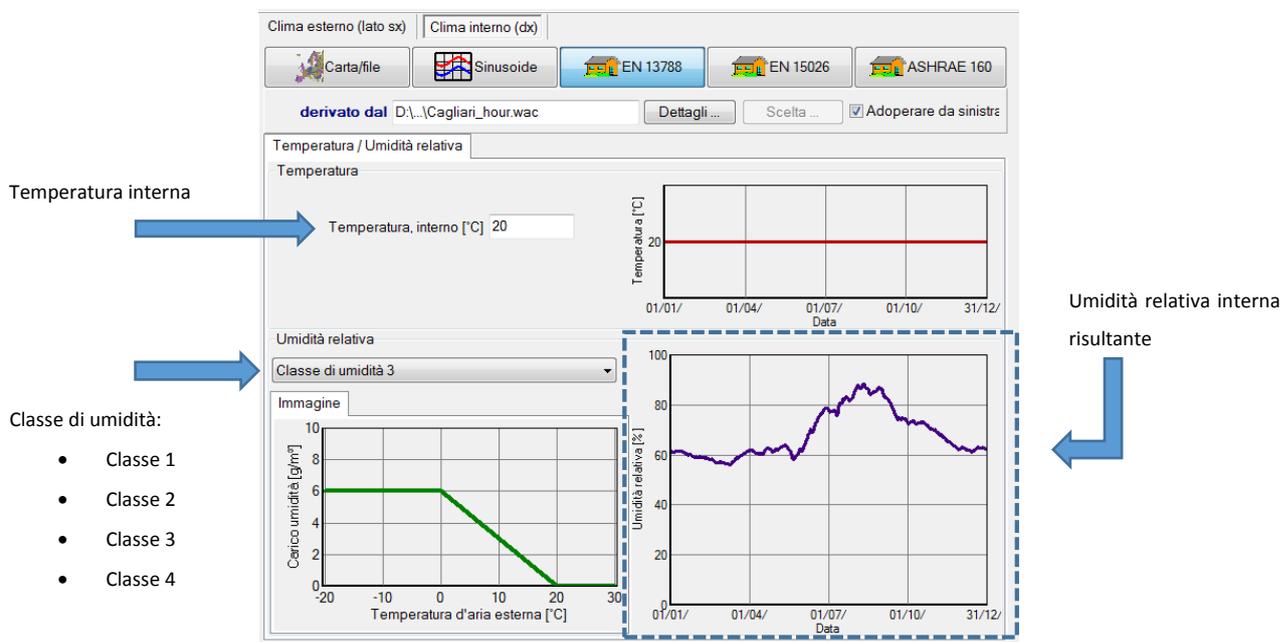
- Basso carico di umidità;
- Carico di umidità normale;
- Alto carico di umidità;
- Clima esterno;
- Parametri definiti dall’utente.

- **CLIMA INTERNO SECONDO UNI EN ISO 13788**

La norma UNI EN ISO 13788 propone un algoritmo per ricavare i valori dell'umidità interna dalle condizioni climatiche esterne. Vengono definite 4 classi di umidità mentre la temperatura interna viene considerata costante e pari a 20°C durante tutto l'anno.

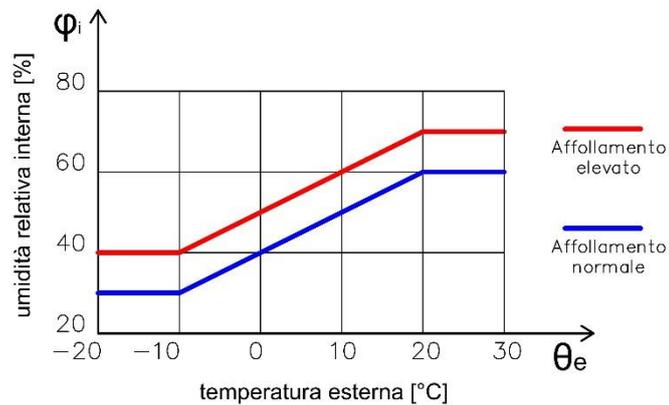
Sotto la temperatura esterna di 0°C il carico di umidità ha valori costanti. La classe di umidità 1 ha un valore di 2 g/m<sup>3</sup> e aumenta di 2 g/m<sup>3</sup> fino a raggiungere gli 8 g/m<sup>3</sup> per la classe 4. Si presume che, con temperature esterne superiori a 20°C, le porte e le finestre vengano lasciate aperte in modo che non ci sia nessun aumento dell'umidità interna. Per temperature superiori a 20°C il carico di umidità è di 0 g/m<sup>3</sup>.

Normalmente gli edifici residenziali hanno un carico di umidità inferiore a 4 g/m<sup>3</sup> (classe di umidità 1 o 2). I valori maggiori devono essere utilizzati solo con la sicurezza che il carico di umidità dell'edificio è davvero molto elevato.



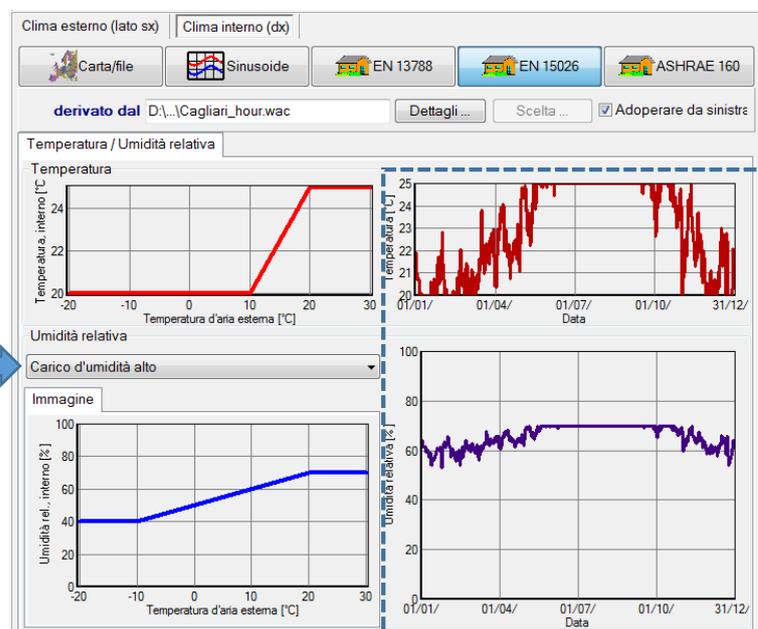
- **CLIMA INTERNO SECONDO UNI EN 15026**

La norma UNI EN 15026 fornisce un algoritmo diverso per derivare il clima interno dalle condizioni climatiche esterne. La temperatura e l'umidità interna dipendono linearmente dalla temperatura esterna entro certi limiti. Infatti per temperature esterne inferiori a 10°C la temperatura interna è mantenuta a 20°C, per temperature esterne comprese fra 10°C e 20°C la temperatura interna varia linearmente con quella esterna. Per temperature esterne superiori a 20°C la temperatura interna viene mantenuta a 25°C. L'umidità interna è calcolata con funzioni simili ed è possibile scegliere un'umidità interna normale (occupazione normale) ed elevata (affollamento). Considerando un carico di umidità normale, l'umidità interna è del 30% per temperature esterne inferiori a -10°C, 60% per temperature esterne maggiori di 20°C e varia linearmente fra questi due limiti per temperature intermedie. Per la condizione di elevata umidità l'umidità considerata è maggiore del 10%, ovvero varia fra il 40% in inverno e il 70% in estate.



Carico di umidità:

- normale;
- alto;



Condizioni interne risultanti

- **CLIMA INTERNO SECONDO ASHRAE 160**

Il clima interno viene calcolato secondo gli algoritmi specificati dallo Standard ASHRAE 160.

Nella ricerca è stato considerato il clima interno derivato dalle condizioni della UNI EN 15026 con un carico di umidità normale.

Una volta definito il clima esterno ed interno è necessario disegnare la stratigrafia oggetto di simulazione. WUFI ha una banca dati molto ampia, contenente sia materiali che sistemi costruttivi in commercio.

Per realizzare le stratigrafie di studio sono stati utilizzati i materiali presenti nella banca dati WUFI perché completi di tutti i dati igrometrici necessari per una simulazione dinamica. Infatti i dati vengono misurati in laboratorio su richiesta dei produttori dopo aver fornito un campione del materiale.

Una volta realizzata la stratigrafia il software considera in automatico il lato sinistro come il lato rivolto verso l'esterno (e quindi alla pioggia e alla radiazione solare) e il lato destro rivolto verso l'interno.

Sul lato sinistro (esterno) è possibile specificare:

1. Resistenza al passaggio di calore [ $m^2K/W$ ]
2. Rivestimenti (per definire il valore di  $S_d$  [m])
3. Coefficiente di assorbimento di onde corte e il coefficiente di emissione di onde lunghe
4. Assorbimento di pioggia

Sul lato destro (superficie interna):

1. Resistenza al passaggio di calore [ $m^2K/W$ ]
2. Rivestimenti (per definire il valore di  $S_d$  [m])

Si deve definire il contenuto di acqua iniziale nei singoli strati [ $kg/m^3$ ], la temperatura iniziale dell'elemento costruttivo, l'orientamento e l'inclinazione dell'elemento costruttivo rispetto al piano orizzontale.

E' possibile indicare delle POSIZIONI DI CONTROLLO ovvero la posizione di "telecamere" che registrano cosa avviene in determinati punti della stratigrafia durante tutta la verifica termoigrometrica. Le posizioni di controllo di default sono posizionate sulle superfici interna ed esterna ma è possibile aggiungerne delle altre nei punti della stratigrafia ritenuti più critici.

Una verifica termoigrometrica deve essere protratta per un certo periodo di tempo per capire se alcuni fenomeni sono dovuti ai cambiamenti stagionali, a errori progettuali/di esecuzione, a difetti nella struttura o ad umidità di costruzione.

Il tempo di simulazione minimo è di tre anni che permette l'assestamento igrometrico della struttura alle condizioni climatiche esistenti, ovvero il raggiungimento di un equilibrio dinamico.

Per questo motivo la simulazione è stata protratta per tre anni, dal 01/10/2013 al 01/10/2016 con risultati di calcolo orari.

Una volta inseriti tutti i dati è possibile far partire la simulazione di calcolo.

WUFI permette di valutare i risultati della simulazione in formato grafico, numerico e video.

Alla fine della simulazione il programma restituisce:

- 1) Il contenuto di acqua totale;
- 2) Il contenuto di acqua nei singoli strati;
- 3) La temperatura e il punto di rugiada nelle posizioni di monitoraggio;
- 4) La temperatura e l'umidità relativa nelle posizioni di monitoraggio;
- 5) Le isoplete (coppie di temperatura e umidità relativa).

L'obiettivo delle simulazioni dinamiche è capire cosa avviene nel legno.

L'igroscopicità del legno è una proprietà del materiale permanente e non eliminabile. Il legno manifesta un continuo interscambio di umidità con l'aria fino a raggiungere una condizione di equilibrio igrometrico con l'ambiente. Per questo motivo la verifica stazionaria secondo UNI EN ISO 13788, trascurando questa caratteristica del materiale, avrebbe potuto restituire risultati non veritieri.

Sono state simulate 7 stratigrafie di parete (4 pareti non ventilate e 3 pareti ventilate) e 7 stratigrafie di copertura nelle condizioni climatiche esterne di Cagliari, Oristano, Nuoro e Sassari.

E' stato considerato l'orientamento nord in quanto le condizioni climatiche nelle 4 città sono più critiche per questo orientamento (pioggia battente e assenza di irraggiamento), per un totale di 56 simulazioni.

Nelle stratigrafie in esame vengono considerati, oltre al CLT, materiali isolanti degradabili come il sughero, il lino e i pannelli di legno-cemento.

Vengono svolte due verifiche: una superficiale e una interstiziale.

La verifica superficiale viene eseguita dal confronto fra la temperatura superficiale del materiale esposto alle condizioni climatiche interne e la temperatura di rugiada. E' necessario verificare che la temperatura superficiale si mantenga sempre superiore alla temperatura di rugiada per evitare fenomeni di condensa superficiale.

La verifica superficiale viene eseguita anche considerando la possibile proliferazione microbiologica.

Il criterio fondamentale per la crescita microbiologica è l'umidità che può derivare sia dalle condizioni del substrato ma può essere ottenuta anche dall'aria come umidità relativa [Fig.2].

Ogni fungo ha un'umidità relativa ottimale ma gli studi confermano che un'umidità relativa superiore al 90% è ideale per la maggior parte dei funghi.

I dati di letteratura dimostrano che la crescita microbiologica è possibile in un intervallo di temperature molto ampio comprese fra 0°C e 50°C. Le temperature che si registrano all'interno di una stratigrafia o sulle superfici di un edificio sono quindi adatte alla crescita microbiologica. La temperatura influenza piuttosto il "tasso di crescita": i diversi tipi di funghi hanno una velocità di crescita ottimale che dipende dalla temperatura, perché questa influenza l'attività enzimatica e il metabolismo.

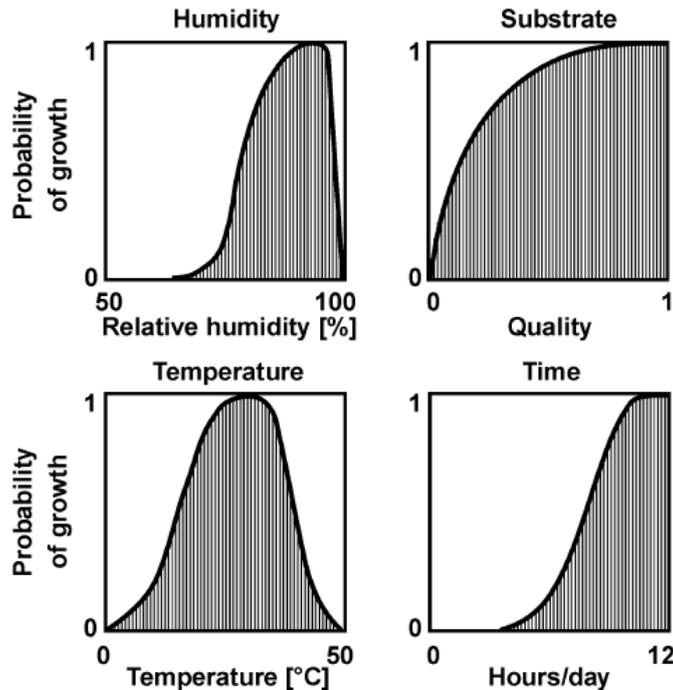


Figura 2: valutazione qualitativa delle condizioni per la crescita microbologica  
 (fonte: Fraunhofer IBP – Sedlbauer, PREDICTION OF MOULD FUNGUS FORMATION ON THE SURFACE OF AND INSIDE BUILDING COMPONENTS, Dissertation Universität Stuttgart, 2001)

Temperatura e umidità relativa devono essere considerate in combinazione fra loro in quanto il valore minimo o ottimale dell'umidità relativa per la proliferazione di un tipo di fungo cambia a seconda della temperatura e viceversa.

Per questo motivo in ambito scientifico sono state realizzate delle linee di uguale crescita (Isoplete) date dalla combinazione di questi due fattori.

Un altro aspetto rilevante è il contenuto di nutrienti del substrato. Nei materiali edili i nutrienti a disposizione per la crescita microbologica sono in quantità inferiore rispetto al substrato di coltura ottimale rappresentato dal terreno.

I materiali si possono suddividere in 4 categorie:

- SUBSTRATO 0: terreno di coltura ottimale;
- SUBSTRATO I: materiali da costruzione biologicamente riciclabili come carta da parati, legno, cartongesso, materiali biodegradabili;
- SUBSTRATO II: materiali da costruzione con strutture porose in superficie, materiali minerali, alcuni tipi di legno e gli isolanti che non rientrano nella categoria I;
- SUBSTRATO III: materiali da costruzione che non sono degradabili e che sono privi di nutrienti.

Nella ricerca vengono considerati solo i substrati I e II e le isoplete relative.

Le curve isoplete limite [LIM B I – LIM B II in cui LIM= Lowest Isopleth for Mould e B= bau] sono basate sulle caratteristiche di umidità e temperatura minime per la proliferazione microbologica [Fig.3].

LIM B I riguarda i materiali che appartengono al SUBSTRATO I mentre LIM B II riguarda i materiali che appartengono al SUBSTRATO II. E' necessario verificare che l'andamento di temperatura-umidità del materiale si mantenga sempre al di sotto delle curve isoplete limite. Nell'area delimitata dalla curva limite per ciascun substrato le condizioni di temperatura e umidità non permettono la crescita microbologica.

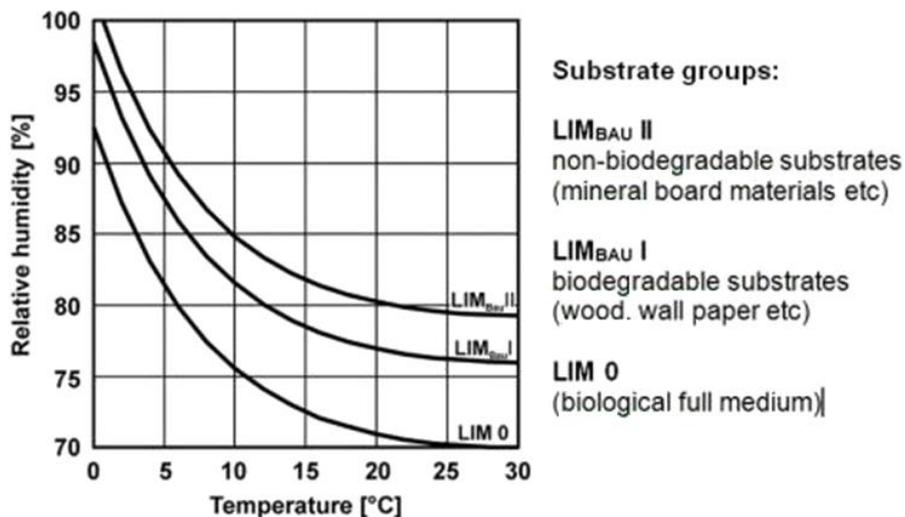


Figura 3: Lowest Isoleth for Mould – isoplete limite per la crescita microbologica  
 (fonte: Fraunhofer IBP – Sedlbauer, PREDICTION OF MOULD FUNGUS FORMATION ON THE SURFACE OF AND INSIDE BUILDING COMPONENTS, Dissertation Universität Stuttgart, 2001)

Il quarto fattore più importante è il tempo. Gli studi dimostrano che a seconda delle condizioni al contorno e del materiale, sono necessari tempi differenti per la crescita di differenti specie microbologiche.

Poiché le condizioni al contorno (temperatura e umidità) in un edificio sono transitorie il fattore tempo è il più difficile da quantificare.

La proliferazione microbologica sui materiali ha inizio con valori di umidità relativa inferiori rispetto a quelli necessari per la formazione di acqua in forma liquida.

Per questo nella ricerca è stato considerato come valore limite un'umidità relativa del 90% con picchi del 95% per poche ore al giorno. La stessa verifica viene svolta anche sulle superfici dei materiali esposti all'aria in quiete delle intercapedini.

Altri fattori di influenza per la crescita microbologica, che non vengono considerati nella ricerca sono: il PH, il contenuto di sale del substrato, la luce, il contenuto di ossigeno, la diffusione delle spore.

La verifica interstiziale viene eseguita considerando il contenuto di acqua totale della stratigrafia.

Il contenuto di acqua totale dall'inizio alla fine della simulazione non deve aumentare e se questo avviene è necessario verificare che non aumenti il massimo contenuto di acqua annuale nei tre anni di simulazione.

L'aumento del contenuto di acqua tra inizio e fine della simulazione non sempre è dovuto ad un accumulo dannoso di umidità nei materiali ma può essere dovuto alla necessità di alcuni materiali di raggiungere un equilibrio dinamico con l'ambiente in un tempo più lungo dei tre anni imposti dal calcolo. Per verificare questa ipotesi la simulazione viene ripetuta in un tempo di calcolo più lungo (10 anni).

Il dato sul contenuto di acqua totale non è sufficiente per garantire l'assenza di condensa interstiziale: potrebbe esserci uno squilibrio nella distribuzione del contenuto di acqua a danno dei materiali maggiormente degradabili.

Per questo viene eseguita la verifica sui singoli materiali.

Viene verificato che il contenuto di acqua finale sia inferiore a quello iniziale e che il massimo contenuto di acqua (in % di massa) si mantenga inferiore ai seguenti valori:

- Legno < 20%
- Materiali derivati dal legno e materiali fibrosi vegetali < 18%

I dati di letteratura dimostrano che al di sotto di questi valori le prestazioni dei materiali (meccaniche, termiche, etc.) rimangono inalterate. I valori di acqua limite possono essere superati per un periodo di tempo non superiore ai 3 mesi.

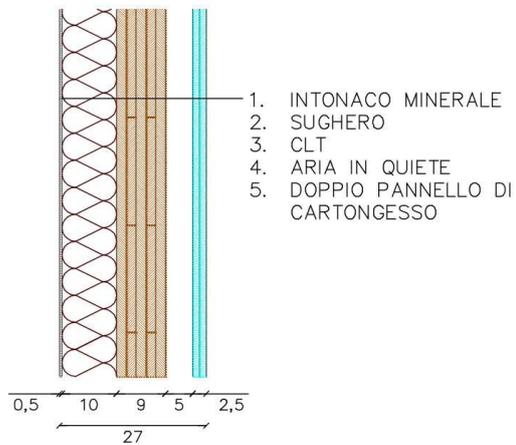
Qualora ci sia un aumento del contenuto di acqua fra l'inizio e la fine della simulazione viene verificato che il massimo contenuto di acqua decresca di anno in anno o che, attraverso una simulazione di durata pari a 10 anni, si possa stabilire la tendenza del materiale a raggiungere un equilibrio dinamico con l'ambiente in un tempo superiore ai tre anni di calcolo imposti.

Per gli altri materiali di origine organica come il sughero, non avendo a disposizione dei dati di letteratura o dei valori sul contenuto di acqua limite forniti dalle aziende produttrici, la verifica viene svolta considerando l'umidità relativa dell'aria. L'umidità relativa deve rimanere al di sotto del 95% affinché siano garantite le prestazioni del materiale.

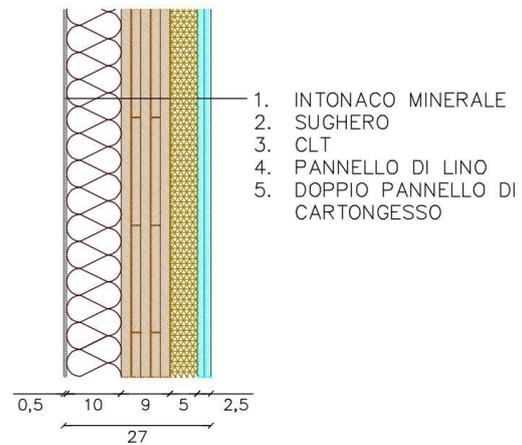
Questo valore può essere superato per un periodo di tempo non superiore ai 3 mesi.

## PARTICOLARI COSTRUTTIVI: PARETI NON VENTILATE

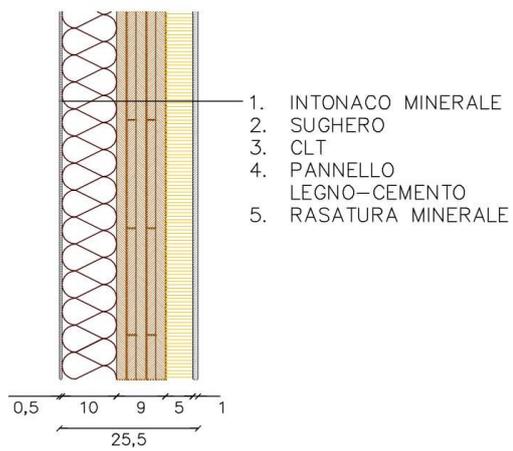
NON VENTILATA.01 (NV.01)



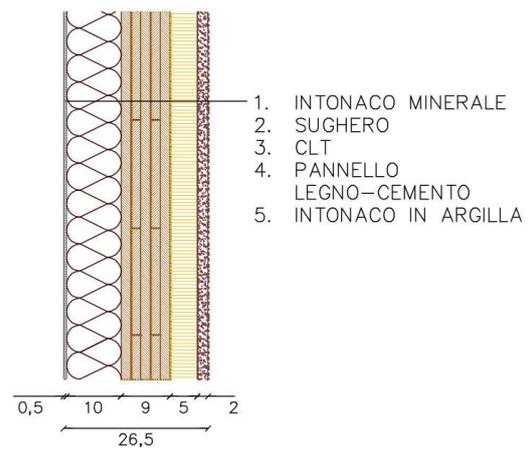
NON VENTILATA.02 (NV.02)



NON VENTILATA.03 (NV.03)

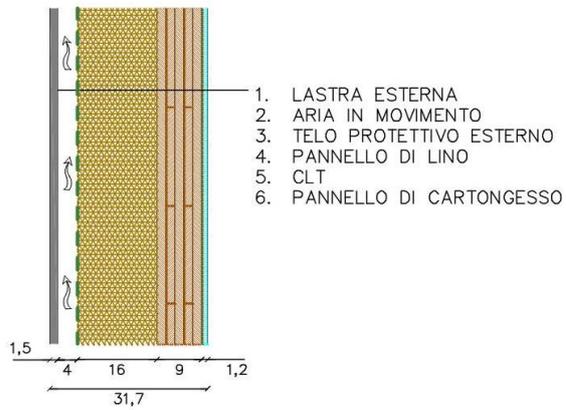


NON VENTILATA.04 (NV.04)

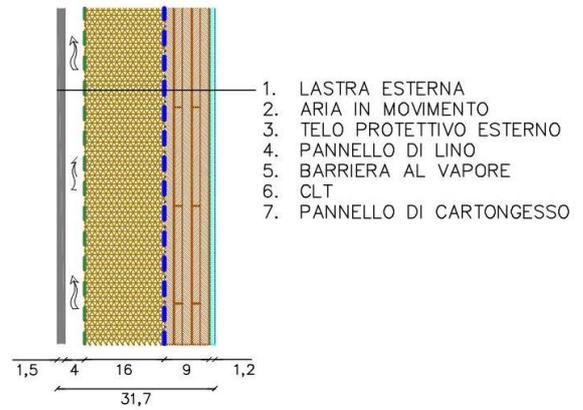


## PARTICOLARI COSTRUTTIVI: PARETI VENTILATE

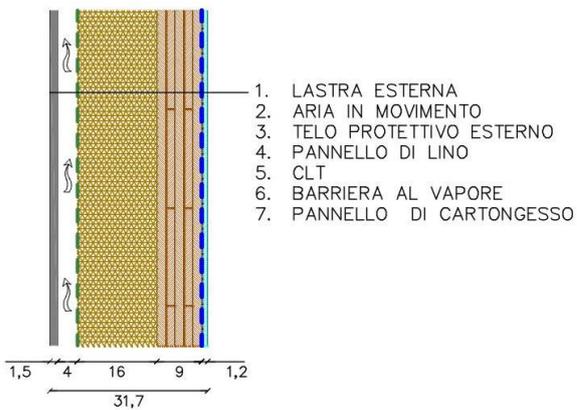
VENTILATA.01 (V.01)



VENTILATA.02 (V.02)

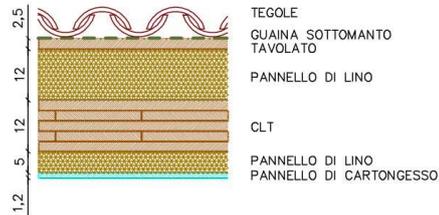


VENTILATA.03 (V.03)

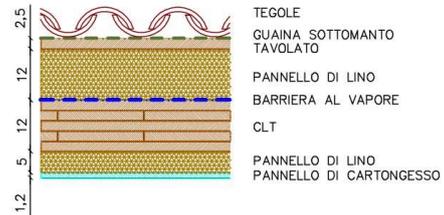


## PARTICOLARI COSTRUTTIVI: COPERTURE

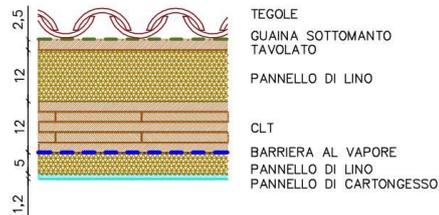
COPERTURA VENTILATA 01 (V.01)



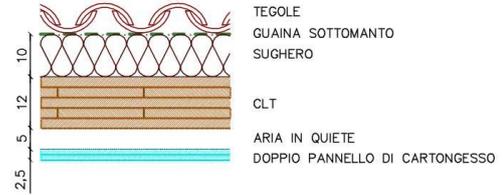
COPERTURA VENTILATA 02 (V.02)



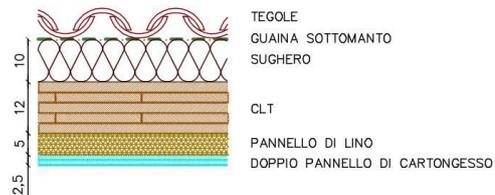
COPERTURA VENTILATA 03 (V.03)



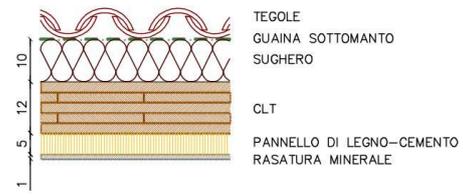
COPERTURA VENTILATA 04 (V.04)



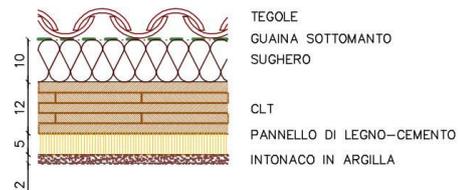
COPERTURA VENTILATA 05 (V.05)



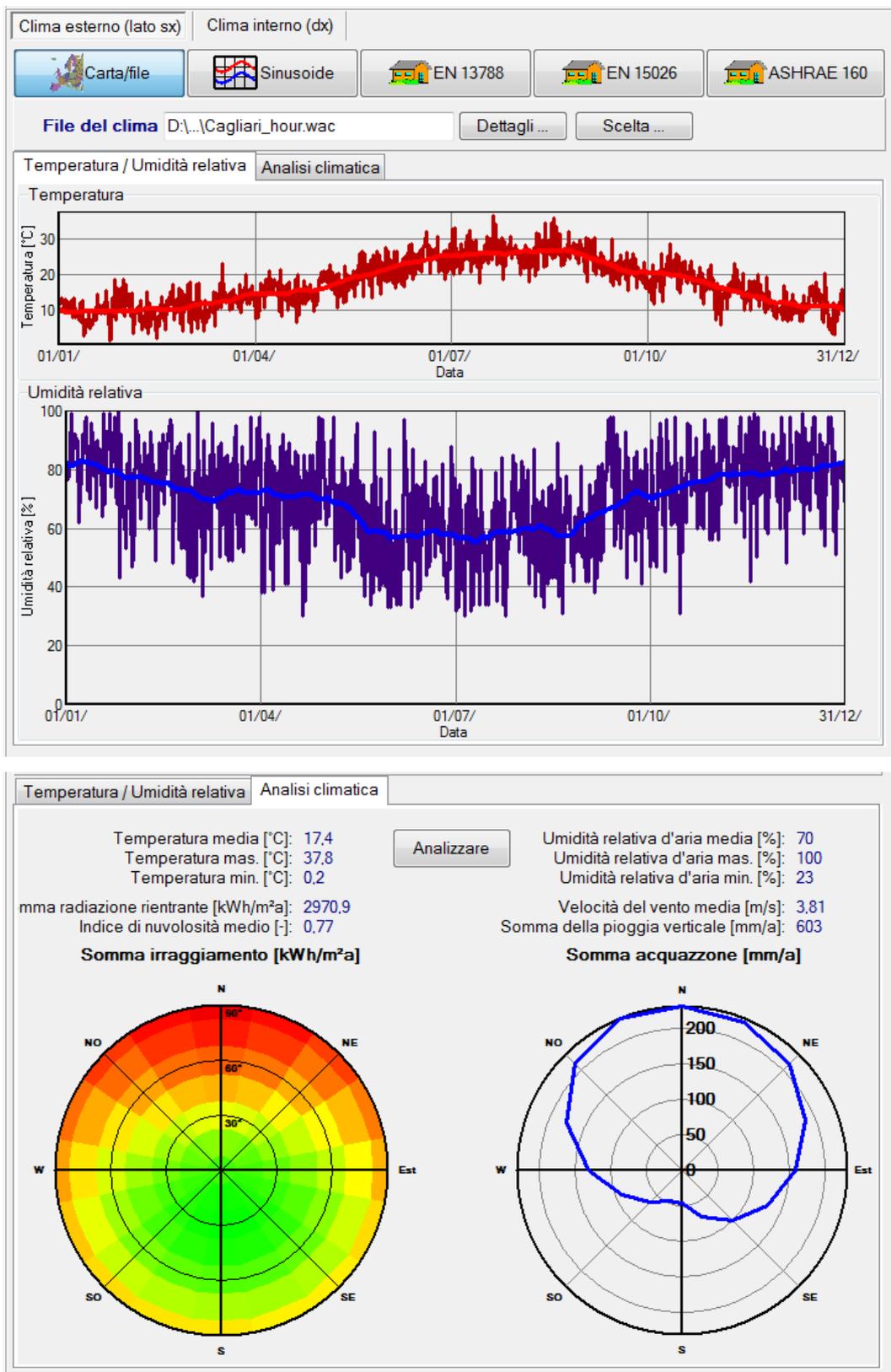
COPERTURA VENTILATA 06 (V.06)



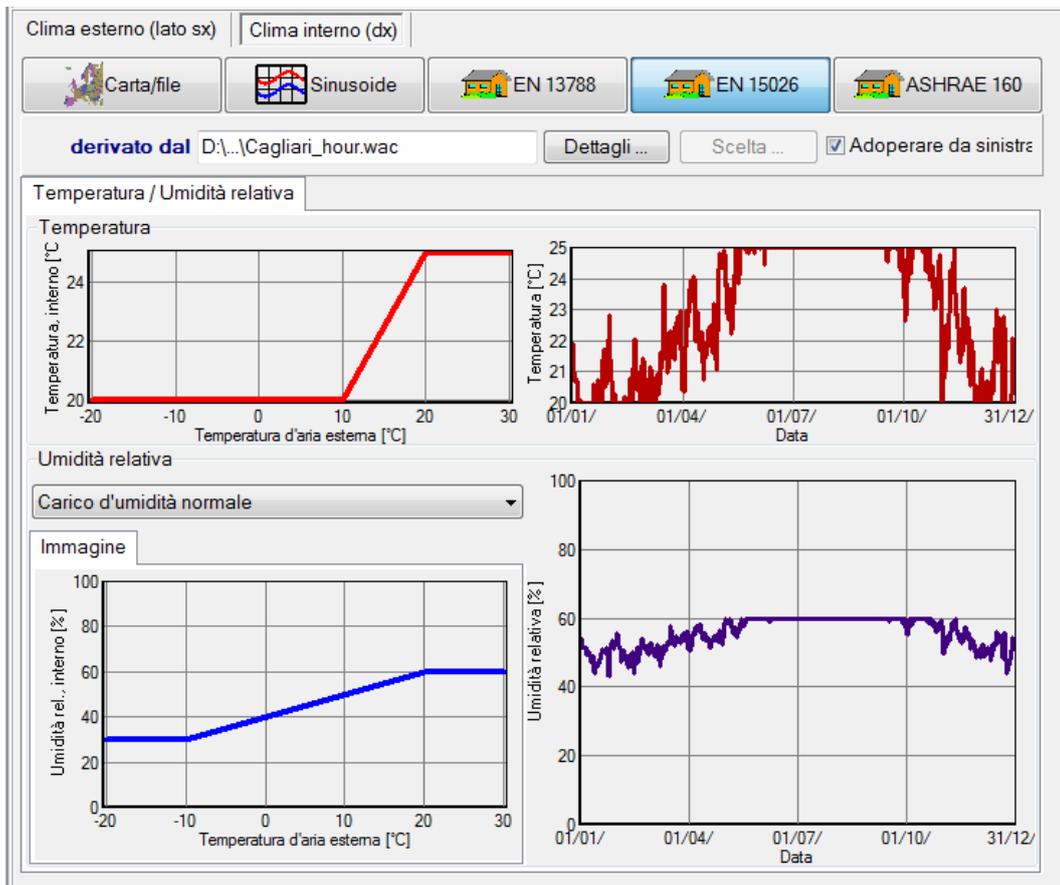
COPERTURA VENTILATA 07 (V.07)



### 3 SIMULAZIONI DINAMICHE TERMOIGROMETRICHE – CAGLIARI



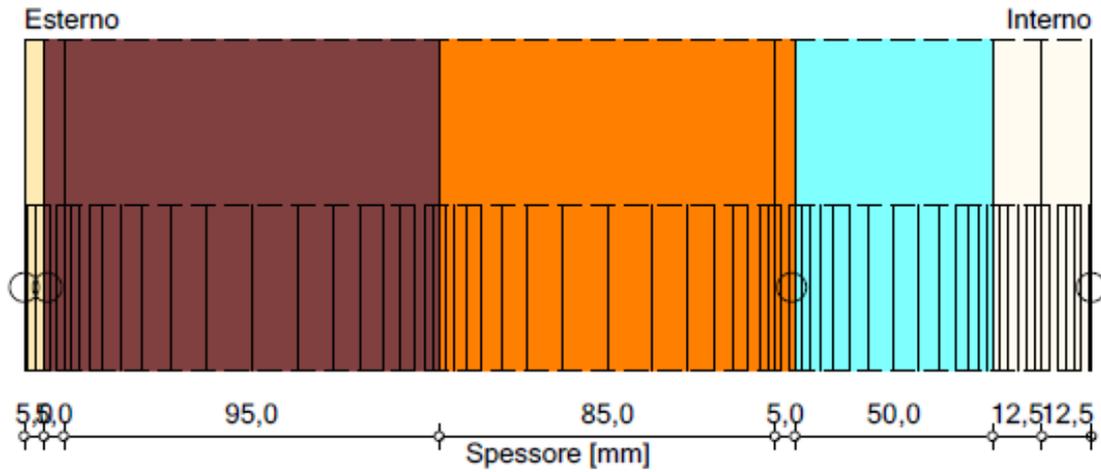
L'orientamento a nord presenta, per il clima di Cagliari, la condizione più critica in quanto le superfici sono esposte alla pioggia battente e a temperature inferiori per assenza di irraggiamento.



Il clima interno è stato calcolato secondo UNI EN 15026 con un carico di umidità normale.

### 3.1 SIMULAZIONE 01: CAGLIARI – PARETE NORD – NON VENTILATA 01 (NV.01)

#### Variante: NV.01 - PARETE NORD - CAGLIARI - UNI EN 15026



○ - Posizioni monitor

#### Materiali :

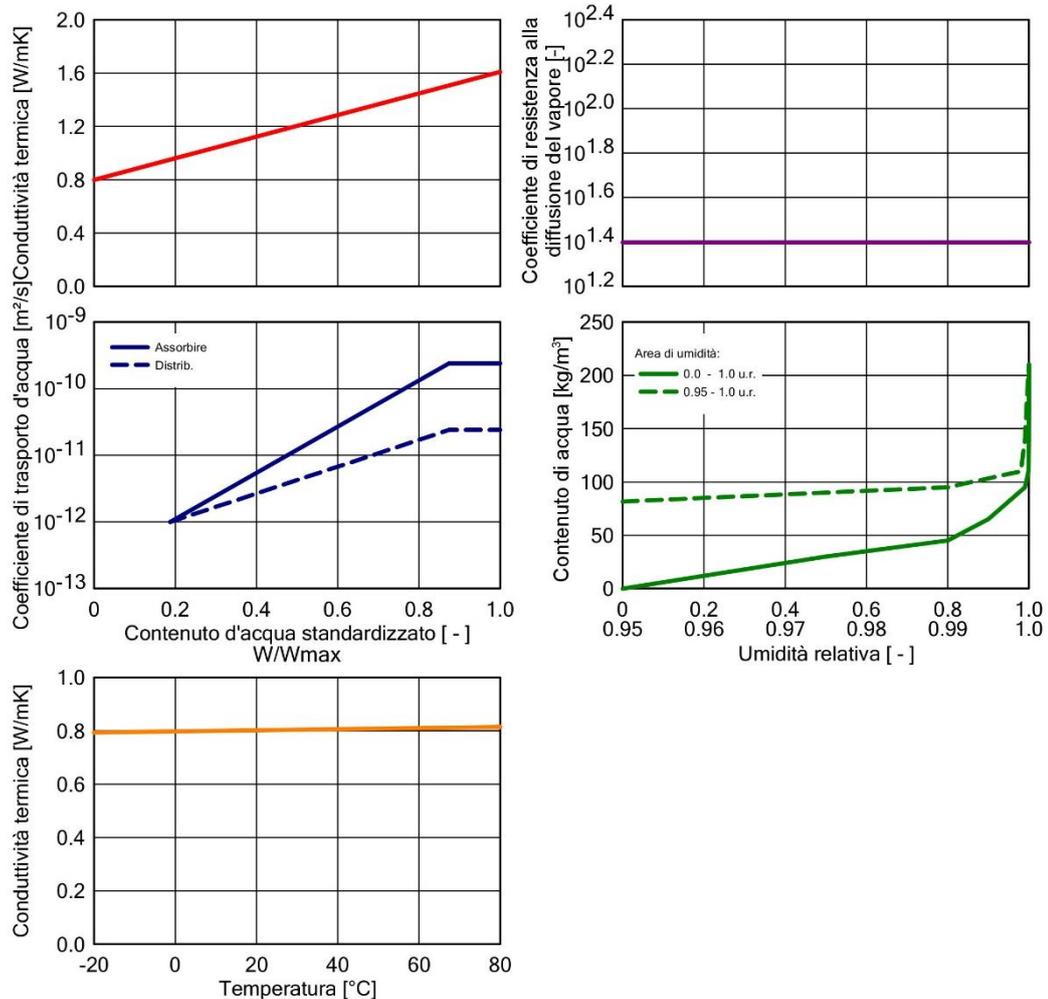
-  - \*Intonaco esterno minerale (valore w: 0.1 kg/m<sup>2</sup>h<sup>0.5</sup>)
-  - \*Sughero (5 mm)
-  - \*Sughero (95 mm)
-  - \*CLT (85 mm)
-  - \*CLT (5 mm)
-  - \*Strato d'aria 50 mm; senza accumulo umidità aggiuntiva
-  - \*Pannello di cartongesso
-  - \*Pannello di cartongesso

## MATERIALE: INTONACO ESTERNO MINERALE

Materiale : \*Intonaco esterno minerale (valore w: 0.1 kg/m<sup>2</sup>h0.5)

### Riassunto dei valori d'ingresso

Indice	Unità	Valore
Densità a secco	[kg/m <sup>3</sup> ]	1900,0
Porosità	[m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	0,24
Capacità termica a secco	[J/kgK]	850,0
Conducibilità termica a secco ,10°C	[W/mK]	0,8
Coefficiente di resistenza della diffusione di vapore acqueo	[ - ]	25,0
Contenuto d'umidità di riferimento	[kg/m <sup>3</sup> ]	45,0
Libera saturazione acqua	[kg/m <sup>3</sup> ]	210,0
Fattore di assorbimento d'umidità	[kg/m <sup>2</sup> s <sup>0.5</sup> ]	0,00167
Aumento della conducibilità termica	[%/M.-%]	8,0
Maggiorazione conducibilità termica, temp.	[W/mK <sup>2</sup> ]	0,0002



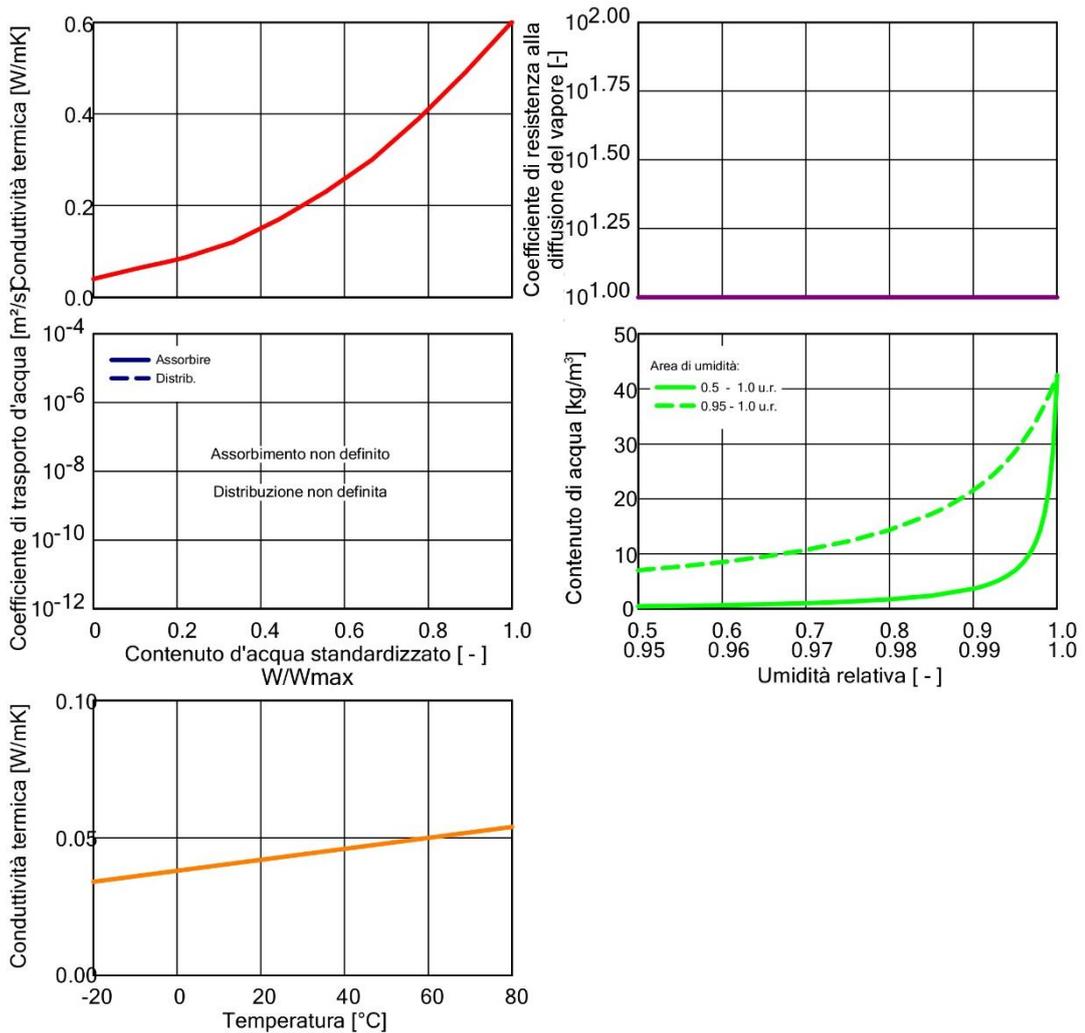
La scheda presenta i dati del materiale utilizzati dal software WUFI per le simulazioni.

## MATERIALE: SUGHERO

Materiale : \*Sughero

### Riassunto dei valori d'ingresso

Indice	Unità	Valore
Densità a secco	[kg/m <sup>3</sup> ]	150,0
Porosità	[m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	0,9
Capacità termica a secco	[J/kgK]	1880,0
Conducibilità termica a secco ,10°C	[W/mK]	0,04
Coefficiente di resistenza della diffusione di vapore acqueo	[-]	10,0
Maggiorazione conduttività termica, temp.	[W/mK <sup>2</sup> ]	0,0002

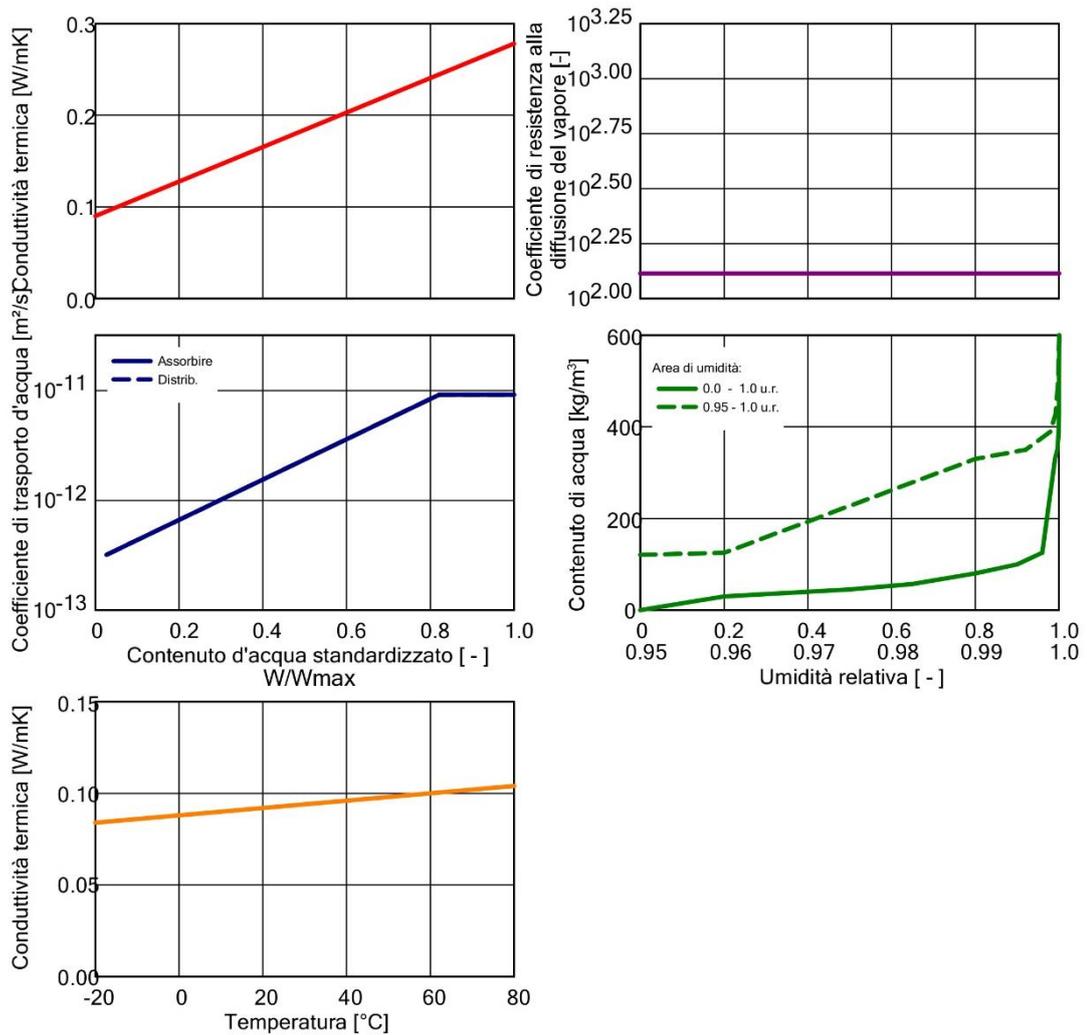


## MATERIALE: CLT

Materiale : \*CLT

### Riassunto dei valori d'ingresso

Indice	Unità	Valore
Densità a secco	[kg/m <sup>3</sup> ]	455,0
Porosità	[m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	0,73
Capacità termica a secco	[J/kgK]	1500,0
Conducibilità termica a secco ,10°C	[W/mK]	0,09
Coefficiente di resistenza della diffusione di vapore acqueo	[ - ]	130,0
Aumento della conducibilità termica	[%/M.-%]	1,3
Maggiorazione conducibilità termica, temp.	[W/mK <sup>2</sup> ]	0,0002

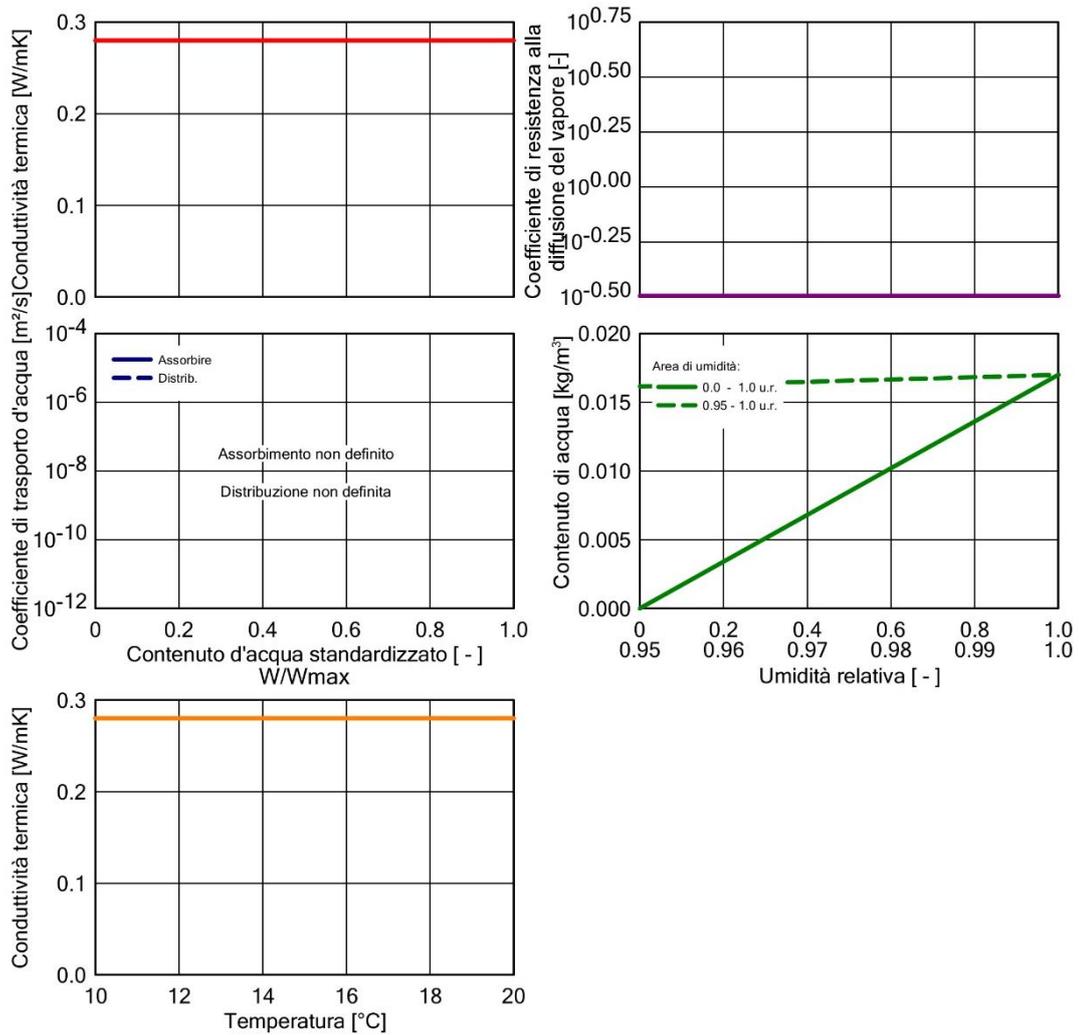


## MATERIALE: STRATO DI ARIA

Materiale : \*Strato d'aria 50 mm; senza accumulo umidità aggiuntiva

### Riassunto dei valori d'ingresso

Indice	Unità	Valore
Densità a secco	[kg/m <sup>3</sup> ]	1,3
Porosità	[m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	0,999
Capacità termica a secco	[J/kgK]	1000,0
Conducibilità termica a secco ,10°C	[W/mK]	0,28
Coefficiente di resistenza della diffusione di vapore acqueo	[ - ]	0,32

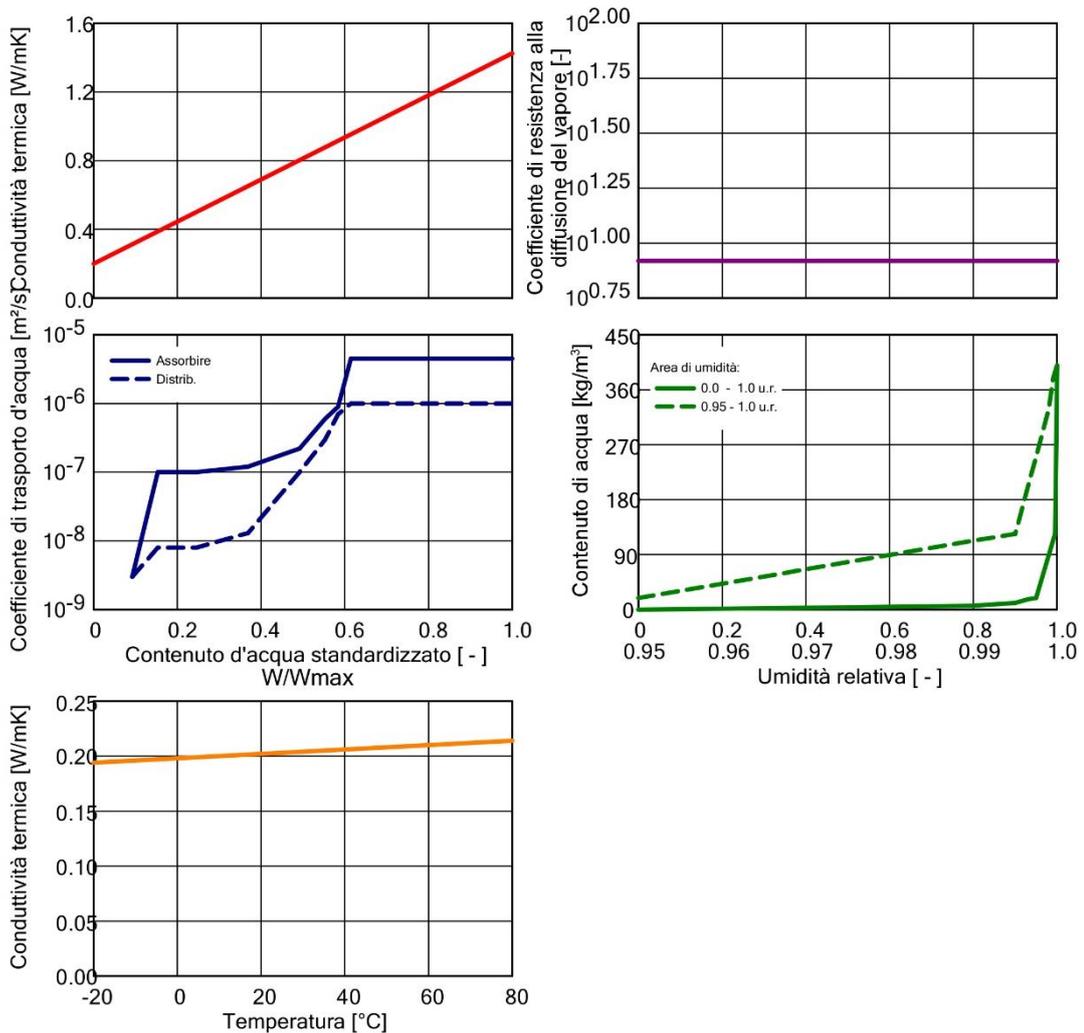


## MATERIALE: PANNELLO DI CARTONGESSO

Materiale : Pannello di cartongesso

Riassunto dei valori d'ingresso

Indice	Unità	Valore
Densità a secco	[kg/m <sup>3</sup> ]	850,0
Porosità	[m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	0,65
Capacità termica a secco	[J/kgK]	850,0
Conducibilità termica a secco , 10°C	[W/mK]	0,2
Coefficiente di resistenza della diffusione di vapore acqueo	[ - ]	8,3
Aumento della conducibilità termica	[%/M.-%]	8,0
Maggiorazione conducibilità termica, temp.	[W/mK <sup>2</sup> ]	0,0002



### 3.1.1 VERIFICA SUPERFICIALE

Ai fini dell'assenza di condensa superficiale, la temperatura dello strato esposto alle condizioni climatiche interne deve essere superiore alla temperatura di rugiada.

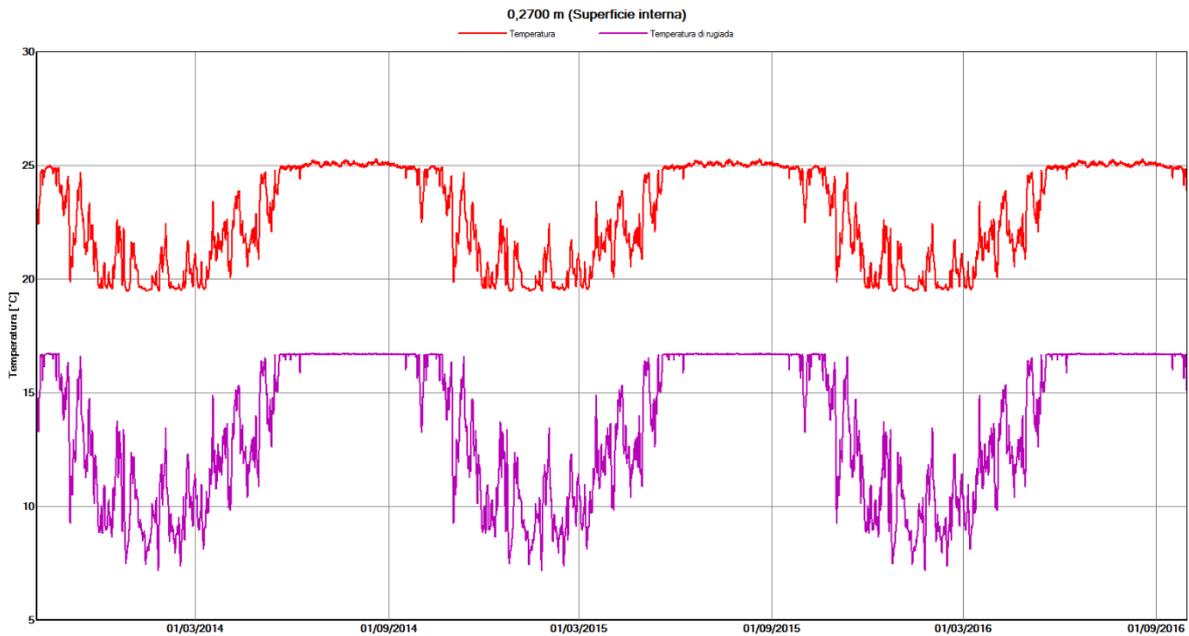


Figura 4: NV.01 - temperatura superficiale (linea rossa) e temperatura di rugiada (linea viola)

Lo strato interno di cartongesso non presenta problemi di condensa superficiale.

Devono essere verificate anche le condizioni ideali per la crescita microbologica, determinate dalle coppie di temperatura e umidità relativa.

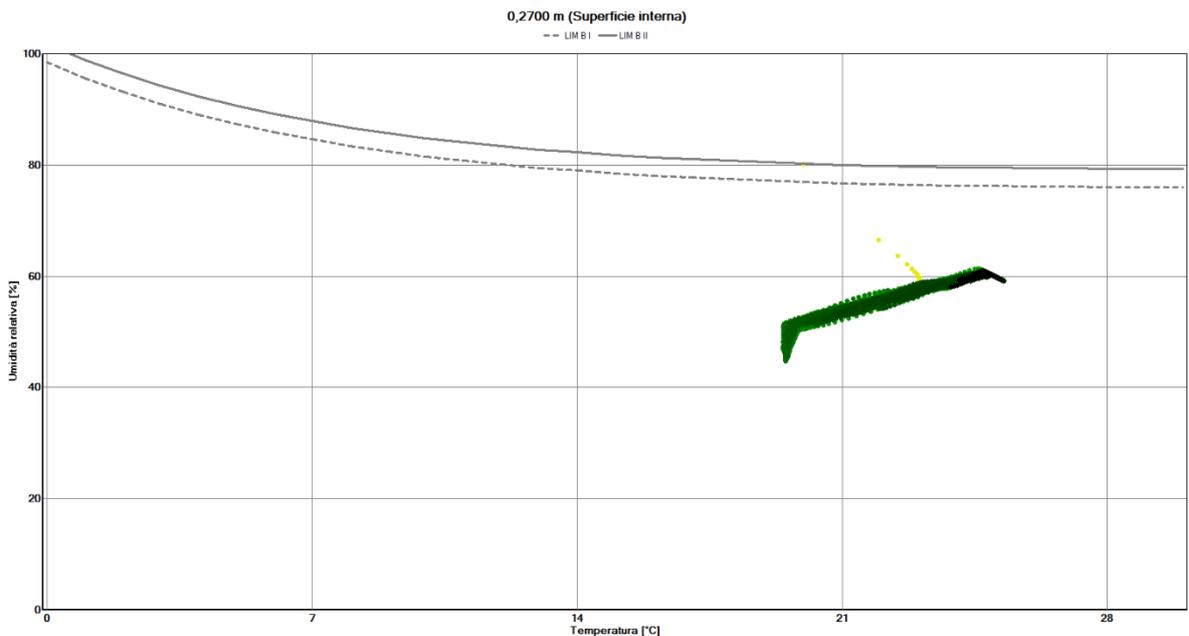


Figura 5: NV.01 – isoplete limite per la crescita microbologica sulla superficie interna di cartongesso

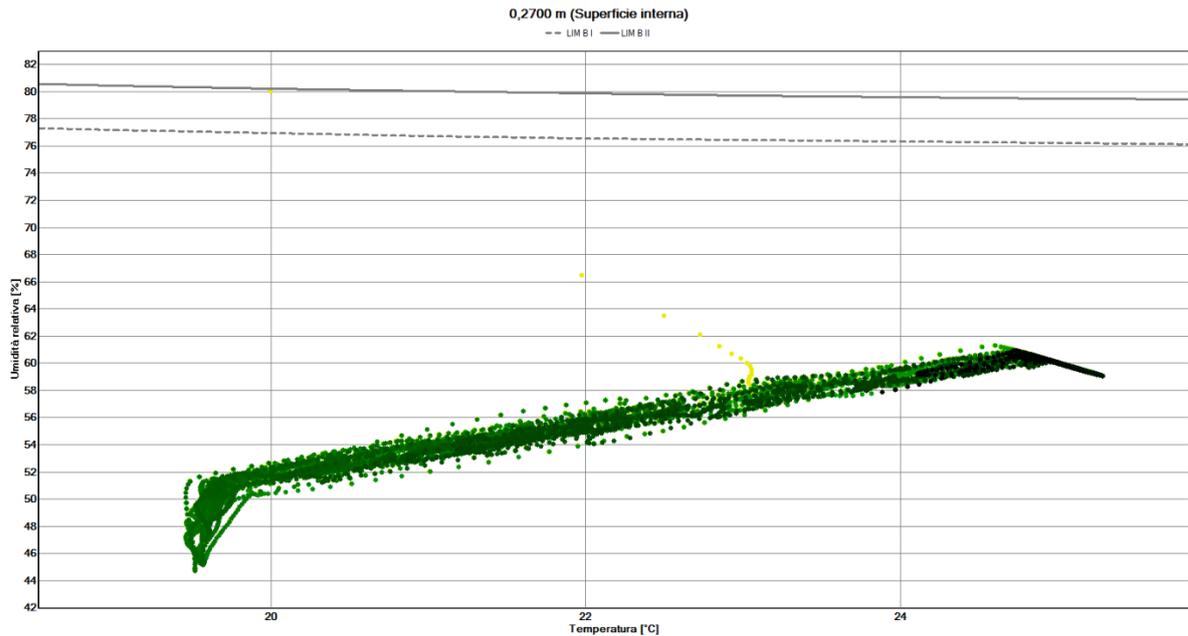


Figura 6: zoom di figura 5

Ogni punto del grafico [Fig.5] rappresenta la condizione termoigrometrica sulla superficie interna. Il colore dei punti indica l'istante in cui le condizioni di umidità relativa [%] e temperatura [°C] si verificano: all'inizio della simulazione i punti sono gialli e progressivamente sempre più verdi fino al nero.

Le curve isoplete limite [LIM B I – LIM B II in cui LIM= Lowest Isopleth for Mould e B= bau] sono basate sulle caratteristiche di umidità e temperatura minime per la proliferazione microbiologica.

**LIM B I** riguarda i materiali biodegradabili (come il legno, il cartongesso, alcuni isolanti, etc.) mentre **LIM B II** riguarda i materiali edili non biodegradabili (come i materiali minerali).

Il grafico riportato in figura 6 è un ingrandimento del grafico di figura 5. Si nota un punto giallo a adiacente al LIM B II. Questo punto rappresenta la prima ora di simulazione in cui sono imposte delle condizioni severe che prevedono un'umidità relativa dell'80%, rappresentando una situazione realistica di cantiere. La simulazione considera un edificio finito in cui l'ambiente interno ha un'umidità relativa più bassa ed è per questo che la nuvola di punti si porta immediatamente a valori di umidità relativa inferiori.

L'unico punto oltre il LIM B I, rappresentando un evento iniziale di brevissima durata, non favorisce la crescita microbiologica superficiale.

Devono essere verificate anche le condizioni ideali per la crescita microbiologica sulle superfici dei materiali esposti allo strato di aria dell'intercapedine.

Variante: NV.01 - PARETE NORD - CAGLIARI - UNI EN 15026

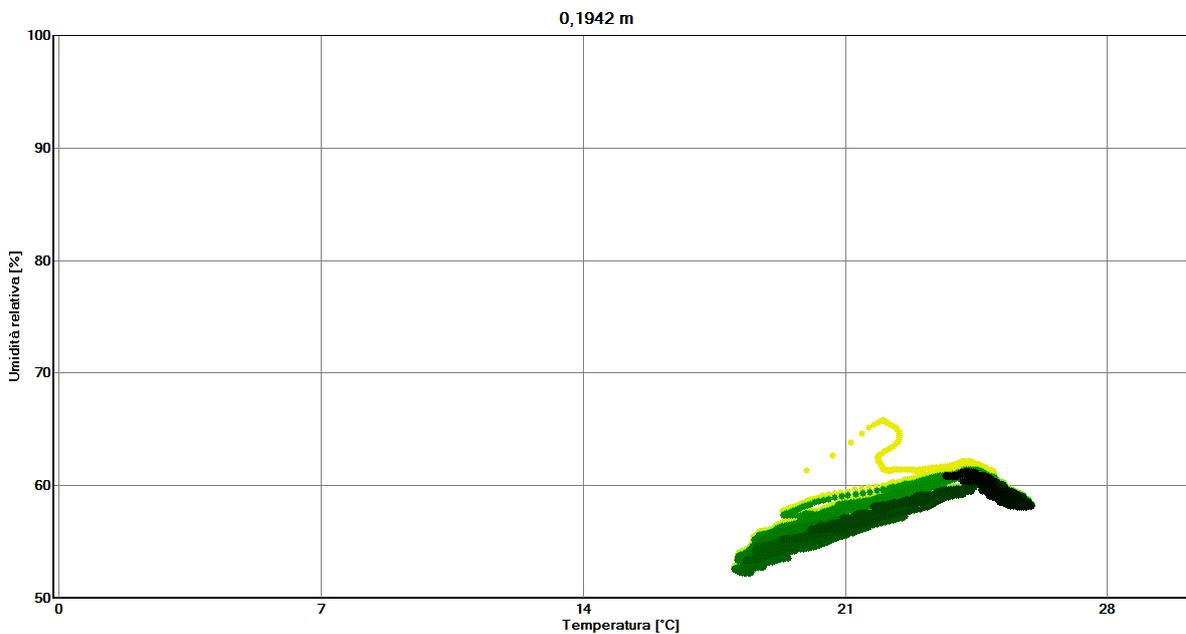
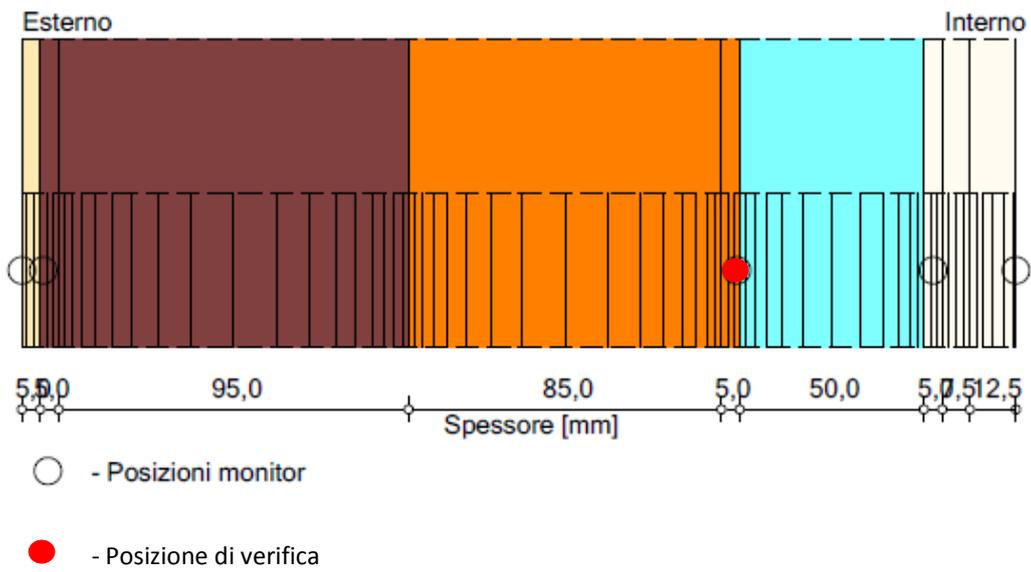
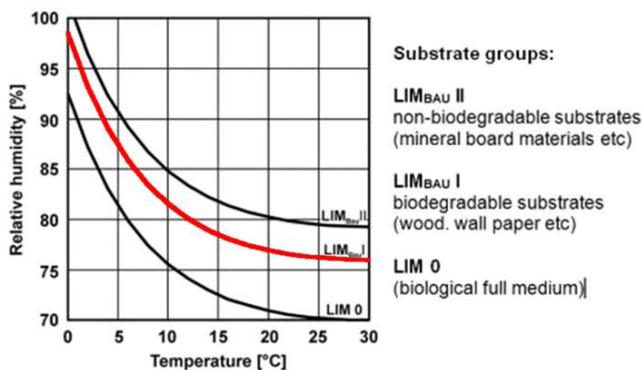
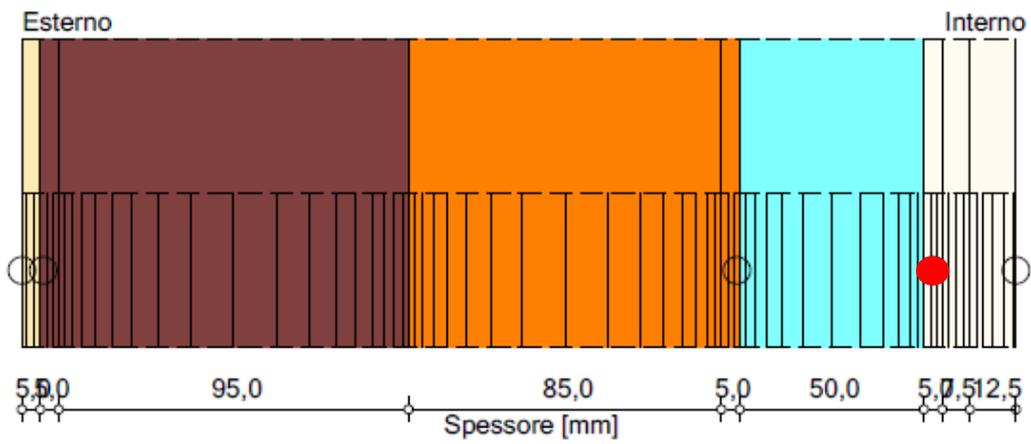


Figura 7: NV.01 – condizioni termoigrometriche sulla superficie di CLT a contatto con l'aria dell'intercapedine

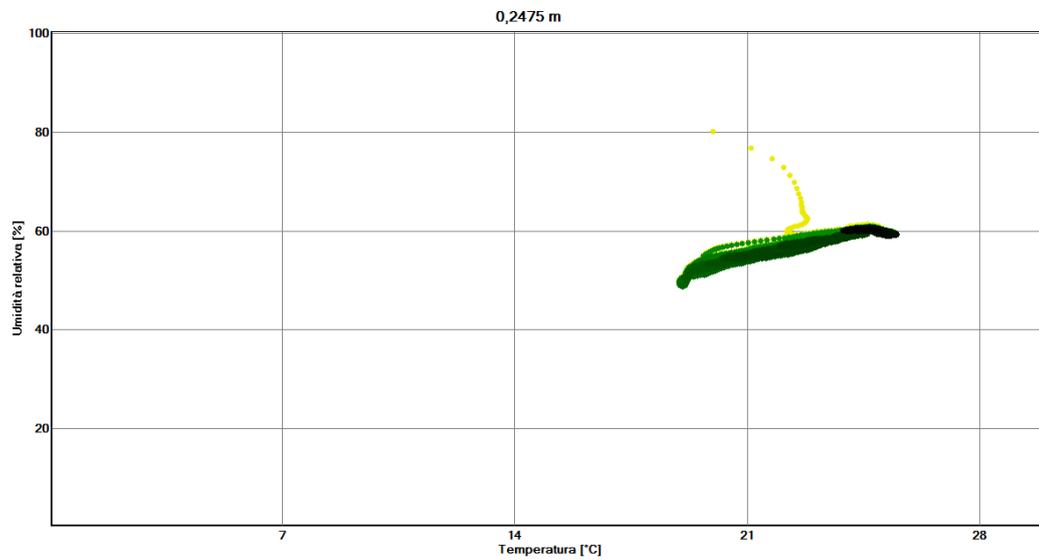


Le condizioni termoigrometriche sulla superficie del CLT a contatto con l'aria dell'intercapedine non superano il LIM I (poiché UR < 76% [Fig.7]). Queste condizioni non permettono la crescita microbologica.

# Variante: NV.01 - PARETE NORD - CAGLIARI - UNI EN 15026



- - Posizioni monitor
- - Posizione di verifica



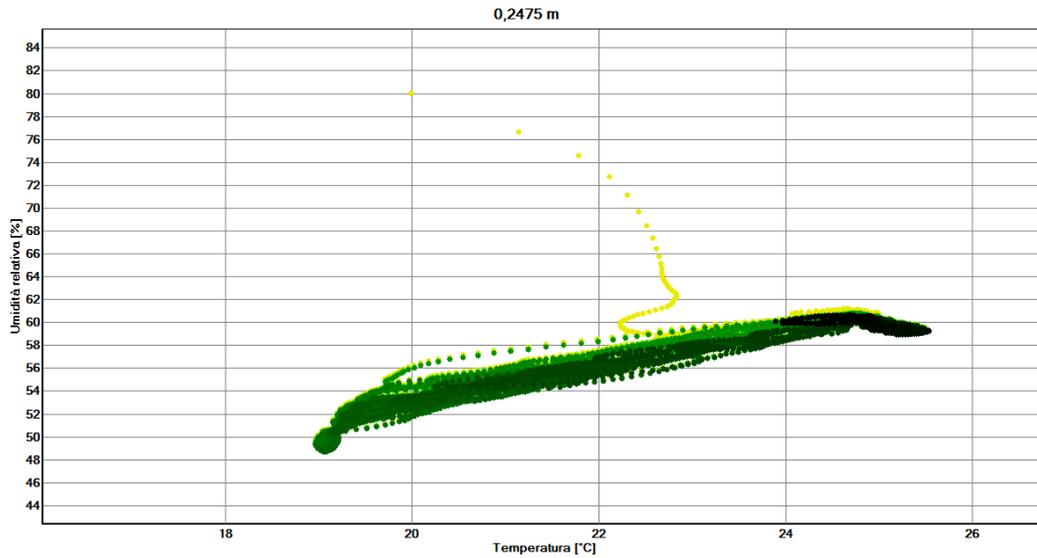
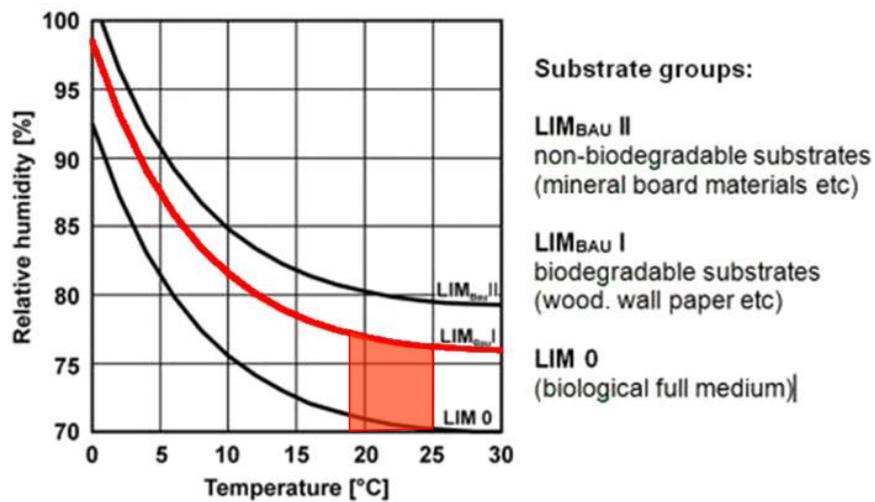


Figura 8: NV.01 – condizioni termoigrometriche sulla superficie del cartongesso a contatto con l'aria dell'intercapedine

Sulla superficie del materiale si registrano temperature comprese fra 19°C e 25°C e valori di umidità relativa compresi fra 48% e 80 % [Fig.8].



Riportando l'intervallo di temperature osservate in figura 8 nel grafico delle isoplete limite si ottiene un'area (evidenziata in rosso) in cui le condizioni termoigrometriche non permettono la crescita microbologica.

Rispetto al LIM I l'umidità relativa supera il 76% le prime due ore di simulazione [Fig.8].

Le condizioni non permettono la crescita microbologica sul materiale.

### 3.1.2 VERIFICA INTERSTIZIALE

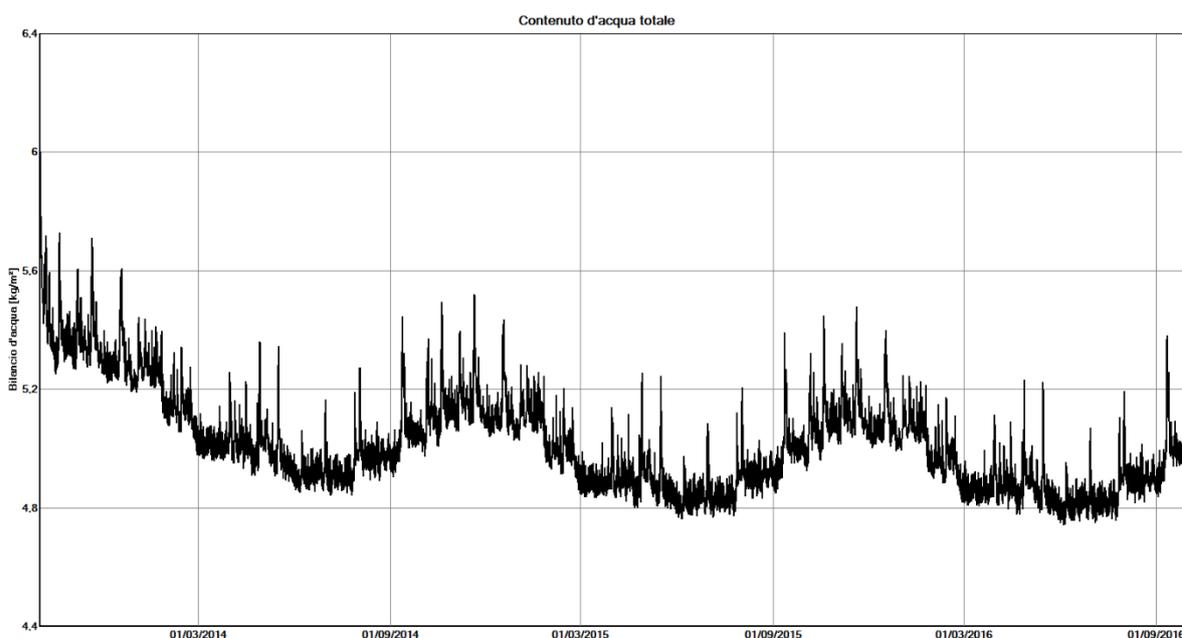


Figura 9: NV.01 - contenuto di acqua totale nella stratigrafia

Il contenuto di acqua totale diminuisce durante i tre anni di simulazione [Fig.9].

Il valore iniziale è di 6,24 kg/m<sup>3</sup> ed il valore finale è di 4,99 kg/m<sup>3</sup>.

Il dato sul contenuto di acqua totale non è sufficiente per garantire l'assenza di condensa interstiziale: infatti potrebbe esserci uno squilibrio nella distribuzione del contenuto di acqua a danno dei materiali maggiormente degradabili.

Per questo è necessario verificare il contenuto di acqua in ogni singolo strato.

<b>CONTENUTO DI ACQUA NEI SINGOLI STRATI (kg/m<sup>3</sup>)</b>				
<b>MATERIALE</b>	<b>INIZIO</b>	<b>FINE</b>	<b>MINIMO</b>	<b>MASSIMO</b>
Intonaco minerale	210,00	39,96	16,04	210,00
Sughero (5 mm)	1,69	0,79	0,19	19,21
Sughero (95 mm)	1,69	0,68	0,32	2,19
CLT (85 mm)	54,00	51,09	49,70	54,77
CLT (5 mm)	54,00	53,43	47,47	55,90
Strato di aria 50 mm	0,01	0,01	0,01	0,01
Pannello di cartongesso	6,30	4,64	3,46	6,30
Pannello di cartongesso	6,30	4,53	3,31	6,30

Il contenuto di acqua nei singoli strati è espresso come i chilogrammi di acqua contenuti in un metro cubo di materiale da costruzione:

$$u = \frac{m_w}{V_c} \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$$

$m_w$  = massa dell'acqua [kg]

$V_c$  = volume del componente [ $m^3$ ]

E' possibile esprimere l'umidità anche in percentuale di volume e in percentuale di massa.

Le grandezze sono le seguenti:

$m_w$  = massa dell'acqua [kg]

$\rho_w$  = densità dell'acqua [ $1000 \text{ kg/m}^3$ ]

$V_w$  = volume di acqua nel componente [ $m^3$ ]

$m_c$  = massa del componente [kg]

$\rho_c$  = densità a secco del componente [ $\text{kg/m}^3$ ]

$V_c$  = volume del componente [ $m^3$ ]

Il contenuto di acqua espresso in **percentuale di volume ( $u_v$ )** è pari a:

$$u_v = \frac{V_w}{V_c} \times 100$$

$$u_v = \frac{V_w}{V_c} \times 100 = \frac{\left(\frac{m_w}{\rho_w}\right)}{V_c} \times 100 = \frac{\left(\frac{m_w}{V_c}\right)}{\rho_w} \times 100 = \frac{u}{\rho_w} \times 100 = \frac{u}{1000} \times 100 = \frac{u}{10}$$

Il contenuto di acqua espresso in **percentuale di massa ( $u_m$ )** è pari a:

$$u_m = \frac{m_w}{m_c} \times 100$$

$$u_m = \frac{m_w}{m_c} \times 100 = \frac{m_w}{(\rho_c \times V_c)} \times 100 = \frac{\left(\frac{m_w}{V_c}\right)}{\rho_c} \times 100 = \frac{u}{\rho_c} \times 100 = \frac{u}{\left(\frac{\rho_c}{100}\right)}$$

Il contenuto di acqua dei singoli strati espresso in percentuale di massa è utile in quanto confrontabile con i valori limite: 20% per il legno e 18% per i materiali derivanti dal legno e le fibre vegetali.

CONTENUTO DI ACQUA NEI SINGOLI STRATI (%M)				
MATERIALE	INIZIO	FINE	MINIMO	MASSIMO
Intonaco minerale	11,05	2,10	0,84	11,05
Sughero (95 mm)	1,13	0,53	0,13	12,81

Sughero (5 mm)	1,13	0,45	0,21	1,46
CLT (85 mm)	11,87	11,23	10,92	12,04
CLT (5 mm)	11,87	11,74	10,43	12,29
Strato di aria 50 mm	0,77	0,77	0,77	0,77
Pannello di cartongesso	0,74	0,55	0,41	0,74
Pannello di cartongesso	0,74	0,53	0,39	0,74

Il contenuto di acqua nel CLT, espresso in % di massa, diminuisce dall'inizio alla fine della simulazione e il massimo contenuto di acqua si mantiene al di sotto del limite del 20%.

La verifica successiva riguarda il sughero. Per il sughero non esistono dati di letteratura sul valore limite del contenuto di acqua e per questo è necessario verificare l'andamento dell'umidità relativa dell'aria.

L'umidità relativa, affinché siano garantite le prestazioni del materiale, deve mantenersi al di sotto del 95%.

Zona climatica: Cagliari\_hour.wac;

NV.01 - PARETE NORD - CAGLIARI - UNI EN 15026

WUFI®

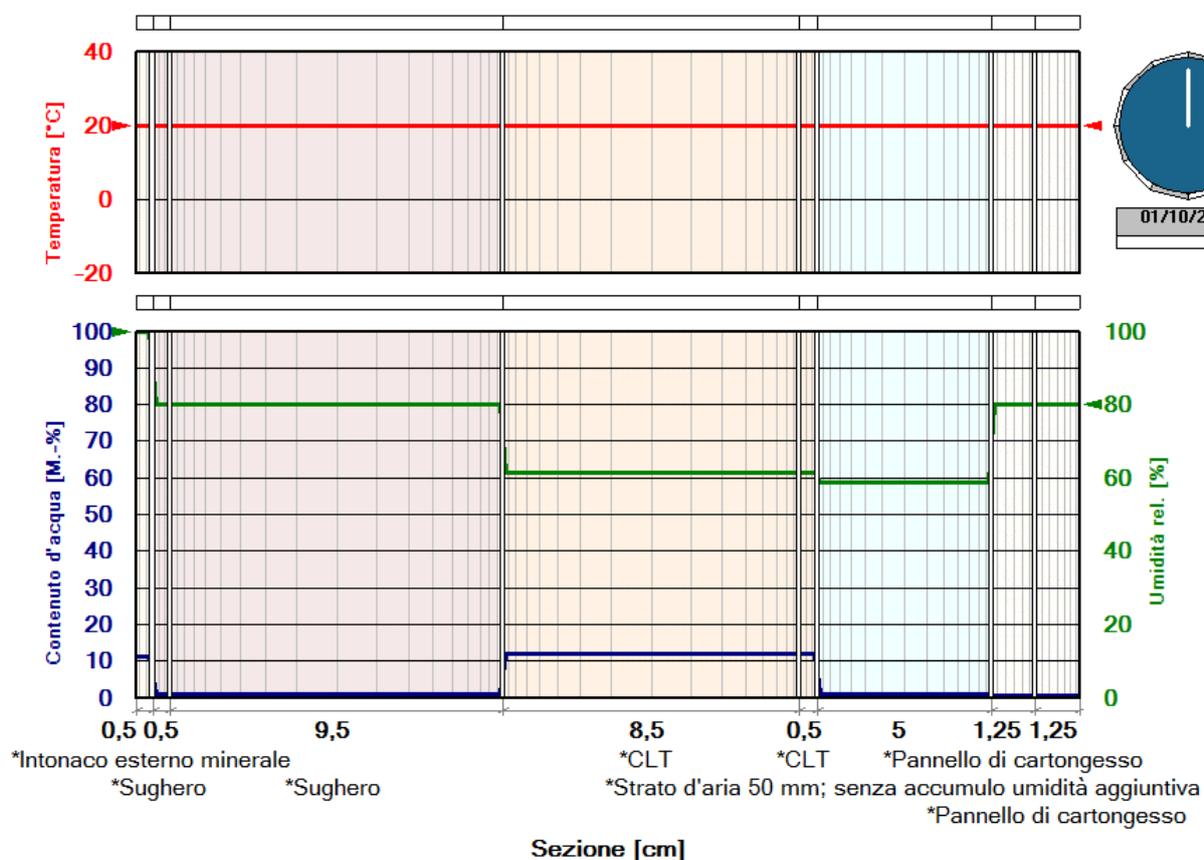


Figura 10: NV.01 - simulazione del componente costruttivo NV.01 al 01/10/2013

Il grafico [Fig.10] mostra la condizione iniziale nel componente costruttivo al 01/10/2013.

In ascissa sono riportati i materiali con il loro spessore. La linea rossa indica la temperatura dell'aria che attraversa la stratigrafia, la linea blu il contenuto di acqua dei singoli strati e la linea verde l'umidità relativa dell'aria che attraversa la stratigrafia.

Al termine dei tre anni di simulazione il grafico riporta la condizione finale nel componente costruttivo al 01/10/2016 [Fig.11]

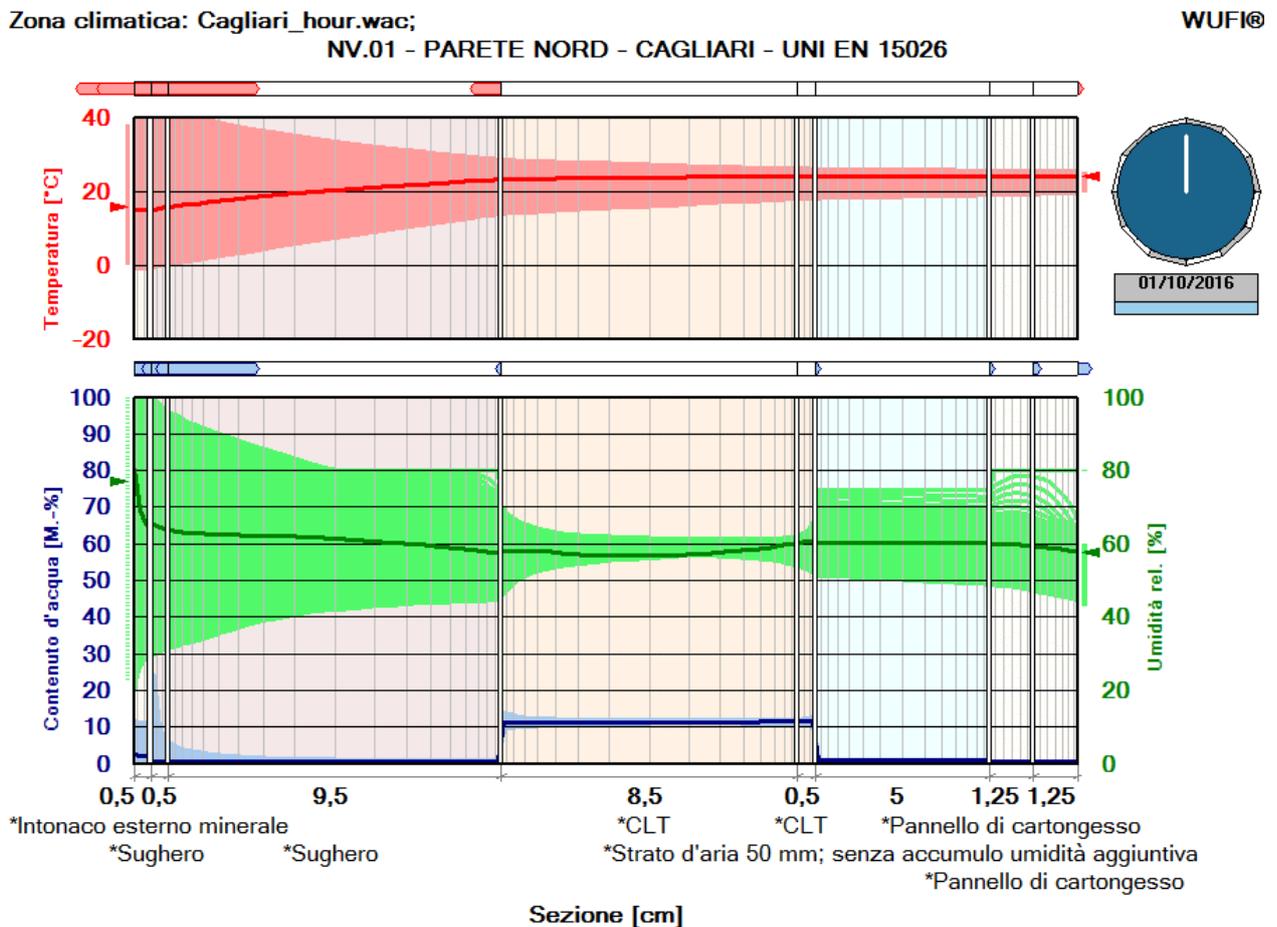


Figura 11: NV.01 - simulazione del componente costruttivo al 01/10/2016

Oltre alle tre linee indicate in precedenza ora il grafico mostra una traccia dell'andamento delle stesse nel corso della simulazione.

Lo strato esterno di intonaco non viene considerato nella verifica interstiziale in quanto esposto alla pioggia battente.

Nello strato di sughero l'umidità relativa supera il 95%.

Il punto di monitoraggio posizionato nello strato esterno di sughero permette di verificarne il contenuto di acqua e i valori di temperatura e umidità dell'aria.

Variante: NV.01 - PARETE NORD - CAGLIARI - UNI EN 15026

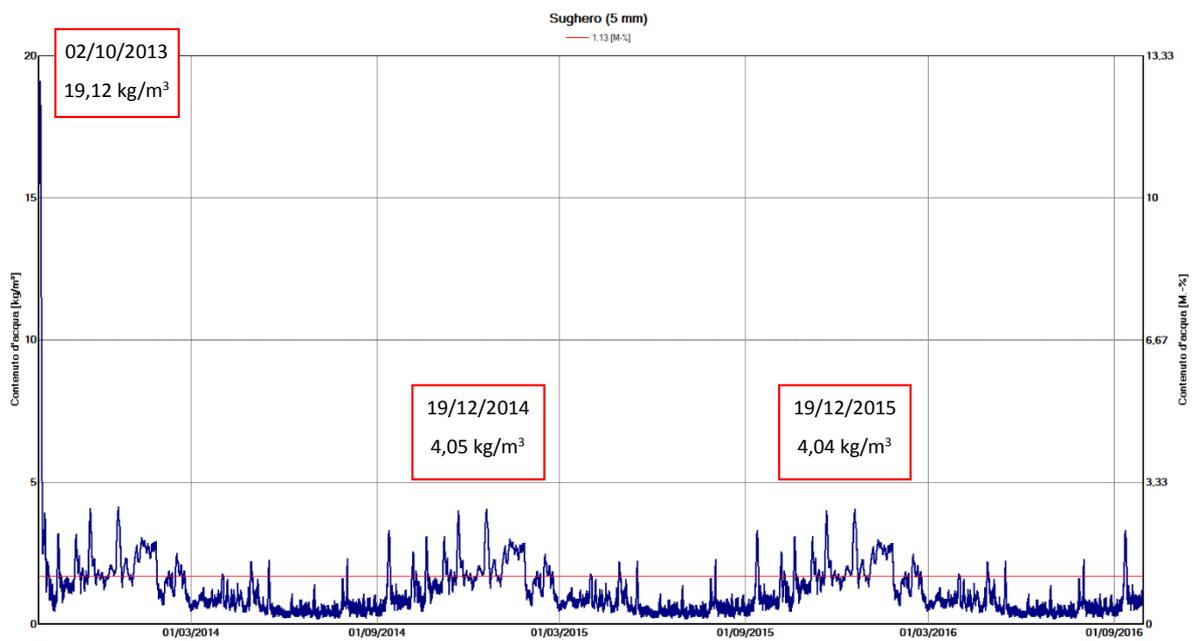
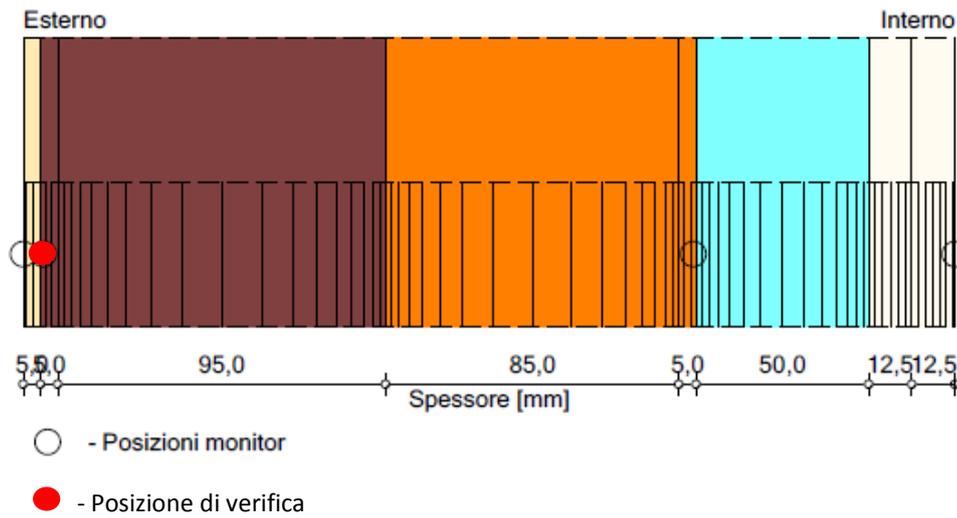


Figura 12: NV.01 - contenuto di acqua nello strato esterno di sughero

La linea rossa indica il contenuto iniziale di acqua nel materiale (1,13 % - 1,69 kg/m<sup>3</sup>).

Il grafico mostra un incremento iniziale del contenuto di acqua nel materiale, dovuto alla posa dello strato di intonaco esterno [Fig.12].

Successivamente il materiale raggiunge un equilibrio dinamico e il contenuto di acqua aumenta durante l'inverno e diminuisce durante l'estate. Il massimo contenuto di acqua decresce nel corso degli anni e questo significa che non vi è accumulo di umidità nel materiale.

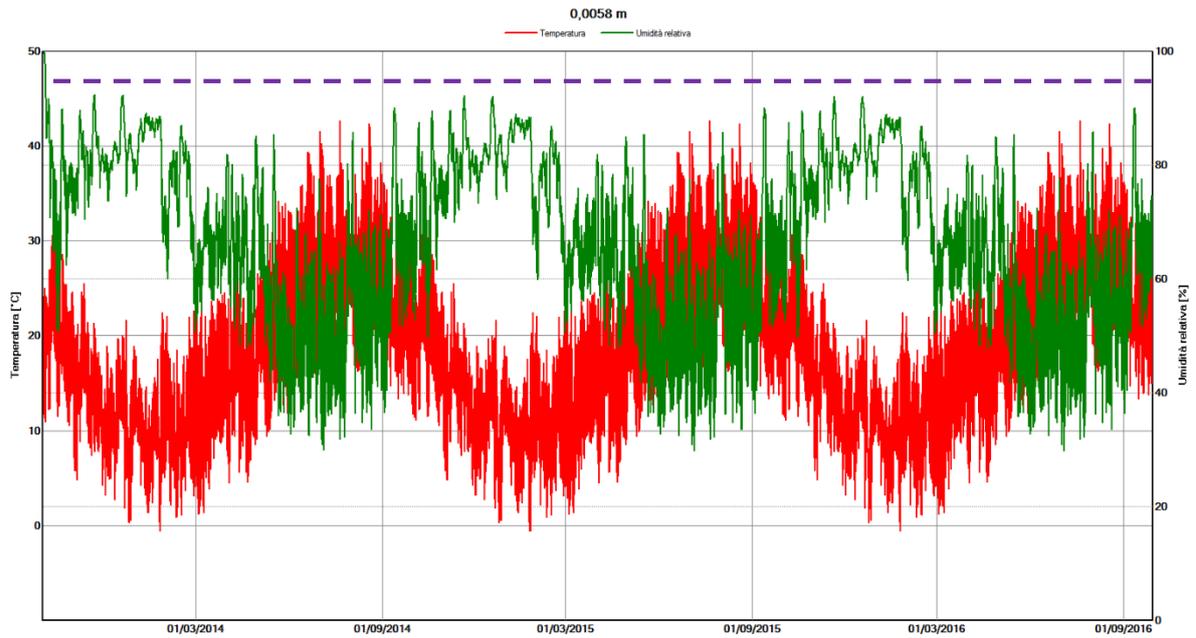


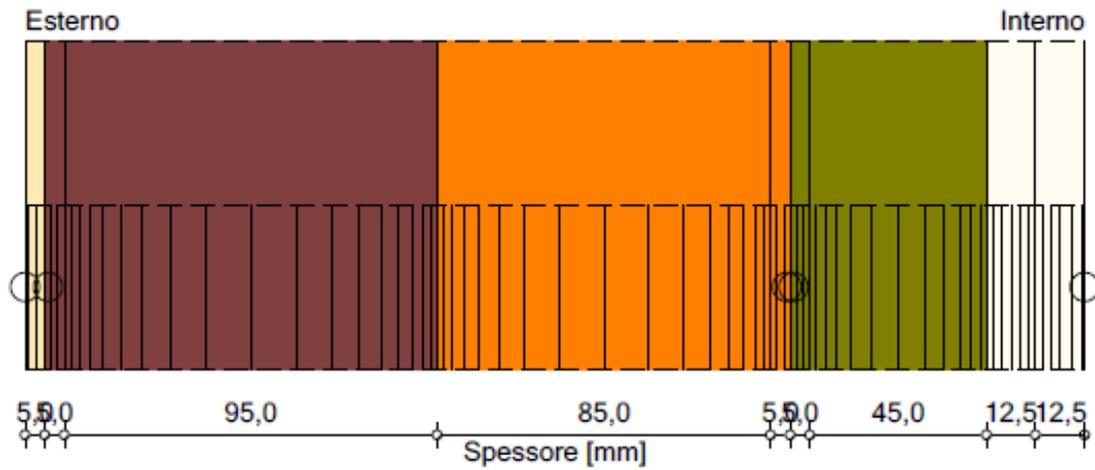
Figura 13: NV.01 - temperatura e umidità relativa dell'aria nello strato esterno di sughero

L'umidità relativa supera il 95% i primi tre giorni di simulazione per il contatto con l'intonaco esterno [Fig.13]. Non si tratta dunque di condensa interstiziale ma di un assorbimento iniziale dell'acqua dell'intonaco da parte del sughero.

La brevità e unicità dell'evento non creano le condizioni per la formazione di condensa interstiziale.

### 3.2 SIMULAZIONE 02: CAGLIARI – PARETE NORD – NON VENTILATA 02 (NV.02)

#### Variante: NV.02 - PARETE NORD - CAGLIARI - UNI EN 15026



#### Materiali :

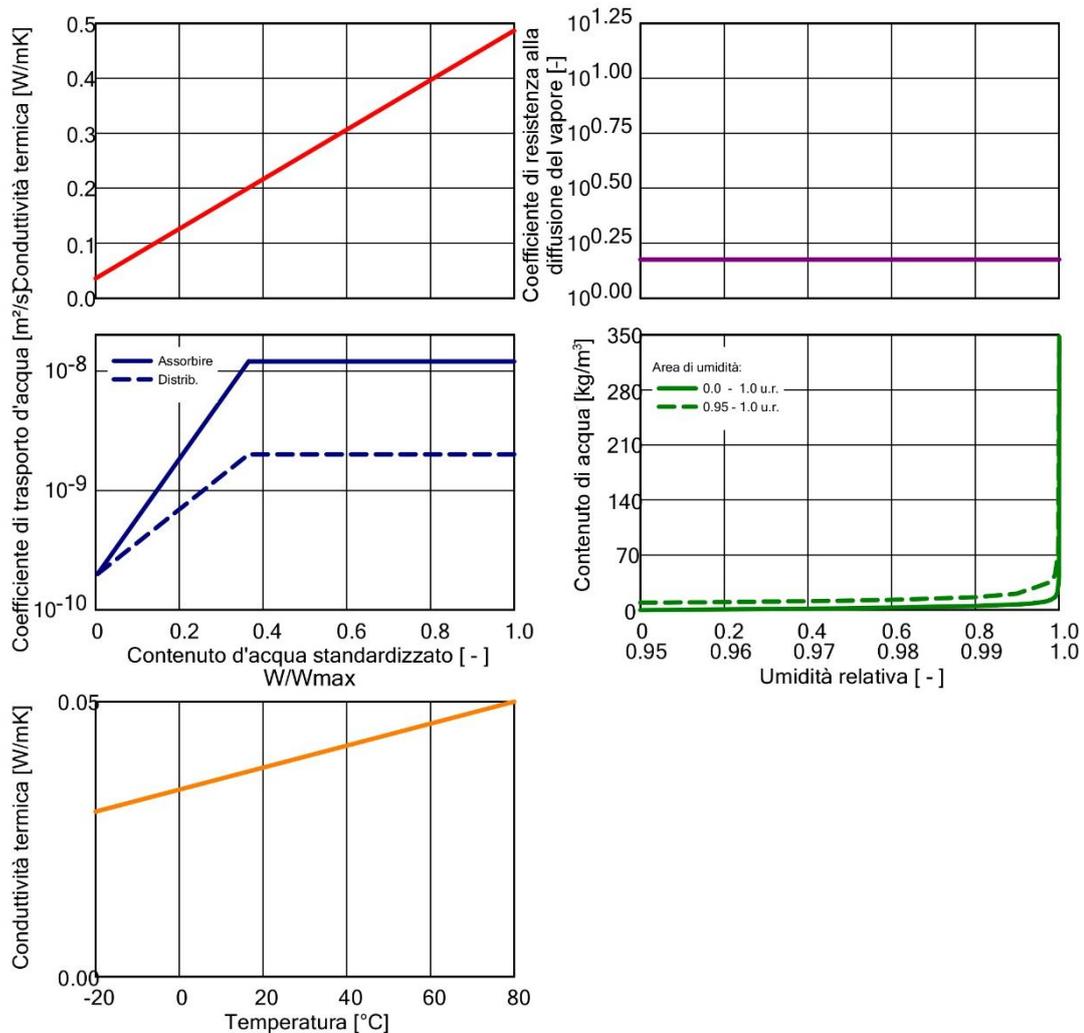
-  - \*Intonaco esterno minerale (valore w: 0.1 kg/m<sup>2</sup>h<sup>0.5</sup>)
-  - \*Sughero (5 mm)
-  - \*Sughero (95 mm)
-  - \*CLT (85 mm)
-  - \*CLT (5 mm)
-  - \*Pannello di lino (5 mm)
-  - \*Pannello di lino (45 mm)
-  - \*Pannello di cartongesso
-  - \*Pannello di cartongesso

## MATERIALE: PANNELLO DI LINO

Materiale : \*Pannello di lino

Riassunto dei valori d'ingresso

Indice	Unità	Valore
Densità a secco	[kg/m <sup>3</sup> ]	38,0
Porosità	[m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	0,95
Capacità termica a secco	[J/kgK]	1660,0
Conducibilità termica a secco , 10°C	[W/mK]	0,036
Coefficiente di resistenza della diffusione di vapore acqueo	[ - ]	1,5
Aumento della conducibilità termica	[%/M.-%]	0,5
Maggiorazione conducibilità termica, temp.	[W/mK <sup>2</sup> ]	0,0002
Conducibilità termica di design	[W/mK]	0,038



### 3.2.1 VERIFICA SUPERFICIALE

Ai fini dell'assenza di condensa superficiale la temperatura della superficie interna deve essere inferiore alla temperatura di rugiada.

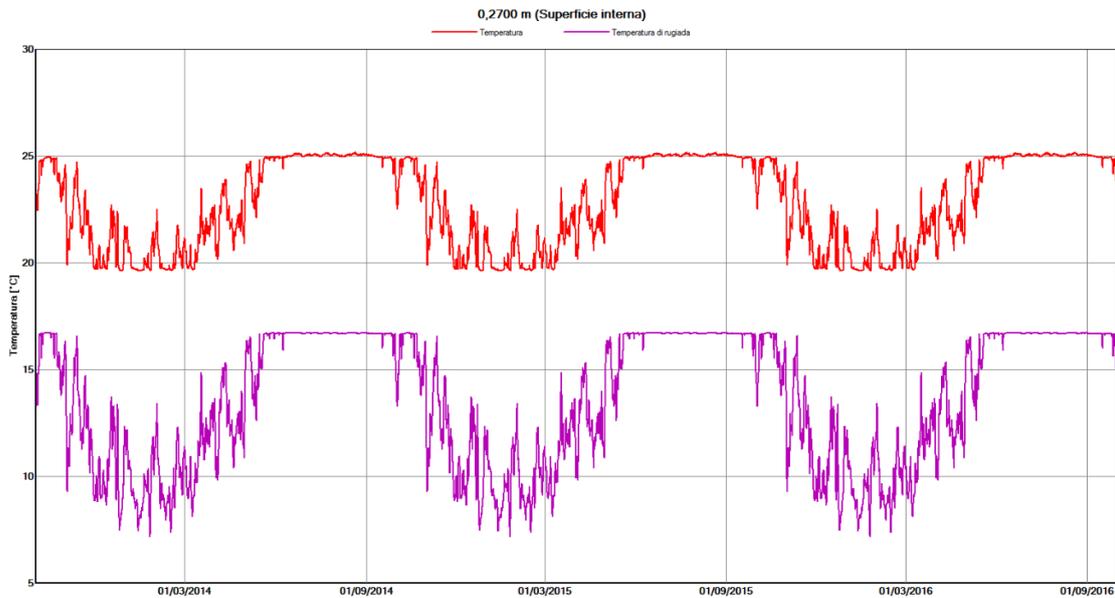


Figura 14: NV.02 - temperatura superficiale (linea rossa) e temperatura di rugiada (linea viola) sul pannello di cartongesso

La temperatura sul pannello di cartongesso si mantiene superiore alla temperatura di rugiada e questo significa che non avviene la formazione di condensa superficiale [Fig.14]

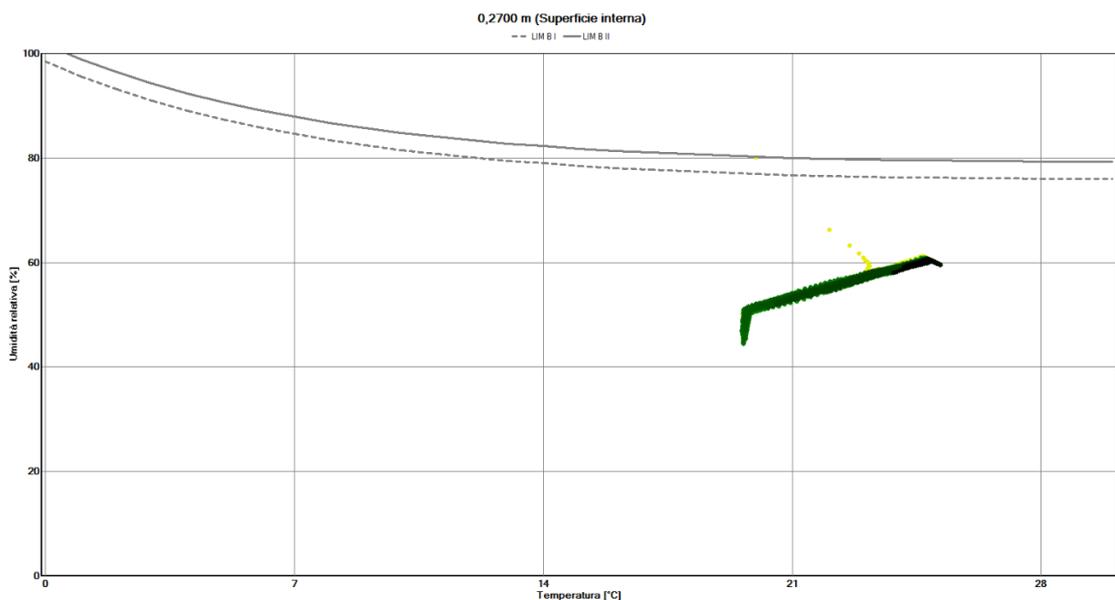


Figura 15: NV.02: isoplete limite per la crescita microbiologica sul pannello di cartongesso

La condizione termoigrometrica del cartongesso non supera il **LIM B I** e dunque il materiale non è interessato da una proliferazione microbiologica [Fig.15].

### 3.2.2 VERIFICA INTERSTIZIALE

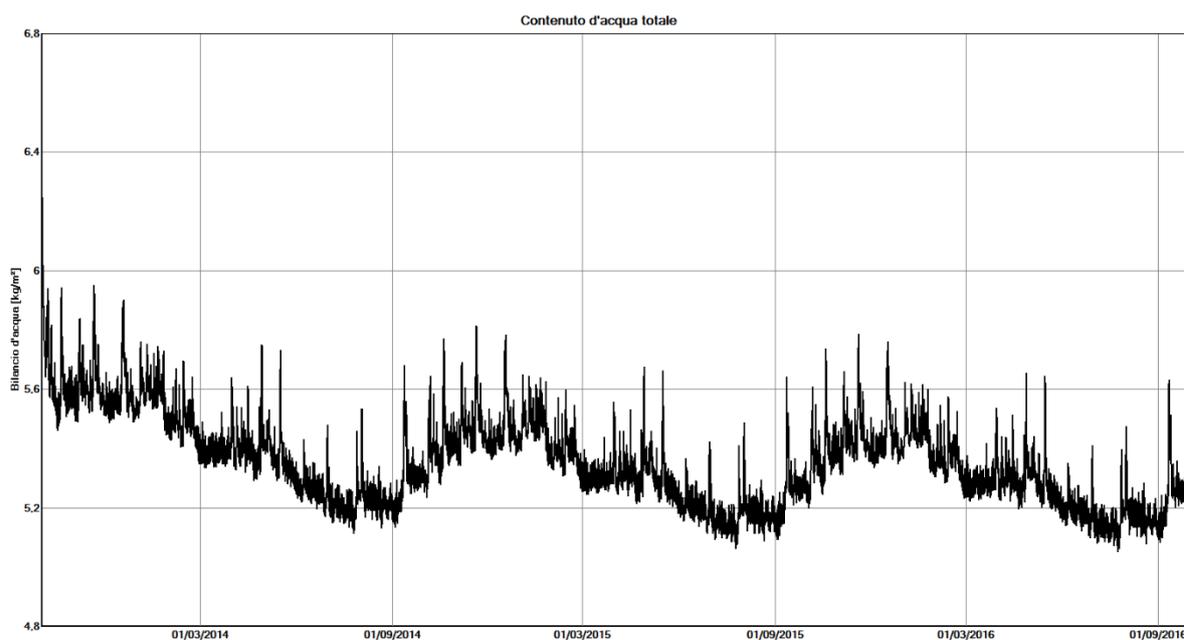


Figura 16: NV.02 - contenuto di acqua totale

Il contenuto di acqua totale diminuisce durante i tre anni di simulazione [Fig.16].

Il valore iniziale è di 6,49 kg/m<sup>3</sup> ed il valore finale è di 5,27 kg/m<sup>3</sup>.

<b>CONTENUTO DI ACQUA NEI SINGOLI STRATI (kg/m<sup>3</sup>)</b>				
MATERIALE	INIZIO	FINE	MINIMO	MASSIMO
Intonaco esterno	210,00	39,98	16,07	210,00
Sughero (5 mm)	1,69	0,79	0,19	19,06
Sughero (95 mm)	1,69	0,70	0,34	2,21
CLT (85 mm)	54,00	52,32	51,69	55,13
CLT (5 mm)	54,00	55,10	50,50	60,59
Pannello di lino (5 mm)	5,00	3,38	2,75	5,00
Pannello di lino (45 mm)	5,00	3,26	2,58	5,00
Pannello di cartongesso	6,30	4,64	3,44	6,30
Pannello di cartongesso	6,30	4,52	3,30	6,30

<b>CONTENUTO DI ACQUA NEI SINGOLI STRATI (%M)</b>				
MATERIALE	INIZIO	FINE	MINIMO	MASSIMO
Intonaco esterno	11,05	2,10	0,85	11,05
Sughero (5 mm)	1,13	0,53	0,13	12,71

Sughero (95 mm)	1,13	0,47	0,23	1,47
CLT (85 mm)	11,87	11,50	11,36	12,12
CLT (5 mm)	11,87	12,11	11,10	13,32
Pannello di lino (5 mm)	13,16	8,89	7,24	13,16
Pannello di lino (45 mm)	13,16	8,58	6,79	13,16
Pannello di cartongesso	0,74	0,55	0,40	0,74
Pannello di cartongesso	0,74	0,53	0,39	0,74

Attenzione: il contenuto di acqua nel CLT, espresso in % di massa, si mantiene al di sotto del valore limite del 20% ma aumenta dall'inizio alla fine della simulazione.

Il contenuto di acqua nel lino si mantiene al di sotto del valore limite del 18%.

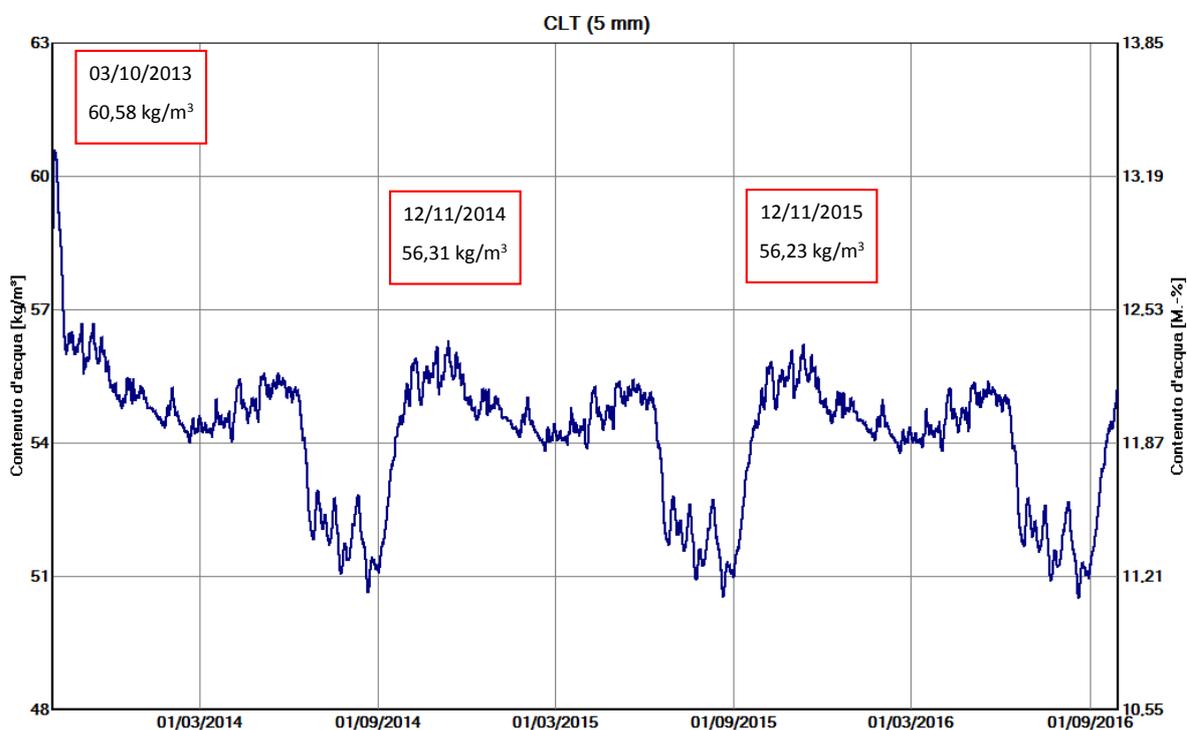


Figura 17: NV.02 - contenuto di acqua nello strato di CLT a contatto con il pannello di lino

Il massimo contenuto di acqua nel CLT non aumenta nel corso dei tre anni di simulazione e questo significa che non avviene un accumulo di acqua nel materiale.

Per il sughero è necessario verificare l'andamento dell'umidità relativa dell'aria.

NV.02 - PARETE NORD - CAGLIARI - UNI EN 15026

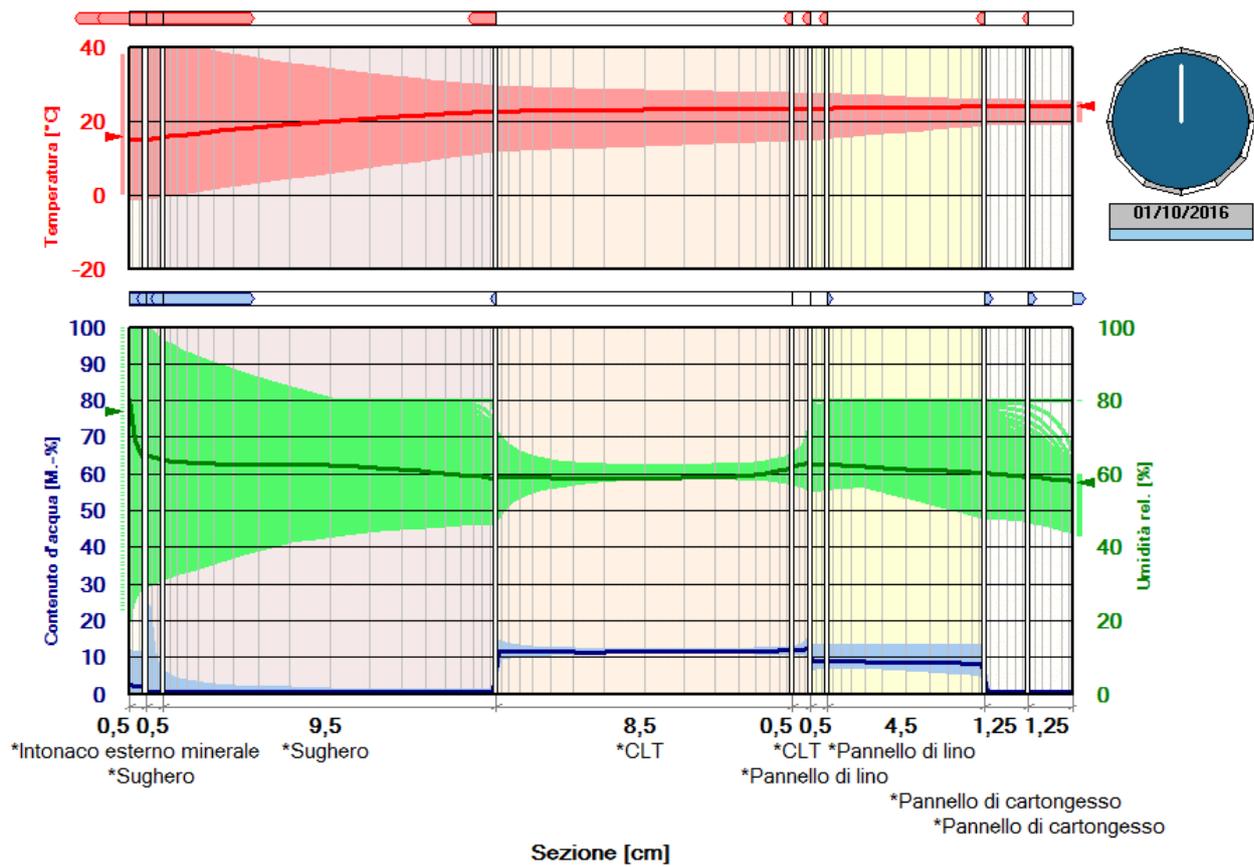


Figura 18: NV.02 - simulazione della stratigrafia

Nel sughero l'umidità relativa supera il 95% [Fig. 18].

Il punto di monitoraggio nello strato esterno di sughero permette di verificarne il contenuto di acqua e il valore di temperatura e umidità relativa dell'aria.

## Variante: NV.02 - PARETE NORD - CAGLIARI - UNI EN 15026

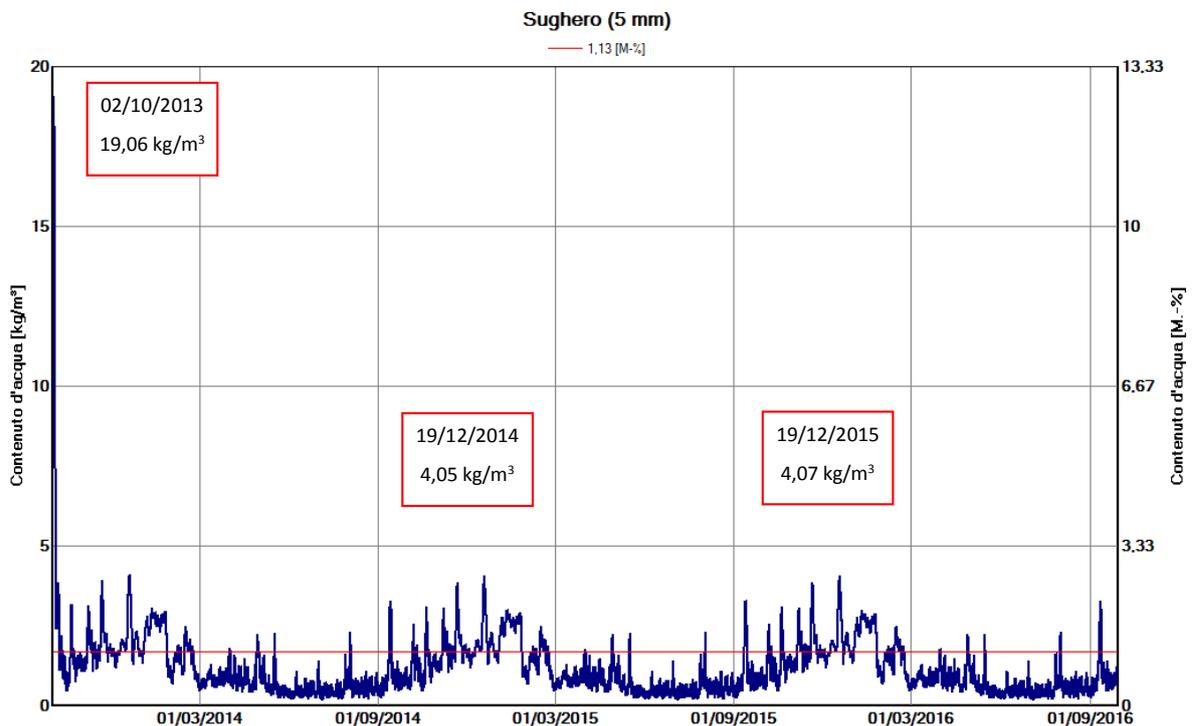
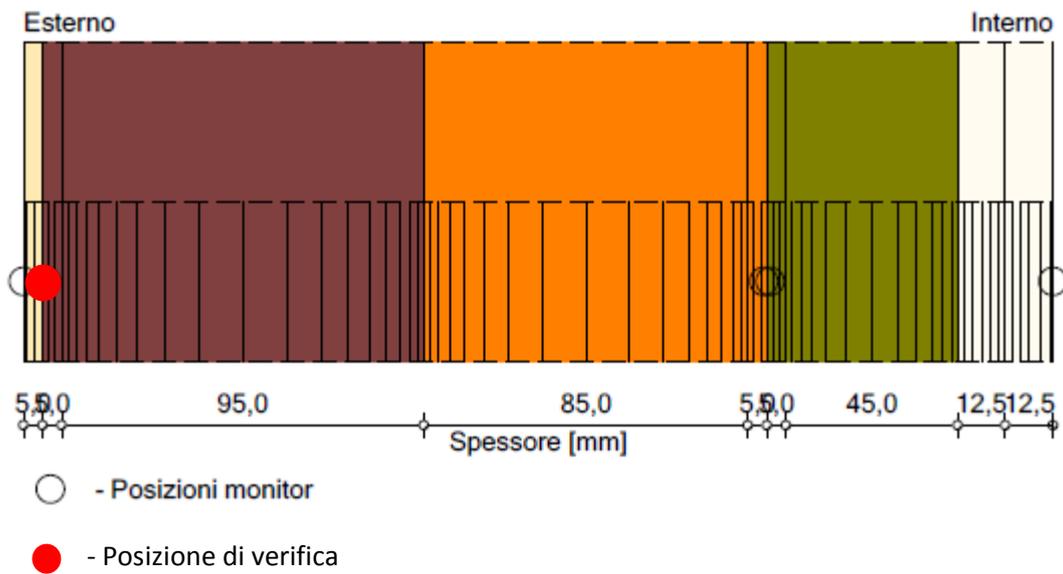


Figura 19: NV.02 - contenuto di acqua nello strato esterno di sughero

La linea rossa indica il contenuto iniziale di acqua nel materiale (1,13 % - 1,69 kg/m<sup>3</sup>) [Fig.19].

Il grafico mostra un incremento iniziale del contenuto di acqua nel materiale dovuto alla posa dello strato di intonaco esterno.

Successivamente il materiale raggiunge un equilibrio dinamico e il contenuto di acqua aumenta durante l'inverno e diminuisce durante l'estate. Il massimo contenuto di acqua non aumenta nel corso degli anni e questo significa che non vi è accumulo di umidità nel materiale.

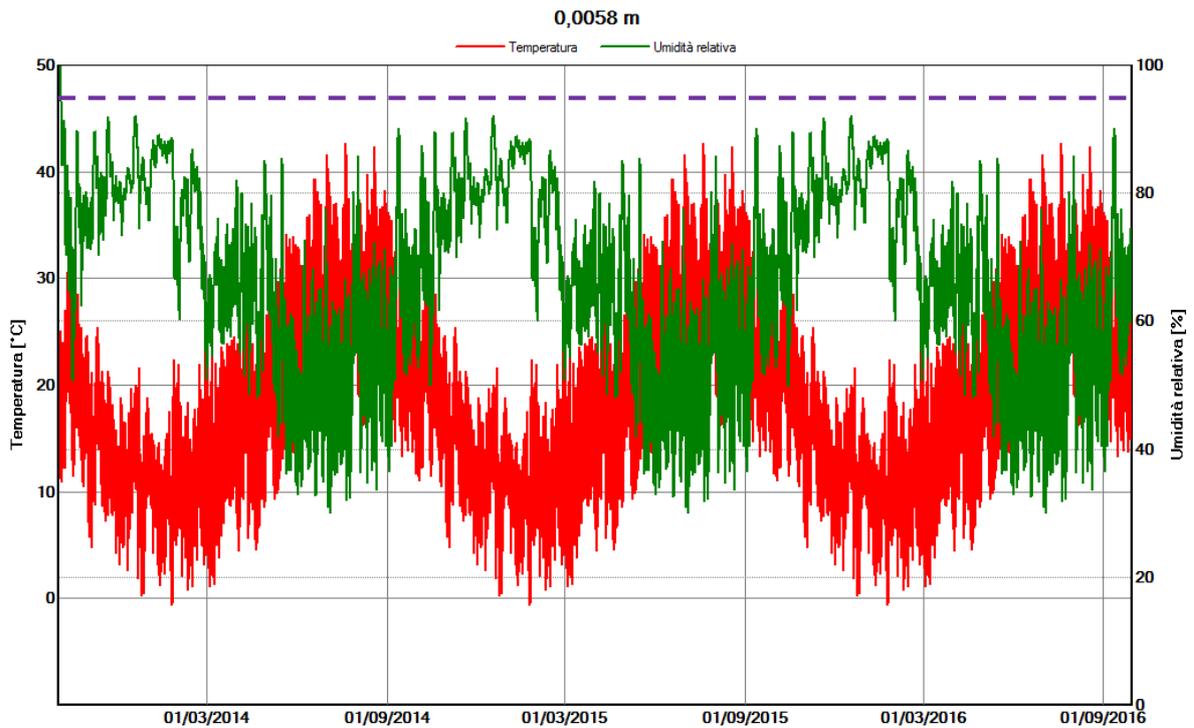


Figura 20: NV.02 - temperatura e umidità relativa dell'aria nello strato più esterno di sughero (10 anni)

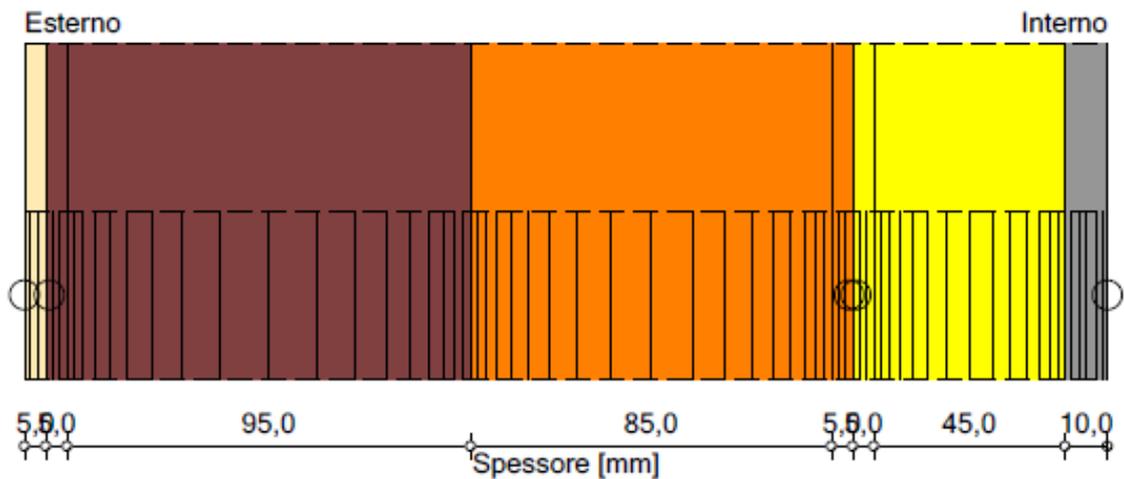
Il grafico mostra l'andamento delle temperatura e dell'umidità relativa dell'aria nello strato più esterno di sughero [Fig.20].

L'umidità relativa supera il 95% i primi tre giorni di simulazione per il contatto con l'intonaco esterno.

La brevità e unicità dell'evento non creano le condizioni per la formazione di condensa interstiziale.

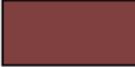
### 3.3 SIMULAZIONE 03: CAGLIARI – PARETE NORD – NON VENTILATA 03 (NV.03)

#### Variante: NV.03 - PARETE NORD - CAGLIARI - UNI EN 15026



○ - Posizioni monitor

#### Materiali :

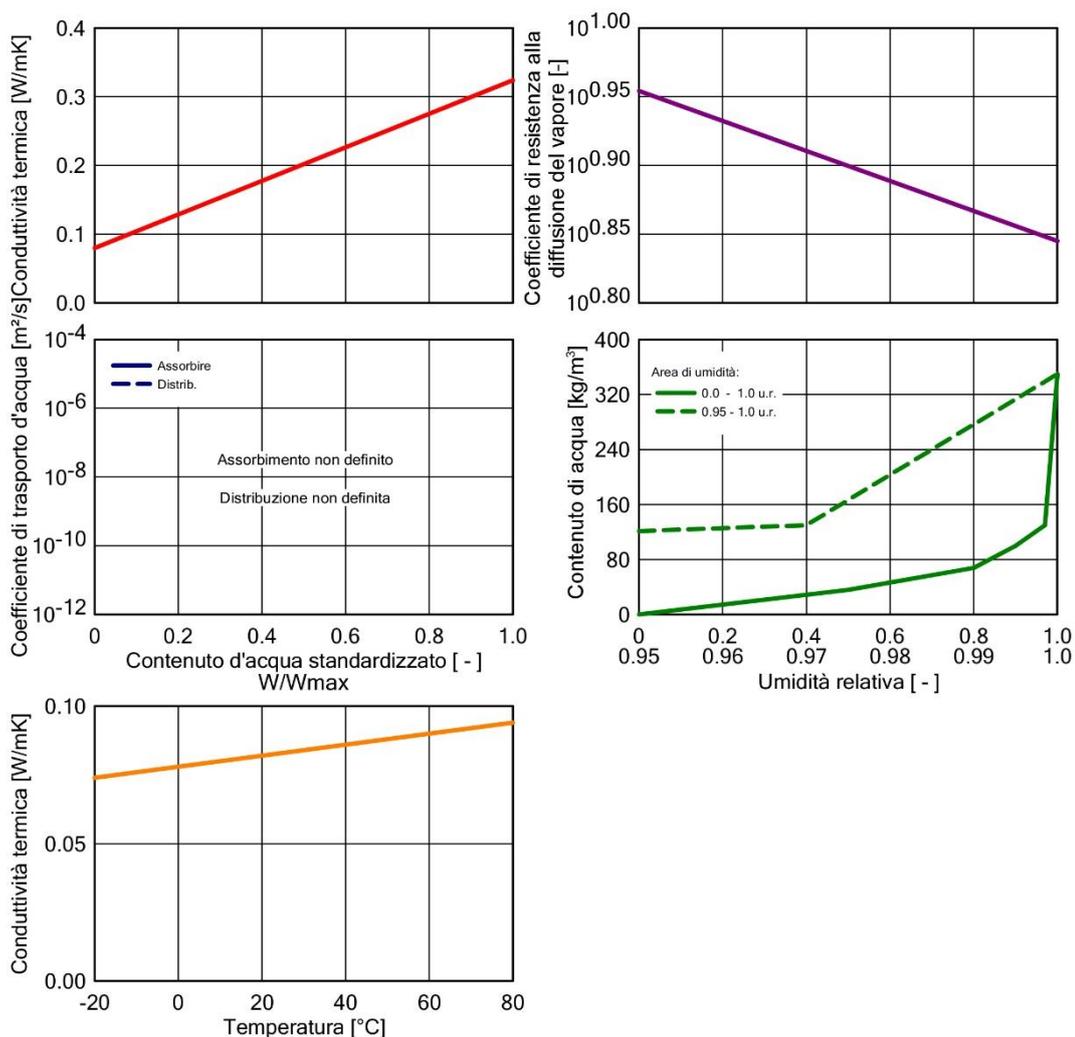
-  - \*Intonaco esterno minerale (valore w: 0.1 kg/m<sup>2</sup>h<sup>0.5</sup>)
-  - \*Sughero (5 mm)
-  - \*Sughero (95 mm)
-  - \*CLT (85 mm)
-  - \*CLT (5 mm)
-  - \*Pannello legno-cemento (5 mm)
-  - \*Pannello legno-cemento (45 mm)
-  - \*Colla e rasatura minerale

## MATERIALE: PANNELLO LEGNO-CEMENTO

Materiale : \*Pannello legno-cemento (5 mm)

### Riassunto dei valori d'ingresso

Indice	Unità	Valore
Densità a secco	[kg/m <sup>3</sup> ]	450,0
Porosità	[m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	0,55
Capacità termica a secco	[J/kgK]	1500,0
Conducibilità termica a secco ,10°C	[W/mK]	0,08
Coefficiente di resistenza della diffusione di vapore acqueo	[ - ]	9,0
Aumento della conducibilità termica	[%/M.-%]	2,5
Maggiorazione conducibilità termica, temp.	[W/mK <sup>2</sup> ]	0,0002



### 3.3.1 VERIFICA SUPERFICIALE

Ai fini dell'assenza di condensa superficiale la temperatura della superficie interna deve essere inferiore alla temperatura di rugiada.

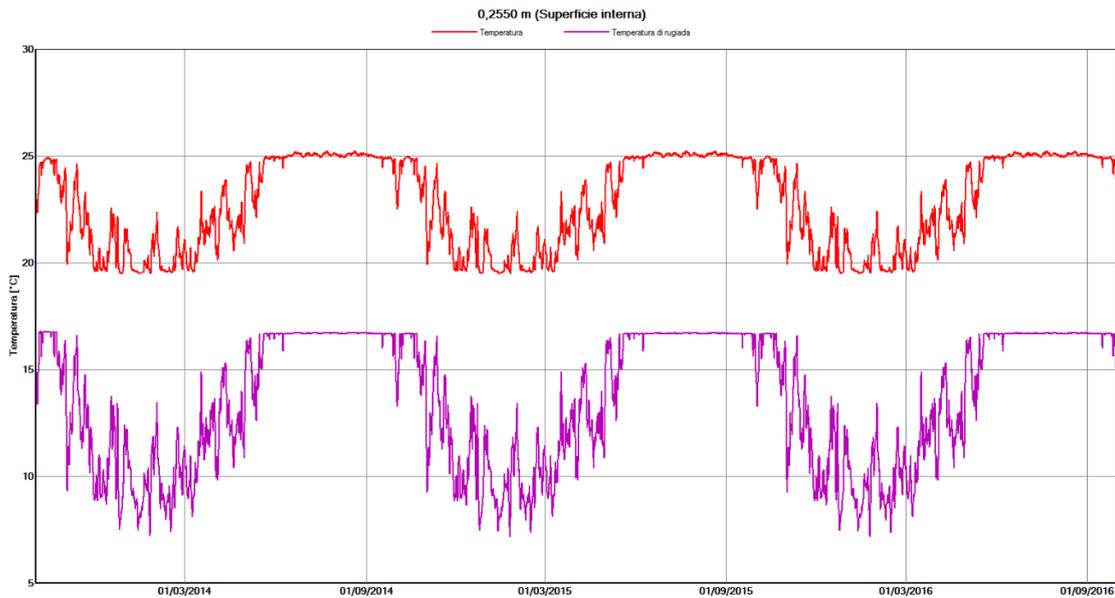


Figura 21: NV.03 - temperatura superficiale (linea rossa) e temperatura di rugiada (linea viola) sulla rasatura minerale

La temperatura sulla rasatura minerale si mantiene superiore alla temperatura di rugiada e questo significa che non avviene la formazione di condensa superficiale [Fig.21].

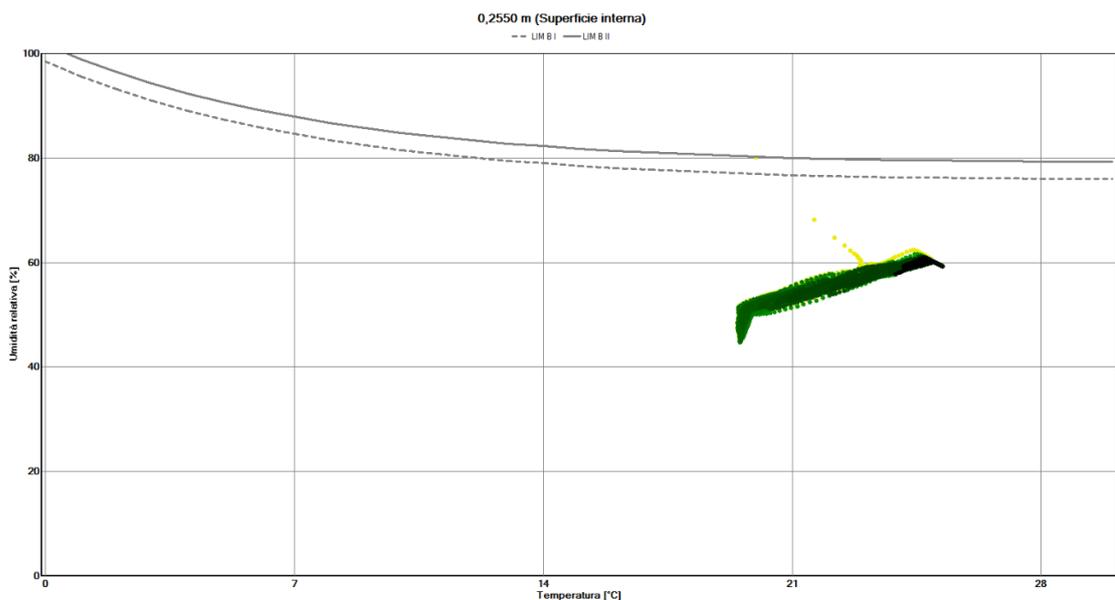


Figura 22: NV.03: isoplete limite per la crescita microbiologica sulla rasatura minerale

La condizione termoigrometrica della rasatura minerale non supera il **LIM B II** e dunque il materiale non è interessato da una proliferazione microbiologica [Fig.22].

### 3.3.2 VERIFICA INTERSTIZIALE

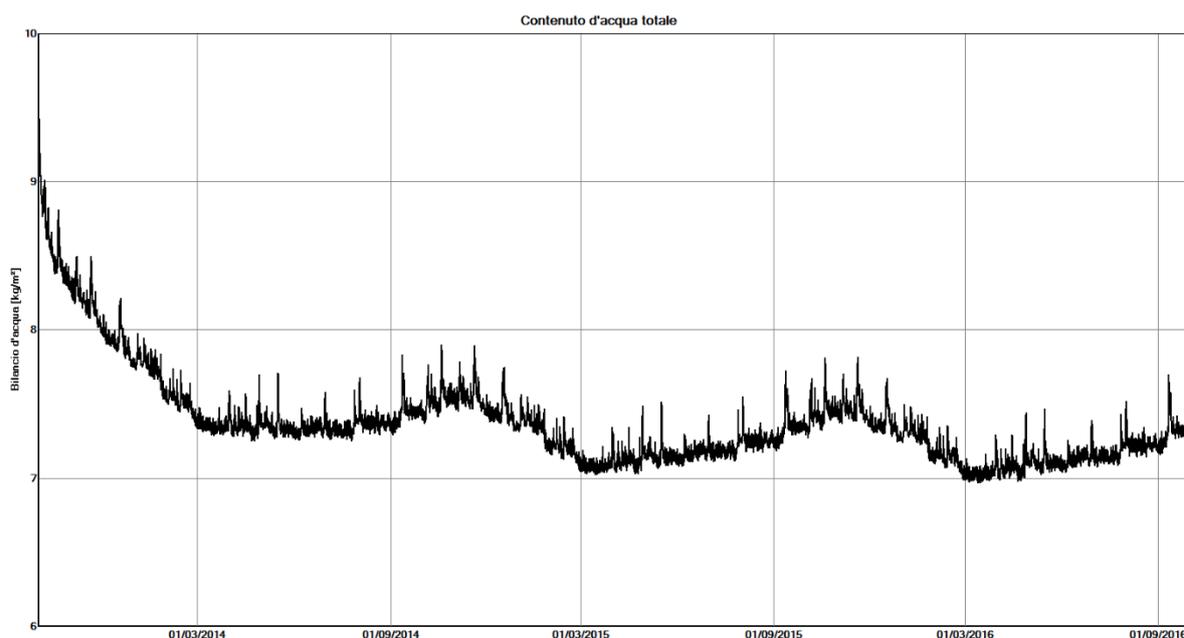


Figura 23: NV.03 contenuto di acqua totale

Il contenuto di acqua totale diminuisce durante i tre anni di simulazione.

Il valore iniziale è di 9,67 kg/m<sup>3</sup> ed il valore finale è di 7,33 kg/m<sup>3</sup>.

<b>CONTENUTO DI ACQUA NEI SINGOLI STRATI (kg/m<sup>3</sup>)</b>				
MATERIALE	INIZIO	FINE	MINIMO	MASSIMO
Intonaco esterno	210,00	39,96	16,05	210,00
Sughero (5 mm)	1,69	0,79	0,19	19,09
Sughero (95 mm)	1,69	0,69	0,33	2,20
CLT (85 mm)	54,00	51,18	50,14	55,80
CLT (5 mm)	54,00	52,75	50,35	68,47
Pannello di legno-cemento (5 mm)	68,00	46,65	42,62	68,00
Pannello di legno-cemento (45 mm)	68,00	46,20	40,41	68,00
Colla e rasatura minerale	18,60	13,65	11,19	18,60

<b>CONTENUTO DI ACQUA NEI SINGOLI STRATI (%M)</b>				
MATERIALE	INIZIO	FINE	MINIMO	MASSIMO
Intonaco esterno	14,62	2,78	1,12	14,62
Sughero (5 mm)	1,13	0,53	0,13	12,73
Sughero (95 mm)	1,13	0,46	0,22	1,47
CLT (85 mm)	11,87	11,25	11,02	12,26

CLT (5 mm)	11,87	11,59	11,07	15,05
Pannello di legno-cemento (5 mm)	15,11	10,37	9,47	15,11
Pannello di legno-cemento (45 mm)	15,11	10,27	8,98	15,11
Colla e rasatura minerale	1,30	0,95	0,78	1,30

Il contenuto di acqua nel CLT, espresso in % di massa, si mantiene al di sotto del valore limite del 20%.  
 Il contenuto di acqua nel pannello di legno-cemento si mantiene al di sotto del valore limite del 18%.  
 Per il sughero è necessario verificare l'andamento dell'umidità relativa dell'aria.

Zona climatica: Cagliari\_hour.wac;

NV.03 - PARETE NORD - CAGLIARI - UNI EN 15026

WUFI®

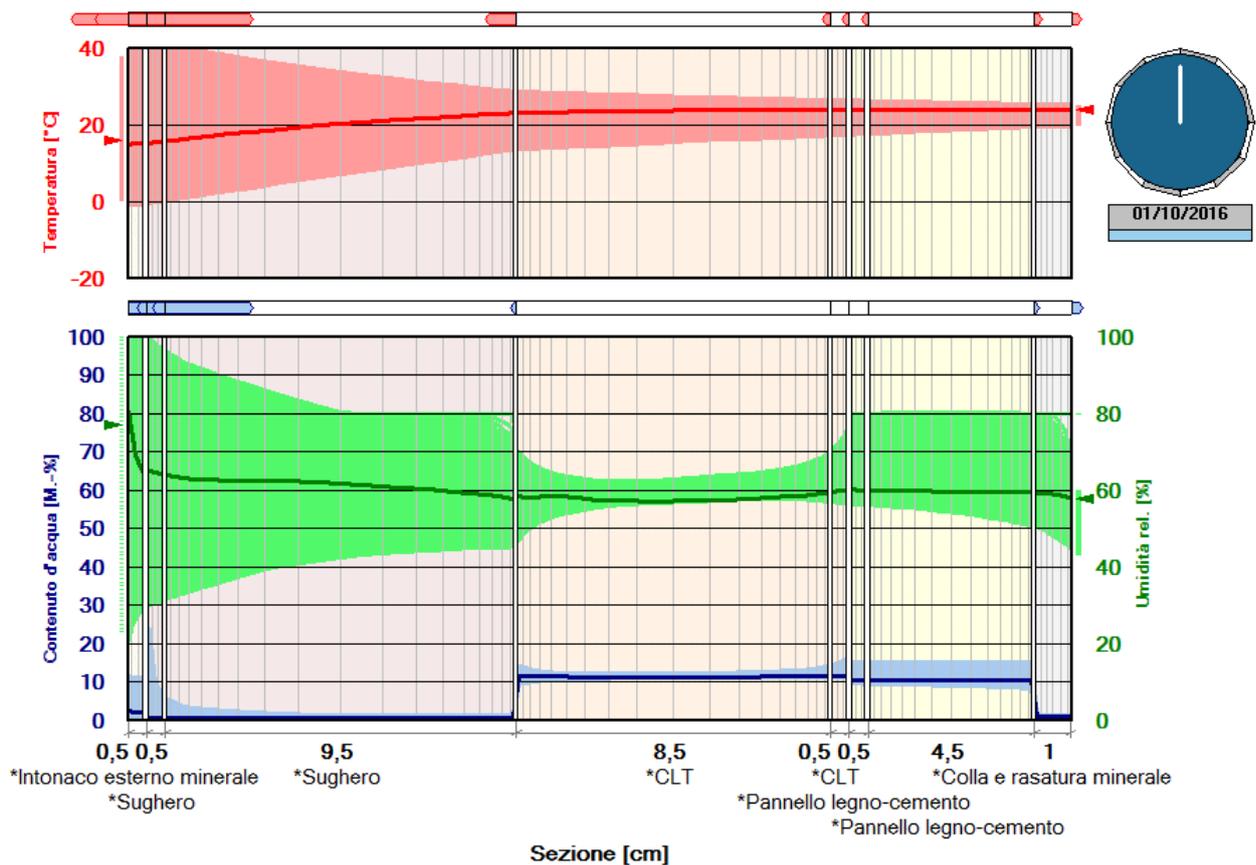


Figura 24: NV.03 - simulazione della stratigrafia al 01/10/2016

Nel sughero l'umidità relativa supera il 95% [Fig.24].

Il punto di monitoraggio nello strato esterno di sughero permette di verificarne il contenuto di acqua e il valore di temperatura e umidità relativa dell'aria.

## Variante: NV.03 - PARETE NORD - CAGLIARI - UNI EN 15026

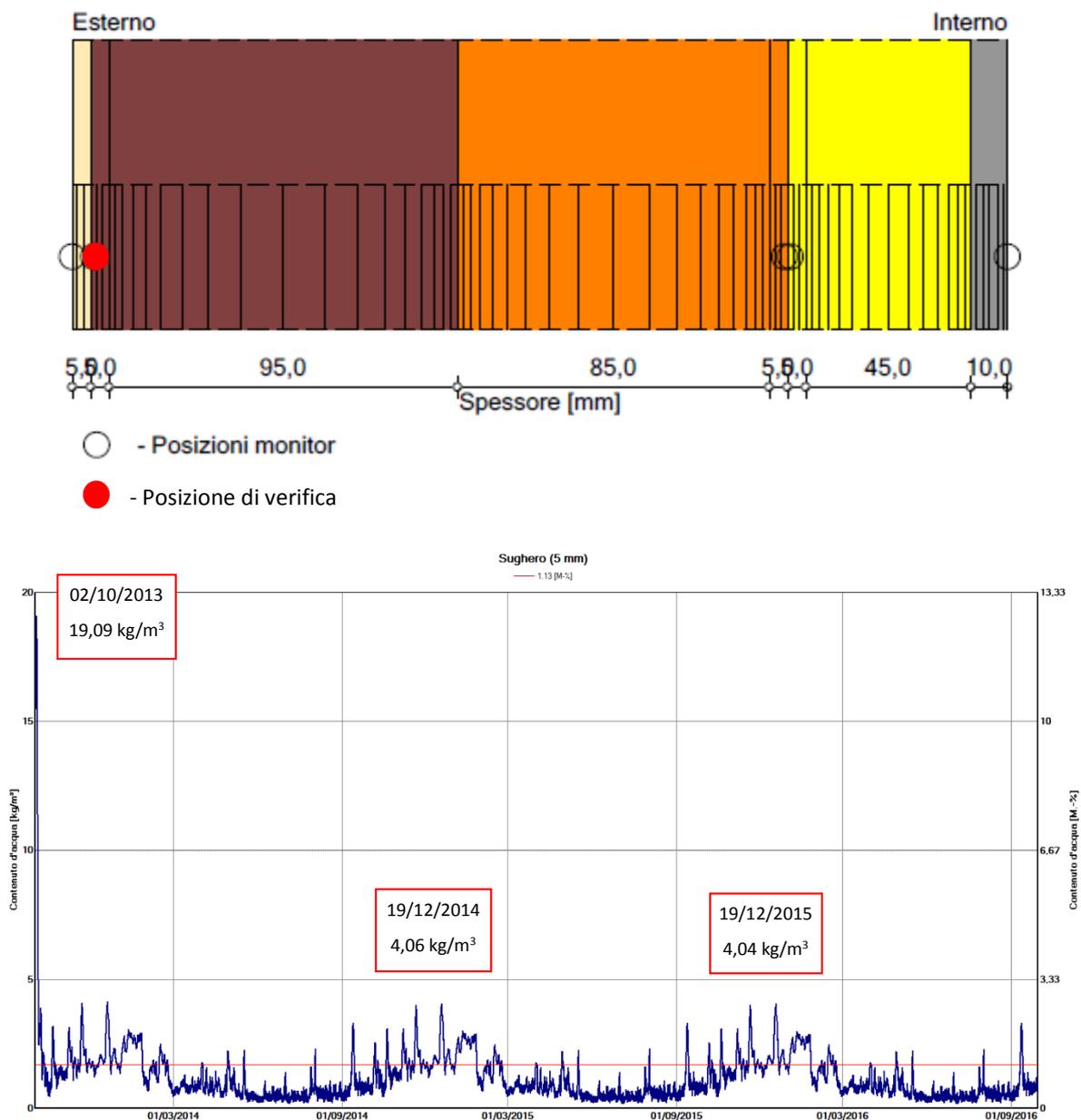


Figura 25: NV.03 - contenuto di acqua nello strato più esterno di sughero

La linea rossa indica il contenuto iniziale di acqua nel materiale (1,13 % - 1,69 kg/m³) [Fig.25].

Il grafico mostra un incremento iniziale del contenuto di acqua nel materiale, dovuto alla posa dello strato di intonaco esterno.

Successivamente il materiale raggiunge un equilibrio dinamico e il contenuto di acqua aumenta durante l'inverno e diminuisce durante l'estate. Il massimo contenuto di acqua non aumenta nel corso degli anni e questo significa che non vi è accumulo di umidità nel materiale.

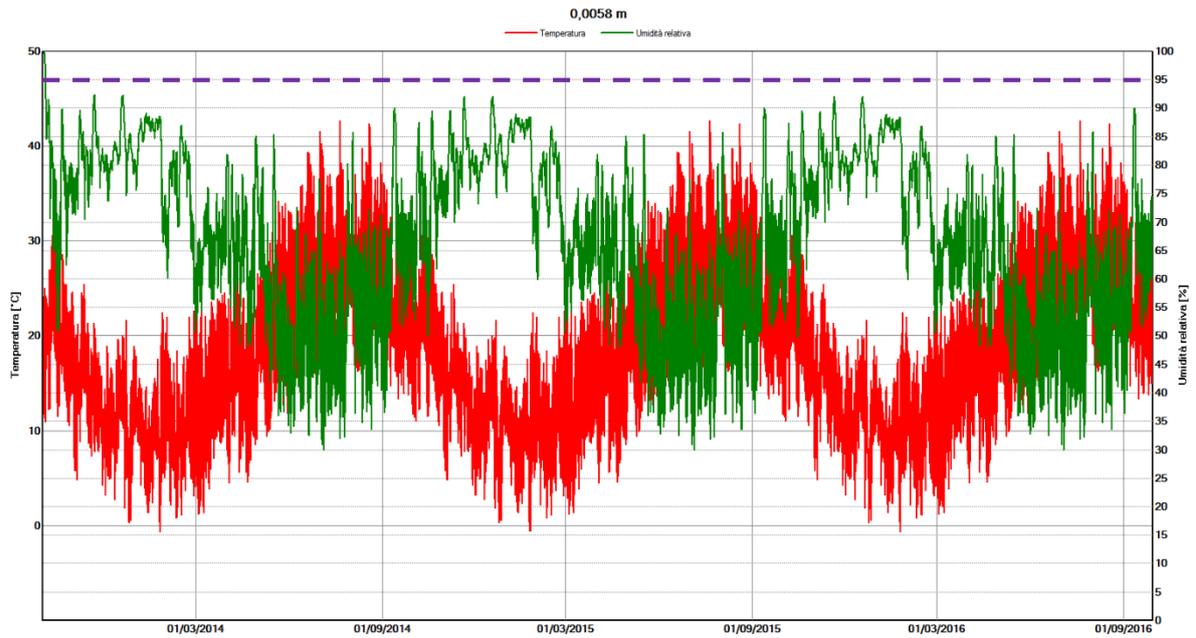


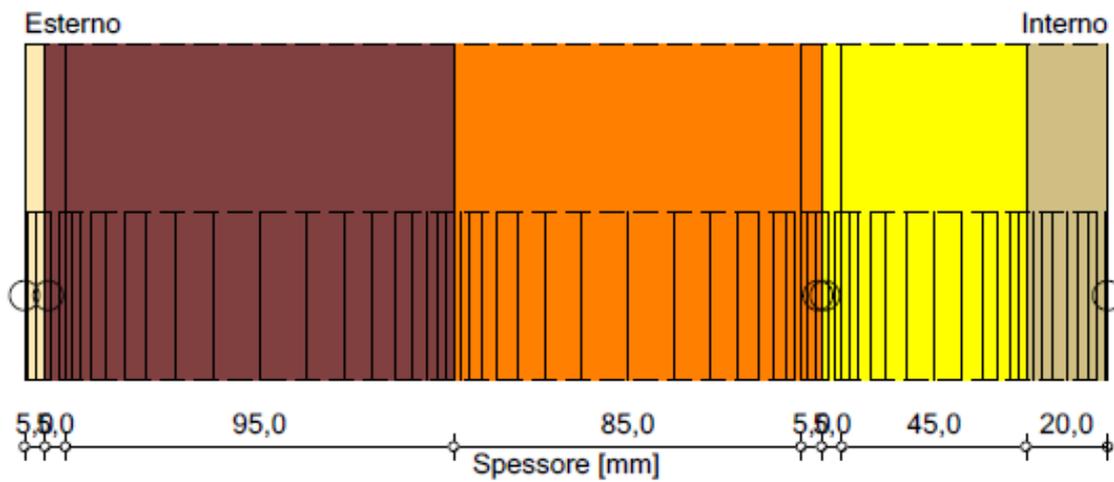
Figura 26: NV.03 - temperatura e umidità relativa dell'aria nello strato più esterno di sughero

Il grafico mostra l'andamento delle temperatura e dell'umidità relativa dell'aria nello strato più esterno di sughero [Fig.26]

L'umidità relativa supera il 95% i primi tre giorni di simulazione per il contatto con l'intonaco esterno. La brevità e unicità dell'evento non creano le condizioni per la formazione di condensa interstiziale.

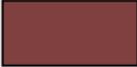
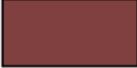
### 3.4 SIMULAZIONE 04: CAGLIARI – PARETE NORD – NON VENTILATA 04 (NV.04)

#### Variante: NV.04 - PARETE NORD - CAGLIARI - UNI EN 15026



○ - Posizioni monitor

#### Materiali :

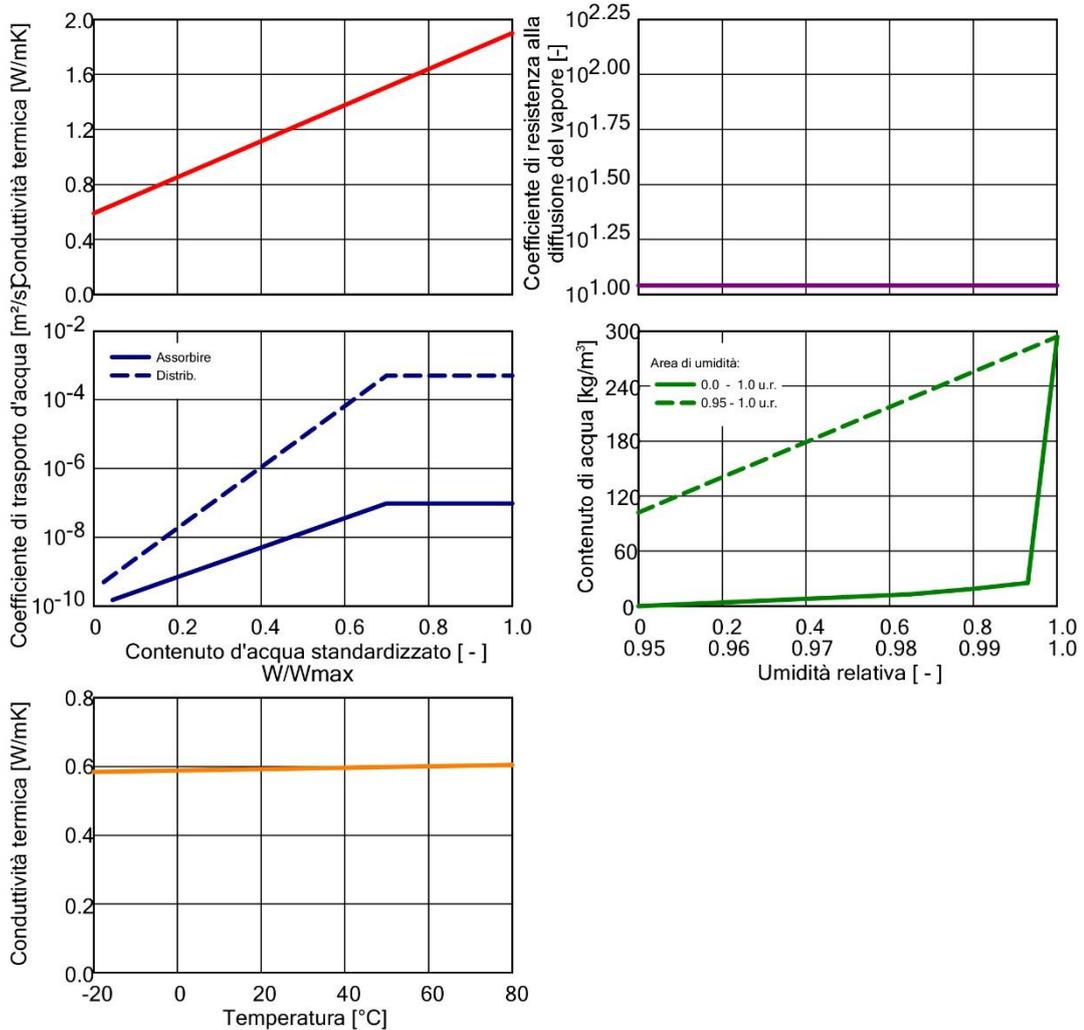
-  - \*Intonaco esterno minerale (valore w: 0.1 kg/m<sup>2</sup>h<sup>0.5</sup>)
-  - \*Sughero (5 mm)
-  - \*Sughero (95 mm)
-  - \*CLT (85 mm)
-  - \*CLT (5 mm)
-  - \*Pannello legno-cemento (5 mm)
-  - \*Pannello legno-cemento (45 mm)
-  - \*Argilla, terra cruda

## MATERIALE: ARGILLA, TERRA CRUDA

Materiale : \*Argilla, terra cruda

### Riassunto dei valori d'ingresso

Indice	Unità	Valore
Densità a secco	[kg/m <sup>3</sup> ]	1514,0
Porosità	[m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	0,42
Capacità termica a secco	[J/kgK]	1000,0
Conducibilità termica a secco ,10°C	[W/mK]	0,59
Coefficiente di resistenza della diffusione di vapore acqueo	[ - ]	11,0
Contenuto d'umidità di riferimento	[kg/m <sup>3</sup> ]	19,0
Libera saturazione acqua	[kg/m <sup>3</sup> ]	294,0
Fattore di assorbimento d'umidità	[kg/m <sup>2</sup> s <sup>0.5</sup> ]	0,0467
Aumento della conducibilità termica	[%/M.-%]	8,0
Maggiorazione conducibilità termica, temp.	[W/mK <sup>2</sup> ]	0,0002



### 3.4.1 VERIFICA SUPERFICIALE

Ai fini della verifica dell'assenza di condensa superficiale la temperatura della superficie interna deve essere inferiore alla temperatura di rugiada.

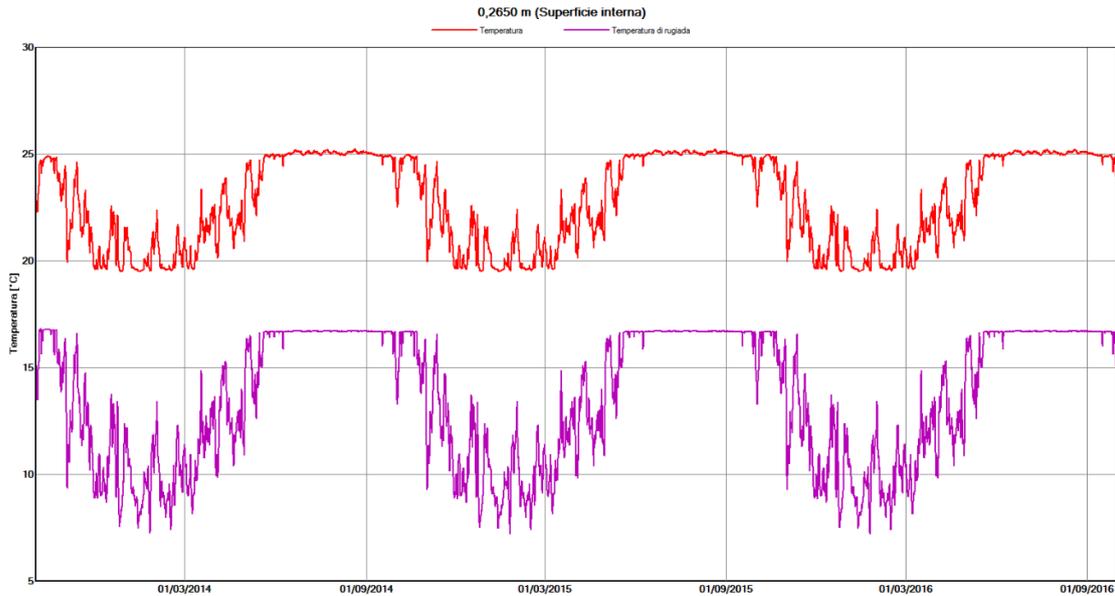


Figura 27: NV.04 - temperatura superficiale (linea rossa) e temperatura di rugiada (linea viola) sull'intonaco di argilla

La temperatura sull'intonaco di argilla si mantiene superiore alla temperatura di rugiada e questo significa che non avviene la formazione di condensa superficiale [Fig.27].

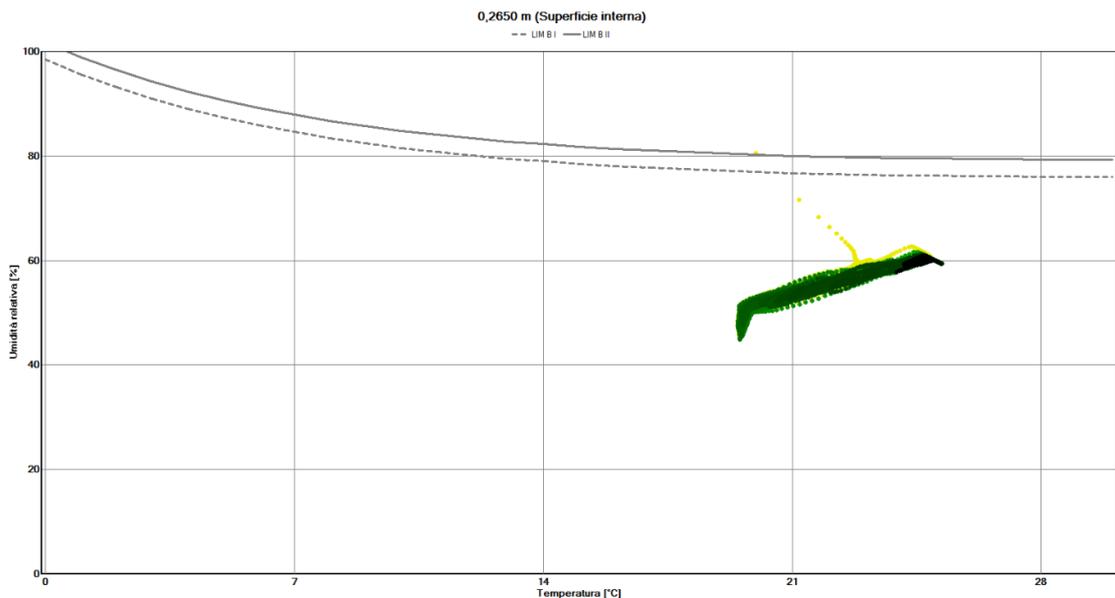


Figura 28: NV.04: isoplete limite per la crescita microbologica sull'intonaco di argilla

La condizione termoigrometrica dell'argilla supera il **LIM B II** il primo giorno di simulazione a causa delle condizioni iniziali di umidità del materiale. L'umidità relativa non supera il 90% e la brevità dell'evento non favorisce la crescita microbologica sul materiale [Fig.30].

### 3.4.2 VERIFICA INTERSTIZIALE

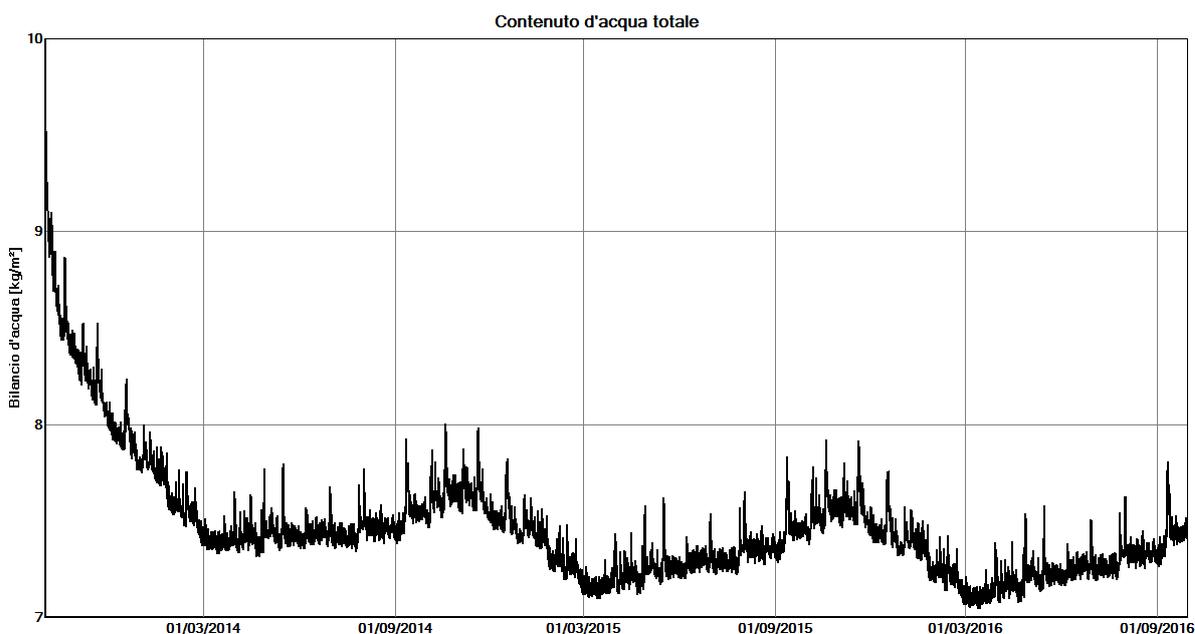


Figura 29: NV.04 - contenuto di acqua totale

Il contenuto di acqua totale diminuisce durante i tre anni di simulazione [Fig. 29].

Il valore iniziale è di 9,86 kg/m<sup>3</sup> ed il valore finale è di 7,44 kg/m<sup>3</sup>.

CONTENUTO DI ACQUA NEI SINGOLI STRATI (kg/m <sup>3</sup> )				
MATERIALE	INIZIO	FINE	MINIMO	MASSIMO
Intonaco esterno	210,00	39,96	16,05	210,00
Sughero (5 mm)	1,69	0,79	0,19	19,08
Sughero (95 mm)	1,69	0,69	0,33	2,20
CLT (85 mm)	54,00	51,22	50,17	55,73
CLT (5 mm)	54,00	52,83	50,30	68,32
Pannello di legno-cemento (5 mm)	68,00	46,78	42,50	68,00
Pannello di legno-cemento (45 mm)	68,00	46,37	40,19	68,01
Argilla, terra cruda	19,00	11,77	9,64	19,00

CONTENUTO DI ACQUA NEI SINGOLI STRATI (%M)				
MATERIALE	INIZIO	FINE	MINIMO	MASSIMO
Intonaco esterno minerale	11,05	2,10	0,84	11,05
Sughero (5 mm)	1,13	0,53	0,13	12,72
Sughero (95 mm)	1,13	0,46	0,22	1,47

CLT (80 mm)	11,87	11,26	11,03	12,25
CLT (5 mm)	11,87	11,61	11,05	15,02
Pannello di legno-cemento (5 mm)	15,11	10,40	9,44	15,11
Pannello di legno-cemento (45 mm)	15,11	10,30	8,93	15,11
Argilla, terra cruda	1,25	0,78	0,64	1,25

Il contenuto di acqua nel CLT, espresso in % di massa, si mantiene al di sotto del valore limite del 20%.

Il contenuto di acqua nel pannello di legno-cemento si mantiene al di sotto del valore limite del 18%.

Per il sughero è necessario verificare l'andamento dell'umidità relativa dell'aria.

Zona climatica: Cagliari\_hour.wac;

NV.04 - PARETE NORD - CAGLIARI - UNI EN 15026

WUFI®

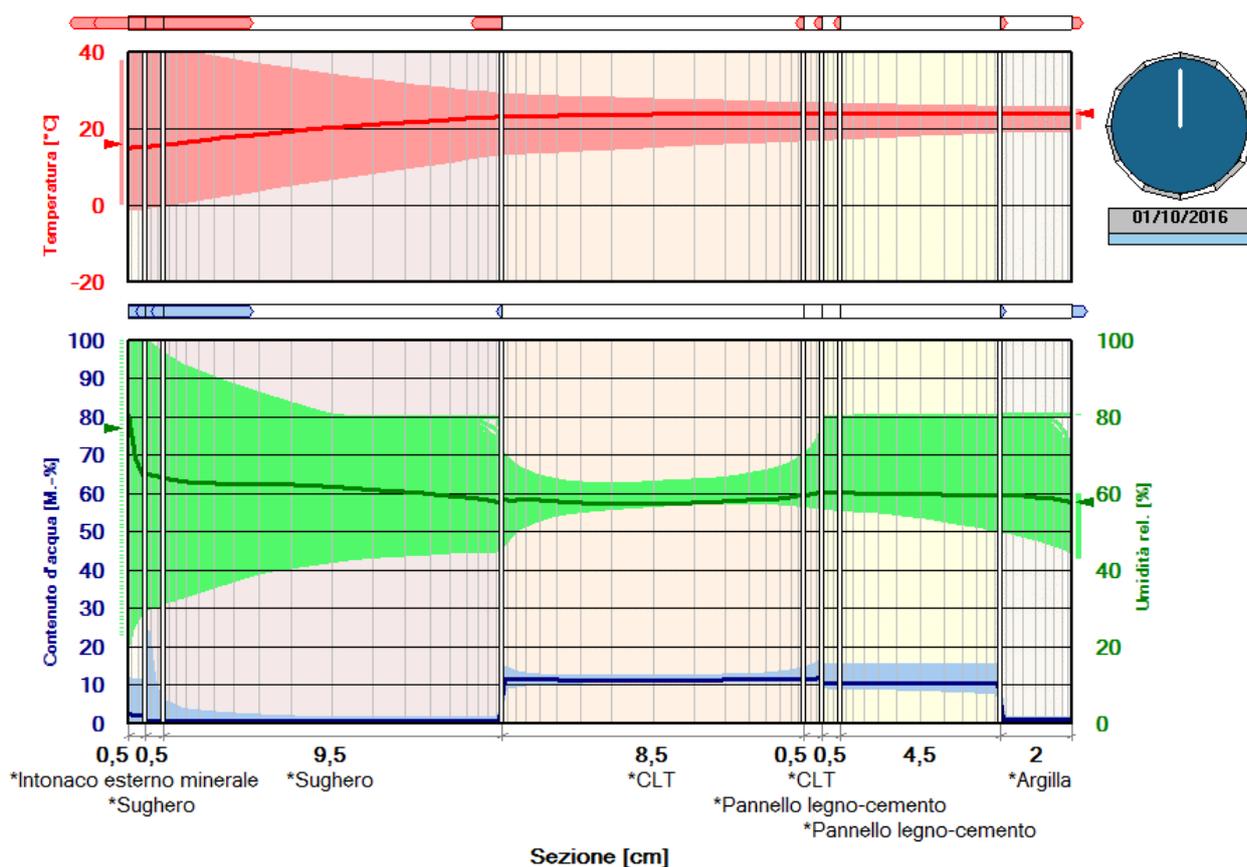


Figura 30: NV.04 - simulazione della stratigrafia al 01/10/2016

In corrispondenza dello strato di sughero l'umidità relativa supera il 95% [Fig.30].

## Variante: NV.04 - PARETE NORD - CAGLIARI - UNI EN 15026

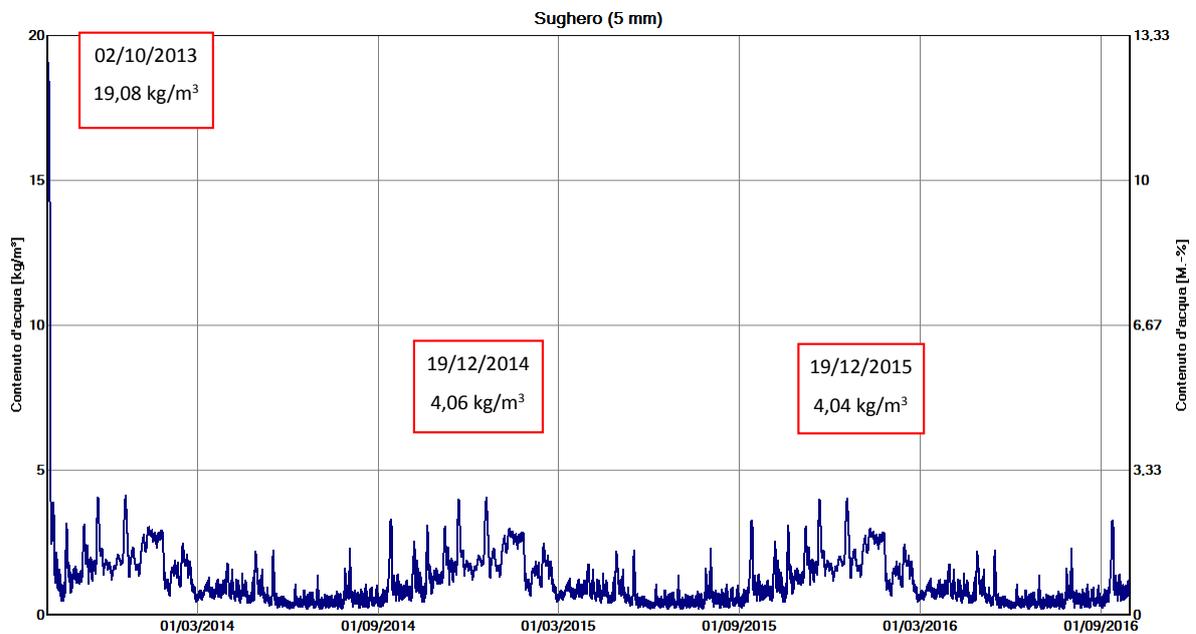
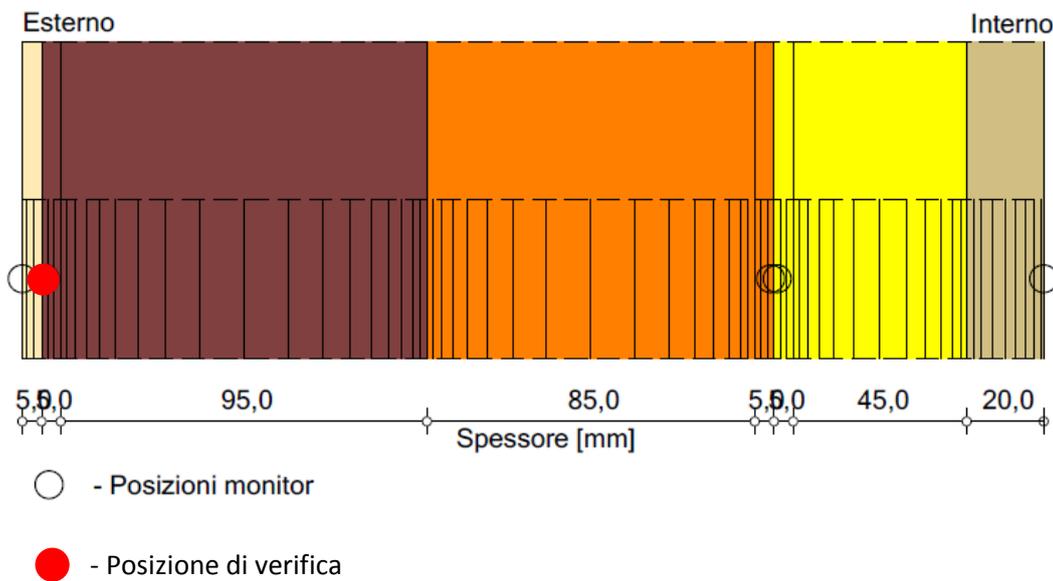


Figura 31: NV.04 - contenuto di acqua nello strato esterno di sughero

Il grafico mostra il contenuto di acqua in corrispondenza dello strato di sughero a contatto con l'intonaco esterno [Fig.31].

Lo strato ha ciclicamente un aumento e una diminuzione del contenuto di acqua e questo significa che periodicamente l'acqua evapora dallo strato. Il massimo contenuto di acqua non aumenta nel corso dei tre anni di simulazione.

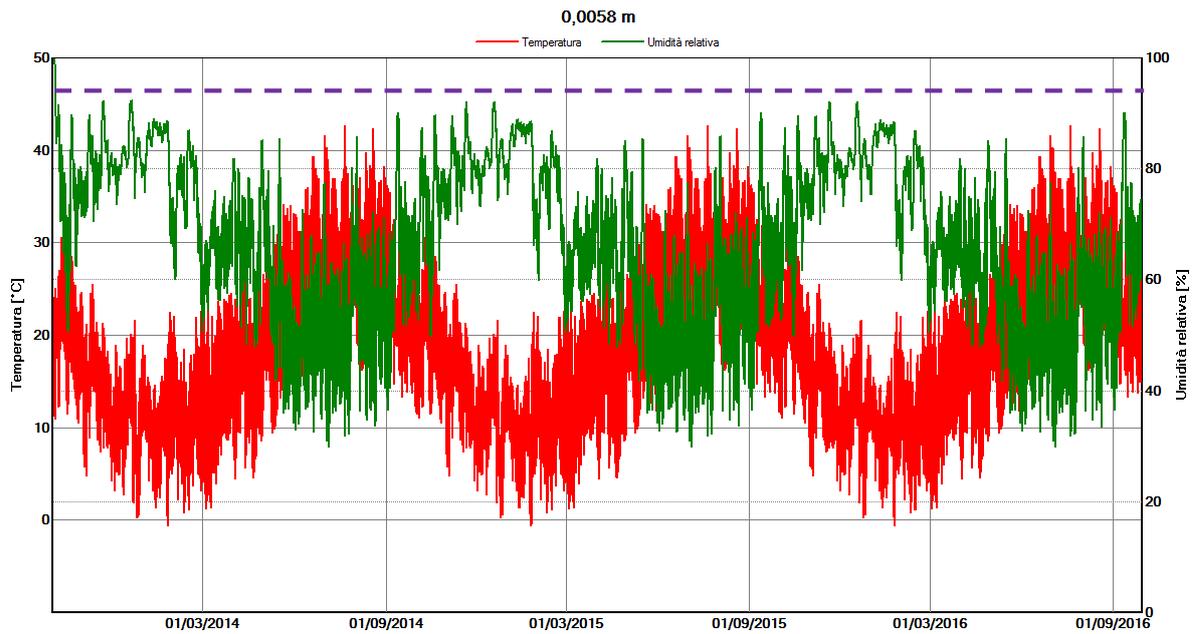


Figura 32: NV.04 - temperatura e umidità relativa nello strato esterno di sughero

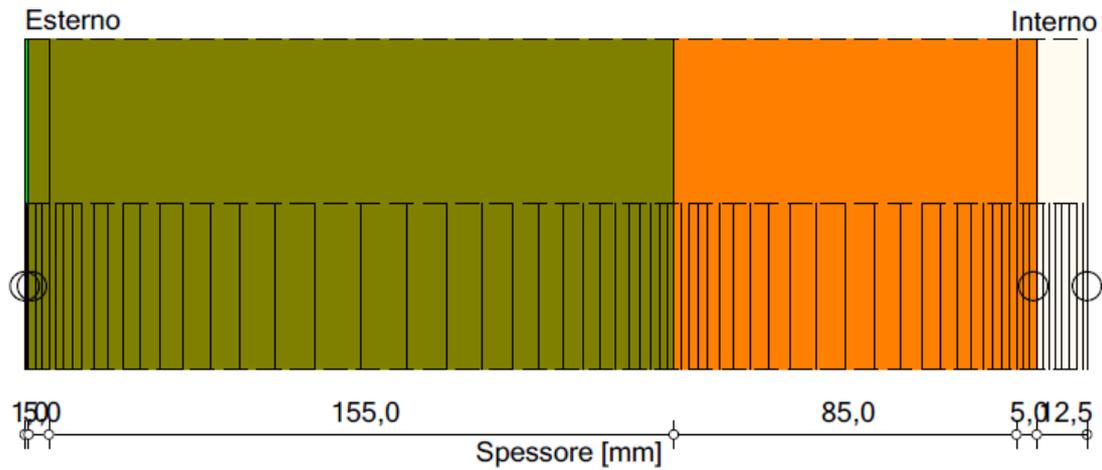
Il grafico mostra l'andamento della temperatura e dell'umidità relativa in corrispondenza dello strato di sughero a contatto con la rasatura minerale [Fig.32].

L'umidità relativa supera il 95% i primi tre giorni di simulazione.

La brevità e unicità dell'evento non creano le condizioni per la formazione di condensa interstiziale.

### 3.5 SIMULAZIONE 05: CAGLIARI – PARETE NORD – VENTILATA 01 (V.01)

#### Variante: V.01 - PARETE NORD - CAGLIARI - UNI EN 15026



○ - Posizioni monitor

#### Materiali :

 - Telo protettivo esterno (sd=0,1m)

 - \*Pannello di lino (5 mm)

 - \*Pannello di lino (155 mm)

 - \*CLT (85 mm)

 - \*CLT (5 mm)

 - Pannello di cartongesso

### 3.5.1 VERIFICA SUPERFICIALE

Ai fini dell'assenza di condensa superficiale la temperatura della superficie interna deve essere inferiore alla temperatura di rugiada.

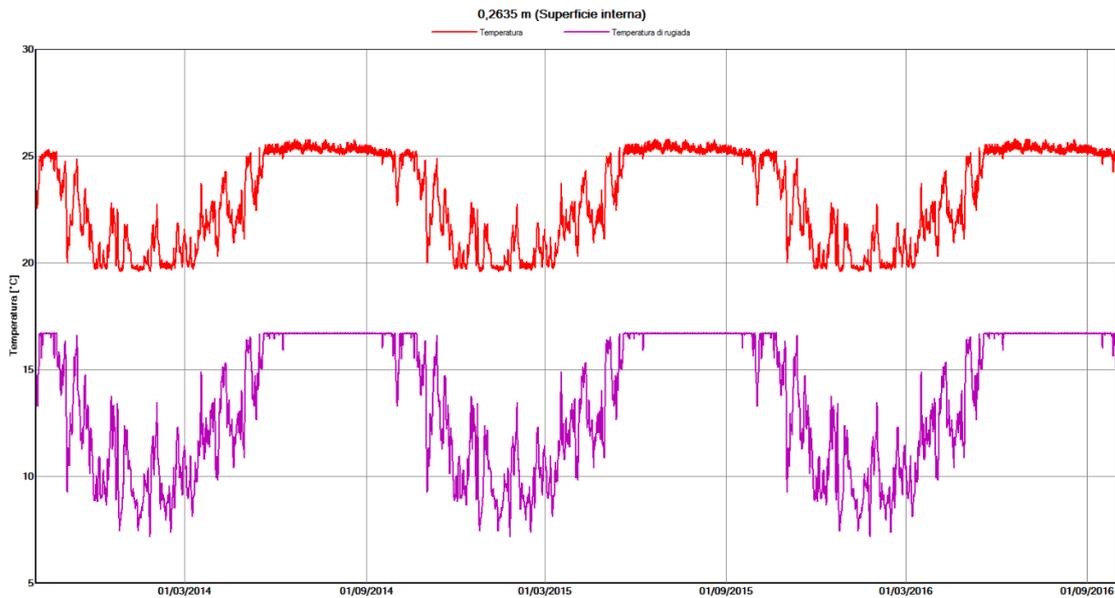


Figura 33: V.01 - temperatura superficiale (linea rossa) e temperatura di rugiada (linea viola) sul pannello di cartongesso

La temperatura sul pannello di cartongesso si mantiene superiore alla temperatura di rugiada e questo significa che non avviene la formazione di condensa superficiale [Fig.33].

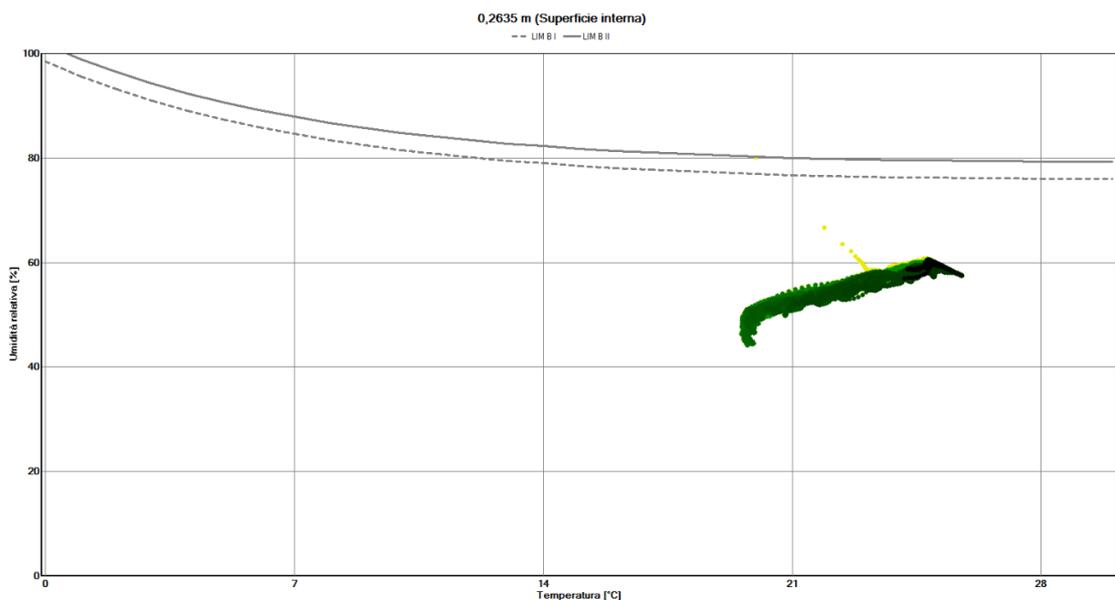


Figura 34: V.01 - isoplete limite per la crescita microbiologica sul pannello di cartongesso

La condizione termoigrometrica del cartongesso non supera il **LIM B I** e dunque il materiale non è interessato da una proliferazione microbiologica [Fig.34].

### 3.5.2 VERIFICA INTERSTIZIALE

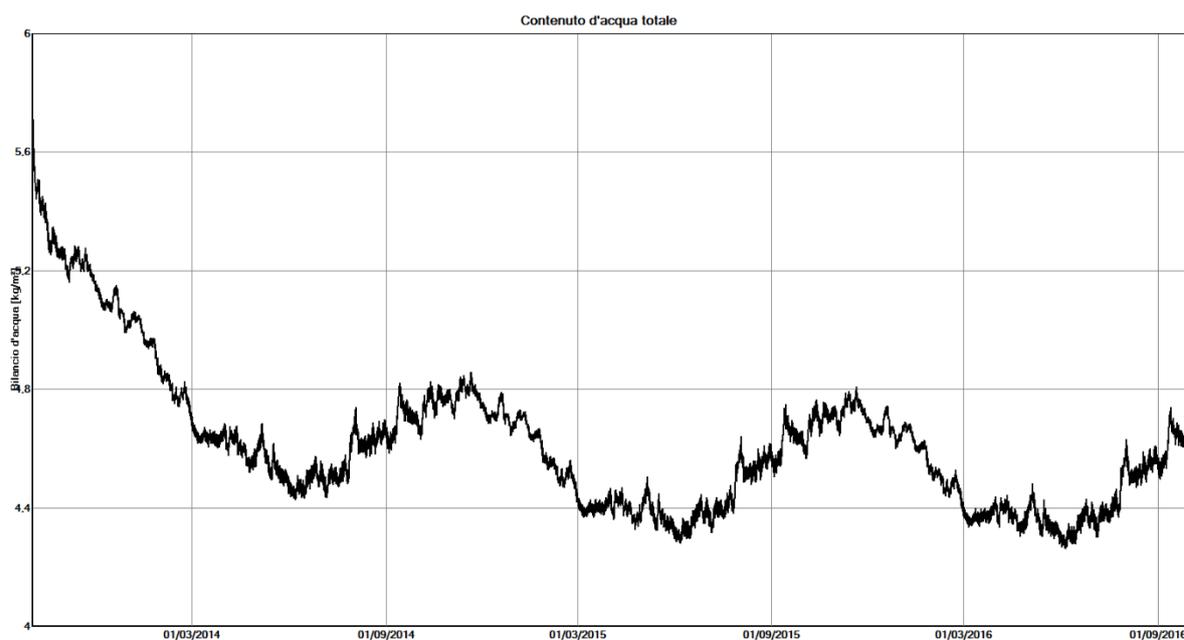


Figura 35: V.01 - contenuto di acqua totale

Il contenuto di acqua totale diminuisce durante i tre anni di simulazione [Fig.35].

Il valore iniziale è di 5,74 kg/m<sup>3</sup> ed il valore finale è di 4,62 kg/m<sup>3</sup>.

<b>CONTENUTO DI ACQUA NEI SINGOLI STRATI (kg/m<sup>3</sup>)</b>				
MATERIALE	INIZIO	FINE	MINIMO	MASSIMO
Telo protettivo esterno (sd=0,1 m)	0,00	0,00	0,00	0,20
Pannello di lino (5 mm)	5,00	2,66	0,22	5,65
Pannello di lino (155 mm)	5,00	1,92	0,96	5,00
CLT (80 mm)	54,00	46,97	44,47	54,50
CLT (5 mm)	54,00	51,56	44,40	54,82
Pannello di cartongesso	6,30	4,36	3,25	6,30

<b>CONTENUTO DI ACQUA NEI SINGOLI STRATI (%M)</b>				
MATERIALE	INIZIO	FINE	MINIMO	MASSIMO
Telo protettivo esterno (sd=0,1 m)	0,00	0,00	0,00	0,15
Pannello di lino (5 mm)	13,16	7,00	0,58	14,87
Pannello di lino (155 mm)	13,16	5,05	2,53	13,16
CLT (85 mm)	11,87	10,32	9,77	11,98
CLT (5 mm)	11,87	11,33	9,76	12,05
Pannello di cartongesso	0,74	0,51	0,38	0,74

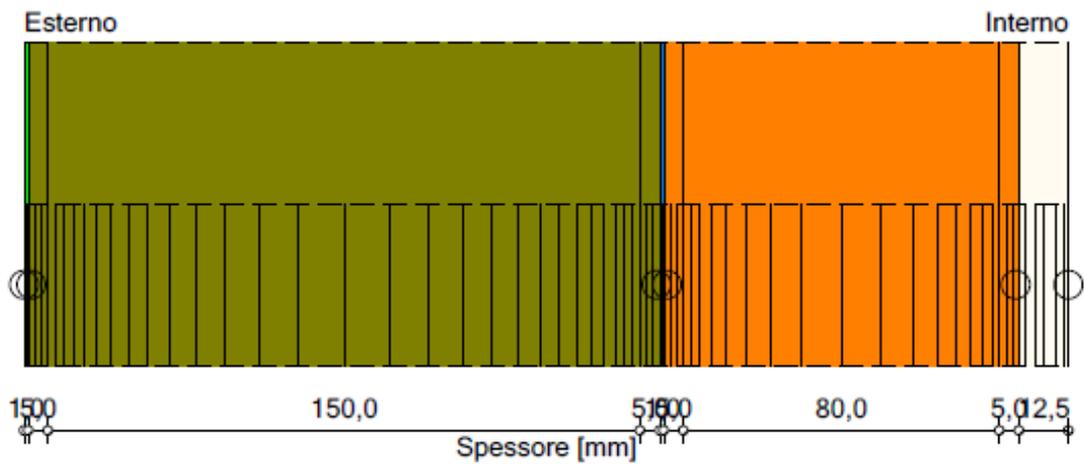
Il contenuto di acqua nel CLT, espresso in % di massa, si mantiene al di sotto del valore limite del 20%.

Il contenuto di acqua nel lino si mantiene al di sotto del valore limite del 18%.

Nella stratigrafia non si verifica condensa interstiziale.

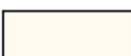
### 3.6 SIMULAZIONE 06: CAGLIARI – PARETE NORD – VENTILATA 02

#### Variante: V.02 - PARETE NORD - CAGLIARI - UNI EN 15026



○ - Posizioni monitor

#### Materiali :

-  - Telo protettivo esterno (sd=0,1m)
-  - \*Pannello di lino (5 mm)
-  - \*Pannello di lino (150 mm)
-  - \*Pannello di lino (5 mm)
-  - Barriera al vapore (sd=1500m)
-  - \*CLT (5 mm)
-  - \*CLT (80 mm)
-  - \*CLT (5 mm)
-  - Pannello di cartongesso

### 3.6.1 VERIFICA SUPERFICIALE

Ai fini dell'assenza di condensa superficiale la temperatura della superficie interna deve essere inferiore alla temperatura di rugiada.

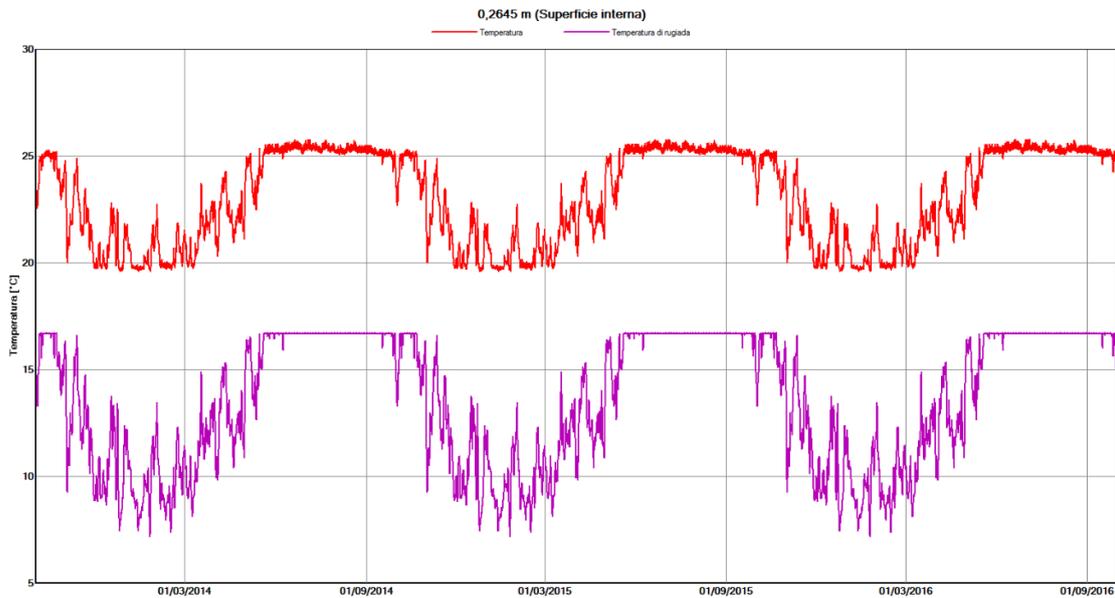


Figura 36: V.02 - temperatura superficiale (linea rossa) e temperatura di rugiada (linea viola) sul pannello di cartongesso

La temperatura sul pannello di cartongesso si mantiene superiore alla temperatura di rugiada e questo significa che non avviene la formazione di condensa superficiale [Fig.36].

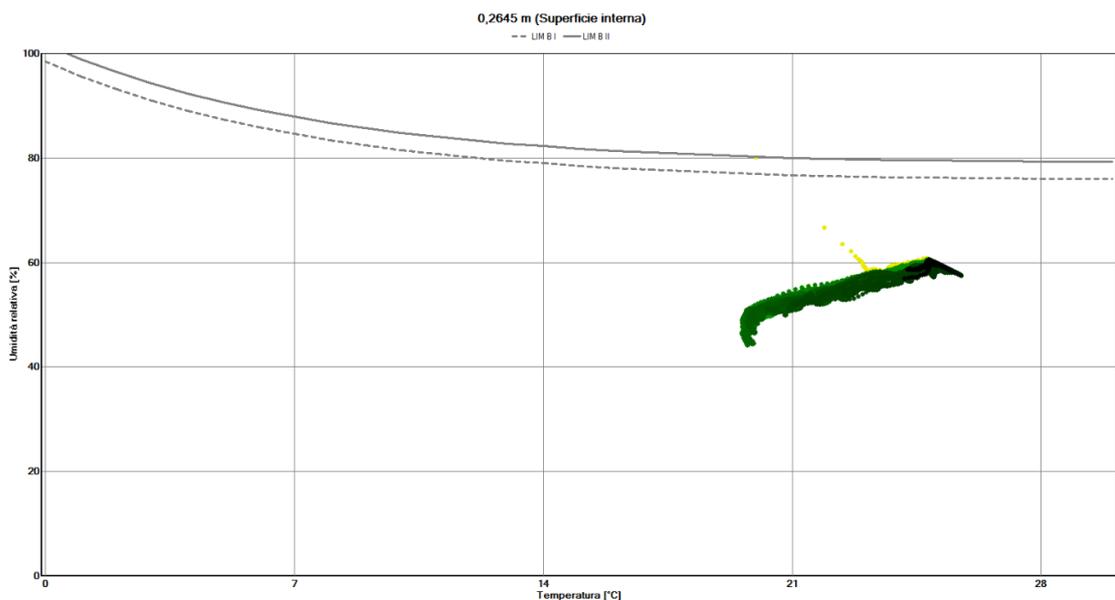


Figura 37: V.02 - isoplete limite per la crescita microbiologica sul pannello di cartongesso

La condizione termoigrometrica del cartongesso non supera il **LIM B I** e dunque il materiale non è interessato da una proliferazione microbiologica [Fig. 37]

### 3.6.2 VERIFICA INTERSTIZIALE

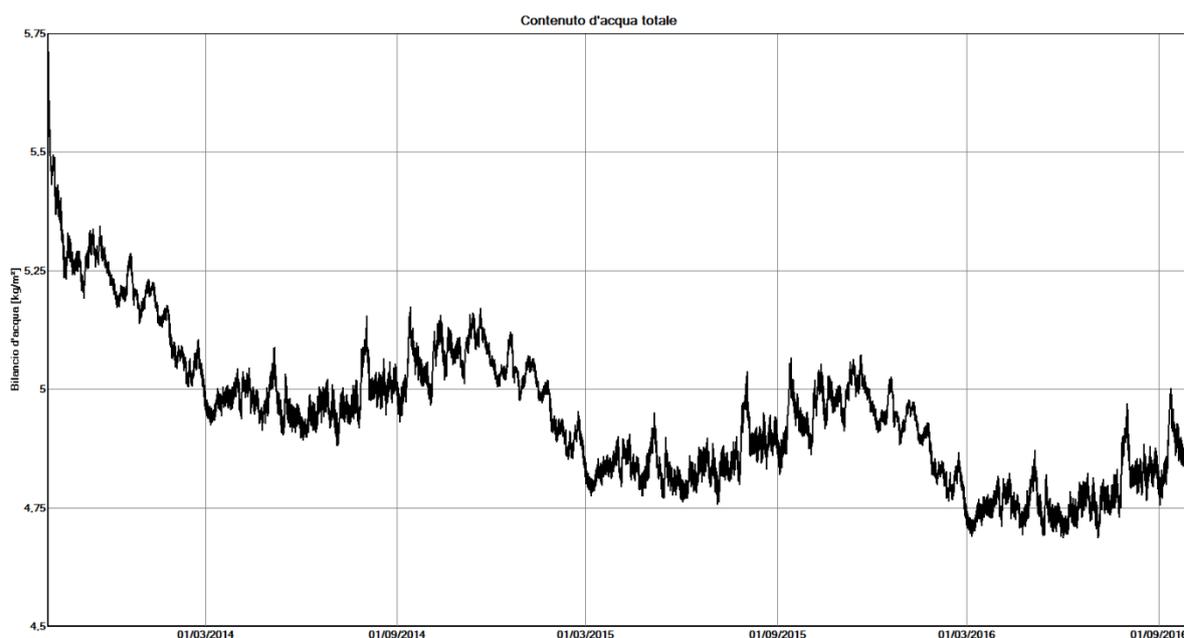


Figura 38: V.02 - contenuto di acqua totale

Il contenuto di acqua totale decresce durante i tre anni di simulazione [Fig.38].

Il contenuto iniziale è di 5,74 kg/m<sup>3</sup> e il contenuto finale è di 4,85 kg/m<sup>3</sup>.

CONTENUTO DI ACQUA NEI SINGOLI STRATI (kg/m <sup>3</sup> )				
MATERIALE	INIZIO	FINE	MINIMO	MASSIMO
Telo protettivo esterno (sd=0,1 m)	0,00	0,00	0,00	0,20
Pannello di lino (5 mm)	5,00	2,66	0,22	5,67
Pannello di lino (150 mm)	5,00	1,91	0,94	5,00
Pannello di lino (5 mm)	5,00	1,98	0,99	6,55
Barriera al vapore	0,00	0,00	0,00	0,00
CLT (5 mm)	54,00	48,30	47,99	54,61
CLT (80 mm)	54,00	49,86	49,40	54,01
CLT (5 mm)	54,00	51,92	44,62	54,81
Pannello di cartongesso	6,30	4,37	3,25	6,30

CONTENUTO DI ACQUA NEI SINGOLI STRATI (%M)				
MATERIALE	INIZIO	FINE	MINIMO	MASSIMO
Telo protettivo esterno (sd=0,1 m)	0,00	0,00	0,00	0,15
Pannello di lino (5 mm)	13,16	7,00	0,58	14,92

Pannello di lino (150 mm)	13,16	5,03	2,47	13,16
Pannello di lino (5 mm)	13,16	5,21	2,61	17,24
Barriera al vapore	0,00	0,00	0,00	0,00
CLT (5 mm)	11,87	10,62	10,55	12,00
CLT (80 mm)	11,87	10,96	10,86	11,87
CLT (5 mm)	11,87	11,41	9,81	12,05
Pannello di cartongesso	0,74	0,51	0,38	0,74

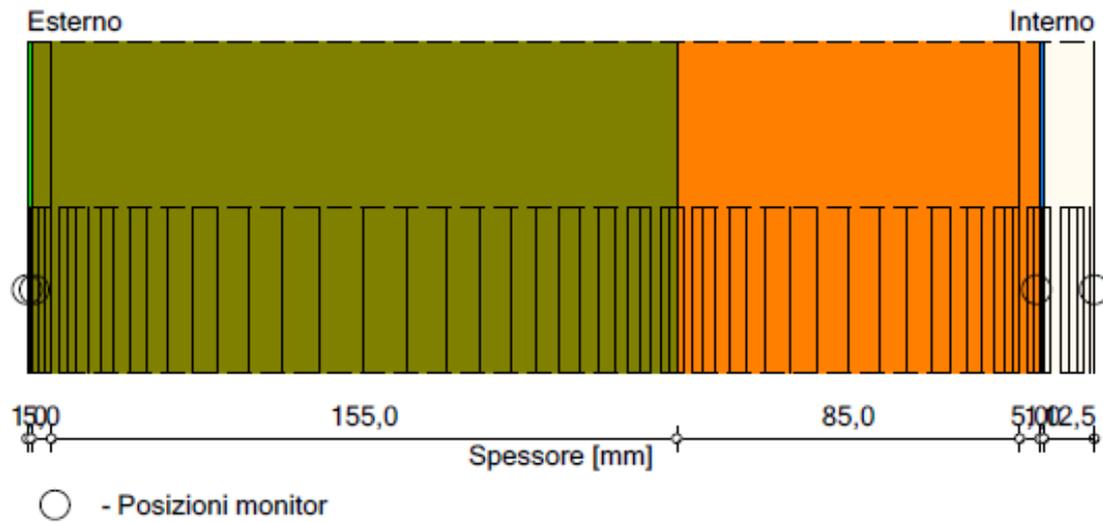
Il contenuto di acqua nel CLT, espresso in % di massa, si mantiene al di sotto del valore limite del 20%.

Il contenuto di acqua nel pannello di lino si mantiene al di sotto del valore limite del 18%.

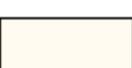
Nella stratigrafia non si verifica condensa interstiziale.

### 3.7 SIMULAZIONE 07: CAGLIARI – PARETE NORD - VENTILATA 03 (NV.03)

#### Variante: V.03 - PARETE NORD - CAGLIARI - UNI EN 15026



#### Materiali :

-  - Telo protettivo esterno (sd=0,1m)
-  - \*Pannello di lino (5 mm)
-  - \*Pannello di lino (155 mm)
-  - \*CLT (85 mm)
-  - \*CLT (5 mm)
-  - Barriera al vapore (sd=1500m)
-  - Pannello di cartongesso

### 3.7.1 VERIFICA SUPERFICIALE

Ai fini dell'assenza di condensa superficiale la temperatura della superficie interna deve essere inferiore alla temperatura di rugiada.

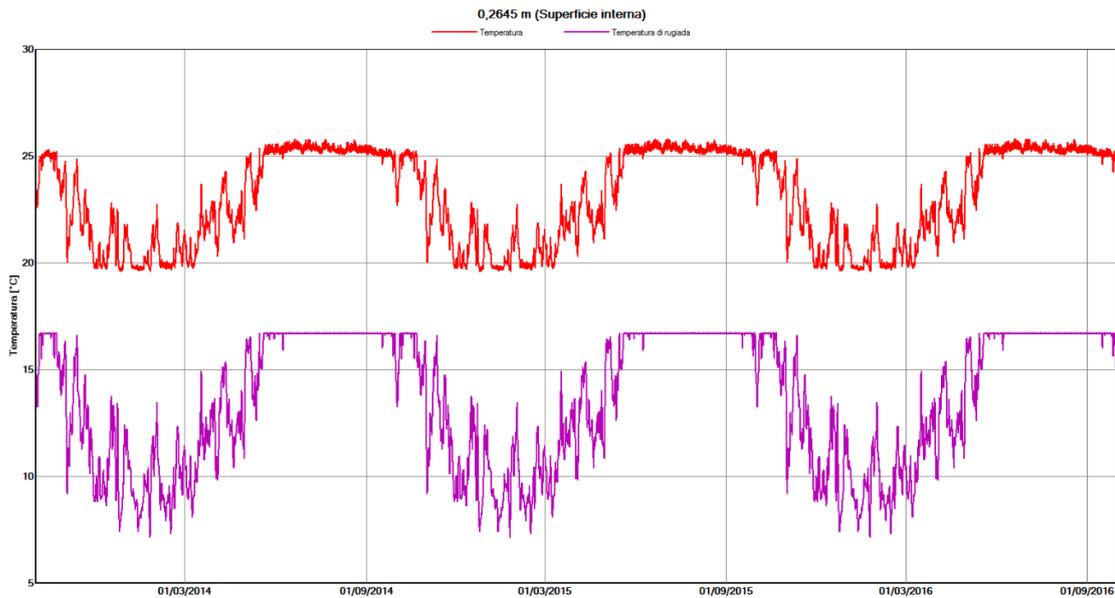


Figura 39: V.03 - temperatura superficiale (linea rossa) e temperatura di rugiada (linea viola) sul pannello di cartongesso

La temperatura sul pannello di cartongesso si mantiene superiore alla temperatura di rugiada e questo significa che non avviene la formazione di condensa superficiale [Fig.39]

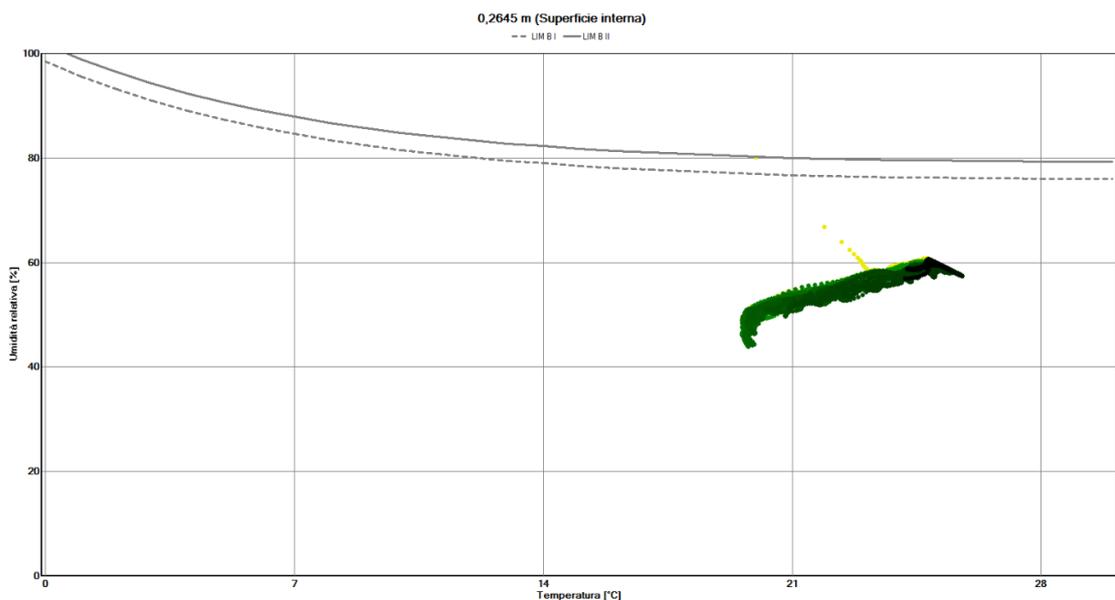


Figura 40: V.03 - isoplete limite per la crescita microbiologica sul pannello di cartongesso

La condizione termoigrometrica del cartongesso non supera il **LIM B I** e dunque il materiale non è interessato da una proliferazione microbiologica [Fig.40].

### 3.7.2 VERIFICA INTERSTIZIALE

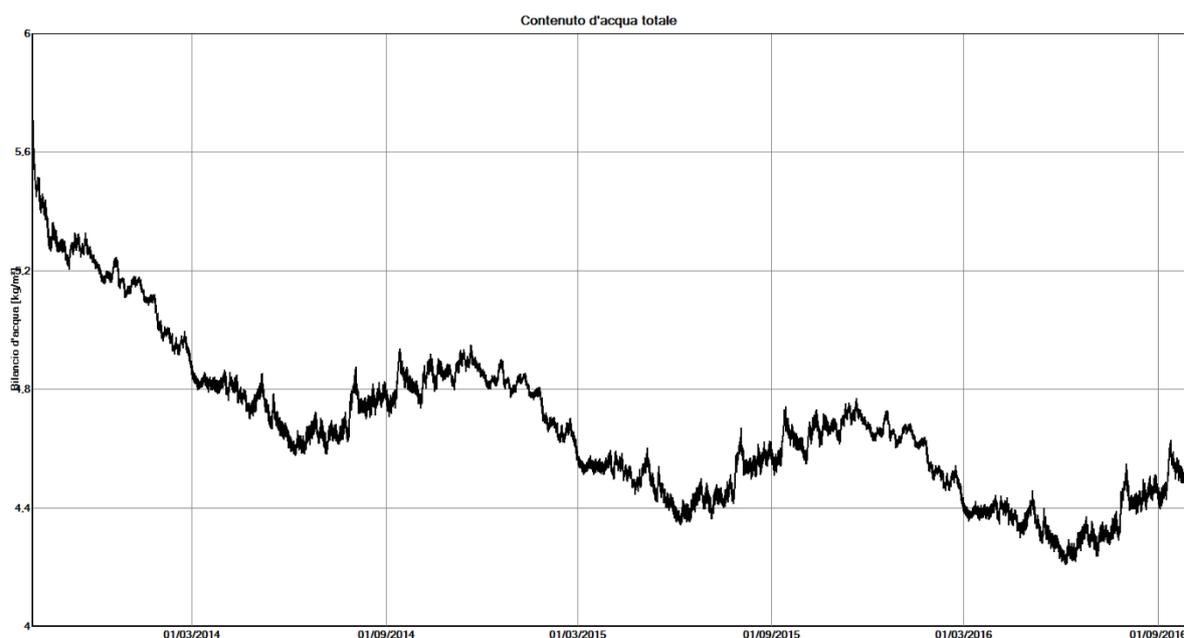


Figura 41: V.03 - contenuto di acqua totale

Il contenuto di acqua totale decresce durante i tre anni di simulazione [Fig.41].

Il contenuto iniziale è di  $5,74 \text{ kg/m}^3$  e il contenuto finale è di  $4,49 \text{ kg/m}^3$ .

<b>CONTENUTO DI ACQUA NEI SINGOLI STRATI (<math>\text{kg/m}^3</math>)</b>				
MATERIALE	INIZIO	FINE	MINIMO	MASSIMO
Telo protettivo esterno (sd=0,1 m)	0,00	0,00	0,00	0,20
Pannello di lino (5 mm)	5,00	2,66	0,22	5,65
Pannello di lino (155 mm)	5,00	1,92	0,96	5,00
CLT (85 mm)	54,00	45,76	44,03	54,51
CLT (5 mm)	54,00	47,00	46,99	54,08
Barriera al vapore	0,00	0,00	0,00	0,00
Pannello di cartongesso	6,30	4,32	3,18	6,30

<b>CONTENUTO DI ACQUA NEI SINGOLI STRATI (% M)</b>				
MATERIALE	INIZIO	FINE	MINIMO	MASSIMO
Telo protettivo esterno (sd=0,1 m)	0,00	0,00	0,00	0,15
Pannello di lino (5 mm)	13,16	7,00	0,58	14,87
Pannello di lino (155 mm)	13,16	5,05	2,53	13,16
CLT (85 mm)	11,87	10,06	9,68	11,98
CLT (5 mm)	11,87	10,33	10,33	11,89

Barriera al vapore	0,00	0,00	0,00	0,00
Pannello di cartongesso	0,74	0,51	0,37	0,74

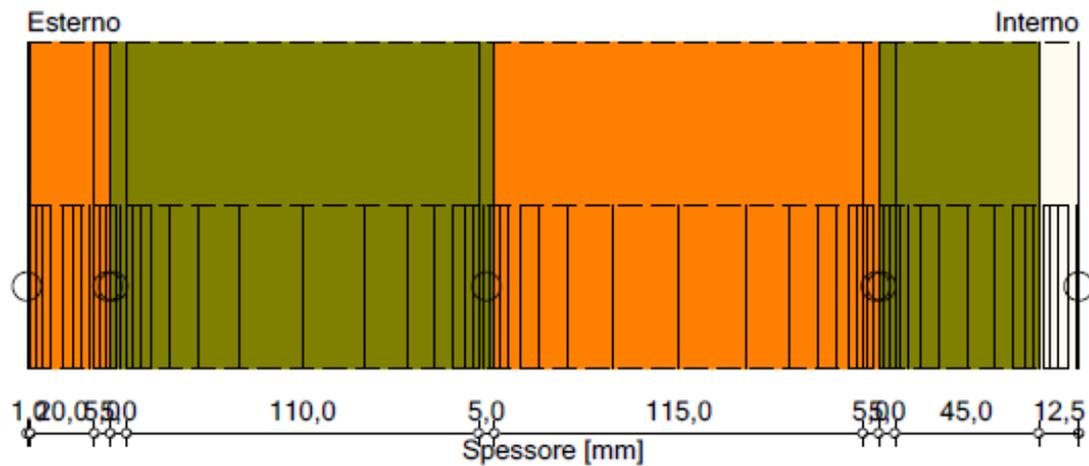
Il contenuto di acqua nel CLT si mantiene al di sotto del valore limite del 20%.

Il contenuto di acqua nel pannello di lino si mantiene al di sotto del valore limite del 18%.

Nella stratigrafia non si verifica condensa interstiziale.

### 3.8 SIMULAZIONE 08: CAGLIARI – COPERTURA NORD – VENTILATA 01 (V.01)

#### Variante: V.01 - COPERTURA



○ - Posizioni monitor

#### Materiali :

-  - \*Guaina sottomanto
-  - \*Tavolato in abete (20 mm)
-  - \*Tavolato in abete (5 mm)
-  - \*Pannello di lino (5 mm)
-  - \*Pannello di lino (110 mm)
-  - \*Pannello di lino (5 mm)
-  - \*CLT (115 mm)
-  - \*CLT (5 mm)
-  - \*Pannello di lino (5 mm)
-  - \*Pannello di lino (45 mm)
-  - Pannello di cartongesso

### 3.8.1 VERIFICA SUPERFICIALE

Ai fini dell'assenza di condensa superficiale la temperatura della superficie interna deve essere inferiore alla temperatura di rugiada.

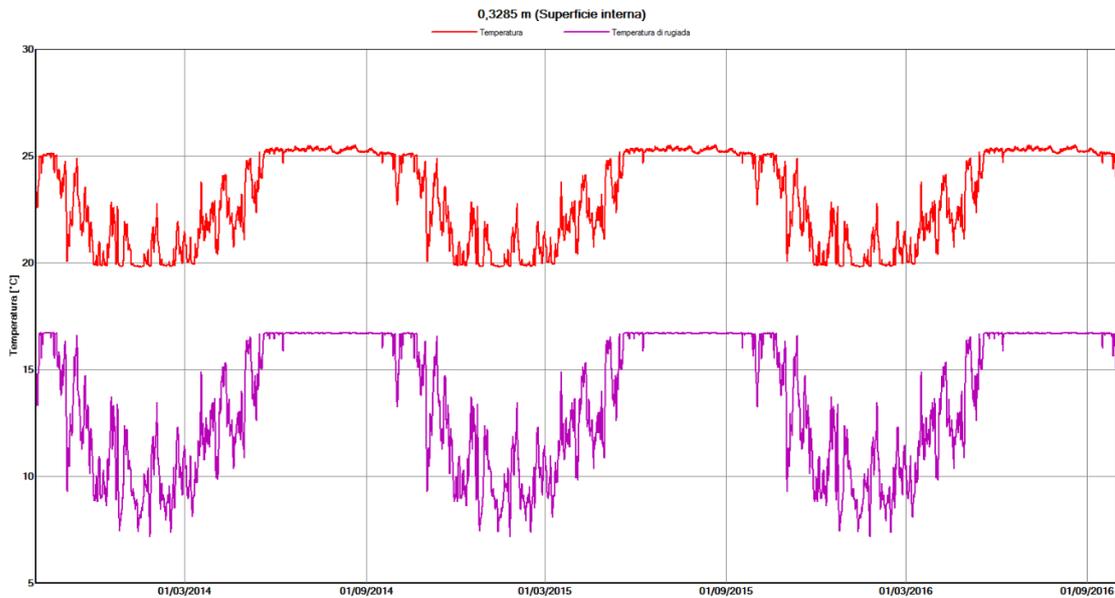


Figura 42: V.01 - temperatura superficiale (linea rossa) e temperatura di rugiada (linea viola) sul pannello di cartongesso

La temperatura sul pannello di cartongesso si mantiene superiore alla temperatura di rugiada e questo significa che non avviene la formazione di condensa superficiale [Fig.42].

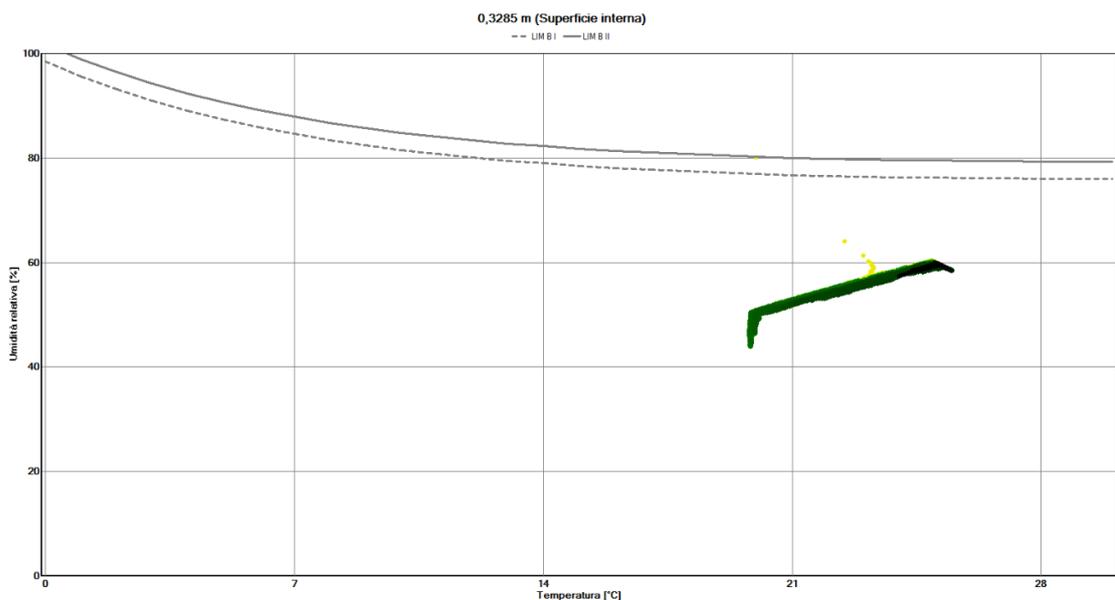


Figura 43: V.01 - isoplete limite per la crescita microbiologica sul pannello di cartongesso

La condizione termoigrometrica del cartongesso non supera il **LIM B I** e dunque il materiale non è interessato da una proliferazione microbiologica [Fig.43].

### 3.8.2 VERIFICA INTERSTIZIALE

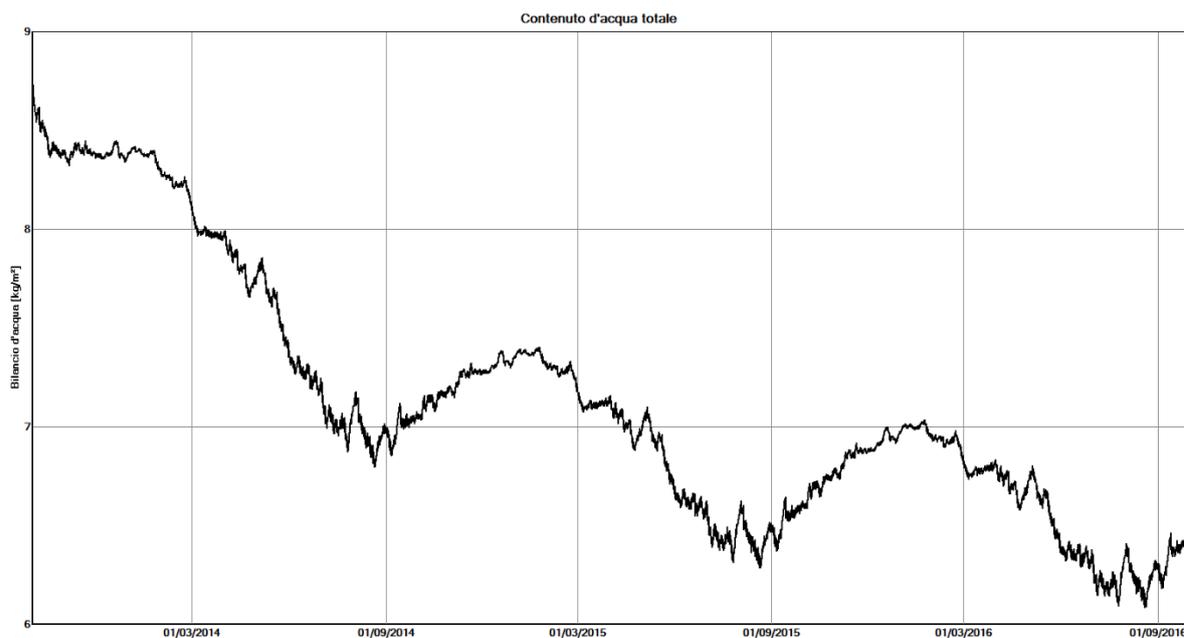


Figura 44: V.01 - contenuto di acqua totale

Il contenuto di acqua totale decresce durante i tre anni di simulazione [Fig.44].

Il contenuto iniziale è di 8,76 kg/m<sup>3</sup> e il contenuto finale è di 6,44 kg/m<sup>3</sup>

<b>CONTENUTO DI ACQUA NEI SINGOLI STRATI (kg/m<sup>3</sup>)</b>				
MATERIALE	INIZIO	FINE	MINIMO	MASSIMO
Guaina sottomanto	0,00	0,00	0,00	0,01
Tavolato in abete (20 mm)	54,00	34,68	17,26	57,01
Tavolato in abete (5 mm)	54,00	34,42	21,30	62,44
Pannello di lino (5 mm)	5,00	1,54	0,53	5,00
Pannello di lino (110 mm)	5,00	1,46	1,22	5,00
Pannello di lino (5 mm)	5,00	1,46	1,19	6,94
CLT (115 mm)	54,00	43,14	42,96	55,45
CLT (5 mm)	54,00	47,90	41,68	59,03
Pannello di lino (5 mm)	5,00	2,59	1,86	5,00
Pannello di lino (45 mm)	5,00	2,83	2,13	5,00
Pannello di cartongesso	6,30	4,47	3,27	6,30

<b>CONTENUTO DI ACQUA NEI SINGOLI STRATI (%M)</b>				
MATERIALE	INIZIO	FINE	MINIMO	MASSIMO
Guaina sottomanto	0,00	0,00	0,00	0,01

Tavolato in abete (20 mm)	11,87	7,62	3,79	12,53
Tavolato in abete (5 mm)	11,87	7,56	4,68	13,72
Pannello di lino (5 mm)	13,16	4,05	1,39	13,16
Pannello di lino (110 mm)	13,16	3,84	3,21	13,16
Pannello di lino (5 mm)	13,16	3,84	3,13	18,26
CLT (115 mm)	11,87	9,48	9,44	12,19
CLT (5 mm)	11,87	10,53	9,16	12,97
Pannello di lino (5 mm)	13,16	6,82	4,89	13,16
Pannello di lino (45 mm)	13,16	7,45	5,61	13,16
Pannello di cartongesso	0,74	0,53	0,38	0,74

Il contenuto di acqua nel CLT, espresso in % di massa, si mantiene al di sotto del valore limite del 20%.

Il contenuto di acqua nel tavolato si mantiene al di sotto del valore limite del 20%.

Attenzione: il contenuto di acqua nel pannello di lino a contatto con il CLT supera il valore limite del 18%.

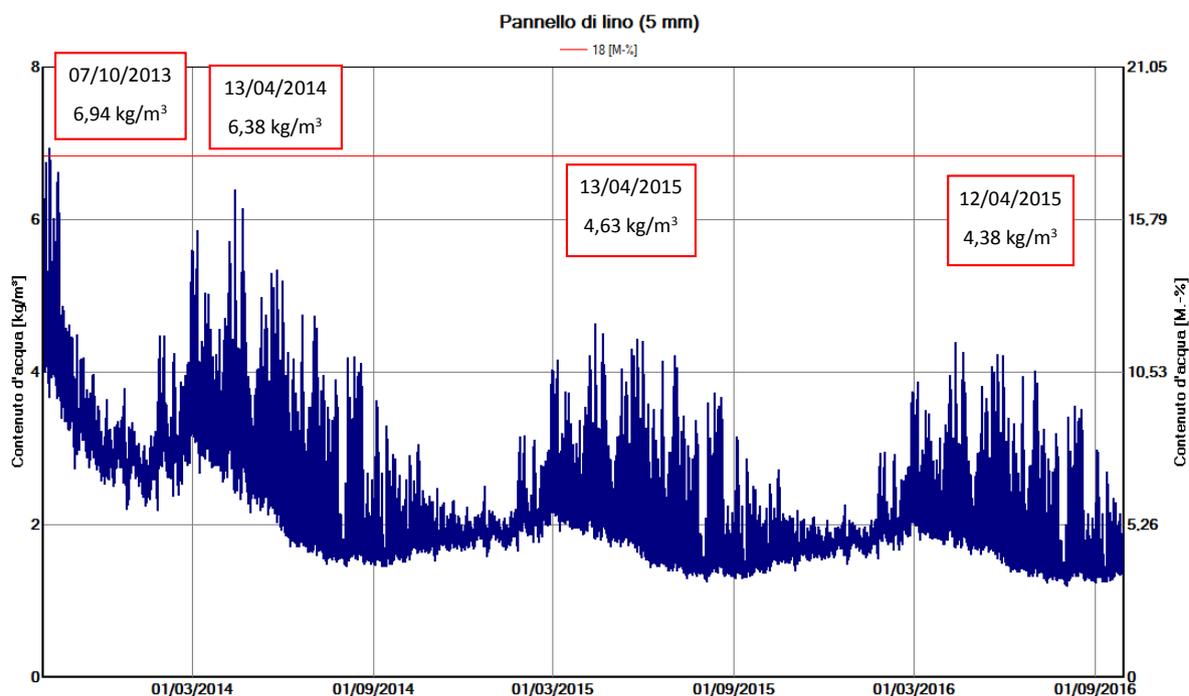


Figura 45: V.01 - contenuto di acqua nello strato di lino a contatto con il CLT

Il grafico mostra l'andamento del contenuto di acqua nello strato di lino a contatto con il CLT [Fig.45]. La linea rossa indica il contenuto di acqua limite (18%).

Nel lino si verifica un aumento del contenuto di acqua nei primi giorni di simulazione per poi raggiungere un equilibrio dinamico con l'ambiente.

Il massimo contenuto di acqua non aumenta nel corso dei tre anni di simulazione e questo significa che non avviene un accumulo di acqua nel materiale.

Il contenuto di acqua nel lino supera il 18% un solo giorno nel corso della simulazione (l'08/10/2013).

La brevità e unicità dell'evento non comporta problemi di condensa interstiziale.

Una possibilità per evitare questo picco di umidità è quello di utilizzare in cantiere un CLT con umidità inferiore.

Il contenuto di acqua del legno, che è possibile indicare in fase di capitolato, non deve superare il 10,5%.

In questo modo il contenuto di acqua nel lino si mantiene inferiore al 18% [Fig.46].

<b>CONTENUTO DI ACQUA NEI SINGOLI STRATI (%M)</b>				
MATERIALE	INIZIO	FINE	MINIMO	MASSIMO
Guaina sottomanto	0,00	0,00	0,00	0,01
Tavolato in abete (20 mm)	11,87	7,61	3,76	12,30
Tavolato in abete (5 mm)	11,87	7,53	4,63	12,94
Pannello di lino (5 mm)	13,16	4,00	1,39	13,16
Pannello di lino (110 mm)	13,16	3,81	3,18	13,16
Pannello di lino (5 mm)	13,16	3,81	3,08	17,36
CLT (115 mm)	10,50	9,42	9,37	10,94
CLT (5 mm)	10,50	10,51	9,15	11,96
Pannello di lino (5 mm)	13,16	6,79	4,89	13,16
Pannello di lino (45 mm)	13,16	7,42	5,60	13,16
Pannello di cartongesso	0,74	0,52	0,38	0,74

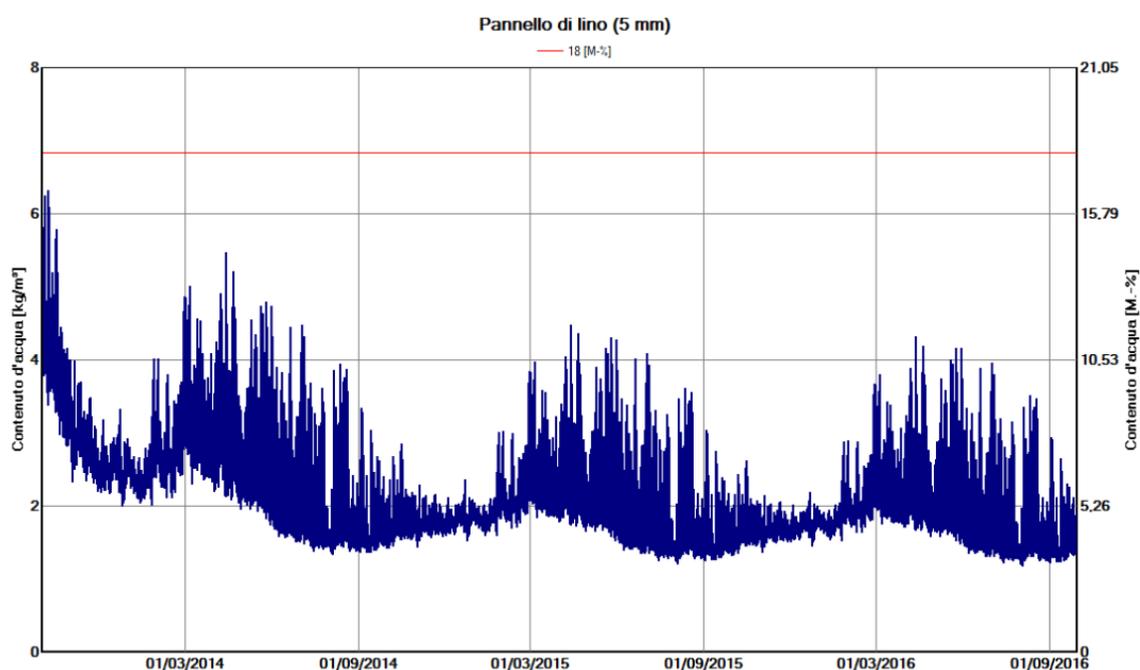
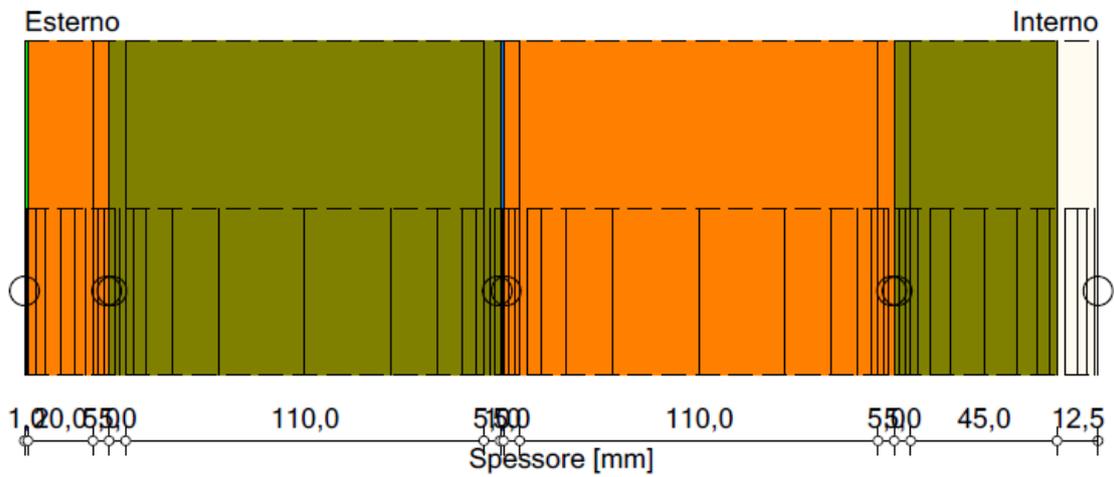


Figura 46: contenuto di acqua nello strato di lino a contatto con il CLT (umidità CLT 10,5%)

3.9 SIMULAZIONE 09: CAGLIARI – COPERTURA NORD – VENTILATA 02 (V.02)

Variante: V.02 - COPERTURA



○ - Posizioni monitor

**Materiali :**

-  - \*Guaina sottomanto
-  - \*Tavolato in abete (20 mm)
-  - \*Tavolato in abete (5 mm )
-  - \*Pannello di lino (5 mm)
-  - \*Pannello di lino (110 mm)
-  - \*Pannello di lino (5 mm)
-  - Barriera al vapore (sd=1500m)
-  - \*CLT (5 mm)
-  - \*CLT (110 mm)
-  - \*CLT (5 mm)
-  - \*Pannello di lino (5 mm)
-  - \*Pannello di lino (45 mm)
-  - Pannello di cartongesso

### 3.9.1 VERIFICA SUPERFICIALE

Ai fini dell'assenza di condensa superficiale la temperatura della superficie interna deve essere inferiore alla temperatura di rugiada.

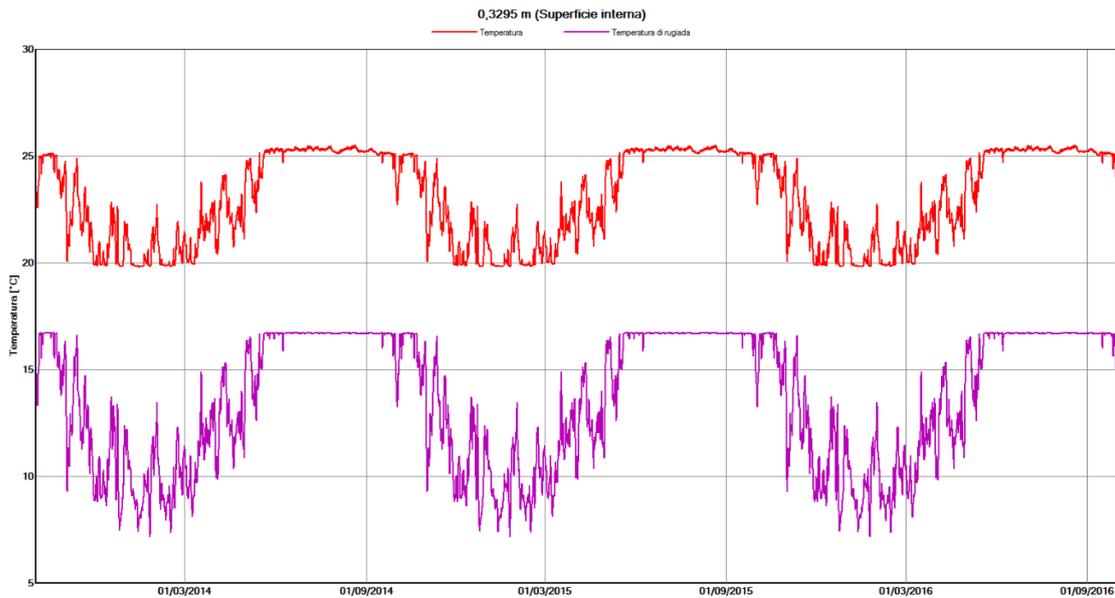


Figura 47: V.02 – temperatura superficiale (linea rossa) e temperatura di rugiada (linea viola) sul pannello di cartongesso

La temperatura sul pannello di cartongesso si mantiene superiore alla temperatura di rugiada e questo significa che non avviene la formazione di condensa superficiale [Fig.47].

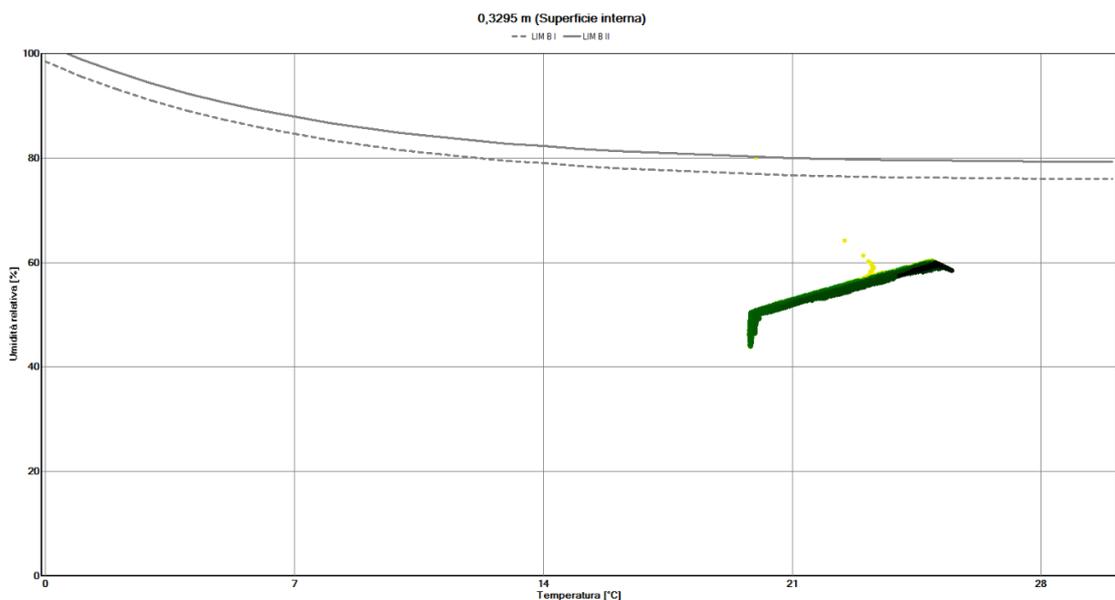


Figura 48: V.02 - isoplete limite per la crescita microbiologica sul pannello di cartongesso

La condizione termoigrometrica del cartongesso non supera il **LIM B I** e dunque il materiale non è interessato da una proliferazione microbiologica [Fig.48].

### 3.9.2 VERIFICA INTERSTIZIALE

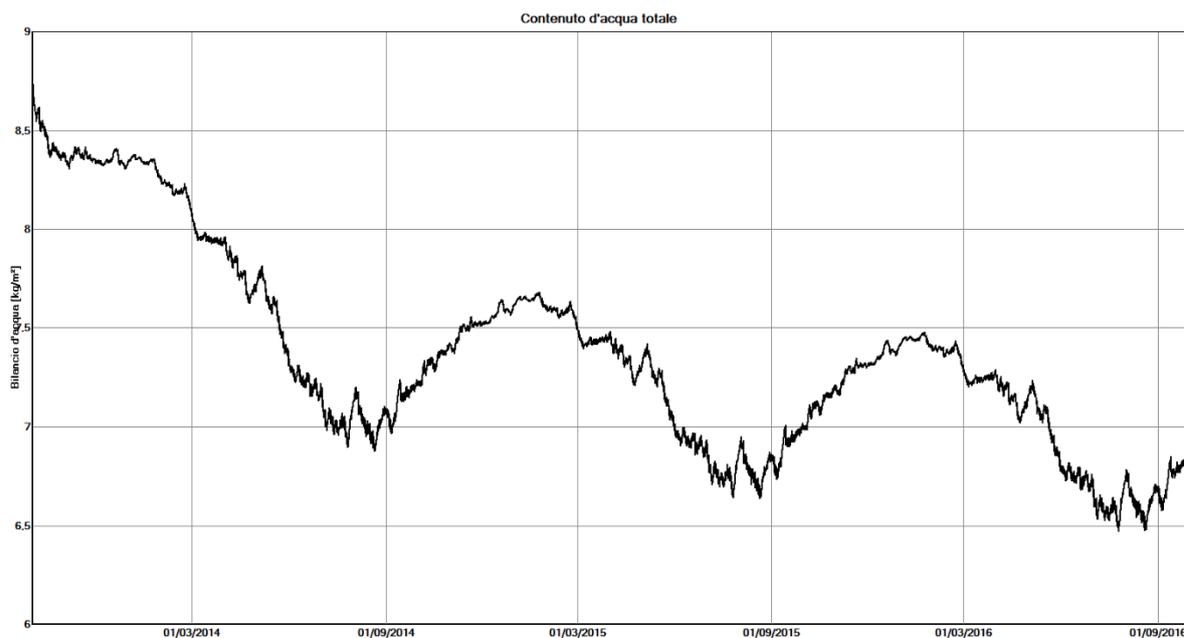


Figura 49: V.02 - contenuto di acqua totale

Il contenuto di acqua totale decresce durante i tre anni di simulazione [Fig.49].

Il contenuto iniziale è di 8,76 kg/m<sup>3</sup> e il contenuto finale è di 6,85 kg/m<sup>3</sup>.

<b>CONTENUTO DI ACQUA NEI SINGOLI STRATI (kg/m<sup>3</sup>)</b>				
MATERIALE	INIZIO	FINE	MINIMO	MASSIMO
Guaina sottomanto	0,00	0,00	0,00	0,01
Tavolato in abete (20 mm)	54,00	33,60	17,06	56,50
Tavolato in abete (5 mm)	54,00	32,11	20,14	62,98
Pannello di lino (5 mm)	5,00	1,27	0,47	5,06
Pannello di lino (110 mm)	5,00	1,20	0,89	5,00
Pannello di lino (5 mm)	5,00	1,14	0,82	10,82
Barriera al vapore	0,00	0,00	0,00	0,01
CLT (5 mm)	54,00	46,90	46,47	54,52
CLT (110 mm)	54,00	47,29	47,12	54,08
CLT (5 mm)	54,00	48,10	41,93	59,06
Pannello di lino (5 mm)	5,00	2,59	1,87	5,00
Pannello di lino (45 mm)	5,00	2,83	2,14	5,00
Pannello di cartongesso	6,30	4,47	3,27	6,30

CONTENUTO DI ACQUA NEI SINGOLI STRATI (%M)				
MATERIALE	INIZIO	FINE	MINIMO	MASSIMO
Guaina sottomanto	0,00	0,00	0,00	0,01
Tavolato in abete (20 mm)	11,87	7,38	3,75	12,42
Tavolato in abete (5 mm)	11,87	7,06	4,43	13,84
Pannello di lino (5 mm)	13,16	3,34	1,24	13,32
Pannello di lino (110 mm)	13,16	3,16	2,34	13,16
Pannello di lino (5 mm)	13,16	3,00	2,16	28,47
Barriera al vapore	0,00	0,00	0,00	0,01
CLT (5 mm)	11,87	10,31	10,21	11,98
CLT (110 mm)	11,87	10,39	10,36	11,89
CLT (5 mm)	11,87	10,57	9,22	12,98
Pannello di lino (5 mm)	13,16	6,82	4,92	13,16
Pannello di lino (45 mm)	13,16	7,45	5,63	13,16
Pannello di cartongesso	0,74	0,53	0,38	0,74

Il contenuto di acqua nel CLT, espresso in % di massa, si mantiene al di sotto del valore limite del 20%.

Il contenuto di acqua nel tavolato si mantiene al di sotto del valore limite del 20%.

Attenzione: il lino a contatto con la barriera al vapore ha un contenuto di acqua superiore al valore limite del 18%.

## Variante: V.02 - COPERTURA

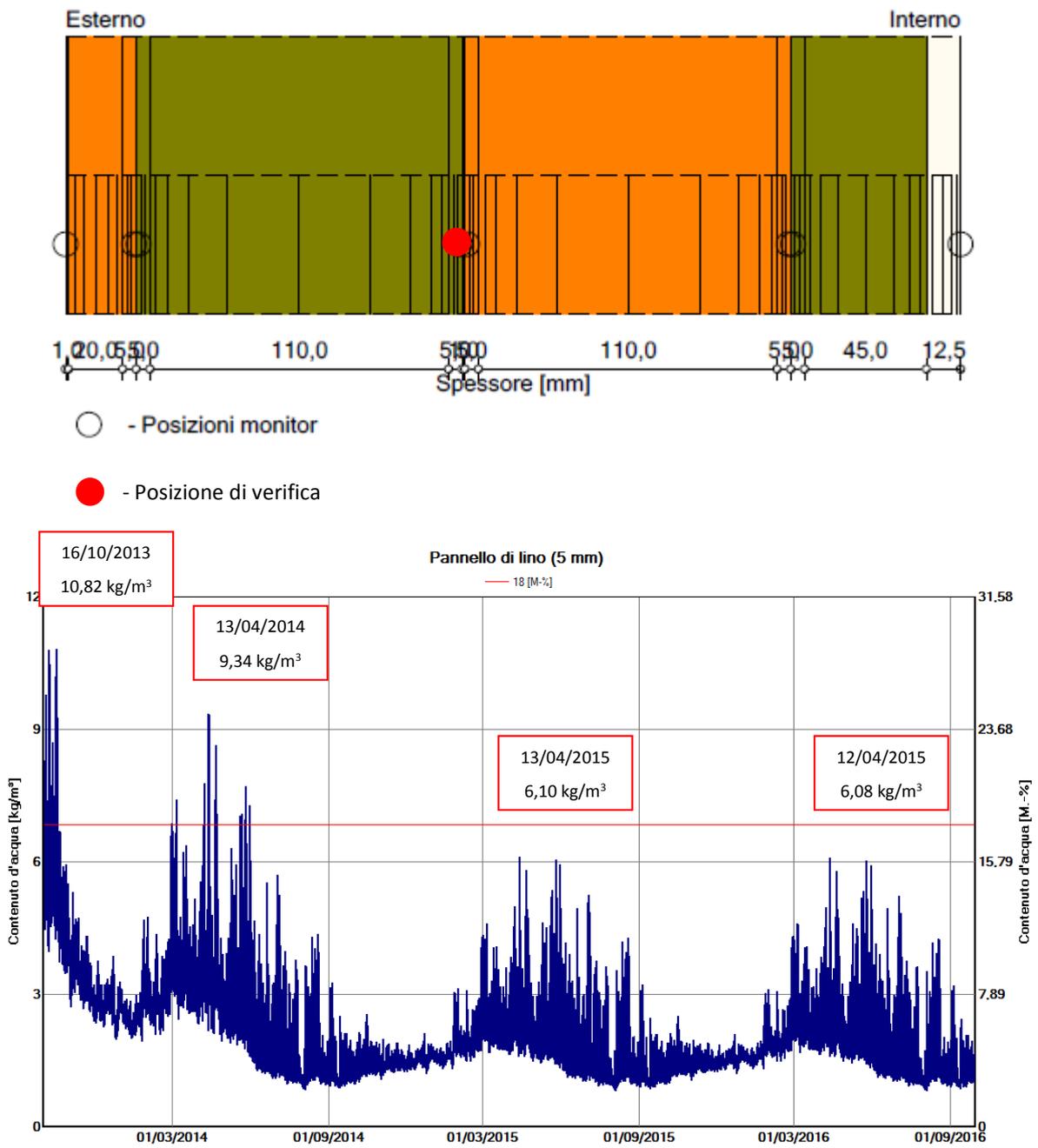


Figura 50: V.02 - contenuto di acqua nello strato di lino a contatto con la barriera al vapore

Il grafico mostra l'andamento del contenuto di acqua nello strato di lino a contatto con la barriera a vapore [Fig. 50]. La linea rossa indica il contenuto di acqua limite (18%).

Nel lino si verifica un aumento del contenuto di acqua nel primo periodo di simulazione per poi raggiungere un equilibrio dinamico con l'ambiente. Il contenuto massimo di acqua non aumenta nei tre anni di calcolo e questo significa che non vi è accumulo di acqua nel materiale.

Ore nella giornata in cui il contenuto di acqua nel lino è >18%

LEGENDA:

	$h \leq 8$
	$8 < h \leq 16$
	$16 < h \leq 24$

Ottobre 2013						
L	M	M	G	V	S	D
	1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12	13
14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27
28	29	30	31			

Marzo 2014						
L	M	M	G	V	S	D
					1	2
3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23
24	25	26	27	28	29	30
31						
Aprile 2014						
L	M	M	G	V	S	D
	1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12	13
14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27
28	29	30				
Maggio 2014						
L	M	M	G	V	S	D
			1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30	31	

Il contenuto di acqua nel lino >18% non si protrae in maniera continuativa per più di 3 mesi.

Per evitare questi picchi di umidità è possibile utilizzare in cantiere un CLT e un pannello di lino con un contenuto di acqua iniziale inferiore.

Il contenuto di acqua del legno, che è possibile indicare in fase di capitolato, non deve superare il 10,5% mentre il contenuto di acqua nel lino non deve superare il 7,5%.

CONTENUTO DI ACQUA NEI SINGOLI STRATI (%M)				
MATERIALE	INIZIO	FINE	MINIMO	MASSIMO
Guaina sottomanto	0,00	0,00	0,00	0,01
Tavolato in abete (20 mm)	10,50	7,38	3,74	11,62
Tavolato in abete (5 mm)	10,50	7,05	4,42	11,20
Pannello di lino (5 mm)	7,50	3,34	1,23	9,50
Pannello di lino (110 mm)	7,50	3,15	2,34	8,34
Pannello di lino (5 mm)	7,50	3,00	2,15	18,97
Barriera al vapore	0,00	0,00	0,00	0,00
CLT (5 mm)	10,50	9,76	9,66	10,65
CLT (110 mm)	10,50	9,97	9,92	10,64
CLT (5 mm)	10,50	10,50	9,18	11,40
Pannello di lino (5 mm)	7,50	6,78	4,92	8,42
Pannello di lino (45 mm)	7,50	7,44	5,60	8,10
Pannello di cartongesso	0,74	0,52	0,38	0,74

In questo modo il contenuto di acqua nel lino a contatto con la barriera al vapore supera il limite del 18% un solo giorno durante la simulazione (il 15/04/2014) [Fig.51].

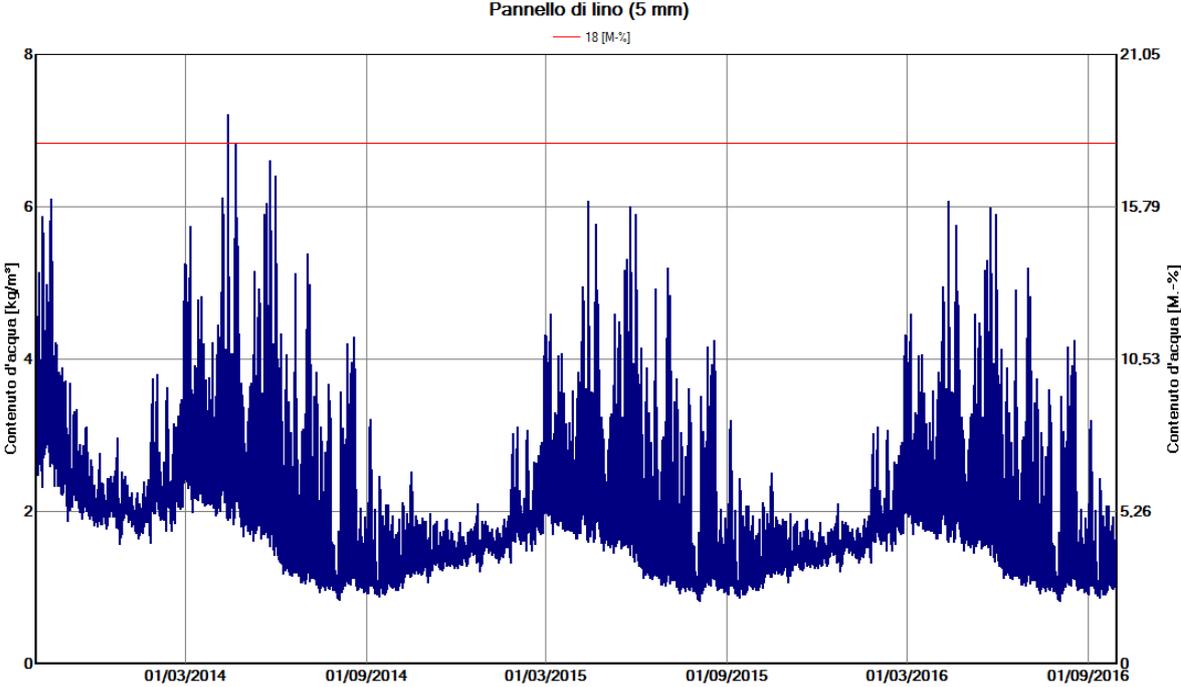
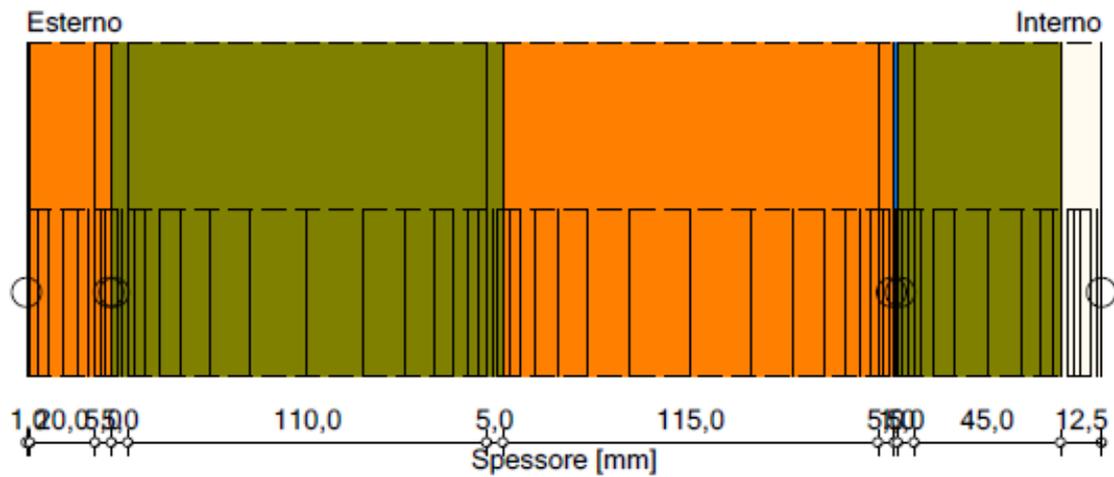


Figura 51: V.02 - contenuto di acqua nel lino a contatto con la barriera a vapore (umidità lino=7,5% - tavolato e CLT=10,5%)

### 3.10 SIMULAZIONE 10: CAGLIARI – COPERTURA NORD – VENTILATA 03 (V.03)

#### Variante: V.03 - COPERTURA



○ - Posizioni monitor

#### Materiali :

- \*Guaina sottomanto
- \*Tavolato in abete (20 mm)
- \*Tavolato in abete (5 mm )
- \*Pannello di lino (5 mm)
- \*Pannello di lino (110 mm)
- \*Pannello di lino (5 mm)
- \*CLT (115 mm)
- \*CLT (5 mm)
- Barriera al vapore (sd=1500m)
- \*Pannello di lino (5 mm)
- \*Pannello di lino (45 mm)
- Pannello di cartongesso

### 3.10.1 VERIFICA SUPERFICIALE

Ai fini dell'assenza di condensa superficiale la temperatura della superficie interna deve essere inferiore alla temperatura di rugiada.

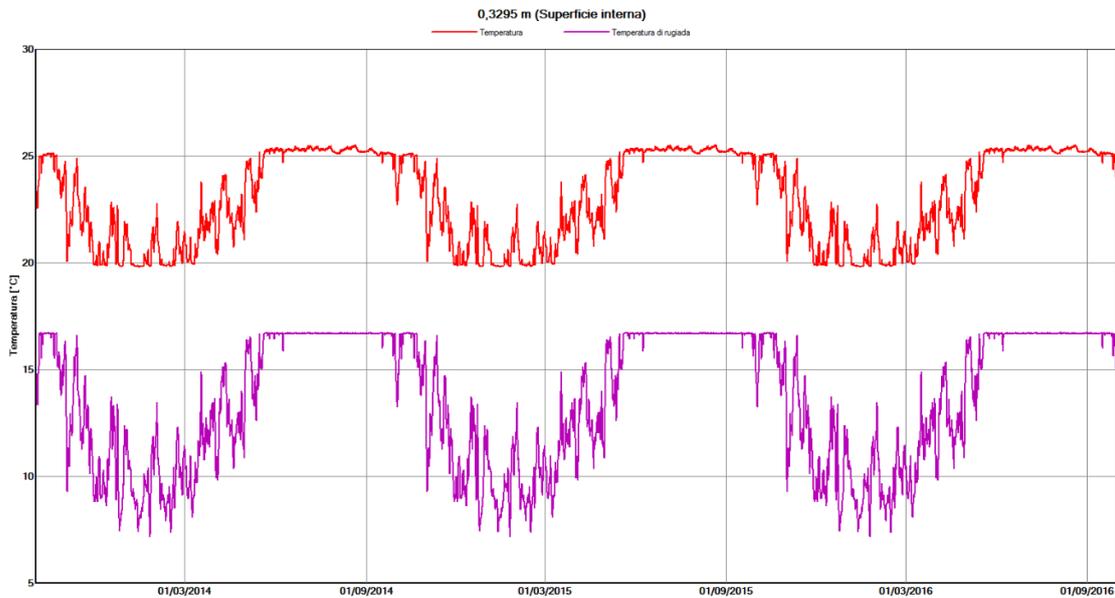


Figura 52: V.03 - temperatura superficiale (linea rossa) e temperatura di rugiada (linea viola) sul pannello di cartongesso

La temperatura sul pannello di cartongesso si mantiene superiore alla temperatura di rugiada e questo significa che non avviene la formazione di condensa superficiale [Fig.52].

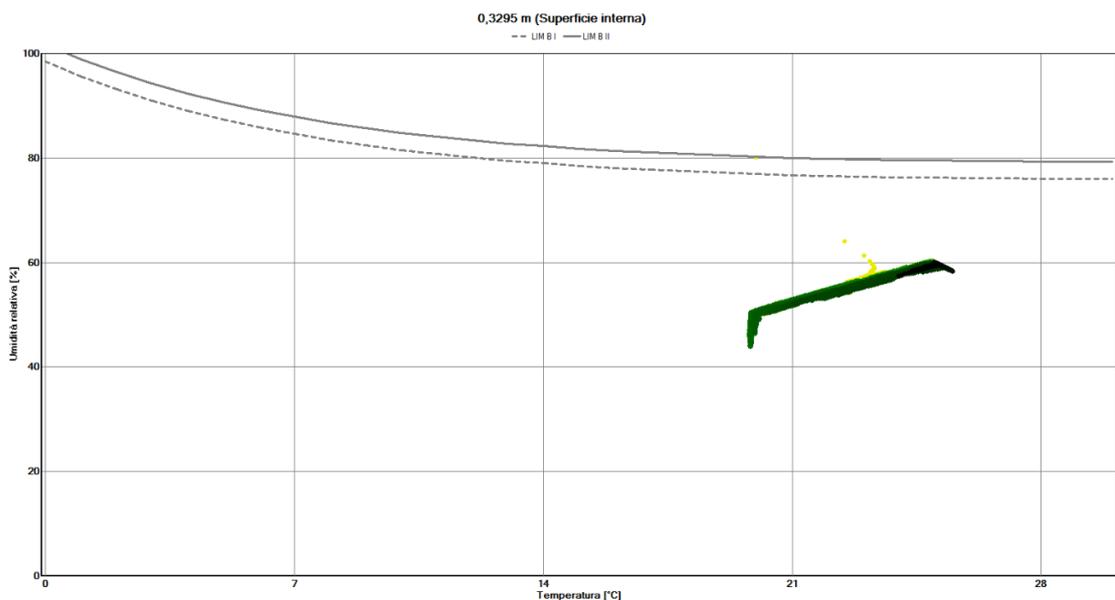


Figura 53: V.03 - isoplete limite per la crescita microbiologica sul pannello di cartongesso

La condizione termoigrometrica del cartongesso non supera il **LIM B I** e dunque il materiale non è interessato da una proliferazione microbiologica [Fig.53].

### 3.10.2 VERIFICA INTERSTIZIALE

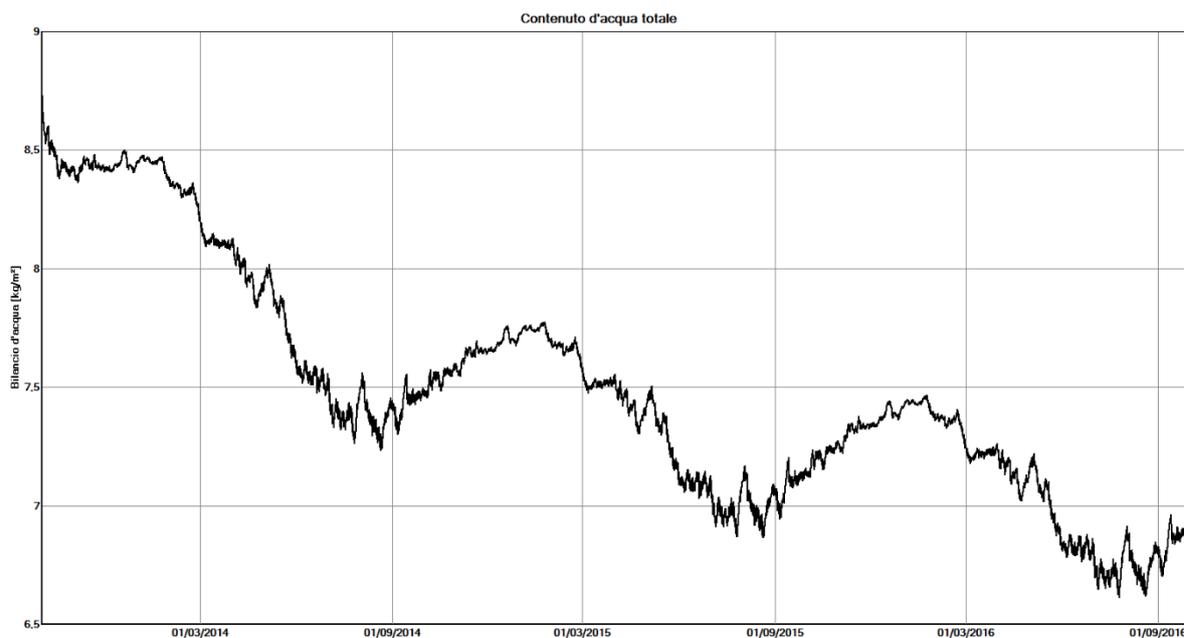


Figura 54: V.03 - contenuto di acqua totale

Il contenuto di acqua totale decresce durante i tre anni di simulazione [Fig.54].

Il contenuto iniziale è di 8,76 kg/m<sup>3</sup> e il contenuto finale è di 6,91 kg/m<sup>3</sup>.

<b>CONTENUTO DI ACQUA NEI SINGOLI STRATI (kg/m<sup>3</sup>)</b>				
<b>MATERIALE</b>	<b>INIZIO</b>	<b>FINE</b>	<b>MINIMO</b>	<b>MASSIMO</b>
Guaina sottomanto	0,00	0,00	0,00	0,01
Tavolato in abete (20 mm)	54,00	34,84	17,64	56,91
Tavolato in abete (5 mm)	54,00	34,95	21,84	62,49
Pannello di lino (5 mm)	5,00	1,60	0,55	5,00
Pannello di lino (110 mm)	5,00	1,53	1,27	5,00
Pannello di lino (5 mm)	5,00	1,52	1,25	7,13
CLT (115 mm)	54,00	46,89	46,87	55,51
CLT (5 mm)	54,00	52,15	51,97	56,50
Barriera al vapore	0,00	0,00	0,00	0,00
Pannello di lino (5 mm)	5,00	2,64	1,79	5,53
Pannello di lino (45 mm)	5,00	2,88	2,10	5,00
Pannello di cartongesso	6,30	4,50	3,27	6,30

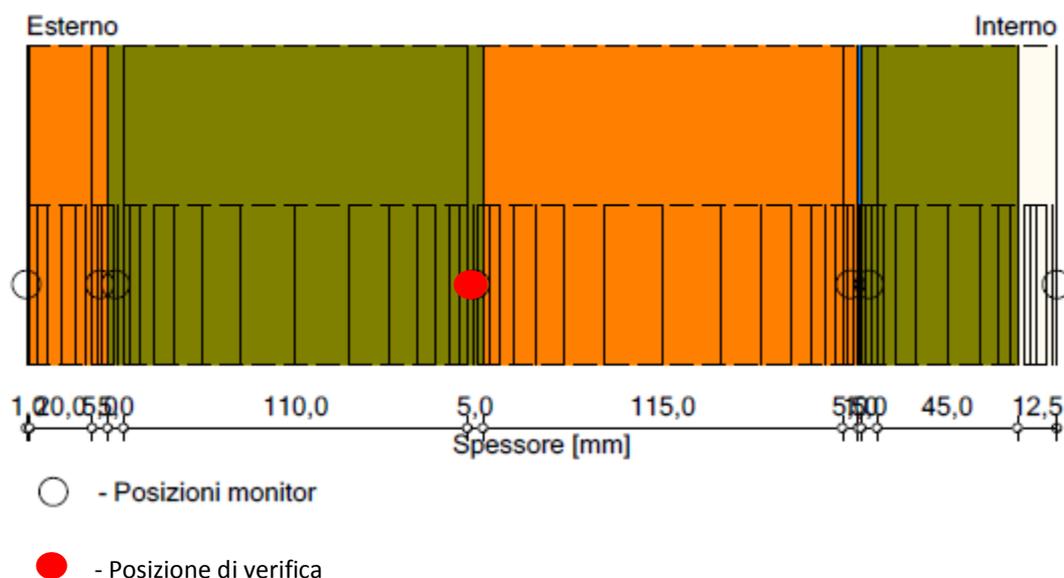
CONTENUTO DI ACQUA NEI SINGOLI STRATI (%M)				
MATERIALE	INIZIO	FINE	MINIMO	MASSIMO
Guaina sottomanto	0,00	0,00	0,00	0,01
Tavolato in abete (20 mm)	11,87	7,66	3,88	12,51
Tavolato in abete (5 mm)	11,87	7,68	4,80	13,73
Pannello di lino (5 mm)	13,16	4,21	1,45	13,16
Pannello di lino (110 mm)	13,16	4,03	3,34	13,16
Pannello di lino (5 mm)	13,16	4,00	3,29	18,76
CLT (115 mm)	11,87	10,31	10,30	12,20
CLT (5 mm)	11,87	11,46	11,42	12,42
Barriera al vapore	0,00	0,00	0,00	0,00
Pannello di lino (5 mm)	13,16	6,95	4,71	14,55
Pannello di lino (45 mm)	13,16	7,58	5,53	13,16
Pannello di cartongesso	0,74	0,53	0,38	0,74

Il contenuto di acqua nel CLT, espresso in % di massa, si mantiene al di sotto del valore limite del 20%.

Il contenuto di acqua nel tavolato si mantiene al di sotto del valore limite del 20%.

Attenzione: il contenuto di acqua nel lino a contatto con il CLT supera il valore limite del 18%.

### Variante: V.03 - COPERTURA



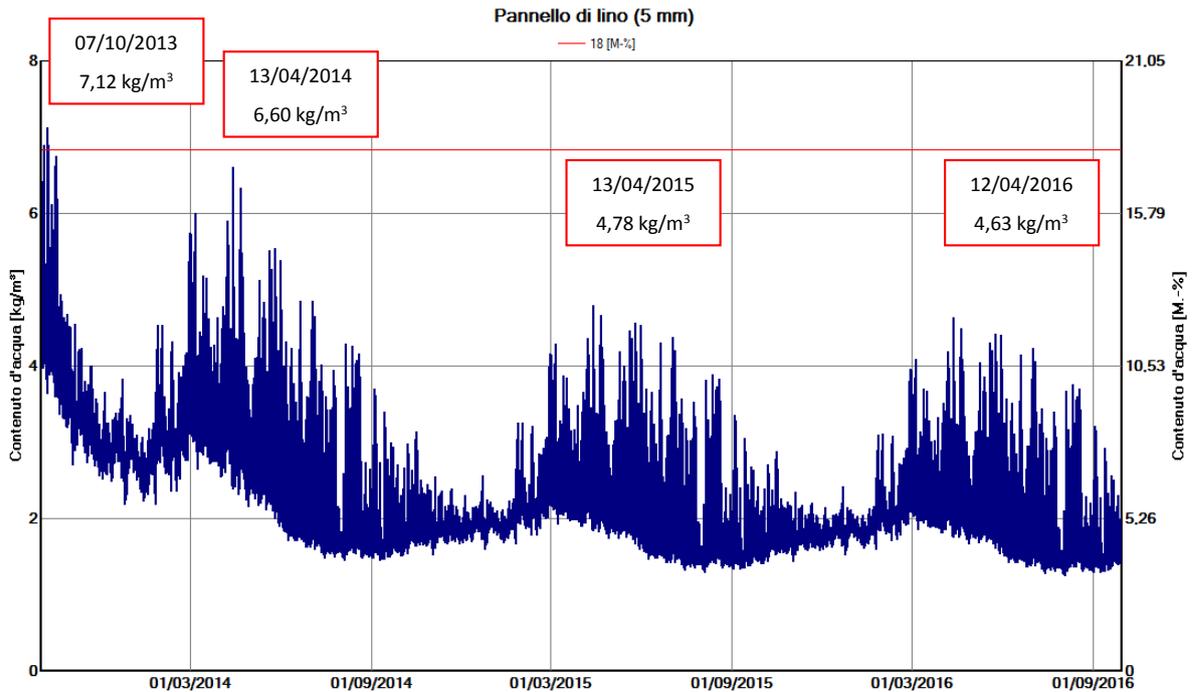


Figura 55: V.03 - contenuto di acqua nello strato di lino a contatto con il CLT

Il grafico mostra l'andamento del contenuto di acqua nello strato di lino a contatto con il CLT [Fig. 55]. La linea rossa indica il contenuto di acqua limite (18%).

Nel lino si verifica un aumento del contenuto di acqua nel primo periodo di simulazione per poi raggiungere un equilibrio dinamico con l'ambiente. Il contenuto massimo di acqua non aumenta nei tre anni di calcolo e questo significa che non vi è accumulo di acqua nel materiale.

Il contenuto di acqua nel lino supera il 18% tre giorni della simulazione: 5,8 e 9 ottobre 2014.

Per evitare questi picchi nel contenuto di acqua del lino è possibile utilizzare in cantiere un CLT e un tavolato con un contenuto di acqua iniziale inferiore.

Il contenuto di acqua del legno, che è possibile indicare in fase di capitolato, non deve superare il 10,5%.

In questo modo il contenuto di acqua nel lino a contatto con il CLT non supera il 18% [Fig. 56].

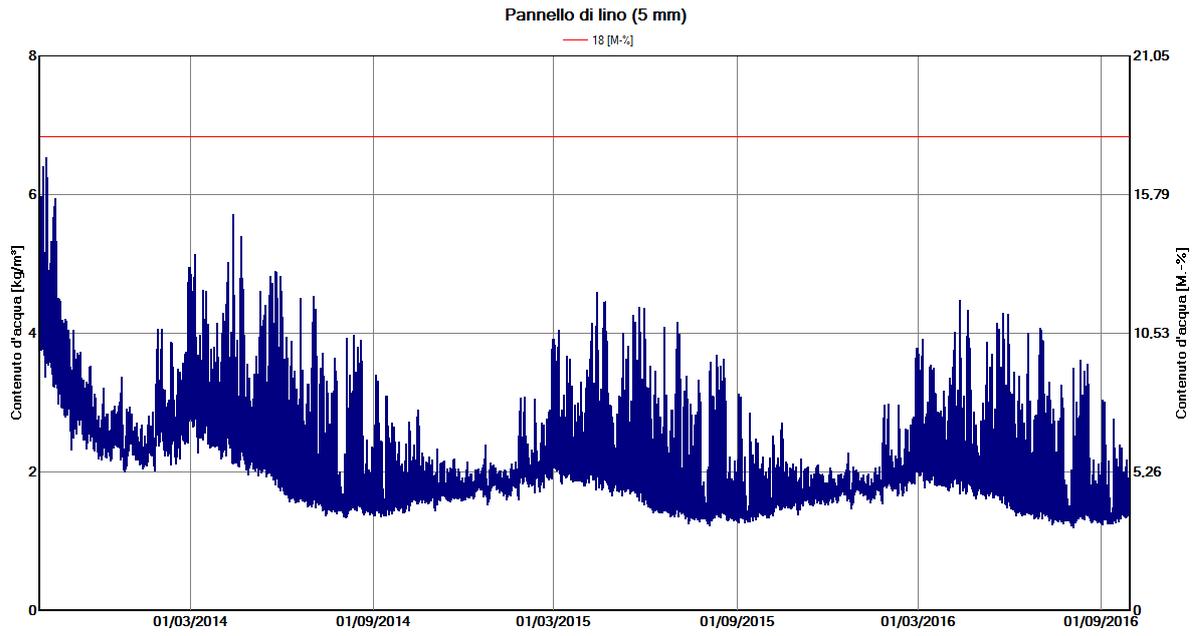
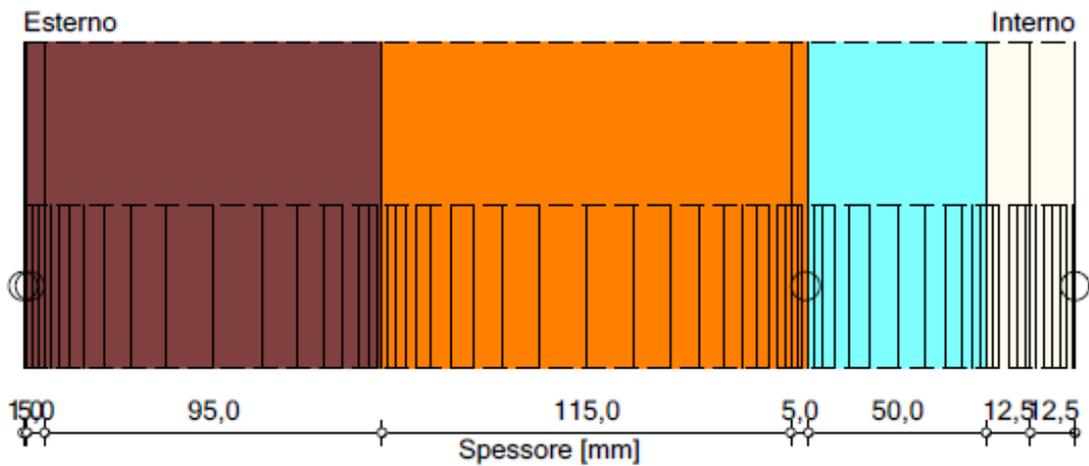


Figura 56: V.03 - contenuto di acqua nel lino a contatto con il CLT (umidità CLT e tavolato = 10,5%)

### 3.11 SIMULAZIONE 11: CAGLIARI – COPERTURA NORD – VENTILATA 04 (V.04)

#### Variante: V.04 - COPERTURA



○ - Posizioni monitor

#### Materiali :

-  - \*Guaina sottomanto
-  - \*Sughero (5 mm)
-  - \*Sughero (95 mm)
-  - \*CLT (115 mm)
-  - \*CLT (5 mm)
-  - \*Strato d'aria 50 mm; senza accumulo umidità aggiuntiva
-  - \*Pannello di cartongesso
-  - \*Pannello di cartongesso

### 3.11.1 VERIFICA SUPERFICIALE

Ai fini dell'assenza di condensa superficiale la temperatura della superficie interna deve essere inferiore alla temperatura di rugiada.

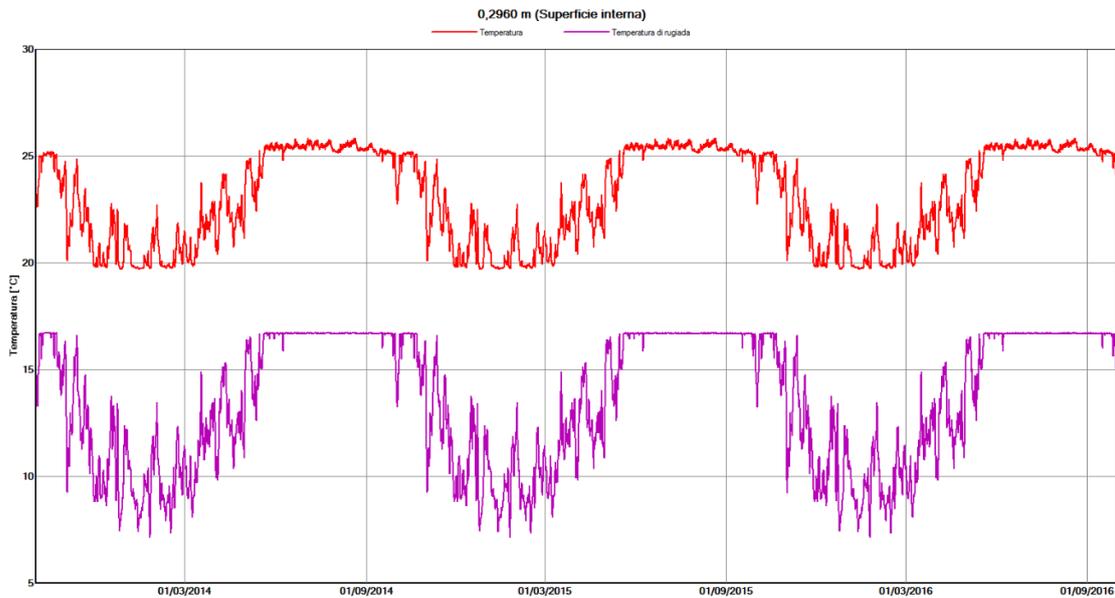


Figura 57: V.04 - temperatura superficiale (linea rossa) e temperatura di rugiada (linea viola) sul pannello di cartongesso

La temperatura sul pannello di cartongesso si mantiene superiore alla temperatura di rugiada e questo significa che non avviene la formazione di condensa superficiale [Fig.57].

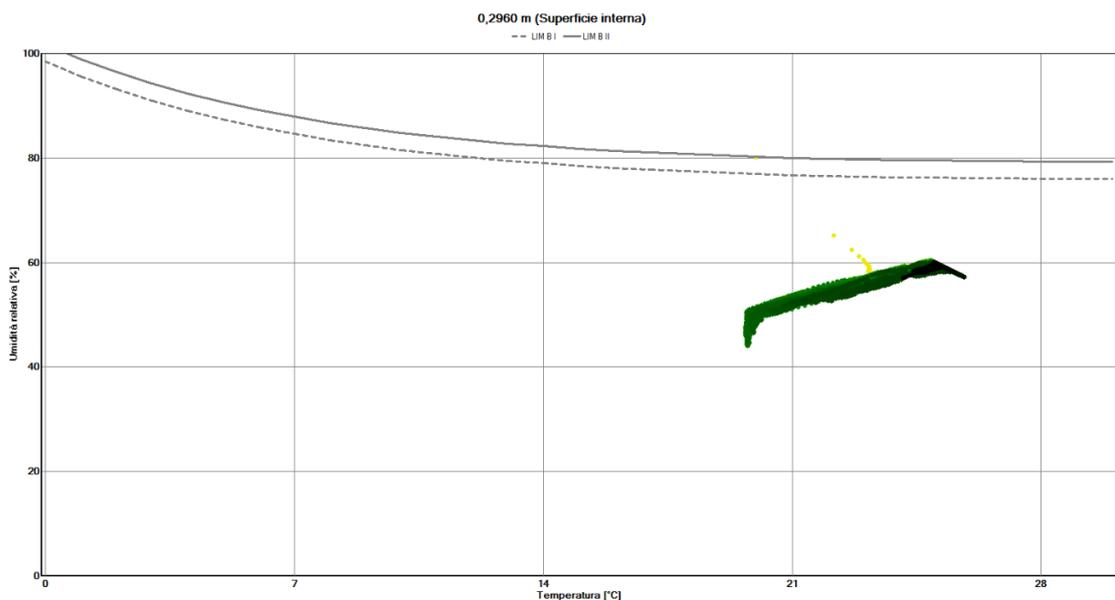


Figura 58: V.04 - isoplete limite per la crescita microbiologica sul pannello di cartongesso

La condizione termoigrometrica del cartongesso non supera il **LIM B I** e dunque il materiale non è interessato da una proliferazione microbiologica [Fig.58].

Devono essere verificate anche le condizioni ideali per la crescita microbologica sulle superfici dei materiali esposte allo strato di aria in quiete dell'intercapedine.

### Variante: V.04 - COPERTURA

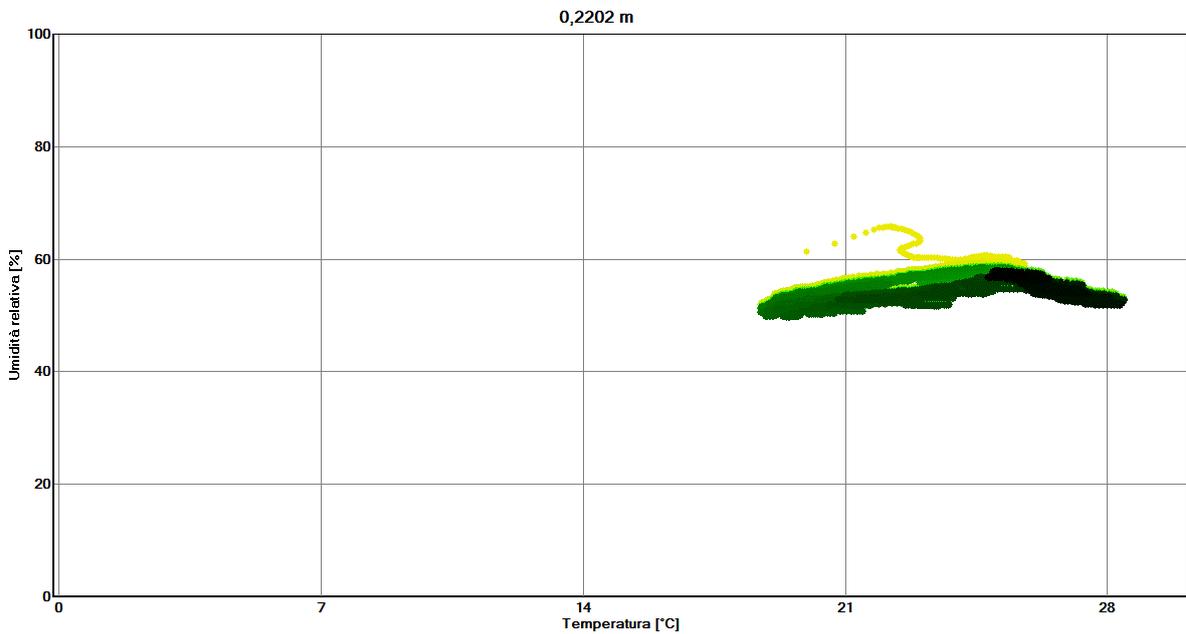
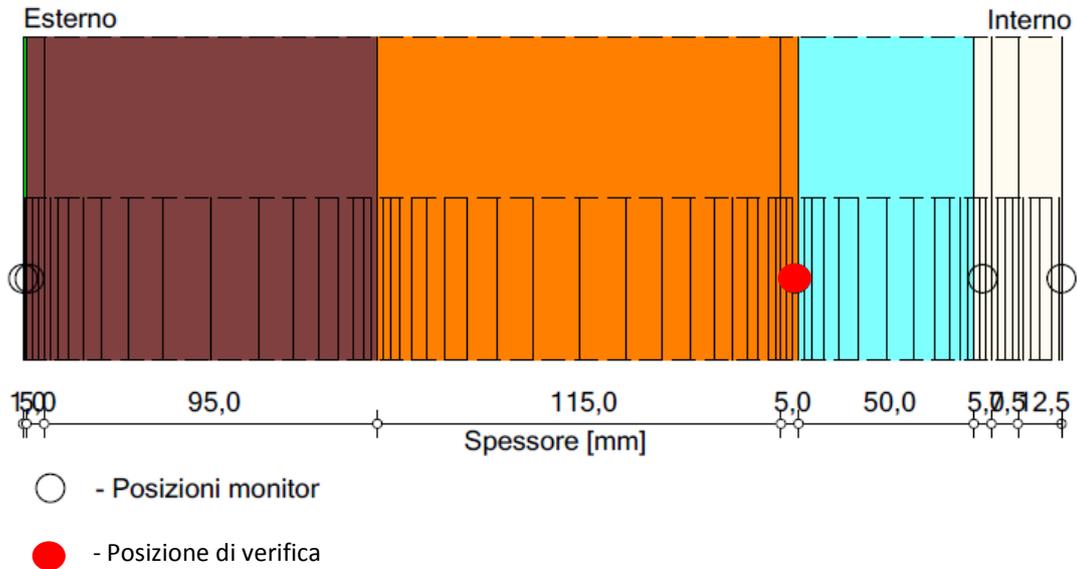
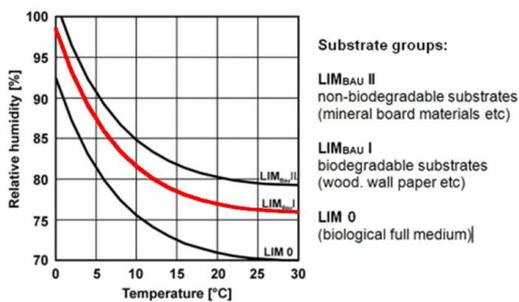


Figura 59: V.04 - condizione termoigrometrica sulla superficie del CLT a contatto con l'intercapedine di aria



Le condizioni termoigrometriche sulla superficie del CLT a contatto con l'intercapedine di aria non superano il LIM I (poiché  $UR < 76\%$  [Fig.59]). Queste condizioni non permettono la crescita microbologica.

## Variante: V.04 - COPERTURA

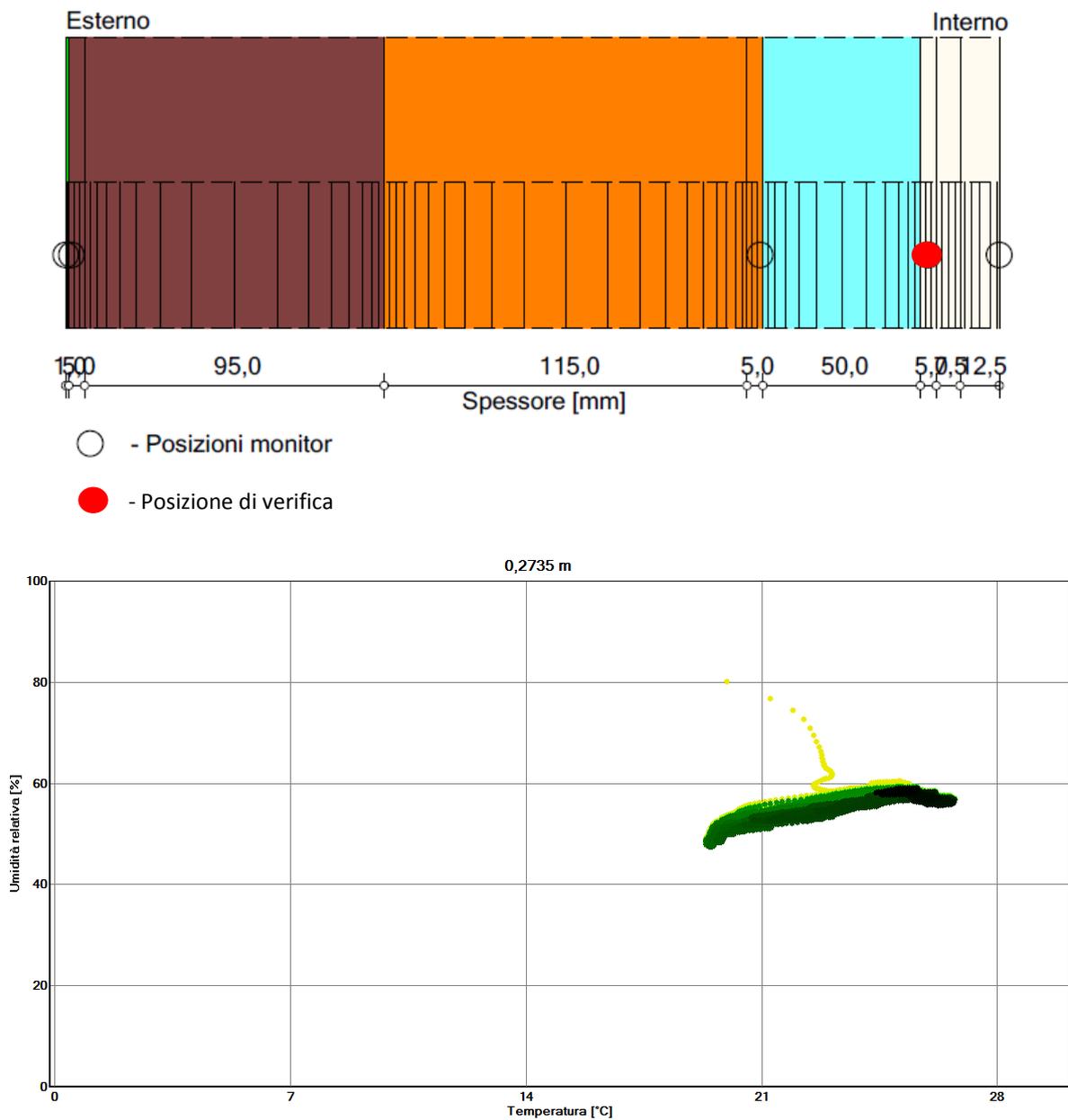


Figura 60: V.04 - condizione termoigrometrica sulla superficie del cartongesso a contatto con l'intercapedine di aria

Sulla superficie del materiale si registrano temperature comprese fra 19°C e 26°C e valori di umidità relativa compresi fra 47% e 80 % [Fig.60].

Riportando l'intervallo di temperature osservate nel grafico delle isoplete limite si ottiene un'area (indicata in rosso) in cui le condizioni termoigrometriche non permettono la crescita microbologica.

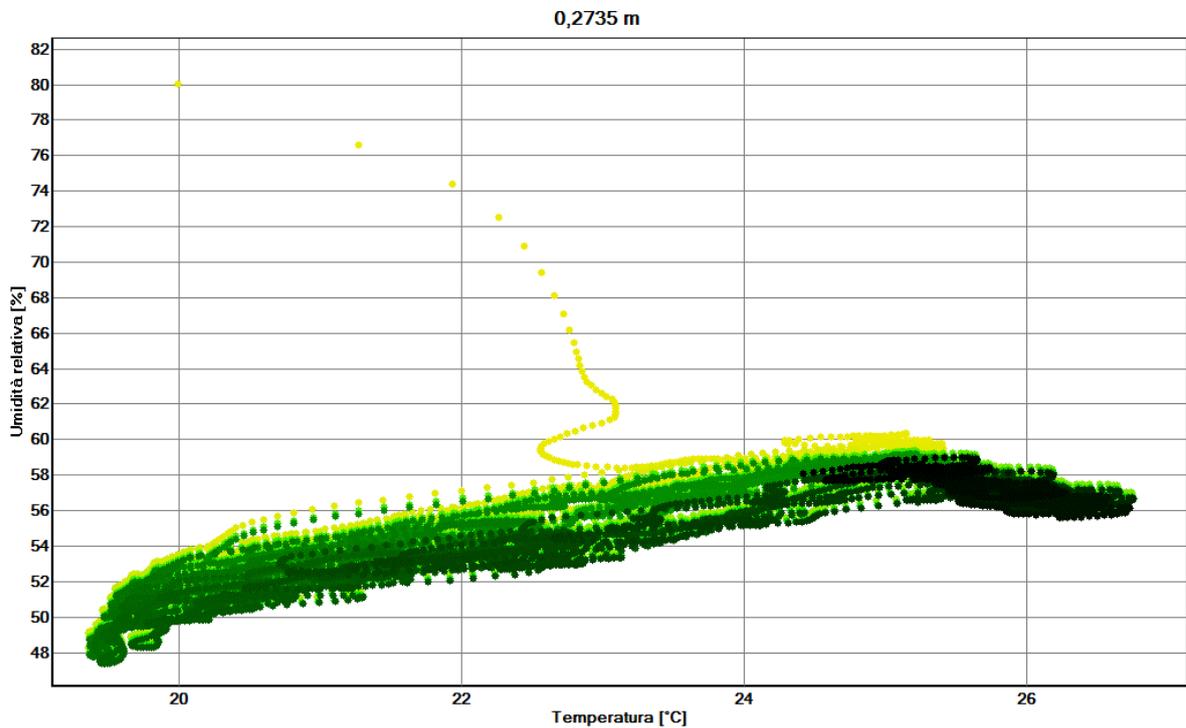
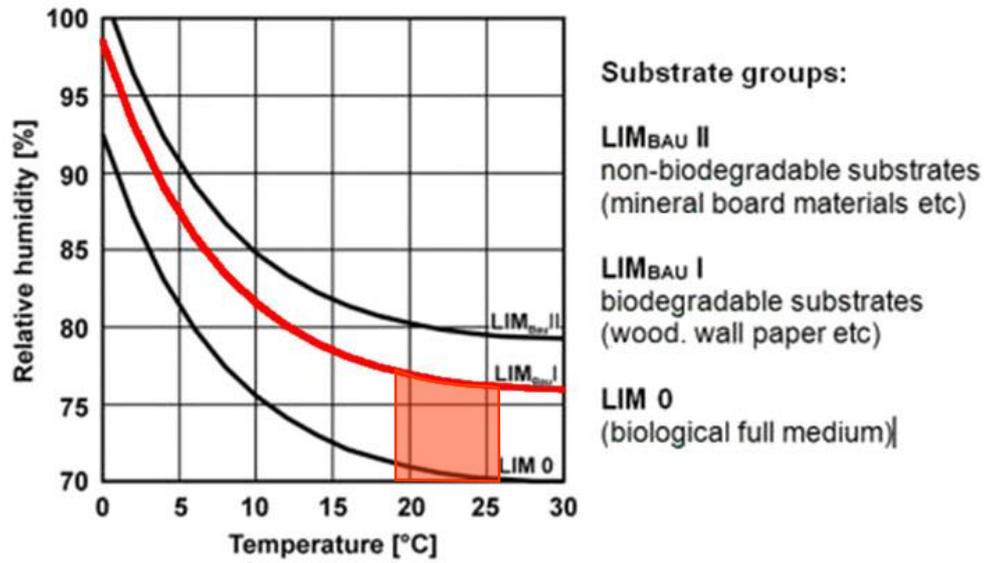


Figura 61: V.04 - zoom di figura 61 - condizione termoigrometrica sulla superficie del cartongesso a contatto con l'intercapedine di aria

Rispetto al LIM I l'umidità relativa supera il 76% le prime due ore della simulazione [Fig.61].

Le condizioni non permettono la crescita microbologica sul materiale.

### 3.11.2 VERIFICA INTERSTIZIALE

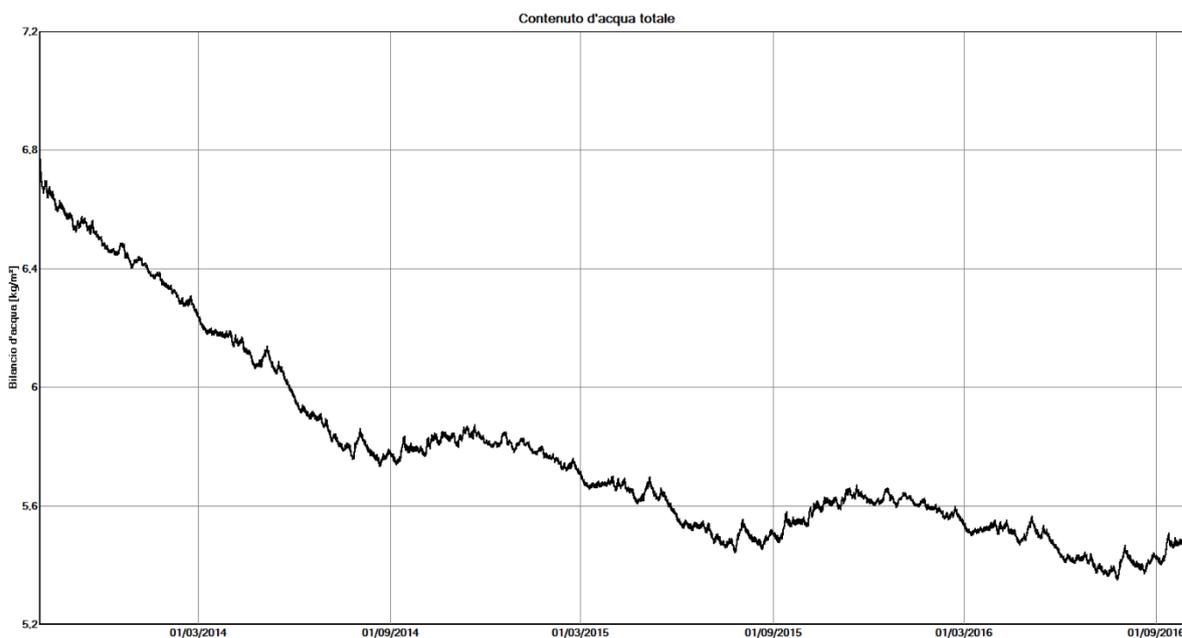


Figura 62: V.04 - contenuto di acqua totale

Il contenuto di acqua totale decresce durante i tre anni di simulazione [Fig.62].

Il contenuto iniziale è di 6,81 kg/m<sup>3</sup> e il contenuto finale è di 5,48 kg/m<sup>3</sup>.

CONTENUTO DI ACQUA NEI SINGOLI STRATI (kg/m <sup>3</sup> )				
MATERIALE	INIZIO	FINE	MINIMO	MASSIMO
Guaina sottomanto	0,00	0,00	0,00	0,01
Sughero (5 mm)	1,69	0,71	0,01	2,31
Sughero (95 mm)	1,69	0,33	0,07	1,69
CLT (115 mm)	54,00	44,22	43,38	54,27
CLT (5 mm)	54,00	50,22	45,23	55,83
Strato di aria (50 mm)	0,00	0,00	0,00	0,01
Pannello di cartongesso	6,30	4,45	3,38	6,30
Pannello di cartongesso	6,30	4,40	3,25	6,30

CONTENUTO DI ACQUA NEI SINGOLI STRATI (%M)				
MATERIALE	INIZIO	FINE	MINIMO	MASSIMO
Guaina sottomanto	0,00	0,00	0,00	0,01
Sughero (5 mm)	1,13	0,47	0,01	1,54
Sughero (95 mm)	1,13	0,22	0,05	1,13

CLT (115 mm)	11,87	9,72	9,53	11,93
CLT (5 mm)	11,87	11,04	9,94	12,27
Strato di aria (50 mm)	0,00	0,00	0,00	0,01
Pannello di cartongesso	0,74	0,52	0,40	0,74
Pannello di cartongesso	0,74	0,52	0,38	0,74

Il contenuto di acqua nel CLT, espresso in % di massa, si mantiene al di sotto del valore limite del 20%.  
Per il sughero è necessario verificare l'andamento dell'umidità relativa dell'aria.

Zona climatica: Cagliari\_hour.wac;

V.04 - COPERTURA

WUFI®

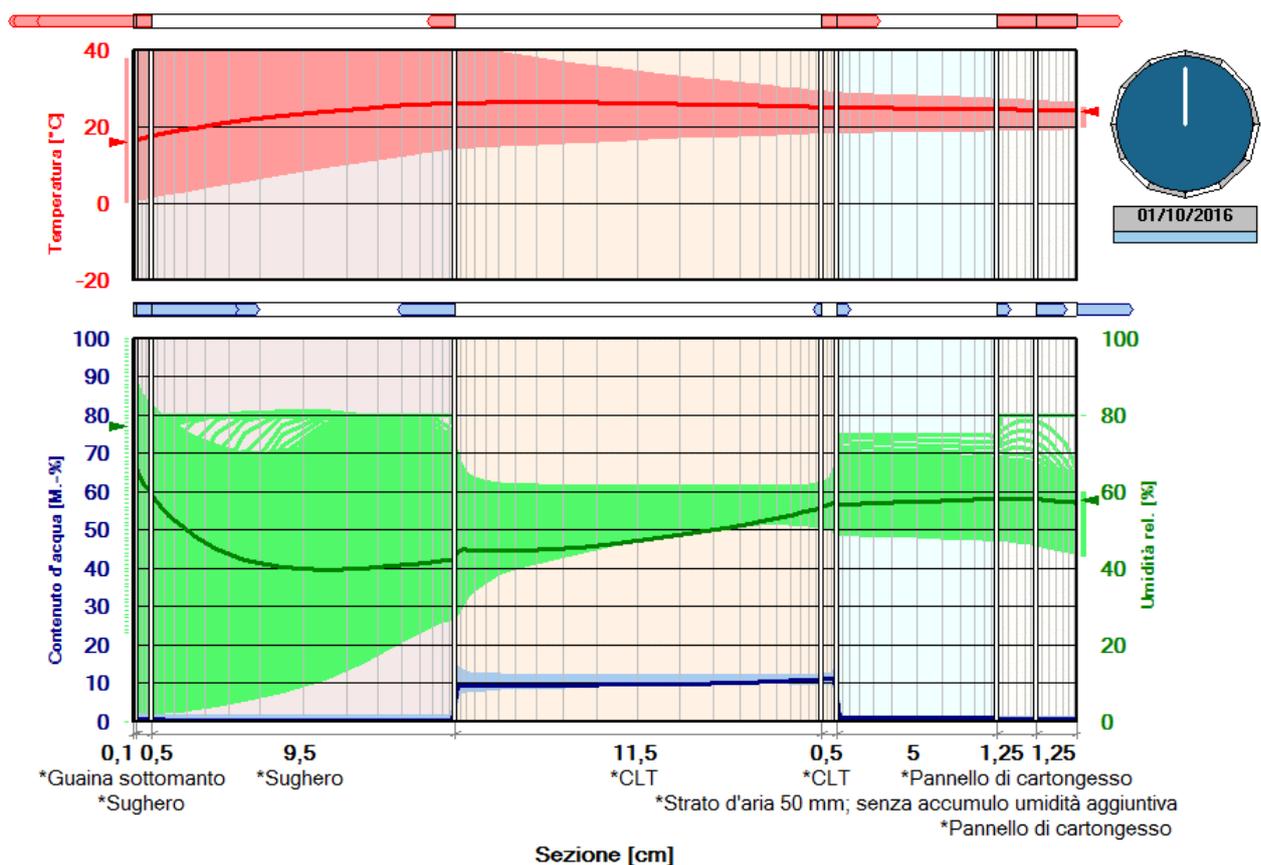


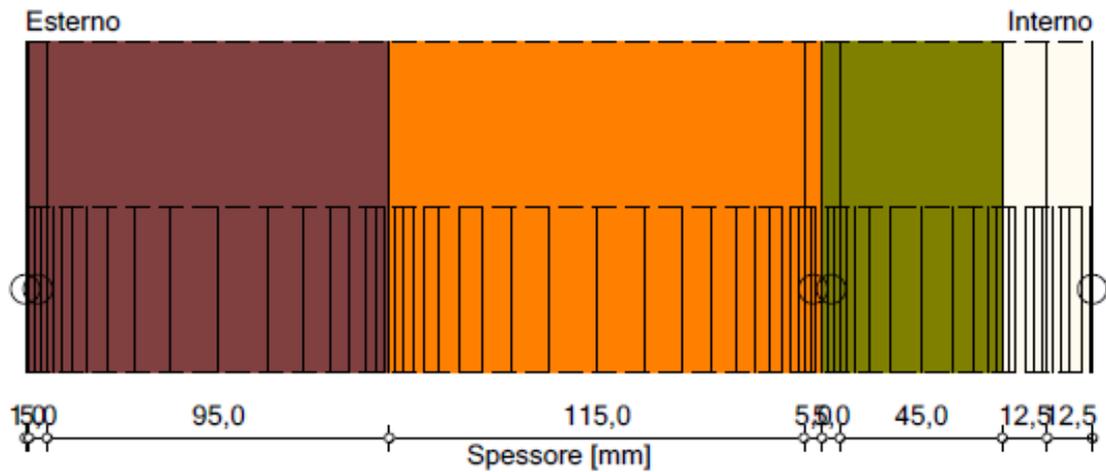
Figura 63: V.04 – simulazione

In corrispondenza dello strato di sughero l'umidità relativa non supera il 95% [Fig. 63].

Nella stratigrafia non si verifica condensa interstiziale.

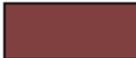
### 3.12 SIMULAZIONE 12: CAGLIARI – COPERTURA NORD – VENTILATA 05 (V.05)

#### Variante: V.05 - COPERTURA



○ - Posizioni monitor

#### Materiali :

-  - \*Guaina sottomanto
-  - \*Sughero (5 mm)
-  - \*Sughero (95 mm)
-  - \*CLT (115 mm)
-  - \*CLT (5 mm)
-  - \*Pannello di lino (5 mm)
-  - \*Pannello di lino (45 mm)
-  - \*Pannello di cartongesso
-  - \*Pannello di cartongesso

### 3.12.1 VERIFICA SUPERFICIALE

Ai fini dell'assenza di condensa superficiale la temperatura della superficie interna deve essere inferiore alla temperatura di rugiada.

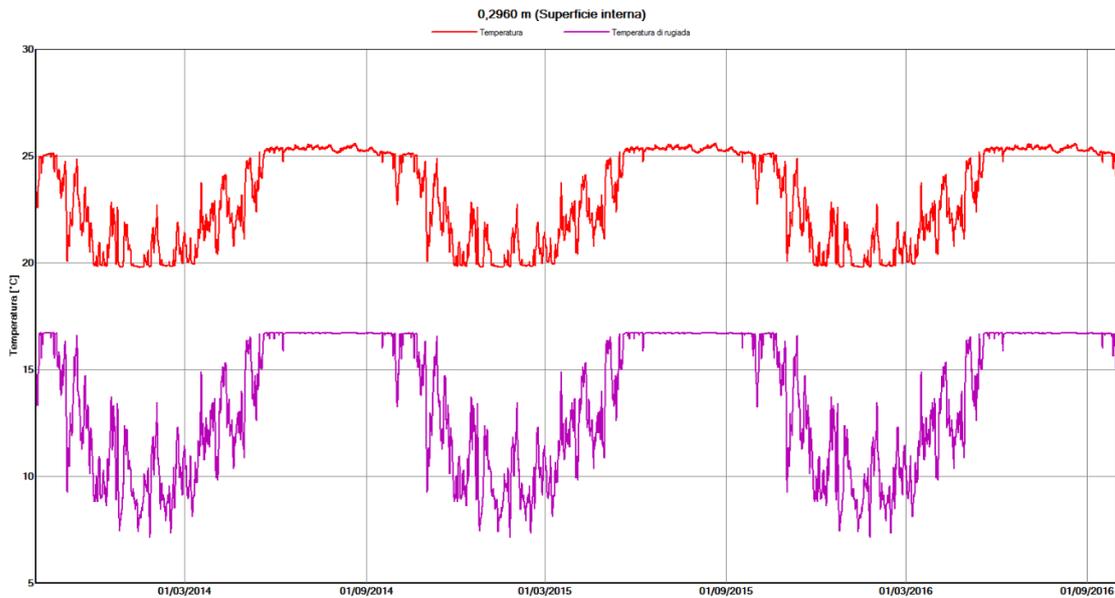


Figura 64: V.05 - temperatura superficiale (linea rossa) e temperatura di rugiada (linea viola) sul pannello di cartongesso

La temperatura si mantiene superiore alla temperatura di rugiada e questo significa che non avviene la formazione di condensa superficiale [Fig.64].

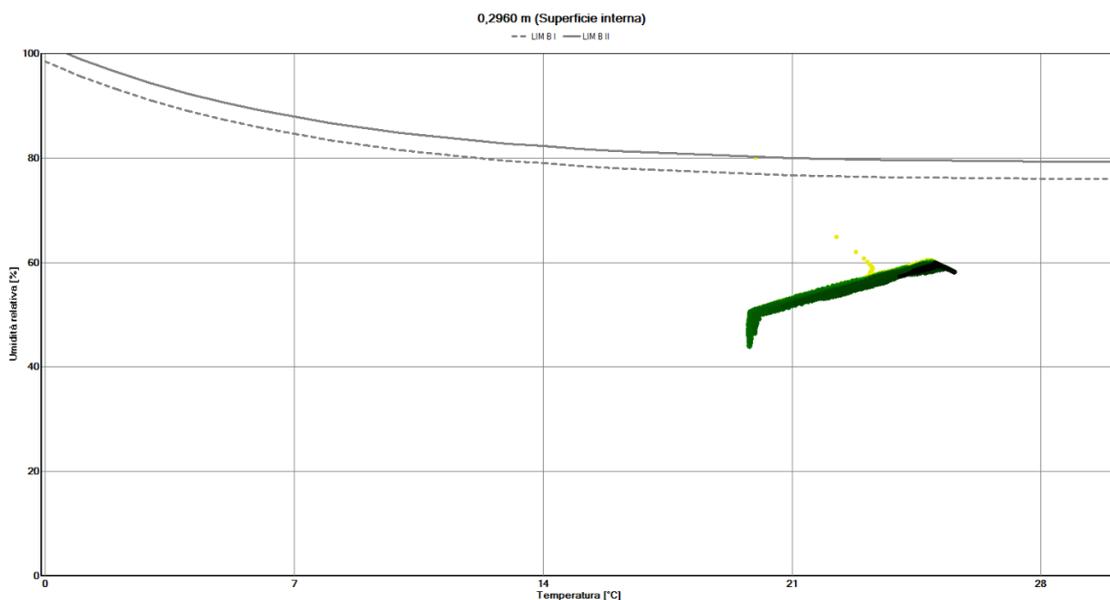


Figura 65: V.05 - isoplete limite per la crescita microbiologica sul pannello di cartongesso

La condizione termoigrometrica del cartongesso non supera il **LIM B I** e dunque il materiale non è interessato da una proliferazione microbiologica [Fig.65].

### 3.12.2 VERIFICA INTERSTIZIALE

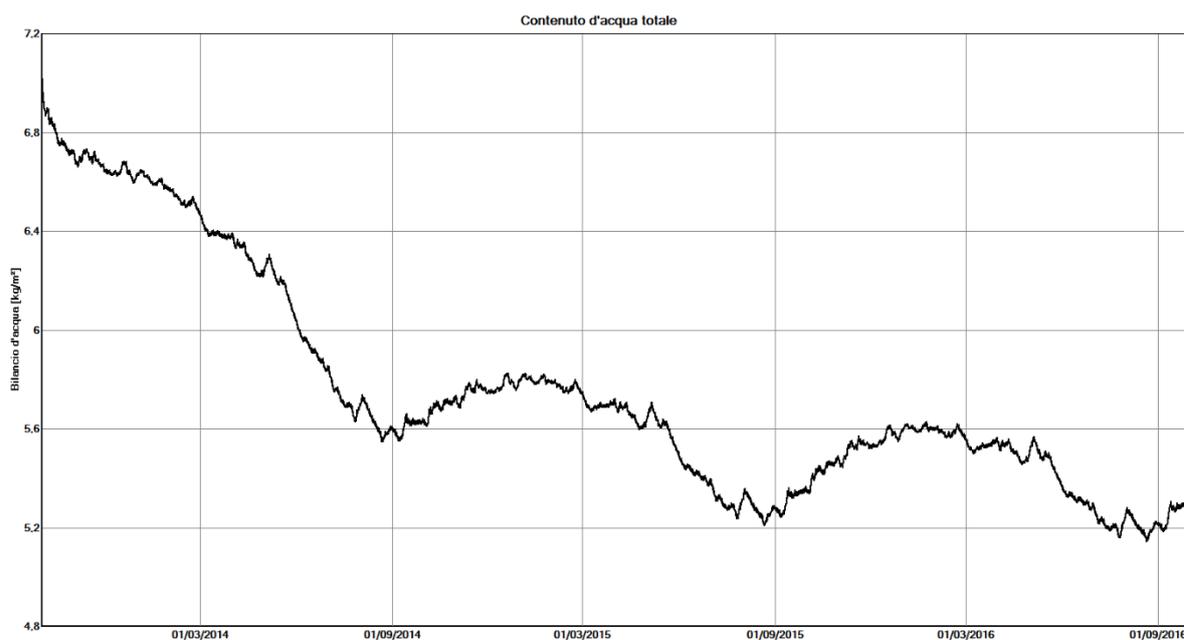


Figura 66: V.05 - contenuto di acqua totale

Il contenuto di acqua totale decresce durante i tre anni di simulazione [Fig.66].

Il contenuto iniziale è di 7,06 kg/m<sup>3</sup> e il contenuto finale è di 5,31 kg/m<sup>3</sup>.

CONTENUTO DI ACQUA NEI SINGOLI STRATI (kg/m <sup>3</sup> )				
MATERIALE	INIZIO	FINE	MINIMO	MASSIMO
Guaina sottomanto	0,00	0,00	0,00	0,01
Sughero (5 mm)	1,69	0,71	0,01	2,30
Sughero (95 mm)	1,69	0,32	0,06	1,69
CLT (115 mm)	54,00	41,70	40,89	54,33
CLT (5 mm)	54,00	46,48	40,41	59,93
Pannello di lino (5 mm)	5,00	2,45	1,76	5,00
Pannello di lino (45 mm)	5,00	2,72	2,18	5,00
Pannello di cartongesso	6,30	4,45	3,37	6,30
Pannello di cartongesso	6,30	4,41	3,25	6,30

CONTENUTO DI ACQUA NEI SINGOLI STRATI (%M)				
MATERIALE	INIZIO	FINE	MINIMO	MASSIMO
Guaina sottomanto	0,00	0,00	0,00	0,01
Sughero (5 mm)	1,13	0,47	0,01	1,53

Sughero (95 mm)	1,13	0,21	0,04	1,13
CLT (115 mm)	11,87	9,16	8,99	11,94
CLT (5 mm)	11,87	10,22	8,88	13,17
Pannello di lino (5 mm)	13,16	6,45	4,63	13,16
Pannello di lino (45 mm)	13,16	7,16	5,74	13,16
Pannello di cartongesso	0,74	0,52	0,40	0,74
Pannello di cartongesso	0,74	0,52	0,38	0,74

Il contenuto di acqua nel CLT, espresso in % di massa, si mantiene al di sotto del valore limite del 20%.

Il contenuto di acqua nel lino si mantiene al di sotto del valore limite del 18%.

Per il sughero è necessario verificare l'andamento dell'umidità relativa dell'aria.

Zona climatica: Cagliari\_hour.wac;

V.05 - COPERTURA

WUFI®

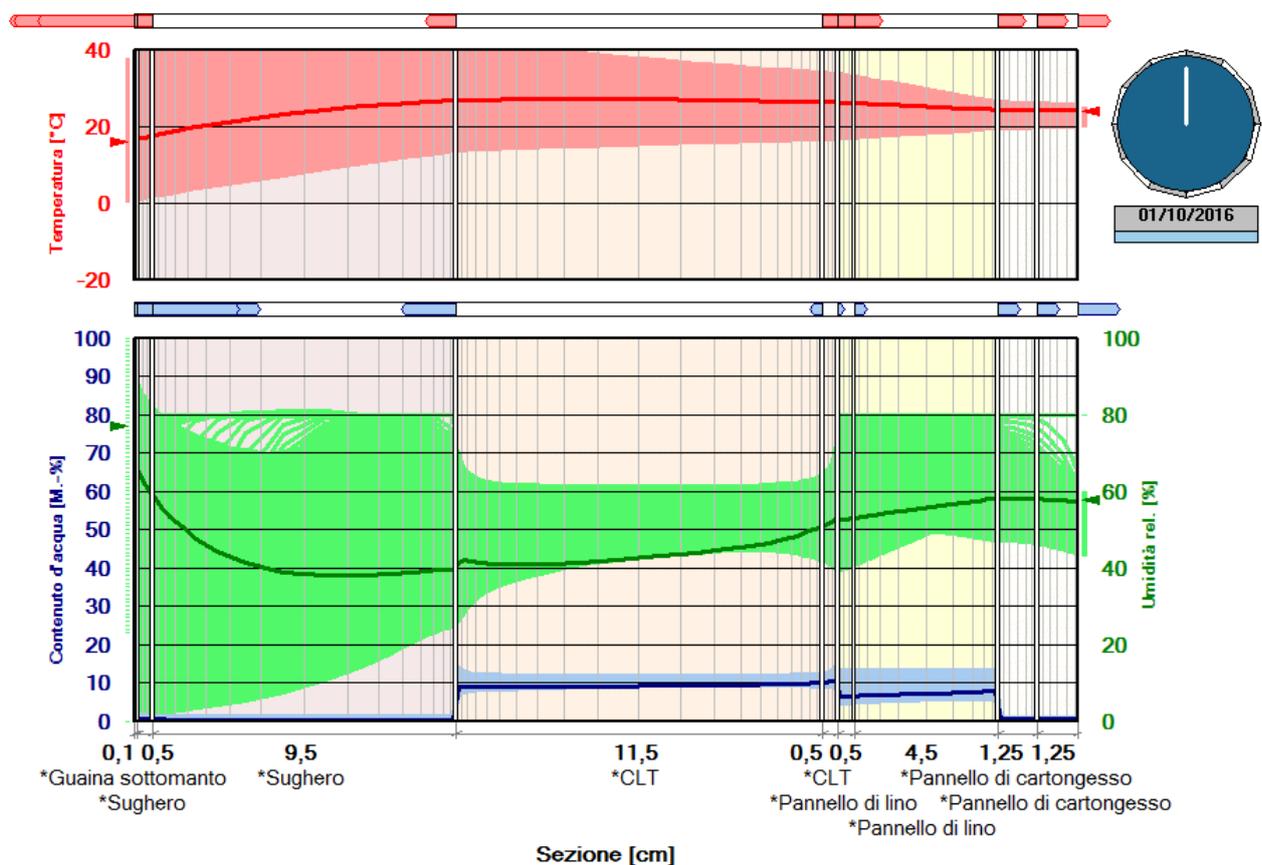


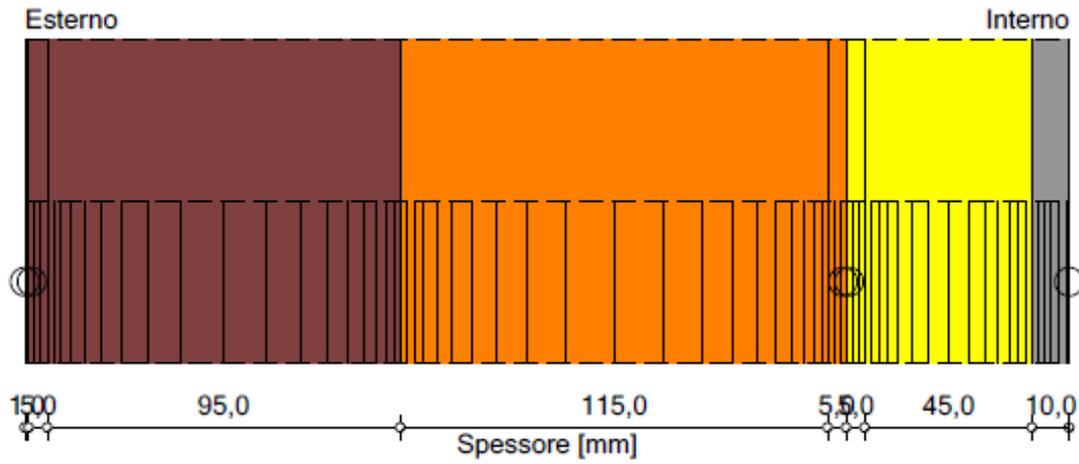
Figura 67: V.05 – simulazione

In corrispondenza dello strato di sughero l'umidità relativa non supera il 95% [Fig. 67].

Nella stratigrafia non si verifica condensa interstiziale.

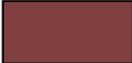
### 3.13 SIMULAZIONE 13: CAGLIARI – COPERTURA NORD – VENTILATA 06 (V.06)

#### Variante: V.06 - COPERTURA



○ - Posizioni monitor

#### Materiali :

-  - \*Guaina sottomanto
-  - \*Sughero (5 mm)
-  - \*Sughero (95 mm)
-  - \*CLT (115 mm)
-  - \*CLT (5 mm)
-  - \*Pannello legno-cemento (5 mm)
-  - \*Pannello legno-cemento (45 mm)
-  - \*Colla e rasatura minerale

### 3.13.1 VERIFICA SUPERFICIALE

Ai fini dell'assenza di condensa superficiale la temperatura della superficie interna deve essere inferiore alla temperatura di rugiada.

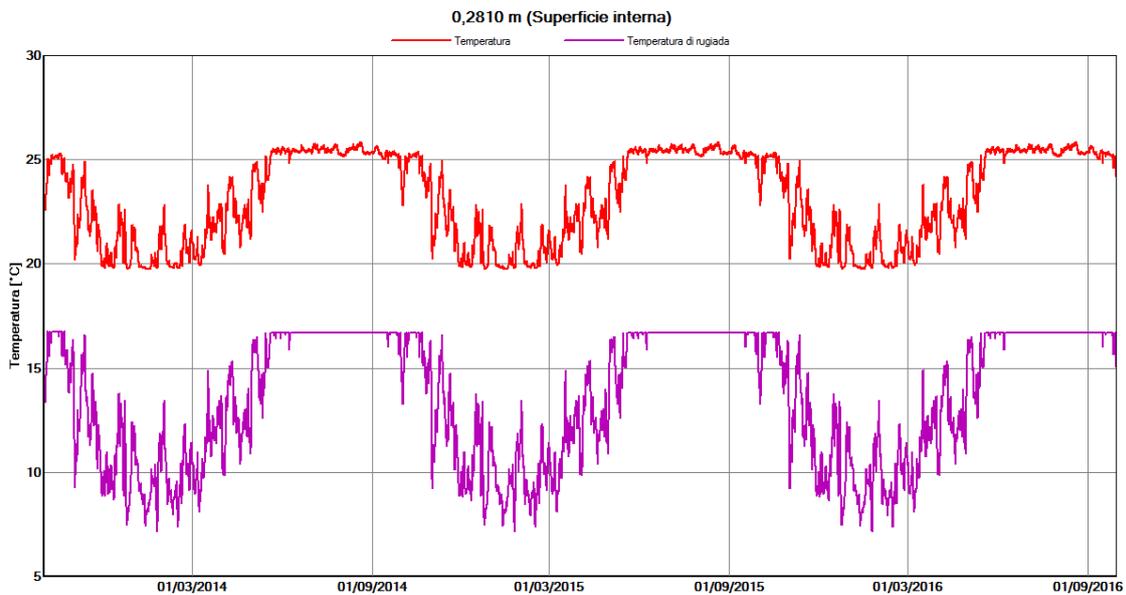


Figura 68: V.06 - temperatura superficiale (linea rossa) e temperatura di rugiada (linea viola) sulla rasatura minerale

La temperatura sulla rasatura minerale si mantiene superiore alla temperatura di rugiada e questo significa che non avviene la formazione di condensa superficiale [Fig.68].

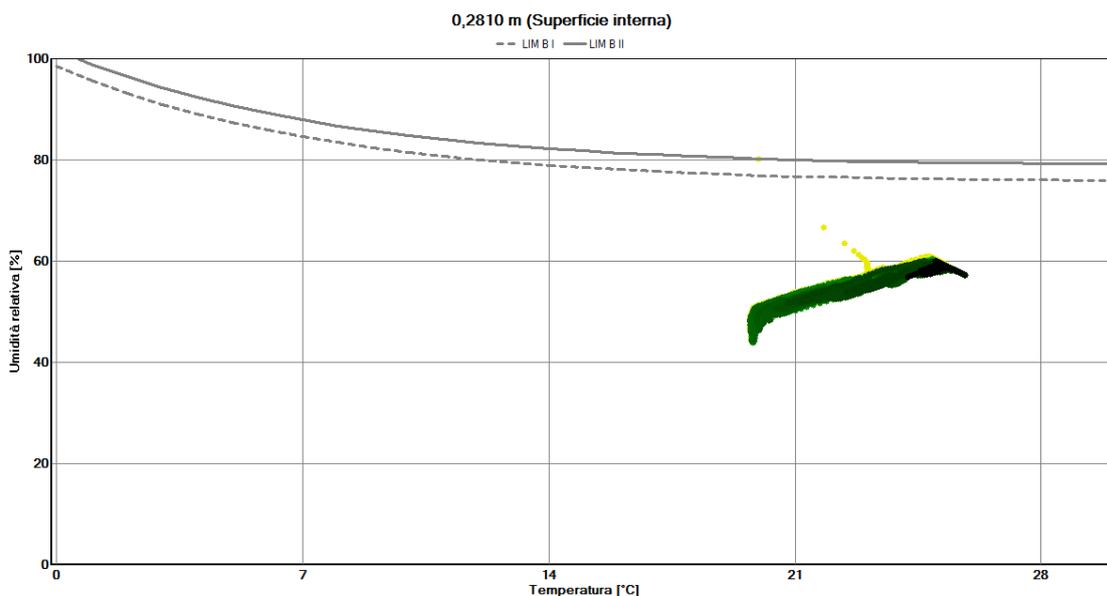


Figura 69: V.06 - isoplete limite per la crescita microbiologica sulla rasatura minerale

La condizione termoigrometrica della rasatura minerale non supera il **LIM B II** e dunque il materiale non è interessato da una proliferazione microbiologica [Fig.69].

### 3.13.2 VERIFICA INTERSTIZIALE

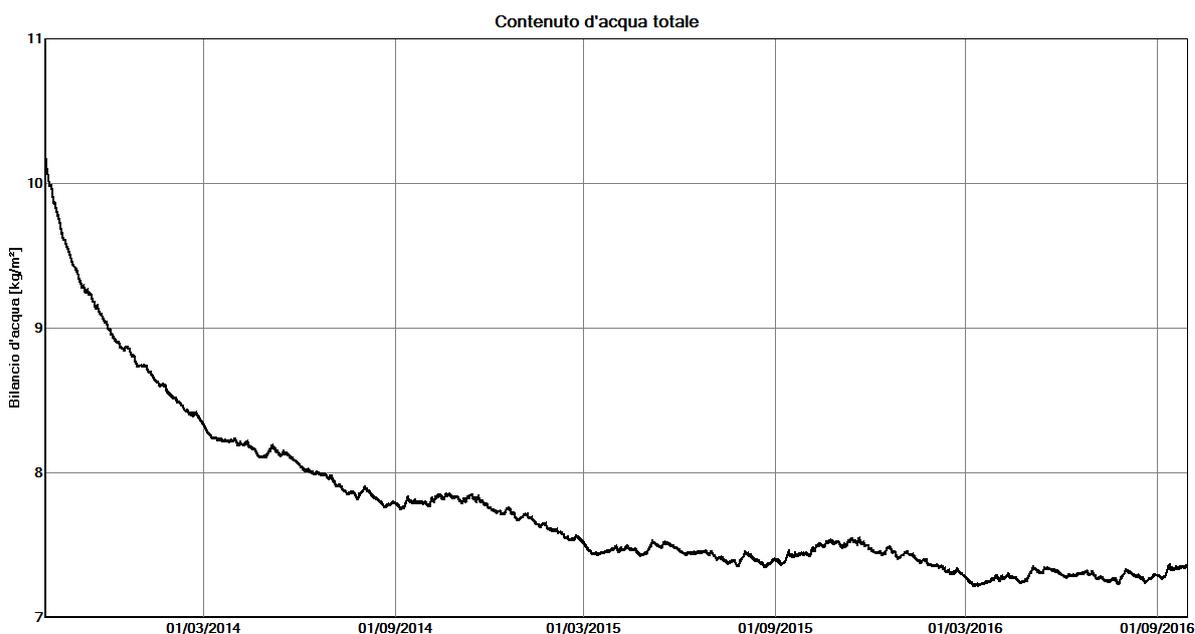


Figura 70: V.06 - contenuto di acqua totale

Il contenuto di acqua totale decresce durante i tre anni di simulazione [Fig.70].

Il contenuto iniziale è di  $10,24 \text{ kg/m}^3$  e il contenuto finale è di  $7,36 \text{ kg/m}^3$ .

CONTENUTO DI ACQUA NEI SINGOLI STRATI ( $\text{kg/m}^3$ )				
MATERIALE	INIZIO	FINE	MINIMO	MASSIMO
Guaina sottomanto	0,00	0,00	0,00	0,01
Sughero (5 mm)	1,69	0,69	0,01	2,26
Sughero (95 mm)	1,69	0,29	0,06	1,69
CLT (115 mm)	54,00	42,45	41,88	54,44
CLT (5 mm)	54,00	46,86	44,91	66,95
Pannello legno-cemento (5 mm)	68,00	39,34	36,13	68,00
Pannello legno-cemento (45 mm)	68,00	41,80	37,09	68,00
Rasatura minerale	18,60	13,34	10,93	18,60

CONTENUTO DI ACQUA NEI SINGOLI STRATI (%M)				
MATERIALE	INIZIO	FINE	MINIMO	MASSIMO
Guaina sottomanto	0,00	0,00	0,00	0,01
Sughero (5 mm)	1,13	0,46	0,01	1,51
Sughero (95 mm)	1,13	0,19	0,04	1,13

CLT (115 mm)	11,87	9,33	9,20	11,96
CLT (5 mm)	11,87	10,30	9,87	14,71
Pannello legno-cemento (5 mm)	15,11	8,74	8,03	15,11
Pannello legno-cemento (45 mm)	15,11	9,29	8,24	15,11
Rasatura minerale	1,30	0,93	0,76	1,30

Il contenuto di acqua nel CLT, espresso in % di massa, si mantiene al di sotto del valore limite del 20%.

Il contenuto di acqua nel pannello di legno-cemento si mantiene al di sotto del valore limite del 18%.

Per il sughero è necessario verificare l'andamento dell'umidità relativa dell'aria.

Zona climatica: Cagliari\_hour.wac;

V.06 - COPERTURA

WUFI®

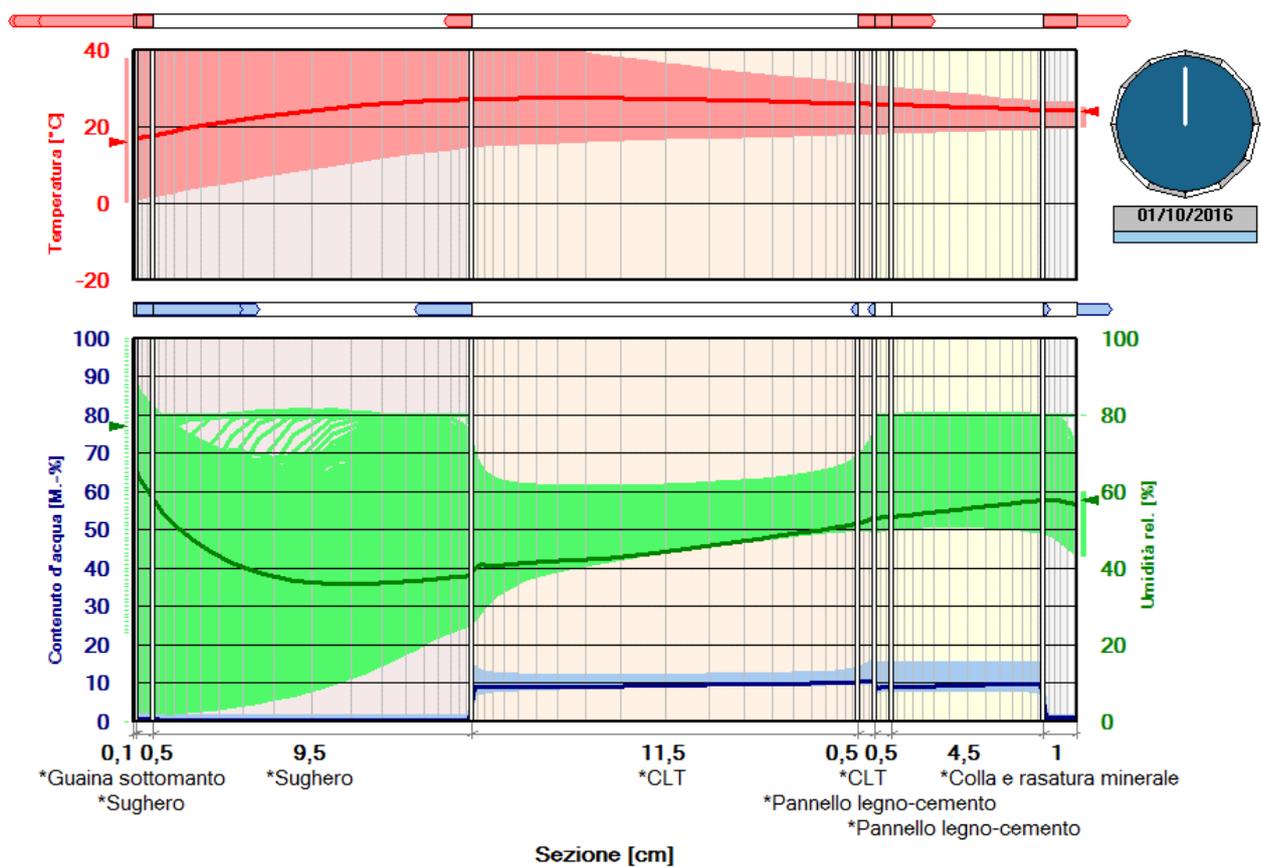


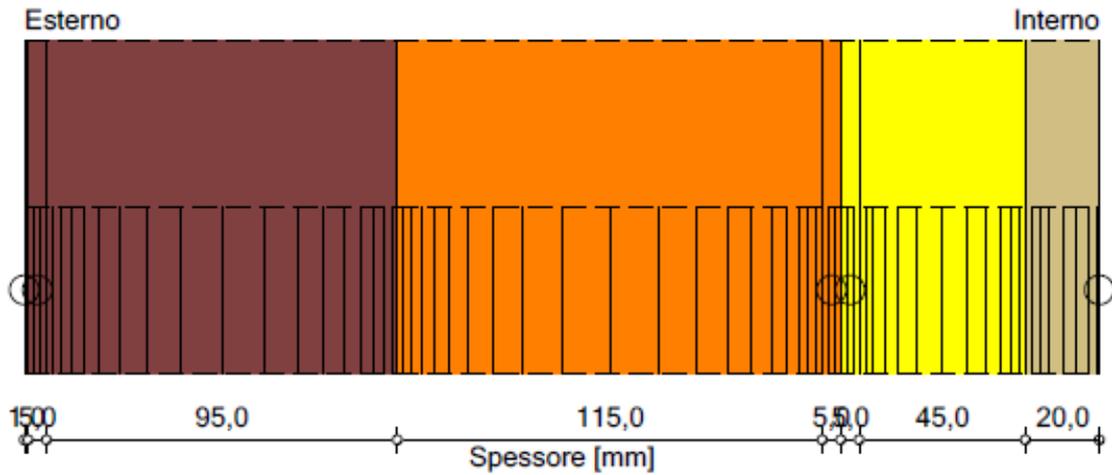
Figura 71: V.06 – simulazione

In corrispondenza dello strato di sughero l'umidità relativa non supera il 95% [Fig. 71].

Nella stratigrafia non si verifica condensa interstiziale.

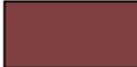
### 3.14 SIMULAZIONE 14: CAGLIARI – COPERTURA NORD – VENTILATA 07 (V.07)

#### Variante: V.07 - COPERTURA



○ - Posizioni monitor

#### Materiali :

-  - \*Guaina sottomanto
-  - \*Sughero (5 mm)
-  - \*Sughero (95 mm)
-  - \*CLT (115 mm)
-  - \*CLT (5 mm)
-  - \*Pannello legno-cemento (5 mm)
-  - \*Pannello legno-cemento (45 mm)
-  - \*Argilla, terra cruda

### 3.14.1 VERIFICA SUPERFICIALE

Ai fini dell'assenza di condensa superficiale la temperatura della superficie interna deve essere inferiore alla temperatura di rugiada.

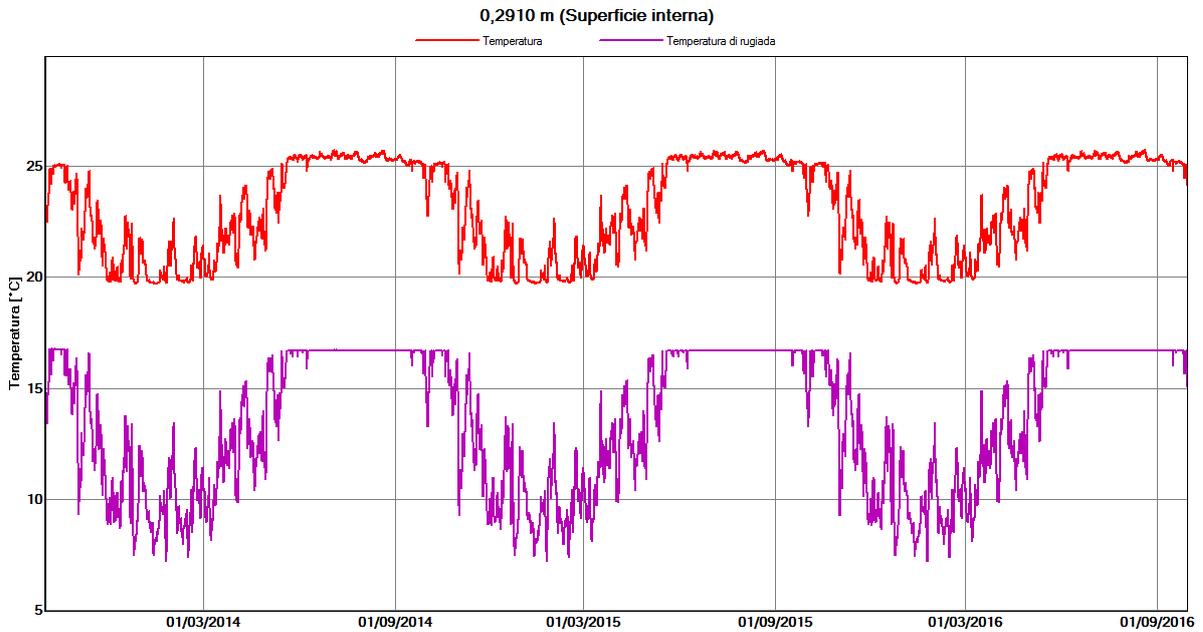


Figura 72: V.07 - temperatura superficiale (linea rossa) e temperatura di rugiada (linea viola) sull'intonaco di argilla

La temperatura si mantiene superiore alla temperatura di rugiada e questo significa che non avviene la formazione di condensa superficiale [Fig.72].

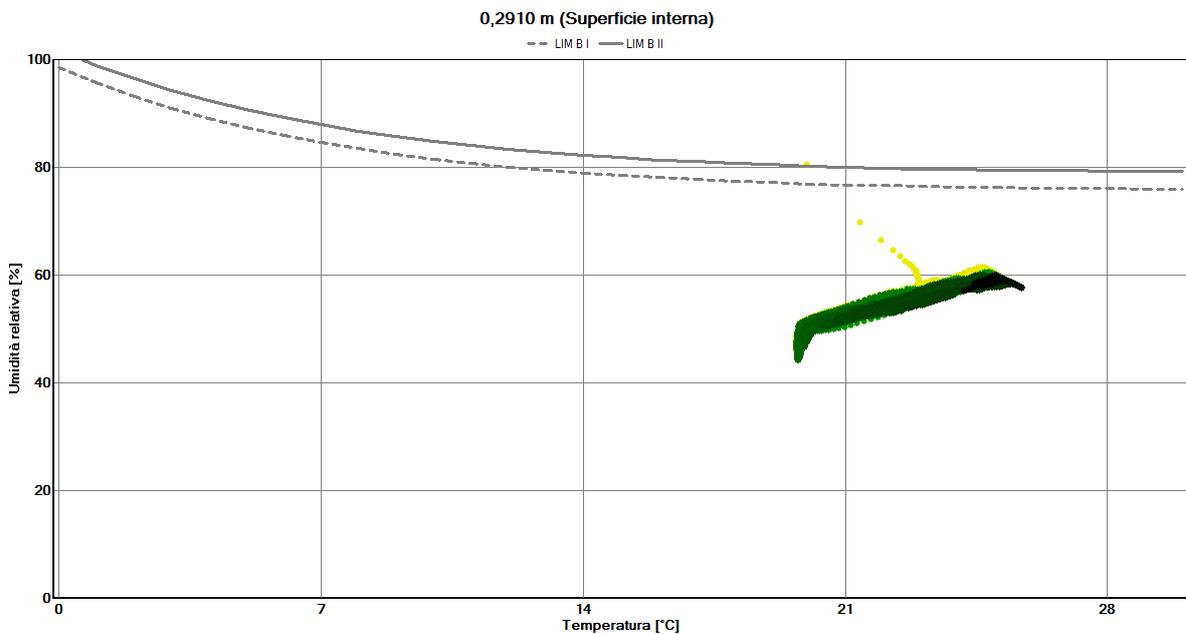


Figura 73: V.07 - isoplete limite per la crescita microbologica sull'intonaco di argilla

La condizione termoigrometrica dell'argilla non supera il **LIM B II** e dunque il materiale non è interessato da una proliferazione microbologica [Fig.73].

### 3.14.2 VERIFICA INTERSTIZIALE

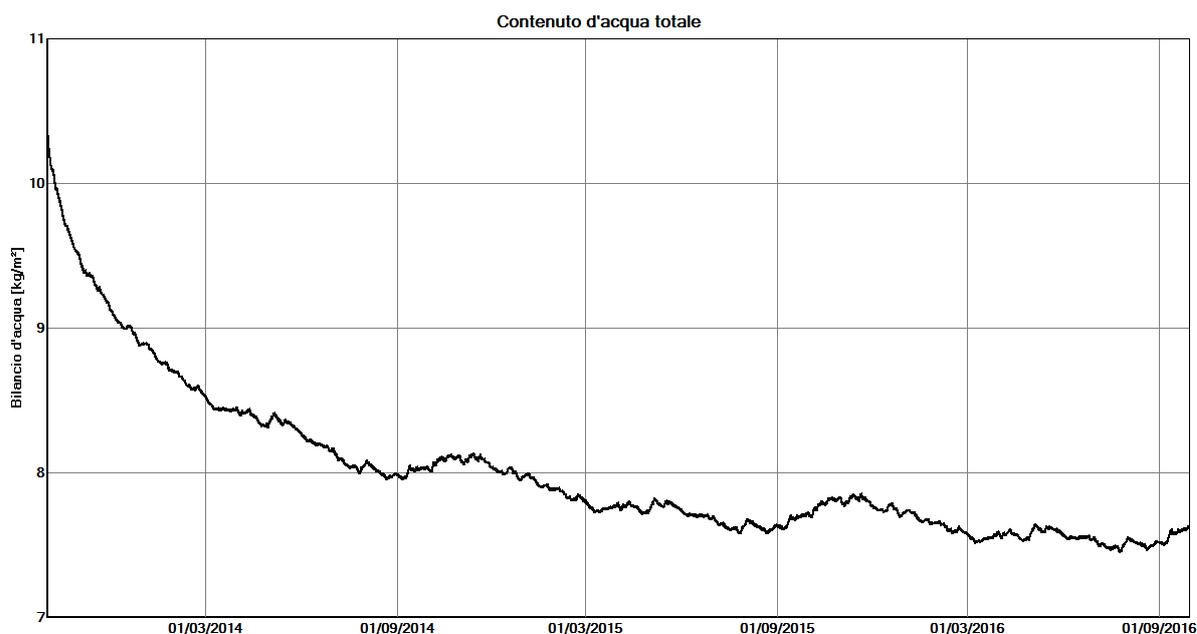


Figura 74: V.07 - contenuto di acqua totale

Il contenuto di acqua totale decresce durante i tre anni di simulazione [Fig.74].

Il contenuto iniziale è di  $10,43 \text{ kg/m}^3$  e il contenuto finale è di  $7,62 \text{ kg/m}^3$ .

<b>CONTENUTO DI ACQUA NEI SINGOLI STRATI (<math>\text{kg/m}^3</math>)</b>				
MATERIALE	INIZIO	FINE	MINIMO	MASSIMO
Guaina sottomanto	0,00	0,00	0,00	0,01
Sughero (5 mm)	1,69	0,71	0,01	2,30
Sughero (95 mm)	1,69	0,33	0,07	1,69
CLT (115 mm)	54,00	43,44	42,81	54,57
CLT (5 mm)	54,00	47,90	45,68	67,24
Pannello legno-cemento (5 mm)	68,00	40,69	37,10	68,00
Pannello legno-cemento (45 mm)	68,00	42,60	37,82	68,10
Argilla, terra cruda	19,00	11,54	9,48	19,00

<b>CONTENUTO DI ACQUA NEI SINGOLI STRATI (%M)</b>				
MATERIALE	INIZIO	FINE	MINIMO	MASSIMO
Guaina sottomanto	0,00	0,00	0,00	0,01
Sughero (5 mm)	1,13	0,47	0,01	1,53
Sughero (95 mm)	1,13	0,22	0,05	1,13

CLT (115 mm)	11,87	9,55	9,41	11,99
CLT (5 mm)	11,87	10,53	10,04	14,78
Pannello legno-cemento (5 mm)	15,11	9,04	8,24	15,11
Pannello legno-cemento (45 mm)	15,11	9,47	8,40	15,13
Argilla, terra cruda	1,25	0,76	0,63	1,25

Il contenuto di acqua nel CLT, espresso in % di massa, si mantiene al di sotto del valore limite del 20%.

Il contenuto di acqua nel pannello di legno-cemento si mantiene al di sotto del valore limite del 18%.

Per il sughero è necessario verificare l'andamento dell'umidità relativa dell'aria.

Zona climatica: Cagliari\_hour.wac;

V.07 - COPERTURA

WUFI®

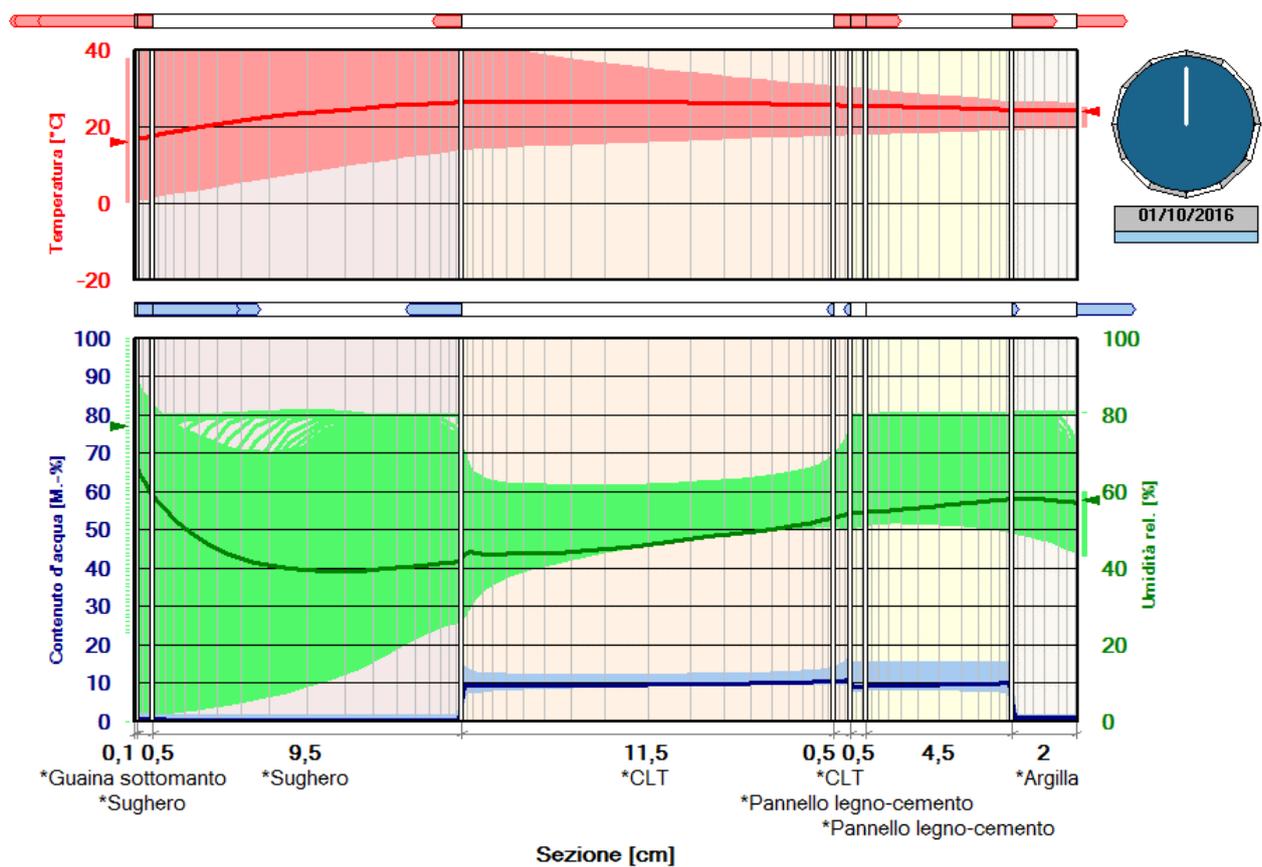


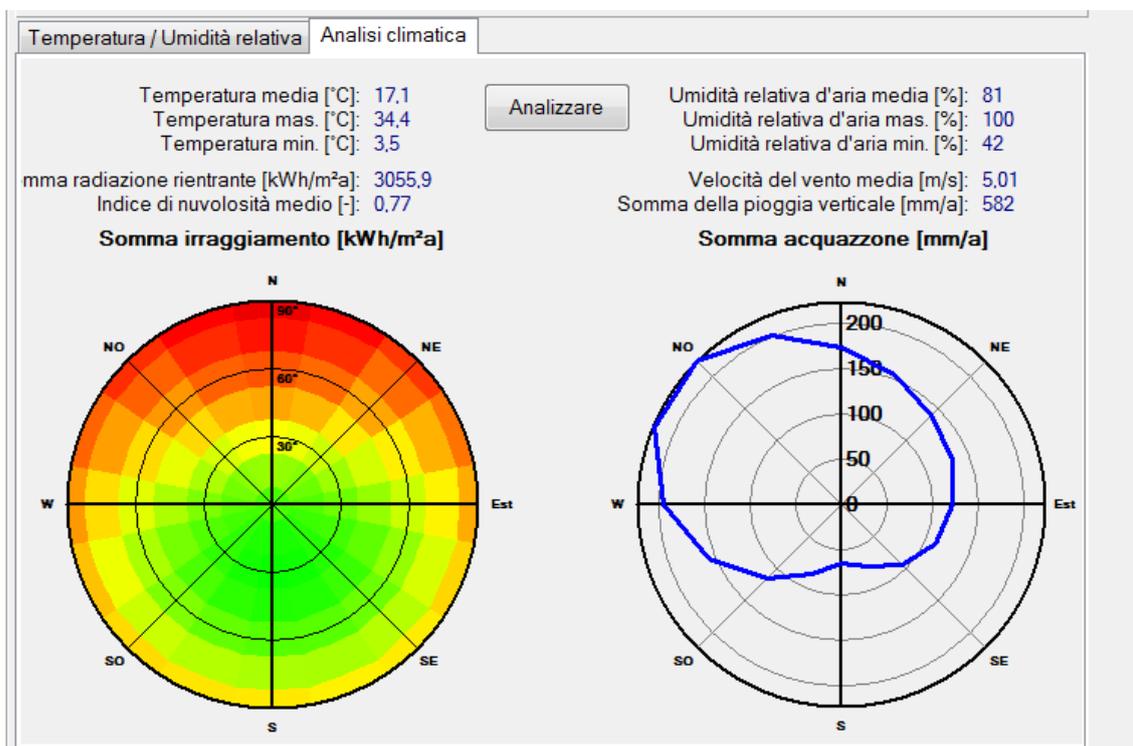
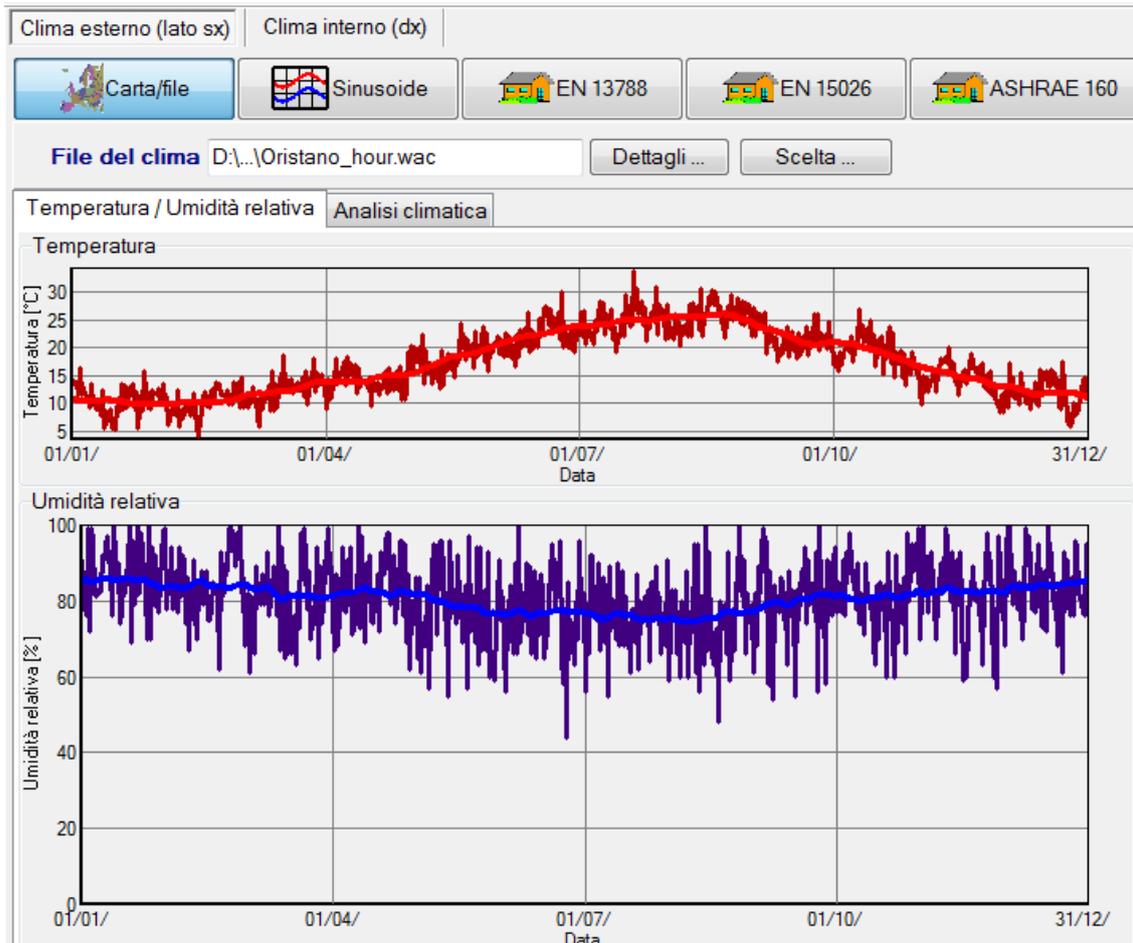
Figura 75: V.07 – simulazione

In corrispondenza dello strato di sughero l'umidità relativa non supera il 95% [Fig. 75].

Nella stratigrafia non si verifica condensa interstiziale.

## 4 SIMULAZIONI DINAMICHE TERMOIGROMETRICHE - ORISTANO

Le stesse stratigrafie sono state verificate nelle condizioni climatiche di Oristano.



## 4.1 V.01 – ORISTANO – PARETE NORD

### 4.1.1 VERIFICA SUPERFICIALE

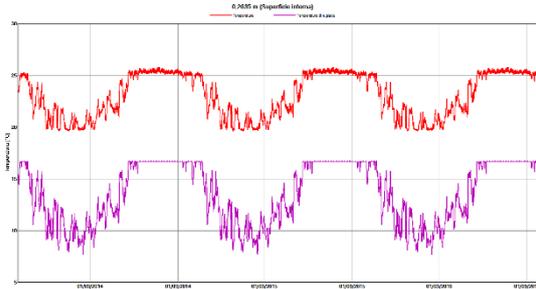


Figura 76: V.01 - temperatura superficiale (linea rossa) e temperatura di rugiada (linea viola) sul pannello di cartongesso

Nella stratigrafia non si verifica condensa superficiale in quanto la temperatura sul pannello di cartongesso è sempre superiore alla temperatura di rugiada.

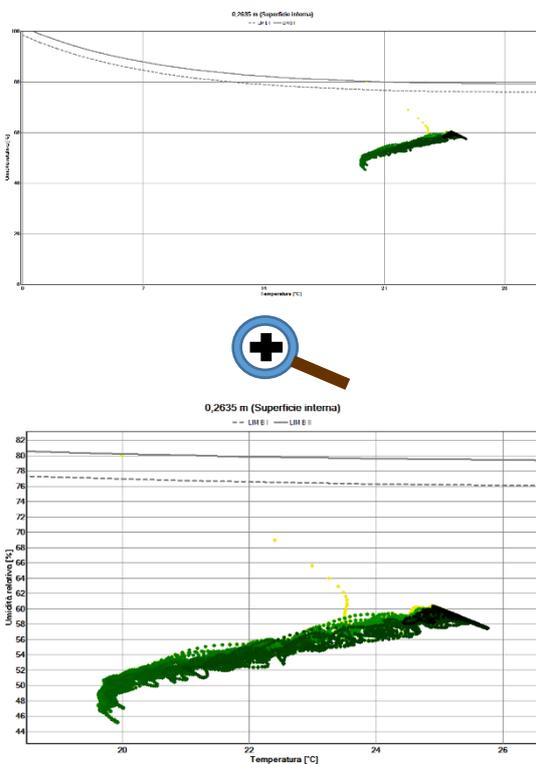


Figura 77: V.01 - isoplete limite per la crescita microbologica sul pannello di cartongesso

La condizione termigrometrica del cartongesso non supera il **LIM B I** e dunque il materiale non è interessato da una proliferazione microbologica.

### 4.1.2 VERIFICA INTERSTIZIALE

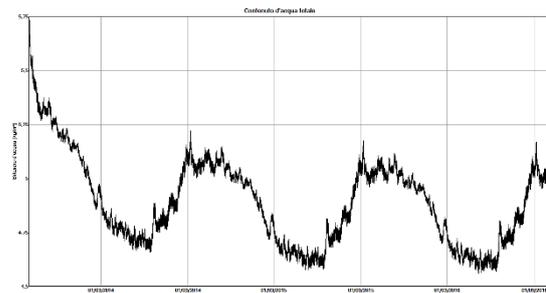


Figura 78: V.01 - contenuto di acqua totale

Il contenuto totale di acqua non aumenta nel corso dei tre anni di simulazione.

STRATO/MATERIALE	INIZIO	FINE	MIN.	MAX.
Telo protettivo esterno (sd=0,1 m)	0,00	0,00	0,00	0,15
Pannello di lino (5 mm)	13,16	9,29	0,76	16,34
Pannello di lino (155 mm)	13,16	6,61	3,45	13,16
CLT (85 mm)	11,87	11,15	10,39	12,03
CLT (5 mm)	11,87	11,41	9,86	12,08
Pannello di cartongesso	0,74	0,53	0,39	0,74

Figura 79: contenuto di acqua negli strati in % di massa

Il contenuto di acqua nel CLT è inferiore al valore limite del 20%.

Il contenuto di acqua nel pannello di lino è inferiore al valore limite del 18%.

Nella stratigrafia non si verifica condensa interstiziale.

## 4.2 V.02 – ORISTANO – PARETE NORD

### 4.2.1 VERIFICA SUPERFICIALE

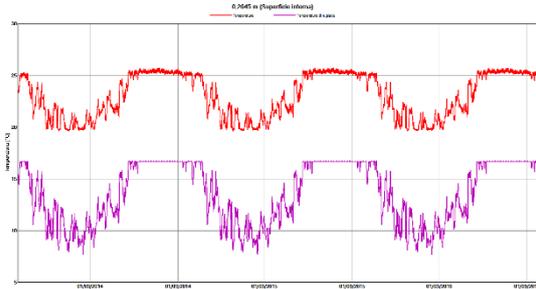


Figura 80: V.02 - temperatura superficiale (linea rossa) e temperatura di rugiada (linea viola) sul pannello di cartongesso

Nella stratigrafia non si verifica condensa superficiale in quanto la temperatura sul pannello di cartongesso è sempre superiore alla temperatura di rugiada.

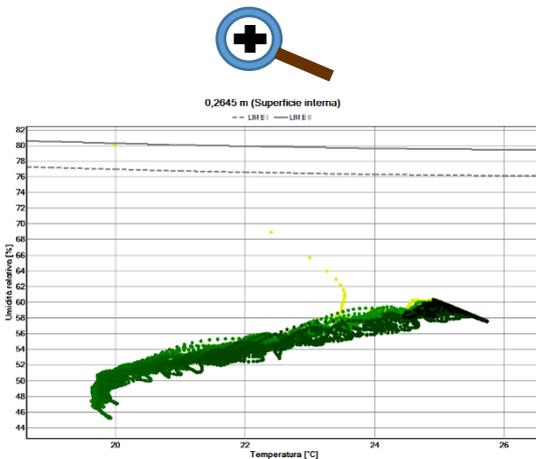
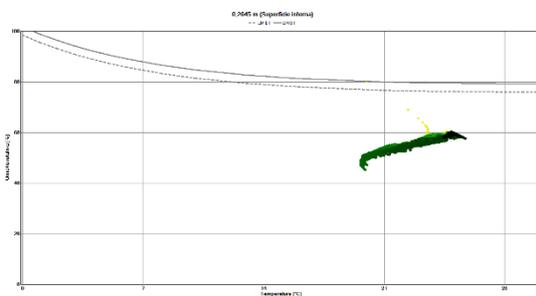


Figura 81: V.02 - isoplete limite per la crescita microbiologica sul pannello di cartongesso

La condizione termoigrometrica del cartongesso non supera il **LIM B I** e dunque il materiale non è interessato da una proliferazione microbiologica.

### 4.2.2 VERIFICA INTERSTIZIALE

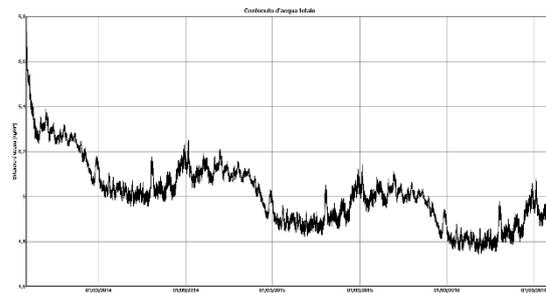


Figura 82: V.02 - contenuto di acqua totale

Il contenuto totale di acqua non aumenta nel corso dei tre anni di simulazione.

STRATO/MATERIALE	INIZIO	FINE	MIN.	MAX.
Telo protettivo esterno (sd=0,1m)	0,00	0,00	0,00	0,15
Pannello di lino (5 mm)	13,16	9,29	0,76	16,39
Pannello di lino (150 mm)	13,16	6,55	3,50	13,29
Pannello di lino (5 mm)	13,16	6,87	3,95	17,61
Barriera al vapore (sd=1500 m)	0,00	0,00	0,00	0,00
CLT (5 mm)	11,87	10,62	10,57	11,99
CLT (80 mm)	11,87	10,96	10,87	11,87
CLT (5 mm)	11,87	11,44	9,86	12,08
Pannello di cartongesso	0,74	0,53	0,39	0,74

Figura 83: contenuto di acqua negli strati in % di massa

Il contenuto di acqua nel CLT è inferiore al valore limite del 20%.

Il contenuto di acqua nel pannello di lino è inferiore al valore limite del 18%.

Nella stratigrafia non si verifica condensa interstiziale.

## 4.3 V.03 – ORISTANO – PARETE NORD

### 4.3.1 VERIFICA SUPERFICIALE

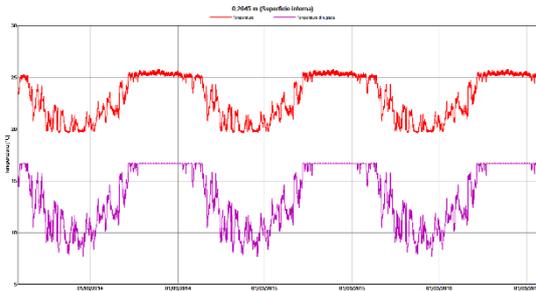


Figura 84: V.03 - temperatura superficiale (linea rossa) e temperatura di rugiada (linea viola) sul pannello di cartongesso

Nella stratigrafia non si verifica condensa superficiale in quanto la temperatura sul pannello di cartongesso è sempre superiore alla temperatura di rugiada.

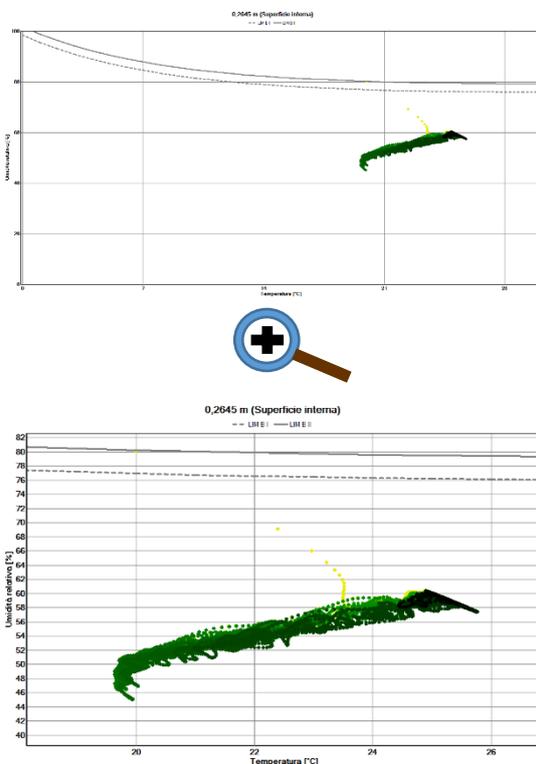


Figura 85: V.03 - isoplete limite per la crescita microbiologica sul pannello di cartongesso

La condizione termoigrometrica del cartongesso non supera il **LIM B I** e dunque il materiale non è interessato da una proliferazione microbiologica.

### 4.3.2 VERIFICA INTERSTIZIALE

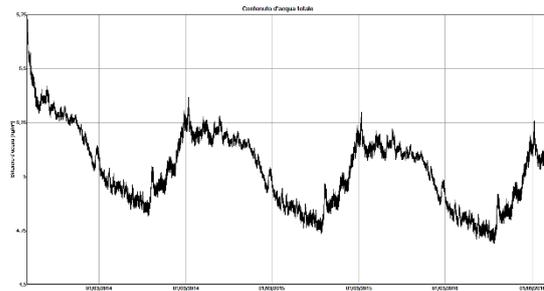


Figura 86: V.03 - contenuto di acqua totale

Il contenuto totale di acqua non aumenta nel corso dei tre anni di simulazione.

STRATO/MATERIALE	INIZIO	FINE	MIN.	MAX.
Telo protettivo esterno (sd=0,1 m)	0,00	0,00	0,00	0,15
Pannello di lino (5 mm)	13,16	9,29	0,76	16,34
Pannello di lino (155 mm)	13,16	6,61	3,47	13,16
CLT (85 mm)	11,87	11,33	10,72	12,04
CLT (5 mm)	11,87	11,43	11,27	11,98
Barriera al vapore (sd=1500 m)	0,00	0,00	0,00	0,00
Pannello di cartongesso	0,74	0,53	0,38	0,74

Figura 87: contenuto di acqua negli strati in % di massa

Il contenuto di acqua nel CLT è inferiore al valore limite del 20%.

Il contenuto di acqua nel pannello di lino è inferiore al valore limite del 18%.

Nella stratigrafia non si verifica condensa interstiziale.

## 4.4 NV.01 – ORISTANO – PARETE NORD

### 4.4.1 VERIFICA SUPERFICIALE

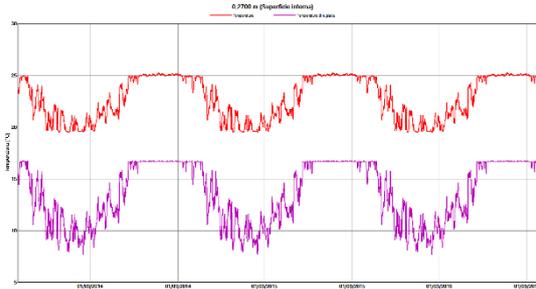


Figura 88: NV.01 - temperatura superficiale (linea rossa) e temperatura di rugiada (linea viola) sul pannello di cartongesso

Nella stratigrafia non si verifica condensa superficiale in quanto la temperatura sul pannello di cartongesso è sempre superiore alla temperatura di rugiada.

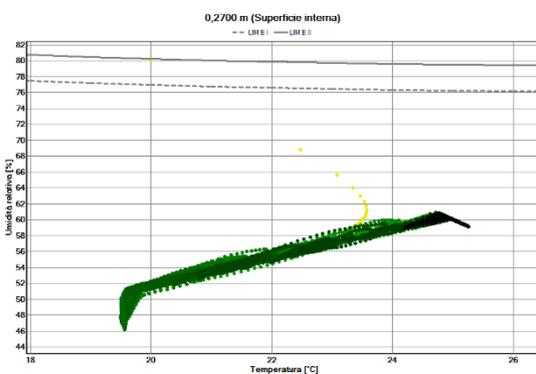
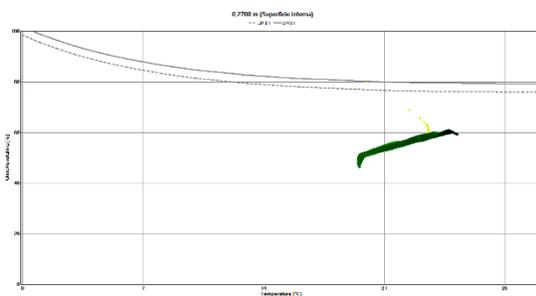


Figura 89: NV.01 - isopete limite per la crescita microbologica sul pannello di cartongesso

La condizione termoisometrica del cartongesso non supera il **LIM B I** e dunque il materiale non è interessato da una proliferazione microbologica.

### 4.4.2 VERIFICA INTERSTIZIALE

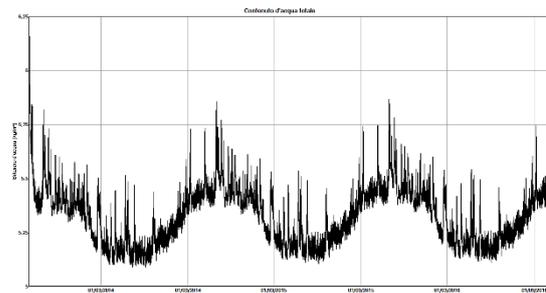


Figura 92: NV.01 - contenuto di acqua totale

Il contenuto totale di acqua non aumenta nel corso dei tre anni di simulazione.

STRATO/MATERIALE	INIZIO	FINE	MIN.	MAX.
Intonaco minerale	11,05	2,67	1,20	11,05
Sughero (5 mm)	1,13	1,07	0,23	13,62
Sughero (155 mm)	1,13	0,73	0,42	1,58
CLT (85 mm)	11,87	12,19	11,58	12,22
CLT (5 mm)	11,87	11,77	10,54	12,32
Strato di aria	0,77	0,77	0,77	0,77
Pannello di cartongesso	0,74	0,55	0,42	0,74
Pannello di cartongesso	0,74	0,55	0,40	0,74

Figura 93: contenuto di acqua negli strati in % di massa

Attenzione: il contenuto di acqua nel CLT è inferiore al valore limite del 20% ma aumenta dall'inizio alla fine della simulazione.

E' possibile eseguire una simulazione in un tempo più lungo (10 anni).

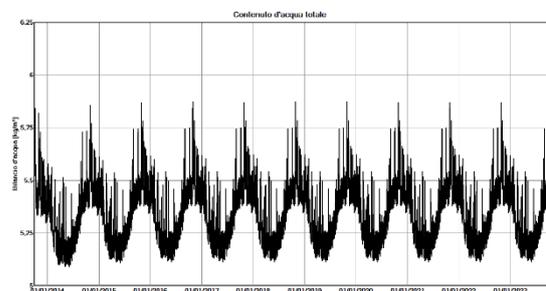


Figura 94: NV.01 - contenuto di acqua totale (simulazione 10 anni)

Il massimo contenuto di acqua totale aumenta nei primi 4 anni di simulazione e rimane stabile dal 4° al 10° anno di simulazione (67,09 kg/m<sup>3</sup>).

E' necessario verificare anche le condizioni termoigrometriche sulle superficie dei materiali a contatto con l'aria in quiete dell'intercapedine per la possibile crescita microbologica.

Variante: NV.01 - PARETE NORD - ORISTANO - UNI EN 15026

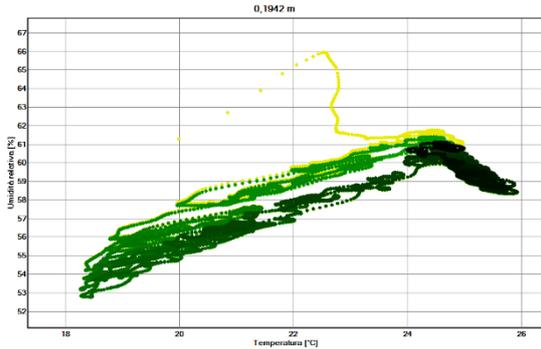
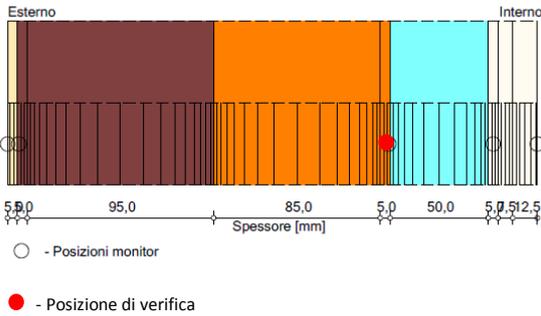
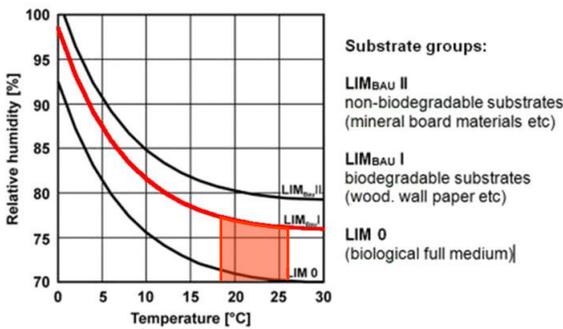


Figura 90: NV.01 - temperatura e umidità relativa sulla superficie del CLT a contatto con l'intercapedine di aria



L'umidità relativa sulla superficie del CLT a contatto con l'intercapedine di aria non supera mai il 76%.

Le condizioni termoigrometriche non permettono la crescita microbologica.

STRATO/MATERIALE	INIZIO	FINE	MIN.	MAX.
Intonaco minerale	11,05	2,67	1,20	11,05
Sughero (5 mm)	1,13	1,07	0,23	13,62
Sughero (155 mm)	1,13	0,73	0,42	1,58
CLT (85 mm)	11,87	12,19	11,58	12,22
CLT (5 mm)	11,87	11,77	10,54	12,32
Strato di aria	0,77	0,77	0,77	0,77
Pannello di cartongesso	0,74	0,55	0,42	0,74
Pannello di cartongesso	0,74	0,55	0,40	0,74

Figura 95: contenuto di acqua negli strati in % di massa (10 anni)

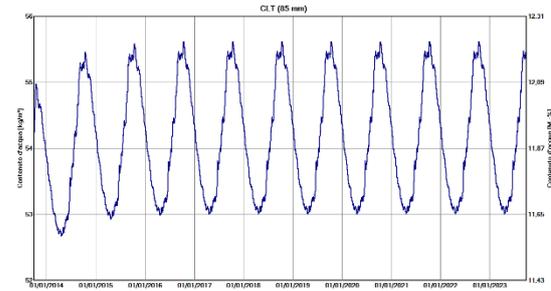


Figura 96: NV.01 - contenuto di acqua nel CLT - 85 mm (10 anni)

Il massimo contenuto di acqua aumenta i primi 3 anni di simulazione e rimane stabile i successivi 7 anni. Questo significa che non vi è accumulo di acqua nel materiale.

Per il sughero è necessario verificare l'andamento dell'umidità relativa.

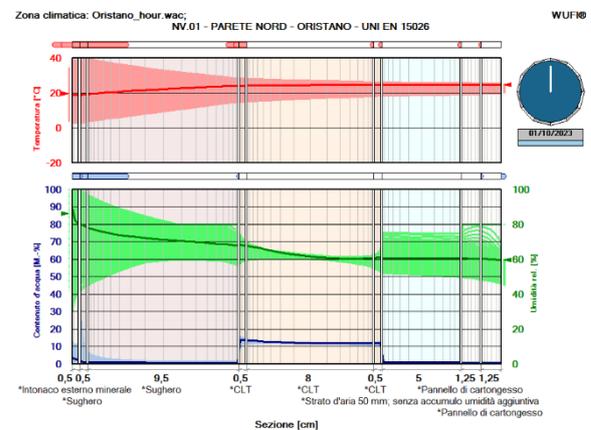


Figura 97: NV.01 - simulazione (10 anni)

Nello strato di sughero l'umidità relativa supera il 95%.

Variante: NV.01 - PARETE NORD - ORISTANO - UNI EN 15026

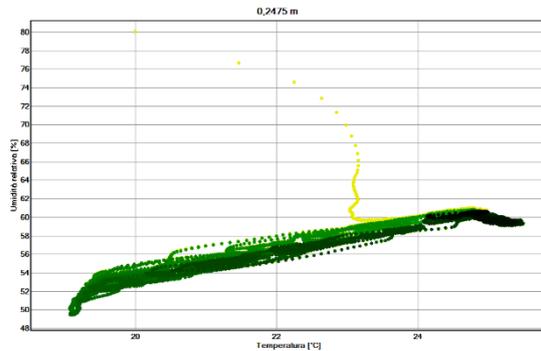
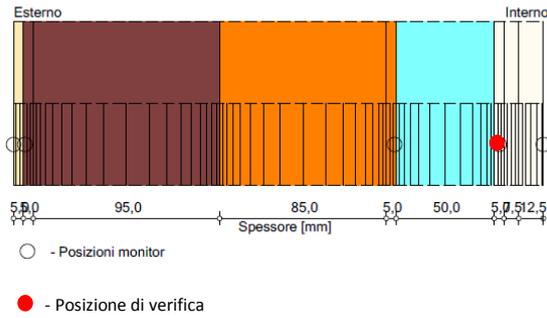
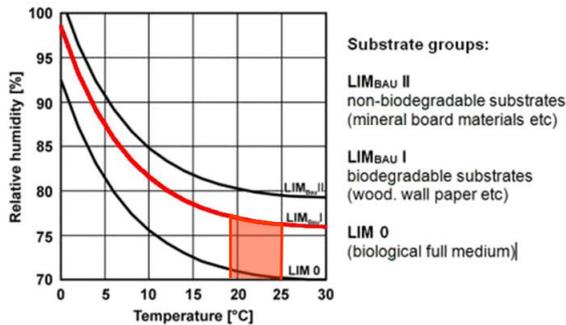


Figura 91: NV.01 - temperatura e umidità relativa sulla superficie del cartongesso a contatto con l'intercapedine di aria



Sulla superficie del materiale si registrano temperature comprese fra 19°C e 25°C e valori di umidità relativa compresi fra 49% e 80%.

Rispetto al **LIM B I** l'umidità relativa supera il 76% le prime due ore di simulazione.

Le condizioni non permettono la crescita microbiologica sul materiale.

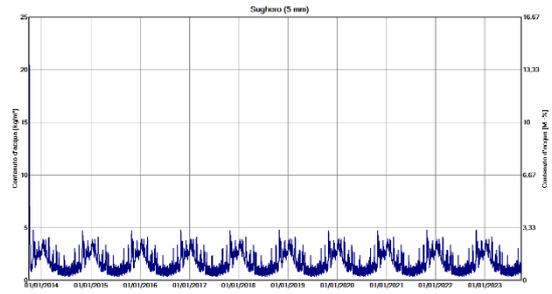


Figura 98: NV.01 - contenuto di acqua nel sughero a contatto con l'intonaco minerale (10 anni)

Il massimo contenuto di acqua nel sughero non aumenta nel corso dei tre anni di simulazione.

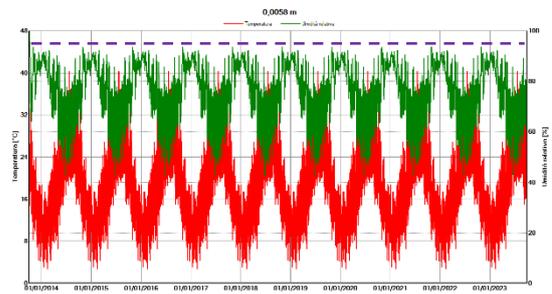


Figura 99: NV.01 - temperatura e umidità relativa nello strato di sughero a contatto con l'intonaco minerale (10 anni)

L'umidità relativa supera il 95% i primi 5 giorni di simulazione.

La brevità e unicità dell'evento non creano le condizioni per la formazione di condensa interstiziale.

## 4.5 NV.02 – ORISTANO – PARETE NORD

### 4.5.1 VERIFICA SUPERFICIALE

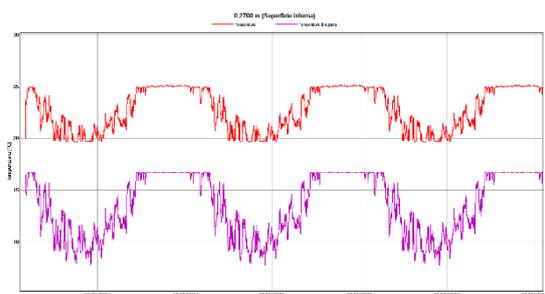


Figura 100: NV.02 - temperatura superficiale (linea rossa) e temperatura di rugiada (linea viola) sul pannello di cartongesso

Nella stratigrafia non si verifica condensa superficiale in quanto la temperatura sul pannello di cartongesso è sempre superiore alla temperatura di rugiada.

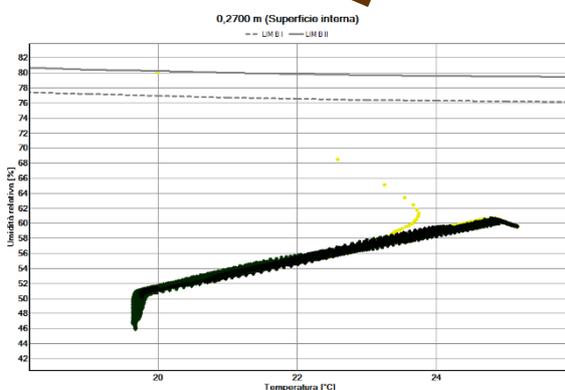
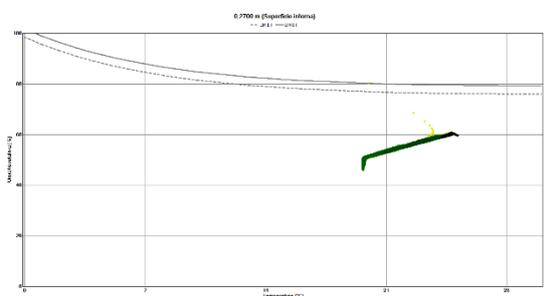


Figura 101: NV.02 - isoplete limite per la crescita microbiologica sul pannello di cartongesso

La condizione termoigrometrica del cartongesso non supera il **LIM B I** e dunque il materiale non è interessato da una proliferazione microbiologica.

### 4.5.2 VERIFICA INTERSTIZIALE

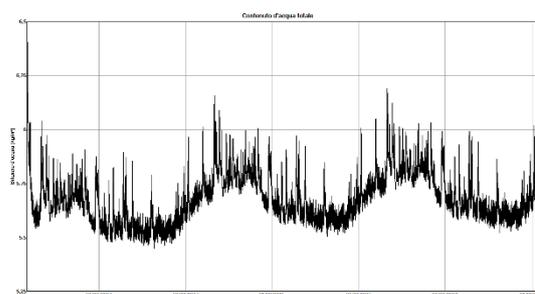


Figura 102: NV.02 - contenuto di acqua totale

**Attenzione: contenuto totale di acqua in aumento nel corso dei tre anni di simulazione.**

La simulazione viene effettuata per un periodo di tempo più lungo (10 anni).

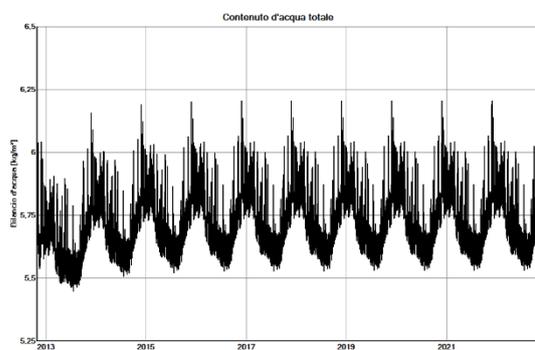


Figura 103: NV.02 - contenuto di acqua totale (simulazione 10 anni)

Il massimo contenuto di acqua aumenta nei primi 4 anni e poi rimane stabile per i successivi 6 anni. La stratigrafia raggiunge, in un tempo più lungo, un equilibrio dinamico con l'ambiente.

STRATO/MATERIALE	INIZIO	FINE	MIN.	MAX.
Intonaco minerale	11,05	2,90	1,20	11,05
Sughero (5 mm)	1,13	1,53	0,23	13,53
Sughero (95 mm)	1,13	0,87	0,45	1,59
CLT (85 mm)	11,87	12,57	11,87	12,60
CLT (5 mm)	11,87	12,15	11,23	13,35
Pannello di lino (5 mm)	13,16	8,74	7,37	13,16
Pannello di lino (45 mm)	13,16	7,53	6,87	13,16
Pannello di cartongesso	0,74	0,45	0,41	0,74
Pannello di cartongesso	0,74	0,44	0,40	0,74

Figura 104: contenuto di acqua negli strati in % di massa (simulazione 10 anni)

Il contenuto di acqua nel CLT è inferiore al valore limite del 20%.

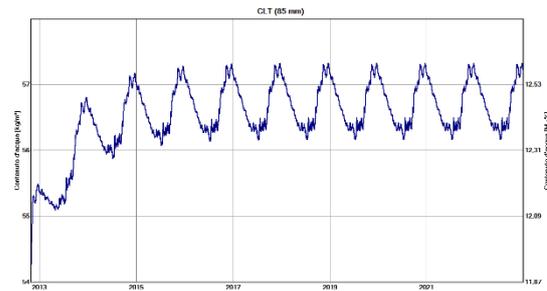


Figura 105. NV.02 - contenuto di acqua nel CLT (10 anni)

Il massimo contenuto di acqua nel CLT aumenta i primi 5 anni di simulazione e si mantiene stabile nei successivi 5 anni (57,32 kg/m<sup>3</sup>).

Il contenuto di acqua nel lino è inferiore al valore limite del 18%.

Per il sughero è necessario verificare l'andamento dell'umidità relativa.

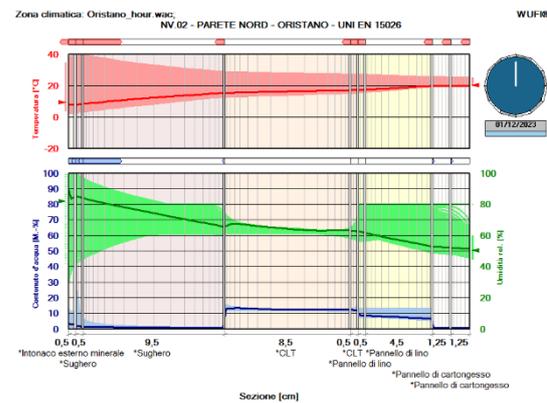


Figura 106: NV.02 – simulazione (10 anni)

Nello strato di sughero l'umidità relativa supera il 95%.

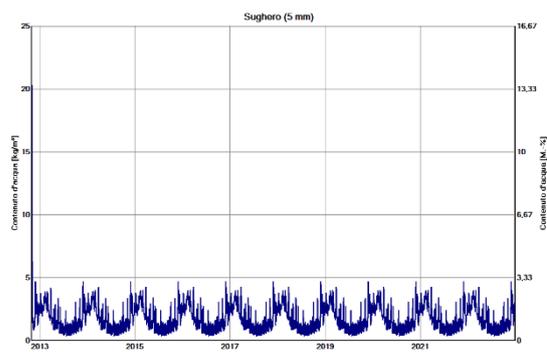


Figura 107: NV.02 - contenuto di acqua nello strato di sughero a contatto con l'intonaco minerale (10 anni)

Il massimo contenuto di acqua nel sughero non aumenta nel corso dei 10 anni di simulazione.

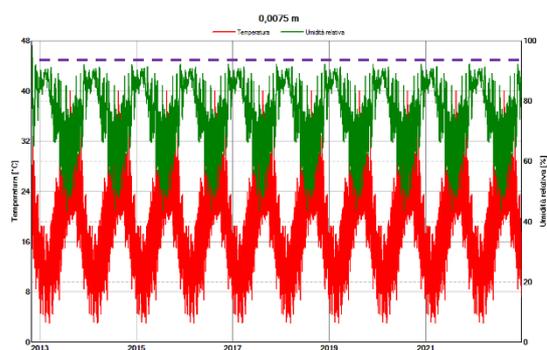


Figura 108: NV.02 - temperatura e umidità relativa nello strato di sughero a contatto con l'intonaco minerale

L'umidità relativa supera il 95% i primi 7 giorni di simulazione.

La brevità e unicità dell'evento non creano le condizioni per la formazione di condensa interstiziale.

## 4.6 NV.03 – ORISTANO – PARETE NORD

### 4.6.1 VERIFICA SUPERFICIALE

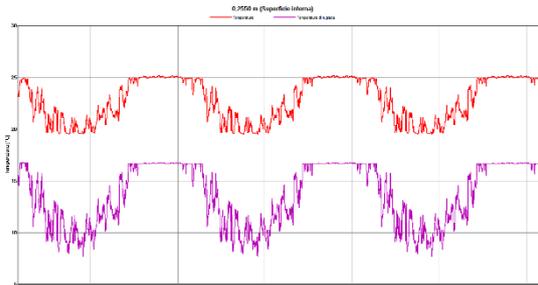


Figura 109: NV.03 - temperatura superficiale (linea rossa) e temperatura di rugiada (linea viola) sulla rasatura minerale

Nella stratigrafia non si verifica condensa superficiale in quanto la temperatura sulla rasatura minerale è sempre superiore alla temperatura di rugiada.

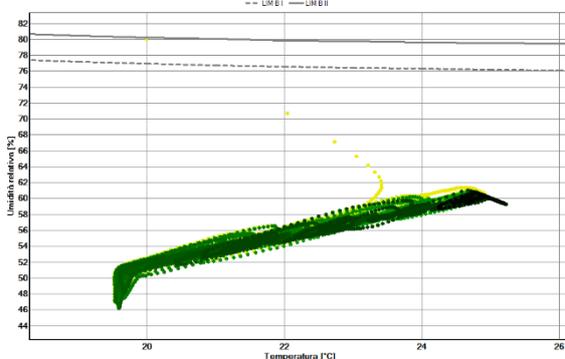
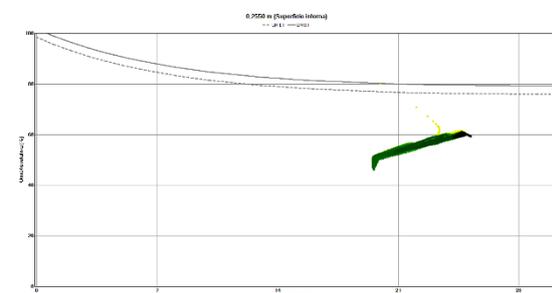


Figura 110: NV.03 - isoplete limite per la crescita microbiologica sulla rasatura minerale

La condizione termoigrometrica della rasatura minerale non supera il **LIM B II** e dunque il materiale non è interessato da una proliferazione microbiologica.

### 4.6.2 VERIFICA INTERSTIZIALE

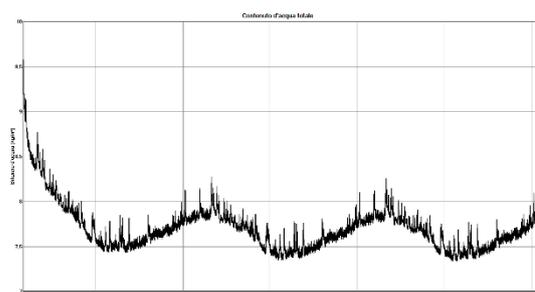


Figura 111: NV.03 - contenuto di acqua totale

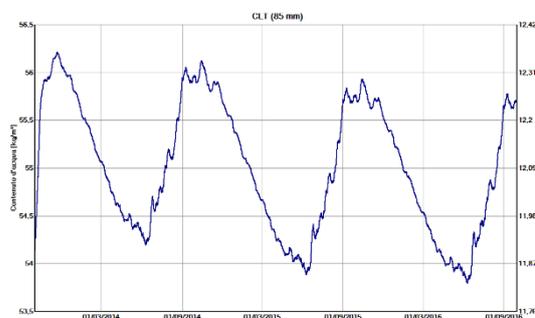
Il contenuto di acqua totale non aumenta nel corso dei tre anni di simulazione.

STRATO/MATERIALE	INIZIO	FINE	MIN.	MAX.
Intonaco minerale	11,05	2,67	1,20	11,05
Sughero (5 mm)	1,13	1,07	0,23	13,59
Sughero (95 mm)	1,13	0,73	0,43	1,59
CLT (85 mm)	11,87	12,24	11,82	12,35
CLT (5 mm)	11,87	11,68	11,21	15,02
Pannello di legno-cemento (5 mm)	15,11	10,42	9,61	15,11
Pannello di legno-cemento (45 mm)	15,11	10,34	9,10	15,11
Colla e rasatura minerale	1,30	0,97	0,79	1,30

Figura 112: contenuto di acqua negli strati in % di massa

Attenzione: il contenuto di acqua nello strato di CLT è inferiore al valore limite del 20% ma aumenta tra inizio e fine della simulazione.

20/11/2013	15/10/2014	15/11/2015	08/09/2016
56,21 kg/m <sup>3</sup>	56,12 kg/m <sup>3</sup>	55,93 kg/m <sup>3</sup>	55,77 kg/m <sup>3</sup>



Il massimo contenuto di acqua nel CLT decresce nel corso della simulazione.

Questo significa che non vi è accumulo di acqua nel materiale.

Il contenuto di acqua nel pannello di legno-cemento è inferiore al valore limite del 18%.  
 Per il sughero è necessario verificare l'andamento dell'umidità relativa.

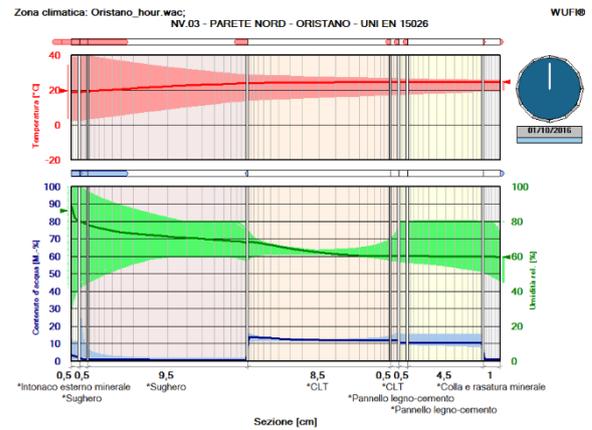


Figura 113: NV.03 – simulazione

Nello strato di sughero l'umidità relativa supera il 95%.

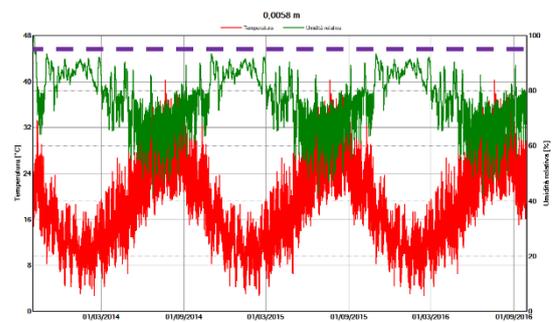


Figura 114: NV.03 - temperatura e umidità relativa nello strato di sughero a contatto con l'intonaco minerale

L'umidità relativa supera il 95% nella prima settimana di simulazione.

La brevità e unicità dell'evento non creano le condizioni per la formazione di condensa interstiziale.

## 4.7 NV.04 – ORISTANO – PARETE NORD

### 4.7.1 VERIFICA SUPERFICIALE

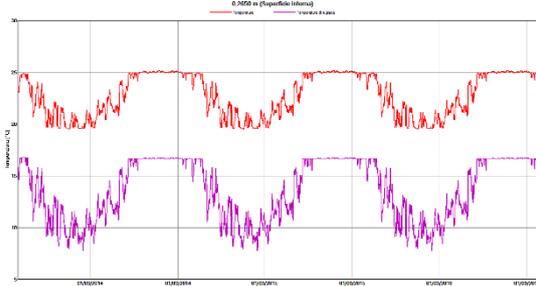


Figura 115: NV.04 -temperatura superficiale (linea rossa) e temperatura di rugiada (linea viola) sull'intonaco di argilla

Nella stratigrafia non si verifica condensa superficiale in quanto la temperatura sull'intonaco di argilla è sempre superiore alla temperatura di rugiada.

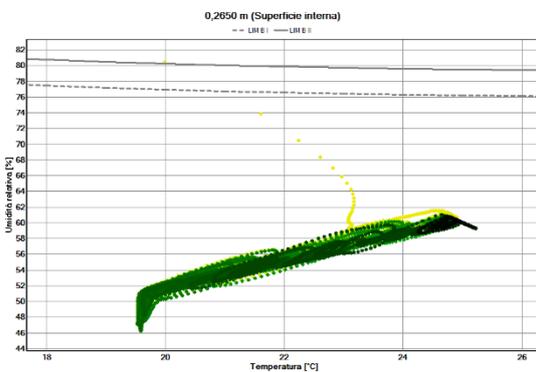
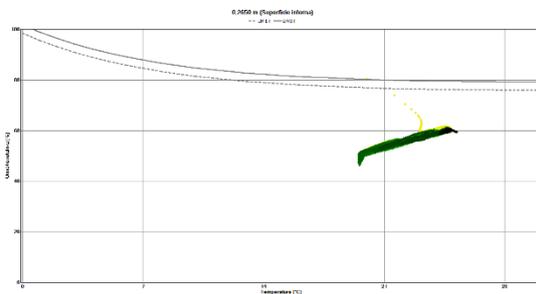


Figura 116: NV.04 - isoplete limite per la crescita microbologica sull'intonaco di argilla

La condizione termoigrometrica dell'argilla non supera il **LIM B II** e dunque il materiale non è interessato da una proliferazione microbologica.

### 4.7.2 VERIFICA INTERSTIZIALE

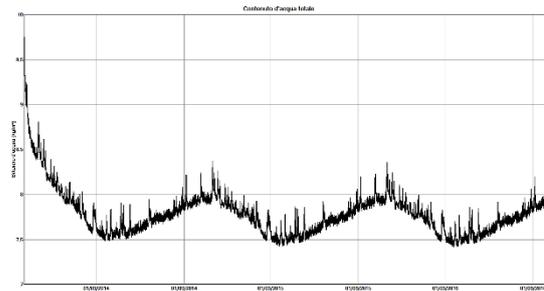


Figura 117: NV.04 - contenuto di acqua totale

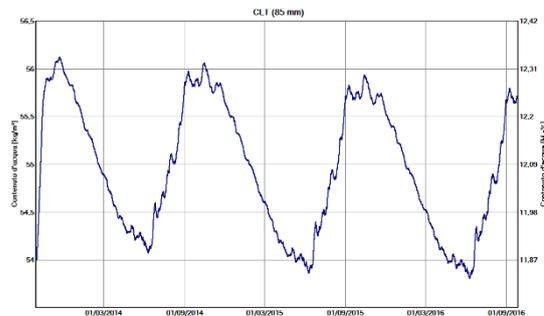
Il contenuto di acqua totale non aumenta nel corso dei tre anni di simulazione.

STRATO/MATERIALE	INIZIO	FINE	MIN.	MAX.
Intonaco minerale	11,05	2,67	1,20	11,05
Sughero (5 mm)	1,13	1,07	0,23	13,57
Sughero (95 mm)	1,13	0,73	0,43	1,59
CLT (85 mm)	11,87	12,25	11,83	12,34
CLT (5 mm)	11,87	11,69	11,18	14,98
Pannello di legno-cemento (5 mm)	15,11	10,44	9,58	15,11
Pannello di legno-cemento (45 mm)	15,11	10,37	9,04	15,11
Argilla – terra cruda	1,25	0,79	0,65	1,25

Figura 118: contenuto di acqua negli strati in % di massa

Attenzione: il contenuto di acqua nello strato di CLT è inferiore al valore limite del 20% ma aumenta tra l'inizio e la fine della simulazione.

20/11/2013	15/10/2014	15/10/2015	08/09/2016
56,12 kg/m <sup>3</sup>	56,06 kg/m <sup>3</sup>	55,93 kg/m <sup>3</sup>	55,79 kg/m <sup>3</sup>



Il massimo contenuto di acqua nel CLT tende a diminuire nel corso della simulazione.

Questo significa che non vi è un accumulo del contenuto di acqua.

Il contenuto di acqua nel pannello di legno-cemento è inferiore al valore limite del 18%.  
Per il sughero è necessario verificare l'andamento dell'umidità relativa.

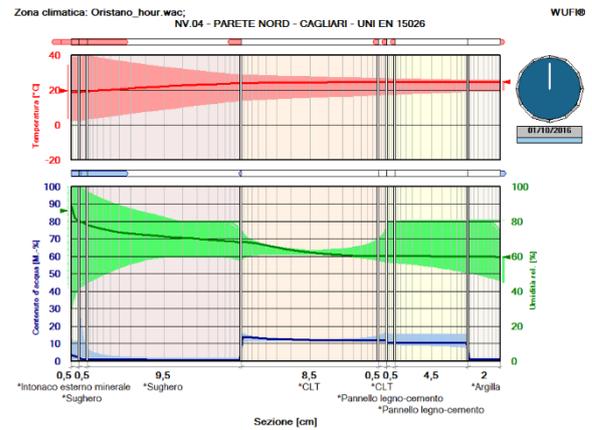


Figura 119: NV.04 – simulazione

Nello strato di sughero l'umidità relativa supera il 95%.

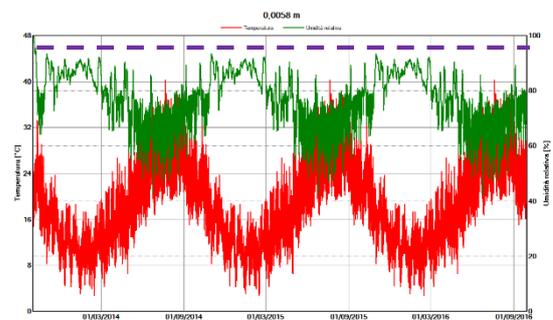


Figura 120: NV.04 - temperatura e umidità relativa nello strato di sughero a contatto con l'intonaco minerale

L'umidità relativa supera il 95% nella prima settimana di simulazione.

La brevità e unicità dell'evento non creano le condizioni per la formazione di condensa interstiziale.

## 4.8 V.01 – ORISTANO – COPERTURA NORD

### 4.8.1 VERIFICA SUPERFICIALE

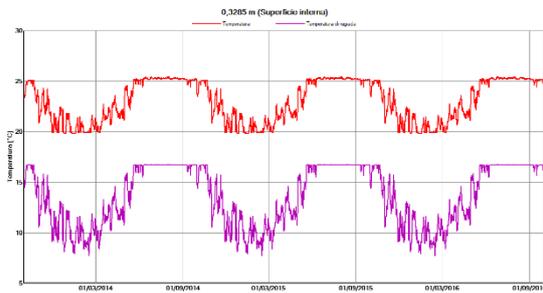


Figura 121: V.01 - temperatura superficiale (linea rossa) e temperatura di rugiada (linea viola) sul pannello di cartongesso

Nella stratigrafia non si verifica condensa superficiale in quanto la temperatura sul pannello di cartongesso è sempre superiore alla temperatura di rugiada.

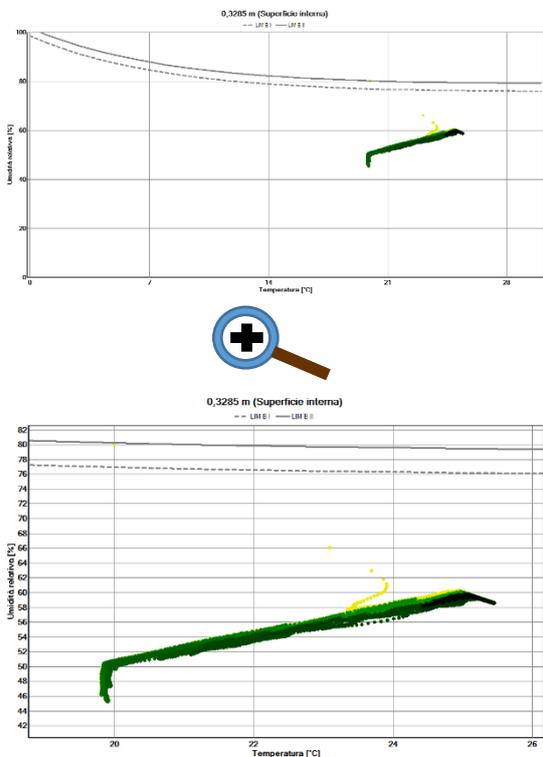


Figura 122: V.01 - isopete limite per la crescita microbologica sul pannello di cartongesso

La condizione termoigrometrica del cartongesso non supera il **LIM B I** e dunque il materiale non è interessato da una proliferazione microbologica.

### 4.8.2 VERIFICA INTERSTIZIALE

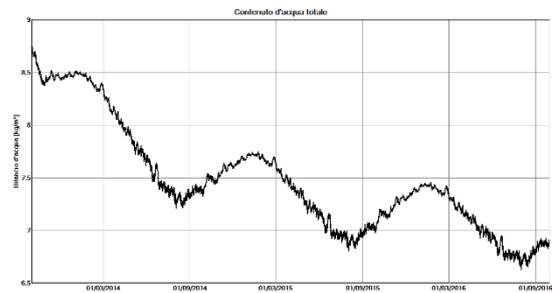


Figura 123: V.01 - contenuto di acqua totale

Il contenuto totale di acqua non aumenta nel corso dei tre anni di simulazione.

STRATO/MATERIALE	INIZIO	FINE	MIN.	MAX.
Guaina sottomanto	0,00	0,00	0,00	0,00
Tavolato in abete (20 mm)	11,87	8,27	5,44	13,13
Tavolato in abete (5 mm)	11,87	8,49	5,97	14,16
Pannello di lino (5 mm)	13,16	5,13	1,79	13,16
Pannello di lino (110 mm)	13,16	4,89	4,13	13,16
Pannello di lino (5 mm)	13,16	4,82	4,16	17,87
CLT (115 mm)	11,87	10,15	10,10	12,17
CLT (5 mm)	11,87	10,37	9,44	13,05
Pannello di lino (5 mm)	13,16	6,71	5,18	13,16
Pannello di lino (45 mm)	13,16	7,29	5,82	13,16
Pannello di cartongesso	0,74	0,53	0,40	0,74

Figura 124: contenuto di acqua nei singoli strati in % di massa

Il contenuto di acqua nel CLT e nel tavolato di legno è inferiore al valore limite del 20%.

Il contenuto di acqua nel pannello di lino è inferiore al valore limite del 18%.

Nella stratigrafia non si verifica condensa interstiziale.

## 4.9 V.02 – ORISTANO – COPERTURA NORD

### 4.9.1 VERIFICA SUPERFICIALE

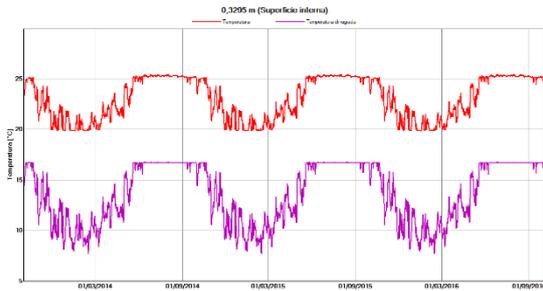


Figura 125: V.02 - temperatura superficiale (linea rossa) e temperatura di rugiada (linea viola) sul pannello di cartongesso

Nella stratigrafia non si verifica condensa superficiale in quanto la temperatura sul pannello di cartongesso è sempre superiore alla temperatura di rugiada.

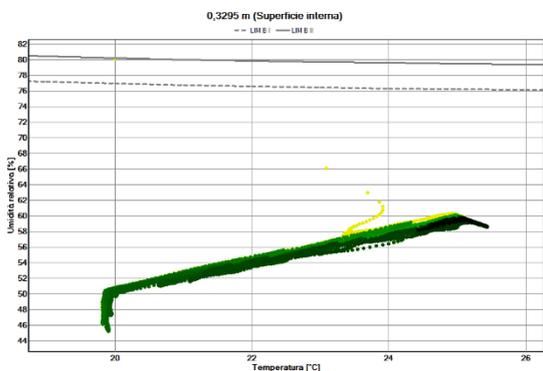
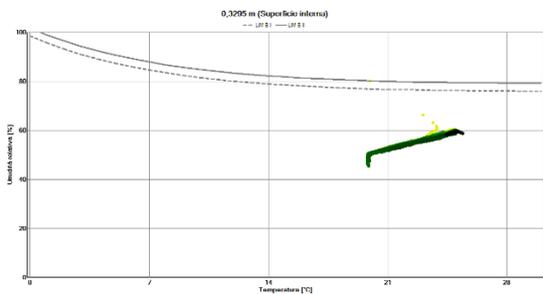


Figura 126: V.02 - isopete limite per la crescita microbologica sul pannello di cartongesso

La condizione termoigrometrica del cartongesso non supera il LIM B I e dunque il materiale non è interessato da una proliferazione microbologica.

### 4.9.2 VERIFICA INTERSTIZIALE

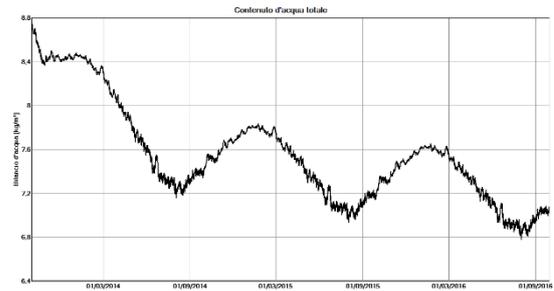


Figura 127: V.02 - contenuto di acqua totale

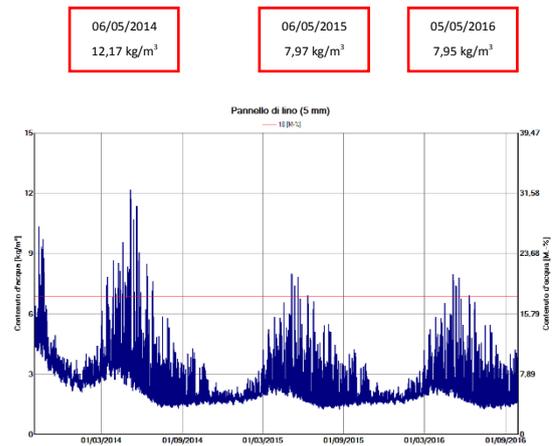
Il contenuto di acqua totale non aumenta nel corso dei tre anni di simulazione.

STRATO/MATERIALE	INIZIO	FINE	MIN.	MAX.
Guaina sottomanto	0,00	0,00	0,00	0,01
Tavolato in abete (20 mm)	11,87	8,20	5,45	13,12
Tavolato in abete (5 mm)	11,87	8,36	5,84	14,03
Pannello di lino (5 mm)	13,16	4,89	1,74	13,16
Pannello di lino (110 mm)	13,16	4,61	3,66	13,16
Pannello di lino (5 mm)	13,16	4,32	3,34	32,05
Barriera al vapore	0,00	0,00	0,00	0,03
CLT (5 mm)	11,87	10,46	10,42	11,98
CLT (110 mm)	11,87	10,51	10,49	11,89
CLT (5 mm)	11,87	10,39	9,46	13,06
Pannello di lino (5 mm)	13,16	6,71	5,21	13,16
Pannello di lino (45 mm)	13,16	7,32	5,82	13,16
Pannello di cartongesso	0,74	0,53	0,40	0,74

Figura 128: contenuto di acqua nei singoli strati in % di massa

Il contenuto di acqua nel CLT e nel tavolato è inferiore al valore limite del 20%.

Attenzione: il contenuto di acqua nel pannello di lino a contatto con la barriera a vapore supera il valore limite del 18%.



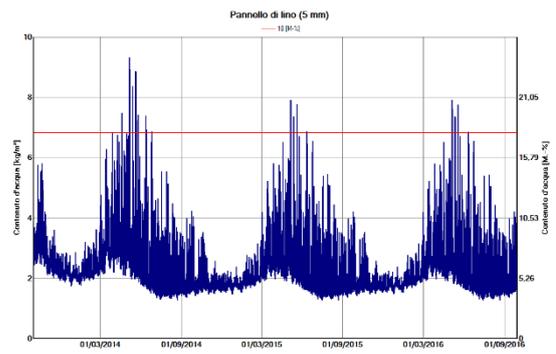
*Figura 129: V.02 - contenuto di acqua nello strato di lino a contatto con la barriera al vapore*

Il massimo contenuto di acqua nel pannello di lino a contatto con la barriera a vapore decresce nel corso della simulazione.

Il periodo durante il quale il contenuto di acqua nel lino supera il valore limite del 18% in maniera non continuativa è il seguente:

- dal 10/10/2013 al 23/10/2013;
- dal 13/03/2014 al 25/06/2014;
- dal 06/05/2015 al 12/06/2015;
- dal 05/05/2016 all' 11/06/2016.

Una possibile soluzione per ridurre il periodo in cui il pannello di lino ha un contenuto di acqua superiore al 18% è utilizzare, da capitolato, un legno con contenuto di acqua pari a 10,5% e un pannello di lino con un contenuto di acqua pari al 7,5%.



*Figura 130: V.02 - contenuto di acqua nello strato di lino a contatto con la barriera al vapore (umidità CLT e tavolato 10,5% e lino 7,5%)*

Il contenuto di acqua nel pannello di lino supera il valore limite del 18% durante i seguenti periodi, con un numero di ore inferiore rispetto al periodo precedente:

- dal 28/03/2014 al 25/06/2014;
- dal 06/05/2015 al 12/06/2015;
- dal 05/05/2016 all' 11/06/2016.

## 4.10 V.03 – ORISTANO – COPERTURA NORD

### 4.10.1 VERIFICA SUPERFICIALE

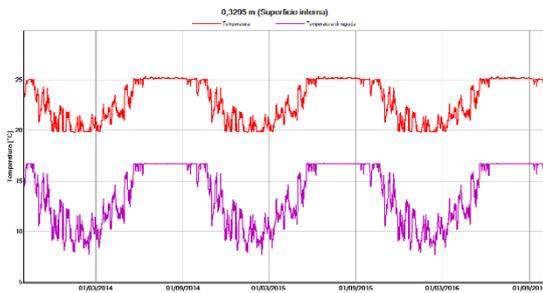


Figura 131: V.03 - temperatura superficiale (linea rossa) e temperatura di rugiada (linea viola) sul pannello di cartongesso

Nella stratigrafia non si verifica condensa superficiale in quanto la temperatura sul pannello di cartongesso è sempre superiore alla temperatura di rugiada.

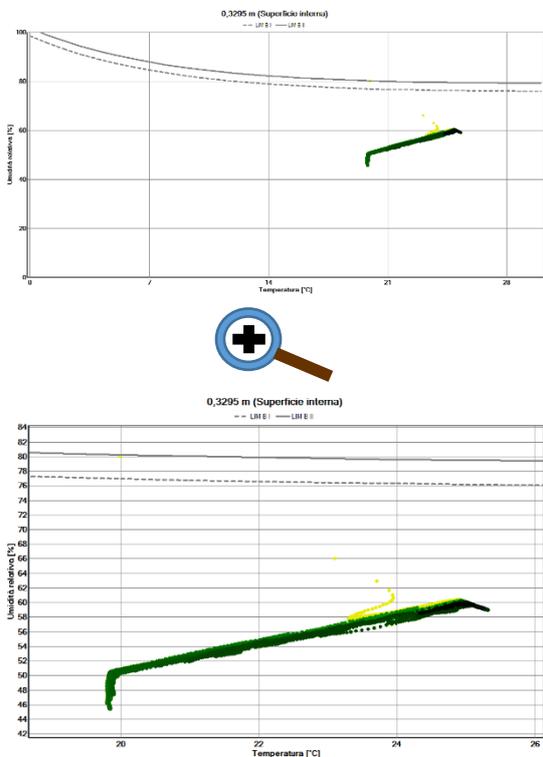


Figura 132: V.03 - isoplete limite per la crescita microbologica sul pannello di cartongesso

La condizione termigrometrica del cartongesso non supera il **LIM B I** e dunque il materiale non è interessato da una proliferazione microbologica.

### 4.10.2 VERIFICA INTERSTIZIALE

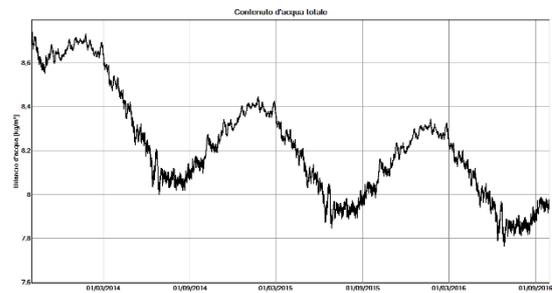


Figura 133: V.03 - contenuto di acqua totale

Il contenuto di acqua totale non aumenta nel corso dei tre anni di simulazione.

STRATO/MATERIALE	INIZIO	FINE	MIN.	MAX.
Guaina sottomanto	0,00	0,00	0,00	0,01
Tavolato in abete (20 mm)	11,87	9,74	7,19	14,63
Tavolato in abete (5 mm)	11,87	9,87	7,70	15,33
Pannello di lino (5 mm)	13,16	6,92	2,84	13,16
Pannello di lino (115 mm)	13,16	6,50	5,95	13,16
Pannello di lino (5 mm)	13,16	6,29	5,29	18,61
CLT (115 mm)	11,87	11,65	11,47	12,19
CLT (5 mm)	11,87	11,96	11,71	12,11
Barriera al vapore	0,00	0,00	0,00	0,00
Pannello di lino (5 mm)	13,16	7,55	5,58	14,97
Pannello di lino (45 mm)	13,16	7,82	5,95	13,16
Pannello di cartongesso	0,74	0,54	0,40	0,74

Figura 134: contenuto di acqua in % di massa

Attenzione: il contenuto di acqua nel CLT a contatto con la barriera a vapore è inferiore al valore limite del 20% ma aumenta dall'inizio alla fine della simulazione.

Il contenuto di acqua nel lino supera il valore limite del 18%.

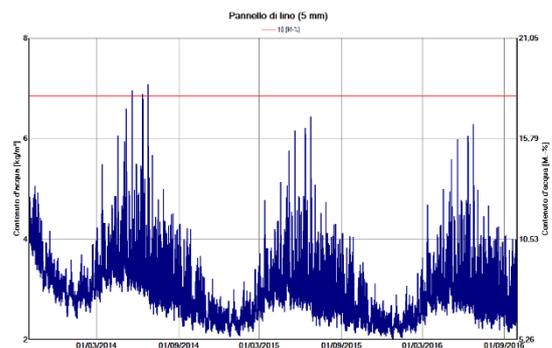


Figura 135: V.03 - contenuto di acqua nel pannello di lino a contatto con il CLT

Il contenuto di acqua nel lino supera il valore limite del 18% durante tre giorni della simulazione:

- 20/05/2014 (1 ora)
- 12/06/2014 (2 ore)
- 24/06/2014 (3 ore)

La brevità e unicità dell'evento non creano le condizioni per la formazione di condensa interstiziale. Viene eseguita una simulazione per un periodo di tempo più lungo, pari a 10 anni per verificare il comportamento del CLT.

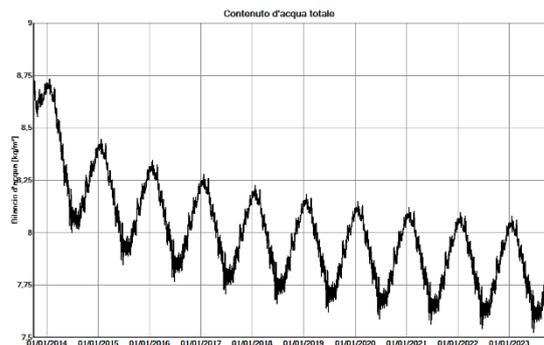


Figura 136. V.03 - contenuto di acqua totale (10 anni)

STRATO/MATERIALE	INIZIO	FINE	MIN.	MAX.
Guaina sottomanto	0,00	0,00	0,00	0,01
Tavolato in abete (20 mm)	11,87	9,71	7,16	14,63
Tavolato in abete (5 mm)	11,87	9,80	7,64	15,33
Pannello di lino (5 mm)	13,16	6,76	2,79	13,16
Pannello di lino (115 mm)	13,16	6,34	5,79	13,16
Pannello di lino (5 mm)	13,16	6,11	5,16	18,61
CLT (115 mm)	11,87	11,27	11,04	12,19
CLT (5 mm)	11,87	11,45	11,24	12,11
Barriera al vapore	0,00	0,00	0,00	0,00
Pannello di lino (5 mm)	13,16	7,55	5,58	14,97
Pannello di lino (45 mm)	13,16	7,82	5,95	13,16
Pannello di cartongesso	0,74	0,54	0,40	0,74

Figura 137: contenuto di acqua in % di massa (10 anni)

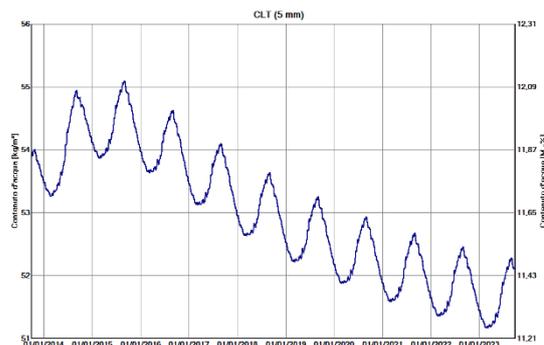


Figura 138. V.03 - contenuto di acqua nel CLT (10 anni)

La simulazione di 10 anni permette di osservare che il contenuto di acqua nel CLT aumenta i primi tre anni e diminuisce nei restanti sette anni. Il materiale dunque non subisce un accumulo di umidità.

## 4.11 V.04 – ORISTANO – COPERTURA NORD

### 4.11.1 VERIFICA SUPERFICIALE

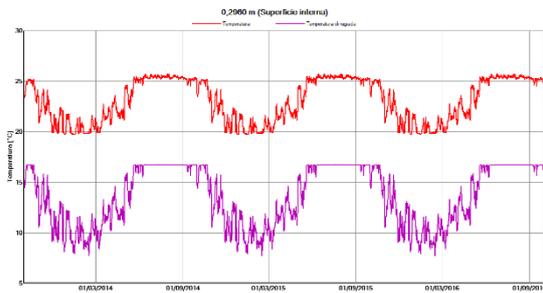


Figura 139: V.04 - temperatura superficiale (linea rossa) e temperatura di rugiada (linea viola) sul pannello di cartongesso

Nella stratigrafia non si verifica condensa superficiale in quanto la temperatura sul pannello di cartongesso è sempre superiore alla temperatura di rugiada.

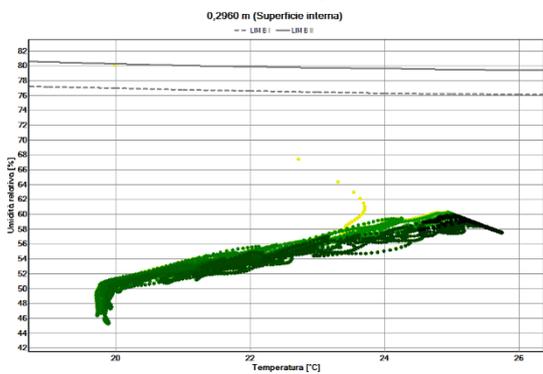
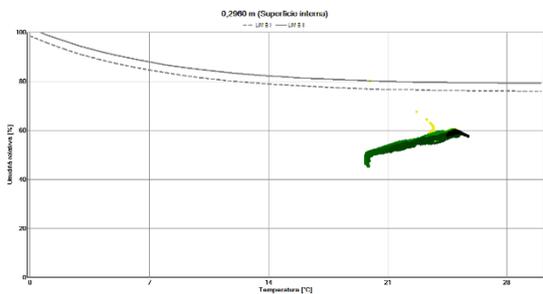


Figura 140: V.04 - isoplete limite per la crescita microbologica sul pannello di cartongesso

La condizione termigrometrica del cartongesso non supera il **LIM B I** e dunque il materiale non è interessato da una proliferazione microbologica.

### 4.11.2 VERIFICA INTERSTIZIALE

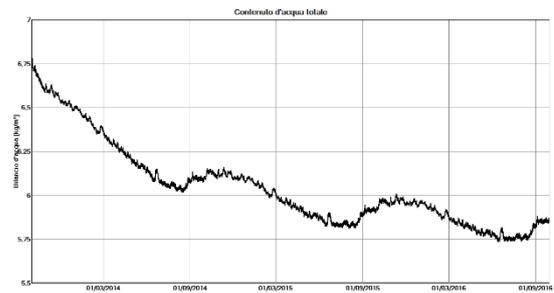


Figura 143: V.04 - contenuto di acqua totale

Il contenuto di acqua totale non aumenta nel corso dei tre anni di simulazione.

STRATO/MATERIALE	INIZIO	FINE	MIN.	MAX.
Guaina sottomanto	0,00	0,00	0,00	0,01
Sughero (5mm)	1,13	0,82	0,01	1,65
Sughero (95mm)	1,13	0,37	0,07	1,13
CLT (115 mm)	11,87	10,41	10,24	11,95
CLT (5 mm)	11,87	11,04	10,05	12,31
Strato di aria (50 mm)	0,01	0,01	0,01	0,01
Pannello di cartongesso	0,74	0,53	0,40	0,74
Pannello di cartongesso	0,74	0,53	0,39	0,74

Figura 144: contenuto di acqua negli strati in % di massa

Il contenuto di acqua nel CLT si mantiene inferiore al valore limite del 20%.

Per il sughero è necessario verificare l'andamento dell'umidità relativa.

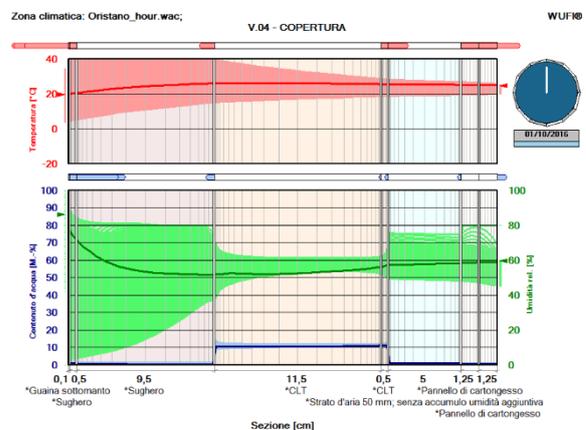


Figura 145: V.04 - simulazione

Nello strato di sughero l'umidità relativa non raggiunge mai il 95%.

E' necessario verificare anche le condizioni termoigrometriche sulle superfici dei materiali a contatto con l'aria in quiete dell'intercapedine per la possibile crescita microbologica.

Nella stratigrafia non si verifica condensa interstiziale.

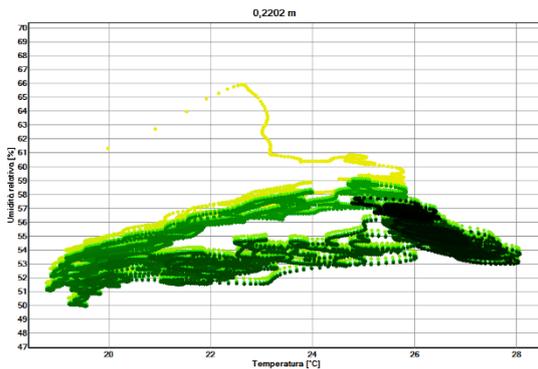
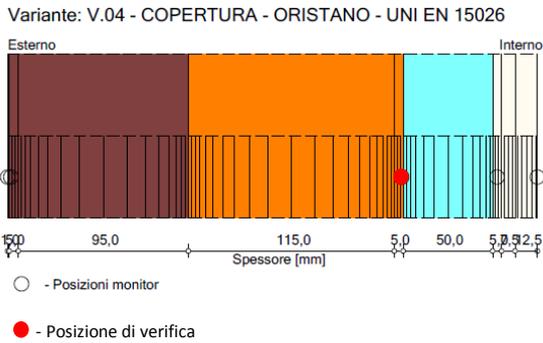
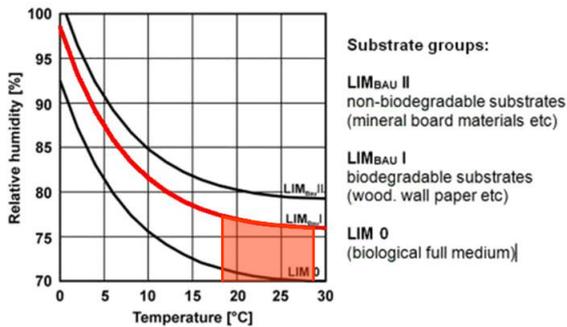


Figura 141: V.04 - temperatura e umidità relativa sulla superficie del CLT a contatto con l'intercapedine di aria



L'umidità relativa sulla superficie del CLT a contatto con l'intercapedine di aria non supera mai il 76%.

Le condizioni termoigrometriche non permettono la crescita microbologica.

Variante: V.04 - COPERTURA - ORISTANO - UNI EN 15026

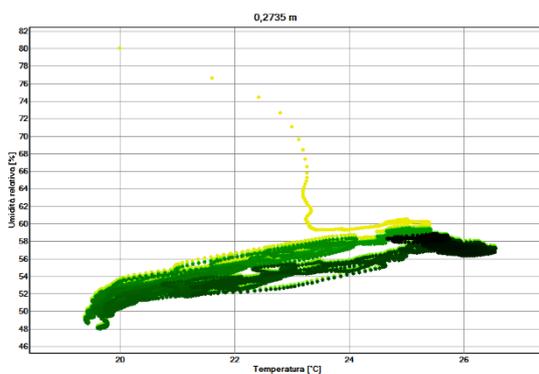
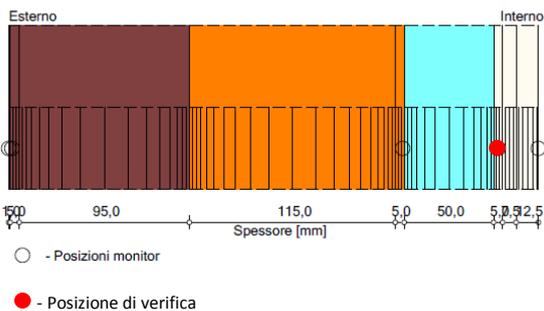
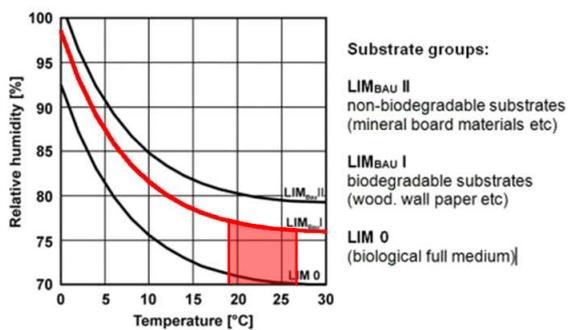


Figura 142: V.04 - temperatura e umidità relativa sulla superficie del cartongesso a contatto con l'intercapedine di aria



Sulla superficie del materiale si registrano temperature comprese fra 19°C e 26°C e valori di umidità relativa compresi fra 48% e 80%.

Rispetto al **LIM B I** l'umidità relativa supera il 76% le prime due ore di calcolo.

Le condizioni non permettono la crescita microbiologica sul materiale.

## 4.12 V.05 – ORISTANO – COPERTURA NORD

### 4.12.1 VERIFICA SUPERFICIALE

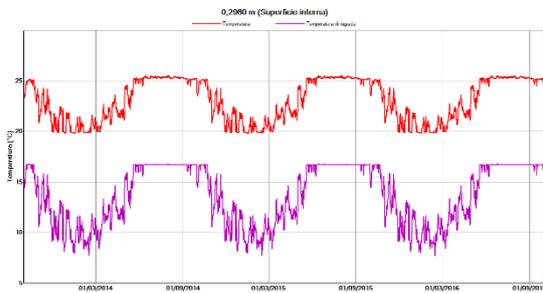


Figura 146: V.05 - temperatura superficiale (linea rossa) e temperatura di rugiada (linea viola) sul pannello di cartongesso

Nella stratigrafia non si verifica condensa superficiale in quanto la temperatura sul pannello di cartongesso è sempre superiore alla temperatura di rugiada.

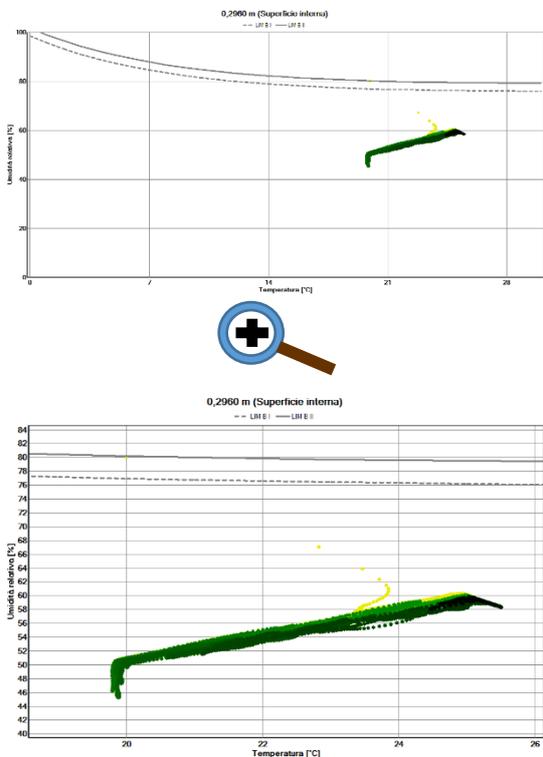


Figura 147: V.05 - isopete limite per la crescita microbologica sul pannello di cartongesso

La condizione termigrometrica del cartongesso non supera il **LIM B I** e dunque il materiale non è interessato da una proliferazione microbologica.

### 4.12.2 VERIFICA INTERSTIZIALE

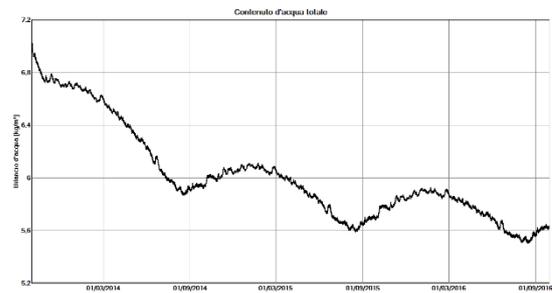


Figura 148: V.05 - contenuto di acqua totale

Il contenuto di acqua totale non aumenta nel corso dei tre anni di simulazione.

STRATO/MATERIALE	INIZIO	FINE	MIN.	MAX.
Guaina sottomanto	0,00	0,00	0,00	0,01
Sughero (5mm)	1,13	0,81	0,01	1,65
Sughero (95mm)	1,13	0,35	0,07	1,13
CLT (115 mm)	11,87	9,76	9,62	11,99
CLT (5 mm)	11,87	10,09	9,20	13,26
Pannello di lino (5 mm)	13,16	6,32	4,97	13,16
Pannello di lino (45 mm)	13,16	7,03	6,05	13,16
Pannello di cartongesso	0,74	0,53	0,40	0,74
Pannello di cartongesso	0,74	0,53	0,39	0,74

Figura 149: contenuto di acqua negli strati in % di massa

Il contenuto di acqua nel CLT è inferiore al valore limite del 20%. Il contenuto di acqua nel pannello di lino è inferiore al valore limite del 18%.

Per il sughero è necessario verificare l'andamento dell'umidità relativa.

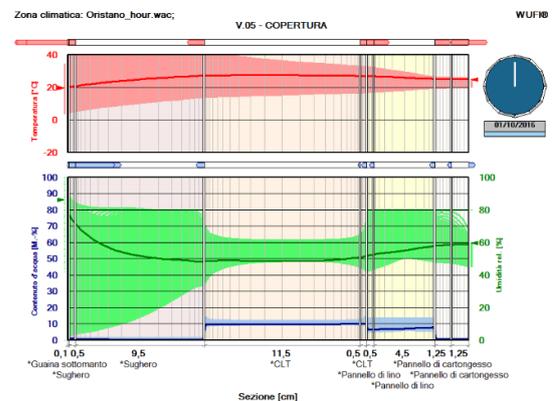


Figura 150: V.05 - simulazione

Nello strato di sughero l'umidità relativa non raggiunge mai il 95%. Nella stratigrafia non si verifica condensa interstiziale.

## 4.13 V.06 – ORISTANO – COPERTURA NORD

### 4.13.1 VERIFICA SUPERFICIALE

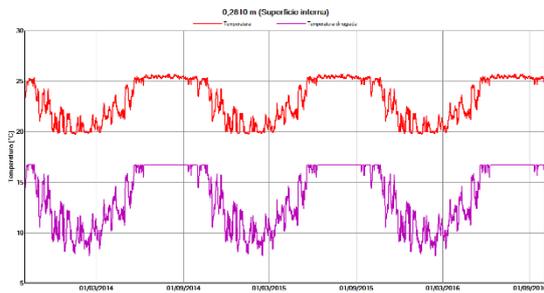


Figura 151: V.06 - temperatura superficiale (linea rossa) e temperatura di rugiada (linea viola) sulla rasatura minerale

Nella stratigrafia non si verifica condensa superficiale in quanto la temperatura sulla rasatura minerale è sempre superiore alla temperatura di rugiada.

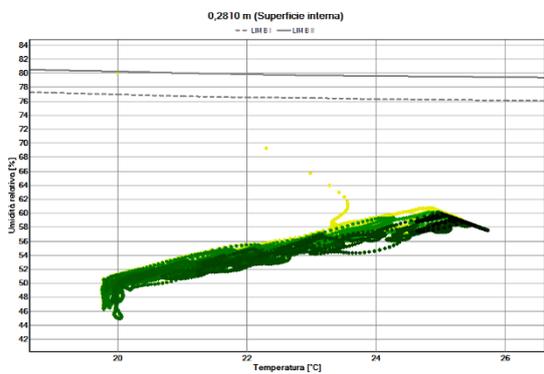
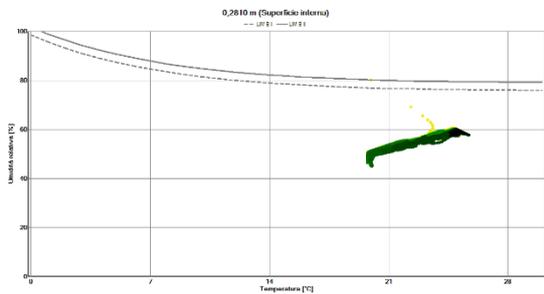


Figura 152: V.06 - isoplete limite per la crescita microbiologica sulla rasatura minerale

La condizione termoigrometrica della rasatura minerale non supera il **LIM B II** e dunque il materiale non è interessato da una proliferazione microbiologica.

### 4.13.2 VERIFICA INTERSTIZIALE

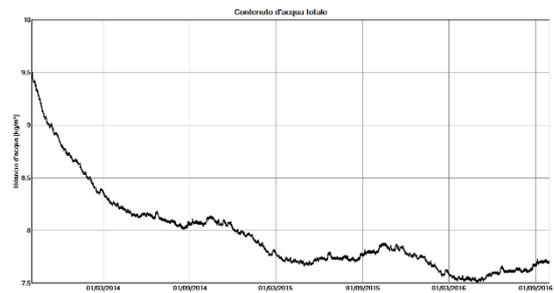


Figura 153: V.06 - contenuto di acqua totale

Il contenuto di acqua totale non aumenta nel corso dei tre anni di simulazione.

STRATO/MATERIALE	INIZIO	FINE	MIN.	MAX.
Guaina sottomanto	0,00	0,00	0,00	0,01
Sughero (5mm)	1,13	0,79	0,01	1,63
Sughero (95mm)	1,13	0,33	0,07	1,13
CLT (115 mm)	11,87	9,91	9,82	11,99
CLT (5 mm)	11,87	10,38	10,04	12,57
Pannello di legno-cemento (5 mm)	12,00	8,79	8,14	12,00
Pannello di legno-cemento (45 mm)	12,00	9,41	8,40	12,04
Rasatura minerale	1,30	0,95	0,77	1,30

Figura 154: contenuto di acqua negli strati in % di massa

Il contenuto di acqua nel CLT è inferiore al valore limite del 20%. Il contenuto di acqua nel pannello di legno-cemento è inferiore al valore limite del 18%.

Per il sughero è necessario verificare l'andamento dell'umidità relativa.

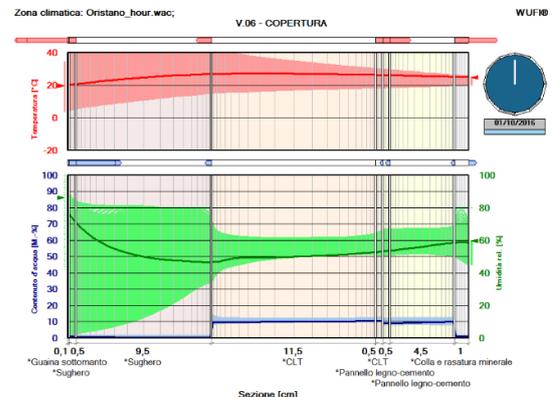


Figura 155: V.06 - simulazione

Nello strato di sughero l'umidità relativa non raggiunge mai il 95%. Nella stratigrafia non si verifica condensa interstiziale.

## 4.14 V.07 – ORISTANO – COPERTURA NORD

### 4.14.1 VERIFICA SUPERFICIALE

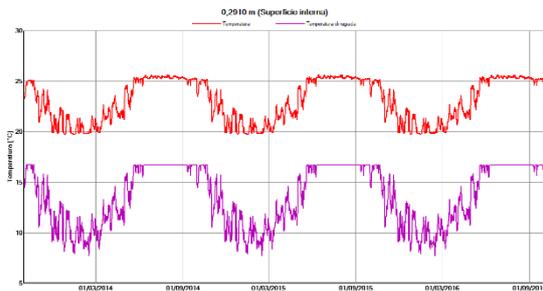


Figura 156: V.07 - temperatura superficiale (linea rossa) e temperatura di rugiada (linea viola) sull'intonaco di argilla

Nella stratigrafia non si verifica condensa superficiale in quanto la temperatura sull'intonaco di argilla è sempre superiore alla temperatura di rugiada.

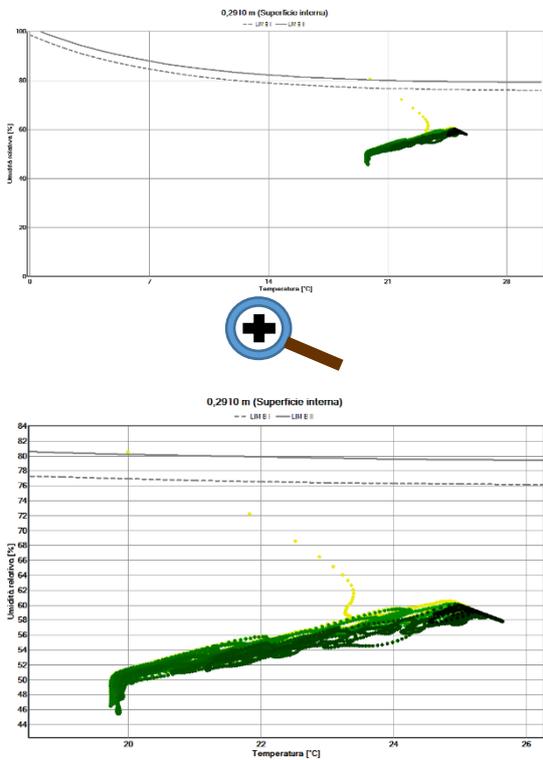


Figura 157: V.07 - isoplete limite per la crescita microbiologica sull'intonaco di argilla

La condizione termoigrometrica dell'argilla non supera il LIM B II e dunque il materiale non è interessato da una proliferazione microbiologica.

### 4.14.2 VERIFICA INTERSTIZIALE



Figura 158: V.07 - contenuto di acqua totale

Il contenuto di acqua totale non aumenta nel corso della simulazione.

STRATO/MATERIALE	INIZIO	FINE	MIN.	MAX.
Guaina sottomanto	0,00	0,00	0,00	0,01
Sughero (5mm)	1,13	0,81	0,01	1,65
Sughero (95mm)	1,13	0,37	0,07	1,13
CLT (115 mm)	11,87	10,24	10,11	11,98
CLT (5 mm)	11,87	10,63	10,25	12,60
Pannello di legno-cemento (5 mm)	12,00	9,11	8,41	12,00
Pannello di legno-cemento (45 mm)	12,00	9,57	8,56	12,13
Argilla – terra cruda	1,25	0,78	0,63	1,25

Figura 159: contenuto di acqua negli strati in % di massa

Il contenuto di acqua nel CLT è inferiore al valore limite del 20%. Il contenuto di acqua nel pannello di legno-cemento è inferiore al valore limite del 18%. Per il sughero è necessario verificare l'andamento dell'umidità relativa.

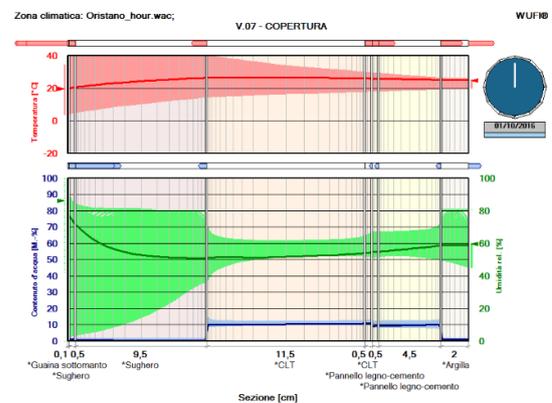
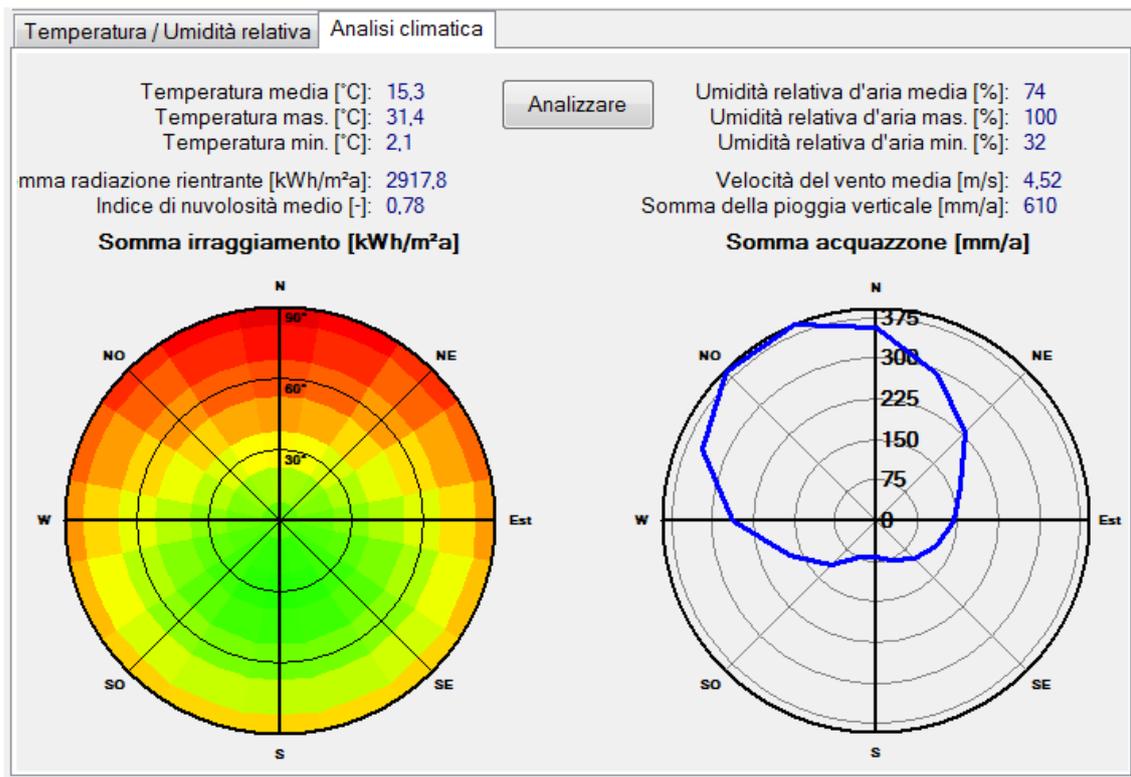
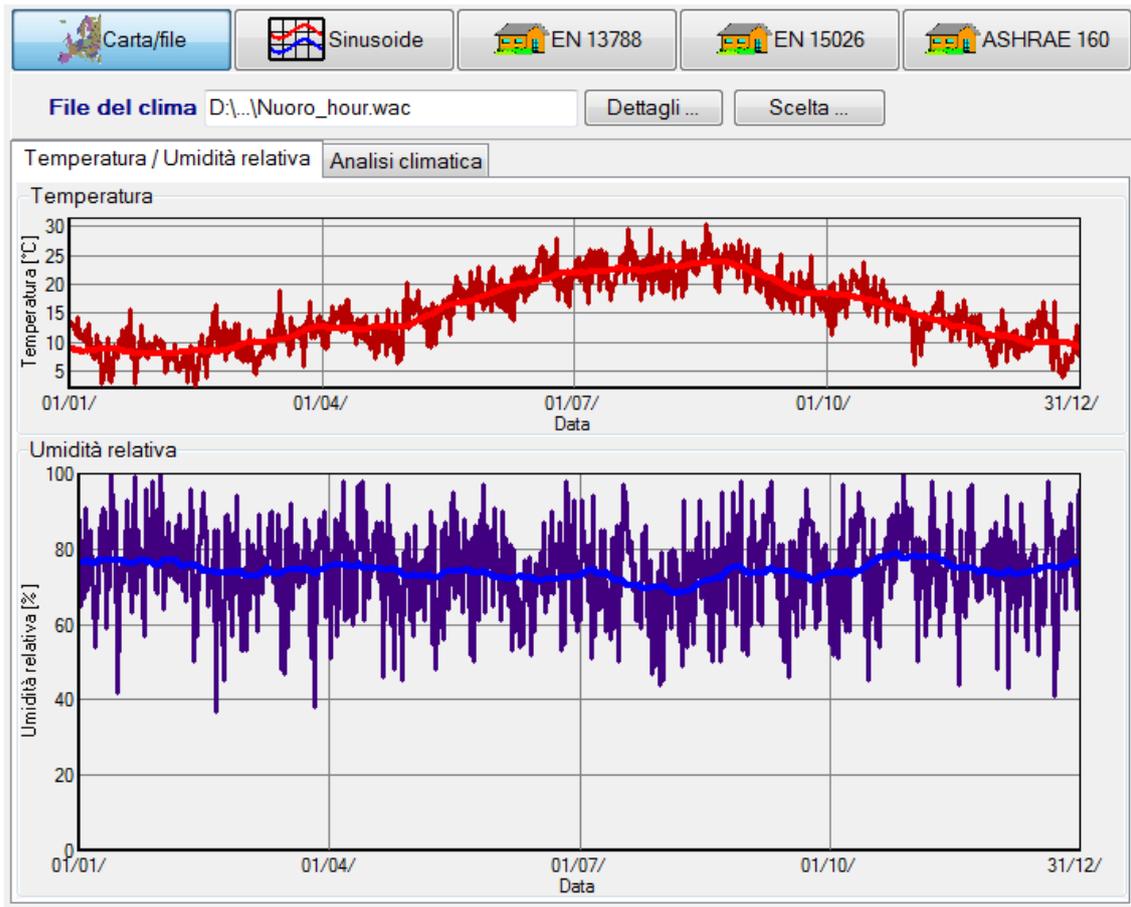


Figura 160: V.07 - simulazione

Nello strato di sughero l'umidità relativa non raggiunge mai il 95%. Nella stratigrafia non si verifica condensa interstiziale.

## 5 SIMULAZIONI DINAMICHE TERMOIGROMETRICHE - NUORO



## 5.1 V.01 – NUORO – PARETE NORD

### 5.1.1 VERIFICA SUPERFICIALE

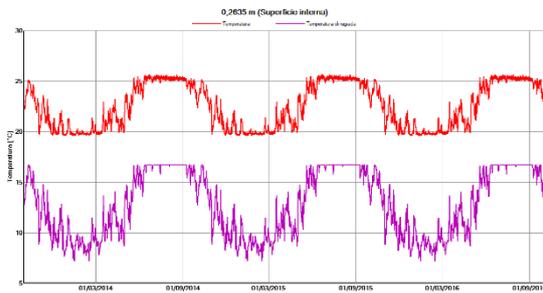


Figura 161: V.01 - temperatura superficiale (linea rossa) e temperatura di rugiada (linea viola) sul pannello di cartongesso

Nella stratigrafia non si verifica condensa superficiale in quanto la temperatura sul pannello di cartongesso è sempre superiore alla temperatura di rugiada.

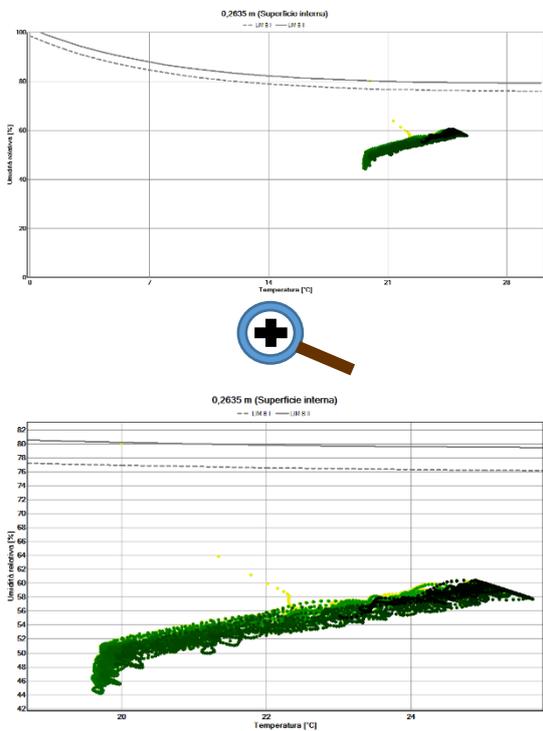


Figura 162: V.01 - isoplete limite per la crescita microbiologica sul pannello di cartongesso

La condizione termoisometrica del cartongesso non supera il **LIM B I** e dunque il materiale non è interessato da una proliferazione microbiologica.

### 5.1.2 VERIFICA INTERSTIZIALE



Figura 163: V.01 - contenuto di acqua totale

Il contenuto di acqua totale non aumenta nel corso dei tre anni di simulazione.

STRATO/MATERIALE	INIZIO	FINE	MIN.	MAX.
Telo protettivo esterno (sd=0,1 m)	0,00	0,00	0,00	0,15
Pannello di lino (5 mm)	13,16	7,34	0,68	16,24
Pannello di lino (155 mm)	13,16	5,37	2,84	13,16
CLT (85 mm)	11,87	10,41	9,66	11,98
CLT (5 mm)	11,87	11,08	9,63	12,02
Pannello di cartongesso	0,74	0,49	0,38	0,74

Figura 164: contenuto di acqua negli strati in % di massa

Il contenuto di acqua nel CLT è inferiore al valore limite del 20%.

Il contenuto di acqua nel lino è inferiore al valore limite del 18%.

Nella stratigrafia non si verifica condensa interstiziale.

## 5.2 V.02 – NUORO – PARETE NORD

### 5.2.1 VERIFICA SUPERFICIALE

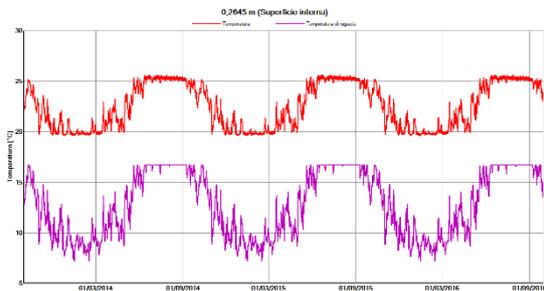


Figura 165: V.02 - temperatura superficiale (linea rossa) e temperatura di rugiada (linea viola) sul pannello di cartongesso

Nella stratigrafia non si verifica condensa superficiale in quanto la temperatura sul pannello di cartongesso è sempre superiore alla temperatura di rugiada.

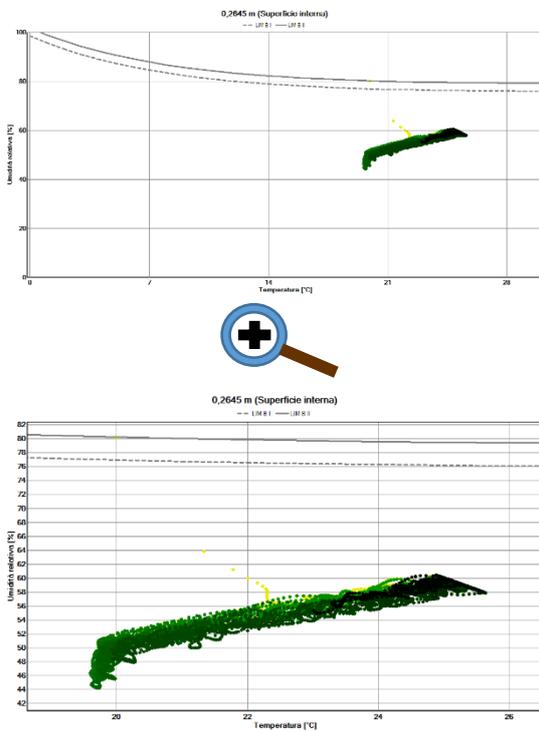


Figura 166: V.02 - isoplete limite per la crescita microbiologica sul pannello di cartongesso

La condizione termoigrometrica del cartongesso non supera il **LIM B I** e dunque il materiale non è interessato da una proliferazione microbiologica.

### 5.2.2 VERIFICA INTERSTIZIALE

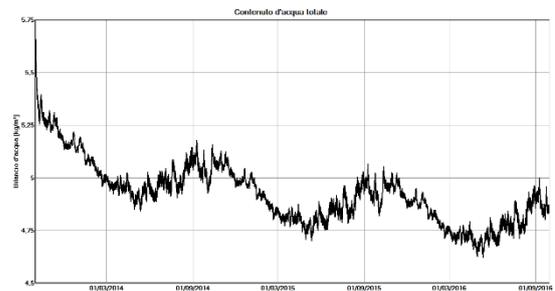


Figura 167: V.02 - contenuto di acqua totale

Il contenuto di acqua totale non aumenta nel corso dei tre anni di simulazione.

STRATO/MATERIALE	INIZIO	FINE	MIN.	MAX.
Telo protettivo esterno (sd=0,1 m)	0,00	0,00	0,00	0,15
Pannello di lino (5 mm)	13,16	7,29	0,66	16,29
Pannello di lino (150 mm)	13,16	5,29	2,76	13,16
Pannello di lino (5 mm)	13,16	5,32	2,84	17,79
Barriera al vapore (sd=1500 m)	0,00	0,00	0,00	0,00
CLT (5 mm)	11,87	10,62	10,56	12,04
CLT (80 mm)	11,87	10,91	10,76	11,87
CLT (5 mm)	11,87	11,15	9,66	12,02
Pannello di cartongesso	0,74	0,49	0,38	0,74

Figura 168: contenuto di acqua negli strati in % di massa

Il contenuto di acqua nel CLT è inferiore al valore limite del 20%.

Il contenuto di acqua nel pannello di lino è inferiore al valore limite del 18%.

Nella stratigrafia non si verifica condensa interstiziale.

## 5.3 V.03 – NUORO – PARETE NORD

### 5.3.1 VERIFICA SUPERFICIALE

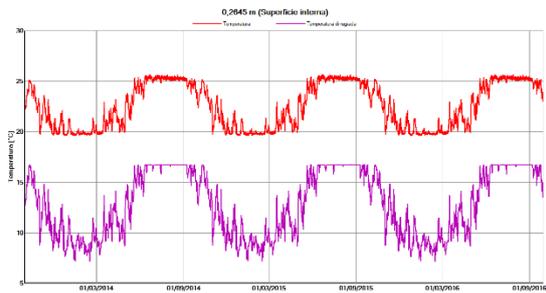


Figura 169: V.03 - temperatura superficiale (linea rossa) e temperatura di rugiada (linea viola) sul pannello di cartongesso

Nella stratigrafia non si verifica condensa superficiale in quanto la temperatura sul pannello di cartongesso è sempre superiore alla temperatura di rugiada.

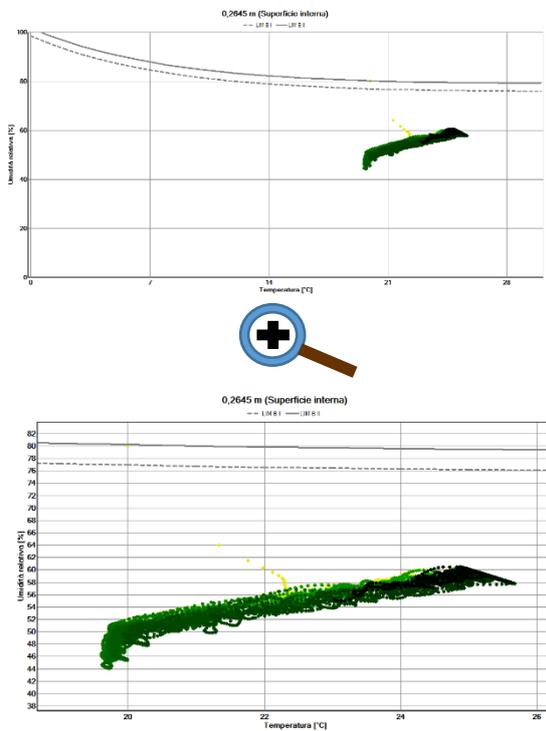


Figura 170: V.03 - isopleste limite per la crescita microbologica sul pannello di cartongesso

La condizione termoigrometrica del cartongesso non supera il **LIM B I** e dunque il materiale non è interessato da una proliferazione microbologica.

### 5.3.2 VERIFICA INTERSTIZIALE

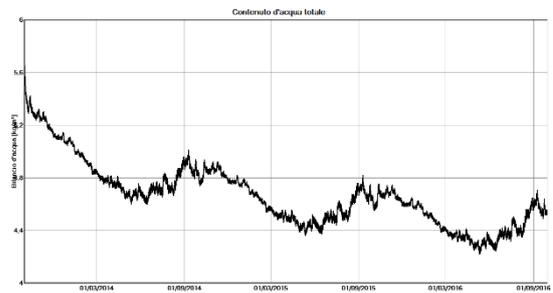


Figura 171: V.03 - contenuto di acqua totale

Il contenuto totale di acqua non aumenta nel corso dei tre anni di simulazione.

STRATO/MATERIALE	INIZIO	FINE	MIN.	MAX.
Telo protettivo esterno (sd=0,1 m)	0,00	0,00	0,00	0,15
Pannello di lino (5 mm)	13,16	7,34	0,68	16,24
Pannello di lino (155 mm)	13,16	5,37	2,84	13,16
CLT (85 mm)	11,87	10,13	9,71	11,99
CLT (5 mm)	11,87	10,24	10,24	11,87
Barriera al vapore (sd=1500 m)	0,00	0,00	0,00	0,00
Pannello di cartongesso	0,74	0,49	0,38	0,74

Figura 172: contenuto di acqua negli strati in % di massa

Il contenuto di acqua nel CLT è inferiore al valore limite del 20%.

Il contenuto di acqua nel pannello di lino è inferiore al valore limite del 18%.

Nella stratigrafia non si verifica condensa interstiziale.

## 5.4 NV.01 – NUORO – PARETE NORD

### 5.4.1 VERIFICA SUPERFICIALE

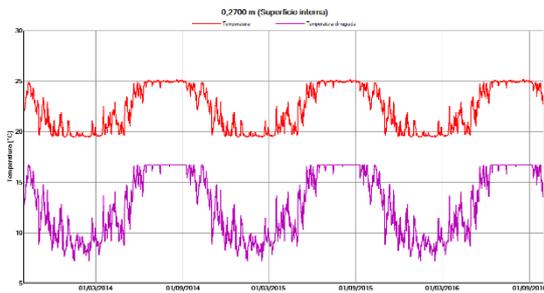


Figura 173: NV.01 - temperatura superficiale (linea rossa) e temperatura di rugiada (linea viola) sul pannello di cartongesso

Nella stratigrafia non si verifica condensa superficiale in quanto la temperatura sul pannello di cartongesso è sempre superiore alla temperatura di rugiada.

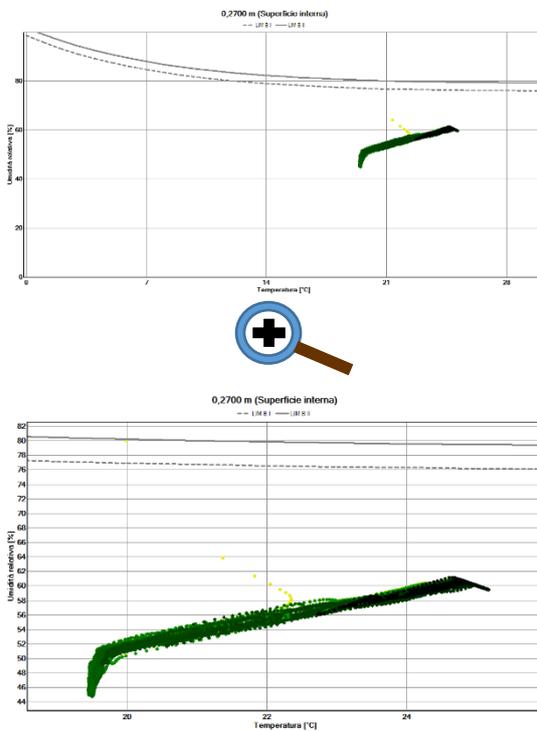


Figura 174: NV.01 - isopete limite per la crescita microbologica sul pannello di cartongesso

La condizione termoigrometrica del cartongesso non supera il **LIM B I** e dunque il materiale non è interessato da una proliferazione microbologica.

### 5.4.2 VERIFICA INTERSTIZIALE

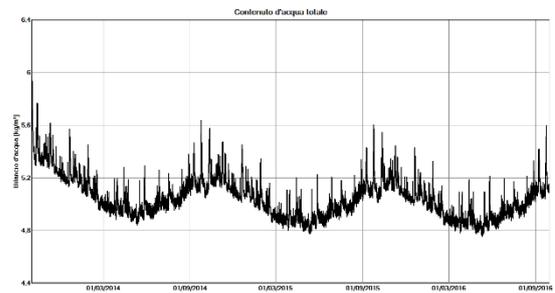


Figura 177: NV.01 - contenuto di acqua totale

Il contenuto di acqua totale non aumenta nel corso dei tre anni di simulazione.

STRATO/MATERIALE	INIZIO	FINE	MIN.	MAX.
Intonaco minerale	11,05	2,18	1,09	11,05
Sughero (5 mm)	1,13	0,69	0,19	12,83
Sughero (155 mm)	1,13	0,57	0,31	1,45
CLT (85 mm)	11,87	11,47	10,91	11,98
CLT (5 mm)	11,87	11,57	10,27	12,24
Strato di aria	0,77	0,77	0,77	0,77
Pannello di cartongesso	0,74	0,52	0,40	0,74
Pannello di cartongesso	0,74	0,51	0,39	0,74

Figura 178: contenuto di acqua negli strati in % di massa

Il contenuto di acqua nel CLT è inferiore al valore limite del 20%.

Per il sughero è necessario verificare l'andamento dell'umidità relativa.

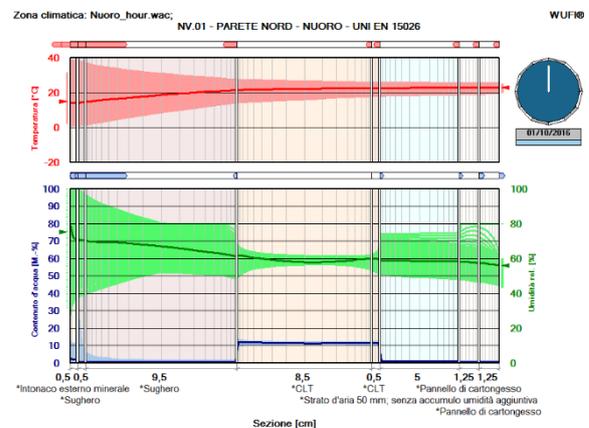


Figura 179: NV.01 – simulazione

Nello strato di sughero l'umidità relativa supera il 95%.

E' necessario verificare anche le condizioni termoigrometriche sulle superfici dei materiali a contatto con l'aria in quiete dell'intercapedine per la possibile crescita microbologica.

Variante: NV.01 - PARETE NORD - NUORO - UNI EN 15026

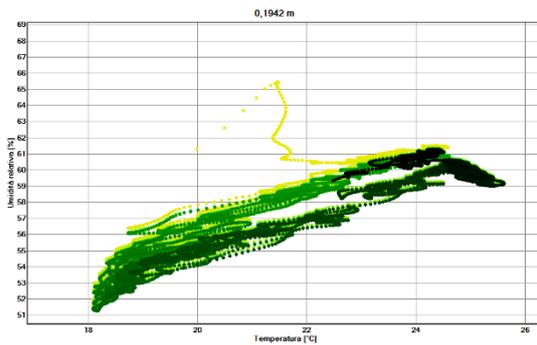
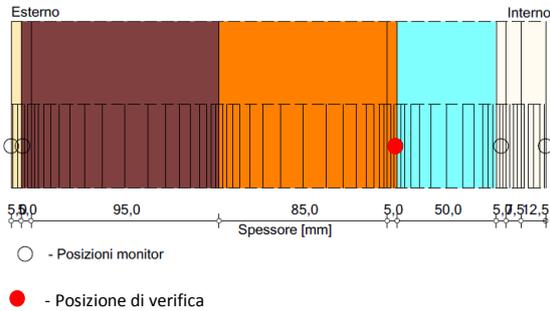
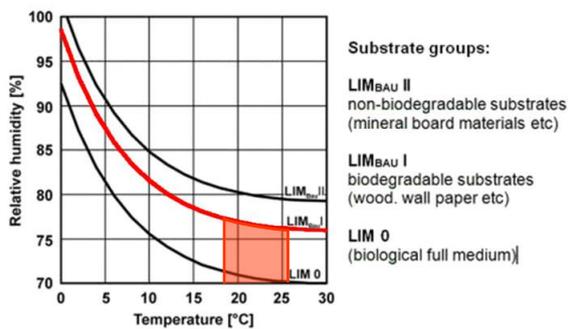


Figura 175: V.04 - temperatura e umidità relativa sulla superficie del CLT a contatto con l'intercapedine di aria



L'umidità relativa sulla superficie del CLT a contatto con l'intercapedine di aria non supera mai il 76%.

Le condizioni termoigrometriche non permettono la crescita microbologica.

02/10/2013 19,25 kg/m <sup>3</sup>	13/10/2014 4,91 kg/m <sup>3</sup>	13/10/2015 4,90 kg/m <sup>3</sup>
---------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------

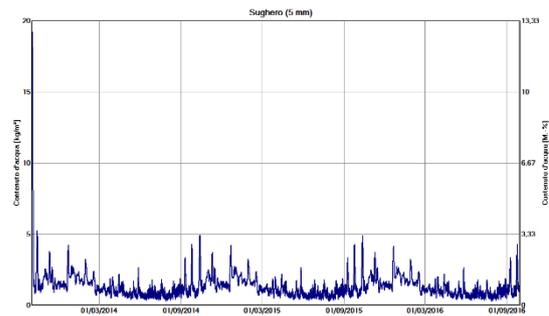


Figura 180: NV.01 - contenuto di acqua nello strato di sughero a contatto con l'intonaco minerale

Il massimo contenuto di acqua nel sughero non aumenta nel corso dei tre anni di simulazione.

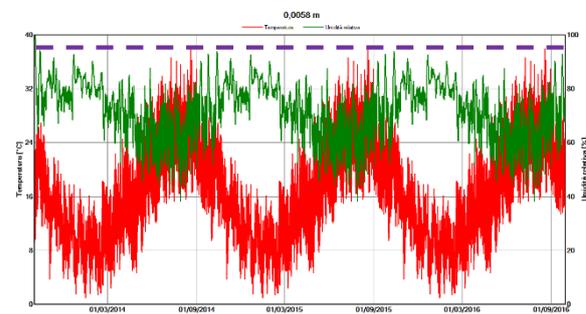


Figura 181: NV.01 - temperatura e umidità relativa nello strato di sughero a contatto con l'intonaco esterno minerale

L'umidità relativa supera il 95% i primi tre giorni della simulazione.

La brevità e unicità dell'evento non creano le condizioni per la formazione di condensa interstiziale.

Variante: NV.01 - PARETE NORD - NUORO - UNI EN 15026

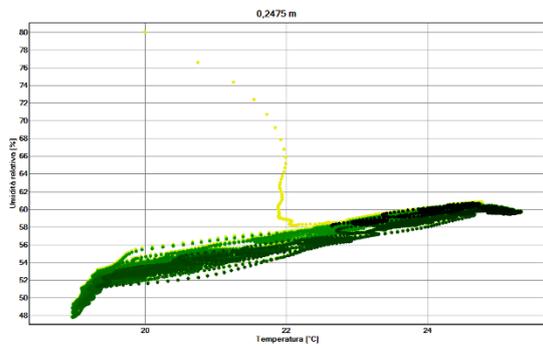
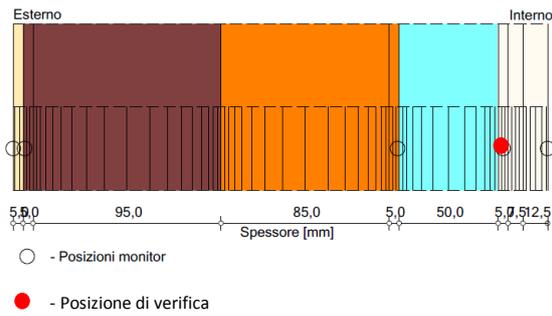
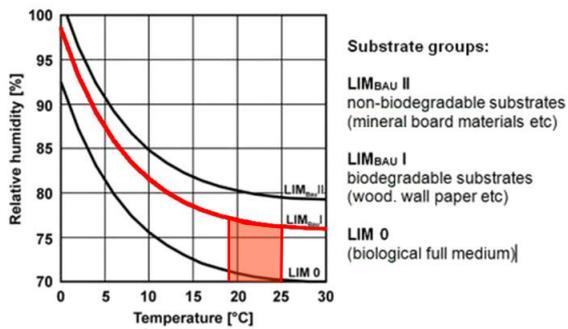


Figura 176: V.04 - temperatura e umidità relativa sulla superficie del cartongesso a contatto con l'intercapedine di aria



Sulla superficie del materiale si registrano temperature comprese fra 19°C e 25°C e valori di umidità relativa compresi fra 47% e 80%.

Rispetto al **LIM B I** l'umidità relativa supera il 76% le prime due ore di simulazione.

Le condizioni non permettono la crescita microbiologica sul materiale.

## 5.5 NV.02 – NUORO – PARETE NORD

### 5.5.1 VERIFICA SUPERFICIALE

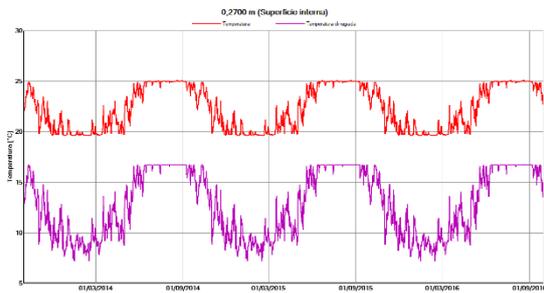


Figura 182: NV.02 - temperatura superficiale (linea rossa) e temperatura di rugiada (linea viola) sul pannello di cartongesso

Nella stratigrafia non si verifica condensa superficiale in quanto la temperatura sul pannello di cartongesso è sempre superiore alla temperatura di rugiada.

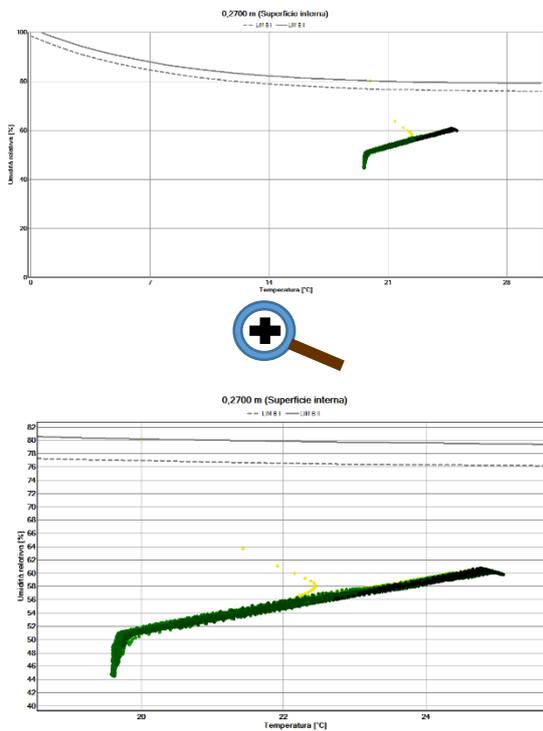


Figura 183: NV.02 - isopete limite per la crescita microbologica sul pannello di cartongesso

La condizione termoigrometrica del cartongesso non supera il **LIM B I** e dunque il materiale non è interessato da una proliferazione microbologica.

### 5.5.2 VERIFICA INTERSTIZIALE

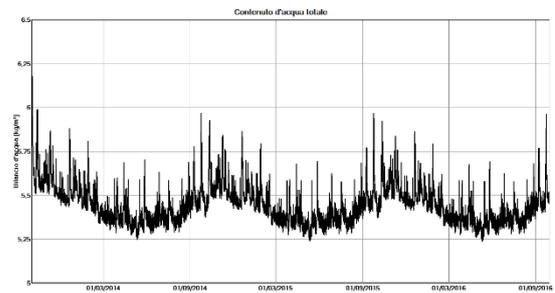


Figura 184: NV.02 - contenuto di acqua totale

Il contenuto di acqua totale non aumenta nel corso dei tre anni di simulazione.

STRATO/MATERIALE	INIZIO	FINE	MIN.	MAX.
Intonaco minerale	11,05	2,19	1,09	11,05
Sughero (5 mm)	1,13	0,69	0,19	12,81
Sughero (95 mm)	1,13	0,61	0,34	1,45
CLT (85 mm)	11,87	11,96	11,71	12,08
CLT (5 mm)	11,87	12,19	11,56	13,26
Pannello di lino (5 mm)	13,16	8,87	7,89	13,16
Pannello di lino (45 mm)	13,16	8,34	6,63	13,16
Pannello di cartongesso	0,74	0,52	0,40	0,74
Pannello di cartongesso	0,74	0,51	0,38	0,74

Figura 185: contenuto di acqua negli strati in % di massa

Attenzione: il contenuto di acqua nel CLT si mantiene al di sotto del valore limite del 20% ma aumenta tra inizio e fine della simulazione.

21/10/2013	20/11/2014	20/11/2015
54,97 kg/m <sup>3</sup>	54,74 kg/m <sup>3</sup>	54,70 kg/m <sup>3</sup>

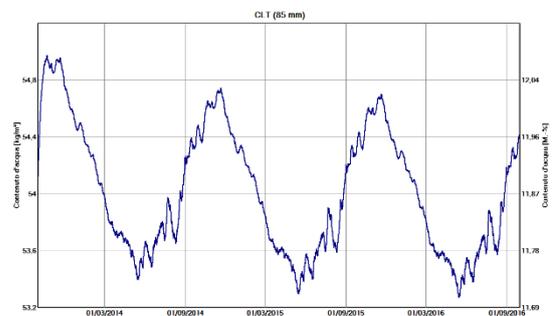


Figura 186: NV.02 - contenuto di acqua nel CLT (85 mm)

Il massimo contenuto di acqua nel CLT (85 mm) diminuisce nel corso dei tre anni di simulazione.

L'aumento del contenuto di acqua tra inizio e fine della simulazione non è dovuto ad un accumulo di umidità.

02/10/2013 60,32 kg/m <sup>3</sup>	21/10/2014 56,47 kg/m <sup>3</sup>	21/10/2015 54,46 kg/m <sup>3</sup>
---------------------------------------	---------------------------------------	---------------------------------------

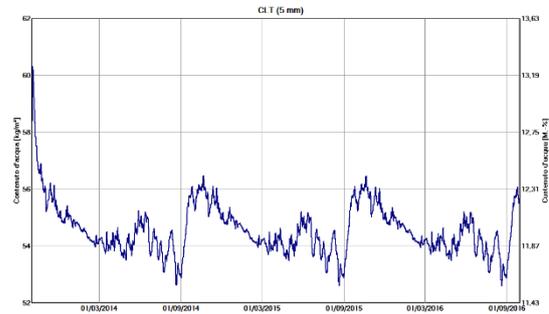


Figura 187: NV.02 - contenuto di acqua nel CLT (5 mm)

Il massimo contenuto di acqua nel CLT (5 mm) diminuisce nel corso dei tre anni di simulazione.

L'aumento del contenuto di acqua tra inizio e fine della simulazione non è dovuto ad un accumulo di umidità.

Il contenuto di acqua nel pannello di lino si mantiene inferiore al valore limite del 18%.

Per il sughero è necessario verificare l'andamento dell'umidità relativa.

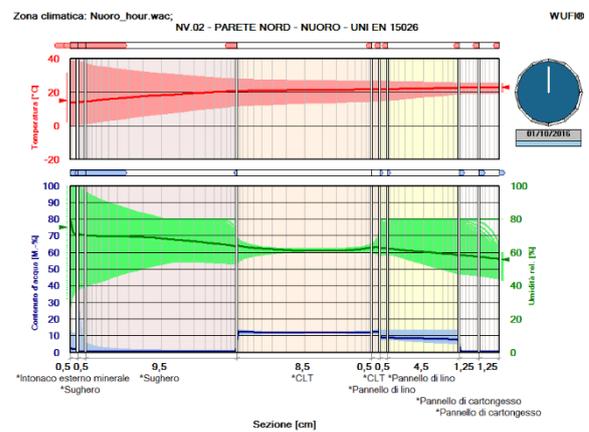


Figura 188: NV.02 - simulazione

Nello strato di sughero l'umidità relativa supera il 95%.

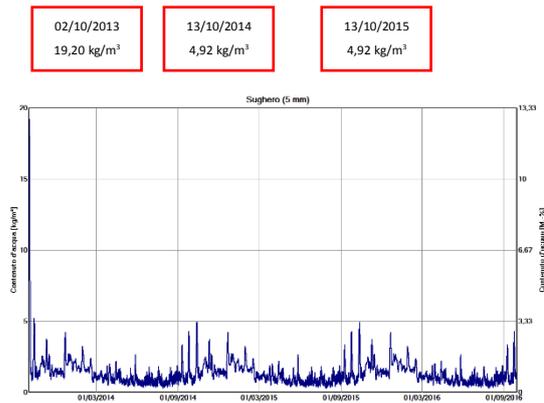


Figura 189: NV.02 - contenuto di acqua nello strato di sughero a contatto con l'intonaco minerale

Il massimo contenuto di acqua nel sughero non aumenta nel corso dei tre anni di simulazione.

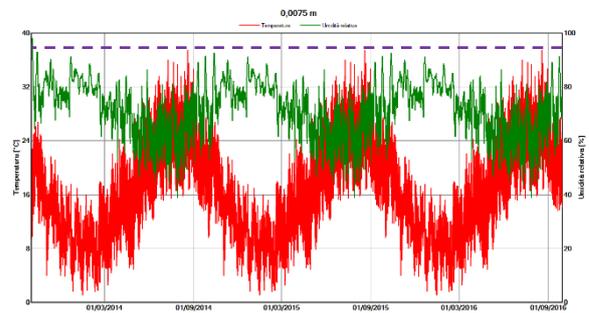


Figura 190: NV.02 - temperatura e umidità relativa nello strato di sughero a contatto con l'intonaco esterno

L'umidità relativa supera il 95% i primi 4 giorni di simulazione.

La brevità e unicità dell'evento non creano le condizioni per la formazione di condensa interstiziale.

## 5.6 NV.03 – NUORO – PARETE NORD

### 5.6.1 VERIFICA SUPERFICIALE

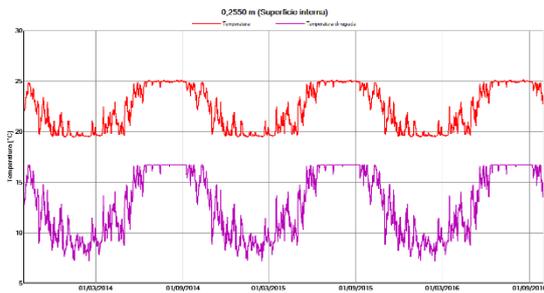


Figura 191: NV.03 - temperatura superficiale (linea rossa) e temperatura di rugiada (linea viola) sulla rasatura minerale

Nella stratigrafia non si verifica condensa superficiale in quanto la temperatura sulla rasatura minerale è sempre superiore alla temperatura di rugiada.

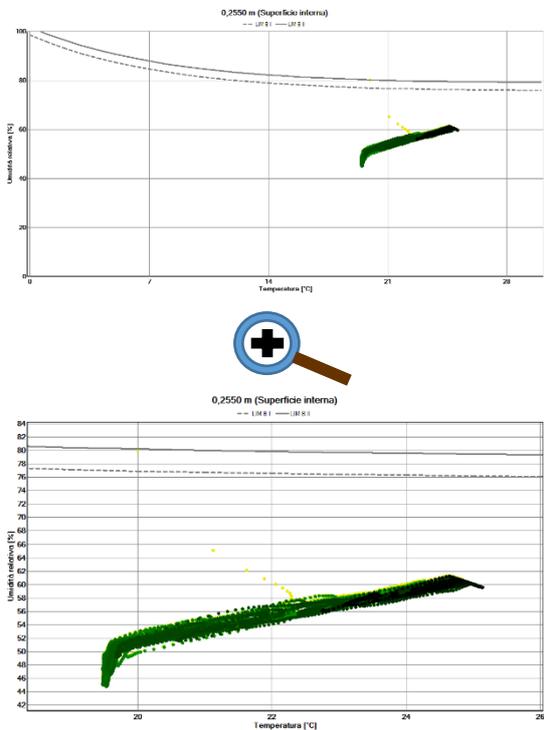


Figura 192: NV.03 - isoplete limite per la crescita microbiologica sulla rasatura minerale

La condizione termoigrometrica della rasatura minerale non supera il **LIM B II** e dunque il materiale non è interessato da una proliferazione microbiologica.

### 5.6.2 VERIFICA INTERSTIZIALE

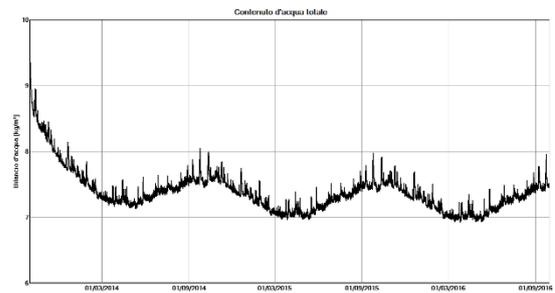


Figura 193: NV.03 - contenuto di acqua totale

Il contenuto di acqua totale non aumenta nel corso dei tre anni di simulazione.

STRATO/MATERIALE	INIZIO	FINE	MIN.	MAX.
Intonaco minerale	11,05	2,18	1,09	11,05
Sughero (5 mm)	1,13	0,69	0,19	12,82
Sughero (95 mm)	1,13	0,58	0,32	1,45
CLT (85 mm)	11,87	11,52	11,12	12,06
CLT (5 mm)	11,87	11,69	10,96	12,71
Pannello di legno-cemento (5 mm)	12,00	10,48	9,30	12,00
Pannello di legno-cemento (45 mm)	12,00	10,26	8,75	12,04
Colla e rasatura minerale	1,30	0,93	0,76	1,30

Figura 194: contenuto di acqua negli strati in % di massa

Il contenuto di acqua nel CLT è inferiore al valore limite del 20%.

Il contenuto di acqua nel pannello di legno – cemento è inferiore al valore limite del 18%.

Per il sughero è necessario verificare l'andamento dell'umidità relativa.

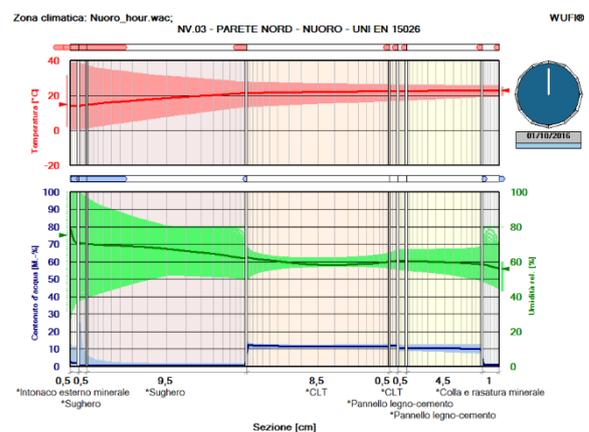


Figura 195: NV.03 – simulazione

Nello strato di sughero l'umidità relativa supera il 95%.

02/10/2013	13/10/2014	13/10/2015
19,23 kg/m <sup>3</sup>	4,91 kg/m <sup>3</sup>	4,91 kg/m <sup>3</sup>

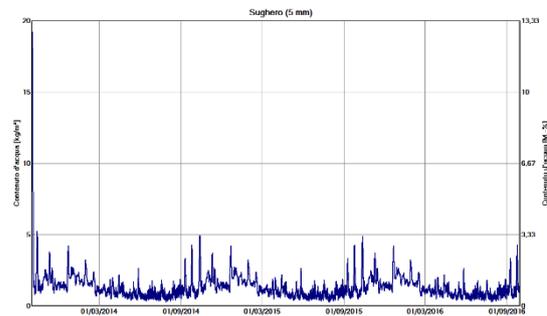


Figura 196: NV.03 - contenuto di acqua nello strato di sughero a contatto con l'intonaco minerale

Il massimo contenuto di acqua nel sughero non aumenta nel corso dei tre anni di simulazione.

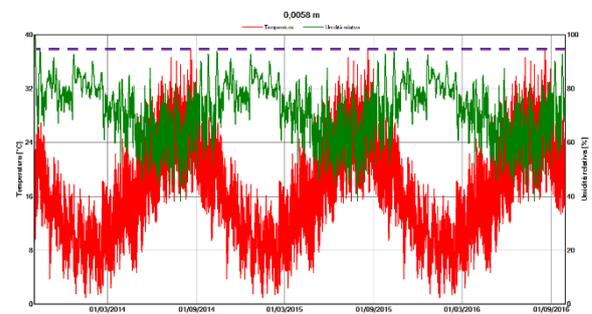


Figura 197: NV.03 - temperatura e umidità relativa nello strato di sughero a contatto con l'intonaco esterno

L'umidità relativa supera il 95% i primi tre giorni di simulazione.

La brevità e unicità dell'evento non creano le condizioni per la formazione di condensa interstiziale.

## 5.7 NV.04 – NUORO – PARETE NORD

### 5.7.1 VERIFICA SUPERFICIALE

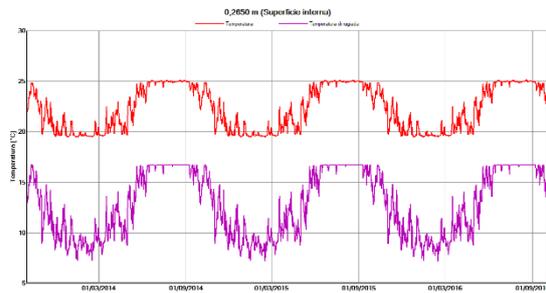


Figura 198: NV.04 - temperatura superficiale (linea rossa) e temperatura di rugiada (linea viola) sull'intonaco di argilla

Nella stratigrafia non si verifica condensa superficiale in quanto la temperatura sull'intonaco di argilla è sempre superiore alla temperatura di rugiada.

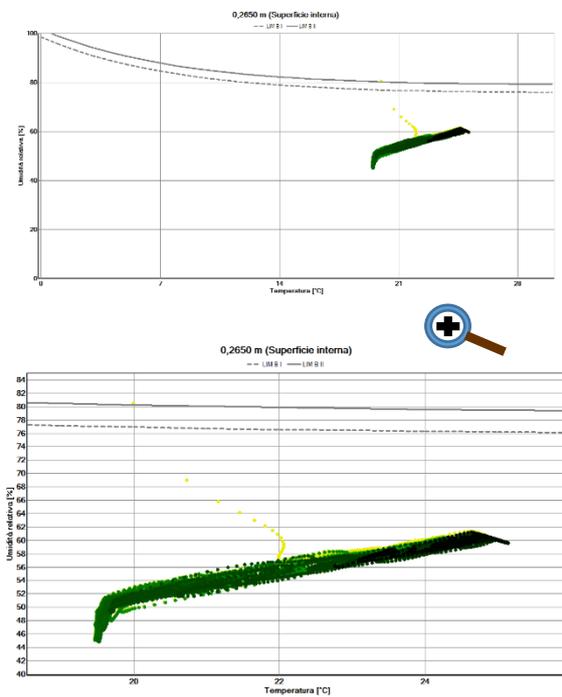


Figura 199: NV.04 - isoplete limite per la crescita microbiologica sull'intonaco di argilla

La condizione termigrometrica dell'intonaco di argilla non supera il LIM B II e dunque il materiale non è interessato da una proliferazione microbiologica.

### 5.7.2 VERIFICA INTERSTIZIALE

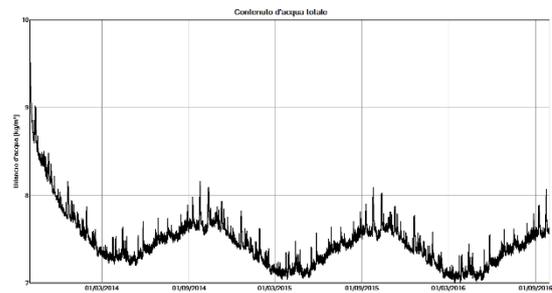


Figura 200: NV.04 - contenuto di acqua totale

Il contenuto di acqua totale non aumenta nel corso dei tre anni di simulazione.

STRATO/MATERIALE	INIZIO	FINE	MIN.	MAX.
Intonaco minerale	11,05	2,18	1,09	11,05
Sughero (5 mm)	1,13	0,69	0,19	12,81
Sughero (95 mm)	1,13	0,59	0,33	1,45
CLT (85 mm)	11,87	11,54	11,12	12,06
CLT (5 mm)	11,87	11,72	10,95	12,74
Pannello di legno-cemento (5 mm)	12,00	10,52	9,26	12,02
Pannello di legno-cemento (45 mm)	12,00	10,29	8,70	12,12
Argilla – terra cruda	1,25	0,76	0,62	1,25

Figura 201: contenuto di acqua negli strati in % di massa

Il contenuto di acqua nel CLT è inferiore al valore limite del 20%.

Il contenuto di acqua nel pannello di legno - cemento è inferiore al valore limite del 18%.

Per il sughero è necessario verificare l'andamento dell'umidità relativa.

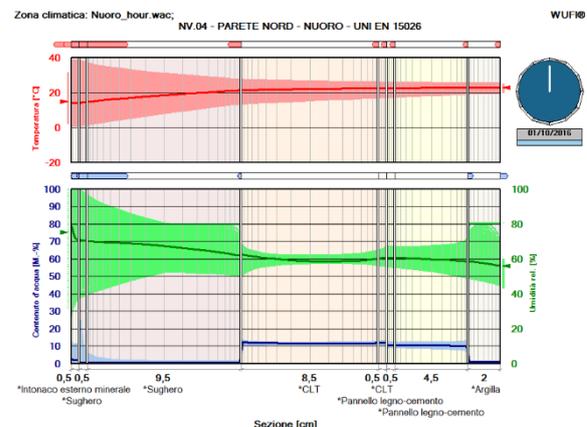


Figura 202: NV.04 – simulazione

Nello strato di sughero l'umidità relativa supera il 95%.

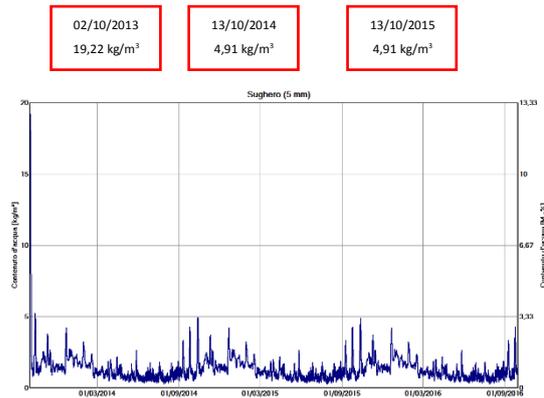


Figura 203: NV.04 - contenuto di acqua nello strato di sughero a contatto con l'intonaco minerale

Il massimo contenuto di acqua nel sughero non aumenta nel corso dei tre anni di simulazione.

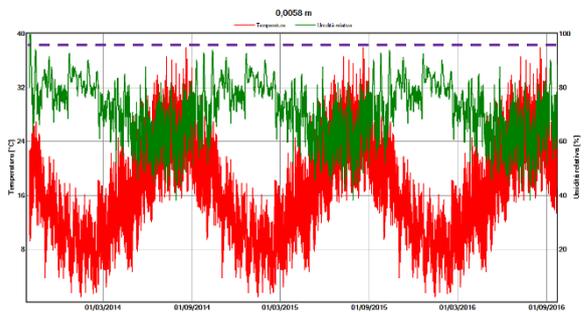


Figura 204: NV.04 - temperatura e umidità relativa nello strato di sughero a contatto con l'intonaco minerale

L'umidità relativa supera il 95% i primi tre giorni di simulazione.

La brevità e unicità dell'evento non creano le condizioni per la formazione di condensa interstiziale.

## 5.8 V.01 – NUORO – COPERTURA NORD

### 5.8.1 VERIFICA SUPERFICIALE

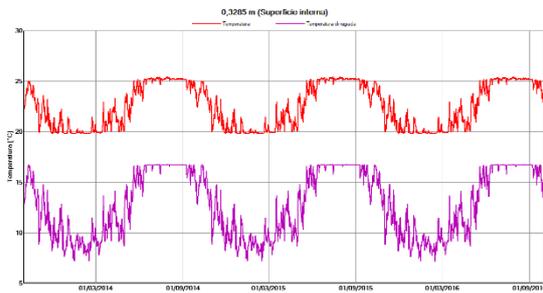


Figura 205: V.01 - temperatura superficiale (linea rossa) e temperatura di rugiada (linea viola) sul pannello di cartongesso

Nella stratigrafia non si verifica condensa superficiale in quanto la temperatura sul pannello di cartongesso è sempre superiore alla temperatura di rugiada.

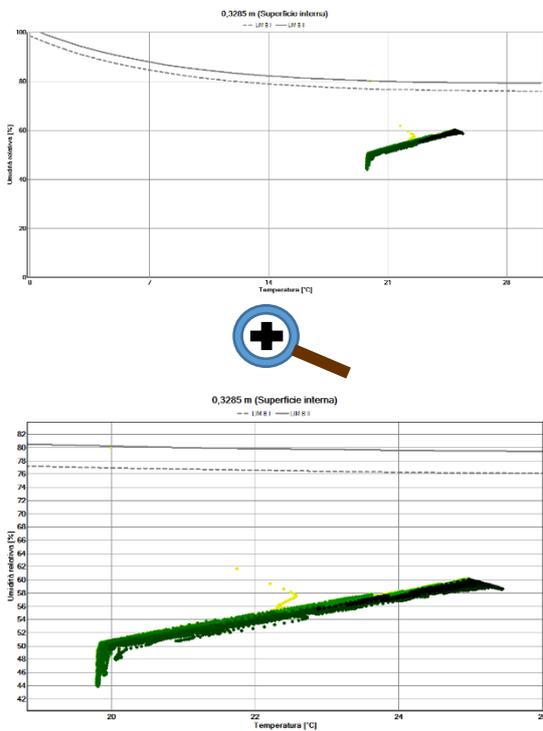


Figura 206: V.01 - isopete limite per la crescita microbologica sul pannello di cartongesso

La condizione termoisometrica del cartongesso non supera il **LIM B I** e dunque il materiale non è interessato da una proliferazione microbologica.

### 5.8.2 VERIFICA INTERSTIZIALE

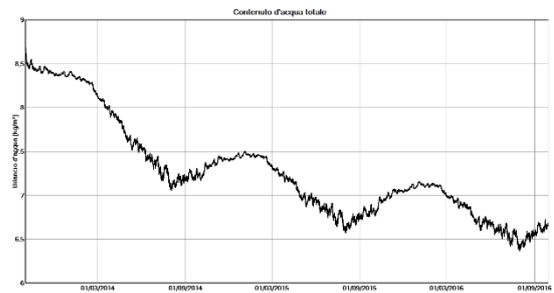


Figura 207: V.01 - contenuto di acqua totale

Il contenuto di acqua totale non aumenta nel corso dei tre anni di simulazione.

STRATO/MATERIALE	INIZIO	FINE	MIN.	MAX.
Guaina sottomanto	0,00	0,00	0,00	0,00
Tavolato in abete (20 mm)	11,87	8,16	4,89	12,33
Tavolato in abete (5 mm)	11,87	8,28	5,57	14,04
Pannello di lino (5 mm)	13,16	4,71	1,71	13,16
Pannello di lino (110 mm)	13,16	4,42	3,76	13,16
Pannello di lino (5 mm)	13,16	4,29	3,66	20,34
CLT (115 mm)	11,87	9,78	9,75	12,11
CLT (5 mm)	11,87	10,58	9,51	12,85
Pannello di lino (5 mm)	13,16	6,89	5,18	13,16
Pannello di lino (45 mm)	13,16	7,13	5,47	13,16
Pannello di cartongesso	0,74	0,50	0,38	0,74

Figura 208: contenuto di acqua negli strati in % di massa

Il contenuto di acqua nel CLT e nel tavolato è inferiore al valore limite del 20%.

Attenzione: il contenuto di acqua nel pannello di lino a contatto con il CLT supera il valore limite del 18%.

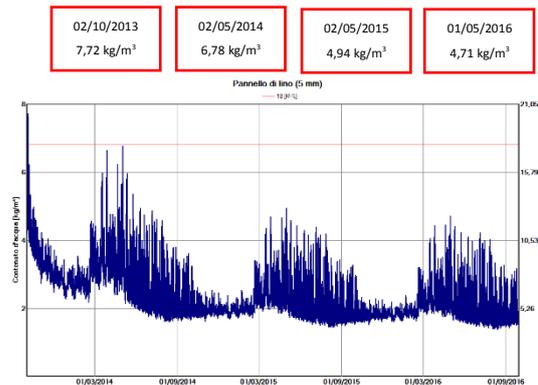


Figura 209: V.01 - contenuto di acqua nel pannello di lino a contatto con il CLT

Il massimo contenuto di acqua nel lino non aumenta nel corso dei tre anni di simulazione.

Il contenuto di acqua nel lino supera il valore limite del 18% i primi tre giorni di simulazione.

La brevità e unicità dell'evento non creano le condizioni per la formazione di condensa interstiziale.

## 5.9 V.02 – NUORO – COPERTURA NORD

### 5.9.1 VERIFICA SUPERFICIALE

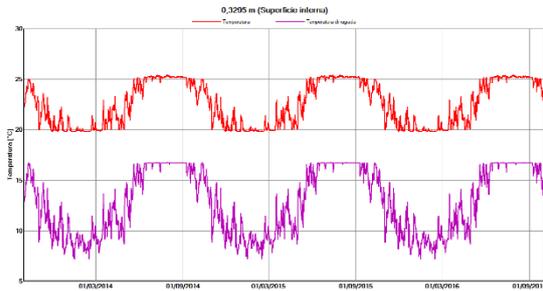


Figura 210: V.02 - temperatura superficiale (linea rossa) e temperatura di rugiada (linea viola) sul pannello di cartongesso

Nella stratigrafia non si verifica condensa superficiale in quanto la temperatura sul pannello di cartongesso è sempre superiore alla temperatura di rugiada.

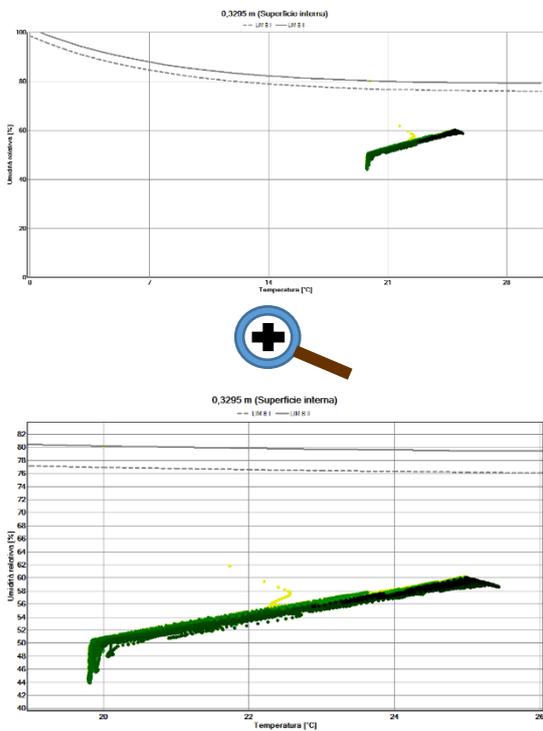


Figura 211: V.02 - isopete limite per la crescita microbologica sul pannello di cartongesso

La condizione termoisometrica del cartongesso non supera il **LIM B I** e dunque il materiale non è interessato da una proliferazione microbologica.

### 5.9.2 VERIFICA INTERSTIZIALE

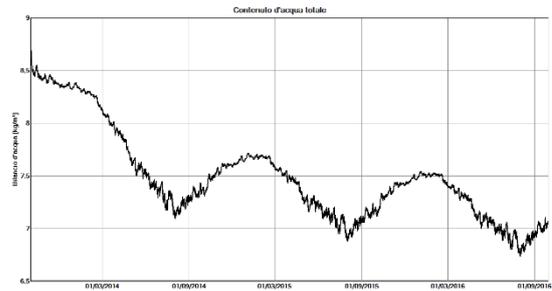


Figura 212: V.02 - contenuto di acqua totale

Il contenuto di acqua totale non aumenta nel corso dei tre anni di simulazione.

STRATO/MATERIALE	INIZIO	FINE	MIN.	MAX.
Guaina sottomanto	0,00	0,00	0,00	0,01
Tavolato in abete (20 mm)	11,87	8,02	4,89	12,28
Tavolato in abete (5 mm)	11,87	7,90	5,61	13,71
Pannello di lino (5 mm)	13,16	4,16	1,68	13,16
Pannello di lino (110 mm)	13,16	3,87	3,08	13,26
Pannello di lino (5 mm)	13,16	3,66	2,84	33,50
Barriera al vapore	0,00	0,00	0,00	0,03
CLT (5 mm)	11,87	10,60	10,54	12,03
CLT (110 mm)	11,87	10,60	10,58	11,88
CLT (5 mm)	11,87	10,62	9,56	12,86
Pannello di lino (5 mm)	13,16	6,87	5,21	13,16
Pannello di lino (45 mm)	13,16	7,13	5,50	13,16
Pannello di cartongesso	0,74	0,50	0,38	0,74

Figura 213: contenuto di acqua negli strati in % di massa

Il contenuto di acqua nel CLT e nel tavolato è inferiore al valore limite del 20%.

**Attenzione: il contenuto di acqua nel pannello di lino a contatto con la barriera a vapore supera il valore limite del 18%.**

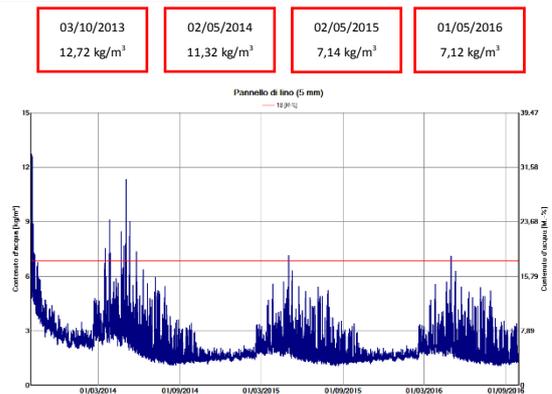


Figura 214: V.02 - contenuto di acqua nello strato di lino a contatto con la barriera a vapore

Il massimo contenuto di acqua nel lino non aumenta nel corso dei tre anni di simulazione.

Il periodo durante il quale, in maniera non continuativa, il contenuto di acqua nel lino supera il 18% è il seguente:

- dal 01/10/2013 al 09/10/2013
- dal 17/03/2014 al 25/05/2014
- il 01/05/2015
- il 02/05/2016.

Per diminuire la durata di questo periodo è possibile utilizzare, da capitolato, un legno con contenuto di acqua pari al 10,5% e un pannello di lino con contenuto di acqua pari a 7,5%.

In questo modo il contenuto di acqua nel lino a contatto con la barriera a vapore supera il 18% quattro giorni della simulazione:

- 02/05/2014
- 12/05/2014
- 02/05/2015
- 02/05/2016

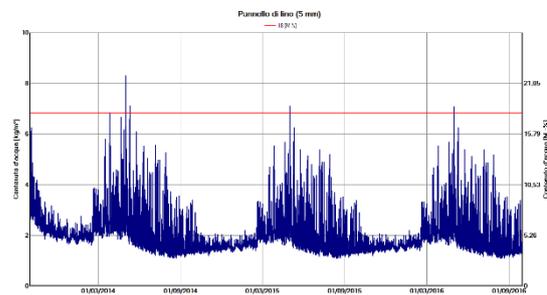


Figura 215: V.02 - contenuto di acqua nel pannello di lino a contatto con la barriera a vapore (legno 10,5% e lino 7,5%)

La brevità e unicità dell'evento non creano le condizioni per la formazione di condensa interstiziale.

## 5.10 V.03 – NUORO – COPERTURA NORD

### 5.10.1 VERIFICA SUPERFICIALE

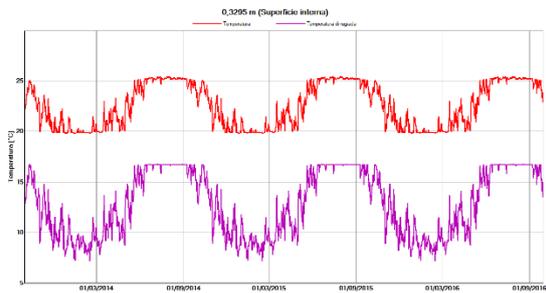


Figura 216: V.03 - temperatura superficiale (linea rossa) e temperatura di rugiada (linea viola) sul pannello di cartongesso

Nella stratigrafia non si verifica condensa superficiale in quanto la temperatura sul pannello di cartongesso è sempre superiore alla temperatura di rugiada.

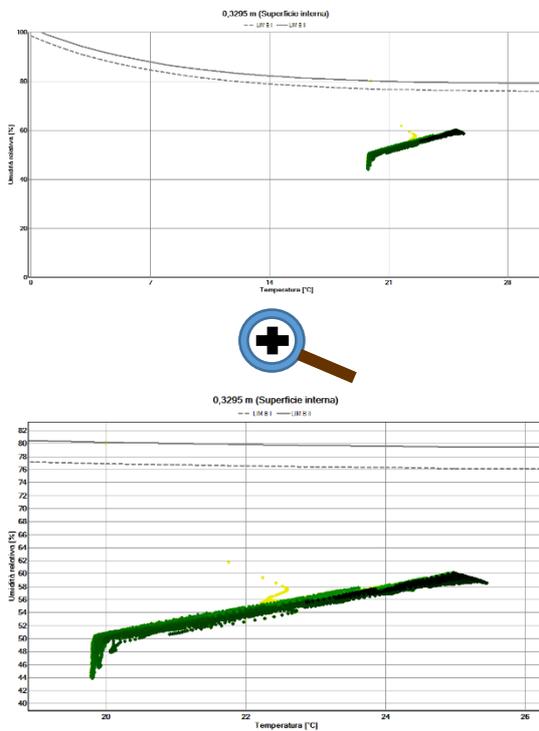


Figura 217: V.03 - isoplete limite per la crescita microbologica sul pannello di cartongesso

La condizione termigrometrica del cartongesso non supera il **LIM B I** e dunque il materiale non è interessato da una proliferazione microbologica.

### 5.10.2 VERIFICA INTERSTIZIALE

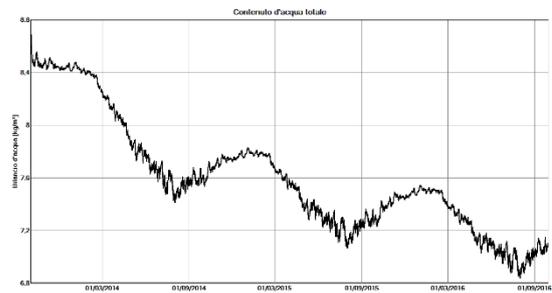


Figura 218: V.03 - contenuto di acqua totale

Il contenuto di acqua totale non aumenta nel corso dei tre anni di simulazione.

STRATO/MATERIALE	INIZIO	FINE	MIN.	MAX.
Guaina sottomanto	0,00	0,00	0,00	0,01
Tavolato in abete (20 mm)	11,87	8,20	4,96	12,30
Tavolato in abete (5 mm)	11,87	8,39	5,65	14,05
Pannello di lino (5 mm)	13,16	4,87	1,74	13,16
Pannello di lino (115 mm)	13,16	4,55	3,82	13,16
Pannello di lino (5 mm)	13,16	4,42	3,79	20,87
CLT (115 mm)	11,87	10,52	10,52	12,11
CLT (5 mm)	11,87	11,44	11,43	12,24
Barriera al vapore	0,00	0,00	0,00	0,00
Pannello di lino (5 mm)	13,16	7,00	4,92	14,05
Pannello di lino (45 mm)	13,16	7,21	5,34	13,16
Pannello di cartongesso	0,74	0,50	0,38	0,74

Figura 219: contenuto di acqua negli strati in % di massa

Il contenuto di acqua di acqua nel CLT e nel tavolato è inferiore al valore limite del 20%.

**Attenzione: il contenuto di acqua nel pannello di lino a contatto con il CLT supera il limite del 18%.**

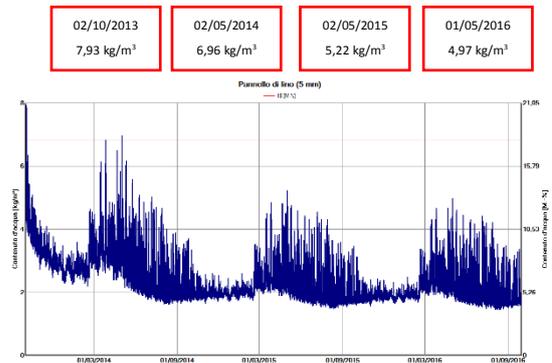


Figura 220: V.03 - contenuto di acqua nello strato di lino a contatto con il CLT

Il massimo contenuto di acqua nel lino non aumenta nel corso dei tre anni di simulazione.

Il periodo in cui il contenuto di acqua nel lino supera per alcune ore il valore limite del 18% è il seguente:

- dal 02/10/2013 al 03/10/2013

- il 02/05/2014.

La brevità e unicità dell'evento non creano le condizioni per la formazione di condensa interstiziale.

## 5.11 V.04 – NUORO – COPERTURA NORD

### 5.11.1 VERIFICA SUPERFICIALE

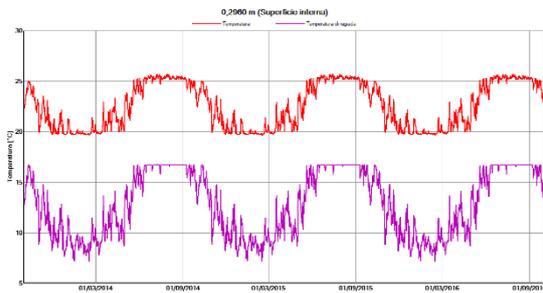


Figura 221: V.04 - temperatura superficiale (linea rossa) e temperatura di rugiada (linea viola) sul pannello di cartongesso

Nella stratigrafia non si verifica condensa superficiale in quanto la temperatura sul pannello di cartongesso è sempre superiore alla temperatura di rugiada.

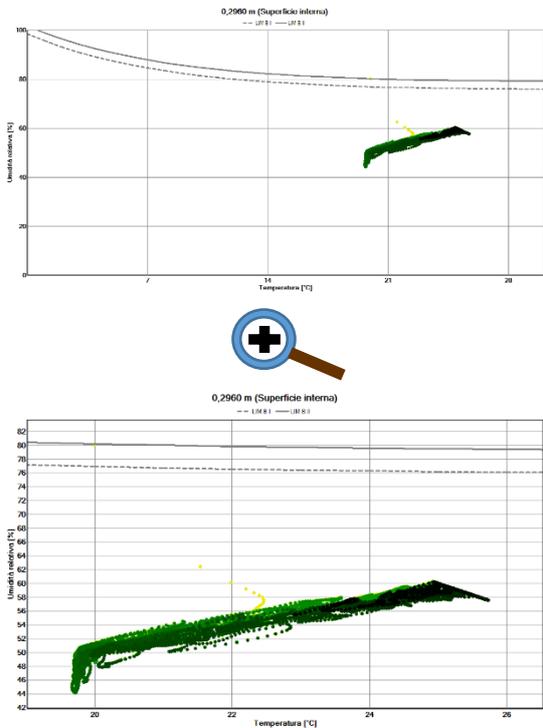


Figura 222: V.04 - isoplete limite per la crescita microbiologica sul pannello di cartongesso

### 5.11.2 VERIFICA INTERSTIZIALE

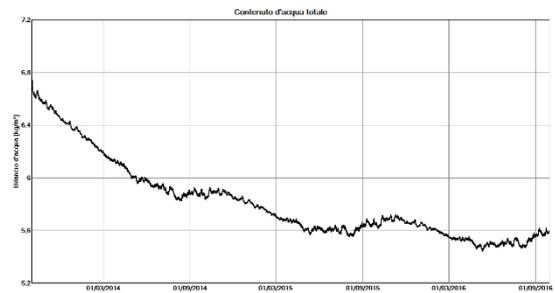


Figura 225: V.04 - contenuto di acqua totale

Il contenuto di acqua totale non aumenta nel corso dei tre anni di simulazione.

STRATO/MATERIALE	INIZIO	FINE	MIN.	MAX.
Guaina sottomanto	0,00	0,00	0,00	0,01
Sughero (5mm)	1,13	0,50	0,01	1,59
Sughero (95mm)	1,13	0,27	0,06	1,13
CLT (115 mm)	11,87	9,91	9,74	11,93
CLT (5 mm)	11,87	10,94	9,82	12,22
Strato di aria (50 mm)	0,01	0,01	0,01	0,01
Pannello di cartongesso	0,74	0,50	0,39	0,74
Pannello di cartongesso	0,74	0,50	0,38	0,74

Figura 226: contenuto di acqua in % di massa

Il contenuto di acqua nel CLT è inferiore al valore limite del 20%. Per il sughero è necessario verificare l'andamento dell'umidità relativa.

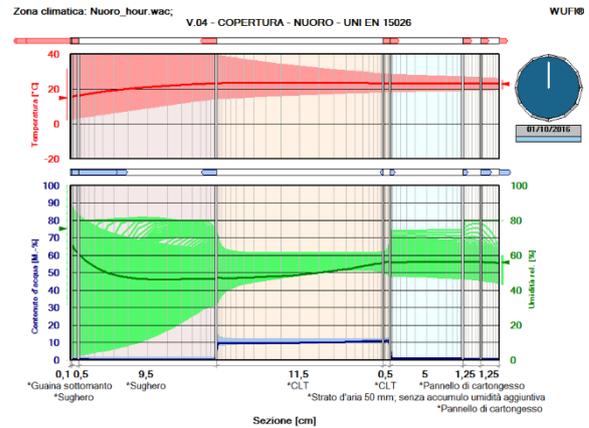


Figura 227: V.04 – simulazione

Nel sughero l'umidità relativa non supera il 95%. Nella stratigrafia non si verifica condensa interstiziale.

La condizione termoigrometrica del cartongesso non supera il **LIM B I** e dunque il materiale non è interessato da una proliferazione microbiologica.

E' necessario verificare anche le condizioni termoigrometriche sulle superfici dei materiali a contatto con l'aria in quiete dell'intercapedine per la possibile crescita microbiologica.

Variante: V.04 - COPERTURA - NUORO - UNI EN 15026

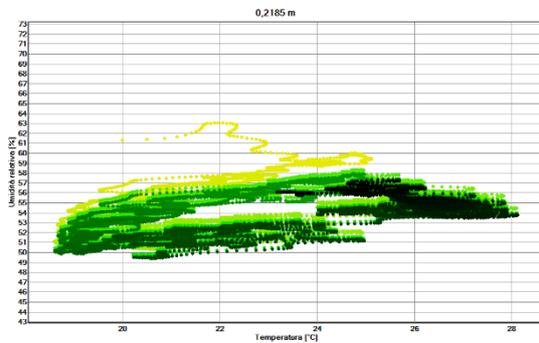
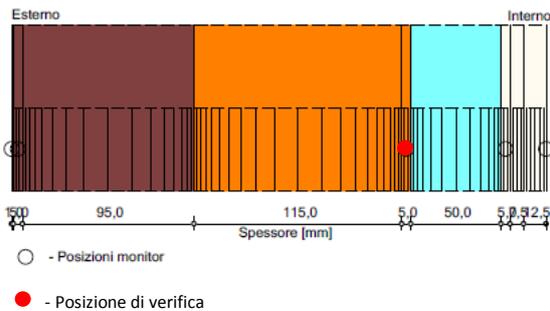
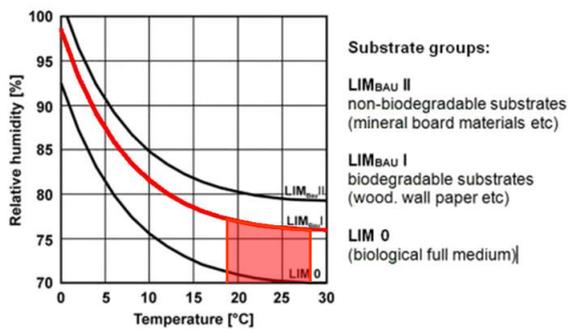


Figura 223: temperatura e umidità relativa sulla superficie del CLT a contatto con l'intercapedine di aria



L'umidità relativa sulla superficie del CLT a contatto con l'intercapedine di aria non supera mai il 76%.

Le condizioni termoigrometriche non permettono la crescita microbiologica.

Variante: V.04 - COPERTURA - NUORO - UNI EN 15026

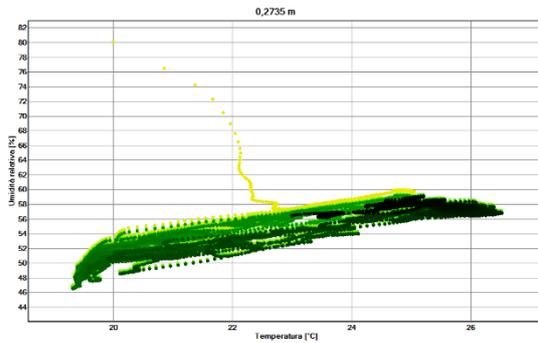
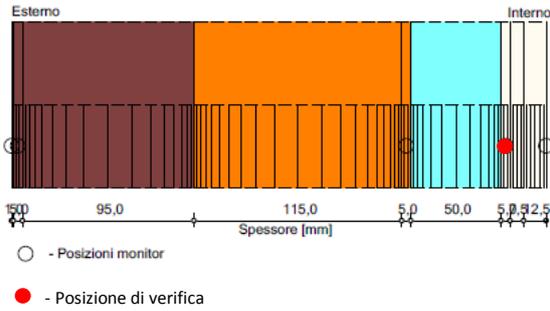
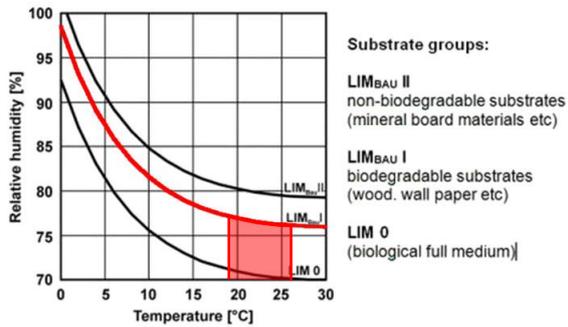


Figura 224: temperatura e umidità relativa sulla superficie del cartongesso a contatto con l'intercapedine di aria



Sulla superficie del materiale si registrano temperature comprese fra 19°C e 26°C e valori di umidità relativa compresi fra 47% e 80%.

Rispetto al **LIM B I** l'umidità relativa supera il 76% le prime due ore di calcolo.

Le condizioni non permettono la crescita microbiologica sul materiale.

## 5.12 V.05 – NUORO – COPERTURA NORD

### 5.12.1 VERIFICA SUPERFICIALE

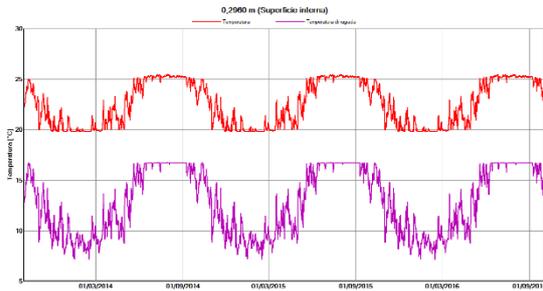


Figura 228: V.05 - temperatura superficiale (linea rossa) e temperatura di rugiada (linea viola) sul pannello di cartongesso

Nella stratigrafia non si verifica condensa superficiale in quanto la temperatura sul pannello di cartongesso è sempre superiore alla temperatura di rugiada.

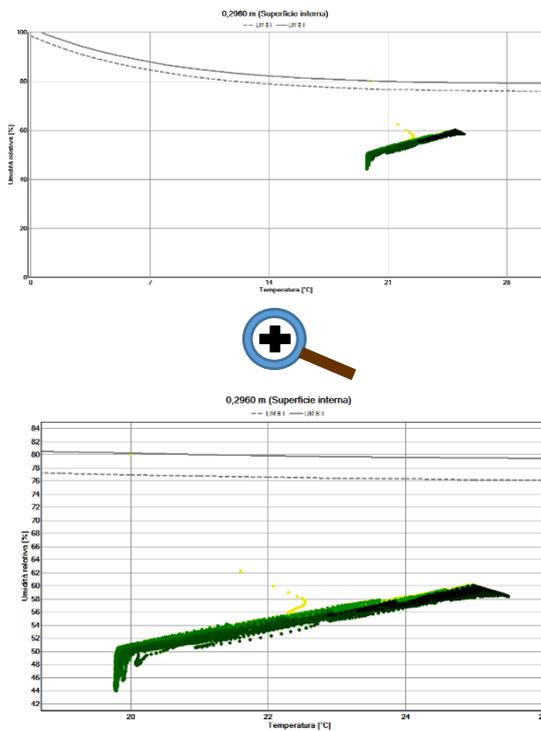


Figura 229: V.05 - isopete limite per la crescita microbologica sul pannello di cartongesso

La condizione termoisometrica del cartongesso non supera il **LIM B I** e dunque il materiale non è interessato da una proliferazione microbologica.

### 5.12.2 VERIFICA INTERSTIZIALE

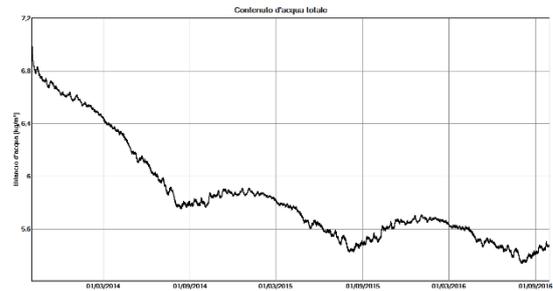


Figura 230: V.05 - contenuto di acqua totale

Il contenuto di acqua totale non aumenta nel corso dei tre anni di simulazione.

STRATO/MATERIALE	INIZIO	FINE	MIN.	MAX.
Guaina sottomanto	0,00	0,00	0,00	0,01
Sughero (5mm)	1,13	0,49	0,01	1,59
Sughero (95mm)	1,13	0,26	0,05	1,13
CLT (115 mm)	11,87	9,48	9,31	11,94
CLT (5 mm)	11,87	10,37	9,28	13,05
Pannello di lino (5 mm)	13,16	6,68	5,05	13,16
Pannello di lino (45 mm)	13,16	6,97	5,58	13,16
Pannello di cartongesso	0,74	0,50	0,39	0,74
Pannello di cartongesso	0,74	0,49	0,38	0,74

Figura 231: contenuto di acqua negli strati in % di massa

Il contenuto di acqua nel CLT è inferiore al valore limite del 20%. Il contenuto di acqua nel lino è inferiore al valore limite del 18%.

Per il sughero è necessario verificare l'andamento dell'umidità relativa.

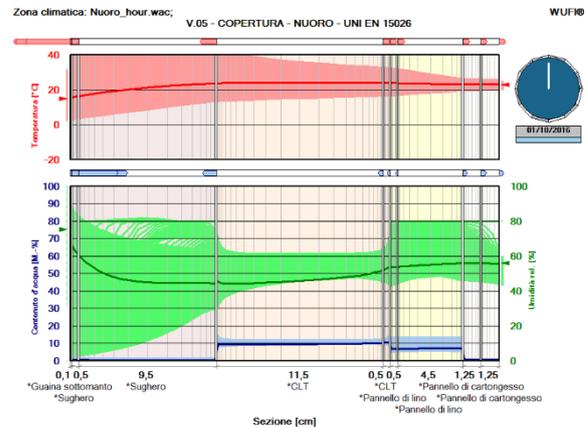


Figura 232: V.05 – simulazione

Nel sughero l'umidità relativa non supera il 95%.

Nella stratigrafia non si verifica condensa interstiziale.

## 5.13 V.06 – NUORO – COPERTURA NORD

### 5.13.1 VERIFICA SUPERFICIALE

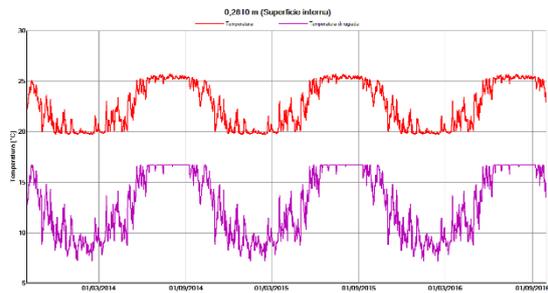


Figura 233: temperatura superficiale (linea rossa) e temperatura di rugiada (linea viola) sulla rasatura minerale

Nella stratigrafia non si verifica condensa superficiale in quanto la temperatura sulla rasatura minerale è sempre superiore alla temperatura di rugiada.

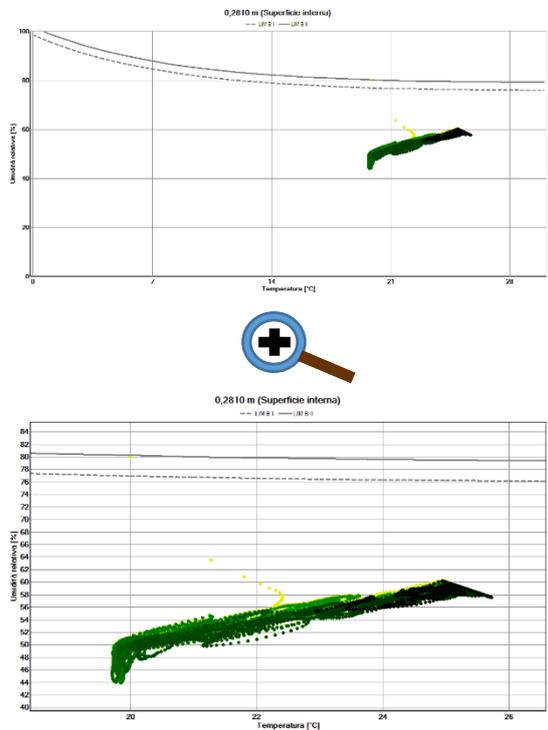


Figura 234: V.06 - isoplete limite per la crescita microbiologica sulla rasatura minerale

La condizione termoigrometrica della rasatura minerale non supera il **LIM B II** e dunque il materiale non è interessato da una proliferazione microbiologica.

### 5.13.2 VERIFICA INTERSTIZIALE

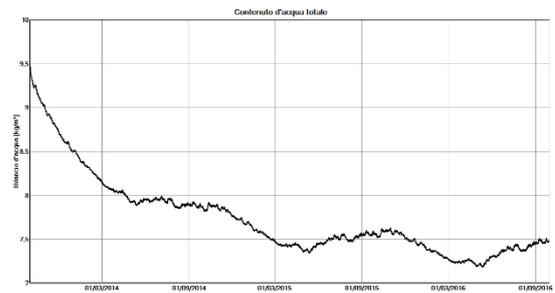


Figura 235: V.06 - contenuto di acqua totale

Il contenuto di acqua totale non aumenta nel corso dei tre anni di simulazione.

STRATO/MATERIALE	INIZIO	FINE	MIN.	MAX.
Guaina sottomanto	0,00	0,00	0,00	0,01
Sughero (5mm)	1,13	0,49	0,01	1,57
Sughero (95mm)	1,13	0,25	0,05	1,13
CLT (115 mm)	11,87	9,53	9,40	11,95
CLT (5 mm)	11,87	10,44	9,83	12,39
Pannello di legno-cemento (5 mm)	12,00	8,93	7,88	12,00
Pannello di legno-cemento (45 mm)	12,00	9,30	8,06	12,04
Rasatura minerale	1,30	0,91	0,75	1,30

Figura 236: contenuto di acqua negli strati in % di massa

Il contenuto di acqua nel CLT è inferiore al valore limite del 20%. Il contenuto di acqua nel pannello di legno – cemento è inferiore al valore limite del 18%. Per il sughero è necessario verificare l'andamento dell'umidità relativa.

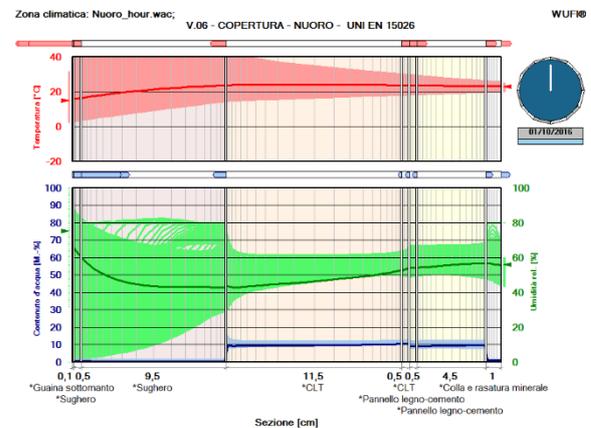


Figura 237: V.06 – simulazione

Nel sughero l'umidità relativa non supera il 95%.

Nella stratigrafia non si verifica condensa interstiziale.

## 5.14 V.07 – NUORO – COPERTURA NORD

### 5.14.1 VERIFICA SUPERFICIALE

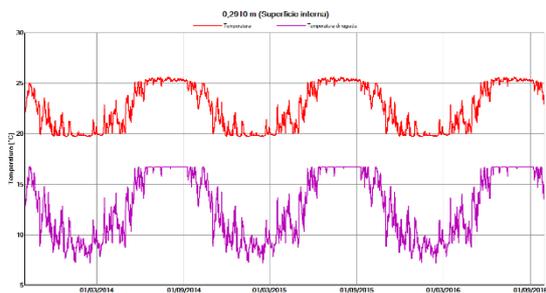


Figura 238: V.07 - temperatura superficiale (linea rossa) e temperatura di rugiada (linea viola) sull'intonaco di argilla

Nella stratigrafia non si verifica condensa superficiale in quanto la temperatura sull'intonaco di argilla è sempre superiore alla temperatura di rugiada.

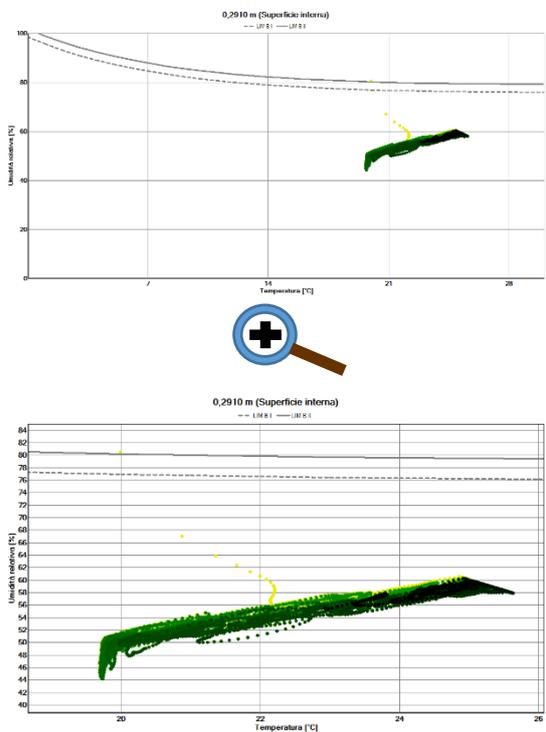


Figura 239: V.07 - isoplete limite per la crescita microbiologica sull'intonaco di argilla

La condizione termogrometrica dell'intonaco di argilla non supera il **LIM B II** e dunque il materiale non è interessato da una proliferazione microbiologica.

### 5.14.2 VERIFICA INTERSTIZIALE

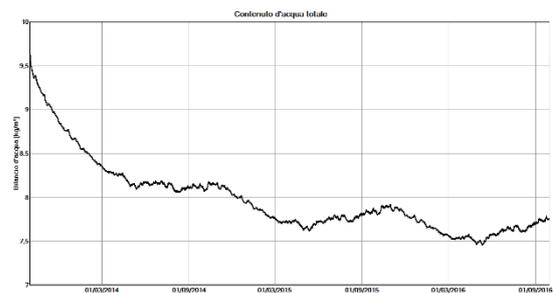


Figura 240: V.07 - contenuto di acqua totale

Il contenuto totale di acqua non aumenta nel corso dei tre anni di simulazione.

STRATO/MATERIALE	INIZIO	FINE	MIN.	MAX.
Guaina sottomanto	0,00	0,00	0,00	0,01
Sughero (5mm)	1,13	0,50	0,01	1,59
Sughero (95mm)	1,13	0,27	0,06	1,13
CLT (115 mm)	11,87	9,78	9,62	11,94
CLT (5 mm)	11,87	10,68	10,00	12,49
Pannello di legno-cemento (5 mm)	12,00	9,23	8,09	12,00
Pannello di legno-cemento (45 mm)	12,00	9,48	8,21	12,12
Argilla - terra cruda	1,25	0,74	0,61	1,25

Figura 241: contenuto di acqua negli strati in % di massa

Il contenuto di acqua nel CLT è inferiore al valore limite del 20%. Il contenuto di acqua nel pannello di legno - cemento è inferiore al valore limite del 18%. Per il sughero è necessario verificare l'andamento dell'umidità relativa.

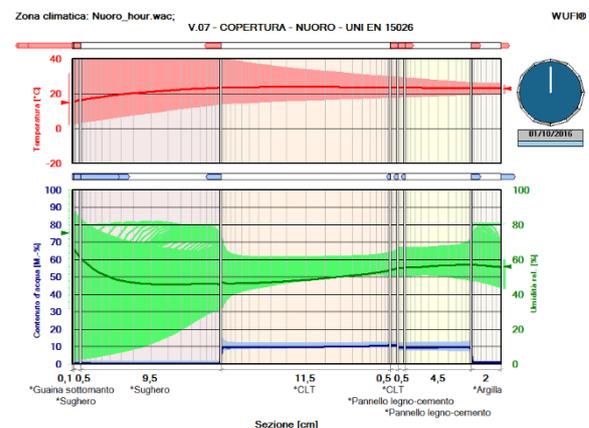
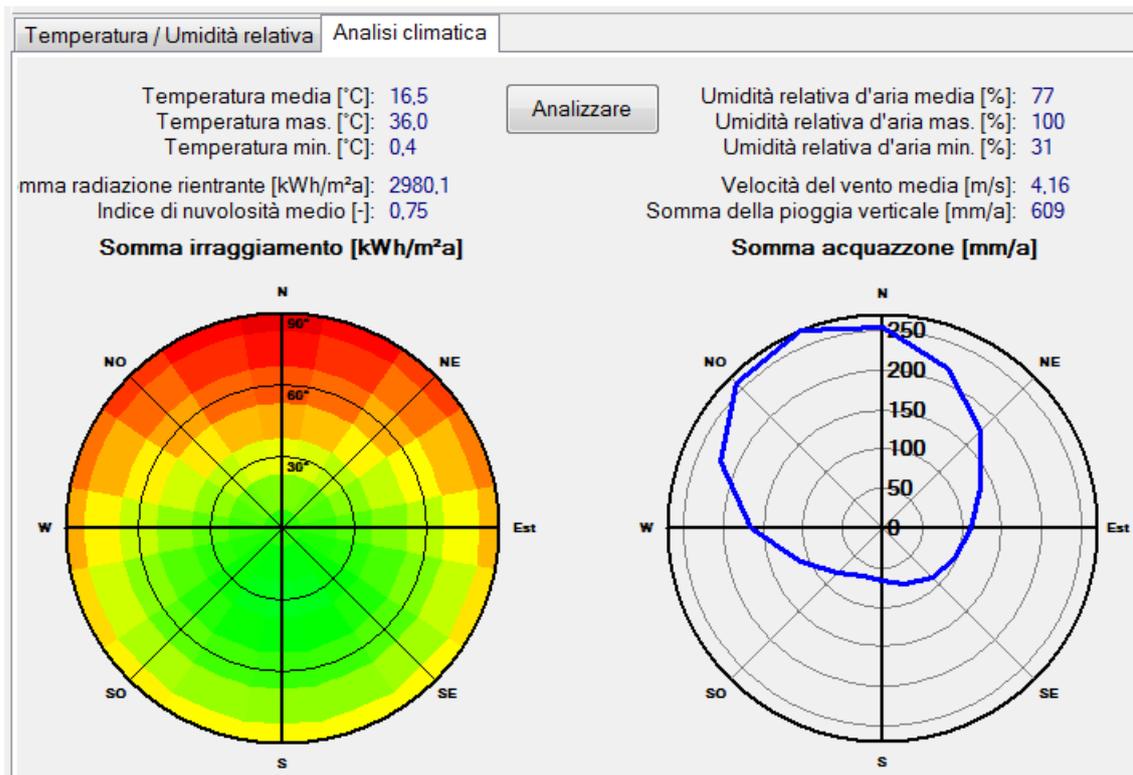
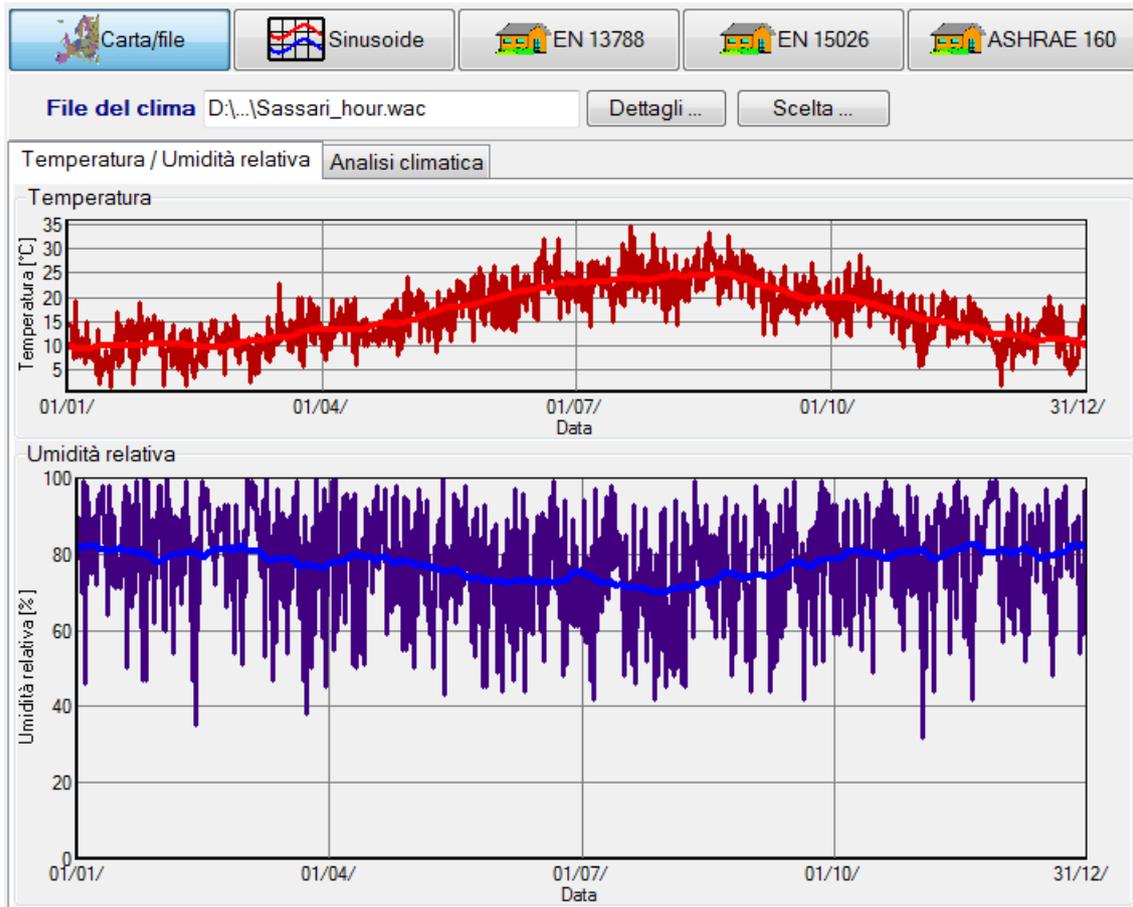


Figura 242: V.07 – simulazione

Nel sughero l'umidità relativa non supera il 95%.

Nella stratigrafia non si verifica condensa interstiziale.

## 6 SIMULAZIONI DINAMICHE TERMOIGROMETRICHE - SASSARI



## 6.1 V.01 – SASSARI – PARETE NORD

### 6.1.1 VERIFICA SUPERFICIALE

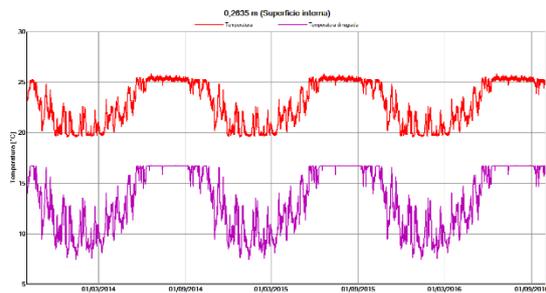


Figura 243: V.01 - temperatura superficiale (linea rossa) e temperatura di rugiada (linea viola) sul pannello di cartongesso

Nella stratigrafia non si verifica condensa superficiale in quanto la temperatura sul pannello di cartongesso è sempre superiore alla temperatura di rugiada.

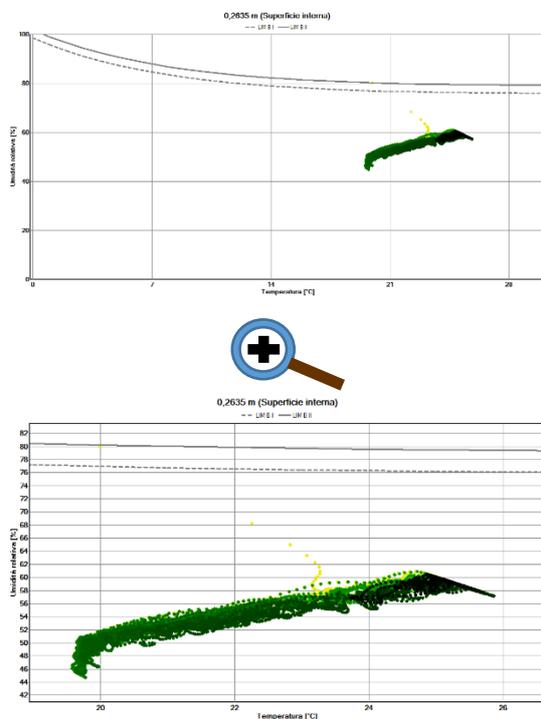


Figura 244: V.01 - isoplete limite per la crescita microbiologica sul pannello di cartongesso

La condizione termoisometrica del cartongesso non supera il **LIM B I** e dunque il materiale non è interessato da una proliferazione microbiologica.

### 6.1.2 VERIFICA INTERSTIZIALE

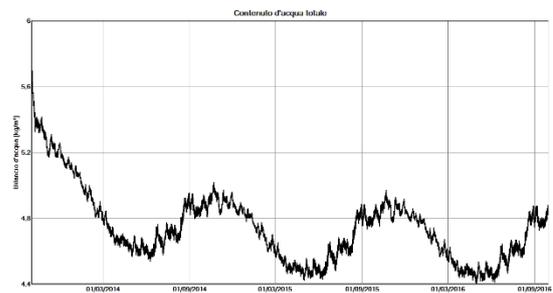


Figura 245: V.01 - contenuto di acqua totale

Il contenuto di acqua totale non aumenta nel corso dei tre anni di simulazione.

STRATO/MATERIALE	INIZIO	FINE	MIN.	MAX.
Telo protettivo esterno (sd=0,1 m)	0,00	0,00	0,00	0,15
Pannello di lino (5 mm)	13,16	9,37	0,61	17,05
Pannello di lino (155 mm)	13,16	6,50	3,13	13,16
CLT (85 mm)	11,87	10,72	10,06	12,00
CLT (5 mm)	11,87	11,38	9,81	12,07
Pannello di cartongesso	0,74	0,53	0,39	0,74

Figura 246: V.01 - contenuto di acqua negli strati in % di massa

Il contenuto di acqua nel CLT è inferiore al valore limite del 20%.

Il contenuto di acqua nel pannello di lino è inferiore al valore limite del 18%.

Nella stratigrafia non si verifica condensa interstiziale.

## 6.2 V.02 – SASSARI – PARETE NORD

### 6.2.1 VERIFICA SUPERFICIALE

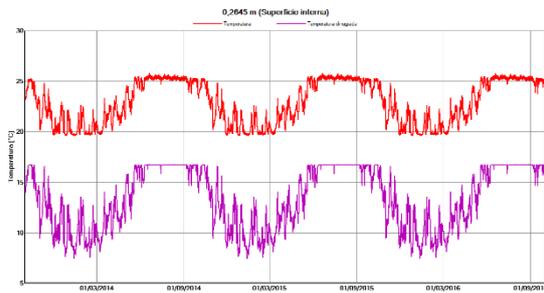


Figura 247: V.02 - temperatura superficiale (linea rossa) e temperatura di rugiada (linea viola) sul pannello di cartongesso

Nella stratigrafia non si verifica condensa superficiale in quanto la temperatura sul pannello di cartongesso è sempre superiore alla temperatura di rugiada.

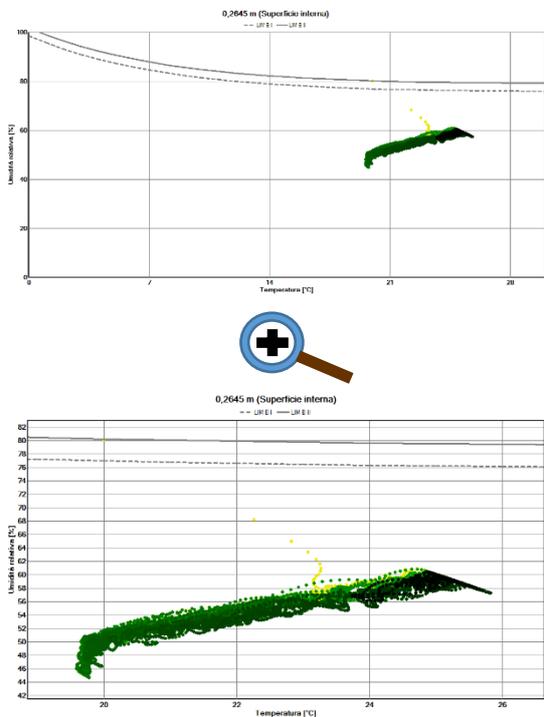


Figura 248: V.02 - isoplete limite per la crescita microbiologica sul pannello di cartongesso

La condizione termoigrometrica del cartongesso non supera il **LIM B I** e dunque il materiale non è interessato da una proliferazione microbiologica.

### 6.2.2 VERIFICA INTERSTIZIALE

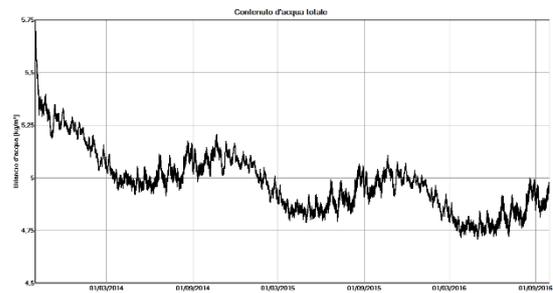


Figura 249: V.02 - contenuto di acqua totale

Il contenuto di acqua totale non aumenta nel corso dei tre anni di simulazione.

STRATO/MATERIALE	INIZIO	FINE	MIN.	MAX.
Telo protettivo esterno (sd=0,1 m)	0,00	0,00	0,00	0,15
Pannello di lino (5 mm)	13,16	9,45	0,63	17,11
Pannello di lino (150 mm)	13,16	6,61	2,97	13,21
Pannello di lino (5 mm)	13,16	7,21	3,21	16,66
Barriera al vapore (sd=1500 m)	0,00	0,00	0,00	0,00
CLT (5 mm)	11,87	10,65	10,60	12,02
CLT (80 mm)	11,87	10,97	10,86	11,87
CLT (5 mm)	11,87	11,44	9,84	12,07
Pannello di cartongesso	0,74	0,53	0,39	0,74

Figura 250: contenuto di acqua negli strati in % di massa

Il contenuto di acqua nel CLT è inferiore al valore limite del 20%.

Il contenuto di acqua nel pannello di lino è inferiore al valore limite del 18%.

Nella stratigrafia non si verifica condensa interstiziale.

## 6.3 V.03 – SASSARI – PARETE NORD

### 6.3.1 VERIFICA SUPERFICIALE

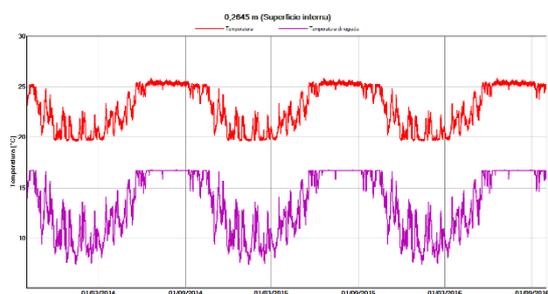


Figura 251: V.03 - temperatura superficiale (linea rossa) e temperatura di rugiada (linea viola) sul pannello di cartongesso

Nella stratigrafia non si verifica condensa superficiale in quanto la temperatura sul pannello di cartongesso è sempre superiore alla temperatura di rugiada.

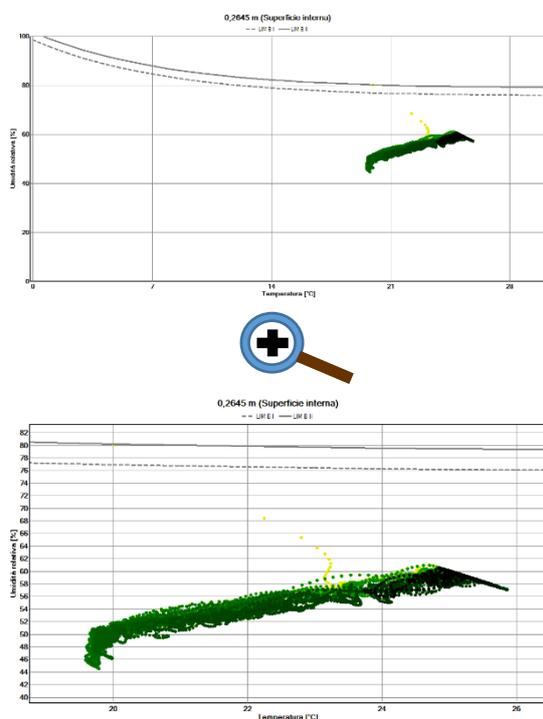


Figura 252: V.03 - isoplete limite per la crescita microbiologica sul pannello di cartongesso

La condizione termoigrometrica del cartongesso non supera il **LIM B I** e dunque il materiale non è interessato da una proliferazione microbiologica.

### 6.3.2 VERIFICA INTERSTIZIALE



Figura 253: V.03 - contenuto di acqua totale

Il contenuto di acqua totale non aumenta nel corso dei tre anni di simulazione.

STRATO/MATERIALE	INIZIO	FINE	MIN.	MAX.
Telo protettivo esterno (sd=0,1 m)	0,00	0,00	0,00	0,15
Pannello di lino (5 mm)	13,16	9,37	0,61	17,05
Pannello di lino (155 mm)	13,16	6,50	3,13	13,16
CLT (85 mm)	11,87	10,65	10,18	12,00
CLT (5 mm)	11,87	10,83	10,76	11,88
Barriera al vapore (sd=1500 m)	0,00	0,00	0,00	0,00
Pannello di cartongesso	0,74	0,52	0,38	0,74

Figura 254: contenuto di acqua negli strati in % di massa

Il contenuto di acqua nel CLT è inferiore al valore limite del 20%.

Il contenuto di acqua nel pannello di lino è inferiore al valore limite del 18%.

Nella stratigrafia non si verifica condensa interstiziale

## 6.4 NV.01 – SASSARI – PARETE NORD

### 6.4.1 VERIFICA SUPERFICIALE

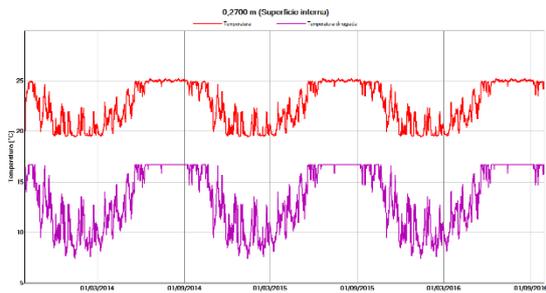


Figura 255: NV.01 - temperatura superficiale (linea rossa) e temperatura di rugiada (linea viola) sul pannello di cartongesso

Nella stratigrafia non si verifica condensa superficiale in quanto la temperatura sul pannello di cartongesso è sempre superiore alla temperatura di rugiada.

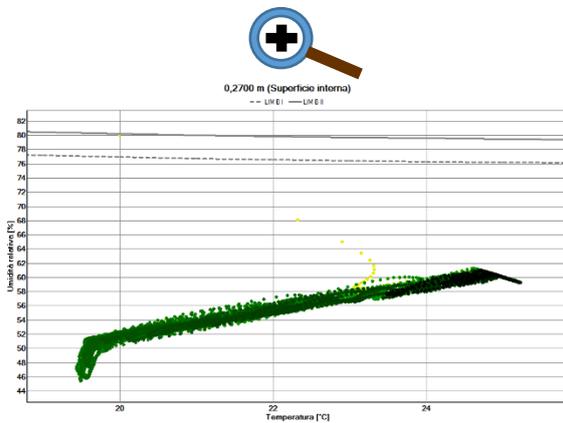
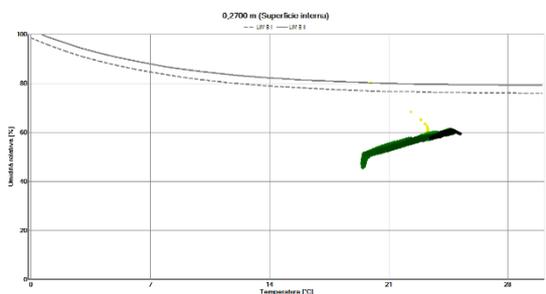


Figura 256: NV.01 - isoplete limite per la crescita microbologica sul pannello di cartongesso

La condizione termoisometrica del cartongesso non supera il **LIM B I** e dunque il materiale non è interessato da una proliferazione microbologica.

### 6.4.2 VERIFICA INTERSTIZIALE

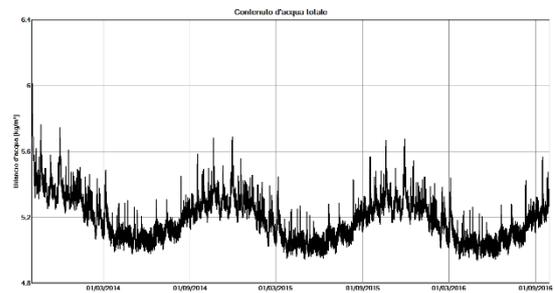


Figura 259: NV.01 - contenuto di acqua totale

Il contenuto di acqua totale non aumenta nel corso dei tre anni di simulazione.

STRATO/MATERIALE	INIZIO	FINE	MIN.	MAX.
Intonaco minerale	11,05	2,68	1,13	11,05
Sughero (5 mm)	1,13	1,14	0,19	13,22
Sughero (155 mm)	1,13	0,78	0,33	1,55
CLT (85 mm)	11,87	11,76	11,31	12,03
CLT (5 mm)	11,87	11,79	10,50	12,30
Strato di aria	0,77	0,77	0,77	0,77
Pannello di cartongesso	0,74	0,55	0,41	0,74
Pannello di cartongesso	0,74	0,54	0,39	0,74

Figura 260: contenuto di acqua negli strati in % di massa

Il contenuto di acqua nel CLT è inferiore al valore limite del 20%.

Per il sughero è necessario verificare l'andamento dell'umidità relativa.

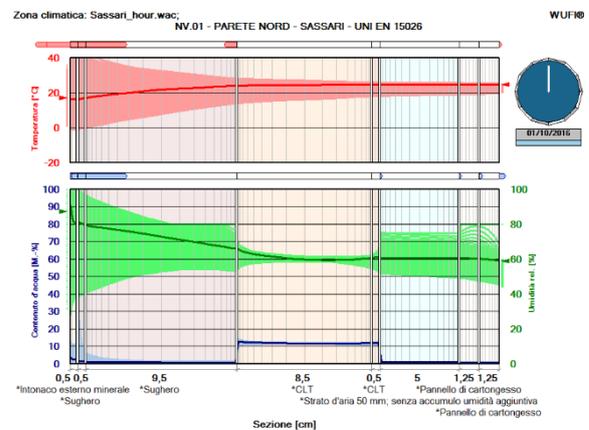


Figura 261: NV.01 - simulazione

Nello strato di sughero l'umidità relativa supera il 95%.

E' necessario verificare anche l'andamento dell'umidità relativa nei materiali a contatto con l'aria in quiete dell'intercapedine per la possibile crescita microbologica.

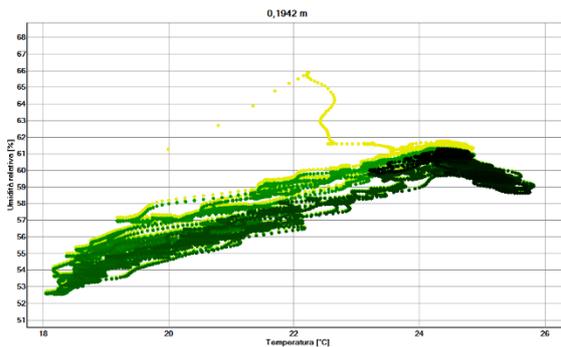
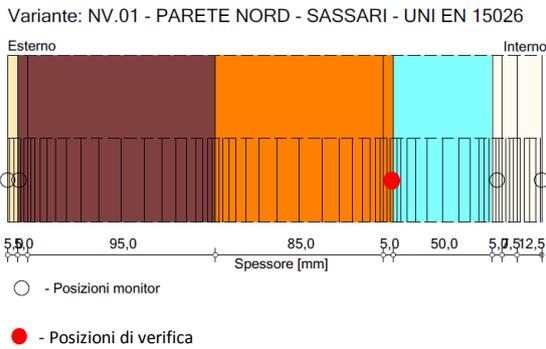
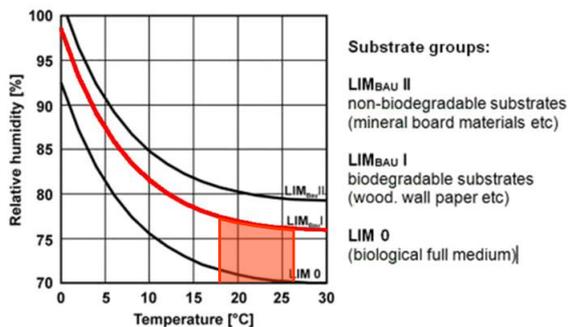


Figura 257: NV.01 - temperatura e umidità relativa sullo strato di CLT a contatto con l'intercapedine di aria



L'umidità relativa sulla superficie del CLT a contatto con l'intercapedine di aria non supera mai il 76%.

Le condizioni termoigrometriche non permettono la crescita microbologica.

03/10/2013 19,83 kg/m <sup>3</sup>	01/12/2014 5,51 kg/m <sup>3</sup>	01/12/2015 5,50 kg/m <sup>3</sup>
---------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------

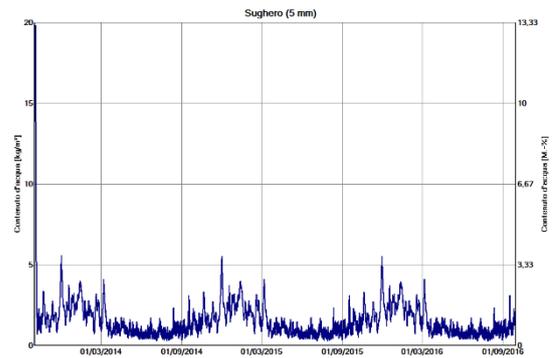


Figura 262: NV.01 - contenuto di acqua nello strato di sughero a contatto con l'intonaco minerale

Il massimo contenuto di acqua nel sughero non aumenta nel corso dei tre anni di simulazione.

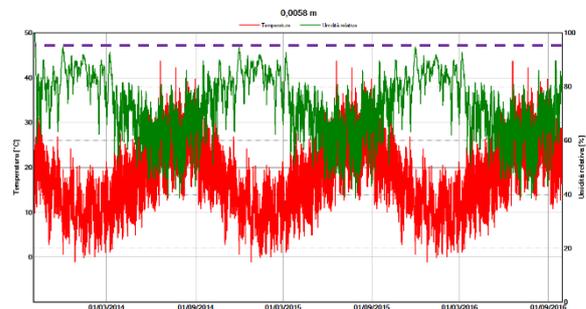


Figura 263: NV.01 - temperatura e umidità relativa nello strato di sughero a contatto con l'intonaco esterno

L'umidità relativa supera il 95% i primi 4 giorni di simulazione.

La brevità e unicità dell'evento non creano le condizioni per la formazione di condensa interstiziale.

Variante: NV.01 - PARETE NORD - SASSARI - UNI EN 15026

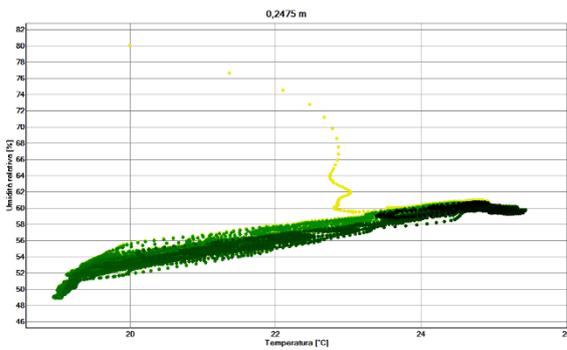
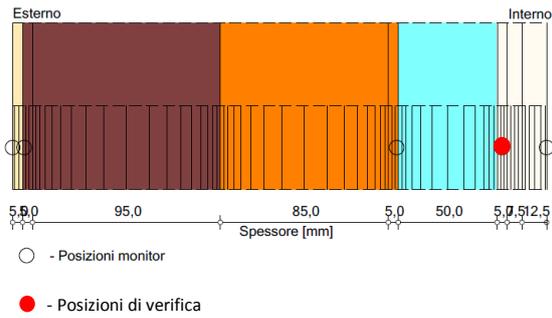
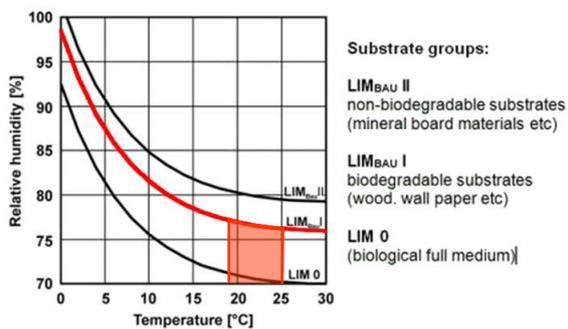


Figura 258: NV.01 - temperatura e umidità relativa sul cartongesso a contatto con l'intercapedine di aria



Sulla superficie del materiale si registrano temperature comprese fra 19°C e 25°C e valori di umidità relativa compresi fra 49% e 80%.

Rispetto al **LIM B I** l'umidità relativa supera il 76% le prime due ore di simulazione.

Le condizioni non permettono la crescita microbiologica sul materiale.

## 6.5 NV.02 – SASSARI – PARETE NORD

### 6.5.1 VERIFICA SUPERFICIALE

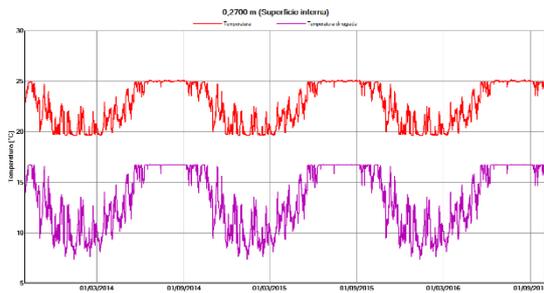


Figura 264: NV.02 - temperatura superficiale (linea rossa) e temperatura di rugiada (linea viola) sul pannello di cartongesso

Nella stratigrafia non si verifica condensa superficiale in quanto la temperatura sul pannello di cartongesso è sempre superiore alla temperatura di rugiada.

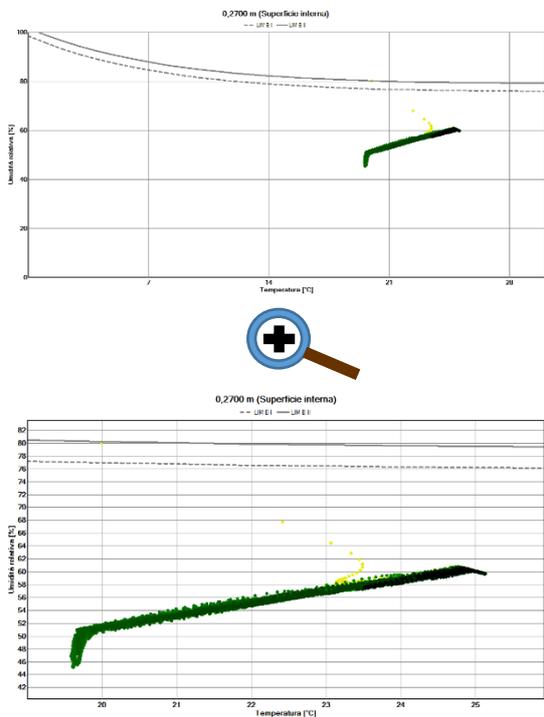


Figura 265: NV.02 - isoplete limite per la crescita microbiologica sul pannello di cartongesso

La condizione termoigrometrica del cartongesso non supera il LIM B I e dunque il materiale non è interessato da una proliferazione microbiologica.

### 6.5.2 VERIFICA INTERSTIZIALE

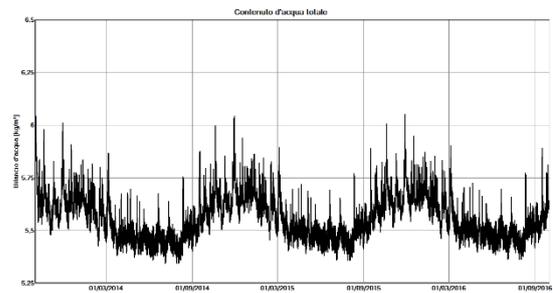


Figura 266: NV.02 - contenuto di acqua totale

Il contenuto di acqua totale non aumenta nel corso dei tre anni di simulazione.

STRATO/MATERIALE	INIZIO	FINE	MIN.	MAX.
Intonaco minerale	11,05	2,68	1,13	11,05
Sughero (5 mm)	1,13	1,15	0,19	13,12
Sughero (90 mm)	1,13	0,82	0,34	1,61
Sughero (5 mm)	1,13	0,60	0,37	1,13
CLT (5 mm)	11,87	12,92	11,32	13,63
CLT (80 mm)	11,87	12,12	11,87	12,21
CLT (5 mm)	11,87	12,20	11,38	13,36
Pannello di lino (5 mm)	13,16	8,95	7,61	13,16
Pannello di lino (45 mm)	13,16	8,66	6,82	13,16
Pannello di cartongesso	0,74	0,55	0,40	0,74
Pannello di cartongesso	0,74	0,54	0,39	0,74

Figura 267: contenuto di acqua negli strati in % di massa

Attenzione: il contenuto di acqua nel CLT si mantiene inferiore al valore limite del 20% ma aumenta dall'inizio alla fine della simulazione.

La simulazione viene eseguita per un periodo di calcolo più lungo (10 anni).

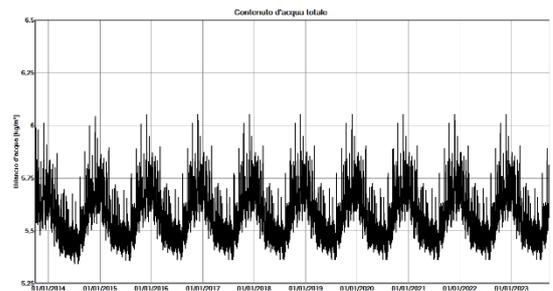


Figura 268: NV.02 - contenuto di acqua totale (10 anni)

Il massimo contenuto di acqua totale non aumenta nel corso dei 10 anni di simulazione.

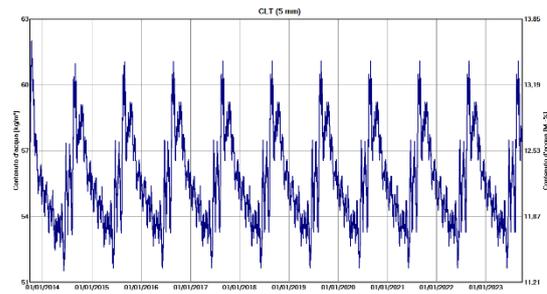


Figura 269: NV.02 - contenuto di acqua nel CLT a contatto con il sughero (10 anni)

Il massimo contenuto di acqua nel CLT a contatto con il sughero non aumenta nel corso dei 10 anni di simulazione.

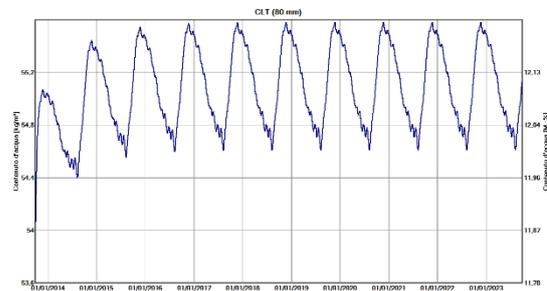


Figura 270: NV.02 - contenuto di acqua nel CLT (strato da 80 mm)

Il contenuto di acqua nel CLT (strato da 80 mm) cresce nei primi 4 anni di simulazione e il massimo contenuto di acqua rimane stabile nei successivi 6 anni di simulazione.

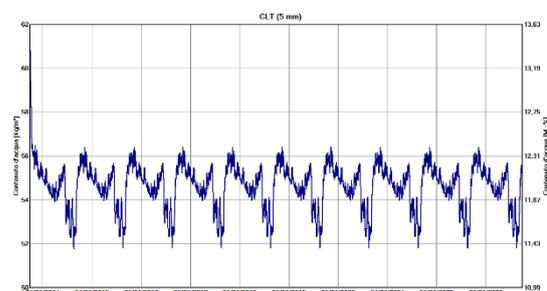


Figura 271: NV.02 - contenuto di acqua nel CLT a contatto con il pannello di lino

Il contenuto di acqua nel CLT a contatto con il pannello di lino diminuisce il primo anno di simulazione. Il massimo contenuto di acqua non aumenta nel corso dei 10 anni di simulazione.

Nel CLT l'aumento del contenuto di acqua non è dovuto ad un accumulo di umidità ma al raggiungimento, in un periodo di tempo superiore ai 3 anni, di un equilibrio dinamico con l'ambiente.

STRATO/MATERIALE	INIZIO	FINE	MIN.	MAX.
Intonaco minerale	11,05	2,68	1,13	11,05
Sughero (5 mm)	1,13	1,15	0,19	13,12
Sughero (90 mm)	1,13	0,82	0,34	1,61
Sughero (5 mm)	1,13	0,60	0,37	1,13
CLT (5 mm)	11,87	12,92	11,32	13,63
CLT (80 mm)	11,87	12,12	11,87	12,22
CLT (5 mm)	11,87	12,20	11,38	13,36
Pannello di lino (5 mm)	13,16	8,95	7,61	13,16
Pannello di lino (45 mm)	13,16	8,66	6,82	13,16
Pannello di cartongesso	0,74	0,55	0,40	0,74
Pannello di cartongesso	0,74	0,54	0,39	0,74

Figura 272: NV.02 - contenuto di acqua negli strati in % di massa (10 anni)

Il contenuto di acqua nel pannello di lino si mantiene inferiore al valore limite del 18%.

Per il sughero è necessario verificare l'andamento dell'umidità relativa.

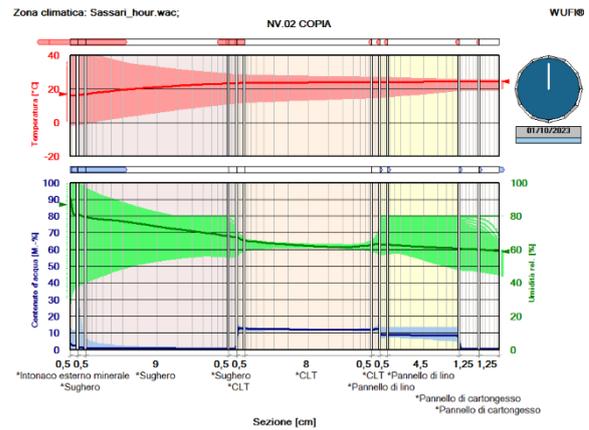
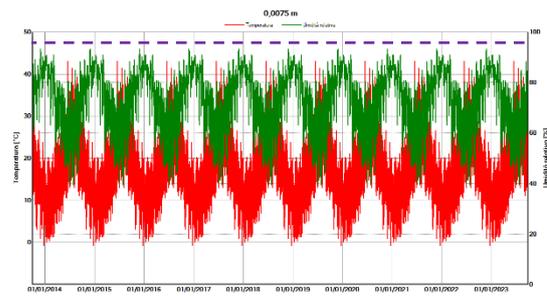


Figura 273: NV.02 - simulazione (10 anni)

Nello strato di sughero l'umidità relativa supera il 95%.



Nel sughero l'umidità relativa supera il 95% nei primi 4 giorni di simulazione.

La brevità e unicità dell'evento non creano le condizioni per la formazione di condensa interstiziale.

## 6.6 NV.03 – SASSARI – PARETE NORD

### 6.6.1 VERIFICA SUPERFICIALE

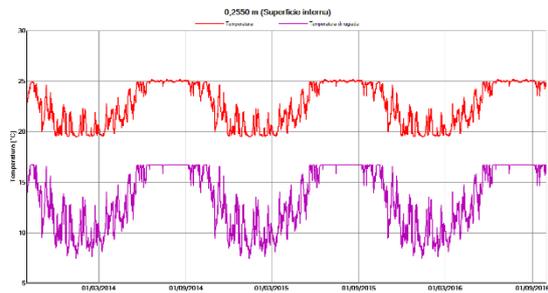


Figura 274: NV.03 - temperatura superficiale (linea rossa) e temperatura di rugiada (linea viola) sulla rasatura minerale

Nella stratigrafia non si verifica condensa superficiale in quanto la temperatura sulla rasatura minerale è sempre superiore alla temperatura di rugiada.

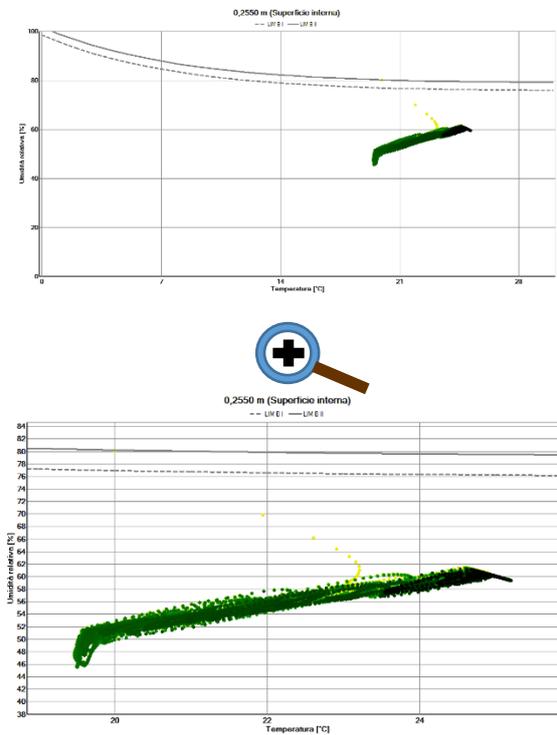


Figura 275: NV.03 - isoplete limite per la crescita microbiologica sulla rasatura minerale

La condizione termoigrometrica della rasatura minerale non supera il **LIM B II** e dunque il materiale non è interessato da una proliferazione microbiologica.

### 6.6.2 VERIFICA INTERSTIZIALE

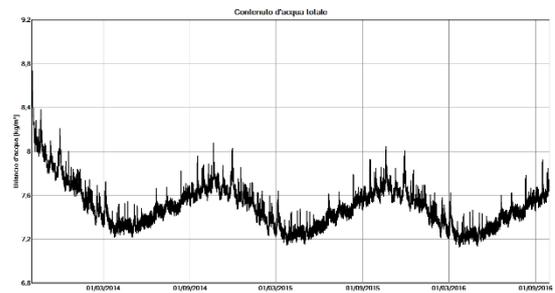


Figura 276: NV.03 - contenuto di acqua totale

Il contenuto di acqua totale non aumenta nel corso dei tre anni di simulazione.

STRATO/MATERIALE	INIZIO	FINE	MIN.	MAX.
Intonaco minerale	11,05	2,68	1,13	11,05
Sughero (5 mm)	1,13	1,14	0,19	13,19
Sughero (95 mm)	1,13	0,79	0,33	1,55
CLT (85 mm)	11,87	11,81	11,46	12,11
CLT (5 mm)	11,87	11,69	11,12	12,70
Pannello di legno-cemento (5 mm)	12,00	10,46	9,51	12,00
Pannello di legno-cemento (45 mm)	12,00	10,35	9,00	12,04
Colla e rasatura minerale	1,30	0,96	0,79	1,30

Figura 277: contenuto di acqua negli strati in % di massa

Il contenuto di acqua nel CLT è inferiore al valore limite del 20%.

Il contenuto di acqua nel pannello di legno – cemento è inferiore al valore limite del 18%.

Per il sughero è necessario verificare l'andamento dell'umidità relativa.

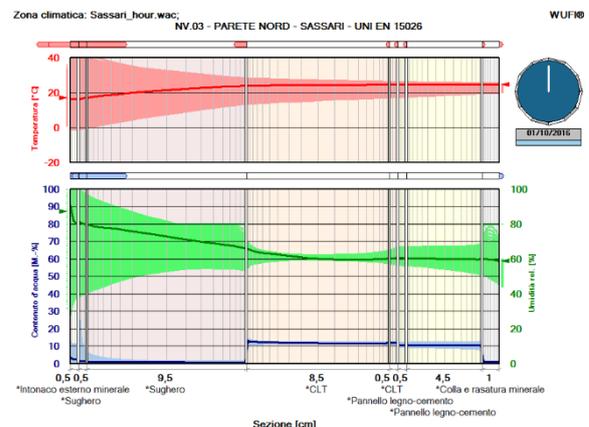


Figura 278: NV.03 – simulazione

Nello strato di sughero l'umidità relativa supera il 95%.

03/10/2013	01/12/2014	01/12/2015
19,77 kg/m <sup>3</sup>	5,52 kg/m <sup>3</sup>	5,50 kg/m <sup>3</sup>

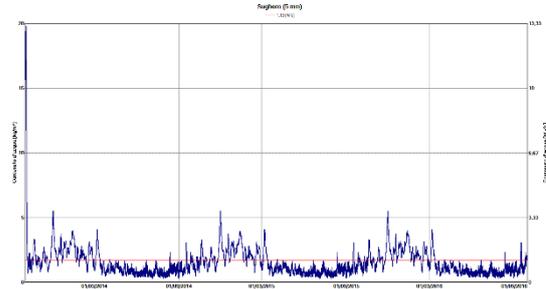


Figura 279: NV.03 - contenuto di acqua nello strato di sughero a contatto con l'intonaco minerale

Il massimo contenuto di acqua nel sughero non aumenta nel corso dei tre anni di simulazione.

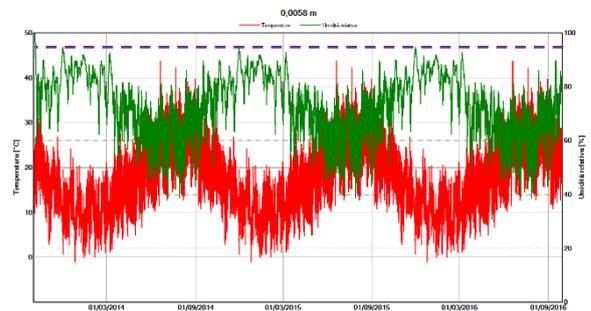


Figura 280: NV.03 - temperatura e umidità relativa nello strato di sughero a contatto con l'intonaco minerale

L'umidità relativa supera il 95% i primi 4 giorni di simulazione.

La brevità e unicità dell'evento non creano le condizioni per la formazione di condensa interstiziale.

## 6.7 NV.04 – SASSARI – PARETE NORD

### 6.7.1 VERIFICA SUPERFICIALE

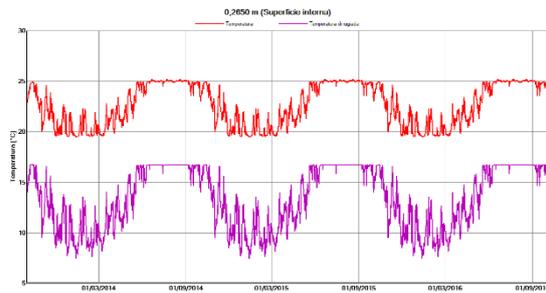


Figura 281: NV.04 - temperatura superficiale (linea rossa) e temperatura di rugiada (linea viola) sull'intonaco di argilla

Nella stratigrafia non si verifica condensa superficiale in quanto la temperatura sull'intonaco di argilla è sempre superiore alla temperatura di rugiada.

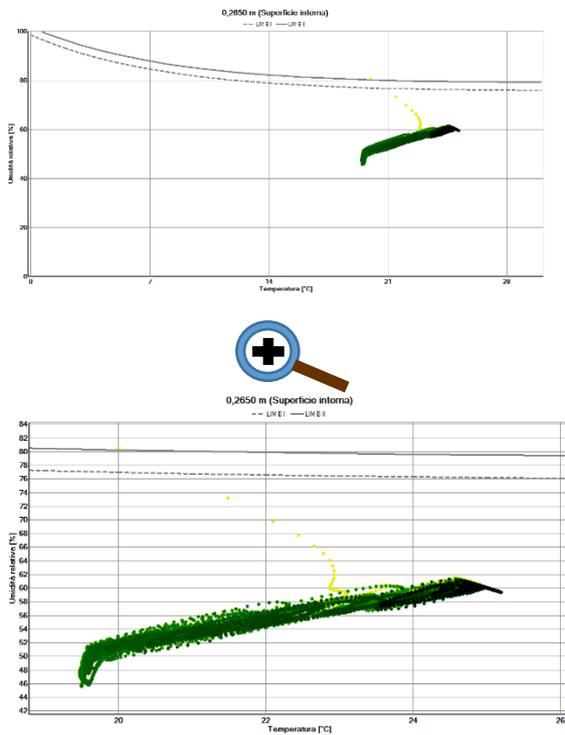


Figura 282: NV.04 - isoplete limite per la crescita microbiologica sull'intonaco di argilla

La condizione termigrometrica dell'intonaco di argilla non supera il **LIM B II** e dunque il materiale non è interessato da una proliferazione microbiologica.

### 6.7.2 VERIFICA INTERSTIZIALE

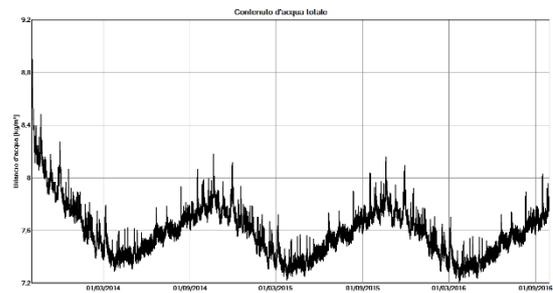


Figura 283: NV.04 - contenuto di acqua totale

Il contenuto di acqua totale non aumenta nel corso dei tre anni di simulazione.

STRATO/MATERIALE	INIZIO	FINE	MIN.	MAX.
Intonaco minerale	11,05	2,68	1,13	11,05
Sughero (5 mm)	1,13	1,14	0,19	13,17
Sughero (95 mm)	1,13	0,79	0,33	1,55
CLT (85 mm)	11,87	11,82	11,46	12,11
CLT (5 mm)	11,87	11,71	11,10	12,73
Pannello di legno-cemento (5 mm)	12,00	10,49	9,48	12,01
Pannello di legno-cemento (45 mm)	12,00	10,38	8,95	12,13
Argilla – terra cruda	1,25	0,79	0,64	1,25

Figura 284: contenuto di acqua negli strati in % di massa

Il contenuto di acqua nel CLT è inferiore al valore limite del 20%.

Il contenuto di acqua nel pannello di legno – cemento è inferiore al valore limite del 18%.

Per il sughero è necessario verificare l'andamento dell'umidità relativa.

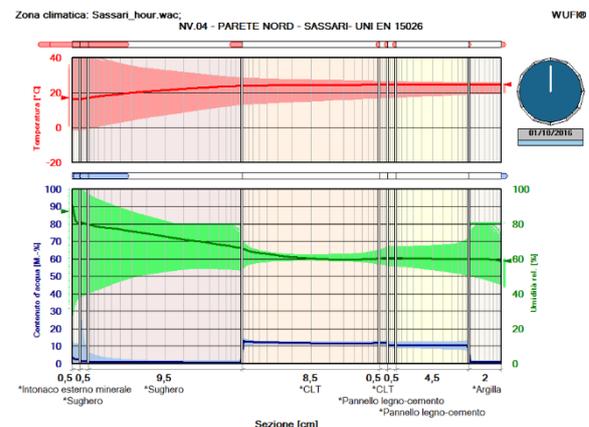


Figura 285: NV.04 - simulazione

Nello strato di sughero l'umidità relativa supera il 95%.

03/10/2013 19,76 kg/m <sup>3</sup>	01/12/2014 5,51 kg/m <sup>3</sup>	01/12/2015 5,51 kg/m <sup>3</sup>
---------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------

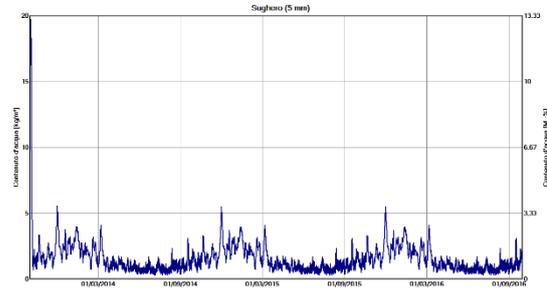


Figura 286: NV.04 - contenuto di acqua nello strato di sughero a contatto con l'intonaco minerale

Il massimo contenuto di acqua nel sughero non aumenta nel corso dei tre anni di simulazione.

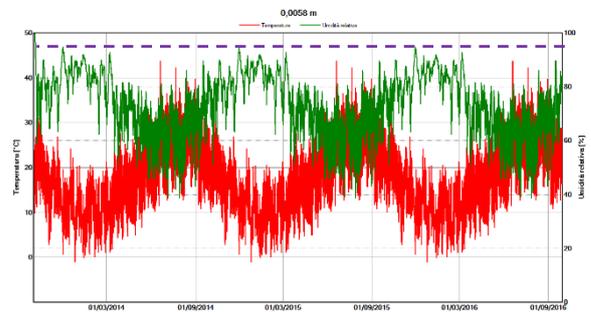


Figura 287: NV.04 - temperatura e umidità relativa nello strato di sughero a contatto con l'intonaco esterno

L'umidità relativa supera il 95% i primi quattro giorni di simulazione.

La brevità e unicità dell'evento non creano le condizioni per la formazione di condensa interstiziale.

## 6.8 V.01 – SASSARI – COPERTURA NORD

### 6.8.1 VERIFICA SUPERFICIALE

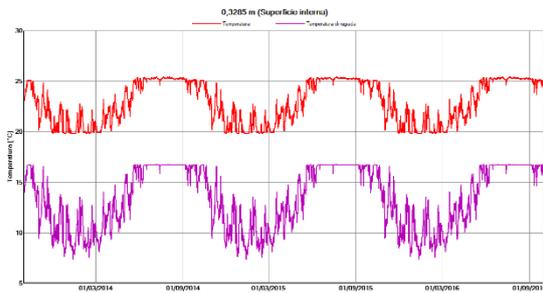


Figura 288: V.01 - temperatura superficiale (linea rossa) e temperatura di rugiada (linea viola) sul pannello di cartongesso

Nella stratigrafia non si verifica condensa superficiale in quanto la temperatura sul pannello di cartongesso è sempre superiore alla temperatura di rugiada.

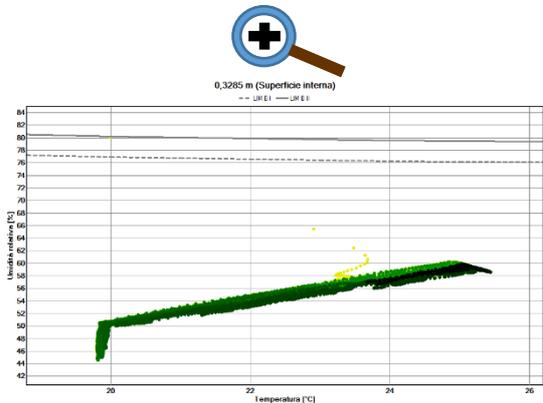
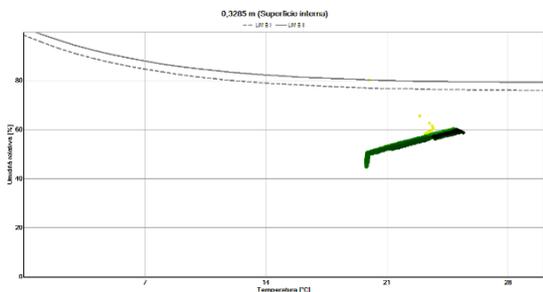


Figura 289: V.01 - isopelte limite per la crescita microbiologica sul pannello di cartongesso

La condizione termoigrometrica del cartongesso non supera il LIM B I e dunque il materiale non è interessato da una proliferazione microbiologica.

### 6.8.2 VERIFICA INTERSTIZIALE

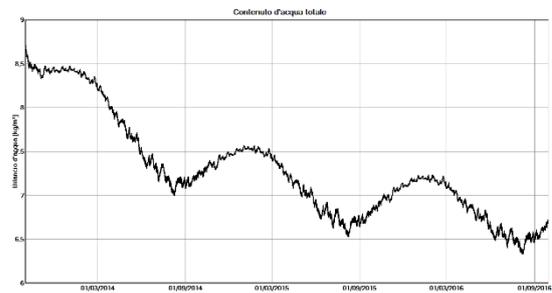


Figura 290: V.01 - contenuto di acqua totale

Il contenuto di acqua totale non aumenta nel corso dei tre anni di simulazione.

STRATO/MATERIALE	INIZIO	FINE	MIN.	MAX.
Guaina sottomanto	0,00	0,00	0,00	0,00
Tavolato in abete (20 mm)	11,87	8,26	4,56	12,75
Tavolato in abete (5 mm)	11,87	7,89	5,45	14,12
Pannello di lino (5 mm)	13,16	4,37	1,63	13,16
Pannello di lino (110 mm)	13,16	4,32	3,58	13,16
Pannello di lino (5 mm)	13,16	4,58	3,55	21,47
CLT (115 mm)	11,87	9,80	9,78	12,17
CLT (5 mm)	11,87	10,67	9,43	13,00
Pannello di lino (5 mm)	13,16	7,08	5,16	13,16
Pannello di lino (45 mm)	13,16	7,61	5,79	13,16
Pannello di cartongesso	0,74	0,54	0,39	0,74

Figura 291: contenuto di acqua negli strati in % di massa

Il contenuto di acqua nel CLT è inferiore al valore limite del 20%.

Attenzione: il contenuto di acqua nel lino a contatto con il CLT supera il valore limite del 18%.

07/10/2013	17/03/2014	17/03/2015	16/03/2016
8,16 kg/m <sup>3</sup>	6,72 kg/m <sup>3</sup>	4,84 kg/m <sup>3</sup>	4,59 kg/m <sup>3</sup>

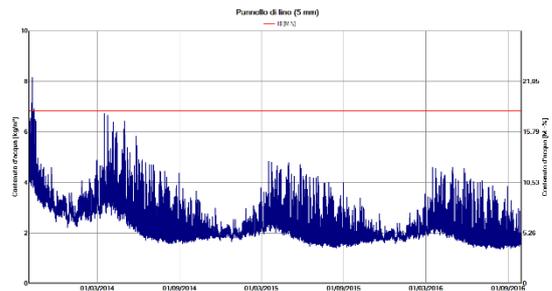


Figura 292: V.01 - contenuto di acqua nello strato di lino a contatto con il CLT

Il massimo contenuto di acqua nel lino non aumenta nel corso dei tre anni di simulazione.

Il contenuto di acqua nel lino supera il valore limite del 18% alcune ore nei seguenti giorni:

- 07/10/2013

- 08/10/2013

- 11/10/2013

La brevità e unicità dell'evento non creano le condizioni per la formazione di condensa interstiziale.

## 6.9 V.02 – SASSARI – COPERTURA NORD

### 6.9.1 VERIFICA SUPERFICIALE

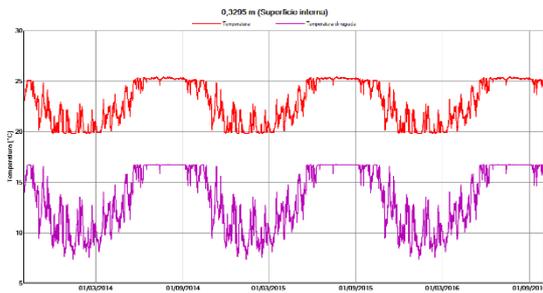


Figura 293: V.02 - temperatura superficiale (linea rossa) e temperatura di rugiada (linea viola) sul pannello di cartongesso

Nella stratigrafia non si verifica condensa superficiale in quanto la temperatura sul pannello di cartongesso è sempre superiore alla temperatura di rugiada.

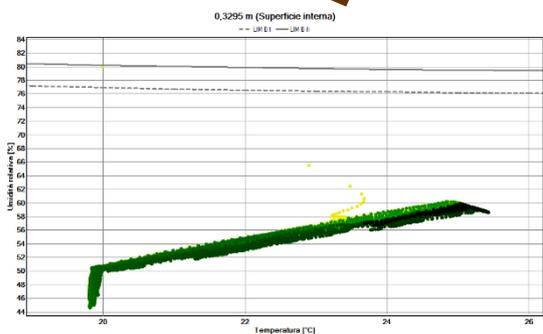
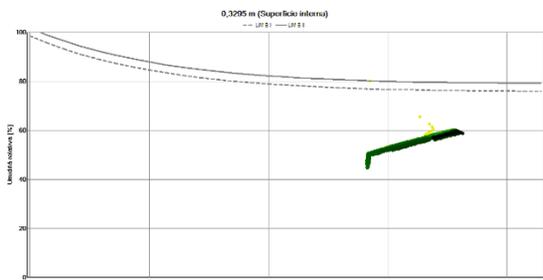


Figura 294: V.02 - isopete limite per la crescita microbiologica sul pannello di cartongesso

La condizione termoigrometrica del cartongesso non supera il LIM B I e dunque il materiale non è interessato da una proliferazione microbiologica.

### 6.9.2 VERIFICA INTERSTIZIALE

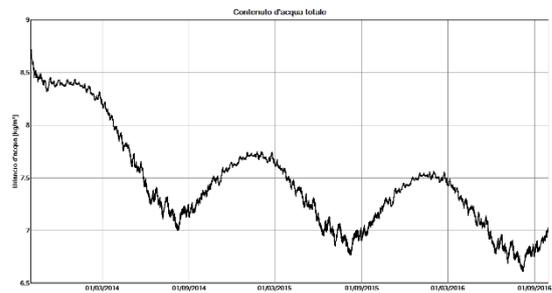


Figura 295: V.02 - contenuto di acqua totale

Il contenuto di acqua totale non aumenta nel corso dei tre anni di simulazione.

STRATO/MATERIALE	INIZIO	FINE	MIN.	MAX.
Guaina sottomanto	0,00	0,00	0,00	0,01
Tavolato in abete (20 mm)	11,87	8,08	4,54	12,71
Tavolato in abete (5 mm)	11,87	7,53	5,31	13,58
Pannello di lino (5 mm)	13,16	3,89	1,61	13,16
Pannello di lino (110 mm)	13,16	3,84	2,95	13,18
Pannello di lino (5 mm)	13,16	3,95	2,66	40,08
Barriera al vapore	0,00	0,00	0,00	0,03
CLT (5 mm)	11,87	10,41	10,35	12,00
CLT (110 mm)	11,87	10,47	10,44	11,89
CLT (5 mm)	11,87	10,70	9,47	13,00
Pannello di lino (5 mm)	13,16	7,08	5,18	13,16
Pannello di lino (45 mm)	13,16	7,61	5,79	13,16
Pannello di cartongesso	0,74	0,54	0,39	0,74

Figura 296: contenuto di acqua negli strati in % di massa

Il contenuto di acqua nel CLT è inferiore al valore limite del 20%.

Attenzione: il contenuto di acqua nel pannello di lino a contatto con la barriera a vapore supera il valore limite del 18%.

07/10/2013	01/05/2014	01/05/2015	30/04/2016
15,22 kg/m³	10,42 kg/m³	7,03 kg/m³	7,01 kg/m³

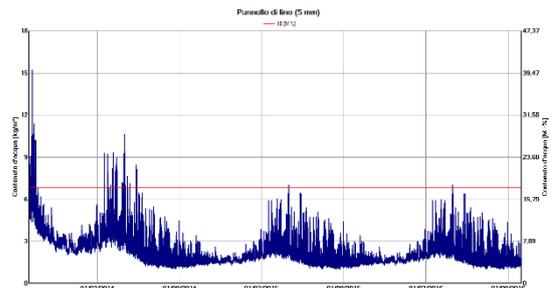


Figura 297: V.02 - contenuto di acqua nello strato di lino a contatto con la barriera al vapore

Il massimo contenuto di acqua nel lino non aumenta nel corso dei tre anni di simulazione.

Il periodo durante il quale, in maniera non continuativa, il contenuto di acqua nel lino supera il valore limite del 18% è il seguente:

- dal 01/10/2013 al 16/10/2013
- dal 17/03/2014 al 28/05/2014

Una soluzione per diminuire la durata di questi periodi è quella di utilizzare un legno con contenuto di acqua del 10,5% e un pannello di lino con contenuto di acqua del 7,5%.

In questo modo il periodo durante il quale il contenuto di acqua nel lino supera il valore limite del 18% è il seguente:

- il 07/10/2013
- dal 17/03/2014 al 28/05/2014

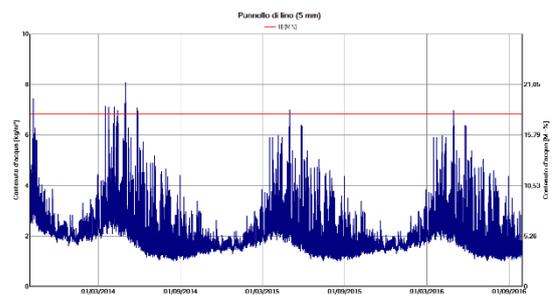


Figura 298: V.02 - contenuto di acqua nel pannello di lino a contatto con la barriera a vapore (umidità legno 10,5% - pannello di lino 7,5%)

## 6.10 V.03 – SASSARI – COPERTURA NORD

### 6.10.1 VERIFICA SUPERFICIALE

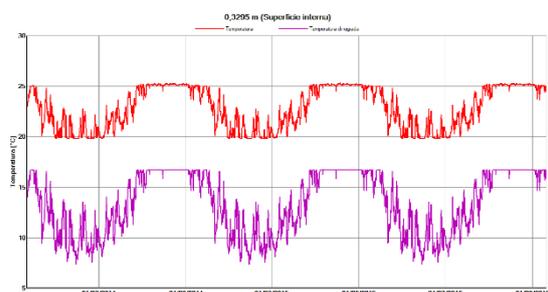


Figura 299: V.03 - temperatura superficiale (linea rossa) e temperatura di rugiada (linea viola) sul pannello di cartongesso

Nella stratigrafia non si verifica condensa superficiale in quanto la temperatura sul pannello di cartongesso è sempre superiore alla temperatura di rugiada.

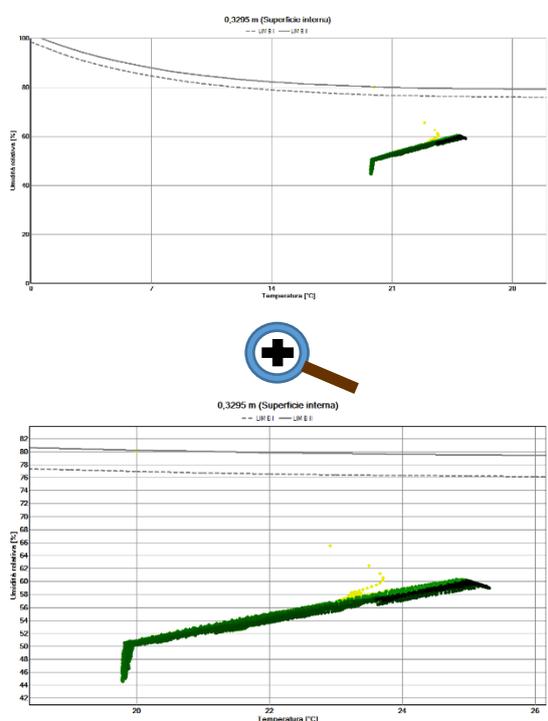


Figura 300: V.03 - isoplete limite per la crescita microbiologica sul pannello di cartongesso

La condizione termoigrometrica del cartongesso non supera il **LIM B I** e dunque il materiale non è interessato da una proliferazione microbiologica.

### 6.10.2 VERIFICA INTERSTIZIALE



Figura 301: V.03 - contenuto di acqua totale

Il contenuto di acqua totale non aumenta nel corso dei tre anni di simulazione.

STRATO/MATERIALE	INIZIO	FINE	MIN.	MAX.
Guaina sottomanto	0,00	0,00	0,00	0,01
Tavolato in abete (20 mm)	11,87	9,51	6,75	13,84
Tavolato in abete (5 mm)	11,87	9,18	7,25	15,27
Pannello di lino (5 mm)	13,16	5,63	2,66	13,32
Pannello di lino (115 mm)	13,16	5,50	5,00	13,16
CLT (115 mm)	11,87	11,09	11,14	12,08
CLT (5 mm)	11,87	11,71	11,62	12,09
Barriera al vapore	0,00	0,00	0,00	0,00
Pannello di lino (5 mm)	13,16	7,84	5,53	14,82
Pannello di lino (45 mm)	13,16	8,08	5,92	13,16
Pannello di cartongesso	0,74	0,54	0,39	0,74

Figura 302: V.03 - contenuto di acqua negli strati in % di massa

Il contenuto di acqua nel CLT è inferiore al valore limite del 20%.

Il contenuto di acqua nel pannello di lino è inferiore al valore limite del 18%.

Nella stratigrafia non si verifica condensa interstiziale.

## 6.11 V.04 – SASSARI – COPERTURA NORD

### 6.11.1 VERIFICA SUPERFICIALE

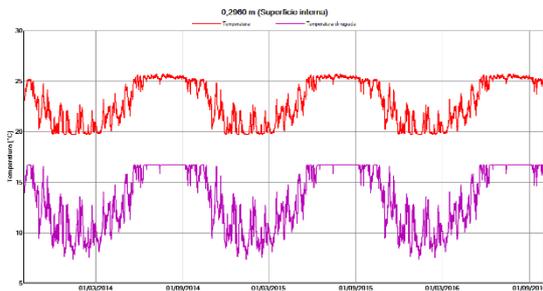


Figura 303: V.04 - temperatura superficiale (linea rossa) e temperatura di rugiada (linea viola) sul pannello di cartongesso

Nella stratigrafia non si verifica condensa superficiale in quanto la temperatura sul pannello di cartongesso è sempre superiore alla temperatura di rugiada.

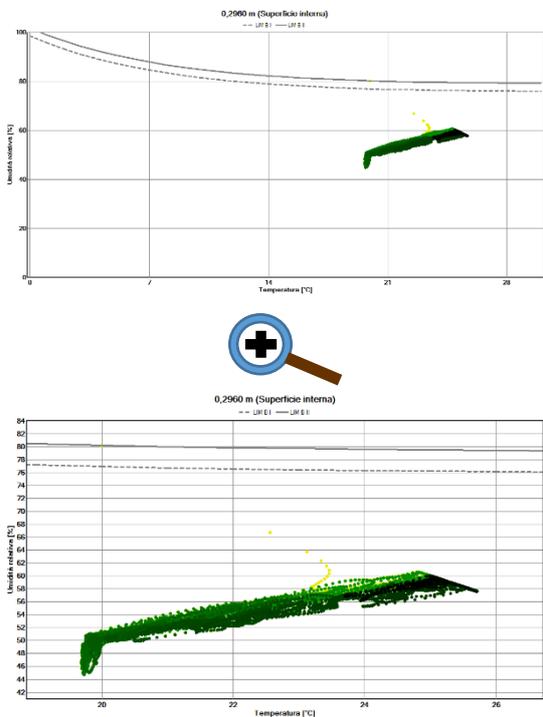


Figura 304: V.04 - isoplete limite per la crescita microbiologica sul pannello di cartongesso

La condizione termoigrometrica del cartongesso non supera il **LIM B I** e dunque il materiale non è interessato da una proliferazione microbiologica.

### 6.11.2 VERIFICA INTERSTIZIALE

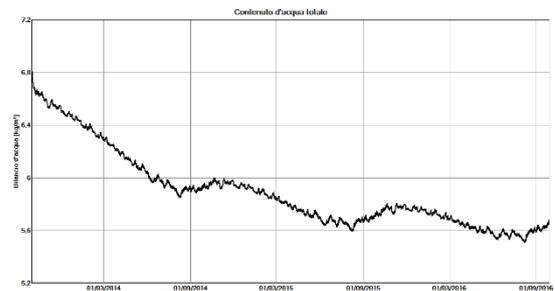


Figura 307: V.04 - contenuto di acqua totale

Il contenuto di acqua totale non aumenta nel corso dei tre anni di simulazione.

STRATO/MATERIALE	INIZIO	FINE	MIN.	MAX.
Guaina sottomanto	0,00	0,00	0,00	0,01
Sughero (5mm)	1,13	0,67	0,01	1,99
Sughero (95mm)	1,13	0,29	0,06	1,13
CLT (115 mm)	11,87	10,04	9,82	11,94
CLT (5 mm)	11,87	11,13	10,03	12,29
Strato di aria (50 mm)	0,01	0,01	0,01	0,01
Pannello di cartongesso	0,74	0,53	0,40	0,74
Pannello di cartongesso	0,74	0,53	0,39	0,74

Figura 308: contenuto di acqua negli strati in % di massa

Il contenuto di acqua nel CLT è inferiore al valore limite del 20%.

Per il sughero è necessario verificare l'andamento dell'umidità relativa.

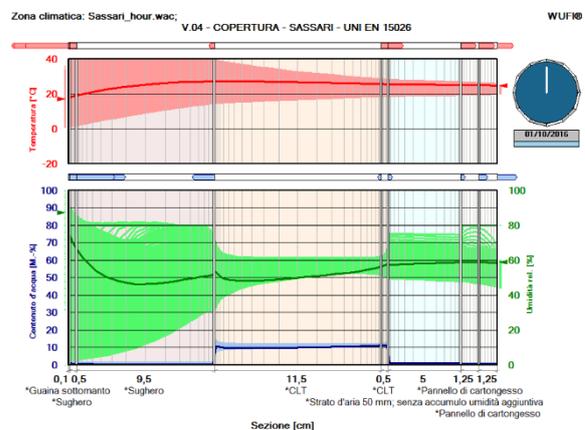


Figura 309: V.04 - simulazione

Nel sughero l'umidità relativa non supera il 95%. Nella stratigrafia non si verifica condensa interstiziale.

E' necessario verificare anche l'andamento dell'umidità relativa nei materiali a contatto con l'aria in quiete dell'intercapedine per la possibile crescita microbologica.

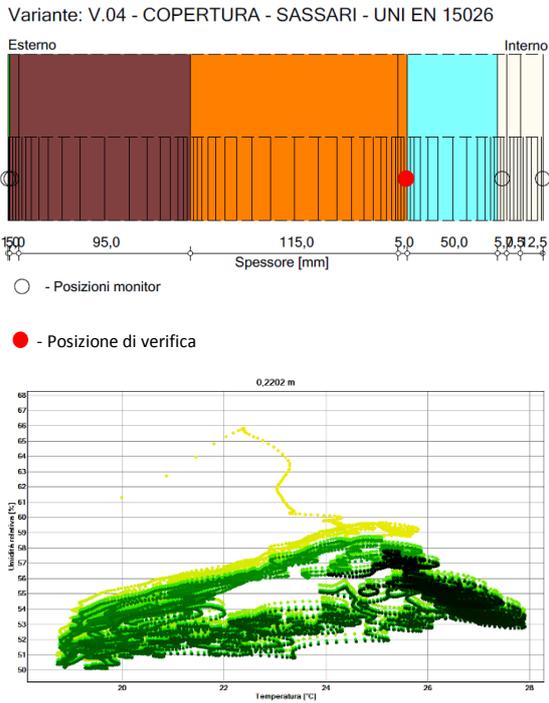
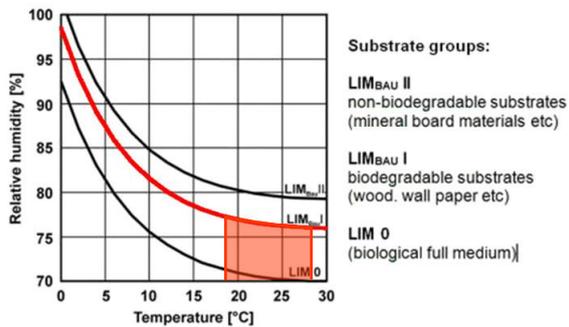


Figura 305: V.04 - temperatura e umidità relativa nello strato di CLT a contatto con l'intercapedine di aria



L'umidità relativa sulla superficie del CLT a contatto con l'intercapedine di aria non supera mai il 76%.

Le condizioni termoigrometriche non permettono la crescita microbologica.

Variante: V.04 - COPERTURA - SASSARI - UNI EN 15026

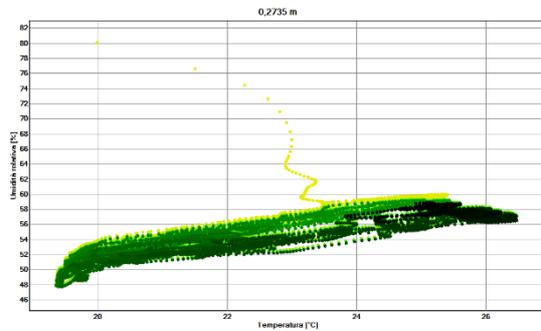
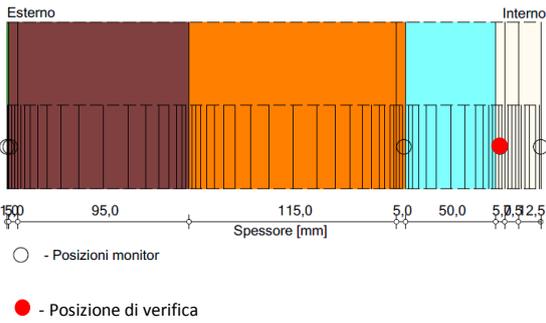
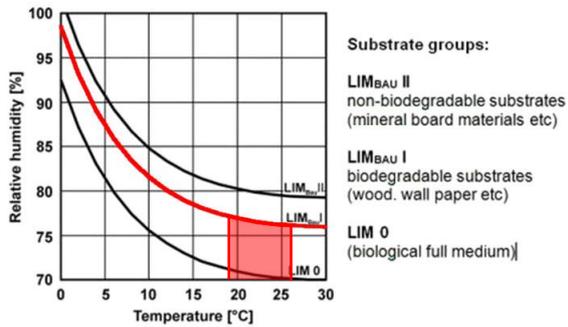


Figura 306: V.04 - temperatura e umidità relativa nel cartongesso a contatto con l'intercapedine di aria



Sulla superficie del materiale si registrano temperature comprese fra 19°C e 26°C e valori di umidità relativa compresi fra 48% e 80%.

Rispetto al **LIM B I** l'umidità relativa supera il 76% le prime due ore di simulazione.

Le condizioni non permettono la crescita microbiologica sul materiale.

## 6.12 V.05 – SASSARI – COPERTURA NORD

### 6.12.1 VERIFICA SUPERFICIALE

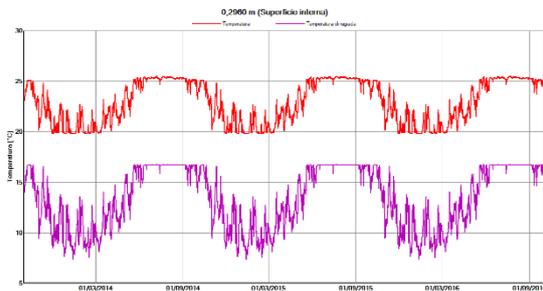


Figura 310: V.05 - temperatura superficiale (linea rossa) e temperatura di rugiada (linea viola) sul pannello di cartongesso

Nella stratigrafia non si verifica condensa superficiale in quanto la temperatura sul pannello di cartongesso è sempre superiore alla temperatura di rugiada.

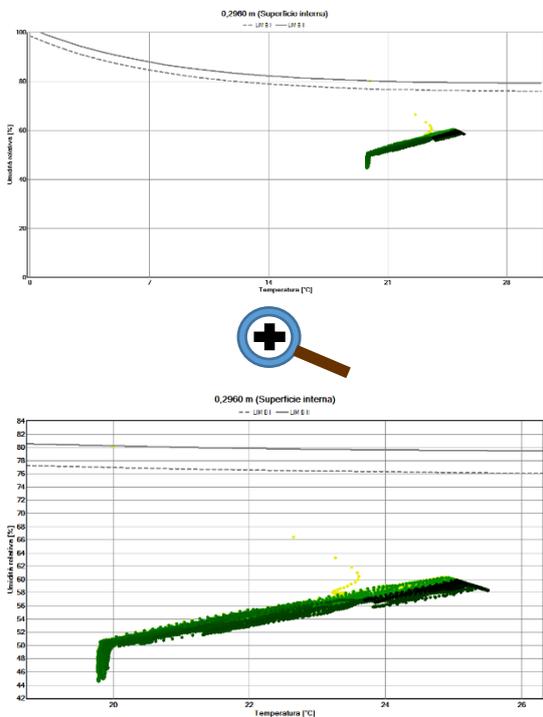


Figura 311: V.05 - isopete limite per la crescita microbologica sul pannello di cartongesso

La condizione termoigrometrica del cartongesso non supera il **LIM B I** e dunque il materiale non è interessato da una proliferazione microbologica.

### 6.12.2 VERIFICA INTERSTIZIALE

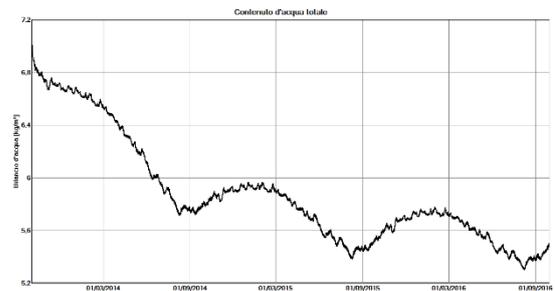


Figura 312: V.05 - contenuto di acqua totale

Il contenuto di acqua totale non aumenta nel corso dei tre anni di simulazione.

STRATO/MATERIALE	INIZIO	FINE	MIN.	MAX.
Guaina sottomanto	0,00	0,00	0,00	0,01
Sughero (5mm)	1,13	0,67	0,01	1,99
Sughero (95mm)	1,13	0,28	0,05	1,13
CLT (115 mm)	11,87	9,48	9,26	11,95
CLT (5 mm)	11,87	10,36	9,19	13,19
Pannello di lino (5 mm)	13,16	6,68	4,95	13,16
Pannello di lino (45 mm)	13,16	7,29	6,00	13,16
Pannello di cartongesso	0,74	0,53	0,40	0,74
Pannello di cartongesso	0,74	0,53	0,38	0,74

Figura 313: contenuto di acqua negli strati in % di massa

Il contenuto di acqua nel CLT è inferiore al valore limite del 20%. Il contenuto di acqua nel pannello di lino è inferiore al valore limite del 18%. Per il sughero è necessario verificare l'andamento dell'umidità relativa.

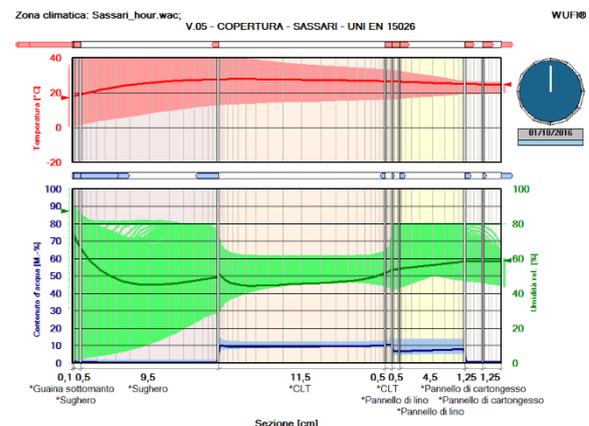


Figura 314: V.05 – simulazione

Nel sughero l'umidità relativa non supera il 95%. Nella stratigrafia non si verifica condensa interstiziale.

## 6.13 V.06 – SASSARI – COPERTURA NORD

### 6.13.1 VERIFICA SUPERFICIALE

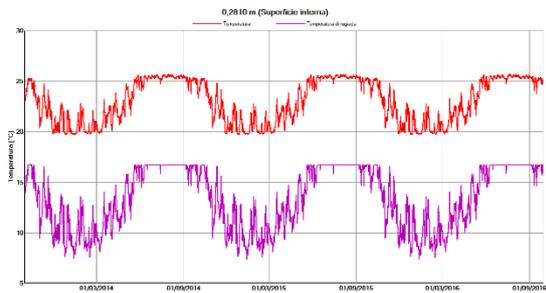


Figura 315: V.06 - temperatura superficiale (linea rossa) e temperatura di rugiada (linea viola) sulla rasatura minerale

Nella stratigrafia non si verifica condensa superficiale in quanto la temperatura sulla rasatura minerale è sempre superiore alla temperatura di rugiada.

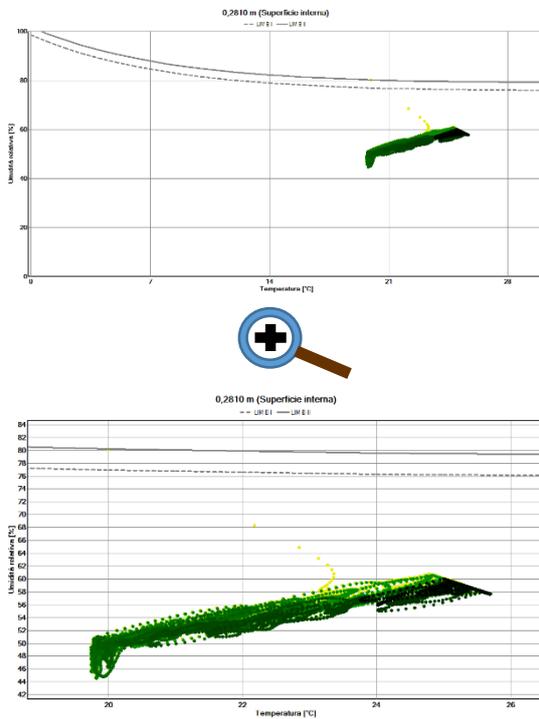


Figura 316: V.06 - isoplete limite per la crescita microbiologica sulla rasatura minerale

La condizione termoigrometrica della rasatura minerale non supera il **LIM B II** e dunque il materiale non è interessato da una proliferazione microbiologica.

### 6.13.2 VERIFICA INTERSTIZIALE

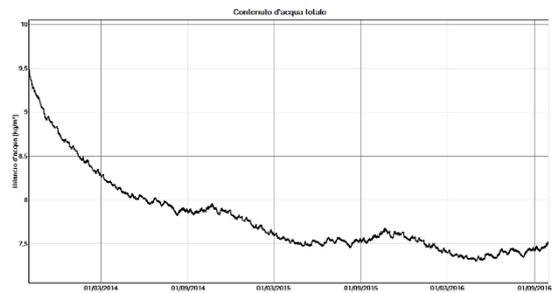


Figura 317: V.06 - contenuto di acqua totale

Il contenuto di acqua totale non aumenta nel corso dei tre anni di simulazione.

STRATO/MATERIALE	INIZIO	FINE	MIN.	MAX.
Guaina sottostante	0,00	0,00	0,00	0,01
Sughero (5mm)	1,13	0,61	0,01	1,91
Sughero (95mm)	1,13	0,23	0,05	1,13
CLT (115 mm)	11,87	9,59	9,41	11,95
CLT (5 mm)	11,87	10,36	9,91	12,46
Pannello di legno-cemento (5 mm)	12,00	8,81	7,99	12,00
Pannello di legno-cemento (45 mm)	12,00	9,32	8,29	12,04
Rasatura minerale	1,30	0,94	0,77	1,30

Figura 318: contenuto di acqua negli strati in % di massa

Il contenuto di acqua nel CLT è inferiore al valore limite del 20%.

Il contenuto di acqua nel pannello di legno – cemento è inferiore al valore limite del 18%.

Per il sughero è necessario verificare l'andamento dell'umidità relativa.

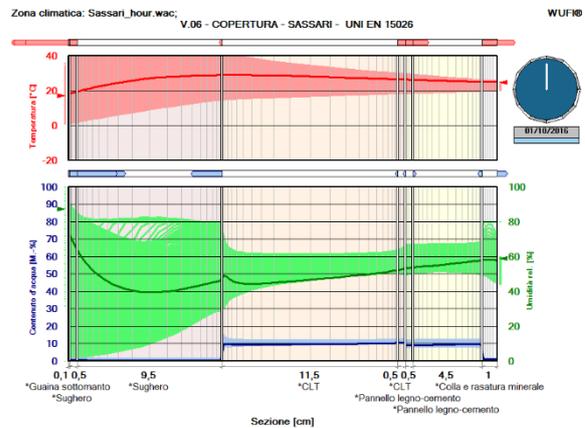


Figura 319: V.06 – simulazione

Nel sughero l'umidità relativa non supera il 95%.

Nella stratigrafia non si verifica condensa interstiziale.

## 6.14 V.07 – SASSARI – COPERTURA NORD

### 6.14.1 VERIFICA SUPERFICIALE

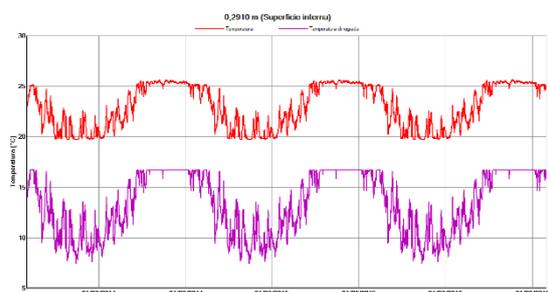


Figura 320: V.07 - temperatura superficiale (linea rossa) e temperatura di rugiada (linea viola) sull'intonaco di argilla

Nella stratigrafia non si verifica condensa superficiale in quanto la temperatura sull'intonaco di argilla è sempre superiore alla temperatura di rugiada.

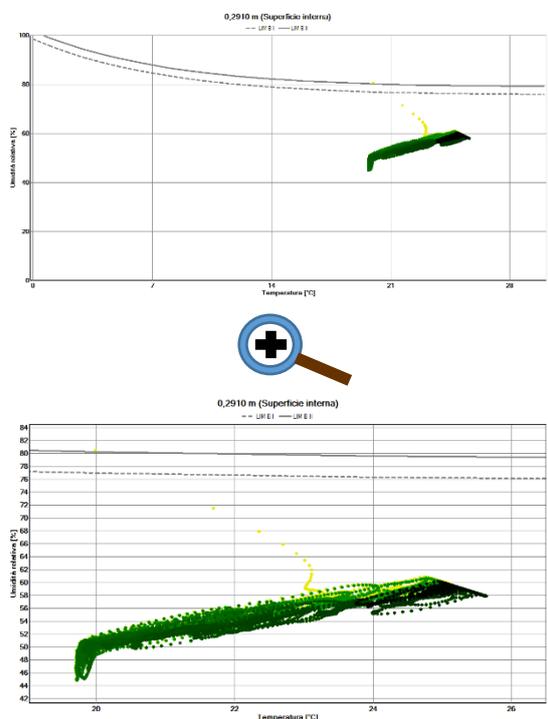


Figura 321: V.07 - isoplete limite per la crescita microbiologica sull'intonaco di argilla

La condizione termoigrometrica dell'intonaco di argilla non supera il **LIM B II** e dunque il materiale non è interessato da una proliferazione microbiologica.

### 6.14.2 VERIFICA INTERSTIZIALE

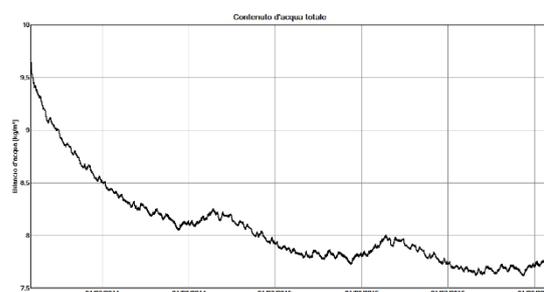


Figura 322: V.07 - contenuto di acqua totale

Il contenuto di acqua totale non aumenta nel corso dei tre anni di simulazione.

STRATO/MATERIALE	INIZIO	FINE	MIN.	MAX.
Guaina sottomanto	0,00	0,00	0,00	0,01
Sughero (5mm)	1,13	0,67	0,01	1,99
Sughero (95mm)	1,13	0,29	0,05	1,13
CLT (115 mm)	11,87	9,87	9,69	11,94
CLT (5 mm)	11,87	10,61	10,15	12,53
Pannello di legno-cemento (5 mm)	12,00	9,13	8,29	12,00
Pannello di legno-cemento (45 mm)	12,00	9,52	8,45	12,13
Argilla – terra cruda	1,25	0,77	0,63	1,25

Figura 323: V.07 - contenuto di acqua negli strati in % di massa

Il contenuto di acqua nel CLT è inferiore al valore limite del 20%.

Il contenuto di acqua nel pannello di legno – cemento è inferiore al valore limite del 18%.

Per il sughero è necessario verificare l'andamento dell'umidità relativa.

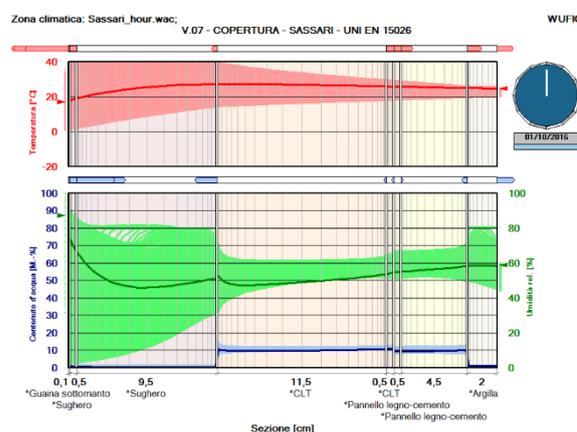


Figura 324: V.07 - simulazione

Nel sughero l'umidità relativa non supera il 95%.

Nella stratigrafia non si verifica condensa interstiziale.

Le simulazioni dinamiche dimostrano che le stratigrafie proposte non presentano problemi di condensa superficiale e interstiziale e che le condizioni termoigrometriche sui materiali non permettono la crescita microbiologica.

Laddove il contenuto di acqua nei materiali supera il valore limite è possibile intervenire in fase progettuale indicando, da capitolato, un contenuto di acqua iniziale inferiore.

## 7 PROGETTO DI UN EDIFICIO UNIFAMILIARE

La seconda parte della ricerca prevede lo studio di un edificio unifamiliare e di un edificio a schiera realizzati in CLT nelle condizioni climatiche della Sardegna.

Il progetto degli edifici inizia con una “**proposta base**” che rispetta i dettami del D.Lgs. 192/2005 e s.m.i.. I vari passaggi progettuali sono finalizzati a migliorare le prestazioni energetiche dell’edificio e il grado di comfort degli occupanti. Lo studio riguarda solo l’involucro edilizio e vengono ipotizzate strategie progettuali “passive”.

L’obiettivo è capire quali parametri influenzano maggiormente i fabbisogni termici dell’edificio e in quale misura.

Le quattro città della Sardegna hanno le seguenti caratteristiche climatiche:

	ALTEZZA SUL LIVELLO DEL MARE [m]	LATITUDINE [gradi decimali]	LONGITUDINE [gradi decimali]	ZONA CLIMATICA	GRADI GIORNO INVERNALI	IRRADIANZA* [W/m <sup>2</sup> ]
CAGLIARI	6	39,2236	9,1181	C	990	315,86
ORISTANO	9	39,9035	8,5958	C	1059	319,33
NUORO	549	40,3221	9,3307	D	1602	323,96
SASSARI	225	40,7306	8,5519	C	1185	325,11

\* Valore medio mensile dell’IRRADIANZA SUL PIANO ORIZZONTALE nel mese di massima insolazione

La simulazione energetica degli edifici è stata effettuata con il software ProCasaclima 2013.

Il software ProCasaClima 2013 è un programma di calcolo dell’Agenzia CasaClima per la valutazione dei principali fabbisogni energetici di un edificio: riscaldamento, raffrescamento, acqua calda sanitaria e illuminazione. Viene utilizzato sia per la certificazione energetica degli edifici che per la progettazione.

Il software, che si presenta come un tool di calcolo su base Excel, utilizza i seguenti algoritmi di calcolo:

- Valutazione dello scambio di calore con il terreno (secondo UNI EN ISO 13370);
- Efficacia della ventilazione naturale (UNI EN ISO 13791);
- Valutazione del livello ottimale delle prestazioni energetiche, dei costi di installazione, manutenzione ed esercizio del sistema involucro-impianti (UNI EN 15459);
- Simulazione dinamica dell’edificio senza raffrescamento attivo e deumidificazione per valutare il livello di comfort indoor estivo (UNI EN 15251).

Il software ProCasaClima 2013 non è un simulatore di calcolo dinamico a discretizzazione oraria, tuttavia fornisce le caratteristiche termiche dinamiche individuate dalla UNI EN ISO 13786 per valutare la prestazione estiva dell’edificio.

Il software restituisce un calcolo dinamico del comfort termico in free-running, secondo la norma UNI EN 15251, indispensabile per verificare il surriscaldamento estivo degli ambienti.

La Direttiva 2010/31/UE recita al comma 25:

*“Negli ultimi anni si osserva una crescente proliferazione degli impianti di condizionamento dell’aria nei paesi europei. Ciò pone gravi problemi di carico massimo, che comportano un aumento del costo dell’energia elettrica e uno squilibrio del bilancio energetico. Dovrebbe essere accordata priorità alle strategie che contribuiscono a migliorare la prestazione termica degli edifici durante il periodo estivo. A tal fine, occorrerebbe concentrarsi sulle misure che evitano il surriscaldamento, come l’ombreggiamento e una sufficiente capacità termica dell’opera edilizia, nonché sull’ulteriore sviluppo e applicazione delle tecniche di rinfrescamento passivo, soprattutto quelle che contribuiscono a migliorare le condizioni climatiche interne e il microclima intorno agli edifici”.*

E ancora al comma 9:

*“Le misure per l’ulteriore miglioramento della prestazione energetica degli edifici dovrebbero tenere conto delle condizioni climatiche e locali, nonché dell’ambiente termico interno e dell’efficacia sotto il profilo dei costi”.*

Alla luce di queste prescrizioni la ricerca affronta e indaga:

- Il tema delle costruzioni in legno in un clima caldo (problemi termo-igrometrici delle strutture);
- Il problema del surriscaldamento estivo nelle condizioni climatiche della Sardegna;
- Il comfort termico e le soluzioni progettuali per limitare l’uso di sistemi meccanici di riscaldamento e di raffrescamento.

## 8 LA NORMATIVA PER GLI EDIFICI DI NUOVA COSTRUZIONE

Il D.P.R. 2 aprile 2009 n.59 “Regolamento di attuazione dell'articolo 4, comma 1, lettere a) e b), del Decreto Legislativo 19 agosto 2005, n. 192, concernente attuazione della direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico in edilizia” (GU n.132 del 10-6-2009) prevede, insieme al D.Lgs. 3 marzo 2011 n.28 “Attuazione della direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE”, **le seguenti verifiche per gli edifici di nuova costruzione:**

**1) Articolo 4 c.2:** verificare che l'Ep<sub>i</sub> sia inferiore ai valori limite riportati nelle tabelle di cui al punto 1 dell'Allegato C;

Rapporto di forma dell'edificio (S/V)	Zona climatica									
	A	B		C		D		E		F
	<i>fino a</i> 600 GG	<i>a</i> 601 GG	<i>a</i> 900 GG	<i>a</i> 901 GG	<i>a</i> 1400 GG	<i>a</i> 1401 GG	<i>a</i> 2100 GG	<i>a</i> 2101 GG	<i>a</i> 3000 GG	<i>oltre</i> 3000 GG
≤ 0,2	8,5	8,5	12,8	12,8	21,3	21,3	34	34	46,8	46,8
≥ 0,9	36	36	48	48	68	68	88	88	116	116

Tabella 2: I valori limite dell'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale espressi in kWh/m<sup>2</sup>anno applicabili dal 1 gennaio 2010 per gli edifici residenziali

a) S, espressa in metri quadrati, è la superficie che delimita verso l'esterno (ovvero verso ambienti dotati di impianto di riscaldamento), il volume riscaldato V;

b) V è il volume lordo, espresso in metri cubi, delle parti di edificio riscaldate, definito dalle superfici che lo delimitano.

Per valori di S/V compresi nell'intervallo 0,2 - 0,9 e, analogamente, per gradi giorno (GG) intermedi ai limiti delle zone climatiche riportati in tabella si procede mediante interpolazione lineare.

**2) Articolo 4 c.3:** verificare che l'Ep<sub>e,inv</sub> sia inferiore ai valori limite riportati dall'art.4 comma 3;

a) per gli edifici residenziali di cui alla classe E1, così come classificati, in base alla destinazione d'uso, all'articolo 3, del decreto del Presidente della Repubblica 26 agosto 1993, n. 412, esclusi collegi, conventi, case di pena e caserme, ai seguenti valori:

- 40 kWh/m<sup>2</sup> anno nelle zone climatiche A e B;
- 30 kWh/m<sup>2</sup> anno nelle zone climatiche C, D, E, e F;

b) per tutti gli altri edifici ai seguenti valori:

- 14 kWh/m<sup>3</sup> anno nelle zone climatiche A e B;
- 10 kWh/m<sup>3</sup> anno nelle zone climatiche C, D, E, e F.

**3) Articolo 4, comma 18**

Per tutte le categorie di edifici, esclusi E.5, E.6, E.7, E.8, verificare in tutte le zone (eccetto la F), per le località dove il valore medio mensile dell'irradianza sul piano orizzontale nel mese di massima insolazione estiva sia maggiore o uguale a  $290 \text{ W/m}^2$ :

- a) per pareti opache verticali (eccetto NO/N/NE) almeno una delle seguenti verifiche:
  - Massa superficiale,  $M_s$  sia superiore a  $230 \text{ kg/m}^2$ ;
  - Il modulo della trasmittanza termica periodica,  $Y_{TE}$  sia inferiore a  $0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$ ;
- b) pareti opache orizzontali e inclinate:
  - Il modulo della trasmittanza termica periodica,  $Y_{TE}$  sia inferiore a  $0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ ;

Il progettista per la limitazione dei fabbisogni per la climatizzazione estiva e per il contenimento della temperatura interna negli ambienti: valuta puntualmente e documenta l'efficacia dei sistemi schermanti delle superfici vetrate, esterni o interni, tali da ridurre l'apporto di calore per irraggiamento solare; utilizza al meglio le condizioni ambientali esterne e le caratteristiche distributive degli spazi per favorire la ventilazione naturale dell'edificio; adotta sistemi di ventilazione meccanica controllata nel caso non sia efficace lo sfruttamento della ventilazione naturale.

#### **4) Articolo 4, comma 16**

Per tutti gli edifici, (esclusi E.8), in zona climatica C, D, E, F, il valore della trasmittanza delle strutture edilizie di separazione deve essere inferiore a  $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ , nel caso di pareti divisorie verticali e orizzontali. Il medesimo limite deve essere rispettato per tutte le strutture opache, verticali, orizzontali e inclinate, che delimitano verso l'ambiente esterno gli ambienti non dotati di impianto di riscaldamento.

#### **5) Articolo 4, comma 17**

Per tutti gli edifici, (esclusi E.8), si procede alla verifica dell'assenza di condensazioni superficiali e che le condensazioni interstiziali delle pareti opache siano limitate alla quantità rievaporabile.

#### **6) Articolo 4, comma 19**

Per tutti gli edifici, (esclusi E.6 e E.8), è obbligatoria la presenza di sistemi schermanti esterni. Qualora se ne dimostri la non convenienza in termini tecnico economici detti sistemi possono essere omessi in presenza di superfici vetrate con fattore solare  $\leq 0,5$ .

#### **7) Articolo 4, comma 21**

Per tutti gli edifici e gli impianti nuovi o ristrutturati è prescritta l'installazione di dispositivi per la regolazione automatica della temperatura ambiente nei singoli locali/singole zone aventi caratteristiche di uso ed esposizioni uniformi.

#### **8) D.Lgs. 28/11 Art. 11, abrogati commi 22 e 23 D.P.R. 59/2009**

Gli impianti di produzione di energia termica devono garantire il rispetto della copertura, tramite il ricorso a fonti rinnovabili, di:

- a.  $50\% EP_{acs}$  e  $20\% (EP_i + EP_e + EP_{acs})$  dal 31/05/2012 al 31/12/2013
- b.  $50\% EP_{acs}$  e  $35\% (EP_i + EP_e + EP_{acs})$  dal 01/01/2014 al 31/12/2016

c. 50% EP<sub>acs</sub> e 50% (EP<sub>i</sub> + EP<sub>e</sub>+ EP<sub>acs</sub>) dal 01/01/2017

Tale limite è ridotto del 50% per edifici situati nei centri storici. Vengono esclusi gli edifici allacciati ad una rete di teleriscaldamento che copre interamente EP<sub>i</sub> e EP<sub>acs</sub>.

Nota: gli obblighi di cui sopra non possono essere assolti tramite impianti da fonti rinnovabili che producano esclusivamente energia elettrica la quale alimenti, a sua volta, dispositivi o impianti per la produzione di acqua calda sanitaria, il riscaldamento e il raffrescamento. L'inosservanza dell'obbligo comporta il diniego del rilascio del titolo edilizio. Per gli edifici nei quali si riscontra l'impossibilità tecnica di rispettare quanto sopra è fatto obbligo di rispettare quanto riportato all'allegato 3 del D.Lgs. 28/2011.

#### **9) D.Lgs. 28/11 Art. 11, abrogati commi 22 e 23 D.P.R. 59/2009**

È obbligatoria l'installazione di impianti alimentati da fonti rinnovabili installati sopra o all'interno dell'edificio o nelle relative pertinenze, di potenza elettrica [kW]:

$$P = \frac{1}{K} S$$

Dove S è la superficie in pianta dell'edificio al livello del terreno, misurata in m<sup>2</sup>, e K è un coefficiente (m<sup>2</sup>/kW) che assume i seguenti valori:

a. K = 80 dal 31/05/2012 al 31/12/2013

b. K = 65 dal 01/01/2014 al 31/12/2016

c. K = 50 dal 01/01/2017

Nota: in caso di utilizzo di pannelli solari termici o fotovoltaici disposti sui tetti degli edifici, i predetti componenti devono essere aderenti o integrati nei tetti medesimi, con la stessa inclinazione e lo stesso orientamento della falda. Gli obblighi precedenti sono incrementati del 10% per gli edifici pubblici.

L'inosservanza dell'obbligo comporta il diniego del rilascio del titolo edilizio. Per gli edifici nei quali si riscontra l'impossibilità tecnica di rispettare quanto sopra è fatto obbligo di rispettare quanto riportato all'allegato 3 del D.Lgs. 28/2011.

#### **10) Articolo 4, comma 24**

Obbligo di predisposizione delle opere necessarie a favorire il collegamento a reti di teleriscaldamento di tratti di rete ad una distanza inferiore a 1000 metri o in presenza di progetti approvati per la realizzazione di tale rete.

#### **11) Articolo 4, comma 5**

Verificare:

- Rendimento globale medio stagionale ( $\eta_g$ )  $\geq (75 + 3 \log P_n)\%$  se  $P_n < 1000$  kW
- Rendimento globale medio stagionale ( $\eta_g$ )  $\geq 84\%$  se  $P_n \geq 1000$  kW

Dove  $\log P_n$  è il logaritmo in base 10 della potenza utile nominale del generatore o dei generatori di calore al servizio del singolo impianto termico, espressa in kW.

#### **12) Articolo 4, comma 13**

Per tutte le tipologie di edifici, in cui è prevista l'installazione di impianti di climatizzazione invernale dotati di generatori di calore alimentati da biomasse combustibili, in sede progettuale si procede alla verifica che la trasmittanza termica delle diverse strutture edilizie, opache e trasparenti, che delimitano l'edificio verso l'esterno o verso vani non riscaldati, non sia maggiore dei valori definiti nelle pertinenti tabelle dell'Allegato C.

### **13) Articolo 4, comma 14**

Sono prescritti, fermo restando quanto indicato dall'art.5 comma 6 del DPR 412/93 per gli impianti di potenza complessiva  $\geq 350$  kW all'articolo 5:

- un trattamento chimico di condizionamento per impianti di potenza nominale del focolare complessiva  $\leq 100$  kW;
- un trattamento di addolcimento per impianti di potenza nominale del focolare complessiva compresa tra 100 e 350 kW;

Tali indicazioni valgono:

- in assenza di produzione di ACS e in presenza di acqua di alimentazione dell'impianto con durezza temporanea  $\geq 25$  °f;
- in caso di produzione di ACS in presenza di acqua di alimentazione dell'impianto con durezza temporanea  $> 15$  °f

Per quanto riguarda i predetti trattamenti si fa riferimento alla norma tecnica UNI 8065.

## 9 IL COMPORTAMENTO ESTIVO DEGLI EDIFICI

Lo studio del comportamento invernale degli edifici in Italia è semplificato attraverso l'uso di modelli di calcolo in regime **statico o stazionario**.

Il modello di calcolo stazionario trascura il fattore "tempo" e semplifica le reali condizioni climatiche.

Si presuppone che, durante tutto il periodo di riscaldamento, l'ambiente esterno abbia una temperatura più bassa di quella interna.

La normativa di riferimento è rappresentata dalle Specifiche Tecniche delle UNI TS 11300 che utilizzano delle formule semplificate applicate a dei momenti statici espressi, dal punto di vista climatico, attraverso valori medi mensili.

In estate l'edificio è sottoposto a condizioni climatiche molto variabili.

Si parla infatti di **regime dinamico o transitorio**, dovuto a diversi fattori:

- La radiazione solare gioca un ruolo preponderante e gli apporti solari sono uno dei carichi termici più pesanti in estate per il comfort delle abitazioni;
- Le fluttuazioni termiche sono più accentuate con escursioni termiche giornaliere fra notte e giorno che possono arrivare anche a 15°C in alcune località;
- In estate l'irraggiamento è molto diverso a seconda delle ore del giorno e a seconda dell'orientamento geografico. All'interno degli edifici le stanze orientate diversamente hanno anche diversi carichi termici, fatto legato ancora di più al numero delle aperture finestrate, alla tipologia di serramenti esterni e alla presenza o meno di schermature e ombreggiamenti;
- In estate anche i carichi interni giocano un ruolo importante e sono da tenere in considerazione sia i carichi interni sensibili che latenti. L'aria esterna in estate, in quanto più calda e con un contenuto più elevato di vapore, ha un'umidità maggiore di quella degli ambienti interni.  
Questo significa che in estate il comfort termico si raggiunge andando ad intervenire anche sull'umidità dell'aria.

In estate dunque il fattore "tempo" non può essere trascurato perché la capacità di accumulo dell'edificio varia istante per istante e influisce sulla richiesta di fabbisogno per il raffrescamento.

E' necessario dunque conoscere non solo i valori climatici mensili, ma per un calcolo accurato, l'andamento orario delle temperature esterne, l'andamento orario delle sollecitazioni solari sull'involucro edilizio, la presenza di venti, la capacità di accumulo dell'involucro edilizio.

La normativa Italiana prevede il calcolo dinamico nei seguenti casi:

Art.27 del D.P.R. 59/2009: *"Nel calcolo rigoroso della prestazione energetica dell'edificio occorre prendere in considerazione i seguenti elementi:*

- [...]

- o) per gli edifici di nuova costruzione del settore terziario con volumetria maggiore di 10.000 mc, l'influenza dei fenomeni dinamici, attraverso l'uso di opportuni modelli di simulazione, salvo che si possa dimostrare la scarsa rilevanza di tali fenomeni nel caso specifico.

La normativa dunque non obbliga il progettista ad effettuare un calcolo dinamico per gli edifici residenziali.

L'aspetto dinamico è risolto nel presente studio con la valutazione del comfort interno degli abitanti secondo la norma UNI EN 15251.

La norma UNI EN 15251, nell'**Allegato F "Long term evaluation of the general thermal comfort conditions"**, considera 3 metodi per la valutazione del comfort termico di lungo periodo, per un totale di 5 possibilità di valutazione:

- METODO A: la percentuale fuori dall'intervallo di comfort (nelle due varianti: Fanger e Adattivo)
- METODO B: il criterio dei gradi giorno (nelle due varianti: Fanger e Adattivo)
- METODO C: il criterio del PPD pesato (Predicted Percentage of Dissatisfied – Percentuale prevista di insoddisfatti - nell'unica variante di Fanger).

Il software ProCasaClima prende in considerazione il **METODO A nella variante Adattiva**.

Secondo la teoria del Comfort Adattivo, proposta da Humphrey e Nicols, quando interviene un cambiamento del microclima che causa una sensazione di discomfort, le persone reagiscono in un modo che tende a ripristinare la sensazione di comfort, ossia si adattano alle condizioni climatiche interne all'edificio in modo da migliorare la propria percezione di benessere sia con meccanismi di tipo involontario sia volontario.

Questa teoria viene applicata nel software ProCasaClima utilizzando e in parte modificando il metodo di calcolo della temperatura operativa interna.

La temperatura operativa o operante è la temperatura uniforme di una cavità nera fittizia nella quale un occupante scambierebbe per irraggiamento e convezione la stessa quantità di energia che scambia nell'ambiente reale non uniforme (definizione della UNI EN ISO 7730:2006 – Ergonomia degli ambienti termici – Determinazione analitica e interpretazione del benessere termico mediante il calcolo degli indici PMV e PPD e dei criteri di benessere termico locale).

La temperatura operativa viene calcolata secondo le indicazioni della UNI EN 13791 – Prestazione termica degli edifici – Calcolo della temperatura interna estiva di un locale in assenza di impianti di climatizzazione – Criteri generali e procedure di validazione (*la norma specifica le assunzioni, le condizioni al contorno, le equazioni e le modalità di validazione per le procedure di calcolo, in regime transitorio orario, della temperatura interna estiva (dell'aria e operante), di un singolo locale in cui non siano in funzione impianti di raffrescamento/riscaldamento. La norma non impone tecniche numeriche specifiche*) e della UNI EN 13792 - Prestazione termica degli edifici – Calcolo della temperatura interna estiva di un locale in assenza di impianti di climatizzazione – Metodi semplificati (*la norma specifica i dati di input dei metodi di calcolo*

semplificati per determinare i valori giornalieri massimi, medi e minimi della temperatura operante di un locale, in assenza di impianti di climatizzazione).

Il paragrafo A.2 della UNI EN 15251 descrive le temperature operative interne estive “accettabili” per edifici privi di sistemi di raffrescamento meccanici.

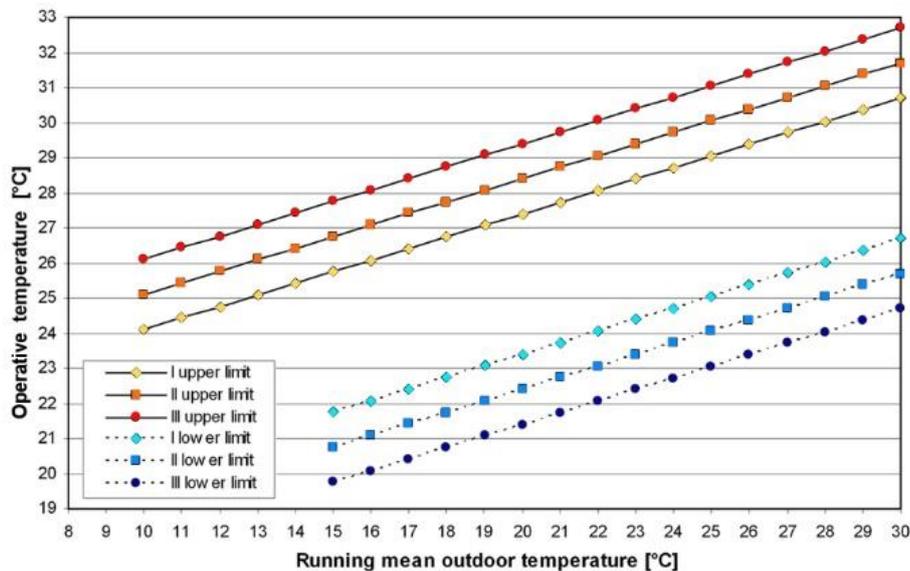


Figura 325: Valori di progetto per le temperature operative interne per edifici privi di sistemi di raffrescamento meccanico – Allegato A.2 UNI EN 15251

Le equazioni rappresentate nella figura sono le seguenti:

CATEGORIA I	limite superiore:	$\Theta_{i\ max} = 0,33 \Theta_{rm} + 18,8 + 2$
	limite inferiore:	$\Theta_{i\ max} = 0,33 \Theta_{rm} + 18,8 - 2$
CATEGORIA II	limite superiore:	$\Theta_{i\ max} = 0,33 \Theta_{rm} + 18,8 + 3$
	limite inferiore:	$\Theta_{i\ max} = 0,33 \Theta_{rm} + 18,8 - 3$
CATEGORIA III	limite superiore:	$\Theta_{i\ max} = 0,33 \Theta_{rm} + 18,8 + 4$
	limite inferiore:	$\Theta_{i\ max} = 0,33 \Theta_{rm} + 18,8 - 4$

dove

$\Theta_{i\ max}$  = limit value of indoor operative temperature °C

$\Theta_{rm}$  = running mean outdoor temperature °C

Le categorie previste dalla UNI EN 15251 sono le seguenti:

- CATEGORIA I: alto livello di aspettativa, consigliata per gli spazi occupati da persone molto sensibili e fragili con esigenze speciali come portatori di handicap, malati, bambini molto piccoli e persone anziane;
- CATEGORIA II: normali livelli di aspettativa. Dovrebbe essere usata per edifici nuovi e ristrutturazioni;
- CATEGORIA III: accettabile, moderato livello di aspettativa. Potrebbe essere usata per edifici esistenti.

I limiti proposti nell'allegato A.2 possono essere utilizzati per la progettazione di strategie passive per prevenire il surriscaldamento degli ambienti in estate come la dimensione e l'orientamento delle finestre, la dimensione delle schermature e la capacità termica dell'edificio.

Nel software ProCasaClima il metodo di calcolo della temperatura operativa interna (o operante) viene ampliato per tenere conto dell'umidità e proponendo ulteriori tre classi per la valutazione del comfort.

Comfort							
<b>UNI EN 15251</b>				<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	
Temperatura operante				T <sub>c</sub> +2K	T <sub>c</sub> +3K	T <sub>c</sub> +4 K	
Umidità relativa				60%	65%	70%	
	<b>I+++</b>	<b>I++</b>	<b>I+</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>Discomfort</b>
<b>Classi CasaClima</b>	Oro	A	B	C	D	E	F
Temperatura effettiva ET*	T <sub>c,cc</sub>	T <sub>c,cc</sub> + 2 K	T <sub>c,cc</sub> + 3 K	T <sub>c,cc</sub> + 4 K	T <sub>c,cc</sub> + 5 K	>T <sub>c,cc</sub> + 5 K	

T<sub>c</sub> = temperatura di comfort secondo la UNI EN 15251

T<sub>c,cc</sub> = temperatura di comfort adattata per tenere conto dell'umidità

T<sub>c,cc</sub> = T<sub>c</sub> – 1K

Il metodo proposto nel software ProCasaClima misura la percentuale delle ore nel periodo di occupazione dell'edificio durante un anno, in cui si verificano condizioni di discomfort rispetto al numero totale delle ore di occupazione.

Le sei classi di comfort sono determinate dalla temperatura effettiva, per cui la classe I+++ è la più alta classe di comfort e la classe III è la più bassa classe di comfort (oltre si parla di discomfort).

Ogni percentuale sotto ciascuna classe esprime la percentuale di ore di occupazione in cui l'edificio è fuori da quella classe di comfort.

Il metodo proposto nel software ProCasaClima assegna una classe di comfort quando la percentuale di tempo all'interno della classe è inferiore a 0,4 %.

## 10 EDIFICIO UNIFAMILIARE DI RIFERIMENTO

La proposta progettuale oggetto di studio riguarda un edificio unifamiliare isolato.

Le dimensioni in pianta dell'edificio sono di 10,00 m x 10,00 m e l'altezza alla linea di gronda è di 6,00 m.

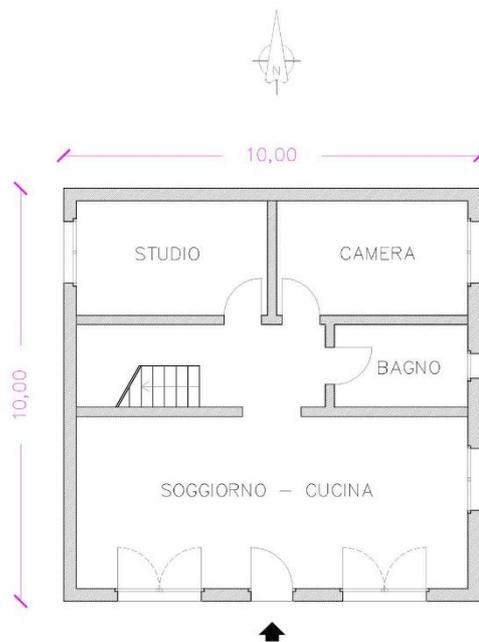
L'edificio è a due piani con la seguente distribuzione interna:

Al piano terra:

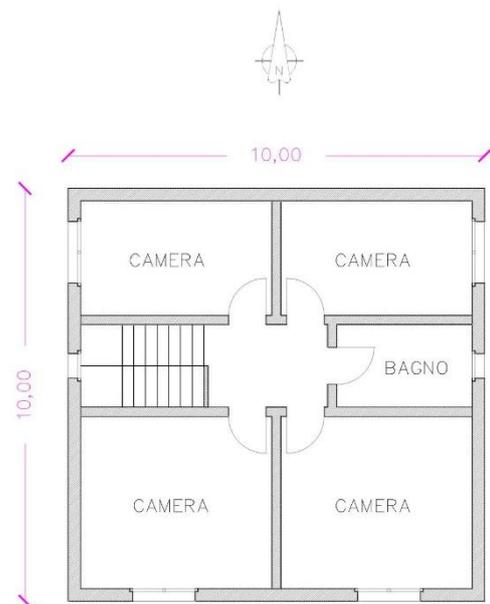
- zona pranzo-soggiorno;
- un bagno;
- due camere.

Al primo piano:

- un bagno;
- quattro camere.



PIANO TERRA



PIANO PRIMO



Figura 327: vista dell'edificio nord-ovest



Figura 326: vista dell'edificio sud-est

La copertura a due falde ha una pendenza del 30% e l'edificio è sollevato dal suolo di 30 cm.

I dati geometrici dell'edificio sono i seguenti:

<b>Volume lordo riscaldato</b>	<b>696,00</b>	m <sup>3</sup>
SUPERFICI DISPERDENTI		
Parete NORD	61,60	m <sup>2</sup>
Parete EST	69,10	m <sup>2</sup>
Parete SUD	61,60	m <sup>2</sup>
Parete OVEST	69,10	m <sup>2</sup>
Copertura	107,00	m <sup>2</sup>
Solaio contro terra	100,00	m <sup>2</sup>
<b>Totale superfici disperdenti</b>	<b>468,40</b>	m <sup>2</sup>
Superfici vetrate NORD	0,00	m <sup>2</sup>
Superfici vetrate EST	8,55	m <sup>2</sup>
Superfici vetrate SUD	12,90	m <sup>2</sup>
Superfici vetrate OVEST	5,40	m <sup>2</sup>
<b>Rapporto S/V</b>	<b>0,67</b>	
Altezza netta interna	2,7	m

Le verifiche da eseguire sull'involucro edilizio sono le seguenti:

<b>1. DPR 59/2009 - Articolo 4, comma 2</b>	$E_{pi} < E_{pi \text{ limite}}$	Dipende dai GG della località e dal rapporto S/V
<b>2. DPR 59/2009 - Articolo 4, comma 3</b>	$E_{pe \text{ involucro}}$	< 30 kWh/m <sup>2</sup> anno
<b>3. DPR 59/2009 - Articolo 4, comma 18</b>	$M_s$ pareti  <i>oppure</i> $Y_{IE}$ pareti opache verticali	> 230 kg/m <sup>2</sup>  < 0,12 W/m <sup>2</sup> K
<b>4. DPR 59/2009 - Articolo 4, comma 18</b>	$Y_{IE}$ strutture orizzontali o inclinate	< 0,20 W/m <sup>2</sup> K
<b>5. DPR 59/2009 - Articolo 4, comma 17</b>	Condensa	Verifica dell'assenza di condensa superficiale e interstiziale
<b>6. DPR 59/2009 - Articolo 4, comma 19</b>	Sistemi schermanti esterni	Obbligo di installazione di sistemi schermanti esterni

Tabella 3: Requisiti da rispettare per i nuovi edifici secondo il DPR 59/2009

Ai sensi dell'art. 4 comma 2 del D.P.R. 59/2009 l' $E_{p_i \text{ limite}}$  risulta, per le quattro città Sarde:

	<b>Cagliari</b>	<b>Oristano</b>	<b>Nuoro</b>	<b>Sassari</b>
Zona climatica	C	C	D	C
GG	990	1059	1602	1185
S/V				
$\leq 0,2$	14,32	15,49	25,00	17,64
<b>0,67</b>	<b>39,33</b>	<b>41,57</b>	<b>57,72</b>	<b>45,67</b>
$\geq 0,9$	51,57	54,33	73,80	59,38

Possiamo considerare un rendimento globale dell'impianto, in un edificio di nuova costruzione, pari a  $\eta = 90\%$ .

In questo modo il valore limite del fabbisogno termico per il riscaldamento sarà:

	<b>Cagliari</b>	<b>Oristano</b>	<b>Nuoro</b>	<b>Sassari</b>
$E_{p_i \text{ limite}}$	39,33	41,57	57,72	45,67
$\eta_{\text{globale}}$	0,9	0,9	0,9	0,9
$E_{p_i, \text{ involucro "limite"}}$	<b>35,39</b>	<b>37,41</b>	<b>51,95</b>	<b>41,10</b>

Tabella 4: Determinazione del fabbisogno termico per il riscaldamento "limite" nelle quattro città della Sardegna

Nella progettazione dell'edificio viene rispettato il valore di  $E_{p_i, \text{ involucro "limite"}}$  riportato nella tabella.

## 11 DIFFERENZE DI CALCOLO FRA LA NORMATIVA UNI TS 11300 E GLI ALGORITMI DI CALCOLO DEL SOFTWARE PROCASACLIMA 2013

La Provincia Autonoma di Bolzano, con Delibera della Giunta Provinciale del 4 marzo 2013 n. 362, ha approvato le **Direttive sulla prestazione energetica nell'edilizia - Attuazione della direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010 sulla prestazione energetica nell'edilizia.**

Le direttive disciplinano:

- la metodologia di calcolo del rendimento energetico dell'involucro edilizio e della prestazione energetica degli edifici;
- i requisiti minimi di prestazione energetica degli edifici di nuova costruzione;
- i requisiti minimi di prestazione energetica degli edifici esistenti;
- i criteri e la procedura di certificazione energetica degli edifici;
- l'utilizzo di energia da fonti rinnovabili in edifici di nuova costruzione ed edifici esistenti;
- l'accreditamento di esperti e i servizi essenziali per garantire un sistema di controllo indipendente riguardante l'applicazione della direttiva.

La metodologia di calcolo, per gli aspetti utili alla ricerca, si differenzia dalle UNI TS 11300 per i seguenti valori:

DIRETTIVA PROVINCIA AUTONOMA DI BOLZANO	← DIFFERENZE →	UNI TS 11300 VALUTAZIONE STANDARD
1 ottobre – 30 aprile	<b>Durata della stagione di riscaldamento</b>	In funzione della zona climatica
1 maggio - 30 settembre	<b>Durata della stagione di raffrescamento</b>	$\theta_{e,day} > \theta_{i,sec,C} - \frac{Q_{gn,day}}{H \times t_{day}}$ <p>La stagione di raffrescamento è il periodo durante il quale è necessario un apporto dell'impianto di climatizzazione per mantenere all'interno dell'edificio una temperatura interna non superiore a quella di progetto.</p>
* $0,5 h^{-1}$	<b>Indice di ricambio dell'aria</b>	$0,3 h^{-1}$
Naturale o meccanica 22:00 – 6:00	<b>Ventilazione notturna</b>	Solo meccanica 23:00 – 7:00
* Valore medio di calcolo per edifici uni/bifamiliari $3,5 W/m^2$	<b>Apporti interni di calore</b>	$\phi_{int} = 5,294 \times A_f - 0,01557 \times A_f^2$ <p><math>A_f</math> = superficie utile di pavimento Per <math>A_f &gt; 170 m^2</math> <math>\phi_{int} = 450 W</math></p>

\* tuttavia questi valori sono modificabili nel software ProCasaClima 2013

La Direttiva rimanda al Protocollo CasaClima per la certificazione della prestazione energetica degli edifici.

Il Protocollo CasaClima è descritto dalla Direttiva Tecnica CasaClima che ha come obiettivo quello di standardizzare i metodi di calcolo, di esecuzione e di controllo relativi alla certificazione CasaClima. La Direttiva Tecnica rappresenta il documento di riferimento per ogni certificazione energetica CasaClima svolta sia dall'Agenzia CasaClima di Bolzano sia dagli altri enti convenzionati con l'Agenzia.

Il calcolo energetico CasaClima deve essere effettuato, secondo la Direttiva, utilizzando il software ProCasaClima messo a disposizione gratuitamente dall'Agenzia.

Il software riprende dunque la metodologia di calcolo approvata con Delibera di Giunta Provinciale. Tuttavia, ai fini della Ricerca, i valori indicati in tabella con \* sono liberamente editabili nel software di calcolo e dunque modificabili.

Il calcolo dei ponti termici è stato eseguito con il software THERM sviluppato dal Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL).

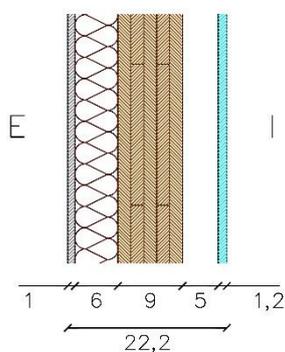
## 12 PROGETTAZIONE PER LE CONDIZIONI CLIMATICHE DI CAGLIARI

### 12.1 PROPOSTA BASE

I requisiti della *tabella 3* vengono rispettati da un edificio avente le seguenti caratteristiche:

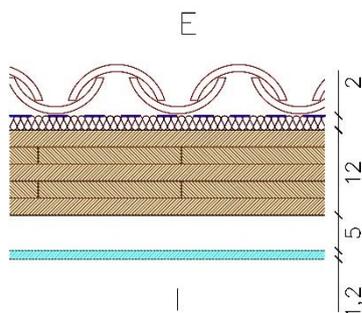
**PARETE PERIMETRALE (P.01)**

Materiale	Spessore	Conducibilità	Densità	Calore specifico
	d	$\lambda$	$\rho$	c
	[m]	[W/mK]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kJ/kgK]
1. Lastra di cartongesso	0,012	0,21	900	1,05
2. Aria ferma	0,05	0,278	1,2	1
3. CLT	0,09	0,13	495	2
4. Pannello di sughero	0,06	0,04	120	1,67
5. Rete portaintonaco	0,001	0,20	1000	1
6. Intonaco in calce	0,01	0,70	1400	0,93



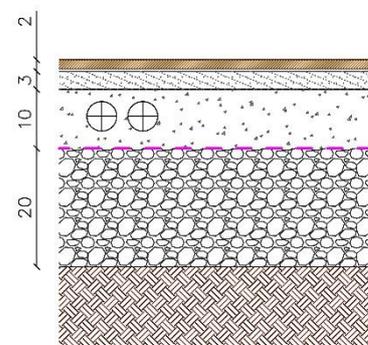
**COPERTURA NON VENTILATA (C.01)**

Materiale	Spessore	Conducibilità	Densità	Calore specifico
	d	$\lambda$	$\rho$	c
	[m]	[W/mK]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kJ/kgK]
1. Lastra di cartongesso	0,012	0,21	900	1,05
2. Aria ferma	0,05	0,313	1,2	1
3. Pannello di CLT	0,12	0,13	495	2
4. Pannello di sughero	0,02	0,04	120	1,67
5. Sottomanto traspirante	0,001	0,50	1000	1,26
6. Coppi	0,015	1,0	1800	0,9



**SOLAIO CONTROTERRA (S.01)**

Materiale	Spessore	Conducibilità	Densità	Calore specifico
	d	$\lambda$	$\rho$	c
	[m]	[W/mK]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kJ/kgK]
1. Parquet multistrato	0,015	0,17	600	1,61
2. Colla per parquet	0,005	0,17	1000	1,40
3. Allettamento	0,03	1,33	2000	1,07
4. Massetto	0,10	1,40	2000	1,08
5. Ghiaia	0,20	0,70	1800	0,9



Caratteristiche termiche		
Trasmittanza termica	U (W/m <sup>2</sup> K)	0,38
Trasmittanza termica periodica	$Y_{ie}$ (W/m <sup>2</sup> K)	0,12
Ammettenza	Y22 (W/m <sup>2</sup> K)	1,97
Sfasamento	$\varphi$ (h)	8,7
Fattore di attenuazione	Fa (-)	0,30
Capacità termica areica interna	$\kappa_i$ (Wh/m <sup>2</sup> K)	8

La parete perimetrale ha un coefficiente di assorbimento  $\alpha=0,6$  (tinteggiatura non chiara).

Caratteristiche termiche		
Trasmittanza termica	U (W/m <sup>2</sup> K)	0,56
Trasmittanza termica periodica	$Y_{ie}$ (W/m <sup>2</sup> K)	0,17
Ammettenza	Y22 (W/m <sup>2</sup> K)	1,94
Sfasamento	$\varphi$ (h)	9,1
Fattore di attenuazione	Fa (-)	0,30
Capacità termica areica interna	$\kappa_i$ (Wh/m <sup>2</sup> K)	7

La copertura ha un coefficiente di assorbimento  $\alpha=0,9$  (coppo rosso)

Caratteristiche termiche		
Trasmittanza termica	U (W/m <sup>2</sup> K)	1,50
Trasmittanza termica periodica	$Y_{ie}$ (W/m <sup>2</sup> K)	0,20
Ammettenza	Y22 (W/m <sup>2</sup> K)	3,60
Sfasamento	$\varphi$ (h)	11,8
Fattore di attenuazione	Fa (-)	0,13
Capacità termica areica interna	$\kappa_i$ (Wh/m <sup>2</sup> K)	14

Gli infissi hanno una trasmittanza pari a  $U_w = 2,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

La schermatura degli infissi è garantita da tende esterne in tessuto colorato aventi le seguenti caratteristiche:

Assorbimento	Riflessione	Trasmissione	Fc
0,30	0,40	0,30	0,39

Il fattore Fc è il *Fattore di riduzione dovuto al tendaggio*.

			VERIFICA
<b>1. D.P.R. 59/2009 Art. 4 comma 2</b>	Fabbisogno termico riscaldamento < Fabbisogno termico riscaldamento limite	<b>21,00 kWh/m<sup>2</sup> anno</b> < 35,39 kWh/m <sup>2</sup> anno	POSITIVA
<b>2. D.P.R. 59/2009 Art. 4 comma 3</b>	EP <sub>e</sub> involucro	<b>18,6 kWh/m<sup>2</sup> anno</b> < 30 kWh/m <sup>2</sup> anno	POSITIVA
<b>3. D.P.R. 59/2009 Art. 4 comma 18</b>	Ms parete  <i>oppure</i>	77,61 < 230 kg/m <sup>2</sup>	NEGATIVA
	Y <sub>ie</sub> parete	0,12 W/m <sup>2</sup> K = 0,12 W/m <sup>2</sup> K	POSITIVA
<b>4. D.P.R. 59/2009 Art. 4 comma 18</b>	Y <sub>ie</sub> copertura	0,17 W/m <sup>2</sup> K < 0,20 W/m <sup>2</sup> K	POSITIVA
<b>5. D.P.R. 59/2009 Art. 4 comma 17</b>	Condensa	Verifica dell'assenza di condensa superficiale e interstiziale	POSITIVA
<b>6. D.P.R. 59/2009 Art. 4 comma 19</b>	Sistemi schermanti esterni	Obbligo di installazione di sistemi schermanti esterni	POSITIVA

### Fabbisogni termici involucro edilizio

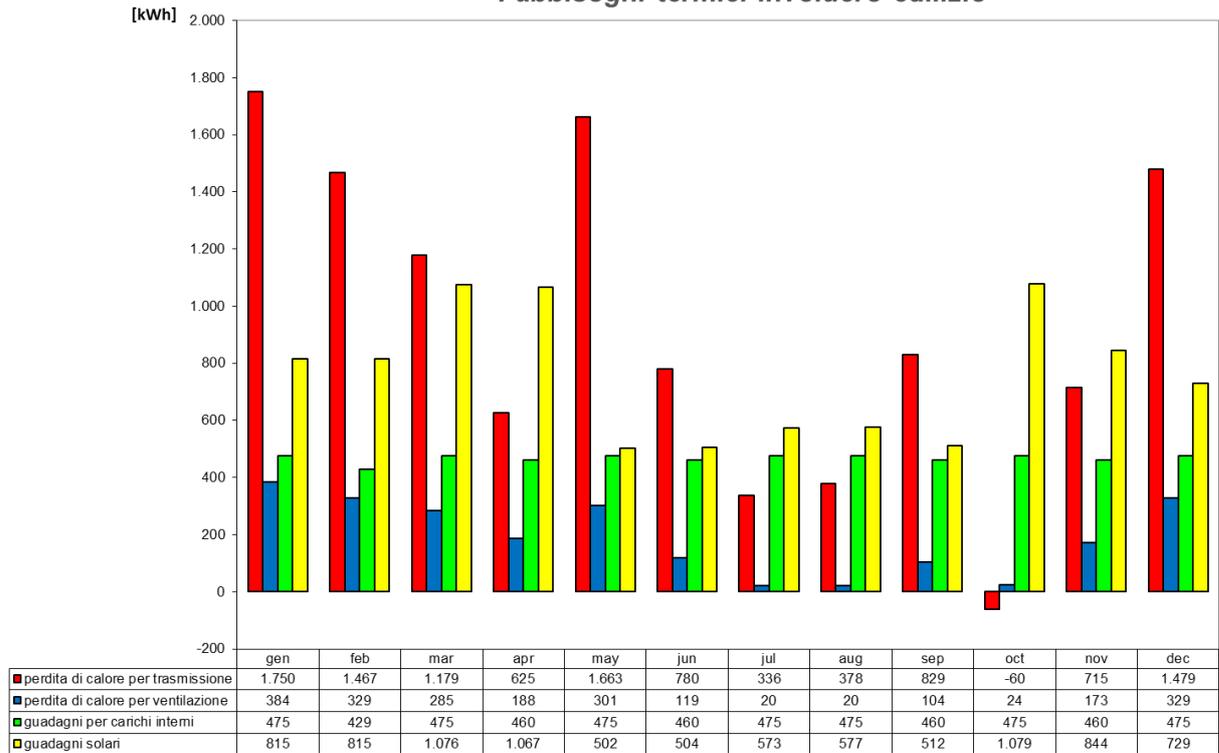


Grafico 1: PROPOSTA BASE - fabbisogni termici dell'involucro edilizio

È stato calcolato il livello di comfort in assenza di raffrescamento attivo e deumidificazione (free running) con cui viene valutato l'effettivo livello di comfort indoor ottenuto dall'involucro senza l'ausilio degli impianti.

La soluzione progettuale presenta la seguente situazione di free running:

Free running (senza raffrescamento attivo)							
	Comfort						Classe
Classe	I+++	I++	I+	I	II	III	
Proposta Base	31,3%	30,8%	28,8%	25,1%	20,7%	16,2%	<b>Discomfort</b>

Il metodo del comfort adattivo misura la percentuale delle ore (quindi la percentuale di tempo durante tutto il corso dell'anno) nel periodo di occupazione dell'edificio, in cui si verificano condizioni di discomfort rispetto al numero totale delle ore di occupazione.

Le sei classi di comfort sono determinate dalla temperatura effettiva, per cui la classe I+++ è la più alta classe di comfort e la classe III è la più bassa classe di comfort (oltre si parla di discomfort).

Ogni percentuale sotto ciascuna classe esprime la percentuale di ore di occupazione in cui l'edificio è fuori da quella classe di comfort. In questo caso per il 31,3 % del tempo l'edificio è fuori dalla classe I+++ di comfort e così a seguire. Nessuna delle classi rispetta una percentuale di tempo inferiore a 0,4 e di

conseguenza si può ritenere che la valutazione generale degli abitanti sia di DISCOMFORT all'interno di questa abitazione.

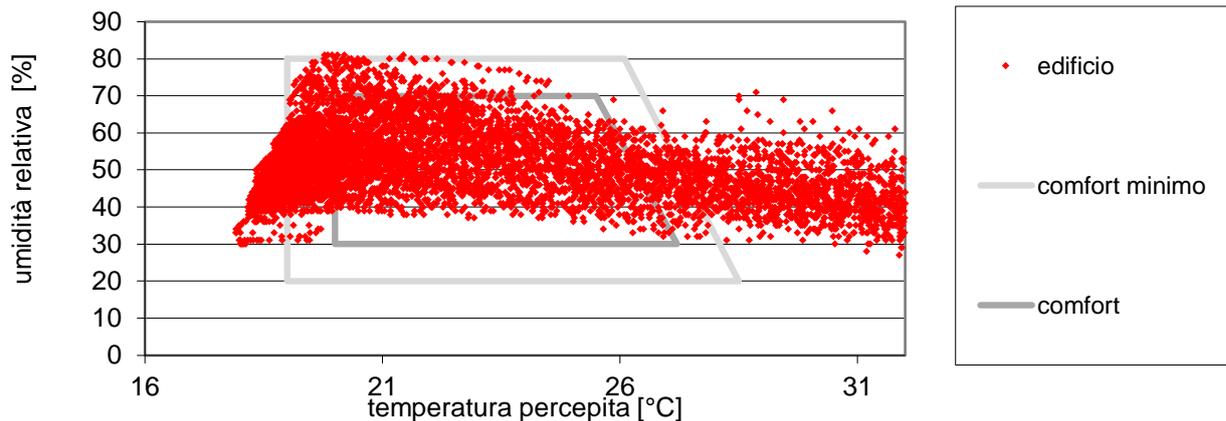


Grafico 2: PROPOSTA BASE - distribuzione del COMFORT

Questa soluzione dunque, se da un lato rispetta i requisiti relativi al risparmio energetico dall'altra non riesce ad evitare il surriscaldamento estivo e dunque induce gli abitanti ad malessere psicofisico.

Questa sensazione si potrebbe eliminare solo dotando l'edificio di un raffrescamento attivo e dunque con l'utilizzo di energia primaria.

L'obiettivo della ricerca è quello di studiare delle soluzioni progettuali che minimizzino l'uso di energia per il riscaldamento e soprattutto per il raffrescamento estivo e che al tempo stesso permettano una condizione di benessere per gli abitanti.

La proposta progettuale base può essere migliorata attraverso le seguenti strategie:

1. Diminuzione della trasmittanza dei componenti opachi orizzontali e verticali al limite di legge per gli edifici sottoposti a ristrutturazione;
2. Ulteriore diminuzione della trasmittanza dei componenti opachi con soluzioni molto più performanti;
3. Diminuzione della trasmittanza dei componenti vetrati;
4. Maggiore schermatura degli infissi;
5. Ventilazione notturna;
6. Aumento della capacità termica interna;
7. Colorazione chiara delle superfici esterne.

E' possibile analizzare il contributo di ciascun intervento nella diminuzione del fabbisogno termico per il riscaldamento, il raffrescamento e il comfort interno.

## 12.2 INTERVENTO 1: DIMUZIONE DELLA TRASMITTANZA DEI COMPONENTI OPACHI ORIZZONTALI E VERTICALI AI LIMITI DI LEGGE PER GLI EDIFICI SOTTOPOSTI A RISTRUTTURAZIONE

Il D.P.R. 59/2009 prevede per le ristrutturazioni totali o parziali e manutenzioni straordinarie dell'involucro edilizio il rispetto dei limiti di trasmittanza dei componenti edilizi.

I valori di trasmittanza limite sono indicati nella tabella sottostante:

<b>ZONA CLIMATICA</b>	<b>Strutture opache verticali</b>	<b>Strutture opache orizzontali o inclinate</b>	<b>Pavimenti verso locali non riscaldati o esterno</b>	<b>Chiusure trasparenti</b>	<b>Vetri</b>
<b>A</b>	0,62	0,38	0,65	4,6	3,7
<b>B</b>	0,48	0,38	0,49	3,0	2,7
<b>C</b>	0,40	0,38	0,42	2,6	2,1
<b>D</b>	0,36	0,32	0,36	2,4	1,9
<b>E</b>	0,34	0,30	0,33	2,2	1,7
<b>F</b>	0,33	0,29	0,32	2,0	1,3

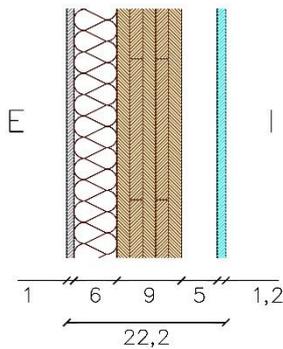
*Tabella 5: Limiti di trasmittanza espressi in  $W/m^2K$  (D.Lgs. 311/2006)*

Il primo intervento sulla proposta progettuale base prevede la diminuzione della trasmittanza dei componenti edilizi fino al raggiungimento del minimo previsto dalla legge per gli interventi di ristrutturazione totale, parziale e manutenzione straordinaria.

I particolari costruttivi che rispettano i requisiti sono i seguenti:

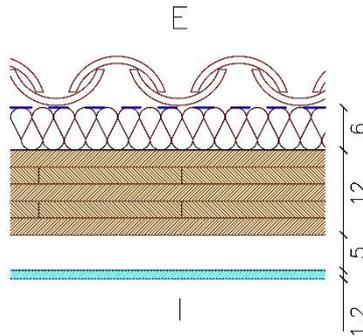
### PARETE PERIMETRALE (P.02 = P.01)

Materiale	Spessore	Conducibilità	Densità	Calore specifico
	d [m]	$\lambda$ [W/mK]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	c [kJ/kgK]
1. Lastra di cartongesso	0,012	0,21	900	1,05
2. Aria ferma	0,05	0,278	1,2	1
3. CLT	0,09	0,13	495	2
4. Pannello di sughero	0,06	0,04	120	1,67
5. Rete portaintonaco	0,001	0,20	1000	1
6. Intonaco in calce	0,01	0,70	1400	0,93



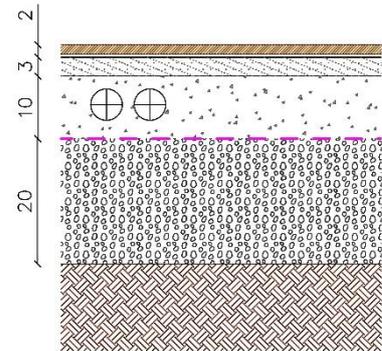
### COPERTURA NON VENTILATA (C.02)

Materiale	Spessore	Conducibilità	Densità	Calore specifico
	d [m]	$\lambda$ [W/mK]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	c [kJ/kgK]
1. Lastra di cartongesso	0,012	0,21	900	1,05
2. Aria ferma	0,05	0,313	1,2	1
3. Pannello di CLT	0,12	0,13	495	2
4. Pannello di sughero	0,06	0,04	120	1,67
5. Sottomanto traspirante	0,001	0,50	1000	1,26
6. Coppi	0,015	1,0	1800	0,9



### SOLAIO CONTROTERRA (S.02)

Materiale	Spessore	Conducibilità	Densità	Calore specifico
	d [m]	$\lambda$ [W/mK]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	c [kJ/kgK]
1. Parquet multistrato	0,015	0,17	600	1,61
2. Colla per parquet	0,005	0,17	1000	1,40
3. Allettamento	0,03	1,33	2000	1,07
4. Massetto	0,10	1,40	2000	1,08
5. Granulato di vetro cellulare	0,20	0,10	210	1,00



Caratteristiche termiche		
Trasmittanza termica	U (W/m <sup>2</sup> K)	0,38
Trasmittanza termica periodica	$Y_{ie}$ (W/m <sup>2</sup> K)	0,12
Ammettenza	$Y_{22}$ (W/m <sup>2</sup> K)	1,97
Sfasamento	$\varphi$ (h)	8,7
Fattore di attenuazione	Fa (-)	0,30
Capacità termica areica interna	$\kappa_i$ (Wh/m <sup>2</sup> K)	8

La parete perimetrale ha un coefficiente di assorbimento  $\alpha=0,6$  (tinteggiatura non chiara).

Caratteristiche termiche		
Trasmittanza termica	U (W/m <sup>2</sup> K)	0,36
Trasmittanza termica periodica	$Y_{ie}$ (W/m <sup>2</sup> K)	0,07
Ammettenza	$Y_{22}$ (W/m <sup>2</sup> K)	1,94
Sfasamento	$\varphi$ (h)	10,7
Fattore di attenuazione	Fa (-)	0,20
Capacità termica areica interna	$\kappa_i$ (Wh/m <sup>2</sup> K)	7

La copertura ha un coefficiente di assorbimento  $\alpha=0,9$  (coppo rosso)

Caratteristiche termiche		
Trasmittanza termica	U (W/m <sup>2</sup> K)	0,42
Trasmittanza termica periodica	$Y_{ie}$ (W/m <sup>2</sup> K)	0,06
Ammettenza	$Y_{22}$ (W/m <sup>2</sup> K)	3,72
Sfasamento	$\varphi$ (h)	10,6
Fattore di attenuazione	Fa (-)	0,15
Capacità termica areica interna	$\kappa_i$ (Wh/m <sup>2</sup> K)	14

	Fabbisogno termico per il riscaldamento	Sensibile	Deumidificazione	Fabbisogno termico per il raffrescamento sensibile e la deumidificazione
	kWh/m <sup>2</sup> anno	kWh/m <sup>2</sup> anno	kWh/m <sup>2</sup> anno	kWh/m <sup>2</sup> anno
PROPOSTA BASE 00	<b>21,0</b>	18,6	7,8	<b>26,4</b>
<b>INTERVENTO 1: U -</b>	<b>18,4</b>	19,4	7,8	<b>27,2</b>

L'intervento di coibentazione delle superfici disperdenti ha un effetto positivo sul fabbisogno di riscaldamento ma peggiora il fabbisogno di raffrescamento estivo se non accompagnato da altre strategie progettuali.

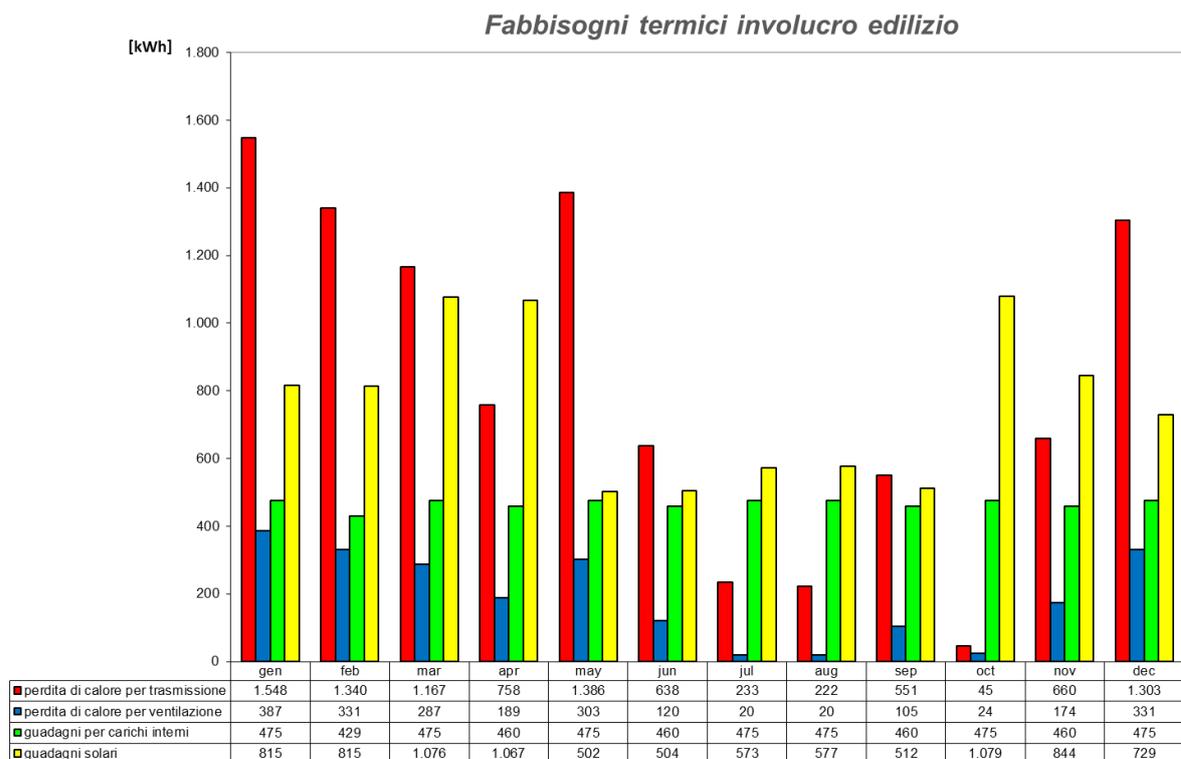


Grafico 3: INTERVENTO 1- fabbisogni termici dell'involucro edilizio

Free running (senza raffrescamento attivo)							
	Comfort						Classe
	I+++	I++	I+	I	II	III	
PROPOSTA BASE 00	31,3	30,8	28,8	25,1	20,7	16,2	<b>Discomfort</b>
<b>INTERVENTO 1: U -</b>	32,3	31,8	30,0	26,8	22,5	17,8	<b>Discomfort</b>

L'intervento non migliora la sensazione di comfort degli occupanti, ma globalmente la peggiora.

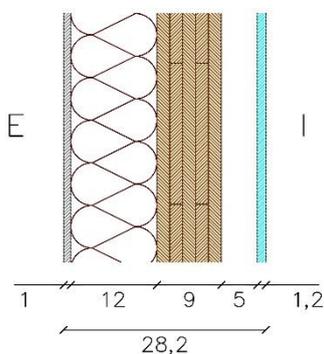
## 12.3 INTERVENTO 2.1: DIMINUZIONE DELLA TRASMITTANZA DEI COMPONENTI OPACHI

Diminuire la trasmittanza dei componenti opachi orizzontali e verticali significa aumentare la resistenza dell'elemento al passaggio dell'aria e diminuire le perdite per trasmissione dell'involucro edilizio.

Si propongono tre pacchetti costruttivi con le seguenti caratteristiche:

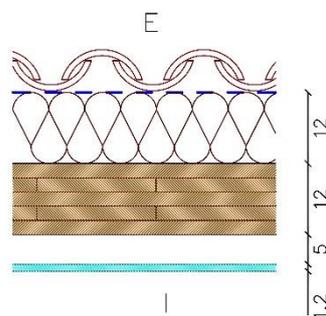
**PARETE PERIMETRALE (P.03)**

Materiale	Spessore	Conducibilità	Densità	Calore specifico
	d [m]	$\lambda$ [W/mK]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	c [kJ/kgK]
1. Lastra di cartongesso	0,012	0,21	900	1,05
2. Aria ferma	0,05	0,278	1,2	1
3. Pannello di CLT	0,09	0,13	495	2
4. Pannello di sughero	0,12	0,04	120	1,67
5. Rete portaintonaco	0,001	0,20	1000	1
6. Intonaco in calce	0,01	0,70	1400	0,93



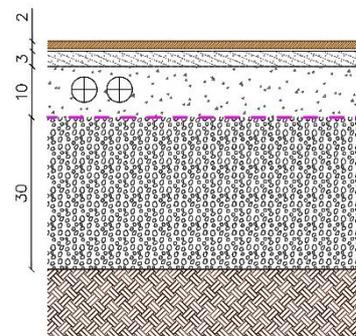
**COPERTURA NON VENTILATA (C.03)**

Materiale	Spessore	Conducibilità	Densità	Calore specifico
	d [m]	$\lambda$ [W/mK]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	c [kJ/kgK]
1. Lastra di cartongesso	0,012	0,21	900	1,05
2. Aria ferma	0,05	0,313	1,2	1
3. Pannello di CLT	0,12	0,13	495	2
4. Pannello di sughero	0,12	0,04	120	1,67
5. Sottomanto traspirante	0,001	0,50	1000	1,26
6. Coppi	0,015	1,0	1800	0,9



**SOLAIO CONTROTERRA (S.03)**

Materiale	Spessore	Conducibilità	Densità	Calore specifico
	d [m]	$\lambda$ [W/mK]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	c [kJ/kgK]
1. Parquet multistrato	0,015	0,17	600	1,61
2. Colla per parquet	0,005	0,17	1000	1,40
3. Allettamento	0,03	1,33	2000	1,07
4. Massetto	0,10	1,40	2000	1,08
5. Granulato di vetro cellulare	0,30	0,10	210	1



Caratteristiche termiche		
Trasmittanza termica	U (W/m <sup>2</sup> K)	0,24
Trasmittanza termica periodica	$\gamma_{ie}$ (W/m <sup>2</sup> K)	0,05
Ammettenza	$\gamma_{22}$ (W/m <sup>2</sup> K)	1,96
Sfasamento	$\varphi$ (h)	11,4
Fattore di attenuazione	Fa (-)	0,21
Capacità termica areica interna	$\kappa_i$ (Wh/m <sup>2</sup> K)	7

La parete perimetrale ha un coefficiente di assorbimento  $\alpha=0,6$  (tinteggiatura non chiara).

Caratteristiche termiche		
Trasmittanza termica	U (W/m <sup>2</sup> K)	0,23
Trasmittanza termica periodica	$\gamma_{ie}$ (W/m <sup>2</sup> K)	0,03
Ammettenza	$\gamma_{22}$ (W/m <sup>2</sup> K)	1,93
Sfasamento	$\varphi$ (h)	13
Fattore di attenuazione	Fa (-)	0,14
Capacità termica areica interna	$\kappa_i$ (Wh/m <sup>2</sup> K)	8

La copertura ha un coefficiente di assorbimento  $\alpha=0,9$  (coppo rosso)

Caratteristiche termiche		
Trasmittanza termica	U (W/m <sup>2</sup> K)	0,30
Trasmittanza termica periodica	$\gamma_{ie}$ (W/m <sup>2</sup> K)	0,03
Ammettenza	$\gamma_{22}$ (W/m <sup>2</sup> K)	3,72
Sfasamento	$\varphi$ (h)	14
Fattore di attenuazione	Fa (-)	0,09
Capacità termica areica interna	$\kappa_i$ (Wh/m <sup>2</sup> K)	14

	Fabbisogno termico per il riscaldamento kWh/m <sup>2</sup> anno	Sensibile kWh/m <sup>2</sup> anno	Deumidificazione kWh/m <sup>2</sup> anno	Fabbisogno termico per il raffrescamento sensibile e la deumidificazione kWh/m <sup>2</sup> anno
PROPOSTA BASE 00	<b>21,0</b>	18,6	7,8	<b>26,4</b>
INTERVENTO 1: U -	18,4	19,4	7,8	27,2
INTERVENTO 2.1: U - -	<b>12,6</b>	18,5	7,7	<b>26,2</b>

L'intervento diminuisce il fabbisogno termico per il riscaldamento e influisce poco sul fabbisogno termico per il raffrescamento.

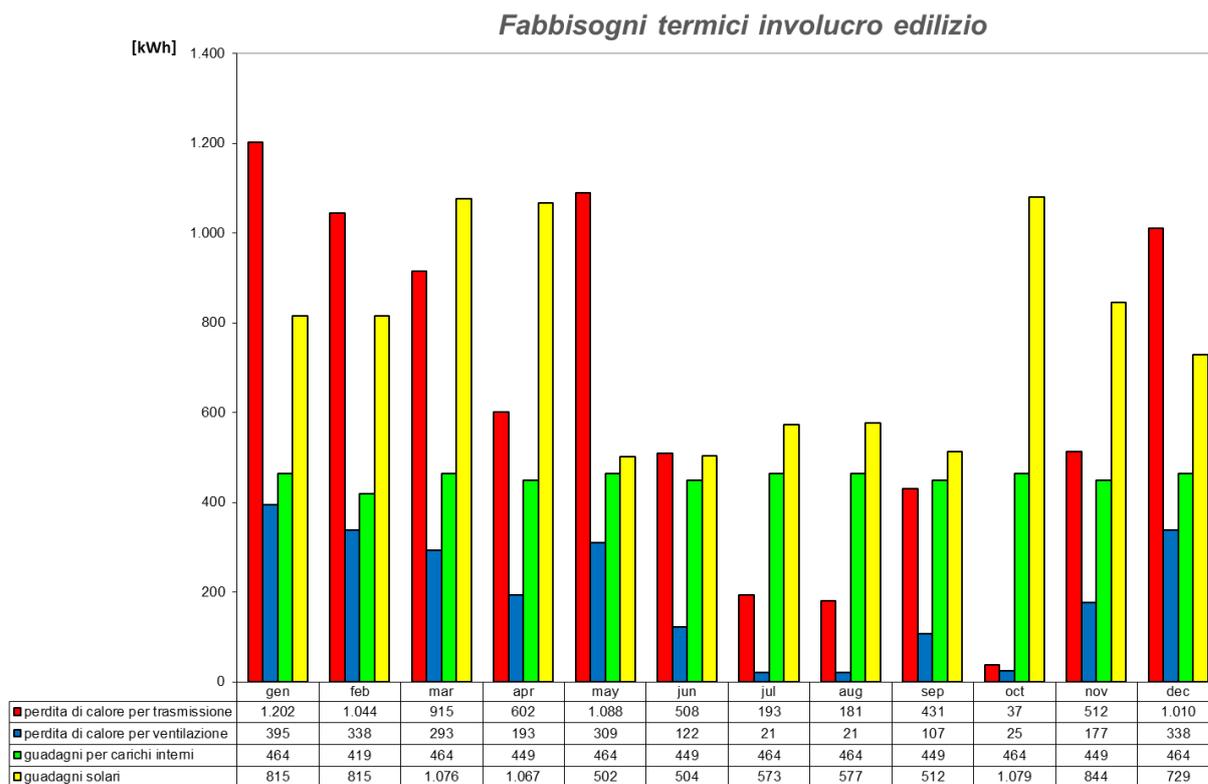


Grafico 4: INTERVENTO 2.1 - fabbisogni termici dell'involucro edilizio

Free running (senza raffrescamento attivo)							
	Comfort						Classe
	I+++	I++	I+	I	II	III	
PROPOSTA BASE 00	31,3	30,8	28,8	25,1	20,7	16,2	<b>Discomfort</b>
INTERVENTO 1: U -	32,3	31,8	30,0	26,8	22,5	17,8	Discomfort
INTERVENTO 2.1: U - -	36,8	36,5	35,2	32,6	29,3	25,1	<b>Discomfort</b>

Rispetto alla proposta base l'incremento della trasmittanza dei componenti edilizi aumenta la sensazione di DISCOMFORT degli occupati se privo di ulteriori interventi che permettano di "scaricare" l'aria interna riscaldata dagli apporti solari attraverso gli infissi.

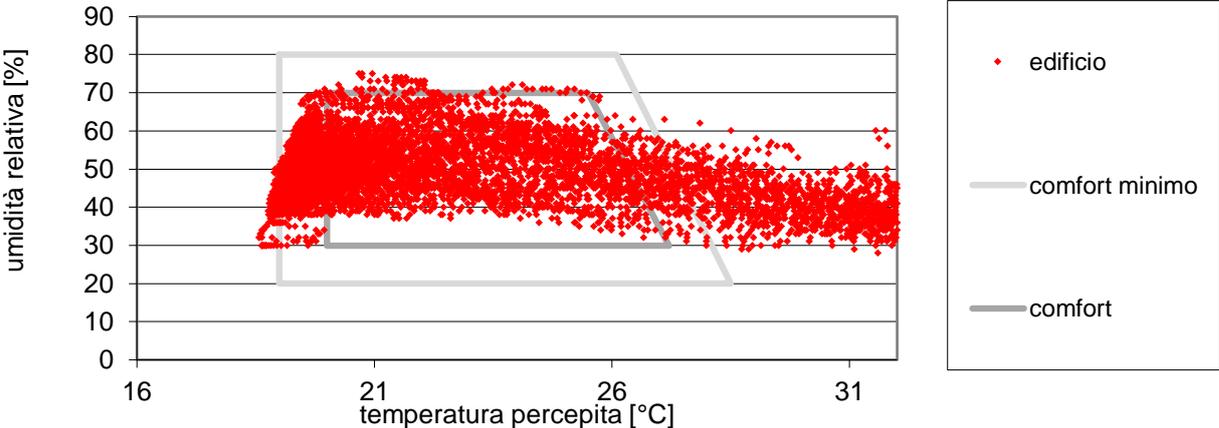


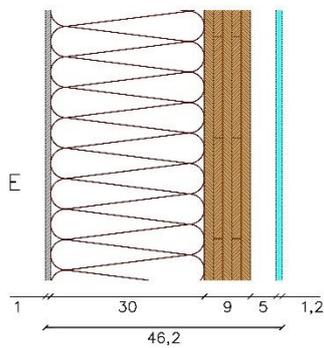
Grafico 5: INTERVENTO 2.1 - distribuzione del comfort

## 12.4 INTERVENTO 2.2: ULTERIORE DIMINUIZIONE DELLA TRASMITTANZA DEI COMPONENTI OPACHI

L'intervento 2.2 consiste nella ulteriore diminuzione della trasmittanza dei componenti opachi.

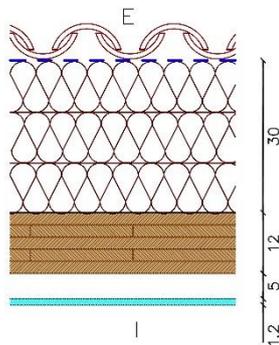
**PARETE PERIMETRALE (P.04)**

Materiale	Spessore	Conducibilità	Densità	Calore specifico
	d [m]	$\lambda$ [W/mK]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	c [kJ/kgK]
1. Lastra di cartongesso	0,012	0,21	900	1,05
2. Aria ferma	0,05	0,278	1,2	1
3. Pannello di CLT	0,09	0,13	495	2
4. Pannello di sughero	0,30	0,04	120	1,67
5. Rete portaintonaco	0,001	0,20	1000	1
6. Intonaco in calce	0,01	0,70	1400	0,93



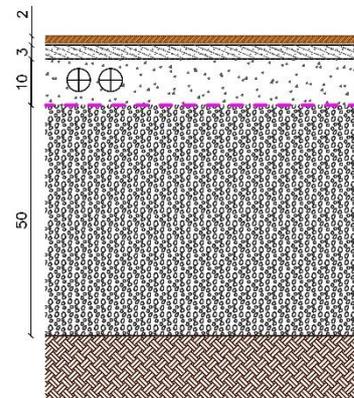
**COPERTURA NON VENTILATA (C.04)**

Materiale	Spessore	Conducibilità	Densità	Calore specifico
	d [m]	$\lambda$ [W/mK]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	c [kJ/kgK]
1. Lastra di cartongesso	0,012	0,21	900	1,05
2. Aria ferma	0,05	0,313	1,2	1
3. Pannello di CLT	0,12	0,13	495	2
4. Pannello di sughero	0,30	0,04	120	1,67
5. Sottomanto traspirante	0,001	0,50	1000	1,26
6. Coppi	0,015	1,0	1800	0,9



**SOLAIO CONTROTERRA (S.04)**

Materiale	Spessore	Conducibilità	Densità	Calore specifico
	d [m]	$\lambda$ [W/mK]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	c [kJ/kgK]
1. Parquet multistrato	0,015	0,17	600	1,61
2. Colla per parquet	0,005	0,17	1000	1,40
3. Allettamento	0,03	1,33	2000	1,07
4. Massetto	0,10	1,40	2000	1,08
6. Granulato di vetro cellulare	0,50	0,10	210	1



Caratteristiche termiche		
Trasmittanza termica	U (W/m <sup>2</sup> K)	0,12
Trasmittanza termica periodica	Y <sub>ie</sub> (W/m <sup>2</sup> K)	0,00
Ammettenza	Y <sub>22</sub> (W/m <sup>2</sup> K)	1,96
Sfasamento	$\phi$ (h)	20,7
Fattore di attenuazione	Fa (-)	0,04
Capacità termica areica interna	$\kappa_i$ (Wh/m <sup>2</sup> K)	7

La parete perimetrale ha un coefficiente di assorbimento  $\alpha=0,6$  (tinteggiatura non chiara).

Caratteristiche termiche		
Trasmittanza termica	U (W/m <sup>2</sup> K)	0,11
Trasmittanza termica periodica	Y <sub>ie</sub> (W/m <sup>2</sup> K)	0,00
Ammettenza	Y <sub>22</sub> (W/m <sup>2</sup> K)	1,93
Sfasamento	$\phi$ (h)	22,7
Fattore di attenuazione	Fa (-)	0,02
Capacità termica areica interna	$\kappa_i$ (Wh/m <sup>2</sup> K)	8

La copertura ha un coefficiente di assorbimento  $\alpha=0,9$  (coppo rosso)

Caratteristiche termiche		
Trasmittanza termica	U (W/m <sup>2</sup> K)	0,19
Trasmittanza termica periodica	Y <sub>ie</sub> (W/m <sup>2</sup> K)	0,00
Ammettenza	Y <sub>22</sub> (W/m <sup>2</sup> K)	3,72
Sfasamento	$\phi$ (h)	20,7
Fattore di attenuazione	Fa (-)	0,02
Capacità termica areica interna	$\kappa_i$ (Wh/m <sup>2</sup> K)	14

	Fabbisogno termico per il riscaldamento kWh/m <sup>2</sup> anno	Sensibile kWh/m <sup>2</sup> anno	Deumidificazione kWh/m <sup>2</sup> anno	Fabbisogno termico per il raffrescamento sensibile e la deumidificazione kWh/m <sup>2</sup> anno
PROPOSTA BASE 00	<b>21,0</b>	18,6	7,8	<b>26,4</b>
INTERVENTO 1: U -	18,4	19,4	7,8	27,2
INTERVENTO 2.1: U --	12,6	18,5	7,7	26,2
INTERVENTO 2.2: U ---	<b>8,3</b>	18,0	7,5	<b>25,5</b>

L'incremento ulteriore della resistenza dei componenti opachi diminuisce sia il fabbisogno termico per il riscaldamento che il fabbisogno termico per il raffrescamento.

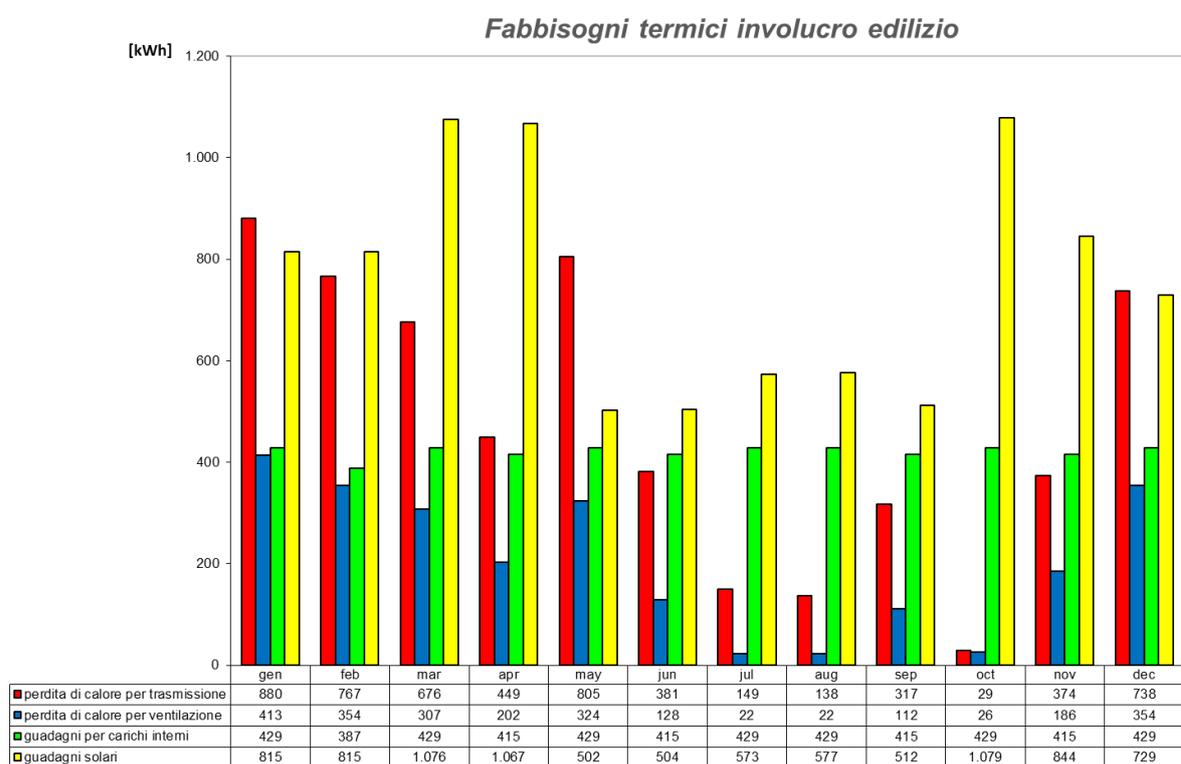


Grafico 6: INTERVENTO 2.2 - fabbisogni termici dell'involucro edilizio

Free running (senza raffrescamento attivo)							
	Comfort						Classe
	I+++	I++	I+	I	II	III	
PROPOSTA BASE 00	31,3	30,8	28,8	25,1	20,7	16,2	<b>Discomfort</b>
INTERVENTO 1: U -	32,3	31,8	30,0	26,8	22,5	17,8	<b>Discomfort</b>
INTERVENTO 2.1: U- -	36,8	36,5	35,2	32,6	29,3	25,1	<b>Discomfort</b>
INTERVENTO 2.2: U - - -	44,3	44,2	43,2	40,6	36,7	32,8	<b>Discomfort</b>

L'intervento 2.2 peggiora la sensazione di comfort degli occupanti.

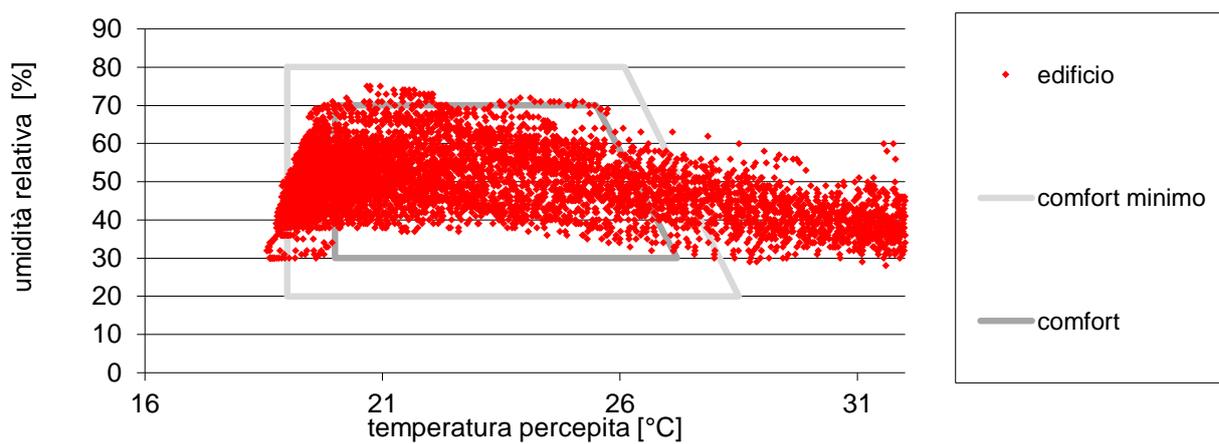
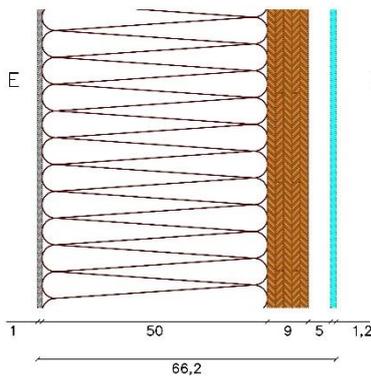


Grafico 7: INTERVENTO 2.2 - distribuzione del comfort

## 12.5 INTERVENTO 2.3: ULTERIORE DIMINUIZIONE DELLA TRASMITTANZA DEI COMPONENTI OPACHI

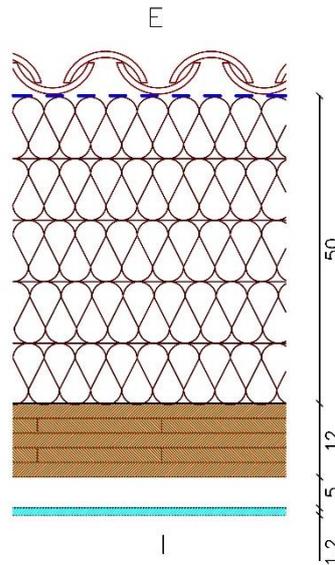
**PARETE PERIMETRALE (P.05)**

Materiale	Spessore	Conducibilità	Densità	Calore specifico
	d	$\lambda$	$\rho$	c
	[m]	[W/mK]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kJ/kgK]
1. Lastra di cartongesso	0,012	0,21	900	1,05
2. Aria ferma	0,05	0,278	1,2	1
3. Pannello di CLT	0,09	0,13	495	2
4. Pannello di sughero	0,50	0,04	120	1,67
5. Rete portaintonaco	0,001	0,20	1000	1
6. Intonaco in calce	0,01	0,70	1400	0,93



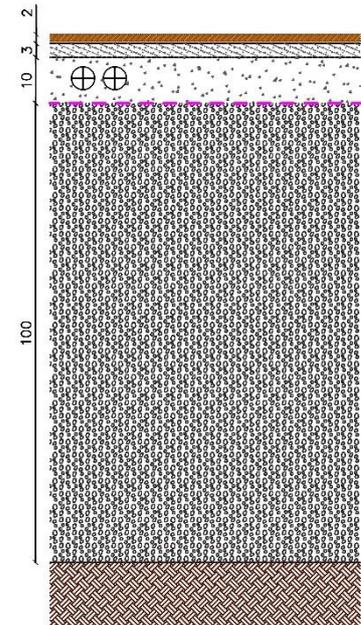
**COPERTURA NON VENTILATA (C.05)**

Materiale	Spessore	Conducibilità	Densità	Calore specifico
	d	$\lambda$	$\rho$	c
	[m]	[W/mK]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kJ/kgK]
1. Lastra di cartongesso	0,012	0,21	900	1,05
2. Aria ferma	0,05	0,313	1,2	1
3. CLT	0,12	0,13	495	2
4. Pannello di sughero	0,50	0,04	120	1,67
5. Sottomanto traspirante	0,001	0,50	1000	1,26
6. Coppi	0,015	1,0	1800	0,9



**SOLAIO CONTROTERRA (S.05)**

Materiale	Spessore	Conducibilità	Densità	Calore specifico
	d	$\lambda$	$\rho$	c
	[m]	[W/mK]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kJ/kgK]
1. Parquet multistrato	0,015	0,17	600	1,61
2. Colla per parquet	0,005	0,17	1000	1,40
3. Allettamento	0,03	1,33	2000	1,07
4. Massetto	0,10	1,40	2000	1,08
5. Granulato di vetro cellulare	1,00	0,10	210	1



Caratteristiche termiche		
Trasmittanza termica	U (W/m <sup>2</sup> K)	0,07
Trasmittanza termica periodica	$\gamma_{ie}$ (W/m <sup>2</sup> K)	0,00
Ammetenza	$\gamma_{22}$ (W/m <sup>2</sup> K)	1,96
Sfasamento	$\varphi$ (h)	7,0
Fattore di attenuazione	Fa (-)	0,00
Capacità termica areica interna	$\kappa_i$ (Wh/m <sup>2</sup> K)	7

Caratteristiche termiche		
Trasmittanza termica	U (W/m <sup>2</sup> K)	0,07
Trasmittanza termica periodica	$\gamma_{ie}$ (W/m <sup>2</sup> K)	0,00
Ammetenza	$\gamma_{22}$ (W/m <sup>2</sup> K)	1,93
Sfasamento	$\varphi$ (h)	9,1
Fattore di attenuazione	Fa (-)	0,00
Capacità termica areica interna	$\kappa_i$ (Wh/m <sup>2</sup> K)	8

Caratteristiche termiche		
Trasmittanza termica	U (W/m <sup>2</sup> K)	0,10
Trasmittanza termica periodica	$\gamma_{ie}$ (W/m <sup>2</sup> K)	0,00
Ammetenza	$\gamma_{22}$ (W/m <sup>2</sup> K)	3,72
Sfasamento	$\varphi$ (h)	13,4
Fattore di attenuazione	Fa (-)	0,00
Capacità termica areica interna	$\kappa_i$ (Wh/m <sup>2</sup> K)	14

La parete perimetrale ha un coefficiente di assorbimento  $\alpha=0,6$  (tinteggiatura non chiara).

La copertura ha un coefficiente di assorbimento  $\alpha=0,9$  (coppo rosso)

	Fabbisogno termico per il riscaldamento kWh/m <sup>2</sup> anno	Sensibile kWh/m <sup>2</sup> anno	Deumidificazione kWh/m <sup>2</sup> anno	Fabbisogno termico per il raffrescamento sensibile e la deumidificazione kWh/m <sup>2</sup> anno
PROPOSTA BASE 00	<b>21,0</b>	18,6	7,8	<b>26,4</b>
INTERVENTO 1: U -	18,4	19,4	7,8	27,2
INTERVENTO 2.1: U - -	12,6	18,5	7,7	26,2
INTERVENTO 2.2: U - - -	8,3	18,0	7,5	25,5
INTERVENTO 2.3: U - - - -	<b>7,8</b>	18,4	7,1	<b>25,5</b>

La diminuzione della trasmittanza dei componenti opachi influenza in maniera preponderante il fabbisogno per il riscaldamento e in maniera molto minore il fabbisogno per il raffrescamento. Mentre il fabbisogno termico per il riscaldamento si riduce del 63% il fabbisogno per il raffrescamento si riduce solo del 3% rispetto alla proposta base.

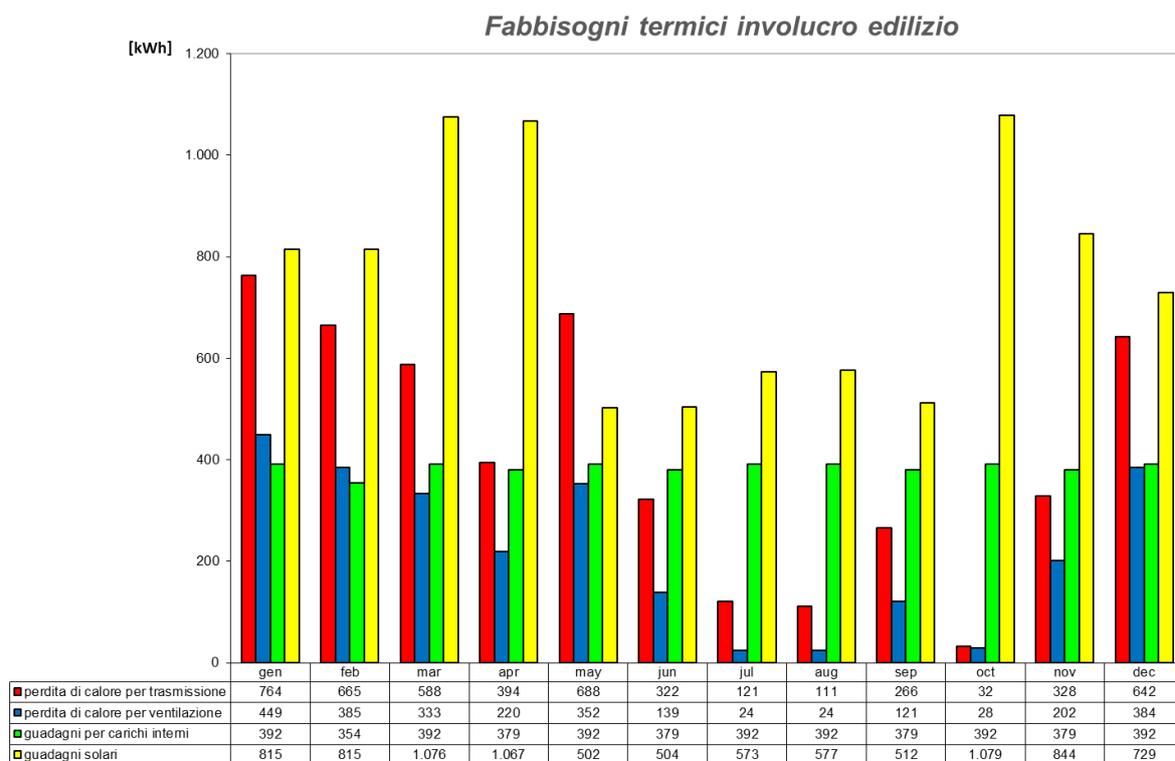


Grafico 8: INTERVENTO 2.3 - fabbisogni termici dell'involucro edilizio

Free running (senza raffrescamento attivo)							
	Comfort						Classe
	I+++	I++	I+	I	II	III	
PROPOSTA BASE 00	31,3	30,8	28,8	25,1	20,7	16,2	Discomfort
INTERVENTO 1: U -	32,3	31,8	30,0	26,8	22,5	17,8	Discomfort
INTERVENTO 2.1: U - -	36,8	36,5	35,2	32,6	29,3	25,1	Discomfort
INTERVENTO 2.2: U - - -	44,3	44,2	43,2	40,6	36,7	32,8	Discomfort
INTERVENTO 2.3: U - - - -	45,5	45,4	44,6	41,9	37,9	34,0	Discomfort

Gli interventi di sola coibentazione dell'involucro edilizio non fanno altro che aumentare la sensazione di discomfort degli occupanti, peggiorando la condizione rispetto alla proposta base.

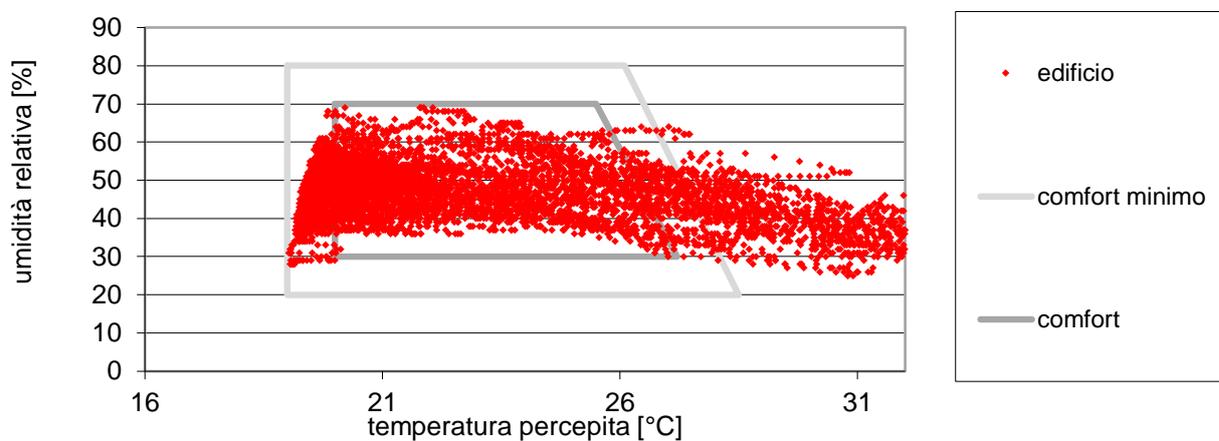


Grafico 9: INTERVENTO 2.3 - distribuzione del comfort

## 12.6 INTERVENTO 3.1: DIMINUIZIONE DELLA TRASMITTANZA DEI COMPONENTI TRASPARENTI

La proposta base prevede degli infissi la cui trasmittanza è pari al valore limite di legge di  $2,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Un intervento possibile è la diminuzione della trasmittanza dei componenti trasparenti attraverso l'utilizzo di infissi in legno con vetro camera riempita di aria.

La trasmittanza del vetro è di  $1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ , il fattore solare è  $g = 0,6$ , la trasmittanza del telaio è  $1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

La trasmittanza degli infissi sarà:

Infisso 150 cm x 150 cm                       $U = 1,43 \text{ W/m}^2\text{K}$

Infisso 60 cm x 150 cm                       $U = 1,70 \text{ W/m}^2\text{K}$

Infisso 200 cm x 210 cm                       $U = 1,35 \text{ W/m}^2\text{K}$

Dalla simulazione risulta:

	Fabbisogno termico per il riscaldamento	Sensibile	Deumidificazione	Fabbisogno termico per il raffrescamento sensibile e la deumidificazione
	kWh/m <sup>2</sup> anno	kWh/m <sup>2</sup> anno	kWh/m <sup>2</sup> anno	kWh/m <sup>2</sup> anno
PROPOSTA BASE 00	<b>21,0</b>	18,6	7,8	<b>26,4</b>
INTERVENTO 1: U -	18,4	19,4	7,8	27,2
INTERVENTO 2.1: U - -	12,6	18,5	7,7	26,2
INTERVENTO 2.2: U - - -	8,3	18,0	7,5	25,5
INTERVENTO 2.3: U - - - -	7,8	18,4	7,1	25,5
INTERVENTO 3.1: U <sub>w</sub> -	<b>17,4</b>	19,7	7,8	<b>27,5</b>

La diminuzione della trasmittanza dei componenti vetrati ha un effetto positivo sul fabbisogno termico per il riscaldamento che diminuisce del 17% mentre il fabbisogno termico per il raffrescamento aumenta del 4%.

Il solo intervento di diminuzione della trasmittanza dei componenti trasparenti non è vantaggiosa per la riduzione del fabbisogno termico per il raffrescamento estivo.

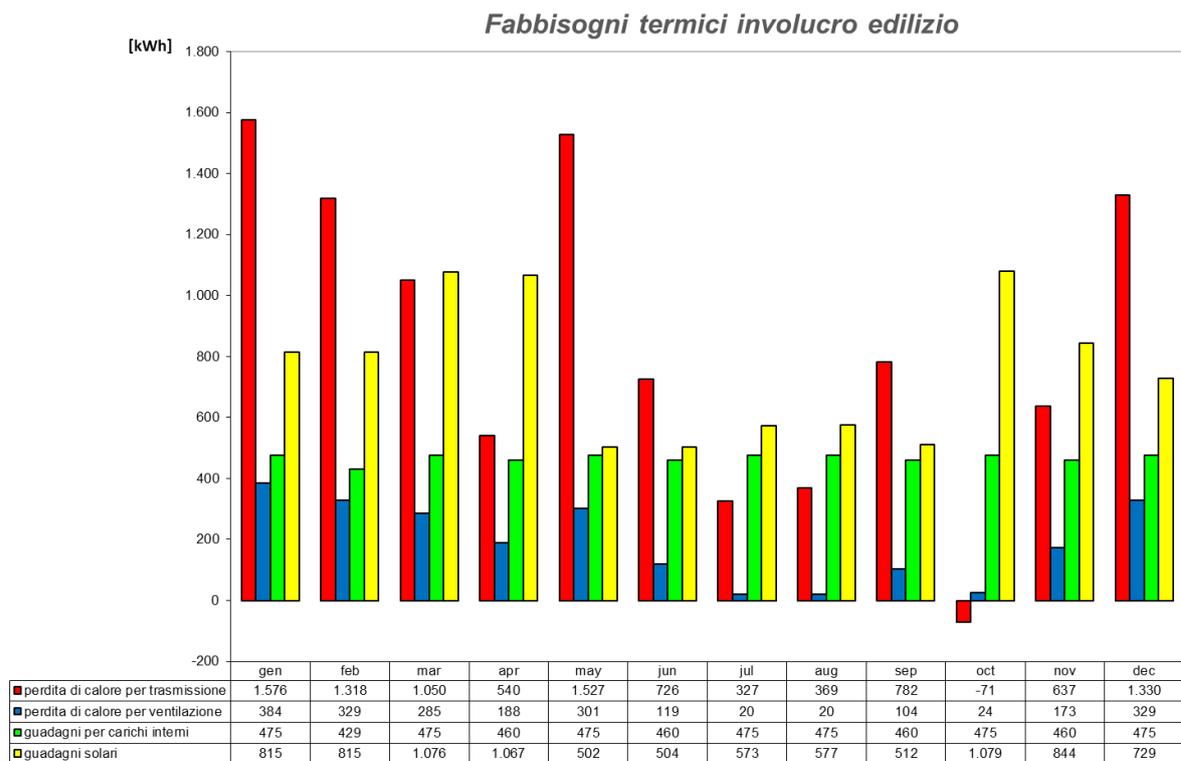


Gráfico 10: INTERVENTO 3.1 - fabbisogni termici dell'involucro edilizio

Free running (senza raffrescamento attivo)							
	Comfort						Classe
	I+++	I++	I+	I	II	III	
PROPOSTA BASE 00	31,3	30,8	28,8	25,1	20,7	16,2	<b>Discomfort</b>
INTERVENTO 1: U -	32,3	31,8	30,0	26,8	22,5	17,8	<b>Discomfort</b>
INTERVENTO 2.1: U- -	36,8	36,5	35,2	32,6	29,3	25,1	<b>Discomfort</b>
INTERVENTO 2.2: U - - -	44,3	44,2	43,2	40,6	36,7	32,8	<b>Discomfort</b>
INTERVENTO 2.3: U - - - -	45,5	45,4	44,6	41,9	37,9	34,0	<b>Discomfort</b>
INTEREVENTO 3.1: U <sub>w</sub> -	32,1	31,7	29,7	26,1	21,6	17,2	<b>Discomfort</b>

L'intervento 3.1 presenta valori molto simili, per quanto riguarda le percentuali di comfort, a quelli della proposta base.

L'intervento dunque da solo non influisce positivamente sul benessere degli abitanti dell'edificio.

## 12.7 INTERVENTO 3.2: ULTERIORE DIMINUZIONE DELLA TRASMITTANZA DEI COMPONENTI TRASPARENTI

La trasmittanza degli infissi può essere ulteriormente diminuita utilizzando degli infissi con vetro camera riempita di gas Argon. Il fattore solare del vetro è  $g = 0,6$

La trasmittanza del vetro è pari a  $1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$  e la trasmittanza del telaio in legno è  $1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

La trasmittanza degli infissi è la seguente:

Infisso 150 cm x 150 cm  $U_w = 1,35 \text{ W/m}^2\text{K}$

Infisso 60 cm x 150 cm  $U_w = 1,57 \text{ W/m}^2\text{K}$

Infisso 200 cm x 210 cm  $U_w = 1,29 \text{ W/m}^2\text{K}$

	Fabbisogno termico per il riscaldamento	Sensibile	Deumidificazione	Fabbisogno termico per il raffrescamento sensibile e la deumidificazione
	kWh/m <sup>2</sup> anno	kWh/m <sup>2</sup> anno	kWh/m <sup>2</sup> anno	kWh/m <sup>2</sup> anno
PROPOSTA BASE 00	<b>21,0</b>	18,6	7,8	<b>26,4</b>
INTERVENTO 1: U -	18,4	19,4	7,8	27,2
INTERVENTO 2.1: U - -	12,6	18,5	7,7	26,2
INTERVENTO 2.2: U - - -	8,3	18,0	7,5	25,5
INTERVENTO 2.3: U - - - -	7,8	18,4	7,1	25,5
INTERVENTO 3.1: U <sub>w</sub> -	17,4	19,7	7,8	27,5
INTERVENTO 3.2: U <sub>w</sub> - -	<b>16,0</b>	19,8	7,8	<b>27,6</b>

L'intervento 3.2 comporta una diminuzione del fabbisogno termico per il riscaldamento del 23% rispetto alla proposta base e un aumento del fabbisogno per il raffrescamento del 4,5%.

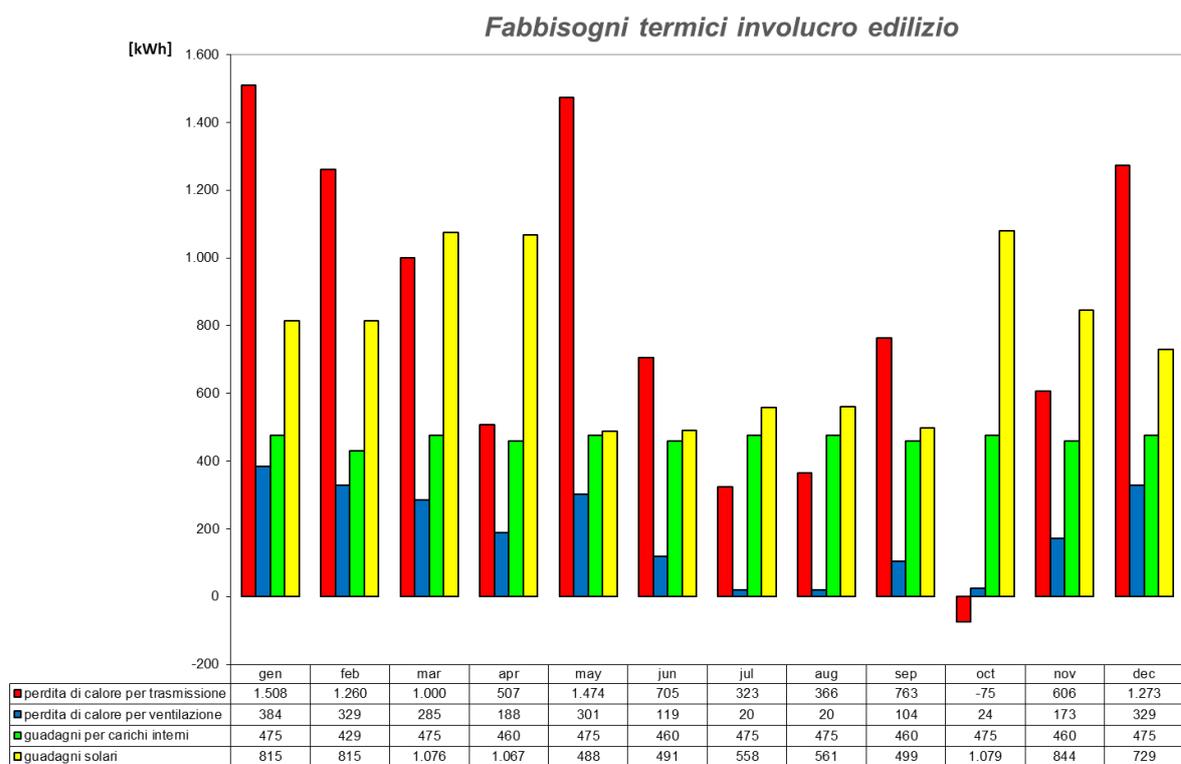


Gráfico 11: INETRVENTO 3.2 - fabbisogni termici dell'involucro edilizio

Free running (senza raffrescamento attivo)							
	Comfort (% di tempo fuori dalla classe di comfort)						Classe
	I+++	I++	I+	I	II	III	
PROPOSTA BASE 00	31,3	30,8	28,8	25,1	20,7	16,2	<b>Discomfort</b>
INTERVENTO 1: U -	32,3	31,8	30,0	26,8	22,5	17,8	Discomfort
INTERVENTO 2.1: U - -	36,8	36,5	35,2	32,6	29,3	25,1	Discomfort
INTERVENTO 2.2: U - - -	44,3	44,2	43,2	40,6	36,7	32,8	Discomfort
INTERVENTO 2.3: U - - - -	45,5	45,4	44,6	41,9	37,9	34,0	Discomfort
INTEREVENO 3.1: U <sub>w</sub> -	32,1	31,7	29,7	26,1	21,6	17,2	Discomfort
INTERVENTO 3.2: U <sub>w</sub> - -	32,2	31,8	29,7	26,3	21,7	17,2	<b>Discomfort</b>

I valori delle classi di comfort sono molto simili a quelli della proposta base.

L'intervento non garantisce una condizione di comfort minima.

## 12.8 INTERVENTO 3.3: ULTERIORE DIMINUZIONE DELLA TRASMITTANZA DEI COMPONENTI TRASPARENTI

La trasmittanza degli infissi può essere ulteriormente diminuita utilizzando degli infissi con telaio in legno dello spessore di 110 mm e triplo vetro riempito con Krypton.

La trasmittanza del vetro è  $U_g = 0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ , il fattore solare è  $g = 0,5$ , la trasmittanza telaio è  $U_f = 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

La trasmittanza degli infissi è la seguente:

Infisso 150 cm x 150 cm  $U_w = 0,73 \text{ W/m}^2\text{K}$

Infisso 60 cm x 150 cm  $U_w = 0,93 \text{ W/m}^2\text{K}$

Infisso 200 cm x 210 cm  $U_w = 0,67 \text{ W/m}^2\text{K}$

	Fabbisogno termico per il riscaldamento	Sensibile	Deumidificazione	Fabbisogno termico per il raffrescamento sensibile e la deumidificazione
	kWh/m <sup>2</sup> anno	kWh/m <sup>2</sup> anno	kWh/m <sup>2</sup> anno	kWh/m <sup>2</sup> anno
PROPOSTA BASE 00	<b>21,0</b>	18,6	7,8	<b>26,4</b>
INTERVENTO 1: U -	18,4	19,4	7,8	27,2
INTERVENTO 2.1: U --	12,6	18,5	7,7	26,2
INTERVENTO 2.2: U ---	8,3	18,0	7,5	25,5
INTERVENTO 2.3: U ----	7,8	18,4	7,1	25,5
INTERVENTO 3.1: U <sub>w</sub> -	17,4	19,7	7,8	27,5
INTERVENTO 3.2: U <sub>w</sub> --	16,0	19,8	7,8	27,6
INTERVENTO 3.3: U <sub>w</sub> ---	<b>15,0</b>	18,7	7,8	<b>26,5</b>

La diminuzione della trasmittanza dei componenti vetrati influenza positivamente il fabbisogno termico per il riscaldamento che diminuisce del 28,5% mentre il fabbisogno per il raffrescamento rimane invariato.

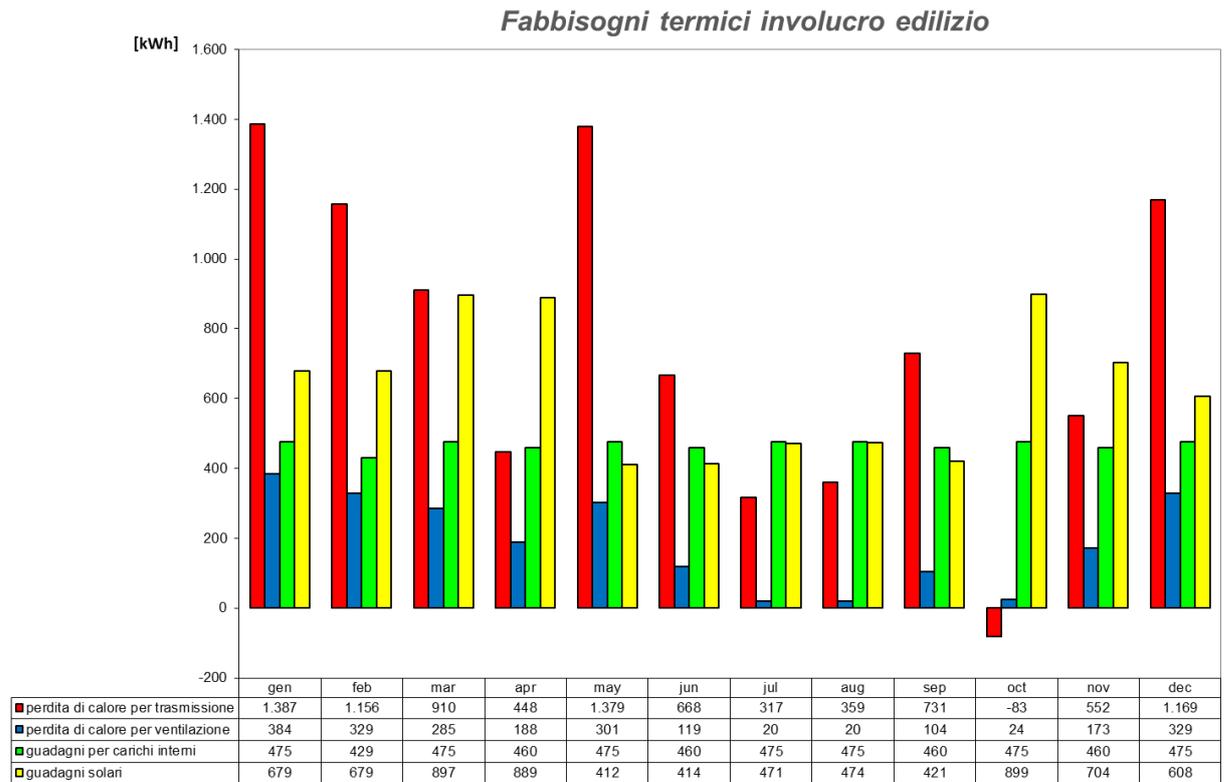


Grafico 12: INTERVENTO 3.3 - fabbisogni termici dell'involucro edilizio

Free running (senza raffrescamento attivo)							
	Comfort						Classe
	I+++	I++	I+	I	II	III	
PROPOSTA BASE 00	31,3	30,8	28,8	25,1	20,7	16,2	Discomfort
INTERVENTO 1: U -	32,3	31,8	30,0	26,8	22,5	17,8	Discomfort
INTERVENTO 2.1: U - -	36,8	36,5	35,2	32,6	29,3	25,1	Discomfort
INTERVENTO 2.2: U - - -	44,3	44,2	43,2	40,6	36,7	32,8	Discomfort
INTERVENTO 2.3: U - - - -	45,5	45,4	44,6	41,9	37,9	34,0	Discomfort
INTERVENTO 3.1: U <sub>w</sub> -	32,1	31,7	29,7	26,1	21,6	17,2	Discomfort
INTERVENTO 3.2: U <sub>w</sub> - -	32,2	31,8	29,7	26,3	21,7	17,2	Discomfort
INTERVENTO 3.3: U <sub>w</sub> - - -	31,0	30,4	28,4	24,8	20,3	15,3	Discomfort

L'intervento non produce un miglioramento del livello di comfort percepito dagli utenti.

## 12.9 INTERVENTO 4: SCHERMATURA MOBILE DEGLI INFISSI ESTERNI

La proposta base prevede una schermatura degli infissi con tessuti colorati esterni aventi le seguenti caratteristiche:

Assorbimento	Riflessione	Trasmissione	Fc
0,30	0,40	0,30	0,39

Il fattore Fc è il *Fattore di riduzione dovuto al tendaggio*.

La UNI TS 11300 -1 al prospetto 14 riporta il Fattore di riduzione dovuto a diversi tipi di tende:

Tipo di tenda	Proprietà ottiche della tenda		Fattori di riduzione con	
	Assorbimento	Trasmissione	Tenda interna	Tenda esterna
Veneziane bianche	0,1	0,05	0,25	0,10
		0,10	0,30	0,15
		0,30	0,45	0,35
Tende bianche	0,1	0,50	0,65	0,55
		0,70	0,80	0,75
		0,90	0,95	0,95
Tessuti colorati	0,30	0,10	0,42	0,17
		0,30	0,57	0,37
		0,50	0,77	0,57
Tessuti rivestiti di alluminio	0,2	0,05	0,20	0,08

La maggiore schermatura degli infissi potrebbe essere ottenuta attraverso delle persiane esterne in legno il cui valore di Fc è pari a 0,05.

Questa modifica porta ai seguenti valori rispetto alla proposta base:

	Fabbisogno termico per il riscaldamento kWh/m <sup>2</sup> anno	Sensibile kWh/m <sup>2</sup> anno	Deumidificazione kWh/m <sup>2</sup> anno	Fabbisogno termico per il raffrescamento sensibile e la deumidificazione kWh/m <sup>2</sup> anno
PROPOSTA BASE 00	<b>21,0</b>	18,6	7,8	<b>26,4</b>
INTERVENTO 1: U -	18,4	19,4	7,8	27,2
INTERVENTO 2.1: U - -	12,6	18,5	7,7	26,2
INTERVENTO 2.2: U - - -	8,3	18,0	7,5	25,5
INTERVENTO 2.3: U - - - -	7,8	18,4	7,1	25,5
INTERVENTO 3.1: U <sub>w</sub> -	17,4	19,7	7,8	27,5
INTERVENTO 3.2: U <sub>w</sub> - -	16,0	19,8	7,8	27,6
INTERVENTO 3.3: U <sub>w</sub> - - -	15,0	18,7	7,8	26,5
INTERVENTO 4: Fc -	<b>21,0</b>	9,3	7,8	<b>17,1</b>

La schermatura degli infissi, con la conseguente diminuzione degli apporti solari, comporta una netta diminuzione del fabbisogno termico per il raffrescamento estivo che passa da 26,4 kWh/m<sup>2</sup>anno a 17,1 kWh/m<sup>2</sup>anno con una diminuzione del 35%.

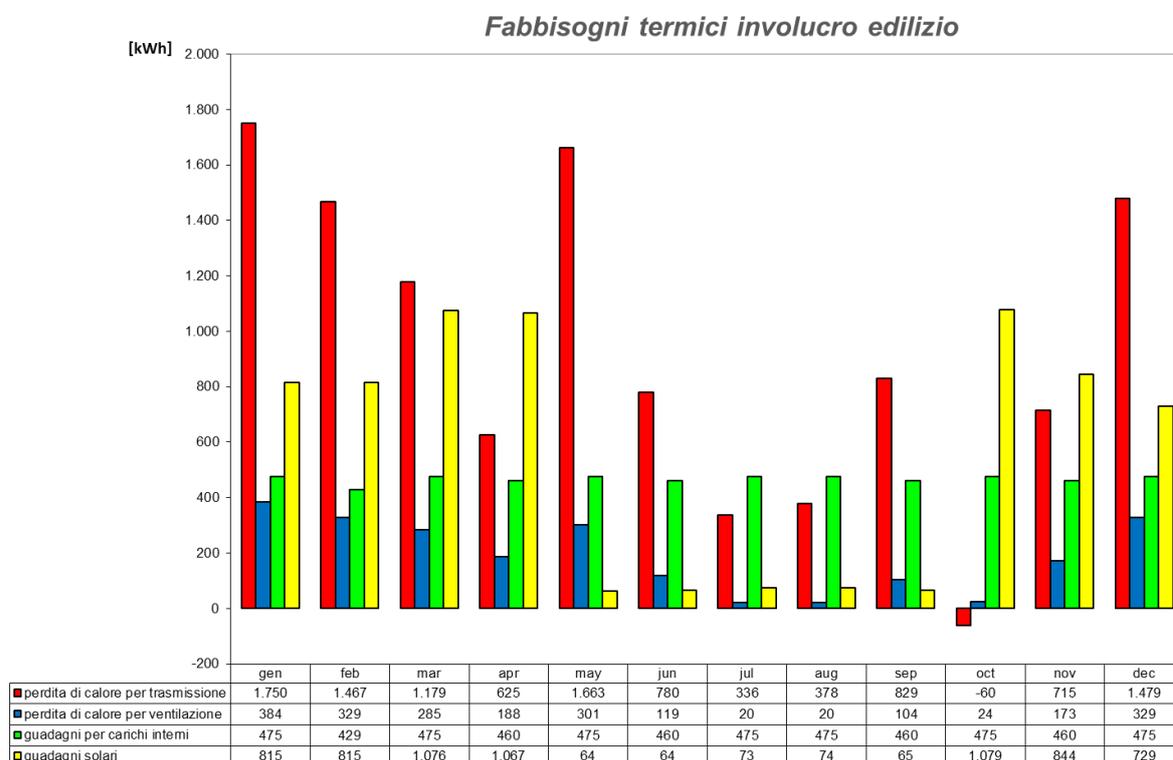


Grafico 13: INTERVENTO 4 - fabbisogni termici dell'involucro edilizio

Free running (senza raffrescamento attivo)							
	Comfort						Classe
	I+++	I++	I+	I	II	III	
PROPOSTA BASE 00	31,3	30,8	28,8	25,1	20,7	16,2	<b>Discomfort</b>
INTERVENTO 1: U -	32,3	31,8	30,0	26,8	22,5	17,8	Discomfort
INTERVENTO 2.1: U - -	36,8	36,5	35,2	32,6	29,3	25,1	Discomfort
INTERVENTO 2.2: U - - -	44,3	44,2	43,2	40,6	36,7	32,8	Discomfort
INTERVENTO 2.3: U - - - -	45,5	45,4	44,6	41,9	37,9	34,0	Discomfort
INTERVENTO 3.1: U <sub>w</sub> -	32,1	31,7	29,7	26,1	21,6	17,2	Discomfort
INTERVENTO 3.2: U <sub>w</sub> - -	32,2	31,8	29,7	26,3	21,7	17,2	Discomfort
INTERVENTO 3.3: U <sub>w</sub> - - -	31,0	30,4	28,4	24,8	20,3	15,3	Discomfort
INTERVENTO 4: Fc -	24,7	23,2	20,2	15,2	9,6	5,0	<b>Discomfort</b>

Anche la sensazione di comfort degli occupanti migliora rispetto alla proposta base ma non si raggiunge una classe di comfort minima.

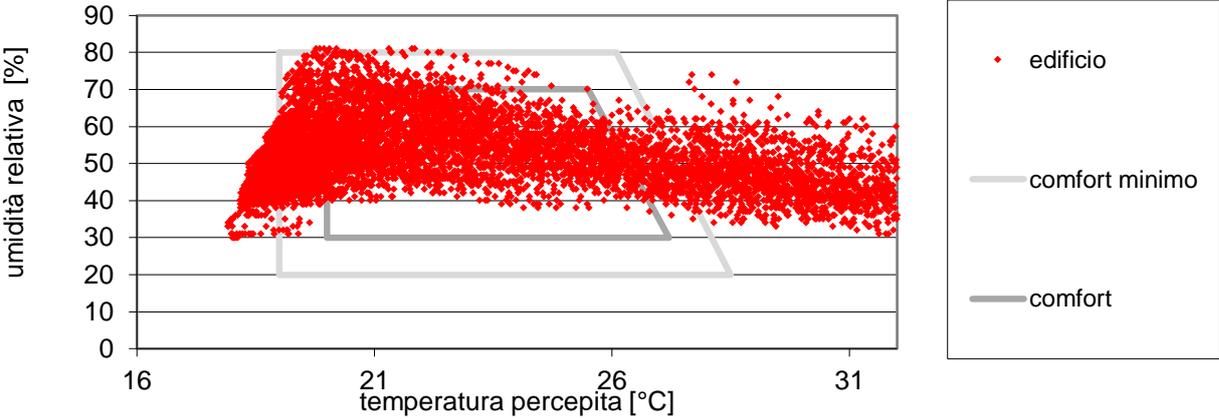


Grafico 14: INTERVENTO 4 - distribuzione del comfort

## 12.10 INTERVENTO 5.1: VENTILAZIONE NOTTURNA

La seguente simulazione prevede, rispetto alla proposta base, l'apertura degli infissi la notte al fine di sottrarre il calore accumulato dall'edificio durante il giorno. L'indice di ricambio indica quante volte in un'ora viene cambiato l'intero volume d'aria degli ambienti e l'unità di misura è  $[\text{m}^3/\text{h}] * \text{m}^3 = \text{h}^{-1}$ .

La proposta base prevede una ventilazione distribuita nell'arco delle 24 ore pari a  $0,3 \text{ h}^{-1}$  e nessuna ventilazione aggiuntiva notturna.

Con l'intervento 5.1 si aggiunge una ventilazione notturna di  $3.0 \text{ h}^{-1}$  che si concentra tra le ore 22:00 e le ore 6:00.

	Fabbisogno termico per il riscaldamento kWh/m <sup>2</sup> anno	Sensibile kWh/m <sup>2</sup> anno	Deumidificazione kWh/m <sup>2</sup> anno	Fabbisogno termico per il raffrescamento sensibile e la deumidificazione kWh/m <sup>2</sup> anno
PROPOSTA BASE 00	<b>21,0</b>	18,6	7,8	<b>26,4</b>
INTERVENTO 1: U -	18,4	19,4	7,8	27,2
INTERVENTO 2.1: U - -	12,6	18,5	7,7	26,2
INTERVENTO 2.2: U - - -	8,3	18,0	7,5	25,5
INTERVENTO 2.3: U - - - -	7,8	18,4	7,1	25,5
INTERVENTO 3.1: U <sub>w</sub> -	17,4	19,7	7,8	27,5
INTERVENTO 3.2: U <sub>w</sub> - -	16,0	19,8	7,8	27,6
INTERVENTO 3.3: U <sub>w</sub> - - -	15,0	18,7	7,8	26,5
INTERVENTO 4: F <sub>c</sub> -	21,0	9,3	7,8	17,1
INTERVENTO 5.1: vent. +++	<b>21,0</b>	10,5	8,4	<b>18,9</b>

La semplice apertura notturna delle finestre permette di diminuire del 30% il fabbisogno di raffrescamento dell'edificio.

### Fabbisogni termici involucro edilizio

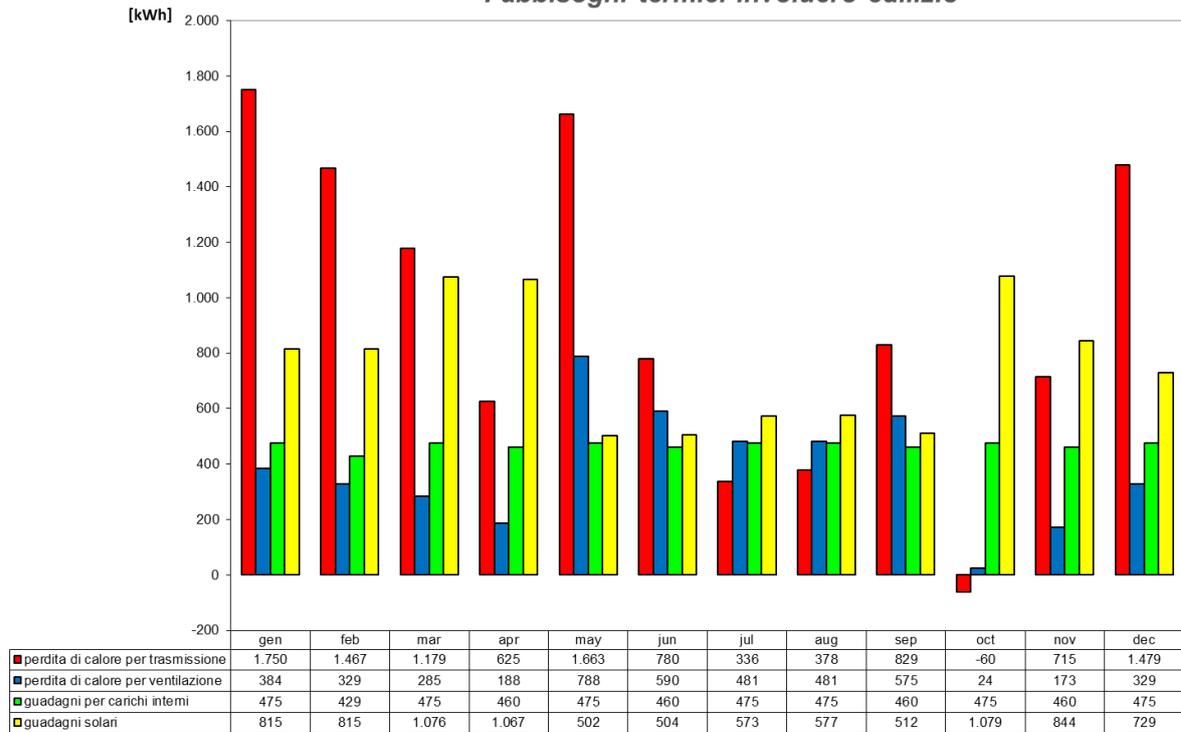


Grafico 15: INTERVENTO 5.1 - fabbisogni termici dell'involucro edilizio

Free running (senza raffrescamento attivo)							
	Comfort						Classe
	I+++	I++	I+	I	II	III	
PROPOSTA BASE 00	31,3	30,8	28,8	25,1	20,7	16,2	Discomfort
INTERVENTO 1: U -	32,3	31,8	30,0	26,8	22,5	17,8	Discomfort
INTERVENTO 2.1: U - -	36,8	36,5	35,2	32,6	29,3	25,1	Discomfort
INTERVENTO 2.2: U - - -	44,3	44,2	43,2	40,6	36,7	32,8	Discomfort
INTERVENTO 2.3: U - - - -	45,5	45,4	44,6	41,9	37,9	34,0	Discomfort
INTERVENTO 3.1: U <sub>w</sub> -	32,1	31,7	29,7	26,1	21,6	17,2	Discomfort
INTERVENTO 3.2: U <sub>w</sub> - -	32,2	31,8	29,7	26,3	21,7	17,2	Discomfort
INTERVENTO 3.3: U <sub>w</sub> - - -	31,0	30,4	28,4	24,8	20,3	15,3	Discomfort
INTERVENTO 4: F <sub>c</sub> -	24,7	23,2	20,2	15,2	9,6	5,0	Discomfort
INTERVENTO 5.1: vent. +++	19,6	18,4	16,0	12,8	9,2	5,9	Discomfort

Rispetto alla proposta base la sensazione di comfort risulta migliorata ma non è ancora ottimale.

## 12.11 INTERVENTO 5.2: VENTILAZIONE NOTTURNA

L'intervento 5.2 aggiunge alla proposta base una ventilazione notturna pari a 1,5 h<sup>-1</sup>.

	Fabbisogno termico per il riscaldamento kWh/m <sup>2</sup> anno	Sensibile kWh/m <sup>2</sup> anno	Deumidificazione kWh/m <sup>2</sup> anno	Fabbisogno termico per il raffrescamento sensibile e la deumidificazione kWh/m <sup>2</sup> anno
PROPOSTA BASE 00	<b>21,0</b>	18,6	7,8	<b>26,4</b>
INTERVENTO 1: U -	18,4	19,4	7,8	27,2
INTERVENTO 2.1: U --	12,6	18,5	7,7	26,2
INTERVENTO 2.2: U ---	8,3	18,0	7,5	25,5
INTERVENTO 2.3: U ----	7,8	18,4	7,1	25,5
INTERVENTO 3.1: U <sub>w</sub> -	17,4	19,7	7,8	27,5
INTERVENTO 3.2: U <sub>w</sub> --	16,0	19,8	7,8	27,6
INTERVENTO 3.3: U <sub>w</sub> ---	15,0	18,7	7,8	26,5
INTERVENTO 4: F <sub>c</sub> -	21,0	9,3	7,8	17,1
INTERVENTO 5.1: vent. +++	21,0	10,5	8,4	18,9
INTERVENTO 5.1: vent. ++	<b>21,0</b>	13,3	7,5	<b>20,8</b>

Con la ventilazione notturna il fabbisogno di raffrescamento e deumidificazione diminuisce del 22% rispetto alla proposta base ma non si raggiunge un'adeguata sensazione di comfort.

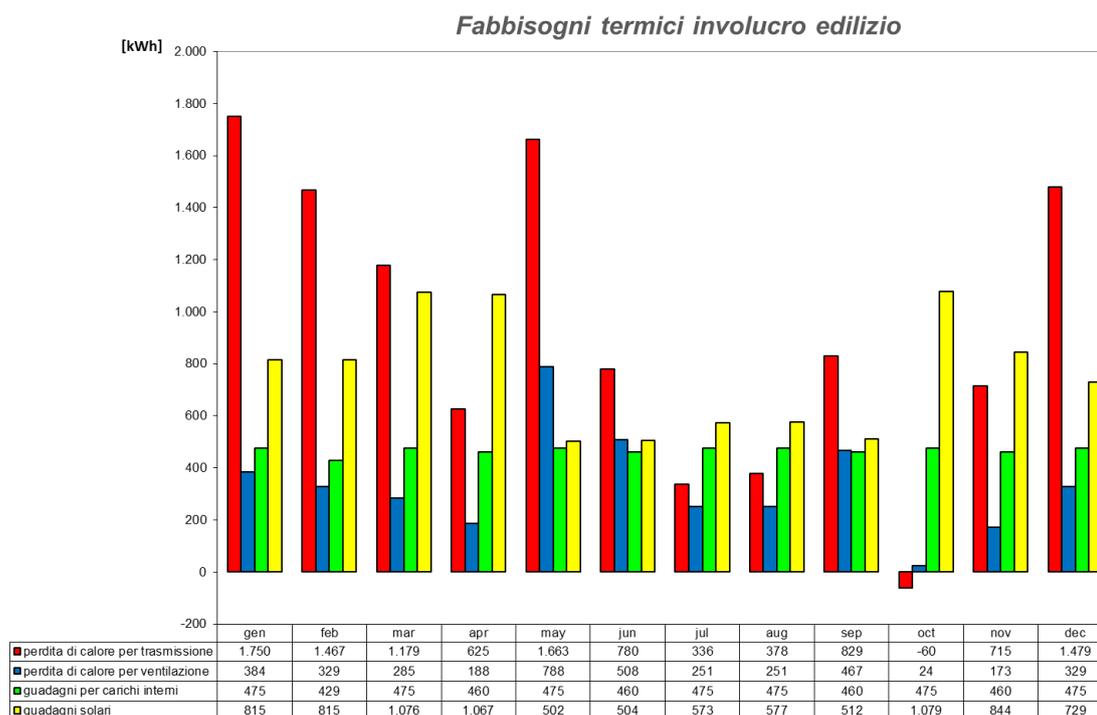


Grafico 16: INTERVENTO 5.2 - fabbisogni termici dell'involucro edilizio

Free running (senza raffrescamento attivo)							
	Comfort						Classe
	I+++	I++	I+	I	II	III	
PROPOSTA BASE 00	31,3	30,8	28,8	25,1	20,7	16,2	<b>Discomfort</b>
INTERVENTO 1: U -	32,3	31,8	30,0	26,8	22,5	17,8	Discomfort
INTERVENTO 2.1: U- -	36,8	36,5	35,2	32,6	29,3	25,1	Discomfort
INTERVENTO 2.2: U - - -	44,3	44,2	43,2	40,6	36,7	32,8	Discomfort
INTERVENTO 2.3: U - - - -	45,5	45,4	44,6	41,9	37,9	34,0	Discomfort
INTERVENTO 3.1: U <sub>w</sub> -	32,1	31,7	29,7	26,1	21,6	17,2	Discomfort
INTERVENTO 3.2: U <sub>w</sub> - -	32,2	31,8	29,7	26,3	21,7	17,2	Discomfort
INTERVENTO 3.3: U <sub>w</sub> - - -	31,0	30,4	28,4	24,8	20,3	15,3	Discomfort
INTERVENTO 4: Fc -	24,7	23,2	20,2	15,2	9,6	5,0	Discomfort
INTERVENTO 5.1: vent. +++	19,6	18,4	16,0	12,8	9,2	5,9	Discomfort
INTERVENTO 5.2: vent. ++	19,6	18,4	16,1	12,9	9,4	6,0	<b>Discomfort</b>

## 12.12 INTERVENTO 5.3: VENTILAZIONE NOTTURNA

L'intervento 5.3 aggiunge alla proposta base una ventilazione notturna pari a 0,5 h<sup>-1</sup>.

	Fabbisogno termico per il riscaldamento kWh/m <sup>2</sup> anno	Sensibile kWh/m <sup>2</sup> anno	Deumidificazione kWh/m <sup>2</sup> anno	Fabbisogno termico per il raffrescamento sensibile e la deumidificazione kWh/m <sup>2</sup> anno
PROPOSTA BASE 00	<b>21,0</b>	18,6	7,8	<b>26,4</b>
INTERVENTO 1: U -	18,4	19,4	7,8	27,2
INTERVENTO 2.1: U - -	12,6	18,5	7,7	26,2
INTERVENTO 2.2: U - - -	8,3	18,0	7,5	25,5
INTERVENTO 2.3: U - - - -	7,8	18,4	7,1	25,5
INTERVENTO 3.1: U <sub>w</sub> -	17,4	19,7	7,8	27,5
INTERVENTO 3.2: U <sub>w</sub> - -	16,0	19,8	7,8	27,6
INTERVENTO 3.3: U <sub>w</sub> - - -	15,0	18,7	7,8	26,5
INTERVENTO 4: F <sub>c</sub> -	21,0	9,3	7,8	17,1
INTERVENTO 5.1: vent. +++	21,0	10,5	8,4	18,9
INTERVENTO 5.2: vent. ++	21,0	13,3	7,5	20,8
INTERVENTO 5.3: vent. +	<b>21,0</b>	16,7	7,6	<b>24,3</b>

Al diminuire dell'indice di ricambio d'aria diminuisce anche l'effetto positivo dell'intervento sulla diminuzione del fabbisogno termico per il raffrescamento che, con l'intervento 5.3 diminuisce, rispetto alla proposta base, dell'8%.

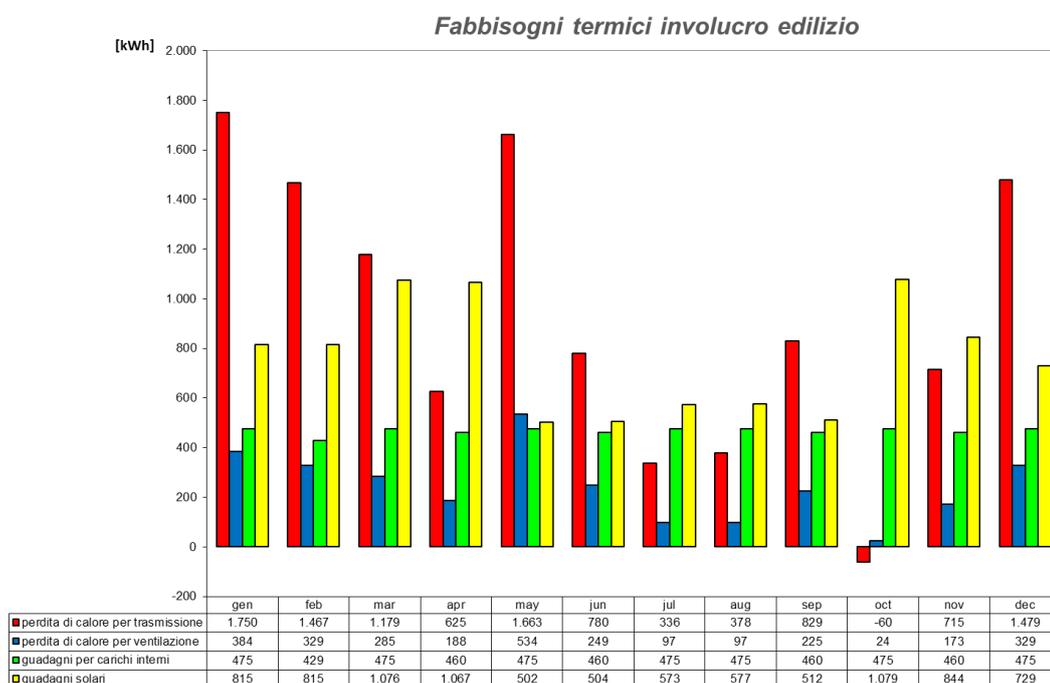


Grafico 17: INTERVENTO 5.3 - fabbisogni termici dell'involucro edilizio

Free running (senza raffrescamento attivo)							
	Comfort						Classe
	I+++	I++	I+	I	II	III	
PROPOSTA BASE 00	31,3	30,8	28,8	25,1	20,7	16,2	Discomfort
INTERVENTO 1: U -	32,3	31,8	30,0	26,8	22,5	17,8	Discomfort
INTERVENTO 2.1: U- -	36,8	36,5	35,2	32,6	29,3	25,1	Discomfort
INTERVENTO 2.2: U - - -	44,3	44,2	43,2	40,6	36,7	32,8	Discomfort
INTERVENTO 2.3: U - - - -	45,5	45,4	44,6	41,9	37,9	34,0	Discomfort
INTERVENTO 3.1: U <sub>w</sub> -	32,1	31,7	29,7	26,1	21,6	17,2	Discomfort
INTERVENTO 3.2: U <sub>w</sub> - -	32,2	31,8	29,7	26,3	21,7	17,2	Discomfort
INTERVENTO 3.3: U <sub>w</sub> - - -	31,0	30,4	28,4	24,8	20,3	15,3	Discomfort
INTERVENTO 4: Fc -	24,7	23,2	20,2	15,2	9,6	5,0	Discomfort
INTERVENTO 5.1: vent. +++	19,6	18,4	16,0	12,8	9,2	5,9	Discomfort
INTERVENTO 5.2: vent. ++	19,6	18,4	16,1	12,9	9,4	6,0	Discomfort
INTERVENTO 5.3: vent. +	29,6	28,8	26,2	22,5	17,8	13,5	Discomfort

La sensazione di comfort migliora leggermente rispetto alla proposta base ma non si raggiunge una classe adeguata.

## 12.13 INTERVENTO 6.1: AUMENTO DELLA CAPACITA' TERMICA AREICA INTERNA

E' possibile aumentare la capacità termica areica interna con l'utilizzo di materiali dotati di una alta densità e di un elevato calore specifico.

Il cartongesso viene sostituito da un intonaco di argilla e l'intercapedine di aria da un pannello in lana di legno mineralizzata con magnesite. Il parquet viene sostituito da piastrelle in ceramica.

I pacchetti costruttivi che soddisfano queste condizioni sono i seguenti:

**PARETE PERIMETRALE (P.06)**

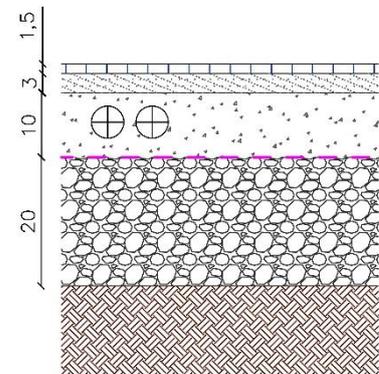
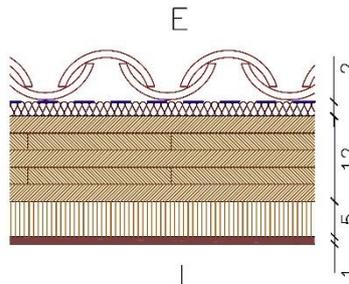
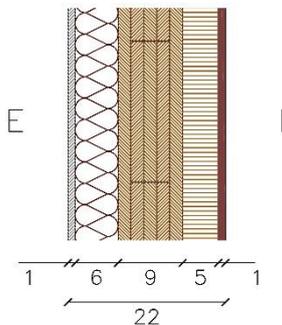
Materiale	Spessore	Conducibilità	Densità	Calore specifico
	d [m]	$\lambda$ [W/mK]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	c [kJ/kgK]
1. Intonaco in argilla	0,01	0,81	1700	0,93
2. Pannello in lana di legno mineralizzata con magnesite	0,05	0,10	450	1
3. Pannello di CLT	0,09	0,13	495	2
4. Pannello di sughero	0,06	0,04	120	1,67
5. Rete portaintonaco	0,001	0,20	1000	1
6. Intonaco in calce	0,01	0,70	1400	0,93

**COPERTURA NON VENTILATA (C.06)**

Materiale	Spessore	Conducibilità	Densità	Calore specifico
	d [m]	$\lambda$ [W/mK]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	c [kJ/kgK]
1. Intonaco in argilla	0,01	0,81	1700	0,93
2. Pannello in lana di legno mineralizzata con magnesite	0,05	0,10	450	1
3. Pannello di CLT	0,12	0,13	495	2
4. Pannello di sughero	0,02	0,04	120	1,67
5. Sottomanto traspirante	0,001	0,50	1000	1,26
6. Coppi	0,015	1,0	1800	0,9

**SOLAIO CONTROTERRA (S.06)**

Materiale	Spessore	Conducibilità	Densità	Calore specifico
	d [m]	$\lambda$ [W/mK]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	c [kJ/kgK]
1. Piastrelle di ceramica e colla	0,015	1,30	2300	0,84
2. Allettamento	0,03	1,33	2000	1,07
3. Massetto	0,10	1,40	2000	1,08
4. Ghiaia	0,20	0,70	1800	0,90



Caratteristiche termiche		
Trasmittanza termica	U (W/m <sup>2</sup> K)	0,35
Trasmittanza termica periodica	$Y_{ie}$ (W/m <sup>2</sup> K)	0,07
Ammettenza	Y22 (W/m <sup>2</sup> K)	2,20
Sfasamento	$\varphi$ (h)	10,4
Fattore di attenuazione	Fa (-)	0,21
Capacità termica areica interna	$\kappa_i$ (Wh/m <sup>2</sup> K)	8

Caratteristiche termiche		
Trasmittanza termica	U (W/m <sup>2</sup> K)	0,48
Trasmittanza termica periodica	$Y_{ie}$ (W/m <sup>2</sup> K)	0,10
Ammettenza	Y22 (W/m <sup>2</sup> K)	2,20
Sfasamento	$\varphi$ (h)	11,6
Fattore di attenuazione	Fa (-)	0,21
Capacità termica areica interna	$\kappa_i$ (Wh/m <sup>2</sup> K)	8

Caratteristiche termiche		
Trasmittanza termica	U (W/m <sup>2</sup> K)	1,78
Trasmittanza termica periodica	$Y_{ie}$ (W/m <sup>2</sup> K)	0,31
Ammettenza	Y22 (W/m <sup>2</sup> K)	5,61
Sfasamento	$\varphi$ (h)	11,3
Fattore di attenuazione	Fa (-)	0,17
Capacità termica areica interna	$\kappa_i$ (Wh/m <sup>2</sup> K)	21

La parete perimetrale ha un coefficiente di assorbimento  $\alpha=0,6$  (tinteggiatura non chiara).

La copertura ha un coefficiente di assorbimento  $\alpha=0,9$  (coppo rosso)

	Fabbisogno termico per il riscaldamento kWh/m <sup>2</sup> anno	Sensibile kWh/m <sup>2</sup> anno	Deumidificazione kWh/m <sup>2</sup> anno	Fabbisogno termico per il raffrescamento sensibile e la deumidificazione kWh/m <sup>2</sup> anno
PROPOSTA BASE 00	<b>21,0</b>	18,6	7,8	<b>26,4</b>
INTERVENTO 1: U -	18,4	19,4	7,8	27,2
INTERVENTO 2.1: U --	12,6	18,5	7,7	26,2
INTERVENTO 2.2: U ---	8,3	18,0	7,5	25,5
INTERVENTO 2.3: U ----	7,8	18,4	7,1	25,5
INTERVENTO 3.1: U <sub>W</sub> -	17,4	19,7	7,8	27,5
INTERVENTO 3.2: U <sub>W</sub> --	16,0	19,8	7,8	27,6
INTERVENTO 3.3: U <sub>W</sub> ---	15,0	18,7	7,8	26,5
INTERVENTO 4: Fc -	21,0	9,3	7,8	17,1
INTERVENTO 5.1: vent. +++	21,0	10,5	8,4	18,9
INTERVENTO 5.2: vent. ++	21,0	13,3	7,5	20,8
INTERVENTO 5.3: vent. +	21,0	16,7	7,6	24,3
INTERVENTO 6.1: κ +	<b>17,0</b>	16,9	7,4	<b>24,3</b>

L'intervento influenza sia il fabbisogno termico per il riscaldamento che diminuisce del 20% che il fabbisogno termico per il raffrescamento che diminuisce dell'8%.

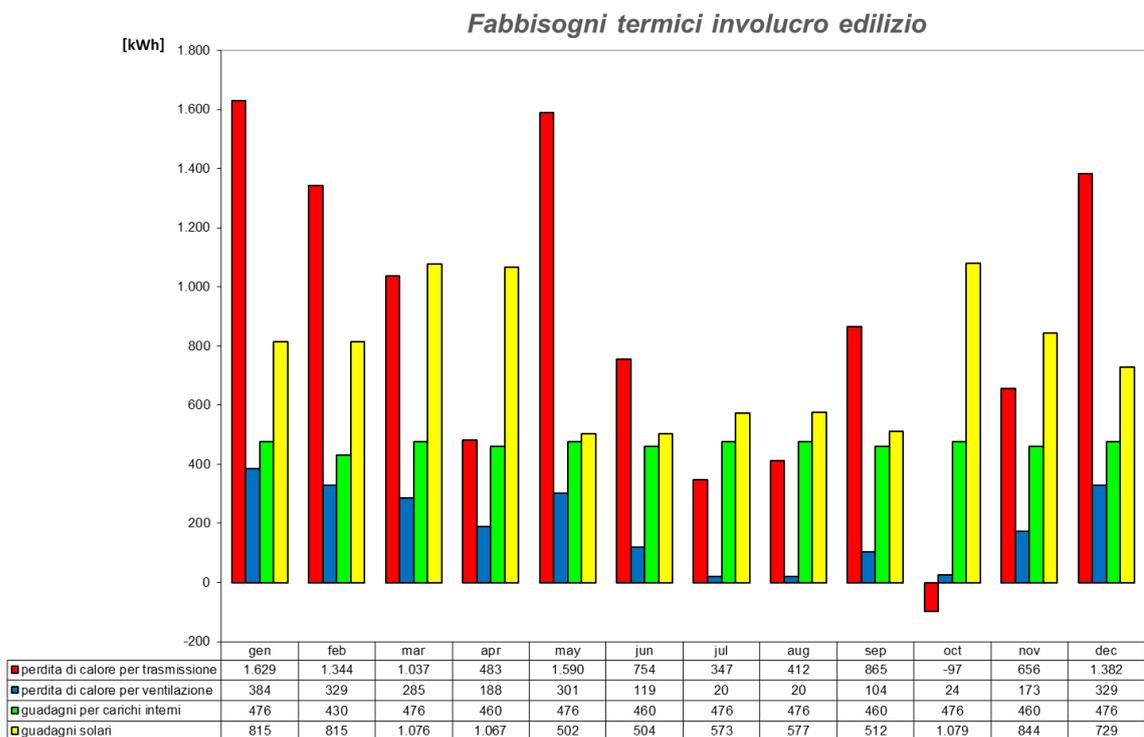


Grafico 18: INTERVENTO 6.1 - fabbisogni termici dell'involucro edilizio

Free running (senza raffrescamento attivo)							
	Comfort						Classe
	I+++	I++	I+	I	II	III	
PROPOSTA BASE 00	31,3	30,8	28,8	25,1	20,7	16,2	<b>Discomfort</b>
INTERVENTO 1: U -	32,3	31,8	30,0	26,8	22,5	17,8	Discomfort
INTERVENTO 2.1: U- -	36,8	36,5	35,2	32,6	29,3	25,1	Discomfort
INTERVENTO 2.2: U - - -	44,3	44,2	43,2	40,6	36,7	32,8	Discomfort
INTERVENTO 2.3: U - - - -	45,5	45,4	44,6	41,9	37,9	34,0	Discomfort
INTERVENTO 3.1: U <sub>w</sub> -	32,1	31,7	29,7	26,1	21,6	17,2	Discomfort
INTERVENTO 3.2: U <sub>w</sub> - -	32,2	31,8	29,7	26,3	21,7	17,2	Discomfort
INTERVENTO 3.3: U <sub>w</sub> - - -	31,0	30,4	28,4	24,8	20,3	15,3	Discomfort
INTERVENTO 4: Fc -	24,7	23,2	20,2	15,2	9,6	5,0	Discomfort
INTERVENTO 5.1: vent. +++	19,6	18,4	16,0	12,8	9,2	5,9	Discomfort
INTERVENTO 5.2: vent. ++	19,6	18,4	16,1	12,9	9,4	6,0	Discomfort
INTERVENTO 5.3: vent. +	29,6	28,8	26,2	22,5	17,8	13,5	Discomfort
INTERVENTO 6.1: κ +	32,5	32,1	30,5	27,5	23,2	18,3	<b>Discomfort</b>

L'intervento non garantisce una classe di comfort minima.

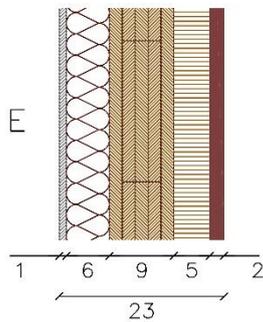
## 12.14 INTERVENTO 6.2: AUMENTO DELLA CAPACITA' TERMICA AREICA INTERNA

L'intervento 6.2 prevede un aumento dello spessore di intonaco in argilla nelle pareti e all'intradosso del solaio di copertura, mentre tiene inalterata la stratigrafia del solaio controterra rispetto alla proposta 6.1.

I pacchetti costruttivi sono dunque i seguenti:

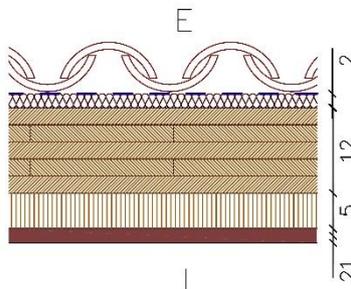
**PARETE PERIMETRALE (P.07)**

Materiale	Spessore	Conducibilità	Densità	Calore specifico
	d [m]	$\lambda$ [W/mK]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	c [kJ/kgK]
1. Intonaco in argilla	0,02	0,81	1700	0,93
2. Pannello in lana di legno mineralizzata con magnesite	0,05	0,10	450	1
3. Pannello di CLT	0,09	0,13	495	2
4. Pannello di sughero	0,06	0,04	120	1,67
5. Rete portaintonaco	0,001	0,20	1000	1
6. Intonaco in calce	0,01	0,70	1400	0,93



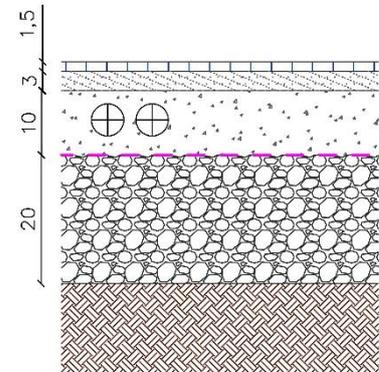
**COPERTURA NON VENTILATA (C.07)**

Materiale	Spessore	Conducibilità	Densità	Calore specifico
	d [m]	$\lambda$ [W/mK]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	c [kJ/kgK]
1. Intonaco in argilla	0,02	0,81	1700	0,93
2. Pannello in lana di legno mineralizzata con magnesite	0,05	0,10	450	1
3. Pannello di CLT	0,12	0,13	495	2
4. Pannello di sughero	0,02	0,04	120	1,67
5. Sottomanto traspirante	0,001	0,50	1000	1,26
6. Coppi	0,015	1,0	1800	0,9



**SOLAIO CONTROTERRA (S.06)**

Materiale	Spessore	Conducibilità	Densità	Calore specifico
	d [m]	$\lambda$ [W/mK]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	c [kJ/kgK]
1. Piastrelle di ceramica e colla	0,015	1,30	2300	0,84
2. Allettamento	0,03	1,33	2000	1,07
3. Massetto	0,10	1,40	2000	1,08
4. Ghiaia	0,20	0,70	1800	0,90



Caratteristiche termiche		
Trasmittanza termica	U (W/m <sup>2</sup> K)	0,34
Trasmittanza termica periodica	$Y_{ie}$ (W/m <sup>2</sup> K)	0,07
Ammetenza	$Y_{22}$ (W/m <sup>2</sup> K)	2,86
Sfasamento	$\varphi$ (h)	10,9
Fattore di attenuazione	Fa (-)	0,20
Capacità termica areica interna	$\kappa_i$ (Wh/m <sup>2</sup> K)	11

La parete perimetrale ha un coefficiente di assorbimento  $\alpha=0,6$  (tinteggiatura non chiara).

Caratteristiche termiche		
Trasmittanza termica	U (W/m <sup>2</sup> K)	0,47
Trasmittanza termica periodica	$Y_{ie}$ (W/m <sup>2</sup> K)	0,10
Ammetenza	$Y_{22}$ (W/m <sup>2</sup> K)	2,87
Sfasamento	$\varphi$ (h)	11,6
Fattore di attenuazione	Fa (-)	0,20
Capacità termica areica interna	$\kappa_i$ (Wh/m <sup>2</sup> K)	11

La copertura ha un coefficiente di assorbimento  $\alpha=0,9$  (coppo rosso)

Caratteristiche termiche		
Trasmittanza termica	U (W/m <sup>2</sup> K)	1,78
Trasmittanza termica periodica	$Y_{ie}$ (W/m <sup>2</sup> K)	0,31
Ammetenza	$Y_{22}$ (W/m <sup>2</sup> K)	5,61
Sfasamento	$\varphi$ (h)	11,3
Fattore di attenuazione	Fa (-)	0,17
Capacità termica areica interna	$\kappa_i$ (Wh/m <sup>2</sup> K)	21

	Fabbisogno termico per il riscaldamento kWh/m <sup>2</sup> anno	Sensibile kWh/m <sup>2</sup> anno	Deumidificazione kWh/m <sup>2</sup> anno	Fabbisogno termico per il raffrescamento sensibile e la deumidificazione kWh/m <sup>2</sup> anno
PROPOSTA BASE 00	<b>21,0</b>	18,6	7,8	<b>26,4</b>
INTERVENTO 1: U -	18,4	19,4	7,8	27,2
INTERVENTO 2.1: U --	12,6	18,5	7,7	26,2
INTERVENTO 2.2: U ---	8,3	18,0	7,5	25,5
INTERVENTO 2.3: U ----	7,8	18,4	7,1	25,5
INTERVENTO 3.1: U <sub>w</sub> -	17,4	19,7	7,8	27,5
INTERVENTO 3.2: U <sub>w</sub> --	16,0	19,8	7,8	27,6
INTERVENTO 3.3: U <sub>w</sub> ---	15,0	18,7	7,8	26,5
INTERVENTO 4: Fc -	21,0	9,3	7,8	17,1
INTERVENTO 5.1: vent. +++	21,0	10,5	8,4	18,9
INTERVENTO 5.2: vent. ++	21,0	13,3	7,5	20,8
INTERVENTO 5.3: vent. +	21,0	16,7	7,6	24,3
INTERVENTO 6.1: κ +	17,0	16,9	7,4	24,3
INTERVENTO 6.2: κ ++	<b>16,2</b>	16,9	7,3	<b>24,2</b>

L'aumento della capacità termica interna areica influenza sia il fabbisogno termico per il riscaldamento che il fabbisogno termico per il raffrescamento e quindi produce un effetto positivo sia in inverno che in estate.

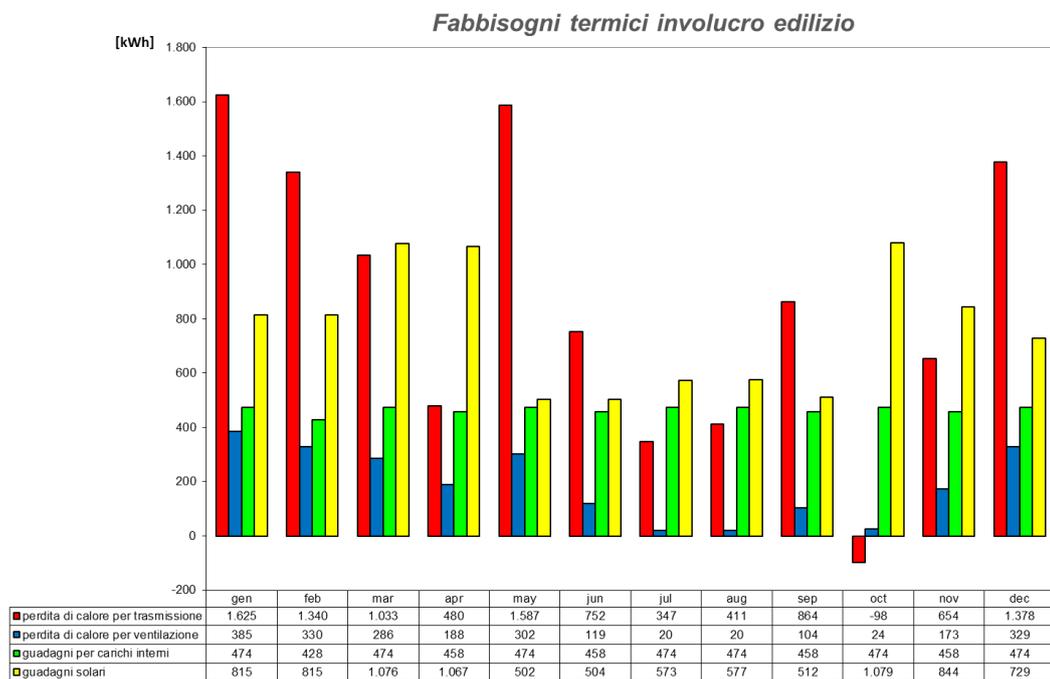


Grafico 19: INTERVENTO 6.2 - fabbisogni termici dell'involucro edilizio

Free running (senza raffrescamento attivo)							
	Comfort						Classe
	I+++	I++	I+	I	II	III	
PROPOSTA BASE 00	31,3	30,8	28,8	25,1	20,7	16,2	<b>Discomfort</b>
INTERVENTO 1: U -	32,3	31,8	30,0	26,8	22,5	17,8	<b>Discomfort</b>
INTERVENTO 2.1: U - -	36,8	36,5	35,2	32,6	29,3	25,1	<b>Discomfort</b>
INTERVENTO 2.2: U - - -	44,3	44,2	43,2	40,6	36,7	32,8	<b>Discomfort</b>
INTERVENTO 2.3: U - - - -	45,5	45,4	44,6	41,9	37,9	34,0	<b>Discomfort</b>
INTERVENTO 3.1: U <sub>w</sub> -	32,1	31,7	29,7	26,1	21,6	17,2	<b>Discomfort</b>
INTERVENTO 3.2: U <sub>w</sub> - -	32,2	31,8	29,7	26,3	21,7	17,2	<b>Discomfort</b>
INTERVENTO 3.3: U <sub>w</sub> - - -	31,0	30,4	28,4	24,8	20,3	15,3	<b>Discomfort</b>
INTERVENTO 4: Fc -	24,7	23,2	20,2	15,2	9,6	5,0	<b>Discomfort</b>
INTERVENTO 5.1: vent. +++	19,6	18,4	16,0	12,8	9,2	5,9	<b>Discomfort</b>
INTERVENTO 5.2: vent. ++	19,6	18,4	16,1	12,9	9,4	6,0	<b>Discomfort</b>
INTERVENTO 5.3: vent. +	29,6	28,8	26,2	22,5	17,8	13,5	<b>Discomfort</b>
INTERVENTO 6.1: κ +	32,5	32,1	30,5	27,5	23,2	18,3	<b>Discomfort</b>
INTERVENTO 6.2: κ + +	32,5	32,1	30,5	27,5	23,7	18,4	<b>Discomfort</b>

Da solo l'intervento non consente di migliorare la sensazione di comfort.

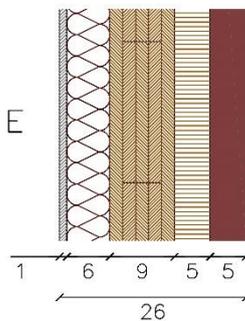
## 12.15 INTERVENTO 6.3: AUMENTO DELLA CAPACITA' TERMICA AREICA INTERNA

L'intervento 6.3 prevede un aumento dello spessore di intonaco in argilla nelle pareti e all'intradosso del solaio di copertura, mentre tiene inalterata la stratigrafia del solaio controterra rispetto alla proposta 6.1.

I pacchetti costruttivi sono dunque i seguenti:

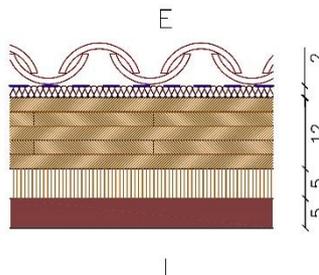
**PARETE PERIMETRALE (P.08)**

Materiale	Spessore	Conducibilità	Densità	Calore specifico
	d [m]	$\lambda$ [W/mK]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	c [kJ/kgK]
1. Intonaco in argilla	0,05	0,81	1700	0,93
2. Pannello in lana di legno mineralizzata con magnesite	0,05	0,10	450	1
3. Pannello di CLT	0,09	0,13	495	2
4. Pannello di sughero	0,06	0,04	120	1,67
5. Rete portaintonaco	0,001	0,20	1000	1
6. Intonaco in calce	0,01	0,70	1400	0,93



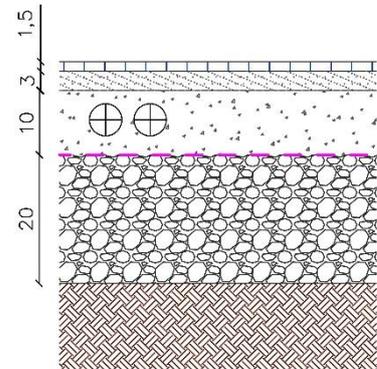
**COPERTURA NON VENTILATA (C.08)**

Materiale	Spessore	Conducibilità	Densità	Calore specifico
	d [m]	$\lambda$ [W/mK]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	c [kJ/kgK]
1. Intonaco in argilla	0,05	0,81	1700	0,93
2. Pannello in lana di legno mineralizzata con magnesite	0,05	0,10	450	1
3. Pannello di CLT	0,12	0,13	495	2
4. Pannello di sughero	0,02	0,04	120	1,67
5. Sottomanto traspirante	0,001	0,50	1000	1,26
6. Coppi	0,015	1,0	1800	0,9



**SOLAIO CONTROTERRA (S.06)**

Materiale	Spessore	Conducibilità	Densità	Calore specifico
	d [m]	$\lambda$ [W/mK]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	c [kJ/kgK]
1. Piastrelle di ceramica e colla	0,015	1,30	2300	0,84
2. Allettamento	0,03	1,33	2000	1,07
3. Massetto	0,10	1,40	2000	1,08
4. Ghiaia	0,20	0,70	1800	0,90



Caratteristiche termiche		
Trasmittanza termica	U (W/m <sup>2</sup> K)	0,34
Trasmittanza termica periodica	$Y_{ie}$ (W/m <sup>2</sup> K)	0,05
Ammettenza	Y22 (W/m <sup>2</sup> K)	4,33
Sfasamento	$\varphi$ (h)	12,3
Fattore di attenuazione	Fa (-)	0,16
Capacità termica areica interna	$\kappa_i$ (Wh/m <sup>2</sup> K)	17

La parete perimetrale ha un coefficiente di assorbimento  $\alpha=0,6$  (tinteggiatura non chiara).

Caratteristiche termiche		
Trasmittanza termica	U (W/m <sup>2</sup> K)	0,47
Trasmittanza termica periodica	$Y_{ie}$ (W/m <sup>2</sup> K)	0,08
Ammettenza	Y22 (W/m <sup>2</sup> K)	4,34
Sfasamento	$\varphi$ (h)	13
Fattore di attenuazione	Fa (-)	0,16
Capacità termica areica interna	$\kappa_i$ (Wh/m <sup>2</sup> K)	17

La copertura ha un coefficiente di assorbimento  $\alpha=0,9$  (coppo rosso)

Caratteristiche termiche		
Trasmittanza termica	U (W/m <sup>2</sup> K)	1,78
Trasmittanza termica periodica	$Y_{ie}$ (W/m <sup>2</sup> K)	
Ammettenza	Y22 (W/m <sup>2</sup> K)	5,61
Sfasamento	$\varphi$ (h)	11,3
Fattore di attenuazione	Fa (-)	0,17
Capacità termica areica interna	$\kappa_i$ (Wh/m <sup>2</sup> K)	21

	Fabbisogno termico per il riscaldamento kWh/m <sup>2</sup> anno	Sensibile kWh/m <sup>2</sup> anno	Deumidificazione kWh/m <sup>2</sup> anno	Fabbisogno termico per il raffrescamento sensibile e la deumidificazione kWh/m <sup>2</sup> anno
PROPOSTA BASE 00	<b>21,0</b>	18,6	7,8	<b>26,4</b>
INTERVENTO 1: U -	18,4	19,4	7,8	27,2
INTERVENTO 2.1: U - -	12,6	18,5	7,7	26,2
INTERVENTO 2.2: U - - -	8,3	18,0	7,5	25,5
INTERVENTO 2.3: U - - - -	7,8	18,4	7,1	25,5
INTERVENTO 3.1: U <sub>w</sub> -	17,4	19,7	7,8	27,5
INTERVENTO 3.2: U <sub>w</sub> - -	16,0	19,8	7,8	27,6
INTERVENTO 3.3: U <sub>w</sub> - - -	15,0	18,7	7,8	26,5
INTERVENTO 4: Fc -	21,0	9,3	7,8	17,1
INTERVENTO 5.1: vent. +++	21,0	10,5	8,4	18,9
INTERVENTO 5.2: vent. ++	21,0	13,3	7,5	20,8
INTERVENTO 5.3: vent. +	21,0	16,7	7,6	24,3
INTERVENTO 6.1: κ +	17,0	16,9	7,4	24,3
INTERVENTO 6.2: κ ++	16,2	16,9	7,3	24,2
INTERVENTO 6.3: κ +++	<b>14,7</b>	16,9	7,3	<b>24,2</b>

L'aumento della capacità termica interna areica influenza sia il fabbisogno termico per il riscaldamento che il fabbisogno termico per il raffrescamento. Il fabbisogno per il riscaldamento diminuisce del 30% mentre il fabbisogno per il raffrescamento diminuisce del 6,8%.

Da solo l'intervento non consente di migliorare la sensazione di comfort.

Free running (senza raffrescamento attivo)							
	Comfort						Classe
	I+++	I++	I+	I	II	III	
PROPOSTA BASE 00	31,3	30,8	28,8	25,1	20,7	16,2	Discomfort
INTERVENTO 1: U -	32,3	31,8	30,0	26,8	22,5	17,8	Discomfort
INTERVENTO 2.1: U - -	36,8	36,5	35,2	32,6	29,3	25,1	Discomfort
INTERVENTO 2.2: U - - -	44,3	44,2	43,2	40,6	36,7	32,8	Discomfort
INTERVENTO 2.3: U - - - -	45,5	45,4	44,6	41,9	37,9	34,0	Discomfort
INTERVENTO 3.1: U <sub>w</sub> -	32,1	31,7	29,7	26,1	21,6	17,2	Discomfort
INTERVENTO 3.2: U <sub>w</sub> - -	32,2	31,8	29,7	26,3	21,7	17,2	Discomfort
INTERVENTO 3.3: U <sub>w</sub> - - -	31,0	30,4	28,4	24,8	20,3	15,3	Discomfort

INTERVENTO 4: Fc -	24,7	23,2	20,2	15,2	9,6	5,0	Discomfort
INTERVENTO 5.1: vent. +++	19,6	18,4	16,0	12,8	9,2	5,9	Discomfort
INTERVENTO 5.2: vent. ++	19,6	18,4	16,1	12,9	9,4	6,0	Discomfort
INTERVENTO 5.3: vent. +	29,6	28,8	26,2	22,5	17,8	13,5	Discomfort
INTERVENTO 6.1: κ +	32,5	32,1	30,5	27,5	23,2	18,3	Discomfort
INTERVENTO 6.2: κ ++	32,5	32,1	30,5	27,5	23,7	18,4	Discomfort
INTERVENTO 6.3: κ +++	32,5	32,0	30,7	28,1	24,2	18,5	Discomfort

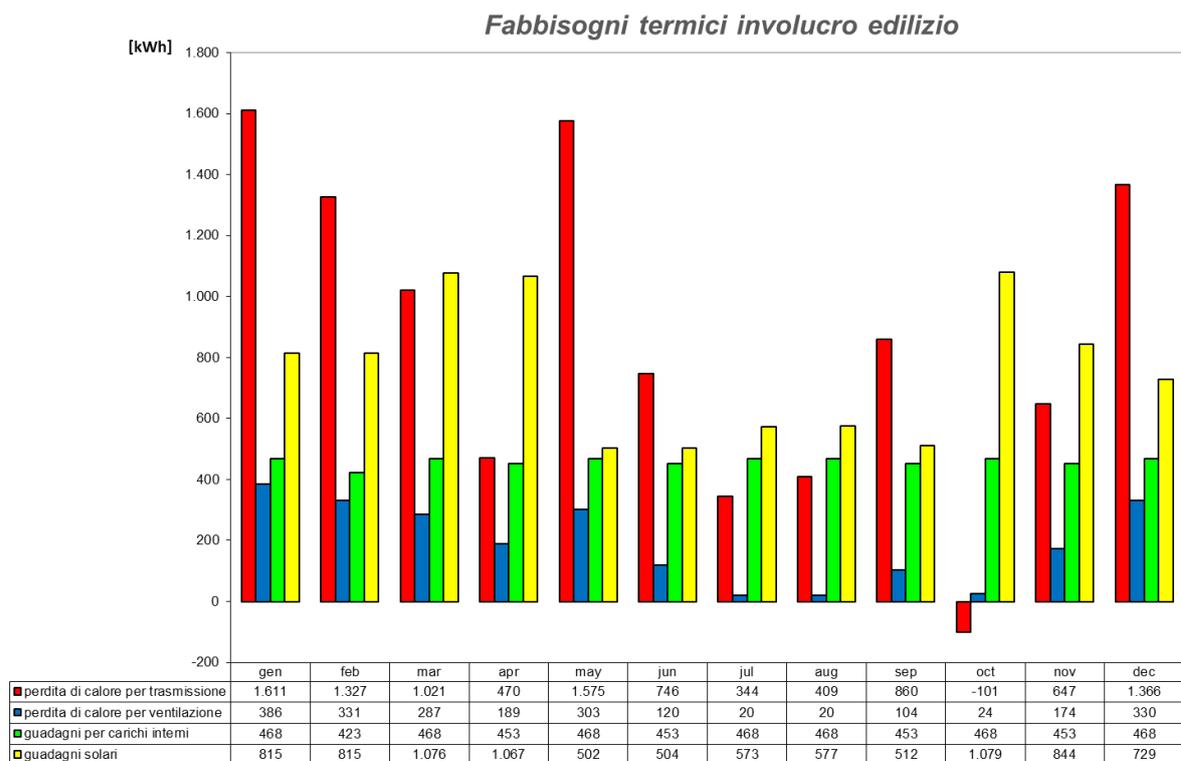


Grafico 20: INTERVENTO 6.3 - fabbisogni termici dell'involucro edilizio

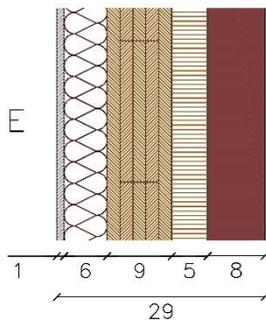
## 12.16 INTERVENTO 6.4: AUMENTO DELLA CAPACITA' TERMICA AREICA INTERNA

Con l'intervento 6.4 lo spessore di argilla viene portato a 8 cm sulle pareti e all'intradosso della copertura. Nella realtà del cantiere questo potrebbe essere realizzato con dei pannelli di argilla piuttosto che con strati successivi di intonaco.

Le stratigrafie costruttive sono le seguenti:

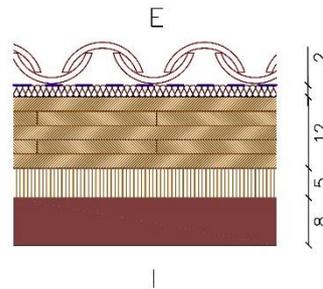
**PARETE PERIMETRALE (P.09)**

Materiale	Spessore	Conducibilità	Densità	Calore specifico
	d [m]	$\lambda$ [W/mK]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	c [kJ/kgK]
1. Intonaco in argilla	0,08	0,81	1700	0,93
2. Pannello in lana di legno mineralizzata con magnesite	0,05	0,10	450	1
3. Pannello di CLT	0,09	0,13	495	2
4. Pannello di sughero	0,06	0,04	120	1,67
5. Rete portaintonaco	0,001	0,20	1000	1
6. Intonaco in calce	0,01	0,70	1400	0,93



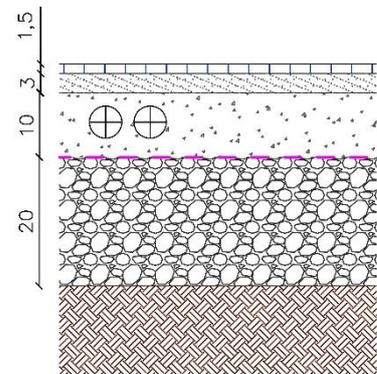
**COPERTURA NON VENTILATA (C.09)**

Materiale	Spessore	Conducibilità	Densità	Calore specifico
	d [m]	$\lambda$ [W/mK]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	c [kJ/kgK]
1. Intonaco in argilla	0,08	0,81	1700	0,93
2. Pannello in lana di legno mineralizzata con magnesite	0,05	0,10	450	1
3. Pannello di CLT	0,12	0,13	495	2
4. Pannello di sughero	0,02	0,04	120	1,67
5. Sottomanto traspirante	0,001	0,50	1000	1,26
6. Coppi	0,015	1,0	1800	0,9



**SOLAIO CONTROTERRA (S.06)**

Materiale	Spessore	Conducibilità	Densità	Calore specifico
	d [m]	$\lambda$ [W/mK]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	c [kJ/kgK]
1. Piastrelle di ceramica e colla	0,015	1,30	2300	0,84
2. Allettamento	0,03	1,33	2000	1,07
3. Massetto	0,10	1,40	2000	1,08
4. Ghiaia	0,20	0,70	1800	0,90



Caratteristiche termiche		
Trasmittanza termica	U (W/m <sup>2</sup> K)	0,34
Trasmittanza termica periodica	$Y_{ie}$ (W/m <sup>2</sup> K)	0,04
Ammettenza	Y22 (W/m <sup>2</sup> K)	4,93
Sfasamento	$\varphi$ (h)	13,6
Fattore di attenuazione	Fa (-)	0,12
Capacità termica areica interna	$\kappa_i$ (Wh/m <sup>2</sup> K)	19

La parete perimetrale ha un coefficiente di assorbimento  $\alpha=0,6$  (tinteggiatura non chiara).

Caratteristiche termiche		
Trasmittanza termica	U (W/m <sup>2</sup> K)	0,46
Trasmittanza termica periodica	$Y_{ie}$ (W/m <sup>2</sup> K)	0,06
Ammettenza	Y22 (W/m <sup>2</sup> K)	4,94
Sfasamento	$\varphi$ (h)	14,2
Fattore di attenuazione	Fa (-)	0,12
Capacità termica areica interna	$\kappa_i$ (Wh/m <sup>2</sup> K)	19

La copertura ha un coefficiente di assorbimento  $\alpha=0,9$  (coppo rosso)

Caratteristiche termiche		
Trasmittanza termica	U (W/m <sup>2</sup> K)	1,78
Trasmittanza termica periodica	$Y_{ie}$ (W/m <sup>2</sup> K)	0,31
Ammettenza	Y22 (W/m <sup>2</sup> K)	5,61
Sfasamento	$\varphi$ (h)	11,3
Fattore di attenuazione	Fa (-)	0,17
Capacità termica areica interna	$\kappa_i$ (Wh/m <sup>2</sup> K)	21

	Fabbisogno termico per il riscaldamento kWh/m <sup>2</sup> anno	Sensibile kWh/m <sup>2</sup> anno	Deumidificazione kWh/m <sup>2</sup> anno	Fabbisogno termico per il raffrescamento sensibile e la deumidificazione kWh/m <sup>2</sup> anno
PROPOSTA BASE 00	<b>21,0</b>	18,6	7,8	<b>26,4</b>
INTERVENTO 1: U -	18,4	19,4	7,8	27,2
INTERVENTO 2.1: U - -	12,6	18,5	7,7	26,2
INTERVENTO 2.2: U - - -	8,3	18,0	7,5	25,5
INTERVENTO 2.3: U - - - -	7,8	18,4	7,1	25,5
INTERVENTO 3.1: U <sub>w</sub> -	17,4	19,7	7,8	27,5
INTERVENTO 3.2: U <sub>w</sub> - -	16,0	19,8	7,8	27,6
INTERVENTO 3.3: U <sub>w</sub> - - -	15,0	18,7	7,8	26,5
INTERVENTO 4: Fc -	21,0	9,3	7,8	17,1
INTERVENTO 5.1: vent. +++	21,0	10,5	8,4	18,9
INTERVENTO 5.2: vent. ++	21,0	13,3	7,5	20,8
INTERVENTO 5.3: vent. +	21,0	16,7	7,6	24,3
INTERVENTO 6.1: κ +	17,0	16,9	7,4	24,3
INTERVENTO 6.2: κ ++	16,2	16,9	7,3	24,2
INTERVENTO 6.3: κ +++	14,7	16,9	7,3	24,2
INTERVENTO 6.4: κ ++++	<b>14,2</b>	16,9	7,3	<b>24,2</b>

L'ulteriore aumento della capacità termica areica interno ha dei benefici sul fabbisogno termico per il riscaldamento che passa da 21 kWh/m<sup>2</sup>anno a 14,2 kWh/m<sup>2</sup>anno, diminuendo in questo modo del 32%.

Free running (senza raffrescamento attivo)							
	Comfort						Classe
	I+++	I++	I+	I	II	III	
PROPOSTA BASE 00	31,3	30,8	28,8	25,1	20,7	16,2	Discomfort
INTERVENTO 1: U -	32,3	31,8	30,0	26,8	22,5	17,8	Discomfort
INTERVENTO 2.1: U - -	36,8	36,5	35,2	32,6	29,3	25,1	Discomfort
INTERVENTO 2.2: U - - -	44,3	44,2	43,2	40,6	36,7	32,8	Discomfort
INTERVENTO 2.3: U - - - -	45,5	45,4	44,6	41,9	37,9	34,0	Discomfort
INTERVENTO 3.1: U <sub>w</sub> -	32,1	31,7	29,7	26,1	21,6	17,2	Discomfort
INTERVENTO 3.2: U <sub>w</sub> - -	32,2	31,8	29,7	26,3	21,7	17,2	Discomfort
INTERVENTO 3.3: U <sub>w</sub> - - -	31,0	30,4	28,4	24,8	20,3	15,3	Discomfort

INTERVENTO 4: Fc -	24,7	23,2	20,2	15,2	9,6	5,0	Discomfort
INTERVENTO 5.1: vent. +++	19,6	18,4	16,0	12,8	9,2	5,9	Discomfort
INTERVENTO 5.2: vent. ++	19,6	18,4	16,1	12,9	9,4	6,0	Discomfort
INTERVENTO 5.3: vent. +	29,6	28,8	26,2	22,5	17,8	13,5	Discomfort
INTERVENTO 6.1: κ +	32,5	32,1	30,5	27,5	23,2	18,3	Discomfort
INTERVENTO 6.2: κ ++	32,5	32,1	30,5	27,5	23,7	18,4	Discomfort
INTERVENTO 6.3: κ +++	32,5	32,0	30,7	28,1	24,2	18,5	Discomfort
INTERVENTO 6.4: κ ++++	32,2	31,9	30,6	28,2	24,3	18,5	Discomfort

L'intervento non consente di raggiungere una classe di comfort minima.

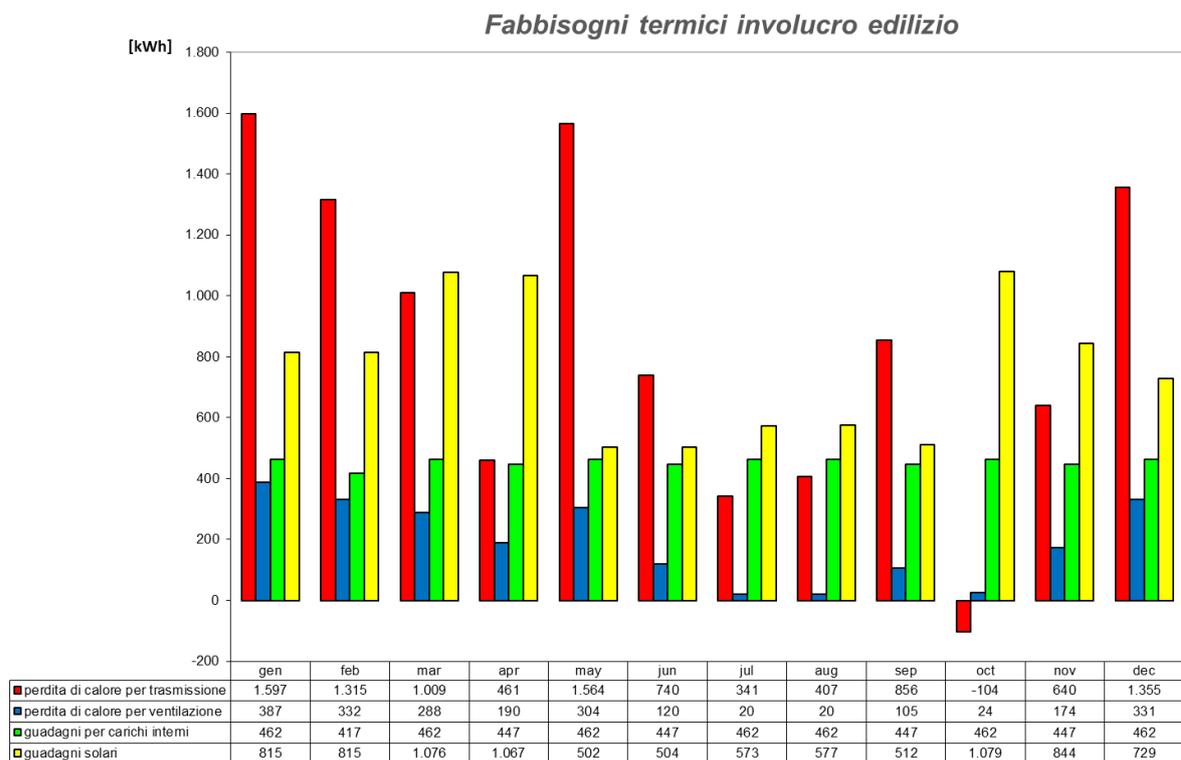


Grafico 21: INTERVENTO 6.4 - fabbisogni termici dell'involucro edilizio

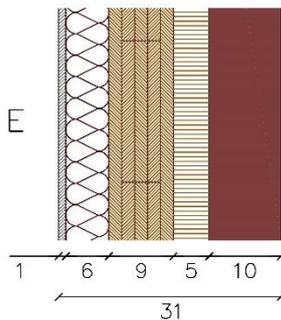
## 12.17 INTERVENTO 6.5: AUMENTO DELLA CAPACITA' TERMICA AREICA INTERNA

L'ultimo intervento di aumento della capacità termica areica interna prevede uno strato di argilla di 10 cm sia nelle pareti che nella copertura.

10 cm sono il limite oltre il quale la capacità termica areica interna delle stratigrafie proposte non cambia ulteriormente.

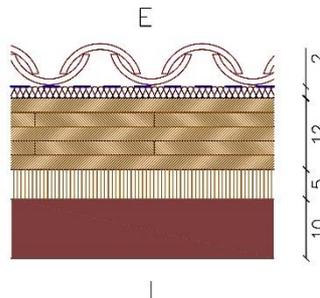
**PARETE PERIMETRALE (P.10)**

Materiale	Spessore	Conducibilità	Densità	Calore specifico
	d [m]	$\lambda$ [W/mK]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	c [kJ/kgK]
1. Intonaco in argilla	0,10	0,81	1700	0,93
2. Pannello in lana di legno mineralizzata con magnesite	0,05	0,10	450	1
3. Pannello di CLT	0,09	0,13	495	2
4. Pannello di sughero	0,06	0,04	120	1,67
5. Rete portaintonaco	0,001	0,20	1000	1
6. Intonaco in calce	0,01	0,70	1400	0,93



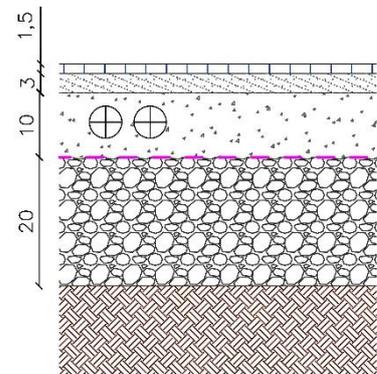
**COPERTURA NON VENTILATA (C.10)**

Materiale	Spessore	Conducibilità	Densità	Calore specifico
	d [m]	$\lambda$ [W/mK]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	c [kJ/kgK]
1. Intonaco in argilla	0,10	0,81	1700	0,93
2. Pannello in lana di legno mineralizzata con magnesite	0,05	0,10	450	1
3. Pannello di CLT	0,12	0,13	495	2
4. Pannello di sughero	0,02	0,04	120	1,67
5. Sottomanto traspirante	0,001	0,50	1000	1,26
6. Coppi	0,015	1,0	1800	0,9



**SOLAIO CONTROTERRA (S.06)**

Materiale	Spessore	Conducibilità	Densità	Calore specifico
	d [m]	$\lambda$ [W/mK]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	c [kJ/kgK]
1. Piastrelle di ceramica e colla	0,015	1,30	2300	0,84
2. Allettamento	0,03	1,33	2000	1,07
3. Massetto	0,10	1,40	2000	1,08
4. Ghiaia	0,20	0,70	1800	0,90



Caratteristiche termiche		
Trasmittanza termica	U (W/m <sup>2</sup> K)	0,33
Trasmittanza termica periodica	$Y_{ie}$ (W/m <sup>2</sup> K)	0,03
Ammettenza	Y22 (W/m <sup>2</sup> K)	5,05
Sfasamento	$\varphi$ (h)	14,3
Fattore di attenuazione	Fa (-)	0,10
Capacità termica areica interna	$\kappa_i$ (Wh/m <sup>2</sup> K)	19

La parete perimetrale ha un coefficiente di assorbimento  $\alpha=0,6$  (tinteggiatura non chiara).

Caratteristiche termiche		
Trasmittanza termica	U (W/m <sup>2</sup> K)	0,45
Trasmittanza termica periodica	$Y_{ie}$ (W/m <sup>2</sup> K)	0,05
Ammettenza	Y22 (W/m <sup>2</sup> K)	5,06
Sfasamento	$\varphi$ (h)	14,9
Fattore di attenuazione	Fa (-)	0,10
Capacità termica areica interna	$\kappa_i$ (Wh/m <sup>2</sup> K)	19

La copertura ha un coefficiente di assorbimento  $\alpha=0,9$  (coppo rosso)

Caratteristiche termiche		
Trasmittanza termica	U (W/m <sup>2</sup> K)	1,78
Trasmittanza termica periodica	$Y_{ie}$ (W/m <sup>2</sup> K)	0,31
Ammettenza	Y22 (W/m <sup>2</sup> K)	5,61
Sfasamento	$\varphi$ (h)	11,3
Fattore di attenuazione	Fa (-)	0,17
Capacità termica areica interna	$\kappa_i$ (Wh/m <sup>2</sup> K)	21

	Fabbisogno termico per il riscaldamento kWh/m <sup>2</sup> anno	Sensibile kWh/m <sup>2</sup> anno	Deumidificazione kWh/m <sup>2</sup> anno	Fabbisogno termico per il raffrescamento sensibile e la deumidificazione kWh/m <sup>2</sup> anno
PROPOSTA BASE 00	<b>21,0</b>	18,6	7,8	<b>26,4</b>
INTERVENTO 1: U -	18,4	19,4	7,8	27,2
INTERVENTO 2.1: U - -	12,6	18,5	7,7	26,2
INTERVENTO 2.2: U - - -	8,3	18,0	7,5	25,5
INTERVENTO 2.3: U - - - -	7,8	18,4	7,1	25,5
INTERVENTO 3.1: U <sub>w</sub> -	17,4	19,7	7,8	27,5
INTERVENTO 3.2: U <sub>w</sub> - -	16,0	19,8	7,8	27,6
INTERVENTO 3.3: U <sub>w</sub> - - -	15,0	18,7	7,8	26,5
INTERVENTO 4: Fc -	21,0	9,3	7,8	17,1
INTERVENTO 5.1: vent. +++	21,0	10,5	8,4	18,9
INTERVENTO 5.2: vent. ++	21,0	13,3	7,5	20,8
INTERVENTO 5.3: vent. +	21,0	16,7	7,6	24,3
INTERVENTO 6.1: κ +	17,0	16,9	7,4	24,3
INTERVENTO 6.2: κ ++	16,2	16,9	7,3	24,2
INTERVENTO 6.3: κ +++	14,7	16,9	7,3	24,2
INTERVENTO 6.4: κ ++++	14,2	16,9	7,3	24,2
INTERVENTO 6.5: κ +++++	<b>14,1</b>	16,9	7,2	<b>24,1</b>

Free running (senza raffrescamento attivo)							
	Comfort						Classe
	I+++	I++	I+	I	II	III	
PROPOSTA BASE 00	31,3	30,8	28,8	25,1	20,7	16,2	Discomfort
INTERVENTO 1: U -	32,3	31,8	30,0	26,8	22,5	17,8	Discomfort
INTERVENTO 2.1: U - -	36,8	36,5	35,2	32,6	29,3	25,1	Discomfort
INTERVENTO 2.2: U - - -	44,3	44,2	43,2	40,6	36,7	32,8	Discomfort
INTERVENTO 2.3: U - - - -	45,5	45,4	44,6	41,9	37,9	34,0	Discomfort
INTERVENTO 3.1: U <sub>w</sub> -	32,1	31,7	29,7	26,1	21,6	17,2	Discomfort
INTERVENTO 3.2: U <sub>w</sub> - -	32,2	31,8	29,7	26,3	21,7	17,2	Discomfort
INTERVENTO 3.3: U <sub>w</sub> - - -	31,0	30,4	28,4	24,8	20,3	15,3	Discomfort
INTERVENTO 4: Fc -	24,7	23,2	20,2	15,2	9,6	5,0	Discomfort
INTERVENTO 5.1: vent. +++	19,6	18,4	16,0	12,8	9,2	5,9	Discomfort

INTERVENTO 5.2: vent. ++	19,6	18,4	16,1	12,9	9,4	6,0	Discomfort
INTERVENTO 5.3: vent. +	29,6	28,8	26,2	22,5	17,8	13,5	Discomfort
INTERVENTO 6.1: κ +	32,5	32,1	30,5	27,5	23,2	18,3	Discomfort
INTERVENTO 6.2: κ ++	32,5	32,1	30,5	27,5	23,7	18,4	Discomfort
INTERVENTO 6.3: κ +++	32,5	32,0	30,7	28,1	24,2	18,5	Discomfort
INTERVENTO 6.4: κ ++++	32,2	31,9	30,6	28,2	24,3	18,5	Discomfort
INTERVENTO 6.5: κ +++++	32,2	31,9	30,7	28,2	24,4	18,6	Discomfort

L'intervento consente una diminuzione del fabbisogno di riscaldamento del 37% e una diminuzione del fabbisogno di raffrescamento del 9% ma non consente di raggiungere una classe di comfort.

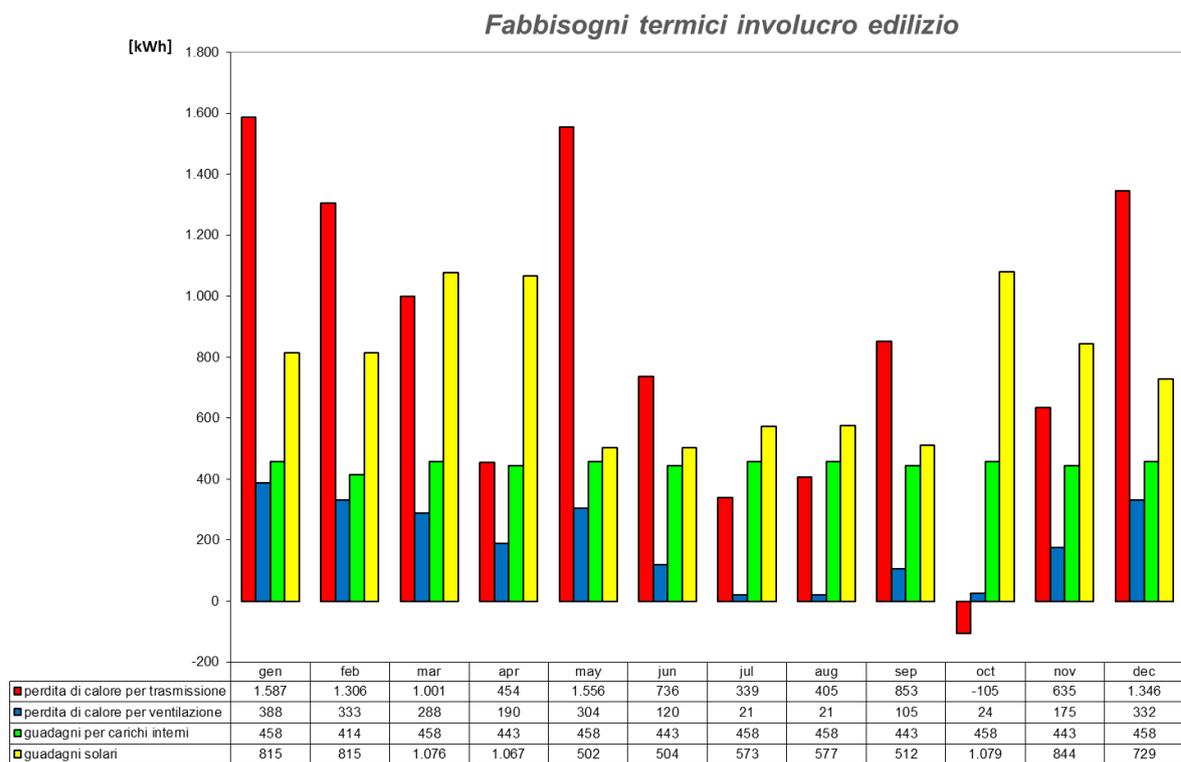


Grafico 22: INTERVENTO 6.5 - fabbisogni termici dell'involucro edilizio

## 12.18 INTERVENTO 7: DIMINUZIONE DEL COEFFICIENTE DI ASSORBIMENTO DI PARETE E COPERTURA

Nella proposta base il materiale esterno che compone la parete ha un coefficiente di assorbimento  $\alpha=0,6$  e un coefficiente di emissione pari a  $\epsilon=0,9$ .

I valori di  $\alpha = 0,6$  e  $\epsilon = 0,9$  rappresentano un intonaco non chiaro.

Il manto di copertura in tegole rosse ha un coefficiente di assorbimento  $\alpha = 0,9$  e un coefficiente di emissione  $\epsilon = 0,9$ .

L'intervento 7 ha come obiettivo quello di verificare l'andamento dei fabbisogni e del comfort al diminuire del coefficiente di assorbimento delle superfici. In particolare nelle pareti si utilizzerà un intonaco con tinteggiatura chiara ( $\alpha = 0,3$ ) e sulla copertura un coppo chiaro ( $\alpha = 0,6$ ).

	PARETE		COPERTURA	
	$\alpha$	$\epsilon$	$\alpha$	$\epsilon$
PROPOSTA BASE 00	0,6	0,9	0,9	0,9
INTERVENTO 7	0,3	0,9	0,6	0,9

	Fabbisogno termico per il riscaldamento kWh/m <sup>2</sup> anno	Sensibile kWh/m <sup>2</sup> anno	Deumidificazione kWh/m <sup>2</sup> anno	Fabbisogno termico per il raffrescamento sensibile e la deumidificazione kWh/m <sup>2</sup> anno
PROPOSTA BASE 00	<b>21,0</b>	18,6	7,8	<b>26,4</b>
INTERVENTO 1: U -	18,4	19,4	7,8	27,2
INTERVENTO 2.1: U --	12,6	18,5	7,7	26,2
INTERVENTO 2.2: U ---	8,3	18,0	7,5	25,5
INTERVENTO 2.3: U ----	7,8	18,4	7,1	25,5
INTERVENTO 3.1: U <sub>w</sub> -	17,4	19,7	7,8	27,5
INTERVENTO 3.2: U <sub>w</sub> --	16,0	19,8	7,8	27,6
INTERVENTO 3.3: U <sub>w</sub> ---	15,0	18,7	7,8	26,5
INTERVENTO 4: Fc -	21,0	9,3	7,8	17,1
INTERVENTO 5.1: vent. +++	21,0	10,5	8,4	18,9
INTERVENTO 5.2: vent. ++	21,0	13,3	7,5	20,8
INTERVENTO 5.3: vent. +	21,0	16,7	7,6	24,3
INTERVENTO 6.1: κ +	17,0	16,9	7,4	24,3
INTERVENTO 6.2: κ ++	16,2	16,9	7,3	24,2
INTERVENTO 6.3: κ +++	14,7	16,9	7,3	24,2

INTERVENTO 6.4: κ ++++	14,2	16,9	7,3	24,2
INTERVENTO 6.5: κ +++++	14,1	16,9	7,2	24,1
INTERVENTO 7: α -	22,3	13,3	7,8	21,1

La colorazione chiara delle pareti e della copertura ha un effetto positivo sulla diminuzione del fabbisogno per il raffrescamento. Questo infatti passa da 26,4 kWh/m<sup>2</sup>anno a 21,1 kWh/m<sup>2</sup>anno diminuendo del 20%.

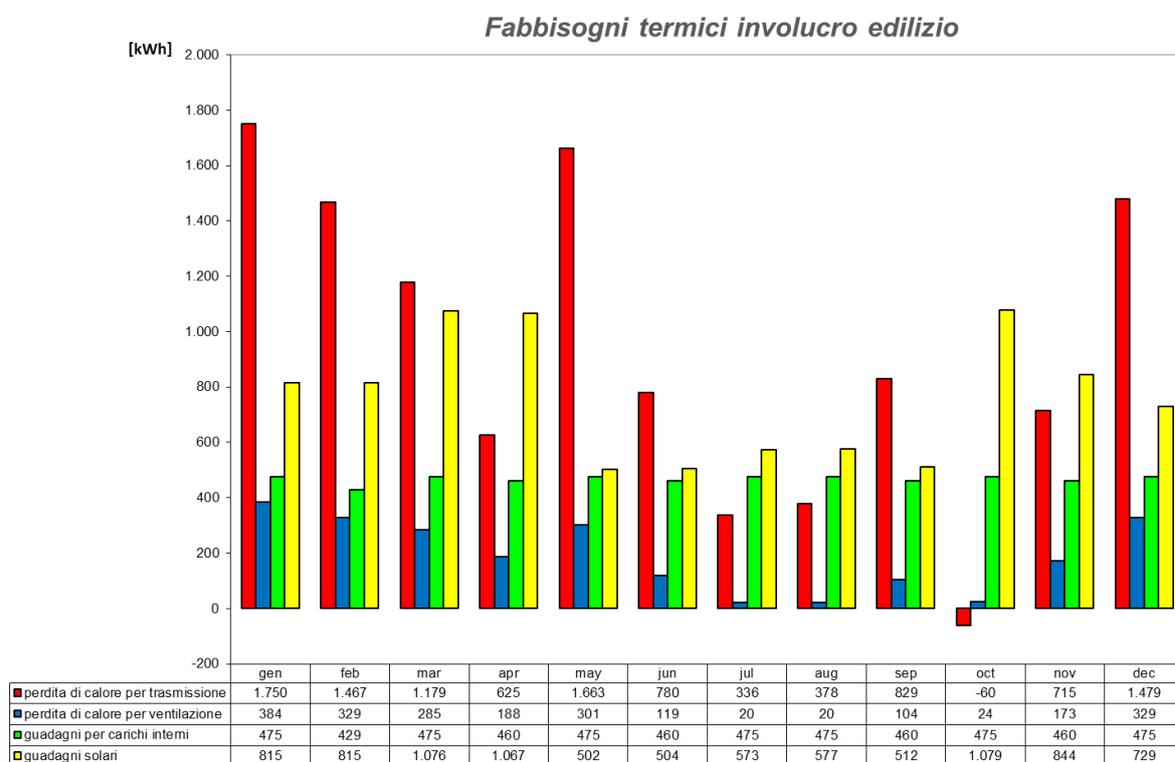


Grafico 23: INTERVENTO 7 - fabbisogni termici dell'involucro edilizio

Free running (senza raffrescamento attivo)							
	Comfort						Classe
	I+++	I++	I+	I	II	III	
PROPOSTA BASE 00	31,3	30,8	28,8	25,1	20,7	16,2	Discomfort
INTERVENTO 1: U -	32,3	31,8	30,0	26,8	22,5	17,8	Discomfort
INTERVENTO 2.1: U - -	36,8	36,5	35,2	32,6	29,3	25,1	Discomfort
INTERVENTO 2.2: U - - -	44,3	44,2	43,2	40,6	36,7	32,8	Discomfort
INTERVENTO 2.3: U - - - -	45,5	45,4	44,6	41,9	37,9	34,0	Discomfort
INTERVENTO 3.1: U <sub>W</sub> -	32,1	31,7	29,7	26,1	21,6	17,2	Discomfort
INTERVENTO 3.2: U <sub>W</sub> - -	32,2	31,8	29,7	26,3	21,7	17,2	Discomfort
INTERVENTO 3.3: U <sub>W</sub> - - -	31,0	30,4	28,4	24,8	20,3	15,3	Discomfort

INTERVENTO 4: Fc -	24,7	23,2	20,2	15,2	9,6	5,0	Discomfort
INTERVENTO 5.1: vent. +++	19,6	18,4	16,0	12,8	9,2	5,9	Discomfort
INTERVENTO 5.2: vent. ++	19,6	18,4	16,1	12,9	9,4	6,0	Discomfort
INTERVENTO 5.3: vent. +	29,6	28,8	26,2	22,5	17,8	13,5	Discomfort
INTERVENTO 6.1: κ +	32,5	32,1	30,5	27,5	23,2	18,3	Discomfort
INTERVENTO 6.2: κ ++	32,5	32,1	30,5	27,5	23,7	18,4	Discomfort
INTERVENTO 6.3: κ +++	32,5	32,0	30,7	28,1	24,2	18,5	Discomfort
INTERVENTO 6.4: κ ++++	32,2	31,9	30,6	28,2	24,3	18,5	Discomfort
INTERVENTO 6.5: κ +++++	32,2	31,9	30,7	28,2	24,4	18,6	Discomfort
INTERVENTO 7: α -	28,6	27,8	25,5	21,6	16,9	11,4	Discomfort

L'intervento da solo non permette di raggiungere una classe di comfort minima.

## 12.19 CONCLUSIONI

Gli interventi proposti riescono a diminuire i fabbisogni termici dell'edificio ma non garantiscono una sensazione di comfort.

In particolare l'intervento che riduce maggiormente il fabbisogno termico per il riscaldamento invernale è la coibentazione dell'edificio (da 21,0 kWh/m<sup>2</sup>anno a 7,8 kWh/m<sup>2</sup>anno).

L'intervento che diminuisce il fabbisogno termico per il raffrescamento sensibile e la deumidificazione è la maggiore schermatura degli infissi (da 26,4 kWh/m<sup>2</sup>anno a 17,1 kWh/m<sup>2</sup>anno). Lo stesso intervento diminuisce in maniera significativa il fabbisogno di raffrescamento sensibile (da 18,6 kWh/m<sup>2</sup>anno a 9,3 kWh/m<sup>2</sup>anno) ma è l'aumento della capacità termica interna areica attraverso un intonaco di argilla che permette di ridurre il fabbisogno di deumidificazione (da 7,8 kWh/m<sup>2</sup>anno a 7,2 kWh/m<sup>2</sup>anno) (grazie alle proprietà igrometriche dell'argilla).

Nessun intervento singolarmente è in grado di migliorare la sensazione di benessere degli abitanti.

L'intervento che restituisce una percentuale di tempo inferiore fuori dalla classe di comfort III è l'intervento di schermatura degli infissi seguito dalla ventilazione notturna e dalla tinteggiatura chiara delle superfici.

Attraverso la combinazione degli interventi che singolarmente hanno restituito risultati positivi è possibile studiare i fabbisogni di riscaldamento e di raffrescamento dell'edificio.

In particolare le combinazioni proposte sono le seguenti:

- COMBINAZIONE 1: INTERVENTO 1 + INTERVENTO 4
- COMBINAZIONE 2: INTERVENTO 1 + INTERVENTO 7
- COMBINAZIONE 3: INTERVENTO 1 + INTERVENTO 6.3
- COMBINAZIONE 4: INTERVENTO 1 + INTERVENTO 5.2
- COMBINAZIONE 5: INTERVENTO 1 + INTERVENTO 3.2
- COMBINAZIONE 6: INTERVENTO 1 + INTERVENTO 4 + INTERVENTO 6.3
- COMBINAZIONE 7: INTERVENTO 1 + 4 + 5.2 + 6.3
- COMBINAZIONE 8: INTERVENTO 1 + 4 + 5.2 + 7
- COMBINAZIONE 9: INTERVENTO 1 + 3.2 + 4 + 5.2 + 6.3
- COMBINAZIONE 10: INTERVENTO 1 + 3.2 + 4 + 5.2 + 6.3 + 7
- COMBINAZIONE 11: INTERVENTO 2.3 + 3.3 + 4 + 5.1 + 6.5 + 7

## 12.20 COMBINAZIONE DI INTERVENTI

	Fabbisogno termico per il riscaldamento kWh/m <sup>2</sup> anno	Sensibile kWh/m <sup>2</sup> anno	Deumidificazione kWh/m <sup>2</sup> anno	Fabbisogno termico per il raffrescamento sensibile e la deumidificazione kWh/m <sup>2</sup> anno
PROPOSTA BASE 00	<b>21,0</b>	18,6	7,8	<b>26,4</b>
INTERVENTO 1: U -	18,4	19,4	7,8	27,2
INTERVENTO 2.1: U - -	12,6	18,5	7,7	26,2
INTERVENTO 2.2: U - - -	8,3	18,0	7,5	25,5
INTERVENTO 2.3: U - - - -	7,8	18,4	7,1	25,5
INTERVENTO 3.1: U <sub>W</sub> -	17,4	19,7	7,8	27,5
INTERVENTO 3.2: U <sub>W</sub> - -	16,0	19,8	7,8	27,6
INTERVENTO 3.3: U <sub>W</sub> - - -	15,0	18,7	7,8	26,5
INTERVENTO 4: Fc -	21,0	9,3	7,8	17,1
INTERVENTO 5.1: vent. +++	21,0	10,5	8,4	18,9
INTERVENTO 5.2: vent. ++	21,0	13,3	7,5	20,8
INTERVENTO 5.3: vent. +	21,0	16,7	7,6	24,3
INTERVENTO 6.1: κ +	17,0	16,9	7,4	24,3
INTERVENTO 6.2: κ ++	16,2	16,9	7,3	24,2
INTERVENTO 6.3: κ +++	14,7	16,9	7,3	24,2
INTERVENTO 6.4: κ ++++	14,2	16,9	7,3	24,2
INTERVENTO 6.5: κ +++++	14,1	16,9	7,2	24,1
INTERVENTO 7: α -	22,3	13,3	7,8	21,1
COMB. 1: 1 + 4	<b>18,4</b>	9,4	7,8	<b>17,2</b>
COMB. 2: 1 + 7	<b>22,3</b>	13,3	7,8	<b>21,1</b>
COMB. 3: 1 + 6.3	<b>13,1</b>	18,8	7,3	<b>26,1</b>
COMB. 4: 1 + 5.2	<b>18,4</b>	13,5	7,4	<b>20,9</b>
COMB. 5: 1 + 3.2	<b>13,4</b>	20,7	7,8	<b>28,5</b>
COMB. 6: 1 + 4 + 6.3	<b>13,1</b>	8,6	7,3	<b>15,9</b>
COMB. 7: 1 + 4 + 5.2 + 6.3	<b>13,1</b>	4,9	6,6	<b>11,5</b>
COMB. 8: 1 + 4 + 5.2 + 7	<b>19,5</b>	2,9	7,4	<b>10,3</b>
COMB. 9: 1+3.2+4+5.2+6.3	<b>8,5</b>	5,4	6,6	<b>12,0</b>
COMB. 10: 1+3.2+4+5.2+6.3+7	<b>9,3</b>	3,0	6,6	<b>9,6</b>
COMB. 11: 2.3+3.3+4+5.1+6.5+7	<b>1,0</b>	0,3	8,0	<b>8,3</b>

Temperatura interna	26°C												
	Fabbisogno termico per il riscaldamento	Aumento/diminuzione	Aumento/diminuzione	Fabbisogno di raffrescamento sensibile	Aumento/diminuzione	Aumento/diminuzione	Fabbisogno di deumidificazione	Aumento/diminuzione	Aumento/diminuzione	Fabbisogno termico per il raffrescamento sensibile e la deumidificazione	Aumento/diminuzione	Aumento/diminuzione	Classe di comfort da raggiungere
	Q <sub>h</sub> kWh/ m <sup>2</sup> anno	kWh/ m <sup>2</sup> anno	%	Q <sub>c1</sub> kWh/ m <sup>2</sup> anno	kWh/ m <sup>2</sup> anno	%	Q <sub>c2</sub> kWh/ m <sup>2</sup> anno	kWh/ m <sup>2</sup> anno	%	Q <sub>c</sub> kWh/ m <sup>2</sup> anno	kWh/ m <sup>2</sup> anno	%	%
PROPOSTA BASE 0	21,0			18,6			7,8			26,4			III 16,2
INTERVENTO 1: U -	18,4	-2,6	-12,4	19,4	+0,8	+4,3	7,8	0	0	27,2	-1,6	-5,6	III 17,8
INTERVENTO 2.1: U --	12,6	-8,4	-40,0	18,5	-0,1	-0,5	7,7	-0,1	-1,3	26,2	-2,6	-9,0	III 25,1
INTERVENTO 2.2: U ---	8,3	-12,7	-60,5	18,0	-0,6	-3,2	7,5	-0,3	-3,8	25,5	-3,3	-11,5	III 32,8
INTERVENTO 2.3: U ----	7,8	-13,2	-62,9	18,4	-0,2	-1,1	7,1	-0,7	-9,0	25,5	-3,3	-11,5	III 34,0
INTERVENTO 3.1: U <sub>w</sub> -	17,4	-3,6	-17,1	19,7	+1,1	+5,9	7,8	0	0	27,5	-1,3	-4,5	III 17,2
INTERVENTO 3.2: U <sub>w</sub> --	16,0	-5,0	-23,8	19,8	+1,2	+6,5	7,8	0	0	27,6	-1,2	-4,2	III 17,2
INTERVENTO 3.3: U <sub>w</sub> ---	15,0	-6,0	-28,6	18,7	+0,1	+0,5	7,8	0	0	26,5	-2,3	-8,0	III 15,3
INTERVENTO 4: Fc -	21,0	0	0	9,3	-9,3	-50,0	7,8	0	0	17,1	-11,7	-40,6	III 5,0
INTERVENTO 5.1: vent +++	21,0	0	0	10,5	-8,1	-43,5	8,4	+0,6	+7,7	18,9	-9,9	-34,4	III 5,9
INTERVENTO 5.2: vent ++	21,0	0	0	13,3	-5,3	-28,5	7,5	-0,3	-3,8	20,8	-8,0	-27,8	III 6,0
INTERVENTO 5.3: vent +	21,0	0	0	16,7	-1,9	-10,2	7,6	-0,2	-2,6	24,3	-4,5	-15,6	III 13,5
INTERVENTO 6.1: κ +	17,0	-4,0	-19,0	16,9	-1,7	-9,1	7,4	-0,4	-5,1	24,3	-4,5	-15,6	III 18,3
INTERVENTO 6.2: κ ++	16,2	-4,8	-22,9	16,9	-1,7	-9,1	7,3	-0,5	-6,4	24,2	-4,6	-16,0	III 18,4
INTERVENTO 6.3: κ +++	14,7	-6,3	-30,0	16,9	-1,7	-9,1	7,3	-0,5	-6,4	24,2	-4,6	-16,0	III 18,5
INTERVENTO 6.4: κ ++++	14,2	-6,8	-32,4	16,9	-1,7	-9,1	7,3	-0,5	-6,4	24,2	-4,6	-16,0	III 18,5
INTERVENTO 6.5: κ ++++	14,1	-6,9	-32,9	16,9	-1,7	-9,1	7,2	-0,6	-7,7	24,1	-4,7	-16,3	III 18,6
INTERVENTO 7: α -	22,3	+1,3	+6,2	13,3	-5,3	-28,5	7,8	0	0	21,1	-7,7	-26,7	III 11,4
COMB. 1 = 1 + 4	18,4	-2,6	-12,4	9,4	-9,2	-49,5	7,8	0	0	17,2	-11,6	-40,3	III 5,1
COMB. 2 = 1 + 7	22,3	+1,3	+6,2	13,3	-5,3	-28,5	7,8	0	0	21,1	-7,7	-26,7	III 11,4
COMB. 3 = 1 + 6.3	13,1	-7,9	-37,6	18,8	+0,2	+1,1	7,3	-0,5	-6,4	26,1	-2,7	-9,4	III 20,1
COMB. 4 = 1 + 5.2	18,4	-2,6	-12,4	13,5	-5,1	-27,4	7,4	-0,4	-5,1%	20,9	-7,9	-27,4	III 5,2
COMB. 5 = 1 + 3.2	13,4	-7,6	-36,2	20,7	+2,1	+11,3	7,8	0	0	28,5	-0,3	-1,0	III 19,1
COMB. 6 = 1 + 4 + 6.3	13,1	-7,9	-37,6	8,6	-10,0	-53,8	7,3	-0,5	-6,4	15,9	-12,9	-44,8	III 5,3
COMB. 7 = 1 + 4 + 5.2 + 6.3	13,1	-7,9	-37,6	4,9	-13,7	-73,7	6,6	-1,2	-15,4	11,5	-17,3	-60,1	II 0,5
COMB. 8 = 1 + 4 + 5.2 + 7	19,5	-1,5	-7,1	2,9	-15,7	-84,4	7,4	-0,4	-5,1	10,3	-18,5	-64,2	II 0,8
COMB. 9 = 1 + 3.2 + 4 + 5.2 + 6.3	8,5	-12,5	-59,5	5,4	-13,2	-71,0	6,6	-1,2	-15,4	12,0	-16,8	-58,3	II 0,5
COMB.10 =1+3.2+4+5.2+6.3+7	9,3	-11,7	-55,7	3,0	-15,6	-83,9	6,6	-1,2	-15,4	9,6	-19,2	-66,7	I 1,0
COMB.11=2.3+3.3+4+5.1+6.5+7	1,0	-20,0	-95,2	0,3	-18,3	-98,4	8,0	0,2	+2,6	8,3	-20,5	-71,2	I+ 1,5

La combinazione di interventi che garantisce il minore fabbisogno termico per il riscaldamento è la combinazione 9 in cui si interviene attraverso:

INT.	TIPO DI INTERVENTO	PROPOSTA BASE 00	COMBINAZIONE 9
1	TRASMITTANZA PARETE	$U = 0,38 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U = 0,34 \text{ W/m}^2\text{K}$
	TRASMITTANZA TERMICA PERIODICA PARETE	$Y_{ie} = 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$	$Y_{ie} = 0,05 \text{ W/m}^2\text{K}$
1	TRASMITTANZA COPERTURA	$U = 0,56 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U = 0,32 \text{ W/m}^2\text{K}$
	TRASMITTANZA TERMICA PERIODICA COPERTURA	$Y_{ie} = 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$	$Y_{ie} = 0,03 \text{ W/m}^2\text{K}$
1	TRASMITTANZA SOLAIO CONTROTERRA	$U = 1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U = 0,44 \text{ W/m}^2\text{K}$
3.2	INFISSI	$U_w = 2,6 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U_w = 1,29$ $U_w = 1,35$ $U_w = 1,57$
4	SCHERMATURA INFISSI	$F_c = 0,39$	$F_c = 0,05$
5.2	VENTILAZIONE NOTTURNA	-	$1,5 \text{ h}^{-1}$
6.3	CAPACITA' TERMICA PARETE	$8 \text{ Wh/m}^2\text{K}$	$17 \text{ Wh/m}^2\text{K}$
6.3	CAPACITA' TERMICA COPERTURA	$7 \text{ Wh/m}^2\text{K}$	$17 \text{ Wh/m}^2\text{K}$
6.3	CAPACITA' TERMICA SOLAIO CONTROTERRA	$14 \text{ Wh/m}^2\text{K}$	$22 \text{ Wh/m}^2\text{K}$

La diminuzione del fabbisogno di riscaldamento è del 59,5 %.

La combinazione di interventi che garantisce il minore fabbisogno termico per il raffrescamento e la migliore classe di comfort è la combinazione 10 in cui si interviene attraverso:

INT.	TIPO DI INTERVENTO	PROPOSTA BASE 00	COMBINAZIONE 10
1	TRASMITTANZA PARETE	$U = 0,38 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U = 0,34 \text{ W/m}^2\text{K}$
	TRASMITTANZA TERMICA PERIODICA PARETE	$Y_{ie} = 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$	$Y_{ie} = 0,05 \text{ W/m}^2\text{K}$
1	TRASMITTANZA COPERTURA	$U = 0,56 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U = 0,32 \text{ W/m}^2\text{K}$
	TRASMITTANZA TERMICA PERIODICA COPERTURA	$Y_{ie} = 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$	$Y_{ie} = 0,03 \text{ W/m}^2\text{K}$
1	TRASMITTANZA SOLAIO CONTROTERRA	$U = 1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U = 0,44 \text{ W/m}^2\text{K}$
3.2	INFISSI	$U_w = 2,6 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U_w = 1,29$ $U_w = 1,35$ $U_w = 1,57$
4	SCHERMATURA INFISSI	$F_c = 0,39$	$F_c = 0,05$
5.2	VENTILAZIONE NOTTURNA	-	$1,5 \text{ h}^{-1}$
6.3	CAPACITA' TERMICA PARETE	$8 \text{ Wh/m}^2\text{K}$	$17 \text{ Wh/m}^2\text{K}$
6.3	CAPACITA' TERMICA COPERTURA	$7 \text{ Wh/m}^2\text{K}$	$17 \text{ Wh/m}^2\text{K}$
6.3	CAPACITA' TERMICA SOLAIO CONTROTERRA	$14 \text{ Wh/m}^2\text{K}$	$22 \text{ Wh/m}^2\text{K}$

7	COEFFICIENTE ASSORBIMENTO PARETE	$\alpha = 0,6$	$\alpha = 0,3$
7	COEFFICIENTE ASSORBIMENTO COPERTURA	$\alpha = 0,9$	$\alpha = 0,6$

La combinazione 10 garantisce una diminuzione del fabbisogno di raffrescamento sensibile dell'83,9 %, una diminuzione del fabbisogno di deumidificazione del 15,4 % e una diminuzione del fabbisogno totale per il raffrescamento estivo pari a 66,7%.

Free running (senza raffrescamento attivo)							
	Comfort						Classe
	I+++	I++	I+	I	II	III	
PROPOSTA BASE 00	31,3	30,8	28,8	25,1	20,7	16,2	<b>Discomfort</b>
INTERVENTO 1: U -	32,3	31,8	30,0	26,8	22,5	17,8	Discomfort
INTERVENTO 2.1: U - -	36,8	36,5	35,2	32,6	29,3	25,1	Discomfort
INTERVENTO 2.2: U - - -	44,3	44,2	43,2	40,6	36,7	32,8	Discomfort
INTERVENTO 2.3: U - - - -	45,5	45,4	44,6	41,9	37,9	34,0	Discomfort
INTERVENTO 3.1: U <sub>w</sub> -	32,1	31,7	29,7	26,1	21,6	17,2	Discomfort
INTERVENTO 3.2: U <sub>w</sub> - -	32,2	31,8	29,7	26,3	21,7	17,2	Discomfort
INTERVENTO 3.3: U <sub>w</sub> - - -	31,0	30,4	28,4	24,8	20,3	15,3	Discomfort
INTERVENTO 4: Fc -	24,7	23,2	20,2	15,2	9,6	5,0	Discomfort
INTERVENTO 5.1: vent. +++	19,6	18,4	16,0	12,8	9,2	5,9	Discomfort
INTERVENTO 5.2: vent. ++	19,6	18,4	16,1	12,9	9,4	6,0	Discomfort
INTERVENTO 5.3: vent. +	29,6	28,8	26,2	22,5	17,8	13,5	Discomfort
INTERVENTO 6.1: κ +	32,5	32,1	30,5	27,5	23,2	18,3	Discomfort
INTERVENTO 6.2: κ ++	32,5	32,1	30,5	27,5	23,7	18,4	Discomfort
INTERVENTO 6.3: κ +++	32,5	32,0	30,7	28,1	24,2	18,5	Discomfort
INTERVENTO 6.4: κ ++++	32,2	31,9	30,6	28,2	24,3	18,5	Discomfort
INTERVENTO 6.5: κ +++++	32,2	31,9	30,7	28,2	24,4	18,6	Discomfort
INTERVENTO 7: α -	28,6	27,8	25,5	21,6	16,9	11,4	Discomfort
COMB. 1: 1 + 4	28,6	27,8	25,5	21,6	16,9	11,4	<b>Discomfort</b>
COMB. 2: 1 + 7	25,8	24,0	20,9	16,0	9,9	5,1	<b>Discomfort</b>
COMB. 3: 1 + 6.3	33,0	32,5	31,5	29,2	25,7	20,1	<b>Discomfort</b>
COMB. 4: 1 + 5.2	19,2	17,9	15,5	12,3	8,6	5,2	<b>Discomfort</b>
COMB. 5: 1 + 3.2	33,0	32,6	31,0	28,0	23,7	19,1	<b>Discomfort</b>
COMB. 6: 1 + 4 + 6.3	27,6	25,9	22,7	17,3	10,6	5,3	<b>Discomfort</b>
COMB. 7: 1 + 4 + 5.2 + 6.3	10,5	8,1	4,6	1,8	0,5	0,1	<b>III</b>

COMB. 8: 1 + 4 + 5.2 + 7	10,1	8,2	4,9	2,4	0,8	0,3	III
COMB. 9: 1+3.2+4+5.2+6.3	10,9	8,5	4,9	1,9	0,5	0,1	III
COMB. 10: 1+3.2+4+5.2+6.3+7	8,3	6,1	3,0	1,0	0,2	0,0	II
COMB. 11: 2.3+3.3+4+5.1+6.5+7	5,4	3,7	1,5	0,4	0,1	0,0	I

Un discorso a parte merita la **combinazione 11**.

La combinazione 11 abbina gli interventi più spinti dal punto di vista tecnico ed economico (elevati spessori di coibentazione, tripli vetri, etc). E' stata studiata per confrontare i benefici rispetto alle soluzioni precedenti.

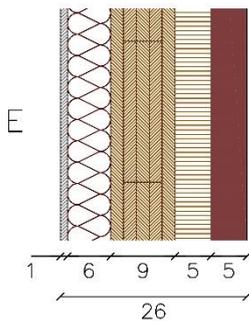
INT.	TIPO DI INTERVENTO	PROPOSTA BASE 00	COMBINAZIONE 11
1	TRASMITTANZA PARETE	$U = 0,38 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U = 0,07 \text{ W/m}^2\text{K}$
	TRASMITTANZA TERMICA PERIODICA PARETE	$Y_{ie} = 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$	$Y_{ie} = 0,00 \text{ W/m}^2\text{K}$
1	TRASMITTANZA COPERTURA	$U = 0,56 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U = 0,07 \text{ W/m}^2\text{K}$
	TRASMITTANZA TERMICA PERIODICA COPERTURA	$Y_{ie} = 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$	$Y_{ie} = 0,00 \text{ W/m}^2\text{K}$
1	TRASMITTANZA SOLAIO CONTROTERRA	$U = 1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U = 0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$
3.2	INFISSI	$U_w = 2,6 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U_w = 0,67 \text{ W/m}^2\text{K}$ $U_w = 0,73 \text{ W/m}^2\text{K}$ $U_w = 0,93 \text{ W/m}^2\text{K}$
4	SCHERMATURA INFISSI	$F_c = 0,39$	$F_c = 0,05$
5.2	VENTILAZIONE NOTTURNA	-	$3,0 \text{ h}^{-1}$
6.3	CAPACITA' TERMICA PARETE	$8 \text{ Wh/m}^2\text{K}$	$19 \text{ Wh/m}^2\text{K}$
6.3	CAPACITA' TERMICA COPERTURA	$7 \text{ Wh/m}^2\text{K}$	$19 \text{ Wh/m}^2\text{K}$
6.3	CAPACITA' TERMICA SOLAIO CONTR.	$14 \text{ Wh/m}^2\text{K}$	$22 \text{ Wh/m}^2\text{K}$
7	COEFFICIENTE ASSORBIMENTO PARETE	$\alpha = 0,6$	$\alpha = 0,3$
7	COEFFICIENTE ASSORBIMENTO COPERTURA	$\alpha = 0,9$	$\alpha = 0,6$

La combinazione 11 ha un rapporto costi/benefici non favorevole. Infatti la classe di comfort aumenta di un livello rispetto alla combinazione 10 e la diminuzione dei fabbisogni non giustifica i maggiori costi che bisognerebbe sostenere per attuare questa combinazione di interventi.

Le combinazioni 3, 6, 7, 9 e 10 sono caratterizzate dai seguenti pacchetti costruttivi:

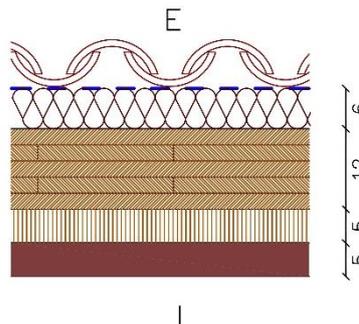
**PARETE PERIMETRALE (P.11)**

Materiale	Spessore	Conducibilità	Densità	Calore specifico
	d [m]	$\lambda$ [W/mK]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	c [kJ/kgK]
1. Intonaco in argilla	0,05	0,81	1700	0,93
2. Pannello in lana di legno mineralizzata con magnesite	0,05	0,10	450	1
3. Pannello di CLT	0,09	0,13	495	2
4. Pannello di sughero	0,06	0,04	120	1,67
5. Intonaco in calce	0,01	0,70	1400	0,93



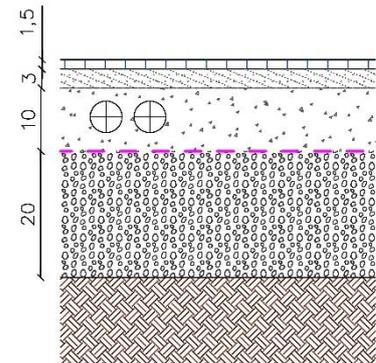
**COPERTURA NON VENTILATA (C.11)**

Materiale	Spessore	Conducibilità	Densità	Calore specifico
	d [m]	$\lambda$ [W/mK]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	c [kJ/kgK]
1. Intonaco in argilla	0,05	0,81	1700	0,93
2. Pannello in lana di legno mineralizzata con magnesite	0,05	0,10	450	1
3. Pannello di CLT	0,12	0,13	495	2
4. Pannello di sughero	0,06	0,04	120	1,67
5. Sottomanto traspirante	0,001	0,50	1000	1,26
6. Coppi	0,015	1,0	1800	0,9



**SOLAIO CONTROTERRA (S.07)**

Materiale	Spessore	Conducibilità	Densità	Calore specifico
	d [m]	$\lambda$ [W/mK]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	c [kJ/kgK]
1. Piastrelle di ceramica e colla	0,015	1,30	2300	0,84
3. Allettamento	0,03	1,33	2000	1,07
4. Massetto	0,10	1,40	2000	1,08
5. Granulato di vetro cellulare	0,20	0,10	210	1,00



Caratteristiche termiche		
Trasmittanza termica	U (W/m <sup>2</sup> K)	0,34
Trasmittanza termica periodica	$Y_{ie}$ (W/m <sup>2</sup> K)	0,05
Ammettenza	$Y_{22}$ (W/m <sup>2</sup> K)	4,33
Sfasamento	$\phi$ (h)	12,3
Fattore di attenuazione	Fa (-)	0,16
Capacità termica areica interna	$\kappa_i$ (Wh/m <sup>2</sup> K)	17

La parete perimetrale ha un coefficiente di assorbimento  $\alpha=0,6$  (tinteggiatura non chiara) con esclusione della COMBINAZIONE 10 in cui  $\alpha=0,3$  (tinteggiatura chiara)

Caratteristiche termiche		
Trasmittanza termica	U (W/m <sup>2</sup> K)	0,32
Trasmittanza termica periodica	$Y_{ie}$ (W/m <sup>2</sup> K)	0,03
Ammettenza	$Y_{22}$ (W/m <sup>2</sup> K)	4,33
Sfasamento	$\phi$ (h)	14,5
Fattore di attenuazione	Fa (-)	0,10
Capacità termica areica interna	$\kappa_i$ (Wh/m <sup>2</sup> K)	17

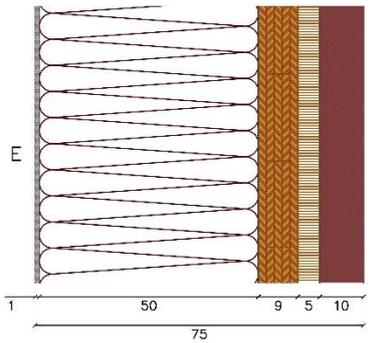
La copertura ha un coefficiente di assorbimento  $\alpha=0,9$  (coppo rosso) con esclusione della COMBINAZIONE 10 in cui  $\alpha=0,6$  (coppo rosa)

Caratteristiche termiche		
Trasmittanza termica	U (W/m <sup>2</sup> K)	0,44
Trasmittanza termica periodica	$Y_{ie}$ (W/m <sup>2</sup> K)	0,09
Ammettenza	$Y_{22}$ (W/m <sup>2</sup> K)	10,2
Sfasamento	$\phi$ (h)	5,88
Fattore di attenuazione	Fa (-)	0,22
Capacità termica areica interna	$\kappa_i$ (Wh/m <sup>2</sup> K)	22

La combinazione 11 è caratterizzata dai seguenti dettagli costruttivi:

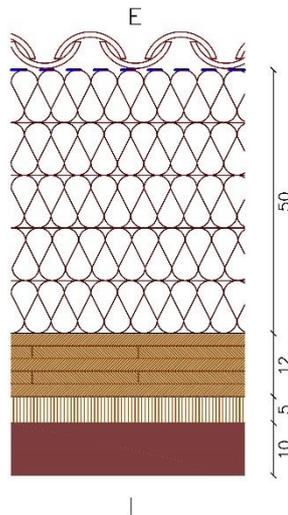
**PARETE PERIMETRALE (P.12)**

Materiale	Spessore	Conducibilità	Densità	Calore specifico
	d [m]	$\lambda$ [W/mK]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	c [kJ/kgK]
1. Intonaco in argilla	0,10	0,81	1700	0,93
2. Pannello in lana di legno mineralizzata con magnesite	0,05	0,10	450	1
3. Pannello di CLT	0,09	0,13	495	2
4. Pannello di sughero	0,50	0,04	120	1,67
5. Intonaco in calce	0,01	0,70	1400	0,93



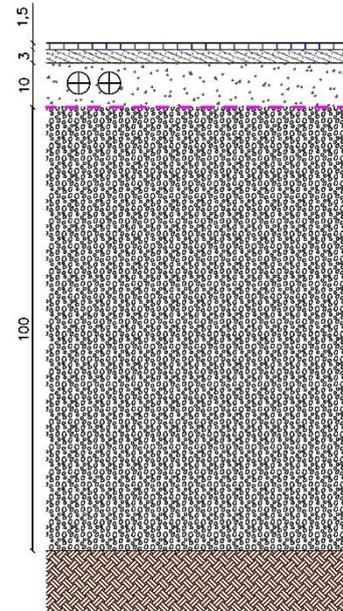
**COPERTURA NON VENTILATA (C.12)**

Materiale	Spessore	Conducibilità	Densità	Calore specifico
	d [m]	$\lambda$ [W/mK]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	c [kJ/kgK]
1. Intonaco in argilla	0,10	0,81	1700	0,93
2. Pannello in lana di legno mineralizzata con magnesite	0,05	0,10	450	1
3. Pannello di CLT	0,12	0,13	495	2
4. Pannello di sughero	0,50	0,04	120	1,67
5. Sottomanto traspirante	0,001	0,50	1000	1,26
6. Coppi	0,015	1,0	1800	0,9



**SOLAIO CONTROTERRA (S.08)**

Materiale	Spessore	Conducibilità	Densità	Calore specifico
	d [m]	$\lambda$ [W/mK]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	c [kJ/kgK]
1. Piastrelle di ceramica e colla	0,015	1,30	2300	0,84
3. Allettamento	0,03	1,33	2000	1,07
4. Massetto	0,10	1,40	2000	1,08
5. Granulato di vetro cellulare	1,0	0,10	210	1,00



Caratteristiche termiche		
Trasmittanza termica	U (W/m <sup>2</sup> K)	0,07
Trasmittanza termica periodica	$Y_{ie}$ (W/m <sup>2</sup> K)	0,00
Ammettenza	Y22 (W/m <sup>2</sup> K)	5,05
Sfasamento	$\varphi$ (h)	12,6
Fattore di attenuazione	Fa (-)	0,00
Capacità termica areica interna	$\kappa_i$ (Wh/m <sup>2</sup> K)	19

Caratteristiche termiche		
Trasmittanza termica	U (W/m <sup>2</sup> K)	0,07
Trasmittanza termica periodica	$Y_{ie}$ (W/m <sup>2</sup> K)	0,00
Ammettenza	Y22 (W/m <sup>2</sup> K)	5,06
Sfasamento	$\varphi$ (h)	14,8
Fattore di attenuazione	Fa (-)	0,00
Capacità termica areica interna	$\kappa_i$ (Wh/m <sup>2</sup> K)	19

Caratteristiche termiche		
Trasmittanza termica	U (W/m <sup>2</sup> K)	0,10
Trasmittanza termica periodica	$Y_{ie}$ (W/m <sup>2</sup> K)	0,00
Ammettenza	Y22 (W/m <sup>2</sup> K)	5,88
Sfasamento	$\varphi$ (h)	12,9
Fattore di attenuazione	Fa (-)	0,00
Capacità termica areica interna	$\kappa_i$ (Wh/m <sup>2</sup> K)	22

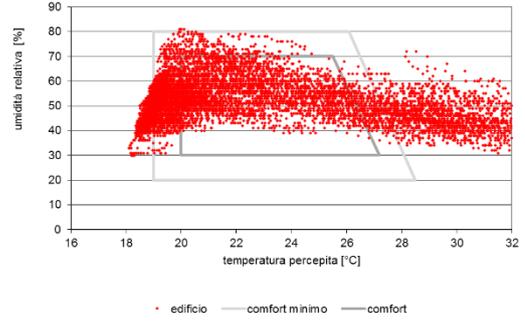
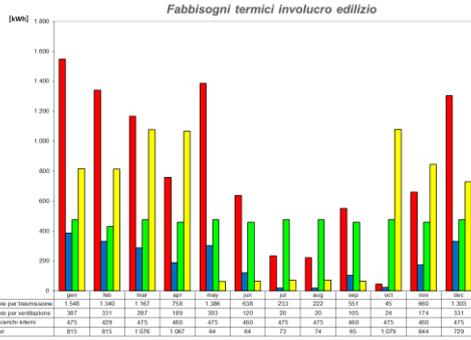
La parete perimetrale ha un coefficiente di assorbimento  $\alpha=0,3$  (tinteggiatura chiara)

La copertura ha un coefficiente di assorbimento  $\alpha=0,6$  (coppo rosa)

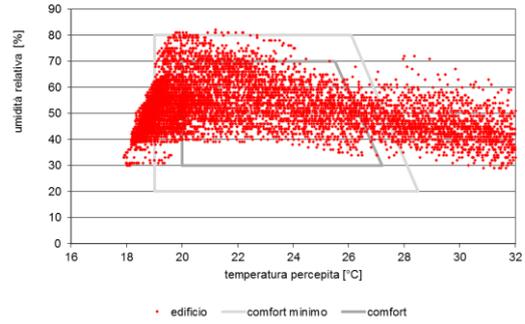
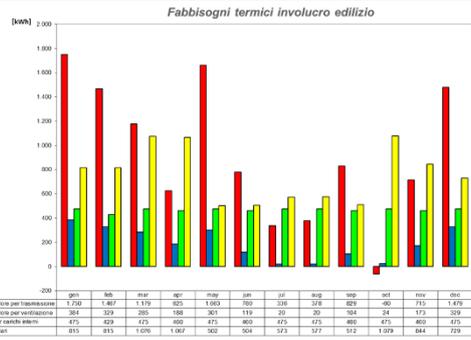
## FABBISOGNI TERMICI DELL'INVOLUCRO EDILIZIO

## DISTRIBUZIONE DEL COMFORT

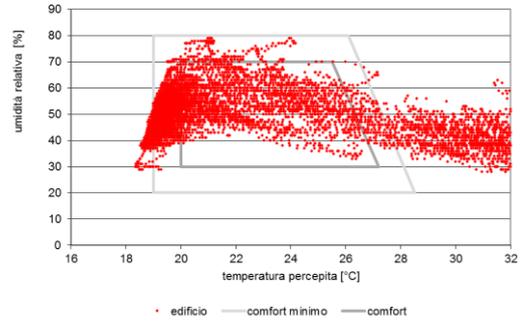
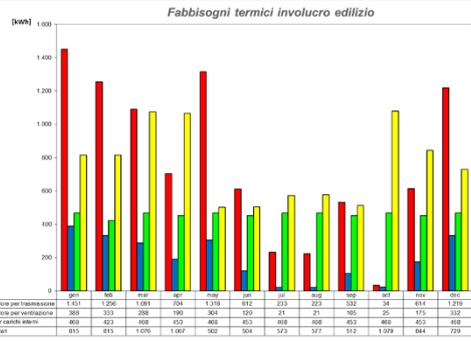
COMBINAZIONE 1



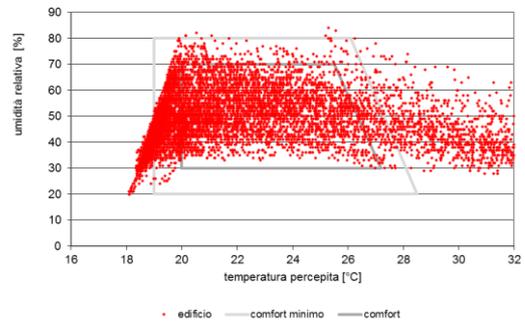
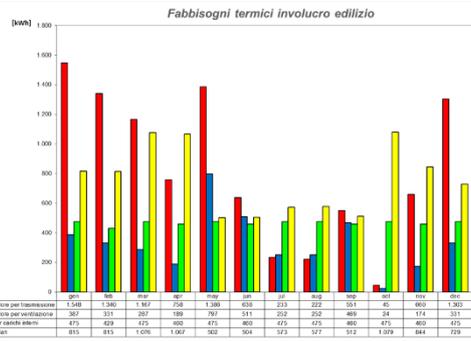
COMBINAZIONE 2



COMBINAZIONE 3



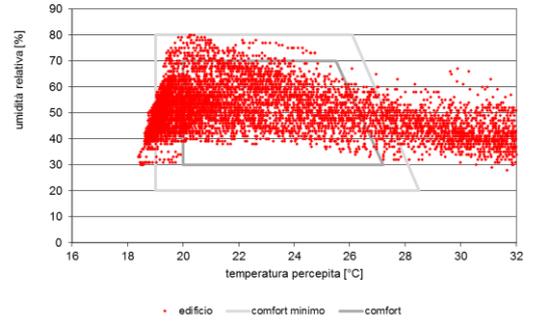
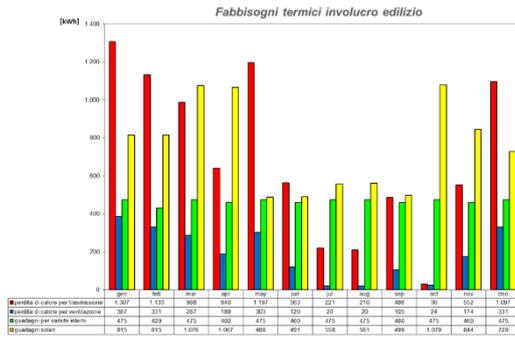
COMBINAZIONE 4



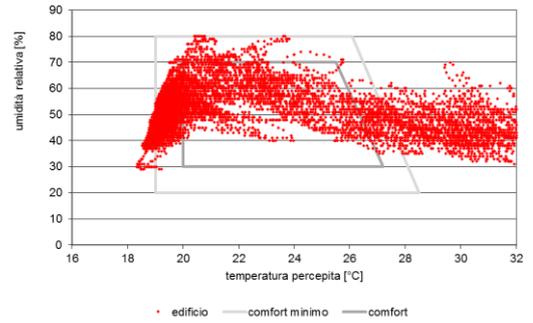
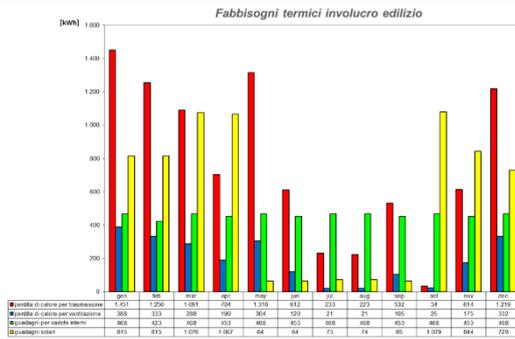
## FABBISOGNI TERMICI DELL'INVOLUCRO EDILIZIO

## DISTRIBUZIONE DEL COMFORT

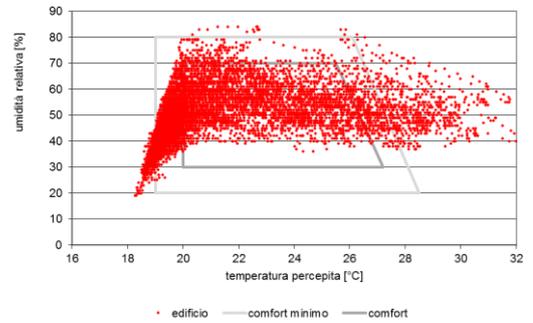
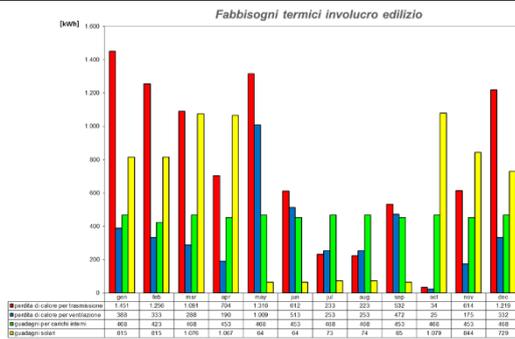
COMBINAZIONE 5



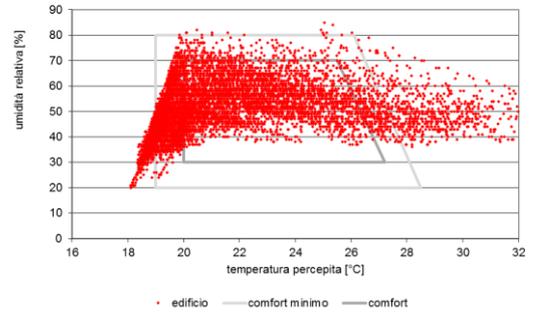
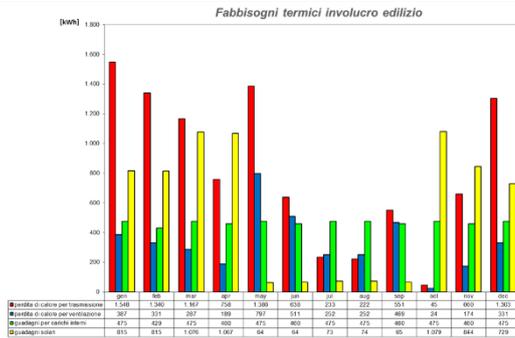
COMBINAZIONE 6



COMBINAZIONE 7



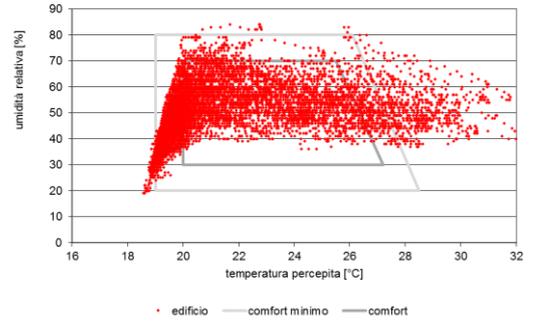
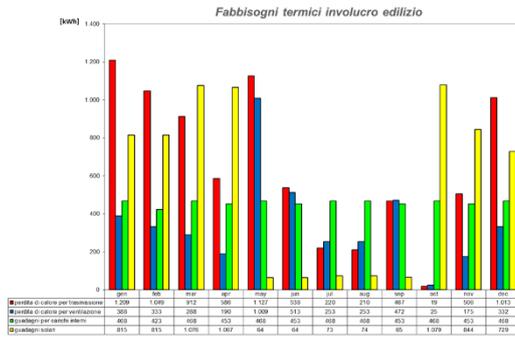
COMBINAZIONE 8



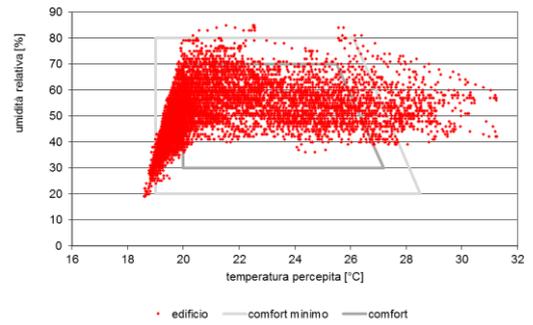
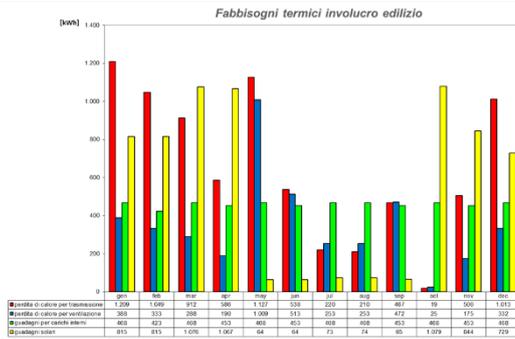
## FABBISOGNI TERMICI DELL'INVOLUCRO EDILIZIO

## DISTRIBUZIONE DEL COMFORT

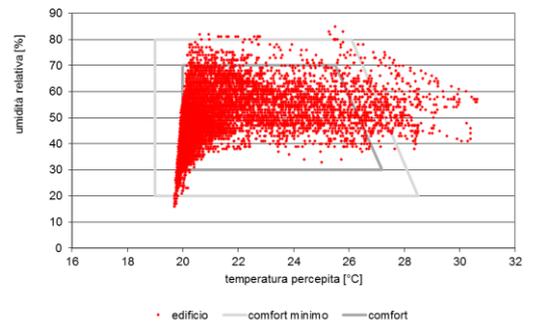
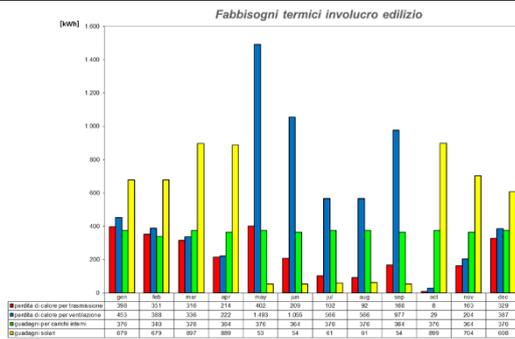
COMBINAZIONE 9



COMBINAZIONE 10



COMBINAZIONE 11



## 12.21 TEMPERATURA INTERNA DI 27°C E 28°C

Una possibilità per diminuire il fabbisogno termico per il raffrescamento è quella di considerare una temperatura interna maggiore dei 26°C previsti per legge.

Secondo la teoria del comfort adattivo l'essere umano è in grado di adattarsi all'ambiente circostante mettendo in atto volontariamente o involontariamente tre strategie: un adattamento comportamentale, un adattamento fisiologico e un adattamento psicologico.

Per questo è stato calcolato il fabbisogno termico per il riscaldamento e per il raffrescamento considerando una temperatura interna estiva di 27°C e di 28°C.

Temperatura interna	26 gradi					27 gradi					28 gradi				
	Fabbisogno termico per il riscaldamento	Fabbisogno di raffrescamento sensibile	Fabbisogno di deumidificazione	Fabbisogno di raffrescamento e deumidificazione	Classe di comfort da raggiungere	Fabbisogno termico per il riscaldamento	Fabbisogno di raffrescamento sensibile	Fabbisogno di deumidificazione	Fabbisogno di raffrescamento e deumidificazione	Classe di comfort da raggiungere	Fabbisogno termico per il riscaldamento	Fabbisogno di raffrescamento sensibile	Fabbisogno di deumidificazione	Fabbisogno di raffrescamento e deumidificazione	Classe di comfort da raggiungere
	Q <sub>h</sub> kWh/ m <sup>2</sup> anno	Q <sub>c1</sub> kWh/ m <sup>2</sup> anno	Q <sub>c2</sub> kWh/ m <sup>2</sup> anno	Q <sub>c</sub> kWh/ m <sup>2</sup> anno	%	Q <sub>h</sub> kWh/ m <sup>2</sup> anno	Q <sub>c1</sub> kWh/ m <sup>2</sup> anno	Q <sub>c2</sub> kWh/ m <sup>2</sup> anno	Q <sub>c</sub> kWh/ m <sup>2</sup> anno	%	Q <sub>h</sub> kWh/ m <sup>2</sup> anno	Q <sub>c1</sub> kWh/ m <sup>2</sup> anno	Q <sub>c2</sub> kWh/ m <sup>2</sup> anno	Q <sub>c</sub> kWh/ m <sup>2</sup> anno	%
PROPOSTA BASE 0	21.0	18.6	7.8	26.4	III 16.2	20.6	13.8	7.8	22.6	III 16.1	20.1	9.7	7.8	17.5	III 16.1
INTERVENTO 1: U -	18.4	19.4	7.8	27.2	III 17.8	18.2	15.0	7.8	22.8	III 17.8	18.1	11.0	7.8	18.8	III 17.8
INTERVENTO 2.1: U --	12.6	18.5	7.7	26.2	III 25.1	12.5	14.5	7.7	22.2	III 25.2	12.5	11.0	7.7	18.7	III 25.2
INTERVENTO 2.2: U ---	8.3	18.0	7.5	25.5	III 32.8	8.2	14.4	7.5	21.9	III 32.8	8.2	11.2	7.5	18.7	III 32.8
INTERVENTO 2.3: U ----	7.8	18.4	7.1	25.5	III 34.0	7.8	14.8	7.1	21.9	III 34.0	7.8	11.5	7.1	18.6	III 34.0
INTERVENTO 3.1: U <sub>w</sub> -	17.4	19.7	7.8	27.5	III 17.2	17.0	14.9	7.8	22.7	III 17.2	16.6	10.9	7.8	18.7	III 17.2
INTERVENTO 3.2: U <sub>w</sub> --	16.0	19.8	7.8	27.6	III 17.2	15.6	15.1	7.8	22.9	III 17.3	15.3	11.1	7.8	18.9	III 17.4
INTERVENTO 3.3: U <sub>w</sub> ---	15.0	18.7	7.8	26.5	III 15.3	14.6	14.3	7.8	22.1	III 15.2	14.2	10.4	7.8	18.2	III 15.2
INTERVENTO 4: F <sub>c</sub> -	21.0	9.3	7.8	17.1	III 5.0	20.6	5.8	7.8	13.6	III 4.9	20.1	3.2	7.8	12.0	III 5.0
INTERVENTO 5.1: vent +++	21.0	10.5	8.4	18.9	III 5.9	20.6	5.8	8.2	14.0	III 5.2	20.1	2.9	8.1	11.0	III 4.9
INTERVENTO 5.2: vent ++	21.0	13.3	7.5	20.8	III 6.0	20.6	8.7	7.4	16.1	III 5.3	20.1	5.2	7.3	12.5	III 5.1
INTERVENTO 5.3: vent +	21.0	16.7	7.6	24.3	III 13.5	20.6	11.8	7.6	18.4	III 13.4	20.1	7.9	7.6	15.5	III 13.3
INTERVENTO 6.1: K +	17.0	16.9	7.4	24.3	III 18.3	16.5	12.3	7.4	19.7	III 18.4	16.1	8.5	7.4	15.9	III 18.4
INTERVENTO 6.2: K ++	16.2	16.9	7.3	24.2	III 18.4	15.7	12.3	7.3	19.6	III 18.5	15.3	8.5	7.3	15.8	III 18.5
INTERVENTO 6.3: K +++	14.7	16.9	7.3	24.2	III 18.5	14.3	12.2	7.3	19.5	III 18.6	13.9	8.3	7.3	15.8	III 18.6
INTERVENTO 6.4: K ++++	14.2	16.9	7.3	24.2	III 18.5	13.8	12.2	7.3	19.5	III 18.6	13.4	8.3	7.3	15.6	III 18.6
INTERVENTO 6.5: K ++++	14.1	16.9	7.2	24.1	III 18.6	13.7	12.2	7.2	19.4	III 18.6	13.3	8.3	7.2	15.5	III 18.6
INTERVENTO 7: α -	22.3	13.3	7.8	21.1	III 11.4	21.9	9.0	7.8	16.8	III 11.4	21.4	5.7	7.8	13.5	III 11.3
COMB. 1 = 1 + 4	18.4	9.4	7.8	17.2	III 5.1	18.2	6.1	7.8	13.9	III 5.1	18.1	3.6	7.8	11.4	III 5.1
COMB. 2 = 1 + 7	22.3	13.3	7.8	21.1	III 11.4	21.9	9.0	7.8	16.8	III 11.4	21.4	5.7	7.8	13.5	III 11.3
COMB. 3 = 1 + 6.3	13.1	18.8	7.3	26.1	III 20.1	13.0	14.4	7.3	21.7	III 20.2	12.9	10.5	7.3	17.8	III 20.2
COMB. 4 = 1 + 5.2	18.4	13.5	7.4	20.9	III 5.2	18.2	9.1	7.4	16.5	III 4.5	18.1	5.6	7.3	12.9	III 4.3
COMB. 5 = 1 + 3.2	13.4	20.7	7.8	28.5	III 19.1	13.3	16.5	7.8	24.3	III 19.2	13.2	12.7	7.8	20.5	III 19.2
COMB. 6 = 1 + 4 + 6.3	13.1	8.6	7.3	15.9	III 5.3	13.0	5.4	7.3	12.7	III 5.2	12.9	3.0	7.3	10.3	III 5.2
COMB. 7 = 1+4+5.2+6.3	13.1	4.9	6.6	11.5	II 0.5	13.0	2.3	6.6	8.9	I 1.4	12.9	0.9	6.6	7.5	I 1.3
COMB. 8 = 1+4+5.2+7	19.5	2.9	7.4	10.3	II 0.8	19.3	1.1	7.4	8.5	II 0.8	19.2	0.4	7.3	7.7	II 0.7
COMB. 9 = 1+3.2+4+5.2+6.3	8.5	5.4	6.6	12.0	II 0.5	8.4	2.8	6.6	9.4	I 1.5	8.3	1.2	6.6	7.8	I 1.4
COMB.10 =1+3.2+4+5.2+6.3+7	9.3	3.0	6.6	9.6	I 1.0	9.3	1.1	6.6	7.7	I 0.8	9.2	0.4	6.6	7.0	I 0.7

COMB.11=2.3+3.3+4+5.1+6.5+7	1.0	0.3	8.0	8.3	I+ 1.5	1.0	0.1	8.0	8.1	I+ 1.0	1.0	0.0	8.0	8.0	I+ 0.8
-----------------------------	-----	-----	-----	-----	--------	-----	-----	-----	-----	--------	-----	-----	-----	-----	--------

Tabella 6: EDIFICIO UNIFAMILIARE - fabbisogni e classi di comfort per le temperature interne di 26°C, 27°C e 28°C

La tabella 6 mostra la diminuzione del fabbisogno termico per il riscaldamento e il raffrescamento (scomposta in sensibile e deumidificazione) e la classe di comfort raggiungibile per ciascun intervento.

La tabella 7 restituisce i valori di aumento o diminuzione dei dati rispetto ai valori calcolati con una temperatura interna di 26°C.

L'aumento/diminuzione è stato calcolato sia in  $kWh/m^2$ anno che in *percentuale (%)* rispetto ai valori base calcolati con una temperatura interna di 26°C.

Temperatura interna	26°C	27°C			26°C	27°C			26°C	27°C			26°C	27°C		
	Qh	Qh	+/-	+/-	Qc1	Qc1	+/-	+/-	Qc2	Qc2	+/-	+/-	Qc	Qc	+/-	+/-
	kWh/ m <sup>2</sup> anno	kWh/ m <sup>2</sup> anno	kWh/ m <sup>2</sup> anno	%	kWh/ m <sup>2</sup> anno	kWh/ m <sup>2</sup> anno	kWh/ m <sup>2</sup> anno	%	kWh/ m <sup>2</sup> anno	kWh/ m <sup>2</sup> anno	kWh/ m <sup>2</sup> anno	%	kWh/ m <sup>2</sup> anno	kWh/ m <sup>2</sup> anno	kWh/ m <sup>2</sup> anno	%
PROPOSTA BASE 0	21,0	20,6	-0,40	-1,90	18,6	13,8	-4,8	-25,81	7,8	7,8	0	0	26,4	22,6	-3,8	-14,39
INTERVENTO 1: U -	18,4	18,2	-0,20	-1,09	19,4	15,0	-4,4	-22,68	7,8	7,8	0	0	27,2	22,8	-4,4	-16,18
INTERVENTO 2.1: U - -	12,6	12,5	-0,10	-0,79	18,5	14,5	-4,0	-21,62	7,7	7,7	0	0	26,2	22,2	-4,0	-15,27
INTERVENTO 2.2: U - - -	8,3	8,2	-0,10	-1,20	18,0	14,4	-3,6	-20,00	7,5	7,5	0	0	25,5	21,9	-3,6	-14,12
INTERVENTO 2.3: U - - - -	7,8	7,8	0,00	0,00	18,4	14,8	-3,6	-19,57	7,1	7,1	0	0	25,5	21,9	-3,6	-14,12
INTERVENTO 3.1: Uw -	17,4	17,0	-0,40	-2,30	19,7	14,9	-4,8	-24,37	7,8	7,8	0	0	27,5	22,7	-4,8	-17,45
INTERVENTO 3.2: Uw - -	16,0	15,6	-0,40	-2,50	19,8	15,1	-4,7	-23,74	7,8	7,8	0	0	27,6	22,9	-4,7	-17,03
INTERVENTO 3.3: Uw - - -	15,0	14,6	-0,40	-2,67	18,7	14,3	-4,4	-23,53	7,8	7,8	0	0	26,5	22,1	-4,4	-16,60
INTERVENTO 4: Fc -	21,0	20,6	-0,40	-1,90	9,3	5,8	-3,5	-37,63	7,8	7,8	0	0	17,1	13,6	-3,5	-20,47
INTERVENTO 5.1: vent +++	21,0	20,6	-0,40	-1,90	10,5	5,8	-4,7	-44,76	8,4	8,2	-0,2	-2,38	18,9	14,0	-4,9	-25,93
INTERVENTO 5.2: vent ++	21,0	20,6	-0,40	-1,90	13,3	8,7	-4,6	-34,59	7,5	7,4	-0,1	-1,33	20,8	16,1	-4,7	-22,60
INTERVENTO 5.3: vent +	21,0	20,6	-0,40	-1,90	16,7	11,8	-4,9	-29,34	7,6	7,6	0	0	24,3	18,4	-5,9	-24,28
INTERVENTO 6.1: κ +	17,0	16,5	-0,50	-2,94	16,9	12,3	-4,6	-27,22	7,4	7,4	0	0	24,3	19,7	-4,6	-18,93
INTERVENTO 6.2: κ ++	16,2	15,7	-0,50	-3,09	16,9	12,3	-4,6	-27,22	7,3	7,3	0	0	24,2	19,6	-4,6	-19,01
INTERVENTO 6.3: κ +++	14,7	14,3	-0,40	-2,72	16,9	12,2	-4,7	-27,81	7,3	7,3	0	0	24,2	19,5	-4,7	-19,42
INTERVENTO 6.4: κ ++++	14,2	13,8	-0,40	-2,82	16,9	12,2	-4,7	-27,81	7,3	7,3	0	0	24,2	19,5	-4,7	-19,42
INTERVENTO 6.5: κ +++++	14,1	13,7	-0,40	-2,84	16,9	12,2	-4,7	-27,81	7,2	7,2	0	0	24,1	19,4	-4,7	-19,50
INTERVENTO 7: α -	22,3	21,9	-0,40	-1,79	13,3	9,0	-4,3	-32,33	7,8	7,8	0	0	21,1	16,8	-4,3	-20,38
COMB. 1 = 1 + 4	18,4	18,2	-0,20	-1,09	9,4	6,1	-3,3	-35,11	7,8	7,8	0	0	17,2	13,9	-3,3	-19,19
COMB. 2 = 1 + 7	22,3	21,9	-0,40	-1,79	13,3	9,0	-4,3	-32,33	7,8	7,8	0	0	21,1	16,8	-4,3	-20,38
COMB. 3 = 1 + 6.3	13,1	13,0	-0,10	-0,76	18,8	14,4	-4,4	-23,40	7,3	7,3	0	0	26,1	21,7	-4,4	-16,86
COMB. 4 = 1 + 5.2	18,4	18,2	-0,20	-1,09	13,5	9,1	-4,4	-32,59	7,4	7,4	0	0	20,9	16,5	-4,4	-21,05
COMB. 5 = 1 + 3.2	13,4	13,3	-0,10	-0,75	20,7	16,5	-4,2	-20,29	7,8	7,8	0	0	28,5	24,3	-4,2	-14,74
COMB. 6 = 1 + 4 + 6.3	13,1	13,0	-0,10	-0,76	8,6	5,4	-3,2	-37,21	7,3	7,3	0	0	15,9	12,7	-3,2	-20,13
COMB. 7 = 1 + 4 + 5.2 + 6.3	13,1	13,0	-0,10	-0,76	4,9	2,3	-2,6	-53,06	6,6	6,6	0	0	11,5	8,9	-2,6	-22,61

COMB. 8 = 1 + 4 + 5.2 + 7	19,5	19,3	-0,20	-1,03	2,9	1,1	-1,8	-62,07	7,4	7,4	0	0	10,3	8,5	-1,8	-17,48
COMB. 9 = 1 + 3.2 + 4 + 5.2+ 6.3	8,5	8,4	-0,10	-1,18	5,4	2,8	-2,6	-48,15	6,6	6,6	0	0	12,0	9,4	-2,6	-21,67
COMB.10 =1+3.2+4+5.2+6.3+7	9,3	9,3	0,00	0,00	3	1,1	-1,9	-63,33	6,6	6,6	0	0	9,6	7,7	-1,9	-19,79
COMB.11=2.3+3.3+4+5.1+6.5+7	1	1	0,00	0,00	0,3	0,1	-0,2	-66,67	8	8	0	0	8,3	8,1	-0,2	-2,41

Tabella 7: aumento/diminuzione dei valori calcolati con una T=27°C rispetto ai valori calcolati con una T=26°C

**L'intervento** in cui si registra una diminuzione maggiore in termini percentuali per quanto riguarda il **fabbisogno termico per il riscaldamento** tra temperatura progettuale base di 26°C e quella studiata di 27°C, è l'INTERVENTO 6.2 in cui viene aumentata la capacità termica areica interna.

**La combinazione** in cui si registra una diminuzione maggiore in termini percentuali per quanto riguarda il **fabbisogno termico per il riscaldamento** tra temperatura progettuale base di 26°C e quella studiata di 27°C è la COMBINAZIONE 9 che comprende: diminuzione della trasmittanza dell'involucro, diminuzione della trasmittanza degli infissi, schermatura degli infissi, ventilazione notturna e aumento della capacità termica areica interna.

**L'intervento** in cui si registra una diminuzione maggiore in termini percentuali per quanto riguarda il **fabbisogno termico per il raffrescamento**, tra temperatura progettuale base di 26°C e quella studiata di 27°C, è l'INTERVENTO 5.1 che prevede la ventilazione notturna.

**La combinazione** in cui si registra una diminuzione maggiore in termini percentuali per quanto riguarda il **fabbisogno termico per il raffrescamento** tra temperatura progettuale base di 26°C e quella studiata di 27°C, è la COMBINAZIONE 7 che comprende: diminuzione della trasmittanza dell'involucro, schermatura degli infissi, ventilazione notturna e aumento della capacità termica areica interna.

Temperatura interna	26°C	28°C			26°C	28°C			26°C	28°C			26°C	28°C		
	Qh	Qh	+/-	+/-	Qc1	Qc1	+/-	+/-	Qc2	Qc2	+/-	+/-	Qc	Qc	+/-	+/-
	kWh/m <sup>2</sup> anno	kWh/m <sup>2</sup> anno	kWh/m <sup>2</sup> anno	%	kWh/m <sup>2</sup> anno	kWh/m <sup>2</sup> anno	kWh/m <sup>2</sup> anno	%	kWh/m <sup>2</sup> anno	kWh/m <sup>2</sup> anno	kWh/m <sup>2</sup> anno	%	kWh/m <sup>2</sup> anno	kWh/m <sup>2</sup> anno	kWh/m <sup>2</sup> anno	%
PROPOSTA BASE 0	21,0	20,1	-0,9	-4,29	18,6	9,7	-8,9	-47,85	7,8	7,8	0	0	26,4	17,5	-8,9	-33,71
INTERVENTO 1: U -	18,4	18,1	-0,3	-1,63	19,4	11,0	-8,4	-43,30	7,8	7,8	0	0	27,2	18,8	-8,4	-30,88
INTERVENTO 2.1: U - -	12,6	12,5	-0,1	-0,79	18,5	11,0	-7,5	-40,54	7,7	7,7	0	0	26,2	18,7	-7,5	-28,63
INTERVENTO 2.2: U - - -	8,3	8,2	-0,1	-1,20	18,0	11,2	-6,8	-37,78	7,5	7,5	0	0	25,5	18,7	-6,8	-26,67
INTERVENTO 2.3: U - - - -	7,8	7,8	0,0	0,00	18,4	11,5	-6,9	-37,50	7,1	7,1	0	0	25,5	18,6	-6,9	-27,06
INTERVENTO 3.1: Uw -	17,4	16,6	-0,8	-4,60	19,7	10,9	-8,8	-44,67	7,8	7,8	0	0	27,5	18,7	-8,8	-32,00
INTERVENTO 3.2: Uw - -	16,0	15,3	-0,7	-4,38	19,8	11,1	-8,7	-43,94	7,8	7,8	0	0	27,6	18,9	-8,7	-31,52
INTERVENTO 3.3: Uw - - -	15,0	14,2	-0,8	-5,33	18,7	10,4	-8,3	-44,39	7,8	7,8	0	0	26,5	18,2	-8,3	-31,32
INTERVENTO 4: Fc -	21,0	20,1	-0,9	-4,29	9,3	3,2	-6,1	-65,59	7,8	7,8	0	0	17,1	12,0	-5,1	-29,82
INTERVENTO 5.1: vent +++	21,0	20,1	-0,9	-4,29	10,5	2,9	-7,6	-72,38	8,4	8,1	-0,3	-3,57	18,9	11,0	-7,9	-41,80
INTERVENTO 5.2: vent ++	21,0	20,1	-0,9	-4,29	13,3	5,2	-8,1	-60,90	7,5	7,3	-0,2	-2,67	20,8	12,5	-8,3	-39,90
INTERVENTO 5.3: vent +	21,0	20,1	-0,9	-4,29	16,7	7,9	-8,8	-52,69	7,6	7,6	0	0	24,3	15,5	-8,8	-36,21
INTERVENTO 6.1: κ +	17,0	16,1	-0,9	-5,29	16,9	8,5	-8,4	-49,70	7,4	7,4	0	0	24,3	15,9	-8,4	-34,57
INTERVENTO 6.2: κ ++	16,2	15,3	-0,9	-5,56	16,9	8,5	-8,4	-49,70	7,3	7,3	0	0	24,2	15,8	-8,4	-34,71
INTERVENTO 6.3: κ +++	14,7	13,9	-0,8	-5,44	16,9	8,3	-8,6	-50,89	7,3	7,3	0	0	24,2	15,8	-8,4	-34,71
INTERVENTO 6.4: κ ++++	14,2	13,4	-0,8	-5,63	16,9	8,3	-8,6	-50,89	7,3	7,3	0	0	24,2	15,6	-8,6	-35,54
INTERVENTO 6.5: κ ++++	14,1	13,3	-0,8	-5,67	16,9	8,3	-8,6	-50,89	7,2	7,2	0	0	24,1	15,5	-8,6	-35,68
INTERVENTO 7: α -	22,3	21,4	-0,9	-4,04	13,3	5,7	-7,6	-57,14	7,8	7,8	0	0	21,1	13,5	-7,6	-36,02
COMB. 1 = 1 + 4	18,4	18,1	-0,3	-1,63	9,4	3,6	-5,8	-61,70	7,8	7,8	0	0	17,2	11,4	-5,8	-33,72
COMB. 2 = 1 + 7	22,3	21,4	-0,9	-4,04	13,3	5,7	-7,6	-57,14	7,8	7,8	0	0	21,1	13,5	-7,6	-36,02
COMB. 3 = 1 + 6.3	13,1	12,9	-0,2	-1,53	18,8	10,5	-8,3	-44,15	7,3	7,3	0	0	26,1	17,8	-8,3	-31,80
COMB. 4 = 1 + 5.2	18,4	18,1	-0,3	-1,63	13,5	5,6	-7,9	-58,52	7,4	7,3	-0,1	-1,35	20,9	12,9	-8,0	-38,28
COMB. 5 = 1 + 3.2	13,4	13,2	-0,2	-1,49	20,7	12,7	-8,0	-38,65	7,8	7,8	0	0	28,5	20,5	-8,0	-28,07
COMB. 6 = 1 + 4 + 6.3	13,1	12,9	-0,2	-1,53	8,6	3,0	-5,6	-65,12	7,3	7,3	0	0	15,9	10,3	-5,6	-35,22
COMB. 7 = 1 + 4 + 5.2 + 6.3	13,1	12,9	-0,2	-1,53	4,9	0,9	-4,0	-81,63	6,6	6,6	0	0	11,5	7,5	-4,0	-34,78

COMB. 8 = 1 + 4 + 5.2 + 7	19,5	19,2	-0,3	-1,54	2,9	0,4	-2,5	-86,21	7,4	7,3	-0,1	-1,35	10,3	7,7	-2,6	-25,24
COMB. 9 = 1 + 3.2 + 4 + 5.2+ 6.3	8,5	8,3	-0,2	-2,35	5,4	1,2	-4,2	-77,78	6,6	6,6	0	0	12,0	7,8	-4,2	-35,00
COMB.10 =1+3.2+4+5.2+6.3+7	9,3	9,2	-0,1	-1,08	3,0	0,4	-2,6	-86,67	6,6	6,6	0	0	9,6	7,0	-2,6	-27,08
COMB.11=2.3+3.3+4+5.1+6.5+7	1,0	1,0	0,0	0,00	0,3	0,0	-0,3	-100,00	8,0	8,0	0	0	8,3	8,0	-0,3	-3,61

Tabella 8: aumento/diminuzione dei valori calcolati con una T=28°C rispetto ai valori calcolati con una T=26°C

**L'intervento** in cui si registra una diminuzione maggiore in termini percentuali per quanto riguarda il **fabbisogno termico per il riscaldamento** tra temperatura progettuale base di 26°C e quella studiata di 28°C, è l'INTERVENTO 6.5 in cui viene aumentata la capacità termica areica interna.

**La combinazione** in cui si registra una diminuzione maggiore in termini percentuali per quanto riguarda il **fabbisogno termico per il riscaldamento** tra temperatura progettuale base di 26°C e quella studiata di 28°C è la COMBINAZIONE 9 che comprende: diminuzione della trasmittanza dell'involucro, diminuzione della trasmittanza degli infissi, schermatura degli infissi, ventilazione notturna e aumento della capacità termica areica interna.

**L'intervento** in cui si registra una diminuzione maggiore in termini percentuali per quanto riguarda il **fabbisogno termico per il raffrescamento**, tra temperatura progettuale base di 26°C e quella studiata di 28°C, è l'INTERVENTO 5.1 che prevede la ventilazione notturna.

**La combinazione** in cui si registra una diminuzione maggiore in termini percentuali per quanto riguarda il **fabbisogno termico per il raffrescamento** tra temperatura progettuale base di 26°C e quella studiata di 28°C, è la COMBINAZIONE 4 che comprende: diminuzione della trasmittanza dell'involucro e ventilazione notturna.

## 13 LA CASA IN CLT IN ITALIA

Lo studio effettuato fino ad ora si è concentrato sulle condizioni climatiche della città di Cagliari. Le simulazioni che seguono si propongono di confrontare il comportamento della stessa casa in legno in altre condizioni climatiche.

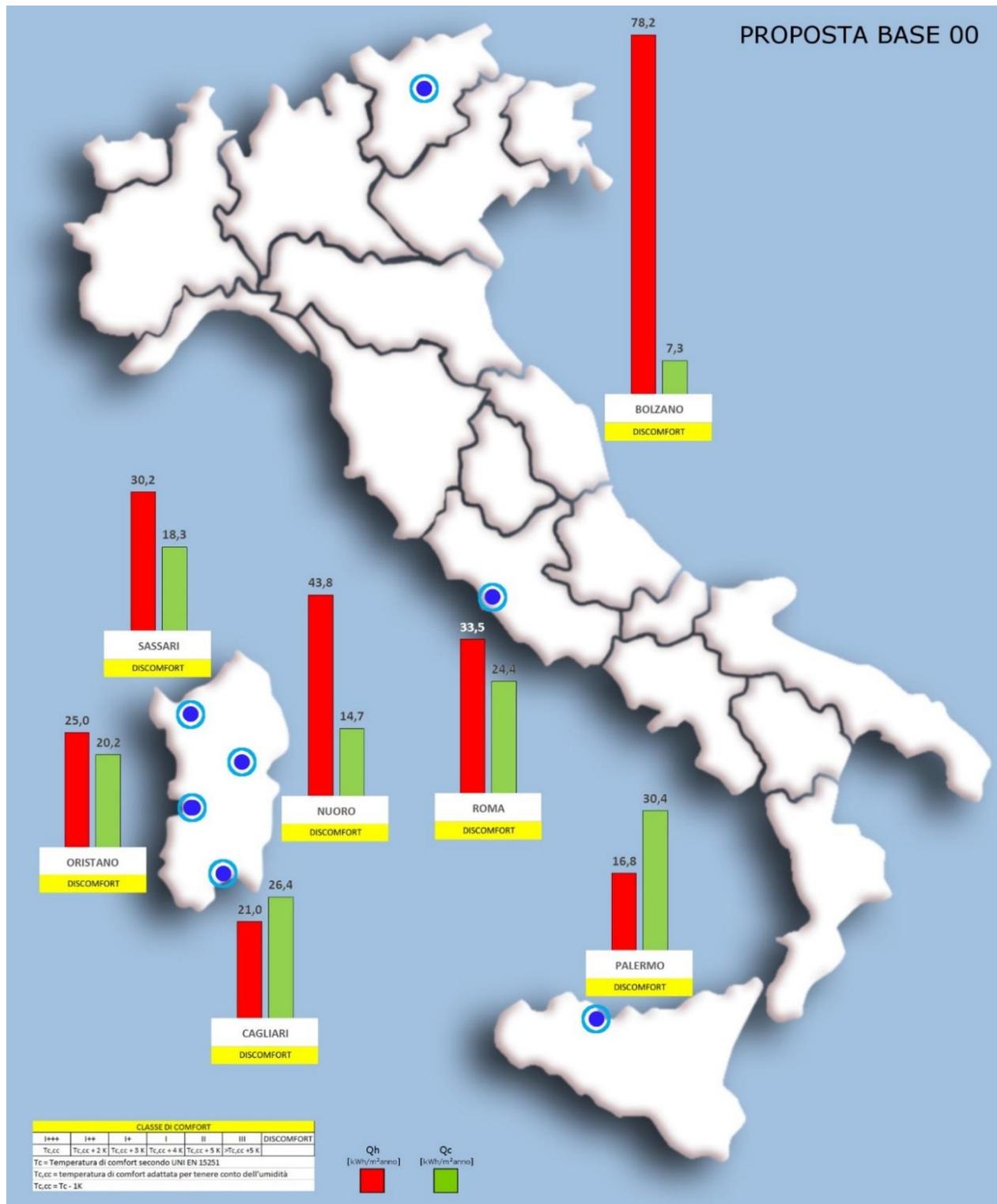


Figura 328: PROPOSTA BASE 00 in altre condizioni climatiche

Come mostra la *figura 328* lo stesso edificio in legno ha un fabbisogno termico per il riscaldamento molto alto a Bolzano (78,2 kWh/m<sup>2</sup>anno) e più basso a Palermo (16,8 kWh/m<sup>2</sup>anno).

Il fabbisogno termico per il raffrescamento è molto basso a Bolzano (7,3 kWh/m<sup>2</sup>anno) e più alto a Palermo (30,4 kWh/m<sup>2</sup>anno).

Per tutte le località si registra all'interno di questa abitazione una sensazione di DISCOMFORT.

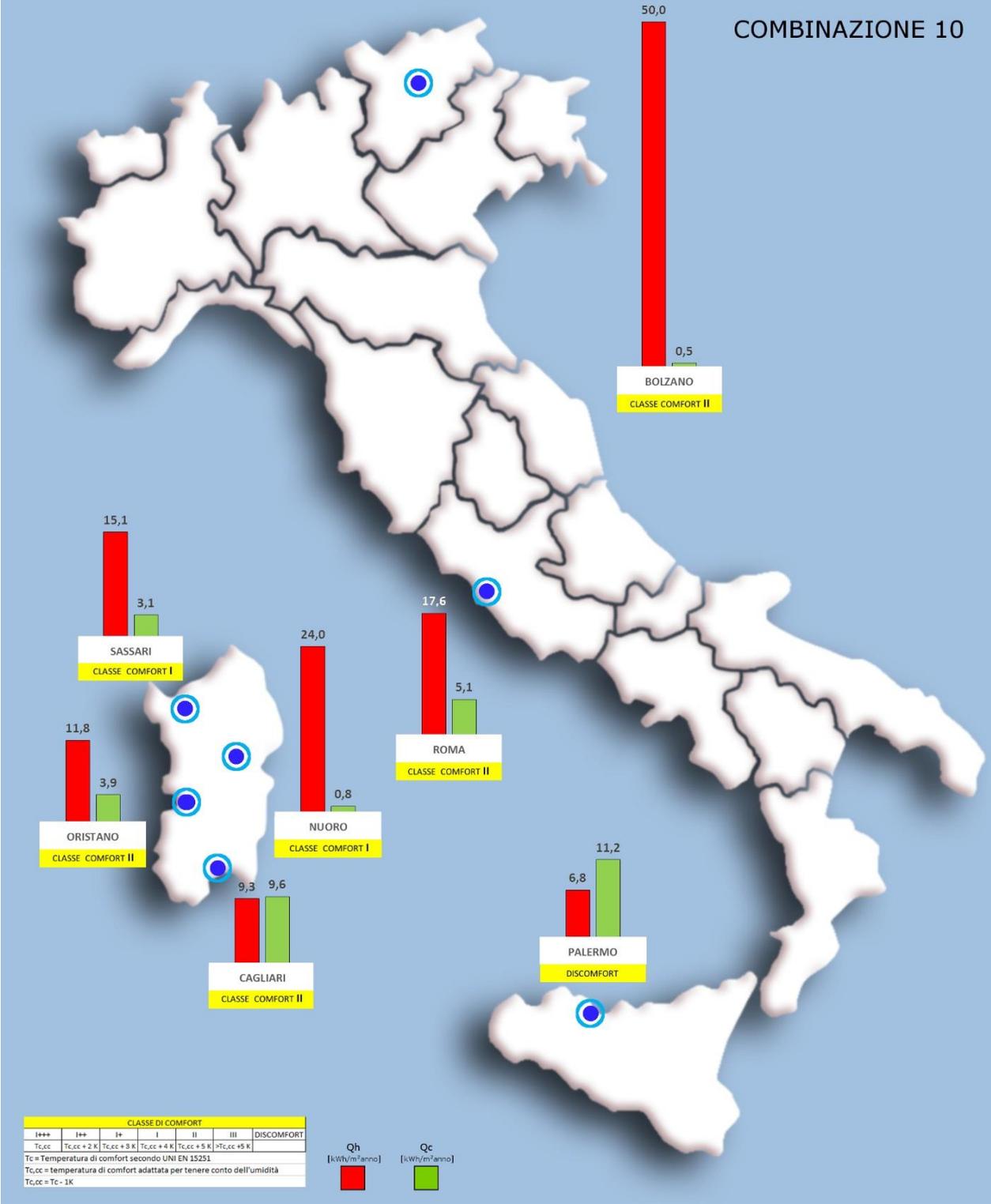


Figura 329: COMBINAZIONE 10 in altre condizioni climatiche

La COMBINAZIONE 10 ha un fabbisogno termico per il riscaldamento e per il raffrescamento molto bassi a Cagliari e una classe di comfort pari a II.

L'edificio ha un fabbisogno termico per il riscaldamento molto alto a Bolzano ( $Q_h=50$  kWh/m<sup>2</sup>anno).

A Palermo invece diminuisce il fabbisogno termico per il riscaldamento ( $Q_h=6,8$  kWh/m<sup>2</sup>anno) ma aumenta il fabbisogno termico per il raffrescamento ( $Q_c=11,2$  kWh/m<sup>2</sup>anno) e aumenta la sensazione di malessere psicofisico degli abitanti (DISCOMFORT).

Come è evidente questa soluzione progettuale è ottima per le condizioni climatiche di Cagliari ma non è adatta per il clima di Bolzano o di Palermo.

Le strategie progettuali adottate per Cagliari sono insufficienti o scorrette per il clima di altre località d'Italia.

Da qui la necessità di capire quali parametri progettuali devono essere modificati per sfruttare appieno le peculiarità geografiche di una località ma allo stesso tempo capire come "difendersi" da condizioni climatiche non confortevoli.

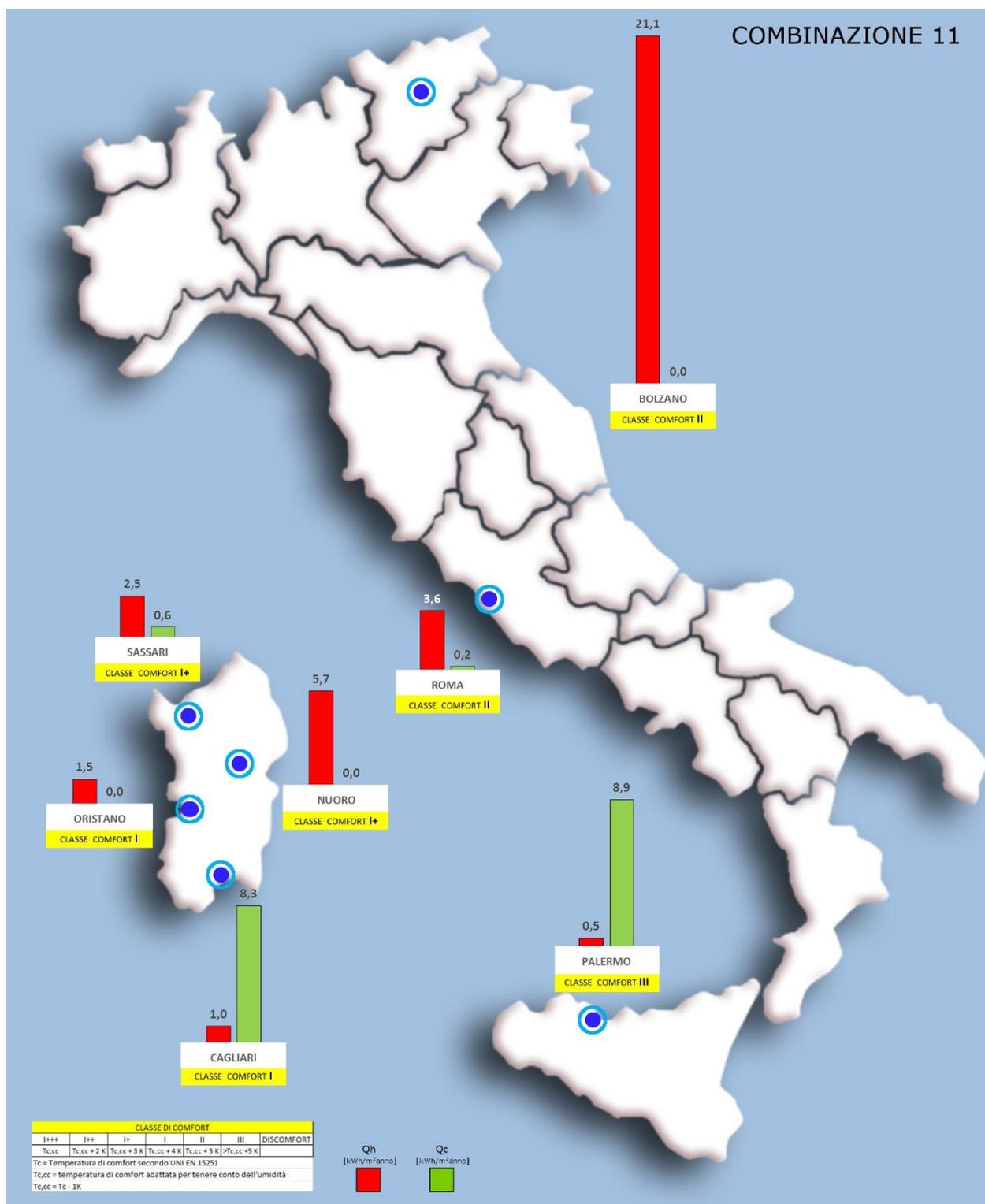


Figura 330: COMBINAZIONE 11 in altre località d'Italia

La combinazione progettuale 11 è una combinazione estrema, studiata per capire la differenza dei risultati con le combinazioni precedenti (più realistiche dal punto di vista tecnico e più fattibili dal punto di vista economico). La combinazione 11 consente un elevato risparmio energetico al centro e sud Italia ma non è adatta per le condizioni invernali del Nord Italia.

## 14 GRAFICI DI COMPARAZIONE

I grafici che seguono sono riferiti all'edificio illustrato in precedenza con una temperatura interna di 26°C.

### Influenza della trasmittanza delle superfici opache

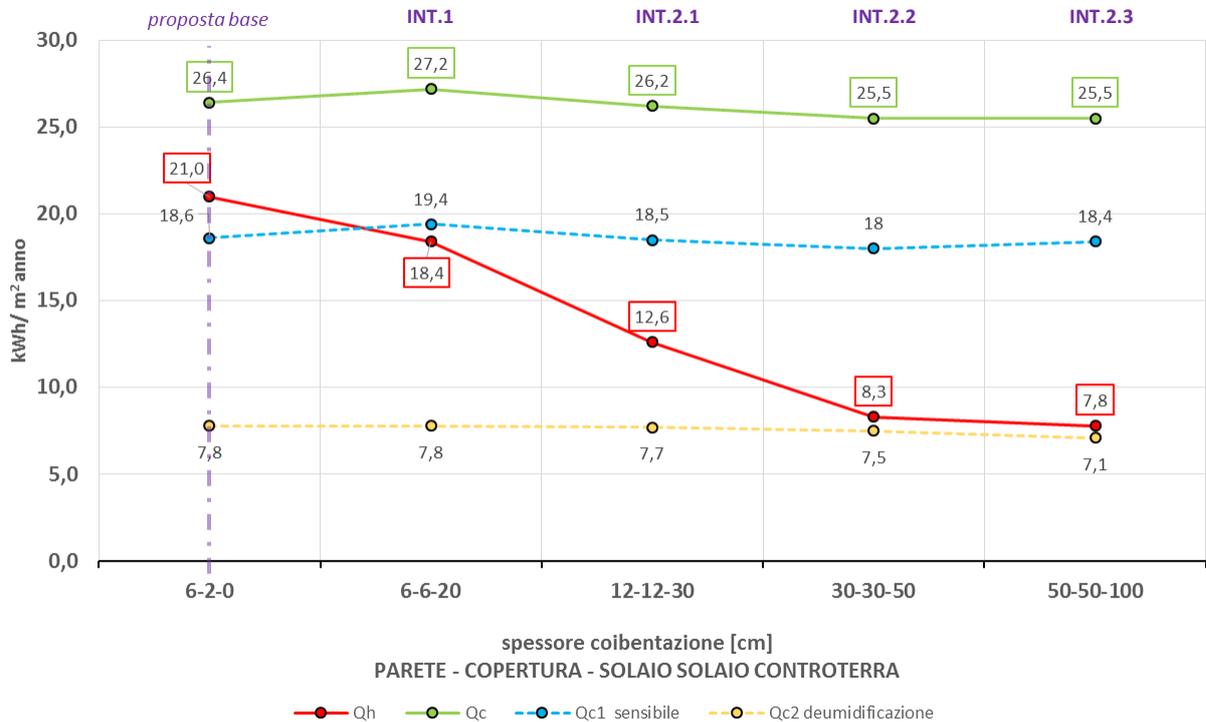


Grafico 24: influenza della trasmittanza

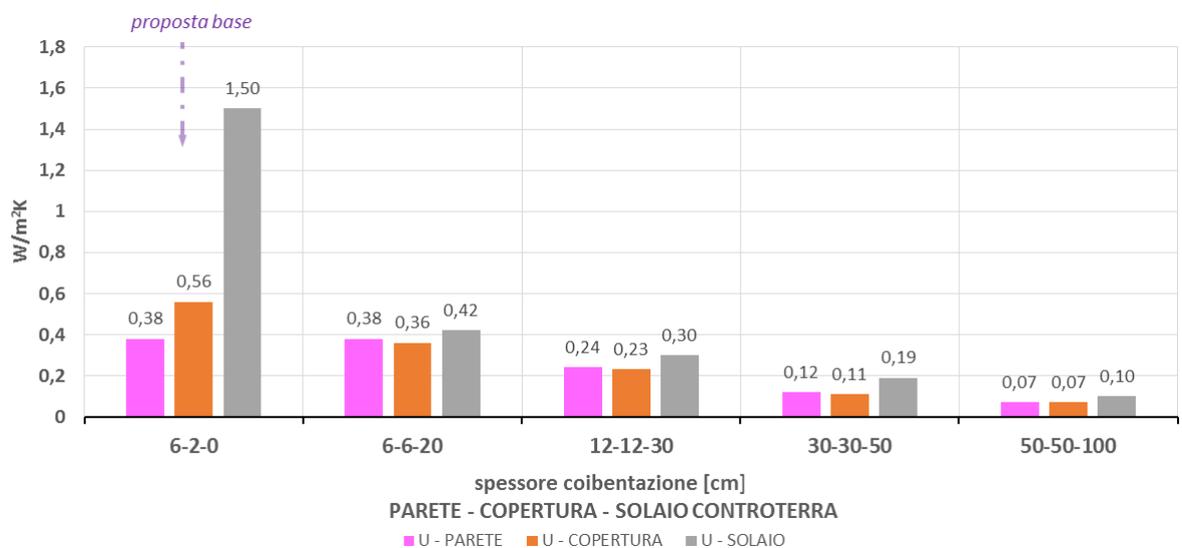


Grafico 25: trasmittanza dei componenti opachi

NOTA: la coibentazione della parete e della copertura è realizzata con pannelli di sughero, la coibentazione del solaio controterra è realizzata con granulato di vetro cellulare.

La diminuzione della trasmittanza ha un effetto molto favorevole nella diminuzione del fabbisogno di riscaldamento (Qh) ma influenza poco il fabbisogno di raffrescamento (Qc).

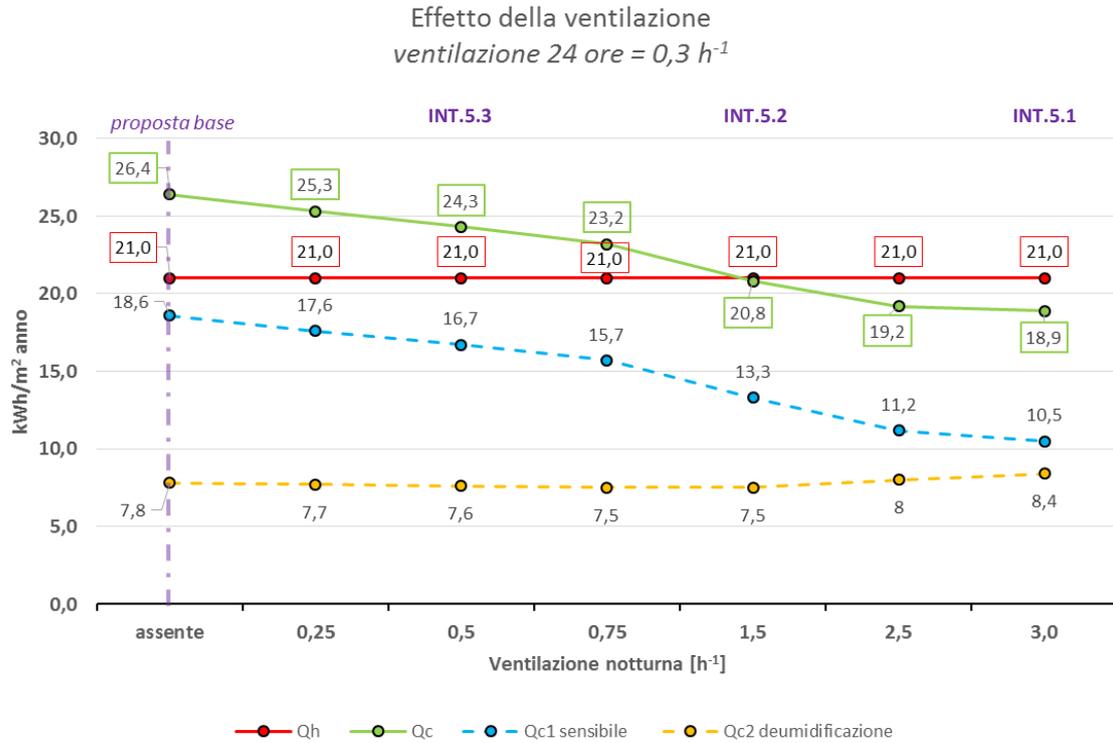


Grafico 26: influenza della ventilazione notturna (la ventilazione naturale nelle 24 ore è di 0,3 h<sup>-1</sup>)

Nelle condizioni climatiche di Cagliari la ventilazione notturna ha un'importanza strategica per diminuire il fabbisogno di raffrescamento estivo. Una ventilazione con un ricambio di 3h<sup>-1</sup> permette una diminuzione del fabbisogno di raffrescamento del 28%.

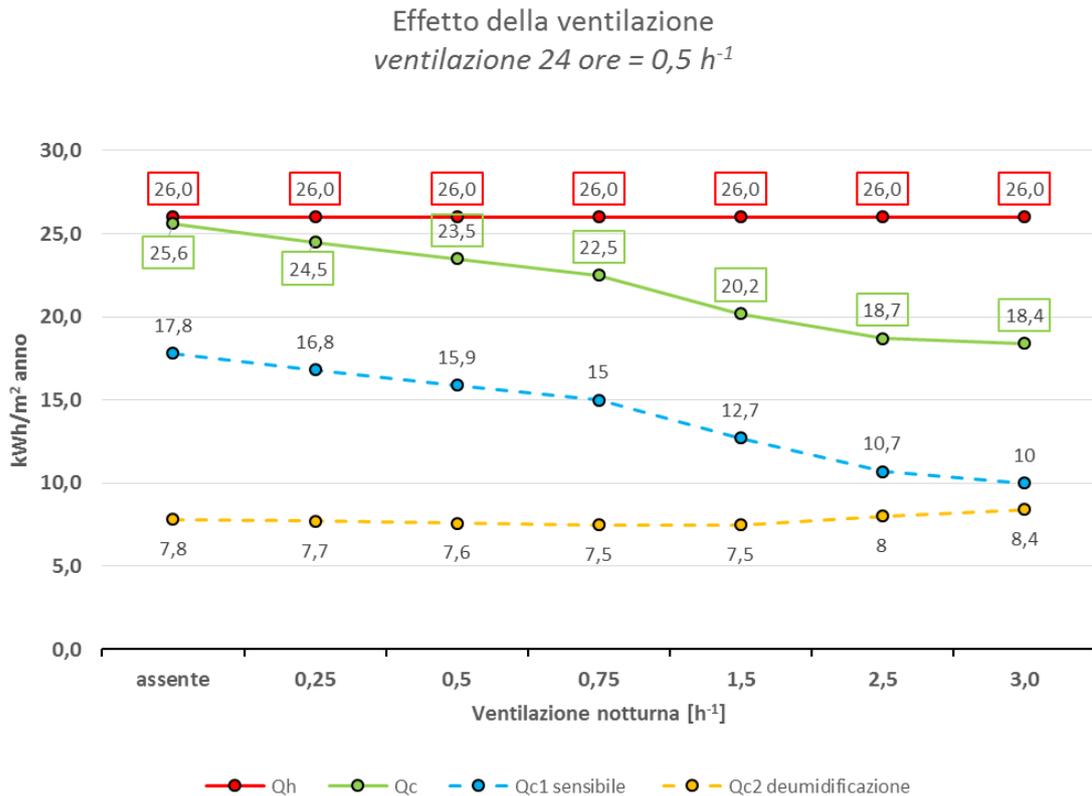


Grafico 27: influenza della ventilazione notturna (la ventilazione naturale nelle 24 ore è di 0,5 h<sup>-1</sup>)

### Influenza della trasmittanza delle superfici trasparenti

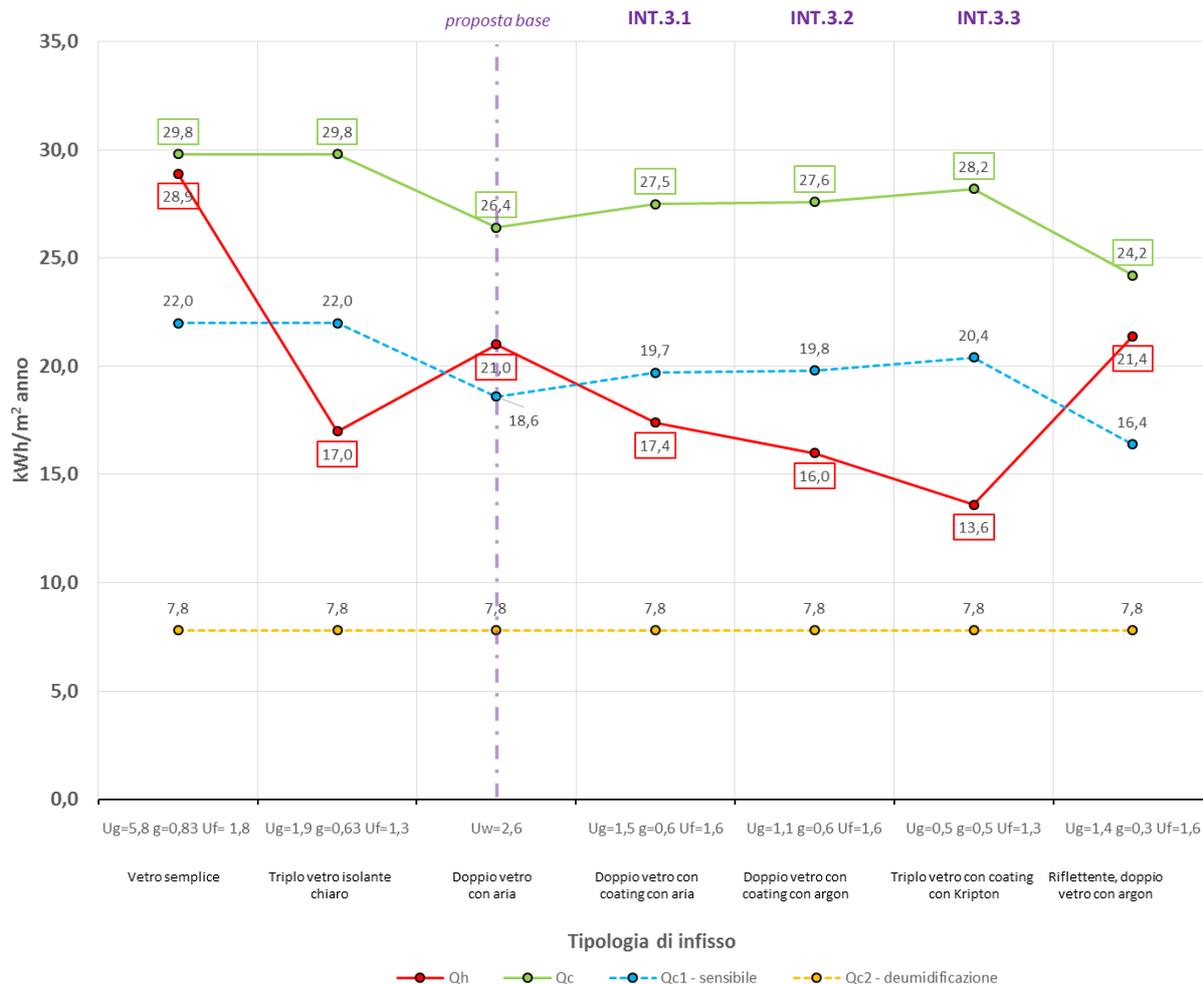


Grafico 28: influenza della trasmittanza delle superfici trasparenti

Gli infissi rappresentati nel grafico 20 sono in legno con differenti spessori del telaio e tipologie di vetro. L'infisso che permette una importante diminuzione del fabbisogno di riscaldamento invernale è in triplo vetro con Krypton.

L'infisso che permette di contenere il fabbisogno di raffrescamento è il vetro riflettente che ha, tra i vetri proposti, il fattore solare (g) inferiore.

### Effetto della schermatura

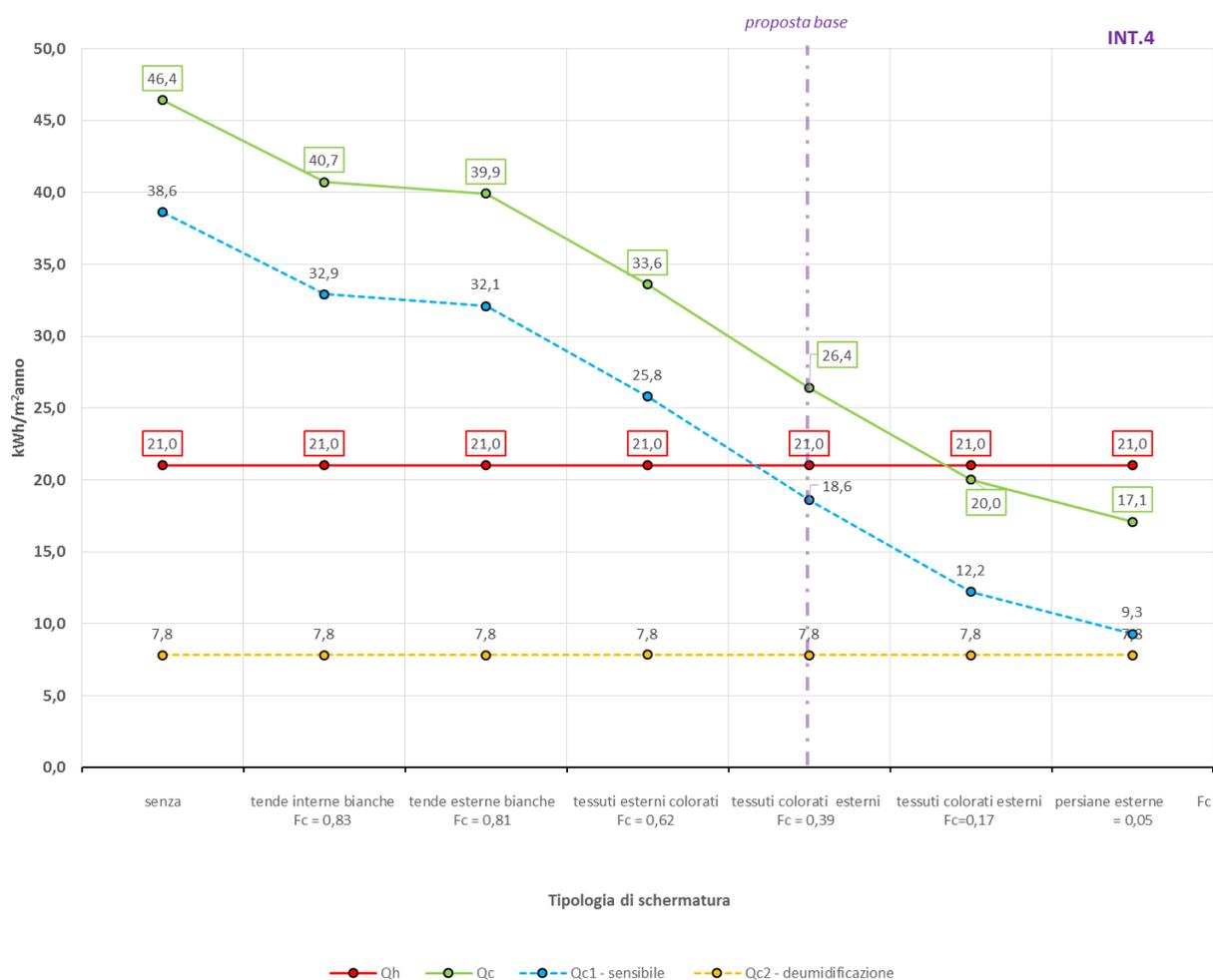


Grafico 29: influenza dei diversi tipi di schermatura

La schermatura degli infissi è una strategia importante, nel clima di Cagliari, per il controllo del fabbisogno di raffrescamento.

Tra le tipologie di schermatura proposte la persiana, schermando la maggior quantità di radiazione solare, permette di ottenere i più bassi valori di fabbisogno di raffrescamento.

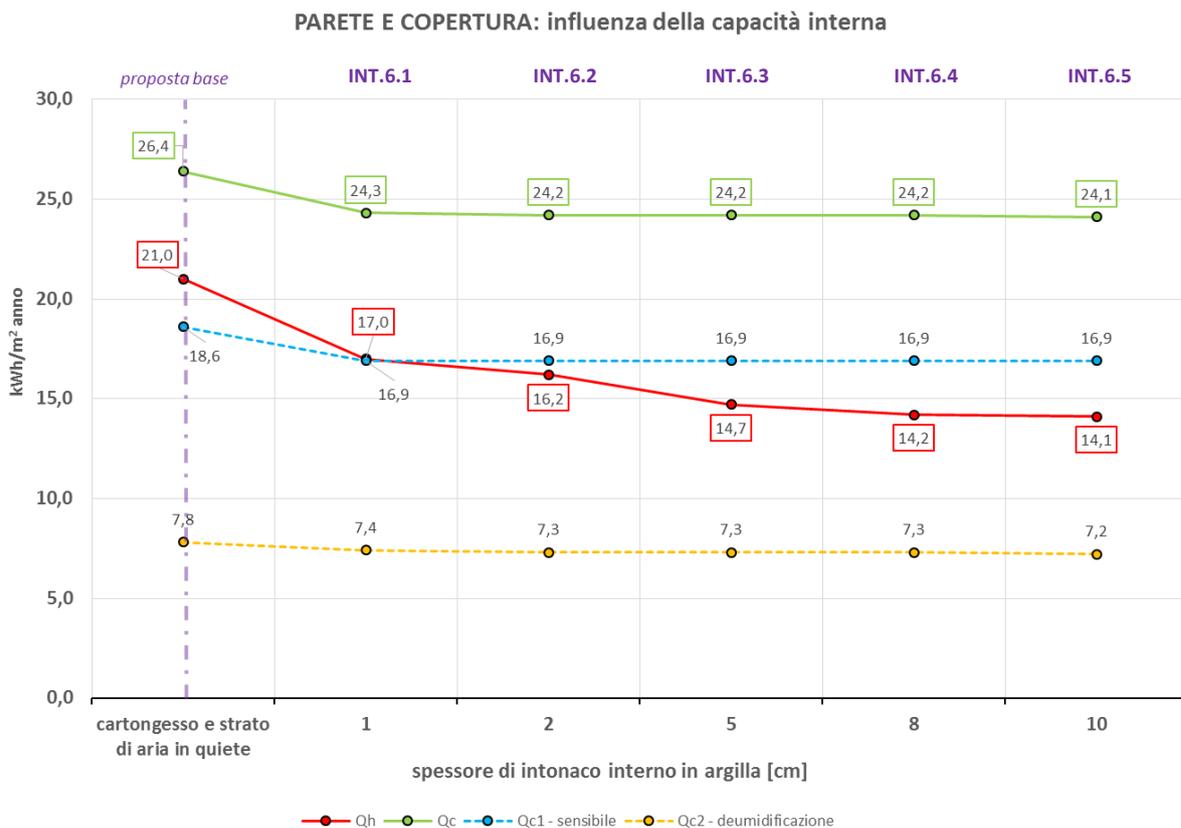


Grafico 30: influenza della capacità termica areica interna di parete e copertura

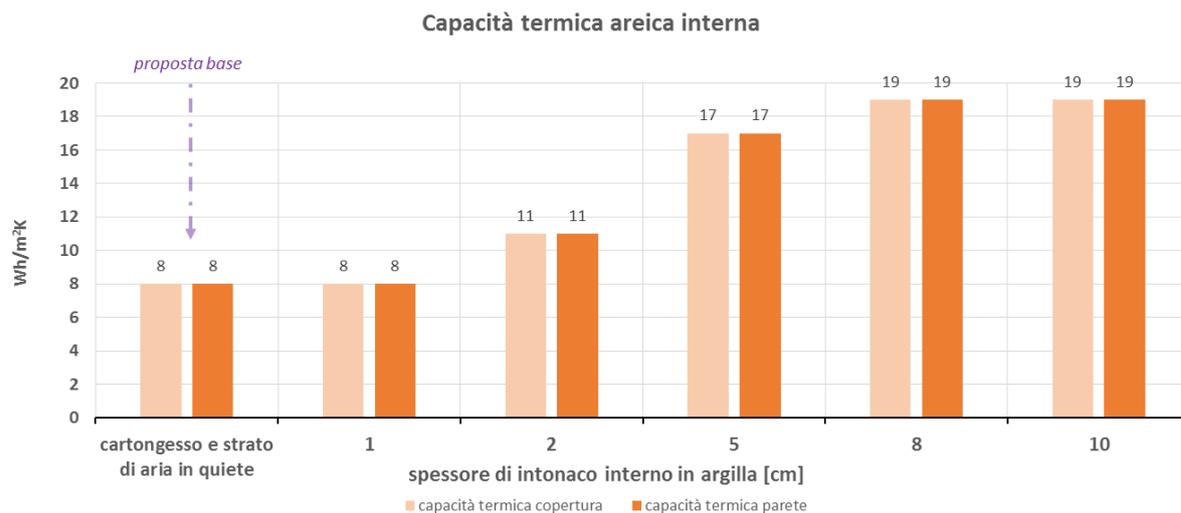


Grafico 31: capacità termica areica interna della parete e della copertura

L'aumento della capacità termica areica interna è una strategia di progettazione da applicare nelle condizioni climatiche di Cagliari in quanto permette di diminuire sia il fabbisogno di riscaldamento che il fabbisogno di raffrescamento.

**PARETE: effetto dei coefficienti di assorbimento ed emissione della superficie esterna**

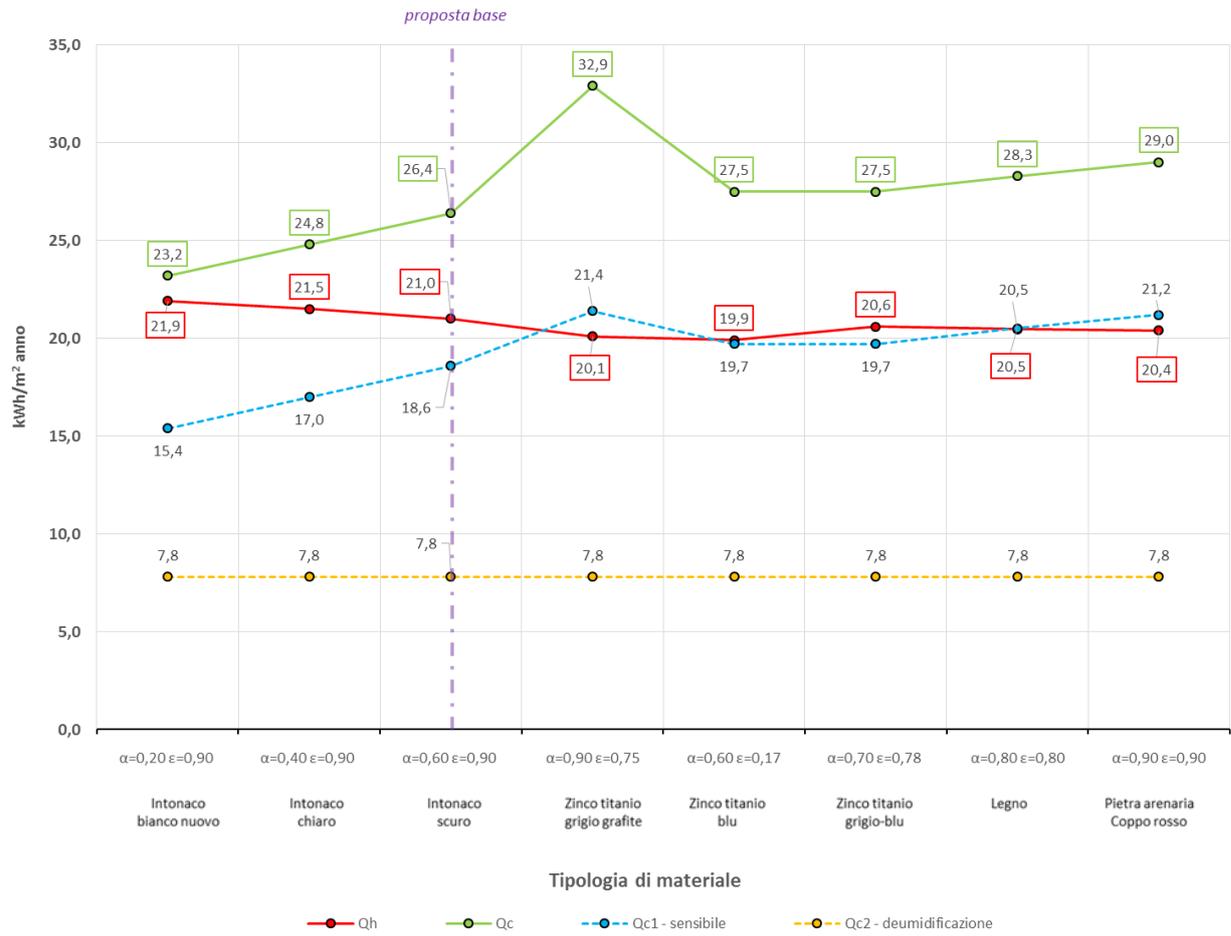


Grafico 32: effetto del coefficiente di assorbimento ed emissione della parete

L'intonaco bianco sulle pareti dell'edificio oggetto di studio permette di diminuire del 13% il fabbisogno di raffrescamento dell'edificio rispetto alla proposta base.

COPERTURA: effetto dei coefficienti di assorbimento ed emissione della superficie esterna

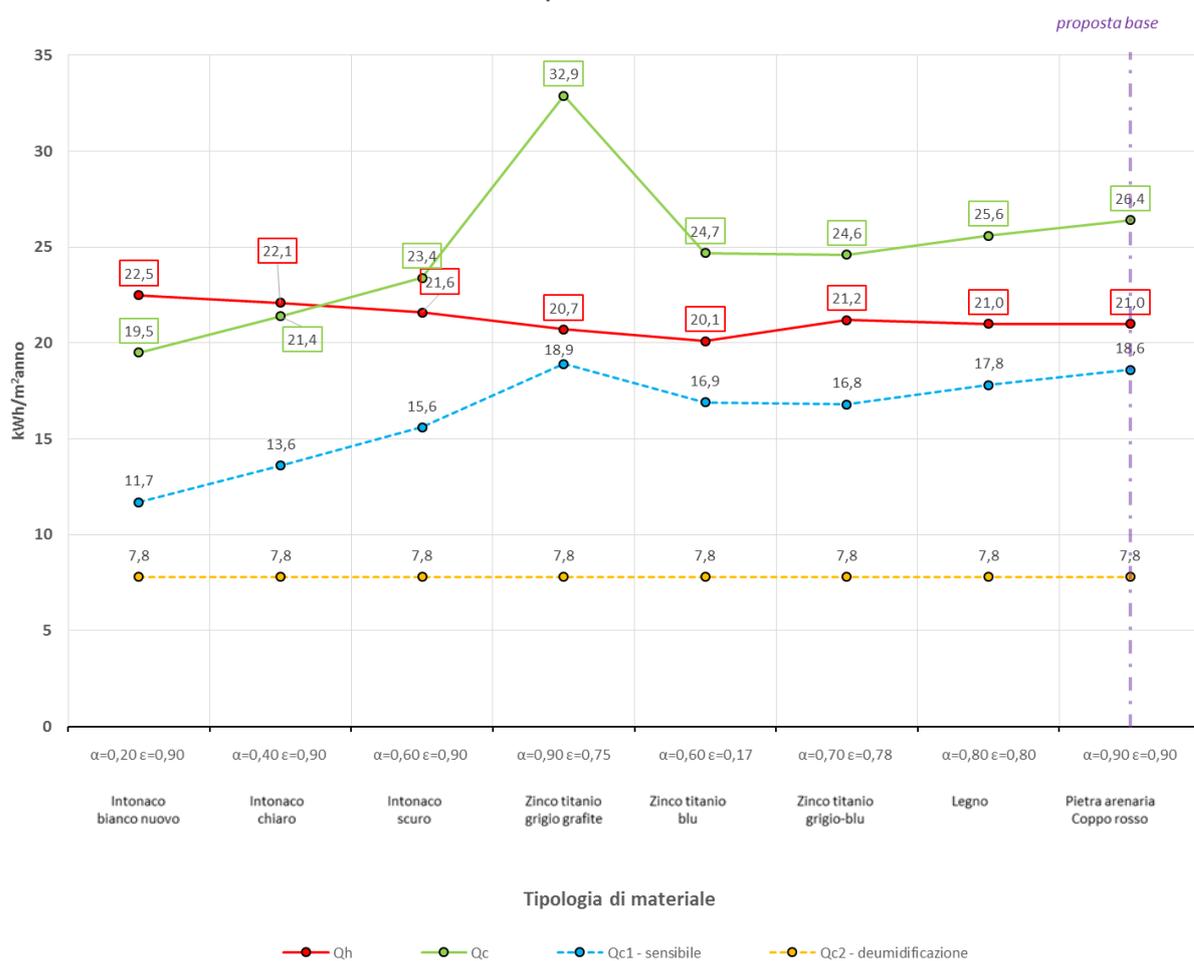


Grafico 33: effetto del coefficiente di assorbimento ed emissione della copertura

Il materiale che anche in copertura permette di diminuire il fabbisogno di raffreddamento in maniera importante (26%) ha un coefficiente di assorbimento  $\alpha = 0,20$  e un coefficiente di emissione  $\epsilon = 0,90$ . Potrebbe trattarsi, per esempio, di un coppo bianco.

**COPERTURA E PARETE: effetto dei coefficienti di assorbimento ed emissione delle superfici esterne**

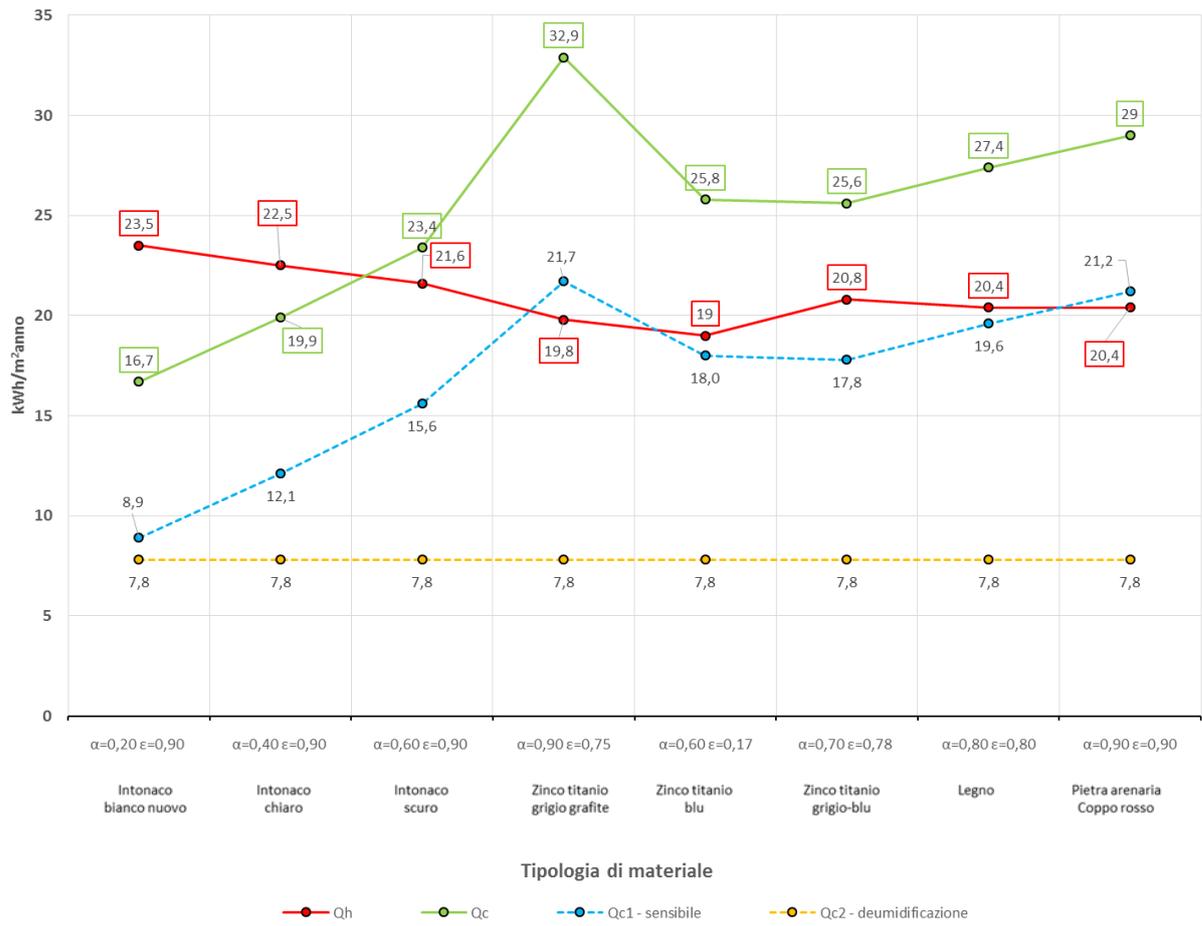


Grafico 34: effetto del coefficiente di assorbimento e di emissione della copertura e della parete

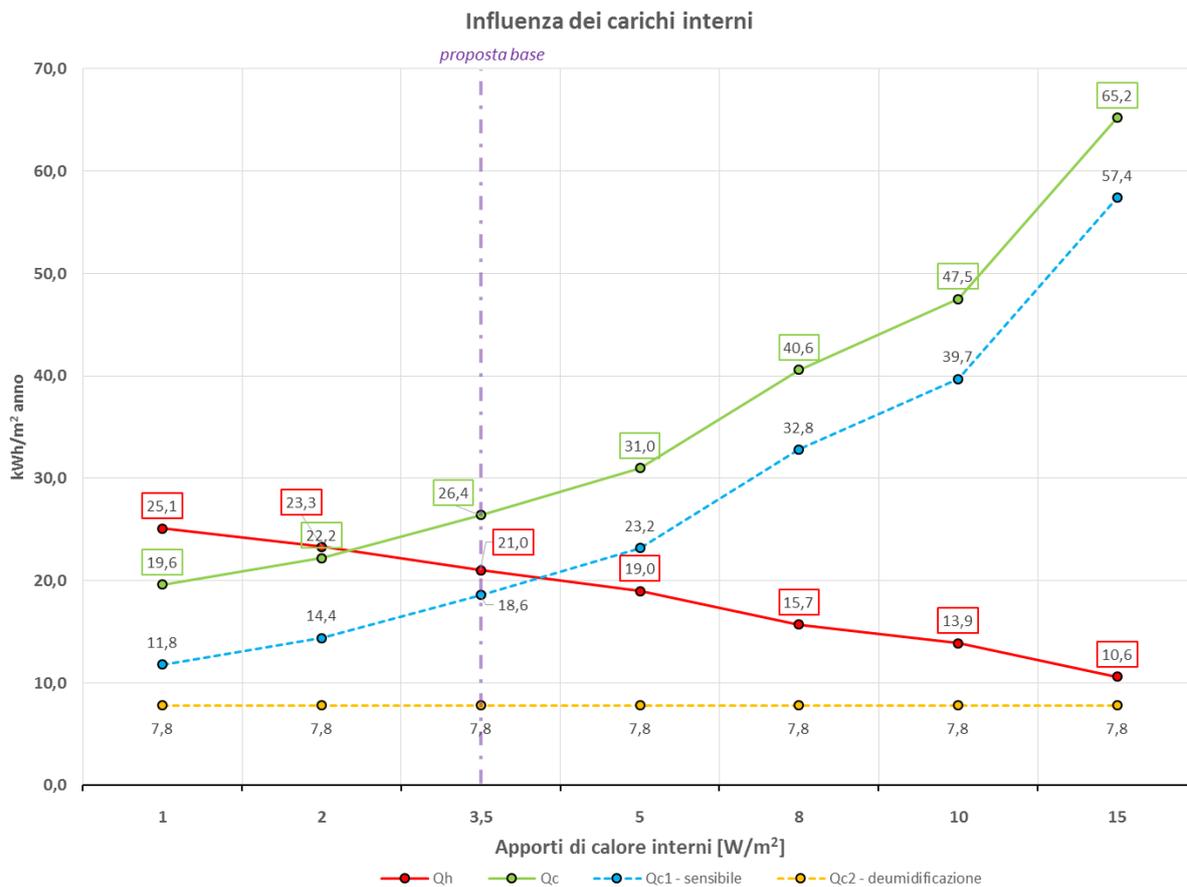


Grafico 35: effetto dei carichi interni

I carichi interni hanno un peso importante sui fabbisogni termici dell'edificio.

La produzione di calore interna dovuta all'accensione di elettrodomestici, all'affollamento o alla cottura dei cibi, in inverno permette di diminuire il fabbisogno termico di riscaldamento dell'edificio ma in estate è un carico termico difficile da eliminare determinando un incremento considerevole del fabbisogno di raffrescamento.

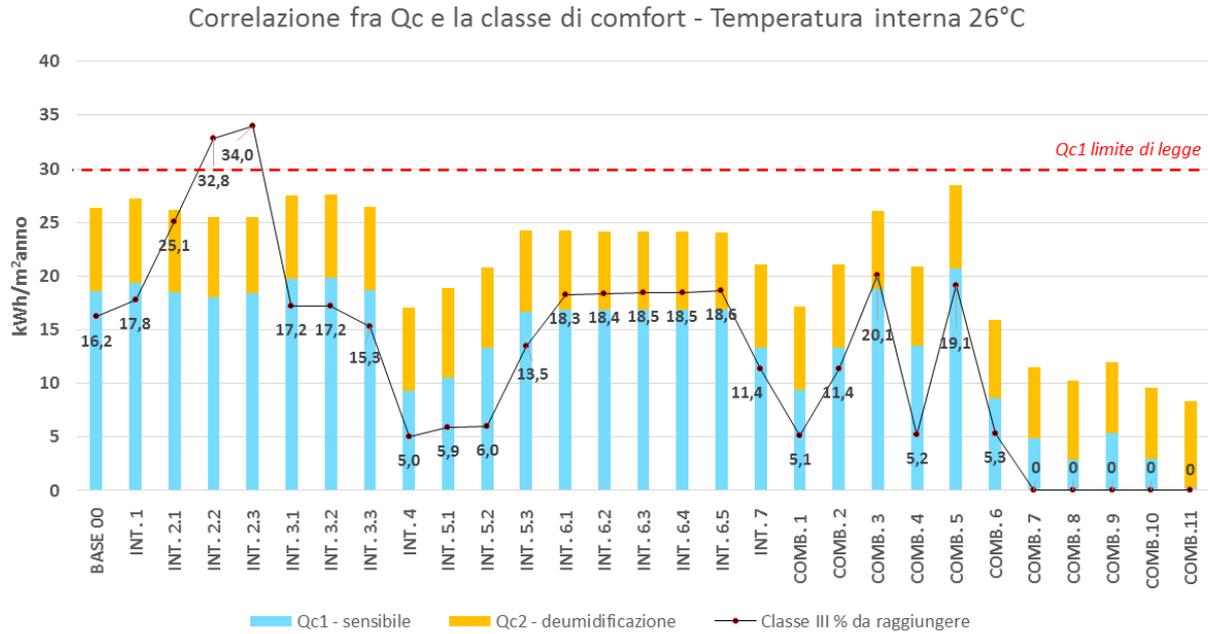


Grafico 36: correlazione fra Qc e la classe di comfort

Il grafico 28 rappresenta la correlazione fra gli interventi e le combinazioni di interventi proposti e la classe di comfort raggiunta.

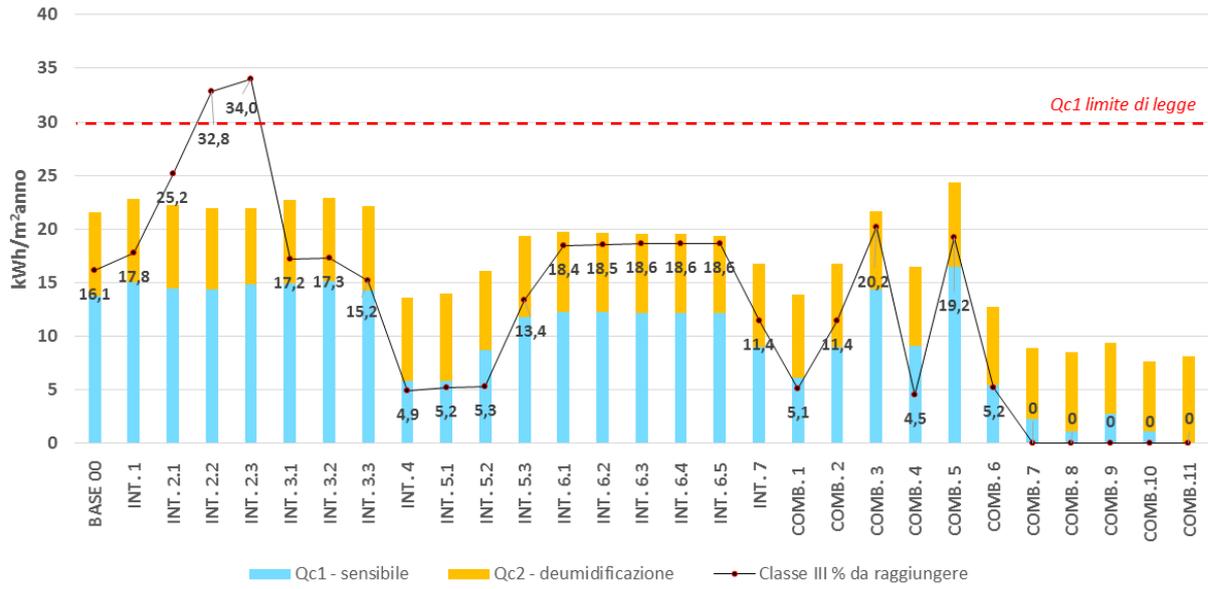
Poiché fino alla combinazione 6 si ottiene un discomfort, nel grafico viene indicata la percentuale di tempo fuori dalla classe di comfort minimo (ovvero la classe III).

Il comfort delle combinazioni da 7 a 11 supera la classe III.

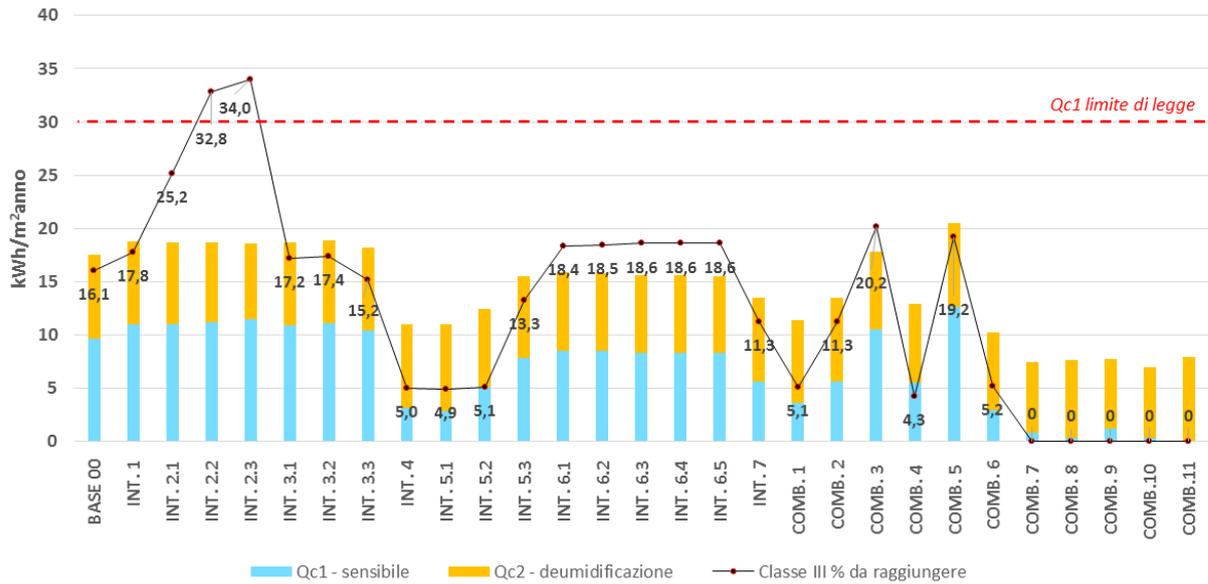
L'intervento che singolarmente permette di avvicinarsi ad una classe di comfort minimo è l'intervento 4 (schermatura degli infissi tramite persiane), seguito poi dalla ventilazione notturna. La combinazione di interventi che permette di avvicinarsi ad una classe di comfort minimo è la combinazione 1 (diminuzione della trasmittanza dell'involucro edilizio + schermatura degli infissi) seguito dalla combinazione 4 (diminuzione della trasmittanza + ventilazione notturna).

L'andamento del comfort segue l'andamento del fabbisogno di raffrescamento. La stessa cosa succede ipotizzando una temperatura interna di 27°C e di 28°C.

Correlazione fra Qc e la classe di comfort - Temperatura interna 27°C



Correlazione fra Qc e la classe di comfort - Temperatura interna 28°C



## 15 PROGETTO DI UN EDIFICIO A SCHIERA

I particolari costruttivi ipotizzati per l'edificio unifamiliare possono essere utilizzati per la progettazione di un edificio a schiera.

L'edificio ha una dimensione in pianta di 50 m x 10 m e nasce dall'accostamento di 5 edifici unifamiliari precedentemente descritti con l'unica modifica della superficie finestrata.

Infatti la schiera è disposta secondo l'asse est-ovest con aperture sul lato sud e sul lato nord.

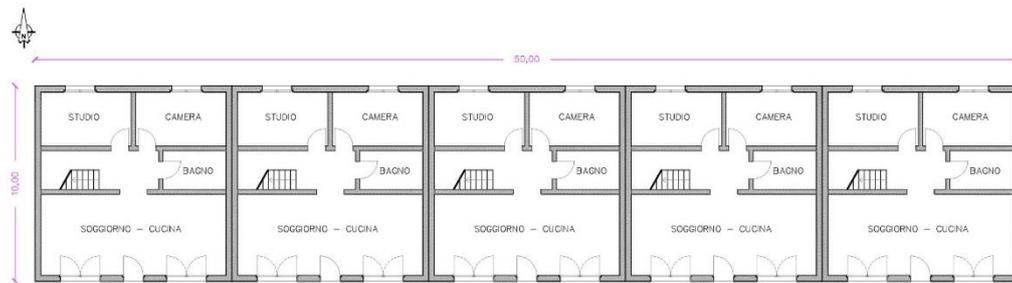


Figura 331: pianta piano terra edificio a schiera

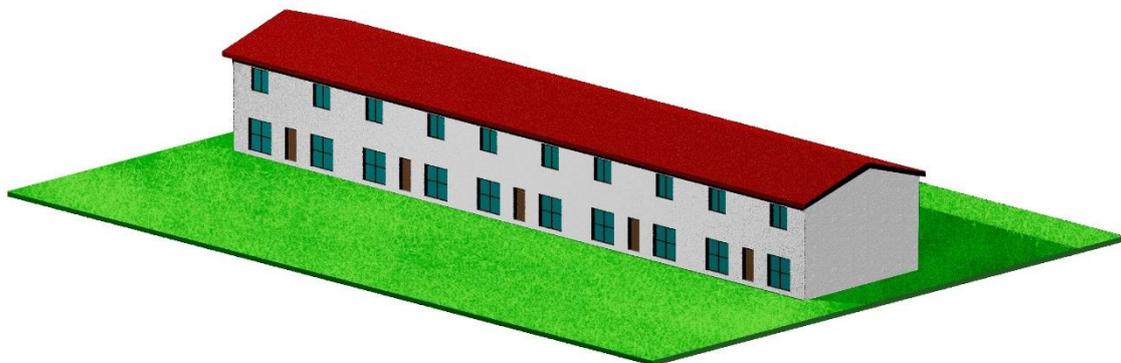


Figura 332: prospetto sud-est

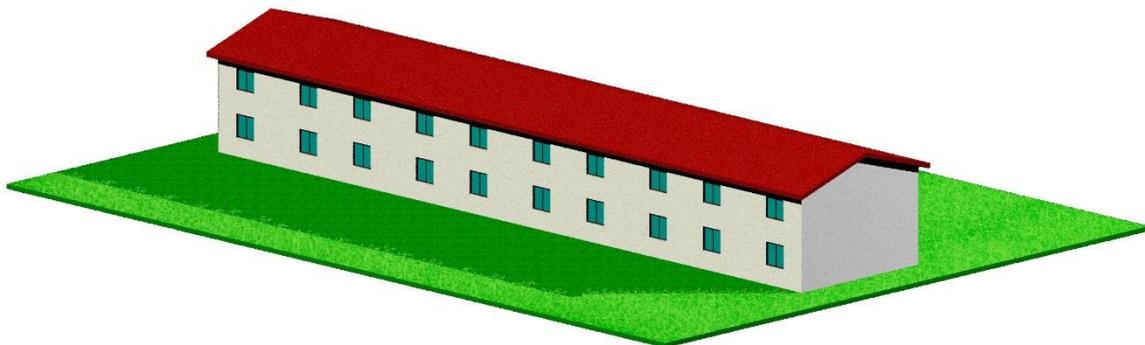


Figura 333: prospetto nord-ovest

I dati geometrici dell'edificio sono i seguenti:

<b>Volume lordo riscaldato</b>	<b>3480,00</b>	m <sup>3</sup>
SUPERFICI DISPERDENTI		
Parete NORD	308,00	m <sup>2</sup>
Parete EST	69,10	m <sup>2</sup>
Parete SUD	308,00	m <sup>2</sup>
Parete OVEST	69,10	m <sup>2</sup>
Copertura	583,00	m <sup>2</sup>
Solaio contro terra	500,00	m <sup>2</sup>
<b>Totale superfici disperdenti</b>	<b>1837,20</b>	m <sup>2</sup>
Superfici vetrate NORD	45,00	m <sup>2</sup>
Superfici vetrate EST	0,00	m <sup>2</sup>
Superfici vetrate SUD	64,50	m <sup>2</sup>
Superfici vetrate OVEST	0,00	m <sup>2</sup>
<b>Rapporto S/V</b>	<b>0,53</b>	
Altezza netta interna	2,7	m

Ai sensi dell'art. 4 comma 2 del D.P.R. 59/2009 l' $E_{p_i}$  limite risulta per un edificio con rapporto S/V = 0,53:

	<b>Cagliari</b>	<b>Oristano</b>	<b>Nuoro</b>	<b>Sassari</b>
Zona climatica	C	C	D	C
GG	990	1059	1602	1185
<b>S/V = 0,53</b>	<b>31,88</b>	<b>33,80</b>	<b>47,96</b>	<b>37,32</b>

Possiamo considerare un rendimento globale dell'impianto, in un edificio di nuova costruzione, pari a  $\eta = 90\%$ .

In questo modo il valore limite del fabbisogno termico per il riscaldamento sarà:

	<b>Cagliari</b>	<b>Oristano</b>	<b>Nuoro</b>	<b>Sassari</b>
$E_{p_i}$ limite	31,88	33,80	47,96	37,32
$\eta$ globale	0,9	0,9	0,9	0,9
$E_{p_i}$ , involucro "limite"	<b>28,69</b>	<b>30,42</b>	<b>43,16</b>	<b>33,59</b>

Tabella 9: Determinazione del fabbisogno termico "limite" per il riscaldamento nelle quattro città della Sardegna

Dai calcoli effettuati con il software ProCasaClima 2013 si ottengono i seguenti fabbisogni:

<b>EDIFICIO A SCHIERA – CAGLIARI</b>				
	<b>Fabbisogno termico per il riscaldamento</b>	<b>Sensibile</b>	<b>Deumidificazione</b>	<b>Fabbisogno termico per il raffrescamento sensibile e la deumidificazione</b>
	<b>kWh/m<sup>2</sup>anno</b>	<b>kWh/m<sup>2</sup>anno</b>	<b>kWh/m<sup>2</sup>anno</b>	<b>kWh/m<sup>2</sup>anno</b>
PROPOSTA BASE 00	<b>17,6</b>	15,0	7,9	<b>22,9</b>
INTERVENTO 1: U -	<b>15,5</b>	15,6	7,9	<b>23,5</b>
INTERVENTO 2.1: U - -	<b>10,9</b>	14,5	7,9	<b>22,4</b>
INTERVENTO 2.2: U - - -	<b>7,1</b>	13,5	7,8	<b>21,3</b>
INTERVENTO 2.3: U - - - -	<b>6,3</b>	13,5	7,7	<b>21,2</b>
INTERVENTO 3.1: U <sub>w</sub> -	<b>14,4</b>	15,9	7,9	<b>23,8</b>
INTERVENTO 3.2: U <sub>w</sub> - -	<b>13,2</b>	16,0	7,9	<b>23,9</b>
INTERVENTO 3.3: U <sub>w</sub> - - -	<b>12,1</b>	15,5	7,9	<b>23,4</b>
INTERVENTO 4: F <sub>c</sub> -	<b>17,6</b>	8,9	7,9	<b>16,8</b>
INTERVENTO 5.1: vent. +++	<b>17,6</b>	7,8	8,7	<b>16,5</b>
INTERVENTO 5.2: vent. ++	<b>17,6</b>	9,7	7,8	<b>17,5</b>
INTERVENTO 5.3: vent. +	<b>17,6</b>	12,9	7,8	<b>20,7</b>
INTERVENTO 6.1: κ +	<b>13,8</b>	13,2	7,5	<b>20,7</b>
INTERVENTO 6.2: κ ++	<b>13,1</b>	13,2	7,5	<b>20,7</b>
INTERVENTO 6.3: κ +++	<b>11,8</b>	13,1	7,5	<b>20,6</b>
INTERVENTO 6.4: κ ++++	<b>11,2</b>	13,0	7,5	<b>20,5</b>
INTERVENTO 6.5: κ +++++	<b>11,0</b>	12,9	7,5	<b>20,4</b>
INTERVENTO 7: α -	<b>18,8</b>	10,3	7,9	<b>18,2</b>
COMB. 1: 1 + 4	<b>15,5</b>	8,9	7,9	<b>16,8</b>
COMB. 2: 1 + 7	<b>18,8</b>	10,3	7,9	<b>18,2</b>
COMB. 3: 1 + 6.3	<b>10,9</b>	14,8	7,5	<b>22,3</b>
COMB. 4: 1 + 5.2	<b>15,5</b>	9,5	7,8	<b>17,3</b>
COMB. 5: 1 + 3.2	<b>11,0</b>	16,8	7,9	<b>24,7</b>
COMB. 6: 1 + 4 + 6.3	<b>10,9</b>	8,2	7,5	<b>15,7</b>
COMB. 7: 1 + 4 + 5.2 + 6.3	<b>10,9</b>	4,1	6,9	<b>11,0</b>
COMB. 8: 1 + 4 + 5.2 + 7	<b>16,4</b>	2,6	7,8	<b>10,4</b>
COMB. 9: 1+3.2+4+5.2+6.3	<b>6,8</b>	4,6	6,9	<b>11,5</b>
COMB. 10: 1+3.2+4+5.2+6.3+7	<b>7,5</b>	2,6	6,9	<b>9,5</b>
COMB. 11: 2.3+3.3+4+5.1+6.5+7	<b>0,8</b>	0,3	8,1	<b>8,4</b>

L'intervento che singolarmente comporta un minore fabbisogno termico per il riscaldamento è l'INTERVENTO 2.3 ovvero la maggiore coibentazione delle strutture opache disperdenti.

L'intervento che singolarmente comporta un minore fabbisogno termico per il raffrescamento è l'INTERVENTO 5.1 di ventilazione notturna degli ambienti, seguito dalla schermatura degli infissi (INTERVENTO 4).

La combinazione di interventi che produce un risultato migliore in termini di fabbisogno di riscaldamento è la COMBINAZIONE 9 che prevede una trasmittanza degli elementi costruttivi minima a norma di legge, l'utilizzo di vetrate basso emissive riempite con gas Argon, la schermatura degli infissi esterni tramite persiane, la ventilazione notturna e la maggiore capacità termica delle strutture.

La combinazione di interventi che produce un risultato migliore per quanto riguarda il raffrescamento estivo è la COMBINAZIONE 10 che si differenzia dalla combinazione 9 precedentemente descritta solo per l'aggiunta della tinteggiatura chiara nelle pareti esterne e nel colore chiaro dei coppi di copertura.

Un discorso a parte merita la COMBINAZIONE 11 che presenta il fabbisogno termico minore in termini di riscaldamento e raffrescamento ma anche soluzioni tecnologicamente ed economicamente più impegnative.

Dal punto di vista del comfort termoigrometrico si ottiene:

<b>CASA A SCHIERA – CAGLIARI</b>							
<b>Free running (senza raffrescamento attivo)</b>							
	<b>Comfort</b>						<b>Classe</b>
	<b>I+++</b>	<b>I++</b>	<b>I+</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	
PROPOSTA BASE 00	32,9	32,5	30,5	26,6	21,7	16,9	<b>Discomfort</b>
INTERVENTO 1: U -	24,3	34,0	32,3	28,8	24,3	19,3	<b>Discomfort</b>
INTERVENTO 2.1: U - -	39,3	39,1	37,8	35,1	30,8	26,2	<b>Discomfort</b>
INTERVENTO 2.2: U - - -	47,0	47,0	46,4	43,9	39,7	34,5	<b>Discomfort</b>
INTERVENTO 2.3: U - - - -	48,9	48,9	48,3	46,1	42,0	36,6	<b>Discomfort</b>
INTERVENTO 3.1: U <sub>w</sub> -	33,8	33,4	31,4	27,6	22,7	17,9	<b>Discomfort</b>
INTERVENTO 3.2: U <sub>w</sub> - -	33,9	33,5	31,6	27,7	22,9	18,0	<b>Discomfort</b>
INTERVENTO 3.3: U <sub>w</sub> - - -	32,7	32,2	30,0	26,2	21,4	16,2	<b>Discomfort</b>
INTERVENTO 4: Fc -	27,3	26,0	23,1	18,2	12,6	7,0	<b>Discomfort</b>
INTERVENTO 5.1: vent. +++	20,6	19,4	16,8	13,1	9,1	5,1	<b>Discomfort</b>
INTERVENTO 5.2: vent. ++	24,2	22,5	19,7	15,7	11,5	7,3	<b>Discomfort</b>
INTERVENTO 5.3: vent. +	30,7	30,0	27,6	23,4	18,3	13,7	<b>Discomfort</b>
INTERVENTO 6.1: κ +	34,1	33,7	31,9	28,6	24,1	19,0	<b>Discomfort</b>
INTERVENTO 6.2: κ + +	34,0	33,6	31,8	28,8	24,6	19,0	<b>Discomfort</b>

INTERVENTO 6.3: κ +++	33,9	33,6	31,9	29,2	25,0	19,2	<b>Discomfort</b>
INTERVENTO 6.4: κ ++++	34,1	33,7	32,0	29,4	25,3	19,4	<b>Discomfort</b>
INTERVENTO 6.5: κ +++++	24,2	33,8	32,1	29,4	25,4	19,5	<b>Discomfort</b>
INTERVENTO 7: α -	29,9	29,2	26,8	22,9	17,9	12,1	<b>Discomfort</b>
COMB. 1: 1 + 4	28,9	27,7	24,4	20,0	13,9	7,7	<b>Discomfort</b>
COMB. 2: 1 + 7	29,9	29,2	26,8	22,9	17,9	12,1	<b>Discomfort</b>
COMB. 3: 1 + 6.3	35,3	34,9	33,4	30,9	27,0	21,8	<b>Discomfort</b>
COMB. 4: 1 + 5.2	23,9	22,2	19,3	15,3	11,1	6,9	<b>Discomfort</b>
COMB. 5: 1 + 3.2	35,5	35,1	33,5	30,1	25,7	20,8	<b>Discomfort</b>
COMB. 6: 1 + 4 + 6.3	29,9	29,0	26,1	21,7	15,2	8,6	<b>Discomfort</b>
COMB. 7: 1 + 4 + 5.2 + 6.3	16,4	13,9	10,1	5,8	2,6	0,7	<b>Discomfort</b>
COMB. 8: 1 + 4 + 5.2 + 7	14,1	11,9	8,5	4,9	2,1	0,8	<b>Discomfort</b>
COMB. 9: 1+3.2+4+5.2+6.3	17,2	14,6	10,9	6,3	2,9	0,8	<b>Discomfort</b>
COMB. 10: 1+3.2+4+5.2+6.3+7	14,3	11,7	7,9	4,3	1,5	0,3	<b>III</b>
COMB. 11: 2.3+3.3+4+5.1+6.5+7	7,1	5,3	2,9	1,0	0,2	0,0	<b>II</b>

La combinazione che permette di ottenere un livello di comfort minimo (classe III) è la COMBINAZIONE 10.

EDIFICIO A SCHIERA - CAGLIARI															
Temperatura interna	26 gradi					27 gradi					28 gradi				
	Fabbisogno termico per il riscaldamento	Fabbisogno di raffrescamento sensibile	Fabbisogno di deumidificazione	Fabbisogno di raffrescamento e deumidificazione	Classe di comfort da raggiungere	Fabbisogno termico per il riscaldamento	Fabbisogno di raffrescamento sensibile	Fabbisogno di deumidificazione	Fabbisogno di raffrescamento e deumidificazione	Classe di comfort da raggiungere	Fabbisogno termico per il riscaldamento	Fabbisogno di raffrescamento sensibile	Fabbisogno di deumidificazione	Fabbisogno di raffrescamento e deumidificazione	Classe di comfort da raggiungere
	Q <sub>h</sub> kWh/ m <sup>2</sup> anno	Q <sub>c1</sub> kWh/ m <sup>2</sup> anno	Q <sub>c2</sub> kWh/ m <sup>2</sup> anno	Q <sub>c</sub> kWh/ m <sup>2</sup> anno	%	Q <sub>h</sub> kWh/ m <sup>2</sup> anno	Q <sub>c1</sub> kWh/ m <sup>2</sup> anno	Q <sub>c2</sub> kWh/ m <sup>2</sup> anno	Q <sub>c</sub> kWh/ m <sup>2</sup> anno	%	Q <sub>h</sub> kWh/ m <sup>2</sup> anno	Q <sub>c1</sub> kWh/ m <sup>2</sup> anno	Q <sub>c2</sub> kWh/ m <sup>2</sup> anno	Q <sub>c</sub> kWh/ m <sup>2</sup> anno	%
PROPOSTA BASE 0	17,6	15,0	7,9	22,9	III - 16,9	17,0	10,7	7,9	18,6	III - 16,8	16,5	7,3	7,9	15,2	III - 16,8
INTERVENTO 1: U -	15,5	15,6	7,9	23,5	III - 19,3	15,3	11,7	7,9	19,6	III - 19,4	15,2	8,4	7,9	16,3	III - 19,5
INTERVENTO 2,1: U --	10,9	14,5	7,9	22,4	III - 26,2	10,9	11,1	7,9	19,0	III - 26,2	10,8	8,1	7,9	15,8	III - 26,3
INTERVENTO 2,2: U ---	7,1	13,5	7,8	21,3	III - 34,5	7,1	10,6	7,8	18,4	III - 34,5	7,0	8,0	7,8	15,8	III - 34,5
INTERVENTO 2,3: U ----	6,3	13,5	7,7	21,2	III - 36,6	6,3	10,8	7,7	18,5	III - 36,5	6,3	8,2	7,7	15,9	III - 36,5
INTERVENTO 3,1: U <sub>w</sub> -	14,4	15,9	7,9	23,8	III - 17,9	13,8	11,7	7,9	19,6	III - 18,0	13,4	8,2	7,9	16,1	III - 18,0
INTERVENTO 3.2: U <sub>w</sub> --	13,2	16,0	7,9	23,9	III - 18,0	12,7	11,9	7,9	19,8	III - 18,1	12,2	8,5	7,9	16,4	III - 18,2
INTERVENTO 3.3: U <sub>w</sub> ---	12,1	15,5	7,9	23,4	III - 16,2	11,6	11,6	7,9	19,5	III - 16,2	11,2	8,3	7,9	16,2	III - 16,2
INTERVENTO 4: Fc -	17,6	8,9	7,9	16,8	III - 7,0	17,0	5,6	7,9	13,5	III - 7,0	16,5	3,2	7,9	11,1	III - 6,9
INTERVENTO 5.1: vent +++	17,6	7,8	8,7	16,5	III - 5,1	17,0	4,1	8,5	12,6	III - 4,7	16,5	1,9	8,3	10,2	III - 4,5
INTERVENTO 5.2: vent ++	17,6	9,7	7,8	17,5	III - 7,3	17,0	5,8	7,7	13,5	III - 7,0	16,5	3,2	7,6	10,8	III - 6,7
INTERVENTO 5.3: vent +	17,6	12,9	7,8	20,7	III - 13,7	17,0	8,8	7,8	16,5	III - 13,6	16,5	5,6	7,8	13,4	III - 13,5
INTERVENTO 6.1: K +	13,8	13,2	7,5	20,7	III - 19,0	13,2	9,3	7,5	16,8	III - 19,0	12,7	6,1	7,5	13,6	III - 19,0
INTERVENTO 6.2: K ++	13,1	13,2	7,5	20,7	III - 19,0	12,6	9,2	7,5	16,7	III - 19,0	12,0	6,0	7,5	13,6	III - 19,1
INTERVENTO 6.3: K +++	11,8	13,1	7,5	20,6	III - 19,2	11,3	9,1	7,5	16,6	III - 19,3	10,8	5,9	7,5	13,4	III - 19,3
INTERVENTO 6.4: K ++++	11,2	13,0	7,5	20,5	III - 19,4	10,7	9,0	7,5	16,5	III - 19,5	10,3	5,9	7,5	13,4	III - 19,5
INTERVENTO 6.5: K ++++	11,0	12,9	7,5	20,4	III - 19,5	10,6	9,0	7,5	16,5	III - 19,6	10,1	5,9	7,5	13,4	III - 19,6
INTERVENTO 7: α -	18,8	10,3	7,9	18,2	III - 12,1	18,2	6,7	7,9	14,6	III - 12,1	17,6	4,0	7,9	11,9	III - 12,0
COMB. 1 = 1 + 4	15,5	8,9	7,9	16,8	III - 7,7	15,3	5,9	7,9	13,8	III - 7,7	15,2	3,5	7,9	11,4	III - 7,8
COMB. 2 = 1 + 7	18,8	10,3	7,9	18,2	III - 12,1	18,2	6,7	7,9	14,6	III - 12,1	17,6	4,0	7,9	11,9	III - 12,0
COMB. 3 = 1 + 6.3	10,9	14,8	7,5	22,3	III - 21,8	10,7	11,1	7,5	18,6	III - 21,7	10,6	7,8	7,5	15,3	III - 21,8
COMB. 4 = 1 + 5.2	15,5	9,5	7,8	17,3	III - 6,9	15,3	5,9	7,7	13,6	III - 6,4	15,2	3,3	7,6	10,9	III - 6,3
COMB. 5 = 1 + 3.2	11,0	16,8	7,9	24,7	III - 20,8	10,9	13,2	7,9	21,1	III - 20,8	10,8	9,9	7,9	17,8	III - 20,8
COMB. 6 = 1 + 4 + 6.3	10,9	8,2	7,5	15,7	III - 8,6	10,7	5,3	7,5	12,8	III - 8,7	10,6	3,0	7,5	10,5	III - 8,6
COMB. 7 = 1 + 4 + 5.2 + 6.3	10,9	4,1	6,9	11,0	III - 0,7	10,7	1,8	6,9	8,7	III - 0,5	10,6	0,7	6,9	7,6	II - 2,1
COMB. 8 = 1 + 4 + 5.2 + 7	16,4	2,6	7,8	10,4	III - 0,8	16,3	0,9	7,7	8,6	III - 0,7	16,1	0,3	7,6	7,9	III - 0,7
COMB. 9 = 1 + 3.2 + 4 + 5.2 + 6.3	6,8	4,6	6,9	11,5	III - 0,8	6,7	2,2	6,9	9,1	III - 0,6	6,6	0,9	6,9	7,8	III - 0,6
COMB.10 = 1+3.2+4+5.2+6.3+7	7,5	2,6	6,9	9,5	II - 1,5	7,4	1,0	6,9	7,9	II - 0,2	7,3	0,3	6,9	7,2	II - 1,1
COMB.11=2.3+3.3+4+5.1+6.5+7	0,8	0,3	8,1	8,4	I - 1,0	0,8	0,1	8,1	8,2	I - 0,6	0,8	0,0	8,1	8,1	I - 0,5

Tabella 10: EDIFICIO A SCHIERA - fabbisogni e classi di comfort per le temperature interne di 26°C, 27°C e 28°C

Temperatura interna	26°C	27°C			26°C	27°C			26°C	27°C			26°C	27°C		
	Qh	Qh	+/-	+/-	Qc1	Qc1	+/-	+/-	Qc2	Qc2	+/-	+/-	Qc	Qc	+/-	+/-
	kWh/ m²anno	kWh/ m²anno	kWh/ m²anno	%	kWh/ m²anno	kWh/ m²anno	kWh/ m²anno	%	kWh/ m²anno	kWh/ m²anno	kWh/ m²anno	%	kWh/ m²anno	kWh/ m²anno	kWh/ m²anno	%
PROPOSTA BASE 0	17,6	17,0	-0,60	-3,41	15,0	10,7	-4,3	-28,67	7,9	7,9	0	0	22,9	18,6	-4,3	-18,78
INTERVENTO 1: U -	15,5	15,3	-0,20	-1,29	15,6	11,7	-3,9	-25,00	7,9	7,9	0	0	23,5	19,6	-3,9	-16,60
INTERVENTO 2.1: U --	10,9	10,9	0,00	0,00	14,5	11,1	-3,4	-23,45	7,9	7,9	0	0	22,4	19,0	-3,4	-15,18
INTERVENTO 2.2: U ---	7,1	7,1	0,00	0,00	13,5	10,6	-2,9	-21,48	7,8	7,8	0	0	21,3	18,4	-2,9	-13,62
INTERVENTO 2.3: U ----	6,3	6,3	0,00	0,00	13,5	10,8	-2,7	-20,00	7,7	7,7	0	0	21,2	18,5	-2,7	-12,74
INTERVENTO 3.1: Uw -	14,4	13,8	-0,60	-4,17	15,9	11,7	-4,2	-26,42	7,9	7,9	0	0	23,8	19,6	-4,2	-17,65
INTERVENTO 3.2: Uw --	13,2	12,7	-0,50	-3,79	16,0	11,9	-4,1	-25,63	7,9	7,9	0	0	23,9	19,8	-4,1	-17,15
INTERVENTO 3.3: Uw ---	12,1	11,6	-0,50	-4,13	15,5	11,6	-3,9	-25,16	7,9	7,9	0	0	23,4	19,5	-3,9	-16,67
INTERVENTO 4: Fc -	17,6	17,0	-0,60	-3,41	8,9	5,6	-3,3	-37,08	7,9	7,9	0	0	16,8	13,5	-3,3	-19,64
INTERVENTO 5.1: vent +++	17,6	17,0	-0,60	-3,41	7,8	4,1	-3,7	-47,44	8,7	8,5	-0,2	-2,30	16,5	12,6	-3,9	-23,64
INTERVENTO 5.2: vent ++	17,6	17,0	-0,60	-3,41	9,7	5,8	-3,9	-40,21	7,8	7,7	-0,1	-1,28	17,5	13,5	-4	-22,86
INTERVENTO 5.3: vent +	17,6	17,0	-0,60	-3,41	12,9	8,8	-4,1	-31,78	7,8	7,8	0	0	20,7	16,5	-4,2	-20,29
INTERVENTO 6.1: k +	13,8	13,2	-0,60	-4,35	13,2	9,3	-3,9	-29,55	7,5	7,5	0	0	20,7	16,8	-3,9	-18,84
INTERVENTO 6.2: k ++	13,1	12,6	-0,50	-3,82	13,2	9,2	-4	-30,30	7,5	7,5	0	0	20,7	16,7	-4	-19,32
INTERVENTO 6.3: k +++	11,8	11,3	-0,50	-4,24	13,1	9,1	-4	-30,53	7,5	7,5	0	0	20,6	16,6	-4	-19,42
INTERVENTO 6.4: k ++++	11,2	10,7	-0,50	-4,46	13,0	9,0	-4	-30,77	7,5	7,5	0	0	20,5	16,5	-4	-19,51
INTERVENTO 6.5: k +++++	11,0	10,6	-0,40	-3,64	12,9	9,0	-3,9	-30,23	7,5	7,5	0	0	20,4	16,5	-3,9	-19,12
INTERVENTO 7: α -	18,8	18,2	-0,60	-3,19	10,3	6,7	-3,6	-34,95	7,9	7,9	0	0	18,2	14,6	-3,6	-19,78
COMB. 1 = 1 + 4	15,5	15,3	-0,20	-1,29	8,9	5,9	-3	-33,71	7,9	7,9	0	0	16,8	13,8	-3	-17,86
COMB. 2 = 1 + 7	18,8	18,2	-0,60	-3,19	10,3	6,7	-3,6	-34,95	7,9	7,9	0	0	18,2	14,6	-3,6	-19,78
COMB. 3 = 1 + 6.3	10,9	10,7	-0,20	-1,83	14,8	11,1	-3,7	-25,00	7,5	7,5	0	0	22,3	18,6	-3,7	-16,59
COMB. 4 = 1 + 5.2	15,5	15,3	-0,20	-1,29	9,5	5,9	-3,6	-37,89	7,8	7,7	-0,1	-1,28	17,3	13,6	-3,7	-21,39
COMB. 5 = 1 + 3.2	11,0	10,9	-0,10	-0,91	16,8	13,2	-3,6	-21,43	7,9	7,9	0	0	24,7	21,1	-3,6	-14,57
COMB. 6 = 1 + 4 + 6.3	10,9	10,7	-0,20	-1,83	8,2	5,3	-2,9	-35,37	7,5	7,5	0	0	15,7	12,8	-2,9	-18,47
COMB. 7 = 1 + 4 + 5.2 + 6.3	10,9	10,7	-0,20	-1,83	4,1	1,8	-2,3	-56,10	6,9	6,9	0	0	11,0	8,7	-2,3	-20,91

COMB. 8 = 1 + 4 + 5.2 + 7	<b>16,4</b>	<b>16,3</b>	-0,10	-0,61	2,6	0,9	-1,7	-65,38	7,8	7,7	-0,1	-1,28	<b>10,4</b>	<b>8,6</b>	-1,8	-17,31
COMB. 9 = 1 + 3.2 + 4 + 5.2+ 6.3	<b>6,8</b>	<b>6,7</b>	-0,10	-1,47	4,6	2,2	-2,4	-52,17	6,9	6,9	0	0	<b>11,5</b>	<b>9,1</b>	-2,4	-20,87
COMB.10 =1+3.2+4+5.2+6.3+7	<b>7,5</b>	<b>7,4</b>	-0,10	-1,33	2,6	1,0	-1,6	-61,54	6,9	6,9	0	0	<b>9,5</b>	<b>7,9</b>	-1,6	-16,84
COMB.11=2.3+3.3+4+5.1+6.5+7	<b>0,8</b>	<b>0,8</b>	0,00	0,00	0,3	0,1	-0,2	-66,67	8,1	8,1	0	0	<b>8,4</b>	<b>8,2</b>	-0,2	-2,38

Tabella 11: EDIFICIO A SCHIERA - aumento e diminuzione dei fabbisogni fra le T=26°C e T=27°C

**L'intervento** in cui si registra una diminuzione maggiore in termini percentuali per quanto riguarda il **fabbisogno termico per il riscaldamento** tra temperatura progettuale base di 26°C e quella studiata di 27°C, è l'INTERVENTO 6.4 in cui viene aumentata la capacità termica areica interna.

**La combinazione** in cui si registra una diminuzione maggiore in termini percentuali per quanto riguarda il **fabbisogno termico per il riscaldamento** tra temperatura progettuale base di 26°C e quella studiata di 27°C è la COMBINAZIONE 2 che comprende: diminuzione della trasmittanza dell'involucro e tinteggiatura chiara delle superfici esterne.

**L'intervento** in cui si registra una diminuzione maggiore in termini percentuali per quanto riguarda il **fabbisogno termico per il raffrescamento**, tra temperatura progettuale base di 26°C e quella studiata di 27°C, è l'INTERVENTO 5.1 che prevede la ventilazione notturna.

**La combinazione** in cui si registra una diminuzione maggiore in termini percentuali per quanto riguarda il **fabbisogno termico per il raffrescamento** tra temperatura progettuale base di 26°C e quella studiata di 27°C, è la COMBINAZIONE 4 che comprende la diminuzione della trasmittanza dell'involucro e la ventilazione notturna.

Temperatura interna	26°C	28°C			26°C	28°C			26°C	28°C			26°C	28°C		
	Qh	Qh	+/-	+/-	Qc1	Qc1	+/-	+/-	Qc2	Qc2	+/-	+/-	Qc	Qc	+/-	+/-
	kWh/ m <sup>2</sup> anno	kWh/ m <sup>2</sup> anno	kWh/ m <sup>2</sup> anno	%	kWh/ m <sup>2</sup> anno	kWh/ m <sup>2</sup> anno	kWh/ m <sup>2</sup> anno	%	kWh/ m <sup>2</sup> anno	kWh/ m <sup>2</sup> anno	kWh/ m <sup>2</sup> anno	%	kWh/ m <sup>2</sup> anno	kWh/ m <sup>2</sup> anno	kWh/ m <sup>2</sup> anno	%
PROPOSTA BASE 0	17,6	16,5	-1,10	-6,25	15,0	7,3	-7,7	-51,33	7,9	7,9	0	0	22,9	15,2	-7,7	-33,62
INTERVENTO 1: U -	15,5	15,2	-0,30	-1,94	15,6	8,4	-7,2	-46,15	7,9	7,9	0	0	23,5	16,3	-7,2	-30,64
INTERVENTO 2.1: U --	10,9	10,8	-0,10	-0,92	14,5	8,1	-6,4	-44,14	7,9	7,9	0	0	22,4	15,8	-6,6	-29,46
INTERVENTO 2.2: U ---	7,1	7,0	-0,10	-1,41	13,5	8,0	-5,5	-40,74	7,8	7,8	0	0	21,3	15,8	-5,5	-25,82
INTERVENTO 2.3: U ----	6,3	6,3	0,00	0,00	13,5	8,2	-5,3	-39,26	7,7	7,7	0	0	21,2	15,9	-5,3	-25,00
INTERVENTO 3.1: Uw --	14,4	13,4	-1,00	-6,94	15,9	8,2	-7,7	-48,43	7,9	7,9	0	0	23,8	16,1	-7,7	-32,35
INTERVENTO 3.2: Uw --	13,2	12,2	-1,00	-7,58	16,0	8,5	-7,5	-46,88	7,9	7,9	0	0	23,9	16,4	-7,5	-31,38
INTERVENTO 3.3: Uw ---	12,1	11,2	-0,90	-7,44	15,5	8,3	-7,2	-46,45	7,9	7,9	0	0	23,4	16,2	-7,2	-30,77
INTERVENTO 4: Fc -	17,6	16,5	-1,10	-6,25	8,9	3,2	-5,7	-64,04	7,9	7,9	0	0	16,8	11,1	-5,7	-33,93
INTERVENTO 5.1: vent +++	17,6	16,5	-1,10	-6,25	7,8	1,9	-5,9	-75,64	8,7	8,3	-0,4	-4,60	16,5	10,2	-6,3	-38,18
INTERVENTO 5.2: vent ++	17,6	16,5	-1,10	-6,25	9,7	3,2	-6,5	-67,01	7,8	7,6	-0,2	-2,56	17,5	10,8	-6,7	-38,29
INTERVENTO 5.3: vent +	17,6	16,5	-1,10	-6,25	12,9	5,6	-7,3	-56,59	7,8	7,8	0	0	20,7	13,4	-7,3	-35,27
INTERVENTO 6.1: κ +	13,8	12,7	-1,10	-7,97	13,2	6,1	-7,1	-53,79	7,5	7,5	0	0	20,7	13,6	-7,1	-34,30
INTERVENTO 6.2: κ ++	13,1	12,0	-1,10	-8,40	13,2	6,0	-7,2	-54,55	7,5	7,5	0	0	20,7	13,6	-7,1	-34,30
INTERVENTO 6.3: κ +++	11,8	10,8	-1,00	-8,47	13,1	5,9	-7,2	-54,96	7,5	7,5	0	0	20,6	13,4	-7,2	-34,95
INTERVENTO 6.4: κ ++++	11,2	10,3	-0,90	-8,04	13,0	5,9	-7,1	-54,62	7,5	7,5	0	0	20,5	13,4	-7,1	-34,63
INTERVENTO 6.5: κ +++++	11,0	10,1	-0,90	-8,18	12,9	5,9	-7	-54,26	7,5	7,5	0	0	20,4	13,4	-7	-34,31
INTERVENTO 7: α -	18,8	17,6	-1,20	-6,38	10,3	4,0	-6,3	-61,17	7,9	7,9	0	0	18,2	11,9	-6,3	-34,62
COMB. 1 = 1 + 4	15,5	15,2	-0,30	-1,94	8,9	3,5	-5,4	-60,67	7,9	7,9	0	0	16,8	11,4	-5,4	-32,14
COMB. 2 = 1 + 7	18,8	17,6	-1,20	-6,38	10,3	4,0	-6,3	-61,17	7,9	7,9	0	0	18,2	11,9	-6,3	-34,62
COMB. 3 = 1 + 6.3	10,9	10,6	-0,30	-2,75	14,8	7,8	-7	-47,30	7,5	7,5	0	0	22,3	15,3	-7	-31,39
COMB. 4 = 1 + 5.2	15,5	15,2	-0,30	-1,94	9,5	3,3	-6,2	-65,26	7,8	7,6	-0,2	-2,56	17,3	10,9	-6,4	-36,99
COMB. 5 = 1 + 3.2	11,0	10,8	-0,20	-1,82	16,8	9,9	-6,9	-41,07	7,9	7,9	0	0	24,7	17,8	-6,9	-27,94
COMB. 6 = 1 + 4 + 6.3	10,9	10,6	-0,30	-2,75	8,2	3,0	-5,2	-63,41	7,5	7,5	0	0	15,7	10,5	-5,2	-33,12
COMB. 7 = 1 + 4 + 5.2 + 6.3	10,9	10,6	-0,30	-2,75	4,1	0,7	-3,4	-82,93	6,9	6,9	0	0	11,0	7,6	-3,4	-30,91

COMB. 8 = 1 + 4 + 5.2 + 7	<b>16,4</b>	<b>16,1</b>	-0,30	-1,83	2,6	0,3	-2,3	-88,46	7,8	7,6	-0,2	-2,56	<b>10,4</b>	<b>7,9</b>	-2,5	-24,04
COMB. 9 = 1 + 3.2 + 4 + 5.2+ 6.3	<b>6,8</b>	<b>6,6</b>	-0,20	-2,94	4,6	0,9	-3,7	-80,43	6,9	6,9	0	0	<b>11,5</b>	<b>7,8</b>	-3,7	-32,17
COMB.10 =1+3.2+4+5.2+6.3+7	<b>7,5</b>	<b>7,3</b>	-0,20	-2,67	2,6	0,3	-2,3	-88,46	6,9	6,9	0	0	<b>9,5</b>	<b>7,2</b>	-2,3	-24,21
COMB.11=2.3+3.3+4+5.1+6.5+7	<b>0,8</b>	<b>0,8</b>	0,00	0,00	0,3	0,0	-0,3	-100,00	8,1	8,1	0	0	<b>8,4</b>	<b>8,1</b>	-0,3	-3,57

Tabella 12: EDIFICIO A SCHIERA - aumento e diminuzione dei fabbisogni fra le T=26°C e T=28°C

**L'intervento** in cui si registra una diminuzione maggiore in termini percentuali per quanto riguarda il **fabbisogno termico per il riscaldamento** tra temperatura progettuale base di 26°C e quella studiata di 28°C, è l'INTERVENTO 6.3 in cui viene aumentata la capacità termica areica interna.

**La combinazione** in cui si registra una diminuzione maggiore in termini percentuali per quanto riguarda il **fabbisogno termico per il riscaldamento** tra temperatura progettuale base di 26°C e quella studiata di 28°C è la COMBINAZIONE 2 che comprende: diminuzione della trasmittanza dell'involucro e la tinteggiatura o colorazione chiara delle superfici esterne.

**L'intervento** in cui si registra una diminuzione maggiore in termini percentuali per quanto riguarda il **fabbisogno termico per il raffrescamento**, tra temperatura progettuale base di 26°C e quella studiata di 28°C, è l'INTERVENTO 5.2 che prevede la ventilazione notturna.

**La combinazione** in cui si registra una diminuzione maggiore in termini percentuali per quanto riguarda il **fabbisogno termico per il raffrescamento** tra temperatura progettuale base di 26°C e quella studiata di 28°C, è la COMBINAZIONE 4 che comprende la diminuzione della trasmittanza dell'involucro e la ventilazione notturna.

## 16 CONCLUSIONI

La presente tesi di Dottorato si è proposta di studiare il comportamento degli edifici in legno nelle condizioni climatiche della Sardegna.

Come molte Regioni d'Italia il clima sardo è caratterizzato da temperature estive molto elevate e la necessità di ottenere un elevato grado di comfort ha portato ad un uso diffuso di climatizzatori anche negli edifici massivi in laterizio.

La preoccupazione maggiore di committenti e progettisti è che l'edificio in legno soffra l'elevata umidità del clima locale e che in estate la struttura "leggera" non riesca ad attenuare e sfasare l'onda termica procurando un surriscaldamento degli ambienti abitati.

Le simulazioni dinamiche termoigrometriche eseguite con il software WUFI su elementi di parete e copertura in CLT hanno permesso di evidenziare le condizioni più critiche (presenza della barriera a vapore interna) suggerendo, per alcune condizioni climatiche, condizioni di umidità iniziale dei materiali per evitare picchi oltre il limite del contenuto di acqua del CLT e dei materiali naturali utilizzati.

Complessivamente le simulazioni hanno dimostrato che le stratigrafie sono adatte alle condizioni climatiche della Sardegna.

Partendo dai particolari costruttivi esaminati è stata proposta la progettazione di un edificio unifamiliare e a schiera. Il calcolo dei fabbisogni termici dell'edificio è stato effettuato con il software ProCasaClima 2013 e il calcolo dei ponti termici con il software Therm.

Ottenere un edificio a norma di legge per quanto riguarda il contenimento del consumo energetico non è difficile con il CLT. Tuttavia per raggiungere l'obiettivo di un edificio a energia quasi zero è necessario utilizzare delle strategie di progettazione "passiva" che incrementano anche il livello di comfort ottenuto. Per il clima di Cagliari gli interventi più efficaci riguardano la schermatura solare e la ventilazione notturna degli ambienti, seguita dall'aumento della capacità termica areica interna e dalla tinteggiatura chiara dell'involucro edilizio.

Le strategie progettuali individuate per l'edificio unifamiliare sono valide anche per l'edificio a schiera.

Per entrambe le costruzioni accettare uno o due gradi in più all'interno degli ambienti, ipotizzando una capacità adattiva degli abitanti, permette di diminuire ulteriormente i fabbisogni termici.

Tuttavia le stesse strategie progettuali non sono valide per tutte le tipologie di clima presenti in Italia.

La ricerca ha dimostrato che è possibile costruire anche in Sardegna un edificio in legno con elevate prestazioni, che rispetta la normativa sul risparmio energetico e che permette di raggiungere condizioni favorevoli per il benessere termoigrometrico dei suoi abitanti.

## BIBLIOGRAFIA

### NORMATIVA

1. UNI EN 335 – Durabilità del legno e dei prodotti a base di legno – Classi di utilizzo: definizioni, applicazione al legno massiccio e prodotti a base di legno – 2013
2. UNI EN 15026 – Prestazione termoigrometrica dei componenti e degli elementi di edificio – Valutazione del trasferimento di umidità mediante una simulazione numerica – 2008
3. UNI EN 15251 – Criteri per la progettazione dell’ambiente interno e per la valutazione della prestazione energetica degli edifici, in relazione alla qualità dell’aria interna, all’ambiente termico, all’illuminazione e all’acustica - 2008
4. UNI EN ISO 13370 – Prestazione termica degli edifici – Trasferimento di calore attraverso il terreno – Metodi di calcolo – 2008
5. UNI EN ISO 13786 – Prestazione termica dei componenti per l’edilizia- Caratteristiche termiche dinamiche – Metodi di calcolo - 2008
6. UNI EN ISO 13788 – Prestazione igrotermica dei componenti e degli elementi per l'edilizia – Temperatura superficiale interna per evitare l'umidità superficiale critica e la condensazione interstiziale – Metodo di calcolo – 2013
7. UNI EN ISO 13789 – Prestazione termica degli edifici – Coefficienti di trasferimento del calore per trasmissione e ventilazione – Metodo di calcolo – 2008
8. UNI EN ISO 13791 – Prestazione termica degli edifici – Calcolo della temperatura interna estiva di un locale in assenza di impianti di climatizzazione – Criteri generali e procedure di validazione – 2012
9. UNI EN ISO 13792 – Prestazione termica degli edifici – Calcolo della temperatura interna estiva di un locale in assenza di impianti di climatizzazione – Metodi semplificati – 2012
10. UNI/TS 11300-1 – Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 1: determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale – 2008
11. Decreto del Presidente della Repubblica 2 aprile 2009, n. 59 “Regolamento di attuazione dell'articolo 4, comma 1, lettere a) e b), del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, concernente attuazione della direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico in edilizia” - (G.U. n. 132 del 10 giugno 2009)
12. Decreto legislativo 29 dicembre 2006, n. 311 - “Disposizioni correttive ed integrative al decreto legislativo n. 192 del 2005, recante attuazione della direttiva 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico nell'edilizia” (G.U. 1 febbraio 2007, n. 26)
13. Decreto Legislativo 19 agosto 2005, n. 192- “Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia” (G.U. 23 settembre 2005, n. 222)

14. Provincia Autonoma di Bolzano - Direttiva tecnica CasaClima - Agosto 2011

#### ARTICOLI

15. Sedlbauer K., ***Prediction of mould fungus formation on the surface of and inside building component***, Dissertation Universität Stuttgart, 2001
16. Krus M., ***Moisture transport and storage coefficients of porous mineral building materials – theoretical principles and new test methods***, Dissertation Universität Stuttgart, 1995
17. Künzel H.M., ***Simultaneous heat and moisture transport in building components. One- and two-dimensional calculation using simple parameters***, Dissertation Universität Stuttgart, 1994
18. Concu G, De Nicolo B., Trulli N., Valdés M., Fragiaco M., ***Strength class prediction of Sardinia grown timber by means of non destructive parameters***, in Advanced Materials Research – Vol. 778 (2013) 191 – 198
19. Rosangela Tenorio, ***Dual mode cooling house in the warm humid tropics***, in Solar Energy – Vol.73 N.1 (2002) 43-57
20. Mendes N., Philippi P.C., ***A method for predicting heat and moisture transfer through multilayered walls based on temperature and moisture content gradients***, in International Journal of Heat and Mass Transfer, 48 (2005) 37–51
21. Dominique Derome , Saba Saneinejad, ***Inward vapor diffusion due to high temperature gradients in experimentally tested large-scale wall assemblies***, in Building and Environment 45 (2010) 2790-2797
22. Amandine Piot, Monika Woloszynb, Jean Brau, Charlotte Abelea, ***Experimental wooden frame house for the validation of whole building heat and moisture transfer numerical models***, in Energy and Buildings 43 (2011) 1322–1328
23. Achilles Karagiozis, Mikael Salonvaara, ***Hygrothermal system-performance of a whole building***, in Building and Environment 36 (2001) 779–787
24. Stéphane Hameury, ***Moisture buffering capacity of heavy timber structures directly exposed to an indoor climate: a numerical study***, in Building and Environment 40 (2005) 1400–1412
25. Qian Mao, Paul Fazio, Jiwu Rao, ***In-cavity evaporation allowed - A drying capacity indicator for wood-frame wall system***, in Building and Environment 44 (2009) 2418–2429
26. Jelle Langmans, Ralf Klein, Staf Roels, ***Hygrothermal risks of using exterior air barrier systems for highly insulated light weight walls: A laboratory investigation***, in Building and Environment 56 (2012) 192-202
27. Nicola Cardinale, Gianluca Rospi, Pietro Stefanizzi, ***Energy and microclimatic performance of Mediterranean vernacular buildings: The Sassi district of Matera and the Trulli district of Alberobello***, in Building and Environment 59 (2013) 590-598

28. Franck Lucas, Laetitia Adelard, François Garde, Harry Boyer, ***Study of moisture in buildings for hot humid climates***, in Energy and Buildings 34 (2002) 345–355
29. Bulent Yesilata, Paki Turgut, ***A simple dynamic measurement technique for comparing thermal insulation performances of anisotropic building materials***, in Energy and Buildings 39 (2007) 1027–1034
30. S. Charoenvai, J. Khedari, J. Hirunlabh, C. Asasutjarit, B. Zeghmati, D. Quenard, N. Pratintong, ***Heat and moisture transport in durian fiber based lightweight construction materials***, in Solar Energy 78 (2005) 543–553
31. Targo Kalamees, Juha Vinha, ***Hygrothermal calculations and laboratory tests on timber-framed wall structures***, in Building and Environment 38 (2003) 689 – 697
32. Traoré, D. Lacroix, L. Trovalet, G. Jeandel, ***Heat and moisture transport in wooden multi-composite panels. Dynamic study of the air layer impact on the building envelope energetic behavior***, in International Journal of Thermal Sciences 50 (2011) 2290-2303
33. Massimo Fragiacommo, Stefania Fortino, Davide Tononi, Irene Usardi, Tomi Toratti, ***Moisture-induced stresses perpendicular to grain in cross-sections of timber members exposed to different climates***, in Engineering Structures 33 (2011) 3071–3078
34. J.C. Morel, A. Mesbah, M. Oggero, P. Walker, ***Building houses with local materials: means to drastically reduce the environmental impact of construction***, in Building and Environment 36 (2001) 1119–1126
35. Hugo S.L.C. Hens, ***The vapor diffusion resistance and air permeance of masonry and roofing systems***, in Building and Environment 41 (2006) 745–755
36. Martin Häglund,, Tord Isaksson, Jan Holst, ***Time-series modeling of moisture exposure on timber structures***, in Building and Environment 42 (2007) 1515–1521
37. Y. Goto, K. Ghazi Wakili, Y. Ostermeyer, Th. Frank, N. Ando, H. Wallbaum, ***Preliminary investigation of a vapor-open envelope tailored for subtropical climate***, in Building and Environment 46 (2011) 719-728
38. Zoltan Pasztory, Perry N. Peralta, Sandor Molnar, Ilona Peszlen, ***Modeling the hygrothermal performance of selected North American and comparable European wood-frame house walls***, in Energy and Buildings 49 (2012) 142–147
39. B.K. Baiden, E. Badu, F.S. Menz, ***Exploring the barriers to the use and potential of timber for housing construction in Ghana***, in Construction and Building Materials 19 (2005) 347–352
40. M. Baran, M. Yildirim, A. Yilmaz, ***Evaluation of ecological design strategies in traditional houses in Diyarbakir, Turkey***, in Journal of Cleaner Production 19 (2011) 609-619
41. B. Remki, K. Abahri, M. Tahlaiti, R. Belarbi, ***Hygrothermal transfer in wood drying under the atmospheric pressure gradient***, in International Journal of Thermal Sciences 57 (2012) 135-141

42. Stig Geving, Jonas Holme, ***Vapour retarders in wood frame walls and their effect on the drying capability***, in *Frontiers of Architectural Research* (2013) 2, 42–49
43. Paulo B. Lourenço, Eduarda Luso, Manuela G. Almeida, ***Defects and moisture problems in buildings from historical city centres: a case study in Portugal***, in *Building and Environment* 41 (2006) 223–234
44. Oikonomou, F. Bougiatioti, ***Architectural structure and environmental performance of the traditional buildings in Florina, NW Greece***, in *Building and Environment* 46 (2011) 669–689
45. Jelle Langmans, Ralf Klein, Staf Roels, ***Hygrothermal risks of using exterior air barrier systems for highly insulated light weight walls: A laboratory investigation***, in *Building and Environment* 56 (2012) 192–202
46. Nicola Cardinale, Gianluca Rospi, Pietro Stefanizzi, ***Energy and microclimatic performance of Mediterranean vernacular buildings: The Sassi district of Matera and the Trulli district of Alberobello***, in *Building and Environment* 59 (2013) 590–598
47. Franck Lucas, Laetitia Adelard, François Garde, Harry Boyer, ***Study of moisture in buildings for hot humid climates***, in *Energy and Buildings* 34 (2002) 345–355
48. Masaru Abuku, Hans Janssen, Staf Roels, ***Impact of wind-driven rain on historic brick wall buildings in a moderately cold and humid climate: Numerical analyses of mould growth risk, indoor climate and energy consumption***, in *Energy and Buildings* 41 (2009) 101–110
49. Budaiwi, A. Abdou, ***The impact of thermal conductivity change of moist fibrous insulation on energy performance of buildings under hot–humid conditions***, in *Energy and Buildings* 60 (2013) 388–399
50. Menghao Qin, Rafik Belarbi, Abdelkarim Ait-Mokhtar, Lars-Olof Nilsson, ***Coupled heat and moisture transfer in multi-layer building materials***, in *Construction and Building Materials* 23 (2009) 967–975
51. Saed Raji, Yves Jannot, Philippe Lagièrre, Jean Rodolphe Puiggali, ***Thermophysical characterization of a laminated solid-wood pine wall***, in *Construction and Building Materials* 23 (2009) 3189–3195
52. Abdou, I. Budaiwi, ***The variation of thermal conductivity of fibrous insulation materials under different levels of moisture content***, in *Construction and Building Materials* 43 (2013) 533–544
53. Christoph Mitterer, Hartwig M. Künzler, Sebastian Herkel, Andreas Holm, ***Optimizing energy efficiency and occupant comfort with climate specific design of the building***, in *Frontiers of Architectural Research* (2012)1, 229–235
54. V. Cheng, E. Ng, B. Givoni, ***Effect of envelope colour and thermal mass on indoor temperatures in hot humid climate***, in *Solar Energy* 78 (2005) 528–534

55. M. Haase, A. Amato, ***An investigation of the potential for natural ventilation and building orientation to achieve thermal comfort in warm and humid climates***, in *Solar Energy* 83 (2009) 389–399
56. Zainazlan Md Zain, Mohd Nasir Taib, Shahrizam Mohd Shah Baki, ***Hot and humid climate: prospect for thermal comfort in residential building***, in *Desalination* 209 (2007) 261–268
57. Gregor P. Henze, Jens Pfafferott, Sebastian Herkel, Clemens Felsmann, ***Impact of adaptive comfort criteria and heat waves on optimal building thermal mass control***, in *Energy and Buildings* 39 (2007) 221–235
58. Katherine Gregory, Behdad Moghtaderi, Heber Sugo, Adrian Page, ***Effect of thermal mass on the thermal performance of various Australian residential constructions systems***, in *Energy and Buildings* 40 (2008) 459–465
59. L. Zhu, R. Hurt, D. Correia, R. Boehm, ***Detailed energy saving performance analyses on thermal mass walls demonstrated in a zero energy house***, in *Energy and Buildings* 41 (2009) 303–310
60. Stefano Paolo Corgnati, Andrea Kindinis, ***Thermal mass activation by hollow core slab coupled with night ventilation to reduce summer cooling loads***, in *Building and Environment* 42 (2007) 3285–3297
61. David Mwale Ogoli, ***Predicting indoor temperatures in closed buildings with high thermal mass***, in *Energy and Buildings* 35 (2003) 851–862
62. José L. Fernández, Miguel A. Porta-Gándara, Norberto Chargoy, ***Rapid on-site evaluation of thermal comfort through heat capacity in buildings***, in *Energy and Buildings* 37 (2005) 1205–1211
63. Nada Al-Masri, Bassam Abu-Hijleh, ***Courtyard housing in midrise buildings: An environmental assessment in hot-arid climate***, in *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16 (2012) 1892–1898
64. Edna Shaviv, Abraham Yezioro, Isaac G. Capeluto, ***Thermal mass and night ventilation as passive cooling design strategy***, in *Renewable Energy* 24 (2001) 445–452
65. E.L. Krüger, M. Adriazola, ***Thermal analysis of wood-based test cells***, in *Construction and Building Materials* 24 (2010) 999–1007
66. Jonathan Karlsson, Lars Wadsö, Mats Öberg, ***A conceptual model that simulates the influence of thermal inertia in building structures***, in *Energy and Buildings* 60 (2013) 146–151
67. M. D’Orazio, C. Di Perna, E. Di Giuseppe, ***The effects of roof covering on the thermal performance of highly insulated roofs in Mediterranean climates***, in *Energy and Buildings* 42 (2010) 1619–1627

68. Z. Yilmaz, **Evaluation of energy efficient design strategies for different climatic zones: Comparison of thermal performance of buildings in temperate-humid and hot-dry climate**, in Energy and Buildings 39 (2007) 306–316
69. Sami A. Al-Sanea, M.F. Zedan, S.N. Al-Hussain, **Effect of masonry material and surface absorptivity on critical thermal mass in insulated building walls**, in Applied Energy 102 (2013) 1063–1070
70. Zamatteo Gerosa A., **Progettare la durabilità del legno**, in Tetto & Pareti in legno (marzo 2007) 12-29
71. Concu G., De Nicolo B., Trulli N., Valdés M., Fragiaco M., **Strength class prediction of Sardinia grown timber by means of non destructive parameters**, in Advanced Materials Research Vol. 778 (2013) pp 191-198

## LIBRI

72. Erlacher P., **Riqualficazione energetica edifici esistenti**, Padovani editrice, 2009
73. Erlacher P., **La casa a basso consumo**, Padovani editrice, 2009
74. Benedetti C. et. al., **Costruire in legno – edifici a basso consumo energetico** (a cura di C. Benedetti), Bolzano University Press, Bolzano 2009
75. Benedetti C. et. al., **Appunti di fisica tecnica** (Collana diretta da C. Benedetti), Bolzano University Press, Bolzano 2010
76. Merlo A. P. et. al., **La casa e il tetto in legno**, Dario Flaccovio Editore, Palermo 2011
77. Galbusera G. et. al., **Prestazioni estive degli edifici**, vol. 5 di **L'isolamento termico e acustico**, TEP, Milano 2011
78. Regione Toscana, Facoltà di Ingegneria di Firenze – Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, CNR Istituto per la valorizzazione del legno e delle specie arboree, **Linee guida per l'edilizia in legno in Toscana**, Edizioni Regione Toscana, 2009
79. Forest Products Laboratory – United States Department of Agriculture Forest Service, **Wood Handbook – Wood as an Engineering Material**, Madison, WI: U.S. 2010
80. Carey J.Simonson, Mikael Salonvaara, Tuomo Ojanen, **Improving indoor climate and comfort with wooden structures**, VTT Publication, Helsinki 2001
81. Omodeo Salè S., **Verdeauro dell'architettura**, Maggioli Editore, 2006
82. Sasso U., **Isolanti si isolanti no**, Alinea Editrice, 2003
83. Bläsi W., **Fisica applicata all'edificio**, Sistemi Editoriali, 2008
84. Bellia L., Mazzei P., Minichiello F., Palma D., **Aria Umida – Climatizzazione e involucro edilizio**, Liguori Editore, 2006
85. Cigni G., Codacci-Pisanelli B., **Umidità e degrado negli edifici - Diagnosi e rimedi**, Edizioni Kappa, 1987

86. Rava P., *Tecniche costruttive per l'efficienza energetica e la sostenibilità*, Maggioli Editore, 2008
87. Pinto Guerra E., *Risanamento di murature umide e degradate*, Dario Flaccovio Editore, 2008

#### ATTI DEL CONVEGNO

88. Concu G., De Nicolo B., Valdés M., Fragiacomò M., Menis A., Trulli N., ***“Experimental grading of locally grown timber to be used as structural material”*** 2nd International Conference on Civil Engineering and Building Materials (CEBM2012), 17-18 November 2012, Hong Kong (China) Taylor and Francis Group, London (2013)
89. Pagliano L., Zangheri P., ***“Comfort models and building design in the Mediterranean Zone”***, in: 6th Windsor Conference ***Adapting to change: new thinking on comfort*** 09/04/2010 - 11/04/2010, Windsor, United Kingdom
90. Bellu L., ***“Materiali e Tecnologie Innovative - Nuovi edifici in legno”***, in ***Efficienza energetica nell'edilizia fra innovazione e tradizione***, Atti del Convegno, Cagliari 20 Aprile 2010
91. Grosso M., ***“La tecnologia passivhaus nel clima Mediterraneo. Problemi e soluzioni”***, presentazione per il workshop ***Prestazioni estive dell'involucro edilizio: soluzioni innovative per la progettazione***, Bolzano 26 gennaio 2007

#### DOCUMENTI VARI

92. GfK Group, ***Il benessere abitativo in Italia***, 2011
93. Promo legno, ***Il mercato Italiano delle case in legno nel 2010***, 2010
94. Brian Ford, Rosa Schiano-Phan a Duan Zhongcheng, ***Lo standard Passivhaus nei climi caldi europei***, 2007 School of the Built Environment – Università di Nottingham
95. Passive-on Project, ***Towards passive homes. Mechanisms to support the development of the passive house market***, 2007
96. Passive-on Project, ***The Passivhaus Standard in European warm climates – part. 2 – Italy***
97. L.Pagliano, S.Carlucci, T.Toppi, P.Zangheri, ***Passivhaus per il sud Europa – Linee guida per la progettazione***
98. EEB Facts and Trends Summary Report, ***Energy efficiency in buildings – Business Realities and Opportunities***, 2007