

POLITECNICO DI TORINO

FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile



Tesi di Laurea Magistrale

Analisi sperimentale di sistemi bladeless di termoventilazione per il controllo locale del microclima

Relatore

Prof. Ing. Marco Perino

Candidata

Giulia Smeralda Papale

Anno Accademico 2017/2018

Ai miei genitori

Sommario

In un contesto in cui vi è sempre più attenzione alla minimizzazione degli sprechi in ambito energetico, si stanno sviluppando delle tecnologie che consentano di rispettare tale requisito e – al contempo – di garantire il comfort termoigrometrico degli occupanti all'interno dell'ambiente costruito.

I tradizionali sistemi di climatizzazione generalizzata sono oggi affiancati da tecnologie basate sulla concezione di comfort personale. Una di queste è rappresentata dai *Personal Comfort Systems*, dispositivi il cui utilizzo permette un controllo diretto da parte dell'utente sul microclima che lo circonda, garantendo altresì una riduzione del fabbisogno energetico rispetto ai tradizionali HVAC.

Nel presente elaborato è riportata l'analisi sperimentale, condotta attraverso questionari e analisi termografiche, di due dispositivi termoventilanti bladeless per il controllo locale del comfort termoigrometrico, al fine di valutare quali siano le percezioni degli utenti relativamente a tali prodotti.

Abstract

In a context in which there is ever more attention to the minimization of waste in the energy sector, technologies are being developed to comply with this requirement and - at the same time - to guarantee the thermohygrometric comfort of the occupants within the built environment.

The traditional systems of generalized air conditioning are now supported by technologies based on the concept of personal comfort. One of these is represented by the Personal Comfort Systems, devices whose use allows direct control by the user on the surrounding microclimate, also guaranteeing a reduction in energy requirements compared to traditional HVAC.

In this paper the experimental analysis, conducted through questionnaires and thermographic analysis, of two bladeless thermo-ventilating devices for local control of thermo-hygrometric comfort, is reported, in order to assess the users' perceptions of these products.

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER
IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

Indice

1. Introduzione	1
1.1 Contesto energetico	1
1.2 Ruolo del Personal Comfort Systems	2
1.3 Bolla termica	4
2. Comfort ambientale	6
2.1 Comfort termoigrometrico	6
2.2 Termocettori e termoregolazione	7
2.3 Modelli termofisiologici esistenti	9
2.4 Teoria del comfort adattivo	11
2.5 Teoria di Fanger	12
2.5.1 Indici di comfort	21
2.5.2 Discomfort locale	23
3. Termoventilatori bladeless	28
3.1 Effetto Coandă	28
3.2 Evoluzione dei dispositivi bladeless	29
3.3 Casi studio	31
3.3.1 Prodotto A	31
3.3.2 Prodotto B	32
4. Indagine sperimentale sul comfort soggettivo	34
4.1 Descrizione generale dell'esperimento	34
4.2 Apparato sperimentale	41
4.2.1 Testo 450	42
4.2.2 Thermal Comfort Meter Brüel & Kjær 1212	42
4.2.3 Termocamera Testo 875i	45
4.3 Camera di prova	46
4.4 Scelte operative	47
5. Analisi dati	49
5.1 Analisi statistiche effettuate	49
5.2 Risultati dei questionari sul prodotto A	51
5.2.1 Sensazione termica percepita	51

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER
IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

5.2.2 Comfort termico percepito.....	53
5.2.3 Velocità dell'aria percepita	54
5.2.4 Modifiche desiderate	55
5.2.5 Discomfort locale percepito	58
5.3 Risultati dei questionari sul prodotto B	65
5.3.1 Sensazione termica percepita.....	65
5.3.2 Comfort termico percepito.....	67
5.3.3 Velocità dell'aria percepita	68
5.3.4 Modifiche desiderate	69
5.3.5 Discomfort locale percepito	72
5.4 Confronto tra i due prodotti termoventilanti	79
5.5 Focus sulle principali differenze riscontrate tra i due prodotti	84
5.6 Analisi termografiche.....	85
5.6.1 Discomfort locale: temperature superficiali globali e locali.....	85
5.6.2 Comfort locale: temperature superficiali globali e locali.....	89
5.6.3 Relazione tra temperatura media del viso e temperatura media globale	92
5.6.4 Relazione tra PMV e temperature medie locali e globali	94
5.6.5 Relazione tra sensazione termica espressa e temperature medie locali e globali.....	97
5.6.6 Relazione tra modifiche termiche desiderate e temperature medie locali e globali.....	100
5.6.7 Analisi termografica dei soggetti che hanno ripetuto il test	103
5.6.8 Relazione tra PMV e sensazione termica espressa	107
6. Sensori distanziometrici.....	109
6.1 Sensore ultrasuoni HC-SR04.....	109
6.4 Descrizione delle prove	110
6.5 Risultati sensore HC-SR04.....	111
7. Conclusioni.....	113
Bibliografia	115
Allegato A	117
Allegato B	129
Allegato C.....	139

Indice delle figure

- Figura 1:** Ipotalamo e termoregolazione (Benzinger, Pratt et al. 1961)
- Figura 2** – Relazione PMV – PPD (UNI EN ISO 7730, 2006)
- Figura 3** – Relazione tra differenza di temperatura tra testa e piedi [°C] e PPD [%] (UNI EN ISO 7730, 2006)
- Figura 4** – Relazione tra asimmetria media radiante [°C] e PPD [%] (UNI EN ISO 7730, 2006)
- Figura 5** – Relazione tra temperatura dell'aria [°C] e velocità media dell'aria [m/s] per PPD pari al 15% (UNI EN ISO 7730, 2006)
- Figura 6** – Relazione tra temperatura del pavimento [°C] e PPD [%] (UNI EN ISO 7730, 2006)
- Figura 7** – Illustrazione del brevetto Coandă, 1938
- Figura 8** – Caratteristiche geometriche del prodotto A
- Figura 9** – Caratteristiche geometriche del prodotto B
- Figura 10** – Thermal Comfort Meter Brüel & Kjær 1212
- Figura 11** – Superfici di punti alla stessa velocità, prodotto A (C. Pastacaldi, 2017)
- Figura 12** – Superfici di punti alla stessa velocità, prodotto B (C. Pastacaldi, 2017)
- Figura 13** - Sensazione termica $t_0 - t_{15}$ (prodotto A)
- Figura 14** - Sensazione termica $t_{15} - t_{60}$ (prodotto A)
- Figura 15** - Comfort termico $t_0 - t_{15}$ (prodotto A)
- Figura 16** - Comfort termico $t_{15} - t_{60}$ (prodotto A)
- Figura 17** - Percezione della velocità dell'aria $t_{15} - t_{60}$ (prodotto A)
- Figura 18** - Modifiche termiche desiderate $t_0 - t_{15}$ (prodotto A)
- Figura 19** - Modifiche termiche desiderate $t_{15} - t_{60}$ (prodotto A)
- Figura 20** - Modifiche alla velocità dell'aria desiderate $t_{15} - t_{60}$ (prodotto A)
- Figura 21** – Parti del corpo particolarmente calde (prodotto A)
- Figura 22** – Parti del corpo particolarmente fredde (prodotto A)
- Figura 23** – Parti del corpo in cui l'aria è particolarmente fastidiosa (prodotto A)
- Figura 24** – Parti del corpo in cui l'aria è particolarmente piacevole (prodotto A)
- Figura 25** - Sensazione termica $t_0 - t_{15}$ (prodotto B)

- Figura 26** - Sensazione termica $t_{15} - t_{60}$ (prodotto B)
- Figura 27** - Comfort termico $t_0 - t_{15}$ (prodotto B)
- Figura 28** - Comfort termico $t_{15} - t_{60}$ (prodotto B)
- Figura 29** - Percezione della velocità dell'aria $t_{15} - t_{60}$ (prodotto B)
- Figura 30** - Modifiche termiche desiderate $t_0 - t_{15}$ (prodotto B)
- Figura 31** - Modifiche termiche desiderate $t_{15} - t_{60}$ (prodotto B)
- Figura 32** - Modifiche alla velocità dell'aria desiderate $t_{15} - t_{60}$ (prodotto B)
- Figura 33** - Parti del corpo particolarmente calde (prodotto B)
- Figura 34** - Parti del corpo particolarmente fredde (prodotto B)
- Figura 35** - Parti del corpo in cui l'aria è particolarmente fastidiosa (prodotto B)
- Figura 36** - Parti del corpo in cui l'aria è particolarmente piacevole (prodotto B)
- Figura 37** - Confronto sensazione termica t_{15}
- Figura 38** - Confronto sensazione termica t_{60}
- Figura 39** - Confronto comfort termico t_{15}
- Figura 40** - Confronto comfort termico t_{60}
- Figura 41** - Confronto percezione della velocità dell'aria t_{15}
- Figura 42** - Confronto percezione della velocità dell'aria t_{60}
- Figura 43** - Confronto modifiche desiderate sulla velocità dell'aria t_{15}
- Figura 44** - Confronto percezione della velocità dell'aria t_{60}
- Figura 45** - Temperatura media del viso in funzione della temperatura media globale (soggetti insoddisfatti)
- Figura 46** - Temperatura media del collo in funzione della temperatura media globale (soggetti insoddisfatti)
- Figura 47** - Temperatura media delle braccia in funzione della temperatura media globale (soggetti insoddisfatti)
- Figura 48** - Temperatura media delle gambe in funzione della temperatura media globale (soggetti insoddisfatti)
- Figura 49** - Temperatura media dei piedi in funzione della temperatura media globale (soggetti insoddisfatti)
- Figura 50** - Temperatura media locale in funzione della temperatura media globale (soggetti soddisfatti)
- Figura 51** - Temperatura media del viso in funzione della temperatura media globale agli istanti t_0, t_{15}, t_{60}

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER
IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

Figura 52 – PMV in funzione della temperatura media del viso agli istanti t_0 , t_{15} , t_{60}

Figura 53 – PMV in funzione della temperatura media globale agli istanti t_0 , t_{15} , t_{60}

Figura 54 – Sensazione termica in funzione della temperatura media del viso
agli istanti t_0 , t_{15} , t_{60}

Figura 55 – Sensazione termica in funzione della temperatura media globale
agli istanti t_0 , t_{15} , t_{60}

Figura 56 – Modifiche termiche desiderate in funzione della temperatura media
del viso

Figura 57 – Modifiche termiche desiderate in funzione della temperatura media
globale
agli istanti t_0 , t_{15} , t_{60}

Figura 58 – Confronto sensazione termica dei soggetti che hanno ripetuto il test t_{15}

Figura 59 – Confronto comfort termico dei soggetti che hanno ripetuto il test t_{15}

Figura 60 – Confronto percezione velocità dell'aria dei soggetti che hanno
ripetuto il test t_{15}

Figura 61 – Temperature locali t_{15} dei soggetti che hanno ripetuto il test (prodotto
A)

Figura 62 – Temperature locali t_{15} dei soggetti che hanno ripetuto il test (prodotto
B)

Figura 63 – Relazione tra sensazione termica espressa e PMV teorico

Figura 64 – Sistema di riferimento e area di prova con quote

Figura 65 – Raggio di azione (sensore HC-SR04)

Indice delle tabelle

Tabella 1: Scala PMV

Tabella 2.a – Esempio sezione A del questionario

Tabella 2.b – Esempio sezione B del questionario

Tabella 2.c – Esempio *clothes characterization* della sezione B del questionario

Tabella 2.d – Esempio sezione C del questionario

Tabella 2.e – Esempio sezione D del questionario

Tabella 3 – Specifiche tecniche *Testo 450*

Tabella 4 – Resistenza termica dei singoli capi d'abbigliamento (estratto ASHRAE Handbook-Fundamentals)

Tabella 5 – Specifiche tecniche *Testo 875i*

Tabella 6 – Risultati sensore distanziometrico HC-SR04

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER
IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

Capitolo 1

1. Introduzione

1.1 Contesto energetico

Sin dall'inizio della rivoluzione industriale, il consumo di energia nel mondo è cresciuto a ritmo sostenuto. Secondo le stime effettuate dall'agenzia americana IEA nel 2006, i combustibili fossili forniscono ben l'86,5% dell'energia consumata nel mondo [1]. A seguito di un'analisi sui consumi energetici per settore, è emerso inoltre che l'edilizia incide per più di un terzo sul consumo di energia globale [2], per circa il 40% sull'utilizzo di energia in Europa ed è responsabile del 36% delle emissioni di CO₂ del continente.

Ciò ha portato al conseguente e progressivo aumento di inquinamento atmosferico e surriscaldamento globale (due fenomeni strettamente connessi tra loro), che ha spinto i governi di tutto il mondo a prendere delle decisioni proiettate a creare un mercato meno dipendente dai combustibili fossili e più green¹.

Ragioni ambientali ed economiche, quindi, ci muovono oggi a progettare, costruire e gestire edifici efficienti da un punto di vista energetico, che permettano

¹ La Commissione Europea ha creato la *Roadmap for moving to a competitive low-carbon economy in 2050* (cioè una tabella di marcia per muoversi verso un'economia competitiva a bassa emissione di combustibili fossili nel 2050), che prevede una riduzione delle emissioni dell'80% (rispetto ai livelli del 1990) di gas serra entro il 2050, interamente attraverso misure adottate in Europa.

una significativa diminuzione dei consumi mediante, ad esempio, l'utilizzo di strategie passive.

Una casa passiva (o *passivhaus*² secondo il termine originale in lingua tedesca) è un edificio che ha un così ridotto fabbisogno termico per la climatizzazione ambientale da poter essere coperto per la maggior parte da carichi interni e dai contributi di sistemi di guadagno passivo, tanto da non necessitare di impianti di riscaldamento come tradizionalmente intesi, ma di impianti di potenza molto ridotta o di ridotti complessità e costi.

In altre parole, il bilancio energetico di tali edifici è tendente al pareggio e l'energia necessaria per pareggiare tale bilancio è tipicamente fornita con sistemi non "convenzionali". Tali prestazioni si ottengono grazie a una progettazione molto attenta, specie nei riguardi dei ponti termici e mediante l'adozione di dispositivi passivi.

Un sistema di guadagno passivo è un dispositivo per il riscaldamento ambientale che non richiede forniture energetiche esterne. Le serre solari, i muri di Trombe, i sistemi Barra-Costantini sono esempi di dispositivi passivi per il riscaldamento.

Un dispositivo passivo per il raffrescamento ambientale, invece, può essere supportato da apparecchi ausiliari – come ad esempio ventilatori – purché questi non facciano ricorso a cicli frigoriferi.

Ancora nell'ambito di *low-energy houses*, l'articolo 9 della Direttiva 2010/31/UE (o EPBD, *Energy Performing Building Directive*) definisce gli nZEB come edifici ad altissima prestazione energetica. Il fabbisogno energetico molto basso o quasi nullo dovrebbe essere coperto in misura molto significativa da energia da fonti rinnovabili, compresa quella prodotta in loco o nelle vicinanze [3]. La EPBD specifica, inoltre, che a partire dal 31 dicembre 2018 gli edifici di nuova costruzione occupati da enti pubblici e di proprietà di questi ultimi dovranno essere edifici a energia quasi zero e che entro il 31 dicembre 2020 tutti gli edifici di nuova costruzione dovranno essere a energia quasi zero.

1.2 Ruolo del Personal Comfort Systems

² Da non confondere con il protocollo Passivhaus, il quale prevede degli standard costruttivi finalizzati a un basso consumo energetico.

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

È proprio in questo scenario che entrano in gioco i Personal Comfort Systems. In ambienti in cui i carichi termici vengono bilanciati quasi interamente dai dispositivi passivi, i sistemi di climatizzazione locale hanno il compito di soddisfare le esigenze di comfort e qualità dell'aria del singolo utente.

La climatizzazione generalizzata di grandi locali – tipica dei sistemi tradizionali – è progettata per creare un ambiente termicamente uniforme. Tuttavia, le risposte fisiologiche dei soggetti sono tutt'altro che uniformi, poiché dipendono da una serie di parametri individuali (come l'attività che si sta svolgendo o i vestiti che si indossano) e fisiologici (come la temperatura della pelle o la potenza persa per sudorazione) che variano da persona a persona. In questo contesto, il ruolo dei sistemi locali è quello di soddisfare il bisogno di comfort termico e di qualità dell'aria di ciascun individuo, prevedendo un sistema di gestione di temperatura e velocità dell'aria personalizzabile da ogni occupante. La creazione di tali microclimi consente di bypassare interamente il problema di *percentuale di utenti insoddisfatti*, a cui inevitabilmente si va incontro se si adottano sistemi tradizionali, che obbligano tutti gli occupanti di uno stesso ambiente a sottostare alle medesime condizioni, nonostante la naturale soggettività delle sensazioni termiche.

È stato dimostrato che solo poche parti del corpo sono responsabili del discomfort degli occupanti [4]. Ciò implica che proprio un ambiente termicamente disomogeneo assicurerebbe un miglior comfort, in quanto i PCS potrebbero attuare delle misure compensative per alleviare fenomeni di discomfort localizzato, si pensi, ad esempio, alle correnti d'aria [5].

Un sistema di ventilazione personalizzata installato in una postazione lavorativa, inoltre, fornirebbe aria pulita vicino alla zona di respirazione di ciascun occupante, garantendo una migliore qualità dell'aria inalata. I vantaggi sarebbero sorprendenti: numerose ricerche, infatti, hanno evidenziato come la qualità dell'aria in un ambiente lavorativo influenzi la produttività degli occupanti.

Oltre a un'inevitabile diminuzione della *percentuale di insoddisfatti*, tali dispositivi consentirebbero, inoltre, un notevole risparmio energetico [6].

Watanabe S. et al. hanno condotto alcuni studi sperimentali, analizzando la prestazione di un PCS composto da diversi dispositivi: una sedia riscaldante mediante convezione (HC), un pannello radiante riscaldante posto sotto la scrivania (UD RHP) e uno posto sul pavimento (FL RHP), un dispositivo che forniva aria fredda posto sotto la scrivania (UD ATD) e un sistema di ventilazione personalizzato sopra la scrivania (RMP) [7]. I test sono stati condotti con temperature all'interno della camera di prova pari a 20 °C, 22 °C e 26 °C e hanno coinvolto 48 soggetti. Uno degli aspetti analizzati è stato l'effetto riscaldante che i singoli dispositivi producevano sui soggetti e il confronto con il medesimo effetto prodotto però da un riscaldamento *generalizzato* tradizionale. L'effetto riscaldante della sedia (HC), ad esempio, corrispondeva allo stesso effetto riscaldante prodotto da un incremento della temperatura dell'aria all'interno della camera di prova pari a 5,2 °C a 20 °C e 3,6 °C a 22°C. In pratica, l'utilizzo della sedia consentiva di ottenere il medesimo effetto di comfort ma riscaldando meno. Lo stesso risultato è stato ottenuto anche dagli altri dispositivi e dalla combinazione degli stessi.

Anche il modello sviluppato da Verhaart et al. nel 2015 ha evidenziato un sostanziale risparmio energetico, fino al 34% rispetto ai consumi tradizionali in regime invernale.

Alla luce di quanto detto, appare evidente che, applicando dei sensori di presenza, si potrebbe pensare di far decrescere la potenza dei dispositivi individuali quando i soggetti si allontanano dalla postazione di lavoro e ciò inciderebbe sensibilmente sui consumi energetici.

1.3 Bolla termica

Questa idea è particolarmente indicata per gli open space, in cui più persone hanno esigenze diverse. Una soluzione di questo tipo è stata studiata da Carlo Ratti Associati per la Fondazione Agnelli di Torino, in cui si è pensato alla creazione di uno spazio che permettesse di ottenere una *bolla termica* personalizzata su misura degli occupanti. L'obiettivo è proprio quello di sincronizzare l'utilizzo delle risorse energetiche per la climatizzazione con l'occupazione degli ambienti, evitando così sprechi energetici connessi al riscaldamento o raffrescamento di ambienti vuoti, il che consentirebbe un risparmio di risorse fino al 40% [8]. La connettività tra i sensori di climatizzazione

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

locale è fondamentale in tal senso, infatti l'idea è di sfruttare le odierne tecnologie del cosiddetto Internet of Things³ per trasportare in ampi spazi quello che già di fatto accade all'interno dell'abitacolo delle più recenti autovetture, dove – piuttosto che ricorrere a una climatizzazione uguale per tutti – ogni passeggero può regolare la temperatura e il flusso d'aria desiderati. L'effetto *bolla termica* è reso possibile grazie a una serie di sensori disseminati ovunque, in grado di misurare vari parametri tra cui, oltre alla temperatura, anche la presenza di individui e i livelli di anidride carbonica. Tutto ciò consentirebbe a ogni soggetto di stabilire la temperatura desiderata attorno a sé, aspettandosi che si modifichi nei vari ambienti seguendo il movimento e che, una volta abbandonata una stanza, il sistema ritorni in stand-by, minimizzando ogni possibile spreco.

³ IoT è un neologismo riferito a una possibile evoluzione dell'uso di Internet, in cui gli oggetti si rendono riconoscibili e acquisiscono intelligenza grazie al fatto di poter comunicare dati su se stessi e accedere a informazioni aggregate da parte di altri.

Capitolo 2

2. Comfort ambientale

2.1 Comfort termoigrometrico

Quando si parla di *comfort termoigrometrico* la definizione che viene fornita non è mai univoca. Intuitivamente è semplice capire che un soggetto si trova in una condizione di comfort se non percepisce né caldo né freddo, in altre parole il comfort è quello stato psicofisico di soddisfazione che un individuo prova per le condizioni termoigrometriche in cui si trova.

Se volessimo fornire una definizione più rigorosa, invece, diremmo che il comfort è uno stato di neutralità termica; ciò significa che l'accumulo di energia del corpo è nullo, la sua temperatura è costante (omeotermia) e l'organismo lascia inattivi (o quasi) i meccanismi di termoregolazione comportamentale (brividi e sudorazione) e vasomotoria (vasocostrizione e vasodilatazione periferica).

La prima è una definizione soggettiva, cioè basata sulle percezioni e – proprio per questo – affetta da una grande variabilità, dettata dal fatto che tali percezioni sono strettamente personali e variano, pertanto, da individuo a individuo. Il comfort è, sotto questo punto di vista, dettato da una distribuzione di valori e quindi frutto di un'analisi statistica⁴.

La seconda definizione, invece, è oggettiva, cioè basata su leggi fisiche e quindi su un processo deterministico.

⁴ In questo senso è stata introdotta una certa *tolleranza statistica*, secondo cui un ambiente confinato si definisce confortevole se non più del 15% dei suoi occupanti dichiara di trovarsi a disagio.

Nella valutazione del *thermal comfort* è necessario far coesistere questi due aspetti: il benessere termoigrometrico in un edificio si raggiunge a seconda delle relazioni che si instaurano tra le variabili soggettive e le variabili ambientali.

2.2 Termocettori e termoregolazione

Nel corpo umano si possono individuare due zone termiche principali: una esterna (formata da pelle e tessuti sottocutanei) e una interna o nucleo (formata dagli organi vitali). Tali zone sono caratterizzate da temperature diverse: la prima T_{sk} ($sk = skin$, pelle) si aggira intorno ai $34\text{ }^{\circ}\text{C}$ ⁵, la seconda T_{core} ($core = nucleo$) è di circa $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ ⁶.

Per mantenere i valori di temperatura sotto controllo il corpo umano presenta un sistema di termoregolazione. Quando percepiamo sensazioni di caldo o freddo, in realtà non percepiamo la temperatura dell'aria o della superficie direttamente, ma sono le nostre terminazioni nervose – i termocettori – che inviano segnali di temperatura all'ipotalamo. I termocettori sono recettori sensoriali che ci permettono di percepire la *termocezione*, cioè il senso grazie al quale un organismo ha contezza della temperatura e dei suoi cambiamenti.

Il corpo umano può percepire diverse gradazioni di temperatura, grazie ai recettori del caldo, del freddo e del dolore. I recettori sono distribuiti in modo uniforme su tutto il corpo, ma sono più numerosi in alcune zone, come labbra, polpastrelli e piante dei piedi, che risultano perciò più sensibili delle altre.

I recettori periferici specializzati trasformano gli stimoli meccanici applicati alla cute in impulsi nervosi e li trasmettono – attraverso le fibre nervose sensitive – ai centri nervosi superiori, dove vengono decodificati. Quando gli stimoli termici raggiungono il sistema nervoso centrale, l'ipotalamo li confronta con valori di riferimento per dare luogo, eventualmente, ai relativi segnali di errore.

⁵ Tale temperatura è caratterizzata da una forte variabilità e tolleranza ed è fortemente dipendente dalla temperatura esterna, basti pensare che le dita delle mani in condizioni estreme possono arrivare a una temperatura superficiale di $5\text{ }^{\circ}\text{C}$, che rappresenta la soglia del dolore.

⁶ La temperatura di nucleo deve essere mantenuta molto stabile per il buon funzionamento degli organi interni.

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

L'ipotalamo è costituito da cellule di sostanza grigia raggruppate in numerosi nuclei, in parte responsabili della termoregolazione. Benzinger descrive queste aree come i *due centri della termoregolazione* [9]: i nuclei anteriore e preottico sono detti "centri del raffreddamento", viceversa il nucleo posteriore è detto "centro del riscaldamento". Le cellule di cui sono composti sono sensibili alla variazione di temperatura corporea.

Se la temperatura è elevata o troppo bassa, infatti, l'ipotalamo sollecita delle reazioni correttive, che possono riguardare il sistema vasomotorio (per una correzione di bassa entità) o il sistema comportamentale (per una correzione più efficace).

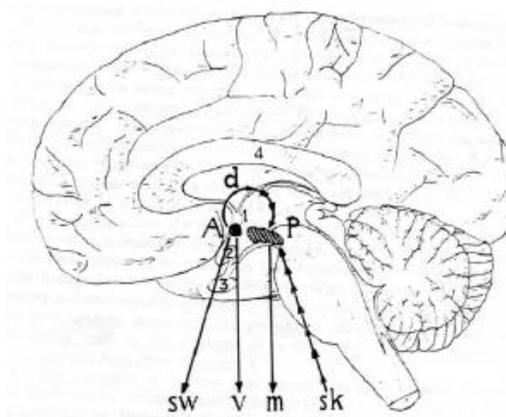


Figura 1 – Ipotalamo e termoregolazione (Benzinger, Pratt et al. 1961)

Il sistema vasomotorio agisce per vasodilatazione o vasocostrizione. Nel primo caso, la dilatazione dei vasi sanguigni favorisce la dispersione del calore e, di conseguenza, l'abbassamento della temperatura (questo è il motivo per cui quando abbiamo caldo i vasi sanguigni si dilatano e diventiamo rossi). Nel secondo caso, viceversa, il nostro organismo tende a minimizzare le dispersioni di calore e il sangue non raggiunge più le zone più periferiche del nostro corpo.

Se tali accorgimenti non sono sufficienti, l'ipotalamo attua una termoregolazione di tipo comportamentale.

La sudorazione, ad esempio, consente al nostro organismo di sfruttare il calore latente dell'acqua e, pertanto, risulta essere molto efficace per raffreddare il corpo umano in caso di ambienti eccessivamente caldi. La sudorazione mette in gioco il

calore latente di evaporazione⁷ $r_{35^{\circ}\text{C}} = 2410 \text{ kJ/kg}$, ciò significa che per ogni kg di sudore evaporato si dissipano circa 2410 kJ di energia termica.

Quando la temperatura è molto bassa, al contrario, il nostro organismo tende a ripristinare l'equilibrio producendo lavoro muscolare, ad esempio tramite i brividi, ciò aumenta il metabolismo e quindi la produzione energetica.

2.3 Modelli termofisiologici esistenti

La capacità di prevedere la risposta del corpo umano a stimoli termici di varia natura è stata la motivazione che ha spinto numerosi studiosi – appartenenti a diverse discipline scientifiche – a sviluppare modelli termofisiologici più o meno complessi.

I modelli termofisiologici sono dei modelli matematici capaci di descrivere la risposta fisiologica del corpo umano e lo scambio di calore di quest'ultimo con l'esterno, se sottoposto a determinate condizioni ambientali. Lo sviluppo di tali modelli è oggi uno strumento estremamente importante, poiché parte integrante dei metodi di analisi e previsione del comfort termoigrometrico degli occupanti di un edificio. I risultati ottenuti da questi modelli, infatti, possono essere utilizzati come dati di input per la valutazione del *thermal comfort*.

Ad oggi, il modello di valutazione del comfort termoigrometrico degli occupanti di ambienti condizionati meccanicamente è quello basato sulla teoria di Fanger.

Ole Fanger, esperto in comfort ambientale e docente presso la DTU in Danimarca, ha sviluppato, nel corso del secolo scorso, un modello basato sull'idea che il comfort termoigrometrico fosse il risultato di una combinazione di otto parametri variabili: individuali (attività svolta e resistenza termica del vestiario), ambientali (temperatura dell'aria, temperatura media radiante, velocità relativa dell'aria, umidità relativa) e fisiologici (temperatura della pelle, potenza persa per sudorazione). Secondo la teoria di Fanger, dalla combinazione di queste otto variabili, è possibile determinare le condizioni di neutralità termica degli

⁷ In ambienti eccessivamente caldi, il corpo umano cambia il meccanismo di dissipamento dell'energia, passando da uno scambio di calore sensibile a latente, cioè governato non più da differenze di temperatura ma da passaggi di fase.

occupanti (qualsiasi sia l'attività svolta e il vestiario indossato dagli stessi) e valutare – di conseguenza – un indice di comfort (PMV, *Predicted Mean Vote*, cioè voto medio previsto). Il PMV, basato su una scala semantica di sette valori, esprime la sensazione termica media degli occupanti ed è universalmente accettato e usato. Tale modello considera il corpo umano nel suo complesso, nell'ipotesi che le condizioni ambientali siano uniformi e costanti. Tuttavia, gli ambienti all'interno dei quali svolgiamo le nostre attività quotidianamente sono tipicamente non uniformi e dinamici e questo rappresenta una delle principali ragioni per cui i modelli termofisiologici stanno diventando sempre più importanti⁸.

Alcuni modelli termofisiologici esistenti considerano il corpo umano come un unico elemento, altri lo dividono in regioni. Pertanto, i modelli possono essere classificati in: *one-node models*, *two-node models*, *multi-node models* e *multi-element models* [10].

I *one-node* sono modelli che valutano il corpo umano come un'unità singolare e non includono il sistema di termoregolazione. Sono definiti empirici in quanto basati su formulazioni derivanti da analisi sperimentali.

I modelli *two-node* dividono il corpo umano in due gusci concentrici (nucleo e pelle), in cui le temperature di ciascuna area si assumono costanti. Appartiene a questa categoria il noto modello di Gagge, sviluppato nel 1971 e migliorato nel 1986, in cui il corpo umano è considerato come costituito da due cilindri concentrici, quello esterno rappresentante la pelle e quello interno rappresentante il nucleo. Le temperature della pelle e del nucleo si assumono uniformi e sono simulate con un modello fisiologico che include lo scambio di calore tra le due regioni e con l'esterno.

I modelli *multi-node* sono la versione più complessa dei precedenti. Considerano diverse regioni del corpo e per ciascuna di esse viene scritta un'equazione di bilancio termico separatamente. Questi modelli tengono conto anche della risposta del sistema fisiologico di termoregolazione del corpo umano. Il primo modello *multi-node*, quello di Crosbie, divideva il corpo in tre livelli: il nucleo, il livello

⁸ Modelli come il *Berkeley Comfort Model*, *Tanabe* e *ThermoSEM* sono in grado di calcolare la temperatura della pelle in diverse regioni del corpo e la temperatura del nucleo, nell'ipotesi che il soggetto sia sottoposto a condizioni ambientali non uniformi.

muscolare e quello della pelle. Oggi i modelli più avanzati sono in grado di simulare le temperature locali della pelle di specifiche parti del corpo.

I modelli *multi-element*, infine, dividono il soggetto in diversi elementi, che rappresentano le varie parti del corpo. Le equazioni di bilancio vengono scritte per ogni parte del corpo e tengono in considerazione anche il flusso sanguigno, i brividi, la sudorazione, etc. Questi modelli spesso ottengono risultati migliori dei precedenti perché non assumono temperature uniformi.

2.4 Teoria del comfort adattivo

Secondo la norma tecnica EN 15251 (Indoor environmental parameters for assessment of energy performance of buildings, addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics), se il comfort termico è mantenuto mediante strategie passive – cioè senza l'utilizzo di apparecchi meccanici – le temperature di set point possono essere definite mediante il modello di comfort adattivo.

In tale modello l'occupante dell'edificio non è più semplicemente inteso come un soggetto passivo ma come un agente attivo che interagisce con l'ambiente in cui si trova. Alla base del modello di comfort adattivo vi è l'assunto che il soggetto svolga – consciamente o inconsciamente – un ruolo attivo nella creazione delle condizioni termiche che preferisce attuando un processo di adattamento⁹, al fine di raggiungere più facilmente la soddisfazione nei confronti del microclima in cui è sito.

Vengono distinti tre tipi di adattamento:

Comportamentale: include tutte le azioni condotte da un individuo al fine di modificare i parametri che regolano il bilancio termico del corpo. Può essere suddiviso in personale (ad esempio la rimozione di un indumento), tecnologico (ad esempio l'accensione di un sistema di condizionamento) e culturale (ad esempio riposare durante le ore più calde del giorno).

Fisiologico: dipende dalla capacità dell'uomo di acclimatarsi ad un ambiente attraverso una naturale riduzione dell'attività metabolica.

⁹ Si definisce *adattamento* quel processo di graduale diminuzione delle reazioni individuali agli stimoli ambientali.

Psicologico: è collegato all'alterazione percettiva delle informazioni sensoriali dovuta alle passate esperienze.

2.5 Teoria di Fanger

Il sistema di termoregolazione esegue le azioni necessarie per garantire l'uguaglianza tra i flussi di energia termica e meccanica prodotte dai processi biochimici interni al corpo (metabolismo) e la somma algebrica dei flussi di calore e lavoro che vengono costantemente scambiati tra il corpo umano e l'ambiente circostante, con intensità che dipende da numerosi fattori. Se questa uguaglianza è verificata non vi è variazione di energia interna e la temperatura media interna del corpo si mantiene costante.

Il corpo umano è, infatti, a tutti gli effetti una macchina termica, cioè un sistema termodinamico aperto che scambia massa, lavoro e calore con l'esterno. Il nostro organismo riceve potenza termica da una sorgente ad alta temperatura – il cibo – che rappresenta il combustibile e che, tramite reazioni chimiche di ossidazione, fornisce energia. Tale potenza prodotta metabolizzando il cibo – la potenza metabolica (M) – in parte viene trasformata in lavoro meccanico (W). Ciò che resta ($M-W$) è la potenza termica che il corpo umano deve dissipare in ambiente. Ciò avviene sotto forma di:

- calore sensibile, cioè l'energia termica scambiata grazie ad una variazione e/o differenza di temperatura (potenza termica secca):

$$\dot{Q}_{sensible} = \dot{m} \cdot c \cdot \Delta T = A \cdot h \cdot \Delta T \quad (1)$$

- calore latente, cioè l'energia termica scambiata grazie ad un cambiamento di fase (potenza termica evaporativa):

$$\dot{Q}_{latente} = \dot{m} \cdot r \quad (2)$$

dove r rappresenta il calore latente di evaporazione/condensazione.

Assumendo convenzionalmente le potenze uscenti dal sistema con segno positivo, si applica di seguito il primo principio della termodinamica, ovvero si scrive il bilancio termico del corpo umano:

$$\frac{\partial U}{\partial t} = S = M - W - C - R - C_k - R_{res} - E_{sk} \quad (3)$$

dove:

S **variazione di energia interna del corpo umano nell'unità di tempo [W]**

Se il termine $S = \frac{\partial U}{\partial t}$ è positivo, ciò significa che il corpo si scalda, viceversa se è negativo. In generale, condizione necessaria (ma non sufficiente) per il raggiungimento del comfort è che S sia pari a zero (omeotermia).

M **potenza metabolica [W]**

La potenza metabolica è un parametro individuale, che dipende dall'attività svolta dal soggetto. Nella teoria di Fanger, essa è frequentemente riferita all'unità di superficie corporea¹⁰ (superficie di pelle nuda A_b), pertanto può essere espressa in Met (unità di misura non coerente).

$$1 \text{ Met} = 58,15 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} = 50 \frac{\text{kcal}}{\text{h} \cdot \text{m}^2} \quad (4)$$

1 Met corrisponde al calore prodotto da una persona seduta e a riposo nell'unità di tempo e di superficie.

Le norme UNI EN ISO 7730/2006 e UNI EN 28996 forniscono i valori legati ai diversi tipi di attività svolte.

W **potenza meccanica scambiata con l'esterno [W]**

La potenza meccanica è definita come il lavoro compiuto nell'unità di tempo (ovvero come la sua derivata temporale). Nella teoria di Fanger, essa

¹⁰ Un uomo medio, alto 1,70 m e di massa 70 kg ha un'area superficiale corporea pari circa a 1,8 m². Per valutazioni più rigorose, si può ricorrere alla Formula di Du Bois: $A_b = 0,202 \cdot m^{0,425} \cdot h^{0,725}$ [m²].

è assunta solitamente pari a zero, poiché risulta essere trascurabile rispetto alle altre grandezze in gioco.

Il corpo umano – al pari di tutte le altre macchine termiche – ha un rendimento, che è pari a:

$$\eta = \frac{W}{M} = \frac{\dot{L}_i}{\dot{Q}_i} \quad (5)$$

Il rendimento meccanico del corpo umano, tuttavia, è molto basso (circa $0 \div 0,2$), pertanto per attività fisica moderata si assume $\eta = 0$ e, conseguentemente, la potenza meccanica W può essere trascurata.

C potenza termica persa per convezione [W]

C è il termine che tiene conto della perdita di potenza sensibile per scambio convettivo fra la superficie del corpo e l'aria ambiente. Tuttavia il corpo umano presenta alcune parti nude e altre vestite e, conseguentemente, temperature superficiali, coefficienti di scambio termico convettivo e superfici differenti, pertanto C sarebbe pari a:

$$C = \sum_i h_{c_i} \cdot A_i \cdot (T_i - T_a) \quad (6)$$

Nell'ipotesi di suddividere il corpo in i *patches*, e di conoscerne, per ciascuna, la temperatura superficiale T_i , il coefficiente di scambio termico convettivo h_{c_i} e la superficie A_i (T_a rappresenta la temperatura dell'aria ambiente).

Pertanto, al fine di semplificare i calcoli, si introduce il concetto di "resistenza termica del vestiario", che viene definita come *la resistenza termica di un solido ideale che, disposto uniformemente su tutto il corpo, per una temperatura della pelle uguale a T_{sk} e una temperatura superficiale esterna del solido uniforme pari a T_a , sarebbe in grado di disperdere una potenza termica pari a $C+R$* . Tale grandezza viene indicata come il simbolo R_{cl} (se misurata in $\frac{m^2 \cdot K}{W}$) o I_{cl} (se misurata con l'unità di misura incoerente clo, dove 1 clo

rappresenta la resistenza termica di un set di abbigliamento europeo di mezza stagione ed è pari a $0,155 \frac{m^2 \cdot K}{W}$).

La norma UNI EN ISO 7730/2005 fornisce i valori di I_{cl} di alcuni set di abbigliamento tipici. In alternativa, se si conoscono esattamente i capi indossati, è possibile ricavare I_{cl} come sommatoria delle resistenze termiche degli i -esimi singoli capi di abbigliamento indossati.

Utilizzando il concetto di resistenza termica del vestiario quindi, C può essere determinato in funzione della T_{cl} :

$$C = h_c \cdot A \cdot \Delta T = h_c \cdot A_{cl} \cdot (T_{cl} - T_a) \quad (7.a)$$

dove:

h_c coefficiente di scambio termico convettivo, varia al variare del tipo di convezione e della velocità relativa dell'aria v_{ar} , in funzione del movimento svolto dal soggetto. È pari a:

$$h_c = \text{Max}(h'_c; h''_c) \quad (7.1)$$

$$h'_c = 2,38 \cdot (T_{cl} - T_a)^{0,25} \quad \text{se convezione naturale} \quad (7.2)$$

$$h''_c = 12,1 \cdot \sqrt{v_{ar}} \quad \text{se convezione forzata} \quad (7.3)$$

$$\text{con } v_{ar} = v_a + 0,0052 \cdot \left(\frac{M-W}{A} - 58,2 \right) \quad (7.4)$$

v_{ar} rappresenta la velocità relativa al soggetto ed è pertanto funzione della velocità dell'aria v_a e del livello di attività fisica.

T_{cl} temperatura media superficiale dei vestiti;

A_{cl} superficie esterna del corpo vestito (con solido uniforme a resistenza termica pari a R_{cl}). Questo termine è funzione della superficie corporea del corpo nudo e del vestiario, pertanto si introduce il *coefficiente dell'area di abbigliamento* f_{cl} , che esprime il rapporto tra superficie vestita e corporea, compreso tra 1 e 1,4.

$$f_{cl} = 1,00 + 0,2 \cdot I_{cl} \quad \text{se} \quad I_{cl} < 0,5 \text{ clo} \quad (7.5)$$

$$f_{cl} = 1,05 + 0,1 \cdot I_{cl} \quad \text{se} \quad I_{cl} \geq 0,5 \text{ clo} \quad (7.6)$$

Alla luce di quanto detto, si ottiene:

$$C = f_{cl} \cdot A_b \cdot h_c \cdot (T_{cl} - T_a) \quad (7.b)$$

R **potenza termica persa per irraggiamento [W]**

R è il termine che tiene conto della perdita di potenza sensibile per scambio radiativo fra la superficie del corpo e le superfici che delimitano l'ambiente. Utilizzando i concetti di resistenza termica del vestiario e di temperatura media superficiale dei vestiti, R può essere determinato attraverso la relazione per il calcolo dello scambio termico radiativo fra corpi grigi:

$$R = \sum_i [A \cdot \sigma \cdot F_{\varepsilon,i} \cdot (T_{cl}^4 - T_i^4)] \quad (8.a)$$

Al fine di semplificare il problema complesso, dovuto al fatto che le i superfici hanno temperature ed emissività diverse, si introduce il concetto di "temperatura media radiante", che viene definita come *la temperatura uniforme delle pareti di un ambiente fittizio, nero ($\varepsilon = 1$), in cui il soggetto scambierebbe per irraggiamento la stessa potenza termica che scambia effettivamente nel locale reale* (l'approccio è il medesimo già visto nel caso della T_{cl}).

La temperatura media radiante è influenzata, oltre che dalle temperature superficiali dei vari componenti di involucro, anche dai fattori di vista. Pertanto, risulta:

$$T_{mr} = \sum_i F_{p,i} \cdot T_i \quad (8.1)$$

I fattori di vista $F_{p,i}$ possono essere determinati mediante l'ausilio di grafici che forniscono il valore del fattore di vista fra una persona (seduta o in piedi) e una superficie rettangolare, in funzione della configurazione

geometrica di quest'ultima e della sua distanza dal soggetto. Alla luce di quanto detto, è possibile determinare R attraverso la relazione:

$$R = A \cdot F_{\varepsilon} \cdot \sigma \cdot [(T_{cl} + 273)^4 - (T_{mr} + 273)^4] \quad (8.b)$$

$$\approx A_{eff} \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot [(T_{cl} + 273)^4 - (T_{mr} + 273)^4]$$

Abbiamo assunto $F_{\varepsilon} \approx \varepsilon \approx 0,97$, poiché l'ambiente è una cavità chiusa molto grande rispetto alla persona. Inoltre è stata introdotta la quantità area efficace A_{eff} , che corrisponde alla minima superficie tutta convessa che racchiude il corpo umano e può essere determinata attraverso la seguente relazione:

$$A_{eff} = A_b \cdot f_{cl} \cdot f_{eff} \quad (8.2)$$

dove f_{eff} rappresenta il fattore di area efficace ed è pari a:

$$f_{eff} = \frac{A_{eff}}{A_{cl}} \begin{cases} f_{eff} = 0,696 \text{ seduto} \\ f_{eff} = 0,725 \text{ in piedi} \end{cases} \quad (8.3)$$

Sostituendo questi valori nella precedente equazione, si ottiene:

$$R = 3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot A_b \cdot [(T_{cl} + 273)^4 - (T_{mr} + 273)^4] \quad (8.c)$$

C_k potenza termica persa per conduzione [W]

C_k è il termine che rappresenta la potenza termica scambiata per conduzione fra il corpo umano e gli oggetti a contatto con esso.

Solitamente l'entità di questo termine è trascurabile, per cui viene considerato nullo. In casi particolari (come auditorium o sale conferenza), tuttavia, è necessario tenerne conto, pertanto viene maggiorato il valore di I_{cl} .

R_{res} potenza termica persa attraverso la respirazione [W]

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER
IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

R_{res} è il termine che tiene conto della potenza termica dispersa complessivamente attraverso la respirazione ed è pari a:

$$R_{res} = C_{ve} + E_{ve} \quad (9)$$

cioè risulta essere pari alla somma della potenza termica persa con la respirazione sotto forma di calore sensibile e latente.

Pertanto il primo addendo sarà pari a:

$$C_{ve} = \dot{m} \cdot \Delta h = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T = \dot{m}_{a,ve} \cdot c_p \cdot (T_{out} - T_{in}) \quad (10)$$

dove:

$$T_{out} = 34 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{in} = T_{aria} = T_a$$

Sostituendo l'espressione per la portata d'aria di ventilazione ed il valore di c_p , si ottiene:

$$C_{ve} = 0,0014 \cdot M \cdot (34 - T_a) \quad (9.a)$$

Il secondo addendo E_{ve} invece sarà pari a:

$$E_{ve} = r \cdot \dot{m}_{vap} = r \cdot \dot{m}_{a,ve} \cdot (x_{out} - x_{in}) \quad (11)$$

dove:

r calore latente di evaporazione/condensazione alla temperatura della pelle ≈ 2410 kJ/kg;

x_{out} titolo dell'aria umida espirata;

x_{in} titolo dell'aria umida inspirata;

$\dot{m}_{a,ve}$ portata di aria ventilata (espressa in kg/s) $\approx 1.43 \cdot 10^{-6} \cdot M$ (con M espresso in Watt).

Da cui:

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER
IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

$$E_{ve} = 1,72 \cdot 10^{-5} \cdot M \cdot (5867 - \varphi \cdot p_{vS,T_a}) \quad (11.a)$$

E_{sk} potenza termica persa attraverso la pelle [W]

E_{sk} è il termine che tiene conto della potenza termica dispersa complessivamente attraverso la pelle ed è dato dalla somma di due contributi:

$$E_{sk} = E_d + E_{sw} \quad (12)$$

cioè risulta essere pari alla somma della potenza termica dispersa attraverso la traspirazione della pelle (diffusione del vapore) e attraverso la sudorazione.

Il primo addendo sarà pari a:

$$E_d = \dot{m} \cdot r = r \cdot \mu \cdot A_b \cdot (p_{v,sk} - p_v) \quad (13)$$

dove:

r calore latente di evaporazione/condensazione alla temperatura della pelle ($T_{sk} = 34 \text{ }^\circ\text{C}$) $\approx 2410 \text{ kJ/kg}$;

μ permeanza al vapore della pelle = $1.27 \cdot 10^{-9} \text{ kg/sm}\cdot\text{Pa}$;

$p_{v,sk}$ pressione parziale del vapore d'acqua (di saturazione) alla temperatura della pelle = $p_{vs}(T_{sk}) \approx (256 \cdot T_{sk} - 3373) \text{ Pa}$.

p_v pressione parziale del vapore d'acqua nell'aria = $\varphi \cdot p_{vs}(T_{aria})$.

Da cui:

$$E_d = 3.05 \cdot 10^{-3} \cdot A_b \cdot (256 \cdot T_{sk} - 3373 - \varphi \cdot p_{vS,T_a}) \quad (13.a)$$

E_{sw} è il termine che tiene conto della perdita di potenza latente per sudorazione attraverso la pelle.

Al fine di determinare quantitativamente tutti i contributi appena visti, è necessario definire ancora tre variabili: la temperatura del vestiario T_{cl} , la

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER
IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

temperatura superficiale della pelle T_{sk} e la potenza termica persa per sudorazione E_{sw} .

T_{cl} temperatura del vestiario non è nota a priori, per determinarla è necessario scrivere l'equazione di bilancio energetico dello strato di vestiario.

Nell'ipotesi che quest'ultimo sia uniforme ed omogeneo, in assenza di accumulo ($S=0$) e posto $C_k = 0$ (per i motivi descritti in precedenza), deve risultare:

$$\dot{Q}_{sk-cl} = \dot{Q}_{cl} = \dot{Q}_{cl-amb} = R + C \quad (14)$$

Conoscendo \dot{Q}_{cl} , è possibile ricavare la somma $R + C$:

$$\dot{Q}_{cl} = \frac{A \cdot \Delta T}{R_{cl}} = R + C = \frac{A_b \cdot (T_{sk} - T_{cl})}{R_{cl}} = \frac{A_b \cdot (T_{sk} - T_{cl})}{0.155 \cdot I_{cl}} \quad (15)$$

Uguagliando le equazioni 14 e 15, entrambe espressioni della quantità $R + C$, otteniamo:

$$R + C = A_b \cdot \frac{T_{sk} - T_o}{0.155 \cdot I_{cl} + \frac{1}{f_{cl}} \cdot h} \quad (16)$$

dove T_o è la temperatura operativa, ovvero quella temperatura uniforme delle pareti e dell'aria di un ambiente fittizio all'interno del quale il soggetto scambierebbe la stessa potenza termica secca $R + C$ che scambia effettivamente nel locale reale.

La temperatura operativa può essere ricavata mediante la seguente formula:

$$T_o = (1 - A) \cdot T_{mr} + A \cdot T_a \quad (17)$$

dove:

$$\begin{cases} A = 0.5 & \text{se } v_{ar} < 0.2 \\ A = 0.6 & \text{se } 0.2 < v_{ar} < 0.6 \\ A = 0.7 & \text{se } v_{ar} > 0.6 \end{cases}$$

Per ambienti termicamente moderati, se $T_{mr} - T_a < 4 \text{ }^\circ\text{C}$ e se $v_{ar} < 0.2 \text{ m/s}$, si può assumere in via approssimata:

$$T_o = \frac{T_{mr} + T_a}{2} \quad (17.a)$$

Fanger intuì che il benessere termoigrometrico fosse legato ad una correlazione tra sensazione termica e attività svolta e – mediante sperimentazioni su soggetti – trovò quei valori che, statisticamente, T_{sk} ed E_{sw} assumono quando le persone giudicano di essere in condizioni di comfort.

Tali valori possono essere ricavati mediante le seguenti equazioni, che vengono definite *equazioni di benessere*:

$$T_{sk}^* = 35.7 - 0,0275 \cdot \frac{M - W}{A_b} \quad (18.a)$$

$$E_{sw}^* = 0.42 \cdot A_b \cdot \left[\frac{M - W}{A_b} - 58.15 \right] \quad (18.b)$$

Secondo Fanger, in condizioni di riposo ($M = 1$) un soggetto risulta in comfort se $T_{sk}^* = 34 \text{ }^\circ\text{C}$ e $E_{sw}^* = 0$ (assenza di sudorazione)¹¹. In caso di attività ($M > 1$), invece, si avrà $T_{sk}^* < 34 \text{ }^\circ\text{C}$ e $E_{sw}^* > 0$.

Dunque, affinché un individuo si trovi in condizioni di comfort termoigrometrico, occorre che le due variabili soggettive (M, I_{cl}), le quattro variabili ambientali ($T_a, T_{mr}, v_{ar}, \varphi$) e le due variabili fisiologiche (T_{sk}, E_{sw}) soddisfino contemporaneamente l'equazione di bilancio del corpo umano e le due equazioni di benessere.

2.5.1 Indici di comfort

¹¹ I termini asteriscati fanno riferimento a condizioni di comfort termoigrometrico (non a condizioni reali).

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER
IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

Stabilite le condizioni di comfort, occorre verificare lo scostamento di queste dalle condizioni reali, tale scostamento è il *discomfort*.

A tal fine, Fanger introduce gli *indici di comfort* o *di disagio*. In particolare, egli utilizza un *indice razionale* basato su una scala semantica di sette valori compresi tra -3 e +3, a ciascuno dei quali viene associata una percezione dell'ambiente.

Questo indice è detto *PMV* (*Predicted Mean Vote*, cioè voto medio previsto).

+3	Molto caldo
+2	Caldo
+1	Leggermente caldo
0	Neutralità termica
-1	Leggermente freddo
-2	Freddo
-3	Molto freddo

Tabella 1 – Scala PMV

Secondo Fanger, la sensazione termica percepita è proporzionale al carico termico L , ovvero alla differenza tra la potenza termica generata e dispersa:

$$L = M - W - (C^* + R^* + C_k^* + R_{res}^* + E_{sk}^*) \quad (19)$$

Un carico termico nullo ($L = 0$) rappresenterebbe la neutralità termica, poiché significherebbe che la potenza termica che si sta dissipando è uguale a quella che si dissiperebbe in condizioni di comfort (secondo le *equazioni di benessere* di Fanger).

La correlazione tra carico termico (ovvero sensazione termica percepita) e *PMV* è data dalla seguente relazione:

$$PMV = (0.303 \cdot e^{-0.036 \cdot M} + 0.028) \cdot L \quad (20)$$

Come già detto, il *PMV* rappresenta un valore medio che tiene conto di percezioni strettamente soggettive e, pertanto, è affetto da una dispersione di dati piuttosto elevata.

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

Per tenere conto di questa distribuzione, Fanger introduce un secondo indice detto *PPD* (*Predicted Percentage of Dissatisfied*, cioè percentuale prevista di insoddisfatti), correlato al primo mediante la seguente relazione:

$$PPD = 100 - 95 \cdot e^{-(0.03353 \cdot PMV^4 + 0.2179 \cdot PMV^2)} \quad \text{in } [\%] \quad (21)$$

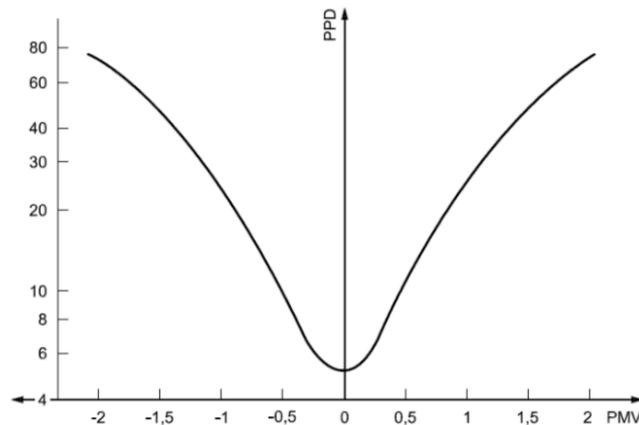


Figura 2 – Relazione PMV – PPD (UNI EN ISO 7730, 2006)

Nella definizione di *PPD*, vengono considerati *insoddisfatti* gli utenti che esprimono un voto ± 2 o ± 3 .

Si è verificato sperimentalmente che, a causa della dispersione dei dati, anche quando il *PMV* fosse pari a 0, ci sarebbe statisticamente comunque un 5% di persone insoddisfatte.

2.5.2 Discomfort locale

La sensazione di neutralità termica globale non è sufficiente – da sola – a garantire il benessere termoisometrico. Un soggetto che non lamenti sensazioni di caldo o freddo nel suo complesso, infatti, può essere comunque esposto a condizioni che comportino un disagio termico localizzato. Fanger individua quattro principali cause di discomfort locale:

- elevata differenza verticale di temperatura dell'aria;

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

- asimmetria media radiante;
- correnti d'aria (*draft risk*);
- pavimento troppo caldo o troppo freddo.

Elevata differenza verticale di temperatura dell'aria

A seguito di esperimenti effettuati su soggetti in stato di neutralità termica, è emerso che se la differenza di temperatura misurata a livello della testa e delle caviglie è elevata, può insorgere una condizione di discomfort, soprattutto se la prima risulta essere maggiore della seconda. Per una persona seduta che svolge attività sedentaria, è stato stabilito empiricamente un limite di accettabilità pari a una differenza di temperatura dell'aria tra testa e piedi di 3 °C, che provoca una percentuale di insoddisfatti del 5% [11] (figura 3).

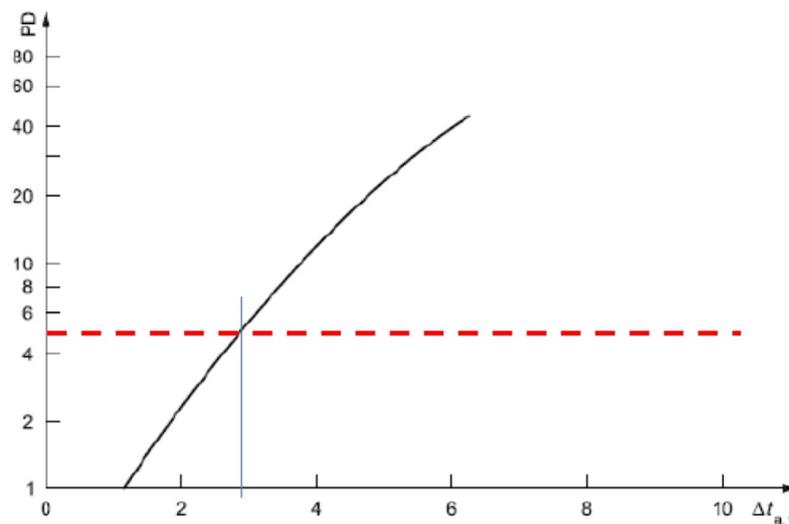


Figura 3 – Relazione tra differenza di temperatura tra testa e piedi [°C] e PPD [%]
(UNI EN ISO 7730, 2006)

Asimmetria media radiante

Per *asimmetria media radiante* si intende la differenza tra la temperatura piana radiante delle due facce opposte di un elemento piano. Una radiazione termica non uniforme, infatti, può essere causa di una sensazione di discomfort per il corpo.

Da indagini svolte su un gran numero di individui sottoposti a campi radianti asimmetrici, sono stati ricavati dei grafici che consentono di valutare la percentuale di insoddisfatti. In figura 4 vengono rappresentati tali grafici per: soffitto caldo, parete fredda, soffitto freddo, parete calda (rispettivamente da sinistra a destra).

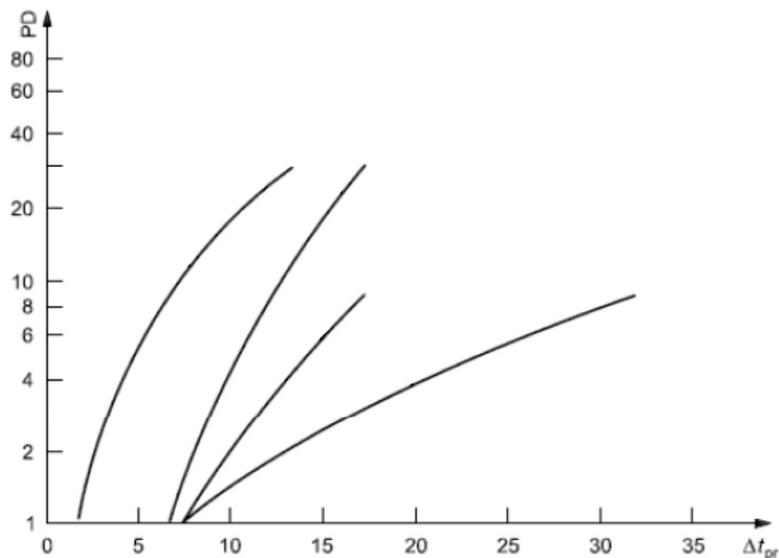


Figura 4 – Relazione tra asimmetria media radiante [°C] e PPD [%]
(UNI EN ISO 7730, 2006)

Correnti d'aria (draft risk)

Una delle principali cause di discomfort locale sono le correnti d'aria, movimenti dell'aria in ambiente tali da provocare il raffreddamento indesiderato di una parte del corpo. Tale discomfort localizzato dipende da molti fattori, tra cui la velocità e la temperatura della corrente d'aria, la differenza di temperatura tra la corrente d'aria e la temperatura media dell'aria in ambiente, la zona del corpo interessata, l'attività del soggetto e la sua condizione di comfort globale.

La percentuale prevista di insoddisfatti provocata da *draft risk* può essere determinata mediante la seguente relazione:

$$DR = (34 - t_a) \cdot (v_a - 0.05)^{0.62} \cdot (0.37 \cdot v_a \cdot Tu + 3.14) \quad (22)$$

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

dove:

t_a temperatura dell'aria [°C];

v_a velocità media dell'aria [m/s];

Tu intensità della turbolenza [%], determinata mediante la seguente formula:

$$Tu = \frac{SD}{V_A} \cdot 100$$

dove SD rappresenta la deviazione standard della velocità dell'aria.

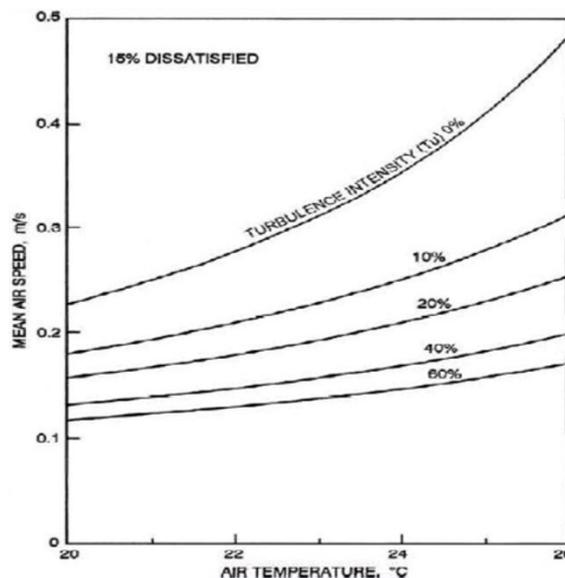


Figura 5 – Relazione tra temperatura dell'aria [°C] e velocità media dell'aria [m/s] per PPD pari al 15% (UNI EN ISO 7730, 2006)

Pavimento troppo caldo o troppo freddo

Il discomfort locale ai piedi può essere determinato da una temperatura del pavimento troppo alta o troppo bassa, specialmente se il soggetto si trova a contatto diretto con esso. Tale disagio dipende, oltre che dalla temperatura del pavimento, anche dalla durata della permanenza del soggetto e se egli indossa o meno delle calzature. La norma UNI EN ISO 7730 prevede che il pavimento abbia

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER
IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

una temperatura compresa tra 19 e 26 °C (figura 6), fatta eccezione per riscaldamento a pavimento, in cui si può assumere una temperatura fino a 29 °C.

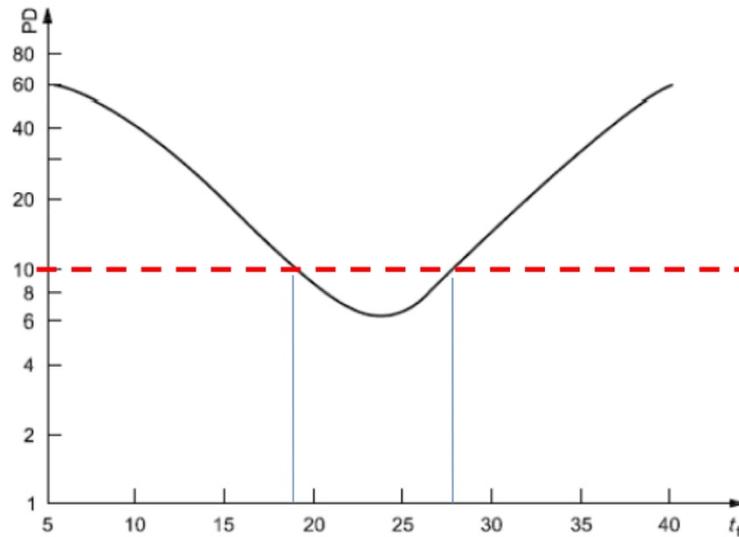


Figura 6 – Relazione tra temperatura del pavimento [°C] e PPD [%]
(UNI EN ISO 7730, 2006)

Capitolo 3

3. Termoventilatori bladeless

I termoventilatori *bladeless* sono dispositivi elettrici facenti parte della categoria del Personal Comfort Systems; privi di pale, garantiscono il funzionamento grazie all'effetto Coandă.

3.1 Effetto Coandă

L'effetto Coandă, fenomeno fluidodinamico scoperto dall'ingegnere romeno Henri Coandă all'inizio del XX secolo, è la tendenza di un getto di fluido in movimento a contatto con una superficie curva a seguire la curvatura della superficie piuttosto che continuare a viaggiare in linea retta. Il fluido, infatti, muovendosi lungo la superficie, provoca attrito, cioè genera una resistenza al movimento dello stesso. Tale resistenza, tuttavia, interessa solo le particelle di fluido immediatamente a contatto con la superficie. Le particelle di fluido esterne, a causa delle interazioni molecolari che tendono a tenerle unite a quelle interne, cambieranno direzione verso di esse, facendo aderire il fluido alla superficie. Tale fenomeno provoca l'accelerazione del fluido e, di conseguenza, la riduzione della pressione sulla superficie convessa (e la conseguente adesione del flusso fluido alla parete). Il distacco del fluido dalla superficie avviene nel momento in cui la pressione aumenta nello strato limite fino a raggiungere quella atmosferica.

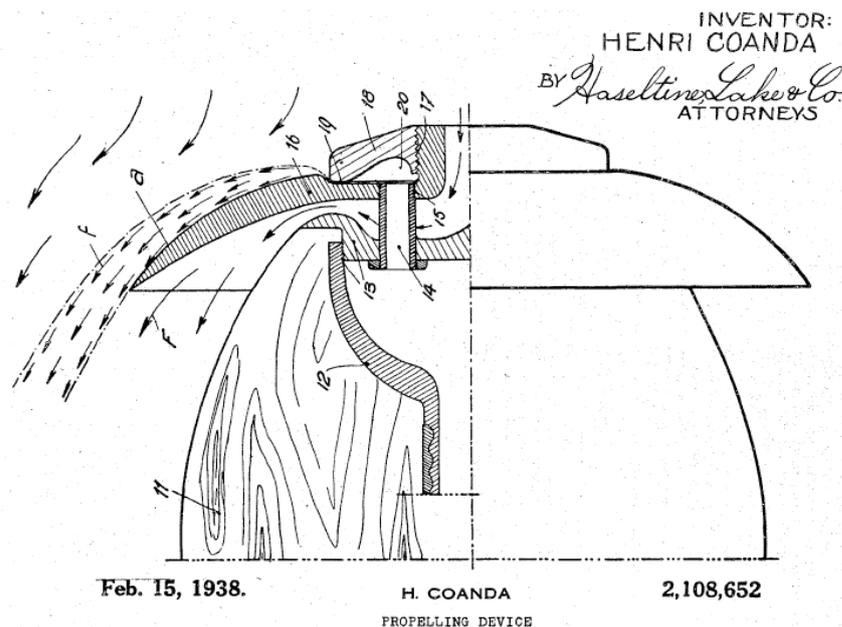


Figura 7 – Illustrazione del brevetto Coandă, 1938

3.2 Evoluzione dei dispositivi bladeless

La nota azienda inglese Dyson ha lanciato il primo ventilatore *bladeless* nel 2009, basato sulla tecnologia Air Multiplier®. Il dispositivo, dal design accattivante (diventato poi iconico per l'azienda), ha conquistato una buona fetta di mercato grazie alle sue linee semplici, dettate dall'assenza – almeno apparentemente – di pale, alla portabilità del dispositivo ed alla facilità di pulizia dello stesso.

Il 2011 è stato l'anno di debutto del Dyson AM04, il primo termoventilatore senza pale, che consisteva in un dispositivo, chiamato Dyson Hot, composto da due parti: una base cilindrica (in cui l'aria veniva aspirata da un motore a corrente continua) e una struttura ad anello, dalla quale l'aria veniva espulsa, passando a fianco di piastre riscaldanti in ceramica PTC.

L'aria veniva accelerata al di sopra di una rampa aerodinamica che consentiva una velocità di output fino a 10-15 volte maggiore rispetto alla velocità di aspirazione della turbina. Ciò consentiva di ottenere la stessa ventilazione prodotta da un ventilatore "tradizionale" ma sfruttando una minore potenza, grazie all'annullamento dell'effetto *air-cutting* provocato dalle pale [12]. Tutto ciò

ha provocato una certa curiosità scientifica, che è sfociata in una serie di studi su questa tecnologia.

Nel 2014 Li G. et al. [13] hanno condotto delle prove sperimentali per ottenere la curvatura più performante da applicare a un ventilatore senza pale. Fino ad allora c'erano stati ben pochi studi sull'argomento, anche se, in altri campi scientifici, l'effetto Coandă, era stato oggetto di numerosi approfondimenti. Le ricerche di Li G. et al. si proponevano di studiare il legame tra la prestazione di ventilatori *bladeless* e la curvatura delle superfici Coandă, mediante una serie di simulazioni. In primo luogo è stata effettuata una simulazione numerica costruendo un modello tridimensionale (mediante il software di modellazione Fluent¹²). In seguito è stato costruito un modello bidimensionale per studiare il comportamento del flusso d'aria in prossimità della superficie Coandă, che ha portato a ottenere un modello ottimale, la cui curvatura massimizzerebbe la velocità del flusso.

I termoventilatori Dyson più recenti (a partire dal 2015), tra cui il Dyson Pure Hot+Cool con il quale abbiamo condotto i nostri test, presentano anche la funzione *Jet Focus*, ovvero la modalità direzionata, in cui l'aria, dopo essere stata accelerata, viene incanalata da una rampa di concentrazione, che proietta il getto d'aria verso l'utente. Tale modalità può essere sostituita dalla *Diffuse Mode*, cioè la modalità ad ampio raggio. Tale metodo prevede che un altro getto d'aria fuoriesca da una seconda apertura. Quando i due getti si incontrano, il trascinamento guida il flusso d'aria su un proiettore a 45°, erogando un flusso più ampio e diffuso.

¹² Fluent è un software commerciale per la fluidodinamica computazionale (CFD). La fluidodinamica computazionale o numerica (brevemente detta CFD, *Computational Fluid Dynamics* in inglese) è un metodo che utilizza l'analisi numerica e algoritmi per risolvere e analizzare i problemi di fluidodinamica mediante l'utilizzo del computer.

3.3 Casi studio

3.3.1 Prodotto A

Il prodotto A utilizzato nelle prove sperimentali è un prototipo rilasciato sul mercato a metà 2018, caratterizzato da una sezione orizzontale ellissoidale, da bocchette di aspirazione d'aria poste nella parte superiore del prodotto e da due fessure allungate e speculari poste lateralmente ad esso. Da queste ultime fuoriesce l'aria, sfruttando la tecnologia 3D ComfortAir®, basata sull'effetto Coandă.

L'aria ambientale, una volta aspirata, attraversa un filtro purificatore, che ne trattiene particelle inquinanti e allergeni, viene poi convogliata in una camera in pressione ed infine rilasciata nell'ambiente sfruttando l'effetto Coandă grazie al profilo curvato dell'apparecchio.

La direzione del getto rispetto all'asse orizzontale può essere modificata grazie ad alette interne regolabili mediante comando remoto. Il prodotto poggia su una base rotante motorizzata che consente di direzionare il flusso. L'apparecchio non può essere inclinato rispetto all'asse verticale.

Durante le prove, il prodotto è stato fatto funzionare senza alcuna alterazione della direzione del getto, sfruttando la potenza massima di 1300 W in modalità di ventilazione.

Le caratteristiche geometriche dell'apparecchio sono descritte in figura 8.

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER
IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

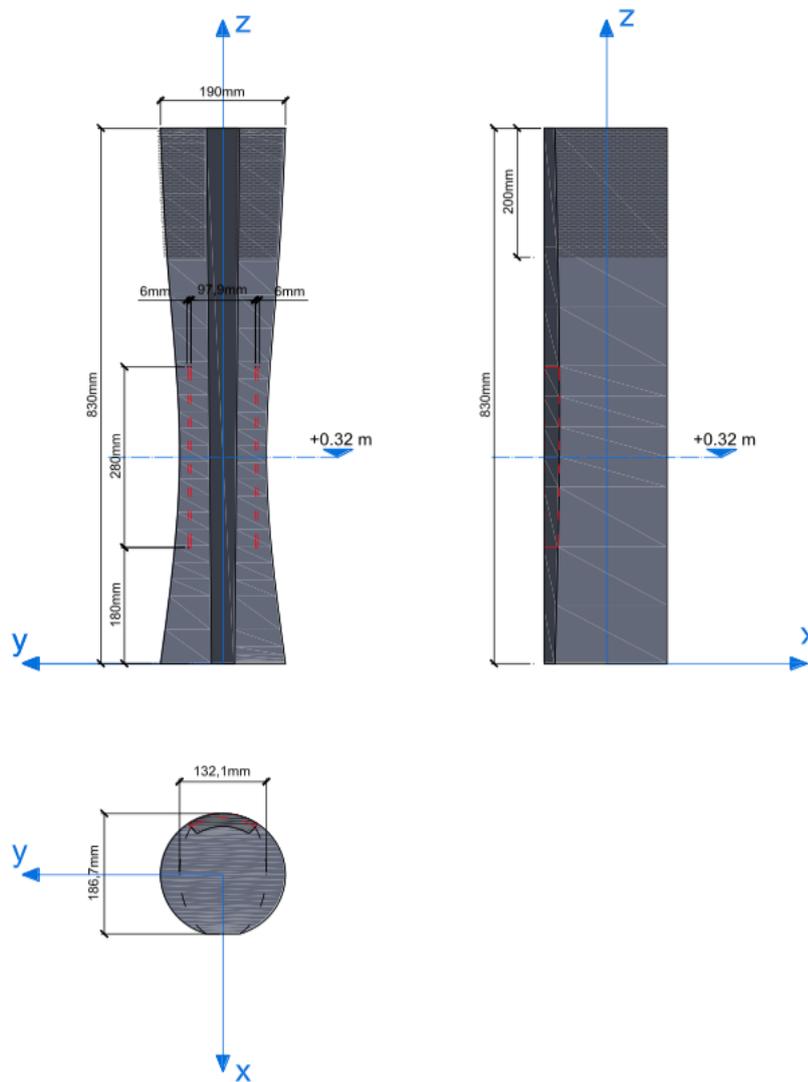


Figura 8 – Caratteristiche geometriche del prodotto A

3.3.2 Prodotto B

Il prodotto B utilizzato nelle prove sperimentali è un modello già presente sul mercato, caratterizzato da una base di sezione orizzontale circolare nella quale alloggia la griglia di aspirazione e da un anello ellissoidale che ospita due fessure allungate e speculari. Esse vengono utilizzate per l'immissione del flusso d'aria in ambiente, sfruttando la tecnologia Air Multiplier®, basata sull'effetto Coandă descritto in precedenza.

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

La direzione del getto rispetto all'asse orizzontale può essere modificata inclinando meccanicamente l'apparecchio; inoltre è possibile variare l'apertura dell'angolo di emissione utilizzando la funzione *Jet Focus* o *Diffuse Mode*.

Durante le prove, il prodotto è stato fatto funzionare senza alcuna alterazione della direzione del getto utilizzando la funzione *Jet Focus*, sfruttando la potenza massima in modalità ventilazione.

Le caratteristiche geometriche dell'apparecchio sono descritte in figura 9.

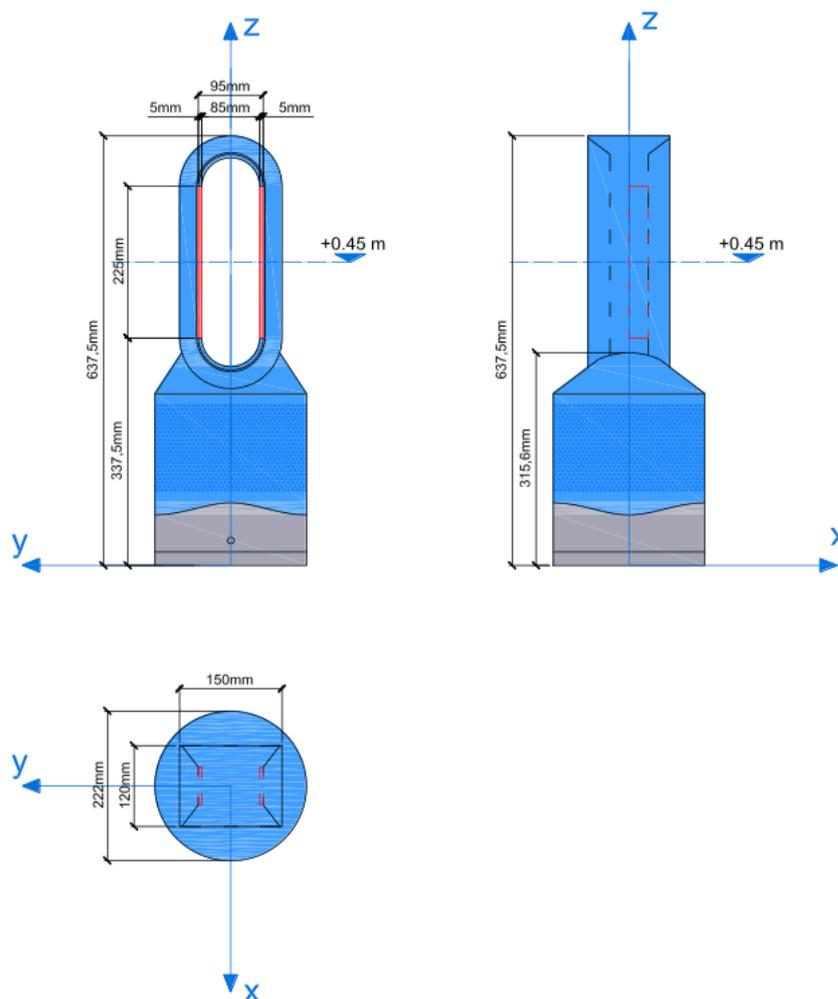


Figura 9 – Caratteristiche geometriche del prodotto B

Capitolo 4

4. Indagine sperimentale sul comfort soggettivo

Sono stati coinvolti 52 soggetti che hanno svolto un totale di 62 test in camera di prova presso il dipartimento Denerg del Politecnico di Torino. Nel presente capitolo viene descritta la modalità di testing di due prodotti termoventilanti *bladeless*, la metodologia impiegata per analizzare le sensazioni termiche dei *s.s.t.* e l'apparato sperimentale utilizzato per il rilevamento dei parametri ambientali.

4.1 Descrizione generale dell'esperimento

Ciascun test ha avuto una durata di 60 minuti ed è stato suddiviso in due fasi rispettivamente di 15 e 45 minuti. Il test si è svolto alla presenza di un operatore, il quale si è occupato del rilevamento dei parametri ambientali, degli indici di comfort e dell'acquisizione termografica. Ad ogni soggetto è stato sottoposto un questionario in tre istanti temporali:

- t_0 l'istante di inizio del test;
- t_{15} l'istante a 15 minuti dall'inizio del test;
- t_{60} l'istante a 60 minuti dall'inizio del test.

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER
IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

Ciascun questionario è stato articolato in quattro sezioni:

La sezione A (tabella 2.a), compilata dall'operatore al tempo t_0 , t_{15} e t_{60} , contiene informazioni inerenti i parametri ambientali e gli indici di comfort individuati nei diversi istanti temporali: viene rilevata la temperatura interna in prossimità del *s.s.t.* mediante un rilevatore di temperatura *Testo 450* e i due indici di comfort *PMV* e *PPD* mediante comfortometro *Brüel & Kjær 1212*.

Data	15/06/2018
Temperatura interna al momento del questionario [°C]	28.4
PMV [-]	0.28
PPD [%]	8
Distanza dal prodotto [m]	1.5

Tabella 2.a – Esempio sezione A del questionario

La sezione B (tabella 2.b), compilata dal *s.s.t.* al tempo t_0 , contiene informazioni personali del soggetto (*età, genere, altezza, peso*) che possono influenzarne la percezione termica dell'ambiente, informazioni riguardanti l'attività svolta prima della sperimentazione (necessarie per la determinazione della potenza metabolica e, conseguentemente, di *PMV* e *PPD*) e informazioni in merito ai capi di abbigliamento indossati durante la prova (tabella 2.c), necessarie per la determinazione della resistenza termica del vestiario I_{cl} e, conseguentemente degli indici di comfort. Al *s.s.t.* viene chiesto, inoltre, di quantificare la propria sensibilità al freddo, al caldo e alla velocità dell'aria su una scala da 0 a 3 (*non sensibile, leggermente sensibile, sensibile, molto sensibile*).

Età	20-25 anni
Genere	Femminile
Altezza [m]	1.68
Peso [kg]	58

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER
IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

Indice di massa corporea (MBI) [-]	20.55
Vestiario [clo]	0.44
Attività svolta prima del test	Seduti rilassati
Sei particolarmente sensibile al freddo?	2
Sei particolarmente sensibile al caldo?	1
Sei particolarmente sensibile alla velocità dell'aria?	0
Hai assunto sostanze che possono alterare la tua percezione nelle ultime due ore? (es. medicinali, alcolici...)	No
Hai assunto bevande fredde o calde?	Sì

Tabella 2.b – Esempio sezione B del questionario

Selezionare gli elementi del vestiario che attualmente indossi. Se indossi oggetti che non sono presenti nella lista, scrivilo nello spazio riservato alla fine della lista, selezionando la casella a fianco dello spazio. Una volta selezionati tutti i capi, cliccare sul pulsante "FINE" per tornare al questionario.

Abbigliamento intimo	
Reggiseno	<input checked="" type="checkbox"/>
Slip	<input checked="" type="checkbox"/>
Boxer	<input type="checkbox"/>
Canottiera	<input type="checkbox"/>
Sottoveste	<input type="checkbox"/>
Calzature e calze	
Sandali	<input type="checkbox"/>
Calze corte	<input checked="" type="checkbox"/>
Scarpe	<input checked="" type="checkbox"/>
Calzini lunghi	<input type="checkbox"/>
Stivali	<input type="checkbox"/>
Camicie	
Camicia a maniche corte	<input type="checkbox"/>
Camicia a maniche lunghe	<input type="checkbox"/>
Camicia di flanella con manica corta	<input type="checkbox"/>
Camicia di flanella con manica lunga	<input type="checkbox"/>

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER
IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

Pantaloni	
Pantaloncini corti	<input type="checkbox"/>
Pantaloncini tre quarti	<input type="checkbox"/>
Pantaloni lunghi leggeri	<input checked="" type="checkbox"/>
Pantaloni lunghi spessi	<input type="checkbox"/>
Pantaloni tuta	<input type="checkbox"/>
Vestiti e magliette	
Gonna corta	<input type="checkbox"/>
Gonna lunga	<input type="checkbox"/>
Vestito	<input type="checkbox"/>
Maglietta a manica corta estiva	
Maglietta a manica lunga estiva	<input type="checkbox"/>
Maglietta a manica lunga invernale	<input type="checkbox"/>
Maglioni	
Maglione sottile	<input type="checkbox"/>
Maglione spesso	<input type="checkbox"/>
Giacca	
Giubbotto senza maniche leggero	<input type="checkbox"/>
Giubbotto senza maniche pesante	<input type="checkbox"/>
Giubbotto/giacca a manica lunga leggero	<input type="checkbox"/>
Giubbotto/giacca a manica lunga pesante	<input type="checkbox"/>
Giacca doppio petto leggera	<input type="checkbox"/>
Giacca doppio petto pesante	<input type="checkbox"/>
Altri articoli di abbigliamento	
...	<input type="checkbox"/>

Tabella 2.c – Esempio *clothes characterization* della sezione B del questionario

La sezione C (tabella 2.d), compilata dal *s.s.t.* al tempo t_0 , t_{15} e t_{60} , prevede la risoluzione di domande a risposta multipla in merito alla sensazione termica percepita (globalmente e localmente) e alle modalità mediante cui si desidererebbe modificare l'ambiente in termini di temperatura.

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER
IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

Quale sensazione termica percepisci?

Molto caldo	<input type="checkbox"/>
Caldo	<input checked="" type="checkbox"/>
Leggermente caldo	<input type="checkbox"/>
Neutro	<input type="checkbox"/>
Leggermente freddo	<input type="checkbox"/>
Freddo	<input type="checkbox"/>
Molto freddo	<input type="checkbox"/>

Da un punto di vista termico, come percepisci l'ambiente?

Molto confortevole	<input type="checkbox"/>
Confortevole	<input type="checkbox"/>
Leggermente confortevole	<input type="checkbox"/>
Leggermente fastidioso	<input checked="" type="checkbox"/>
Fastidioso	<input type="checkbox"/>
Molto fastidioso	<input type="checkbox"/>

Indica come preferiresti modificare termicamente l'ambiente

Molto più fresco	<input type="checkbox"/>
Più fresco	<input checked="" type="checkbox"/>
Leggermente più fresco	<input type="checkbox"/>
Né più fresco né più caldo	<input type="checkbox"/>
Leggermente più caldo	<input type="checkbox"/>
Più caldo	<input type="checkbox"/>
Molto più caldo	<input type="checkbox"/>

Percepisci qualche parte del corpo particolarmente/fastidiosamente calda?

Faccia	<input type="checkbox"/>
Collo	<input checked="" type="checkbox"/>
Petto	<input checked="" type="checkbox"/>
Braccio sinistro	<input type="checkbox"/>
Braccio destro	<input type="checkbox"/>
Mano sinistra	<input type="checkbox"/>
Mano destra	<input type="checkbox"/>
Bacino	<input type="checkbox"/>
Gamba sinistra	<input type="checkbox"/>
Gamba destra	<input type="checkbox"/>
Piede sinistro	<input type="checkbox"/>

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER
IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

Piede destro	<input type="checkbox"/>
Altre parti del corpo	...
Percepisci qualche parte del corpo particolarmente/fastidiosamente fredda?	
Faccia	<input type="checkbox"/>
Collo	<input type="checkbox"/>
Petto	<input type="checkbox"/>
Braccio sinistro	<input type="checkbox"/>
Braccio destro	<input type="checkbox"/>
Mano sinistra	<input type="checkbox"/>
Mano destra	<input type="checkbox"/>
Bacino	<input type="checkbox"/>
Gamba sinistra	<input checked="" type="checkbox"/>
Gamba destra	<input checked="" type="checkbox"/>
Piede sinistro	<input type="checkbox"/>
Piede destro	<input type="checkbox"/>
Altre parti del corpo	...

Tabella 2.d – Esempio sezione C del questionario

La sezione D (tabella 2.e), compilata dal s.s.t. al tempo t_0 , t_{15} e t_{60} , prevede – infine – la risoluzione di domande a risposta multipla in merito alla sensazione percepita (globalmente e localmente) riguardo la velocità dell'aria e alle modalità mediante cui si desidererebbe modificare l'ambiente.

In conclusione, vi è la possibilità di inserire commenti e/o considerazioni sulla prova.

Come percepisci la velocità dell'aria?

Molto piacevole	<input type="checkbox"/>
Piacevole	<input type="checkbox"/>
Leggermente piacevole	<input type="checkbox"/>
Leggermente fastidiosa	<input checked="" type="checkbox"/>
Fastidiosa	<input type="checkbox"/>
Molto fastidiosa	<input type="checkbox"/>

Indica come preferiresti modificare la velocità dell'aria

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER
IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

Molto più veloce	<input type="checkbox"/>
Più veloce	<input checked="" type="checkbox"/>
Leggermente più veloce	<input type="checkbox"/>
Né più veloce né più lenta	<input type="checkbox"/>
Leggermente più lenta	<input type="checkbox"/>
Più lenta	<input type="checkbox"/>
Molto più lenta	<input type="checkbox"/>
C'è qualche parte del corpo in cui la velocità dell'aria risulta particolarmente fastidiosa?	
Faccia	<input checked="" type="checkbox"/>
Collo	<input checked="" type="checkbox"/>
Petto	<input type="checkbox"/>
Braccio sinistro	<input type="checkbox"/>
Braccio destro	<input type="checkbox"/>
Mano sinistra	<input type="checkbox"/>
Mano destra	<input type="checkbox"/>
Bacino	<input type="checkbox"/>
Gamba sinistra	<input type="checkbox"/>
Gamba destra	<input type="checkbox"/>
Piede sinistro	<input type="checkbox"/>
Piede destro	<input type="checkbox"/>
Altre parti del corpo	...
C'è qualche parte del corpo in cui la velocità dell'aria risulta particolarmente piacevole?	
Faccia	<input type="checkbox"/>
Collo	<input type="checkbox"/>
Petto	<input checked="" type="checkbox"/>
Braccio sinistro	<input type="checkbox"/>
Braccio destro	<input type="checkbox"/>
Mano sinistra	<input type="checkbox"/>
Mano destra	<input type="checkbox"/>
Bacino	<input type="checkbox"/>
Gamba sinistra	<input checked="" type="checkbox"/>
Gamba destra	<input checked="" type="checkbox"/>
Piede sinistro	<input type="checkbox"/>
Piede destro	<input type="checkbox"/>

Altre parti del corpo	...
Preferiresti spegnere l'apparecchio?	Sì
Scrivere eventuali commenti, considerazioni, suggerimenti...	

Tabella 2.e – Esempio sezione D del questionario

Prima dell'inizio del test, viene fatto sì che la temperatura interna raggiunga circa i 28 °C mediante impianto di riscaldamento autonomo con bocchette di ventilazione poste a circa 3 metri, il quale rimane in funzione per tutta la durata della prova. Il *s.s.t.* compila la sezione B del questionario inerente le proprie informazioni personali, l'attività svolta prima del test e la caratterizzazione del vestiario. Tali informazioni consentono di ottenere i dati sulla potenza metabolica M e sulla resistenza del vestiario I_{cl} , utilizzati come input per la determinazione degli indici di comfort mediante comfortometro. L'operatore compila quindi la sezione A del questionario, assegnando ad ogni prova un numero identificativo progressivo e raccogliendo le informazioni descritte precedentemente riferite all'istante t_0 . Il *s.s.t.* compila le sezioni C e D del questionario. Si procede all'acquisizione termografica.

Viene azionato il termoventilatore a velocità massima per 15 minuti, al termine dei quali l'operatore raccoglie nuovamente le informazioni riguardanti temperatura interna e indici di comfort. Il *s.s.t.* compila le sezioni C e D del questionario riferite all'istante t_{15} . Viene scattata una seconda termografia.

La medesima procedura viene ripetuta all'istante t_{60} .

Il termoventilatore viene spento e il test si ritiene concluso.

4.2 Apparato sperimentale

Nella presente sezione viene descritto l'apparato sperimentale utilizzato per il rilevamento dei parametri ambientali durante i test.

4.2.1 Testo 450

Per la misurazione della temperatura ambientale interna nelle immediate vicinanze del *s.s.t.* è stato utilizzato lo strumento *Testo 450*, caratterizzato da un rilevatore NTC (*Negative Temperature Coefficient*) o termistore, il quale sfrutta la variabilità della resistenza elettrica di un materiale semiconduttore in funzione della temperatura. La resistenza, infatti, decresce all'aumentare della temperatura, provocando coerentemente un aumento di corrente. Il termistore viene utilizzato sollecitandone le estremità mediante un generatore di tensione e misurando il flusso di carica che lo attraversa, che sarà proporzionale alla sua conducibilità elettrica e – conseguentemente – alla temperatura.

Specifiche tecniche		
	<i>Range di misura</i>	0 ÷ 100% UR -20 ÷ 50 °C 0.2 ÷ 60 m/s
	<i>Incertezza</i>	± 2% RH (2 ÷ 98% UR) ± 0.2 °C (0 ÷ 50 °C) ± 0.3 °C (nel restante range)
	<i>Precisione</i>	0.1 °C

Tabella 3 – Specifiche tecniche *Testo 450*

4.2.2 Thermal Comfort Meter Brüel & Kjær 1212

Per la valutazione degli indici di comfort *PMV* e *PPD* è stato utilizzato un comfortometro o TCM (*Thermal Comfort Meter*) *Brüel & Kjær 1212*.

Per il suo funzionamento sono necessari i seguenti dati di input:

- resistenza termica del vestiario I_{cl} , espressa in clo (registrata dall'operatore a seguito della compilazione della sezione B – *clothes characterization* del

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER
IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

questionario da parte del *s.s.t.*), ricavata come sommatoria della resistenza dei singoli capi d'abbigliamento (tabella 4);

Descrizione degli indumenti	I_{cl} [clo]	$I_{cl} \left[\frac{m^2 \cdot K}{W} \right]$
Reggiseno	0.01	0.001
Slip	0.14	0.022
Boxer	0.16	0.025
Canottiera	0.20	0.031
Sottoveste	0.15	0.023
Sandali	0.02	0.003
Calze corte	0.02	0.003
Scarpe	0.02	0.003
Calzini lunghi	0.03	0.005
Stivali	0.10	0.015
Camicia a maniche corte	0.19	0.029
Camicia a maniche lunghe	0.25	0.039
Camicia di flanella con manica corta	0.34	0.053
Camicia di flanella con manica lunga	0.34	0.053
Pantaloncini corti	0.06	0.009
Pantaloncini tre quarti	0.08	0.012
Pantaloni lunghi leggeri	0.15	0.023
Pantaloni lunghi spessi	0.24	0.037
Pantaloni tuta	0.28	0.043
Gonna corta	0.14	0.022
Gonna lunga	0.23	0.036
Vestito	0.23	0.036
Maglietta a manica corta estiva	0.29	0.045
Maglietta a manica lunga estiva	0.33	0.051

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER
IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

Maglietta a manica lunga invernale	0.47	0.073
Maglione sottile	0.22	0.034
Maglione spesso	0.36	0.056
Giubbotto senza maniche leggero	0.10	0.034
Giubbotto senza maniche pesante	0.17	0.016
Giubbotto/giacca a manica lunga leggero	0.36	0.026
Giubbotto/giacca a manica lunga pesante	0.42	0.056
Giubbotto doppio petto leggero	0.44	0.065
Giubbotto doppio petto pesante	0.48	0.068

Tabella 4 – Resistenza termica dei singoli capi d’abbigliamento
(estratto ASHRAE Handbook-Fundamentals)

- potenza metabolica M , espressa in met (fissata a un valore pari a 1.2 met, corrispondente ad *attività sedentaria*);
- pressione di vapore p_v espressa in kPa, determinata mediante la seguente formula:

$$p_v = p_{vs}(T) \cdot UR \quad (23)$$

dove $p_{vs}(T)$ è la pressione di vapore saturo alla temperatura misurata durante il test e UR l’umidità relativa.

Mentre le quantità sopra elencate vengono immesse dall’operatore come dati di input, il trasduttore *MM 0023* - collegato al comfortometro – misura l’influenza combinata della temperatura dell’aria, della temperatura media radiante e della velocità dell’aria, fornendo i valori di *PMV* e *PPD* direttamente sullo schermo [14].

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

Il trasduttore di temperatura è un dispositivo di forma ellissoidale di colore grigio chiaro, alto 160 mm, con un diametro di 54 mm ed è dotato di un sensore di temperatura media superficiale. Dimensioni e forma del trasduttore sono tali che la relazione tra la perdita di calore per convezione e radiazione sia comparabile con quella del corpo umano; esso viene posizionato con angolazioni diverse in funzione della posizione del soggetto. Durante le prove svolte, esso è stato posizionato a quota 60 cm dal pavimento e inclinato di un angolo di 30° rispetto alla verticale, al fine di simulare il medesimo fattore di forma di una persona seduta.

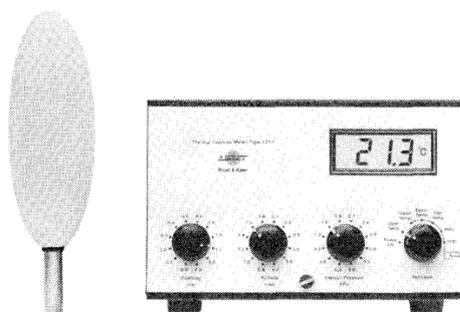


Figura 10 – Thermal Comfort Meter Brüel & Kjær 1212

4.2.3 Termocamera Testo 875i

Per l'acquisizione termografica è stata utilizzata una termocamera *Testo 875i*, al fine di rilevare la variazione delle temperature superficiali dei *s.s.t.* agli istanti t_0 , t_{15} e t_{60} della prova. La termocamera, sensibile alla radiazione infrarossa, consente di mappare le temperature delle superfici esposte senza entrarvi in contatto.

In tabella 5 sono indicate le specifiche tecniche dello strumento.

Specifiche tecniche	
Proprietà immagini infrarossi	
<i>Campo visivo</i>	Obiettivo standard: 32 °C×23 °C/0.1 m
<i>Sensibilità termica</i>	<50 mK a 30 °C (86 °F)
<i>Messa a fuoco</i>	Manuale
<i>Tipo di rivelatore</i>	FPA 160×120 pixel
<i>Spettro di misura</i>	8÷14 μm
Proprietà misurazione	
<i>Campo di misura 1</i>	-30÷100 °C (-22÷212 °F)
<i>Campo di misura 2</i>	0÷350 °C (32÷662 °F)
<i>Precisione campo di misura 1</i>	±3 °C (±5.4 °F)
<i>Precisione campo di misura 2</i>	±2 °C (±3.6 °F) o ±2% d.v.m.
<i>Riproducibilità</i>	±1 °C (±1.8 °F) o ±1% (al valore maggiore)
<i>Diametro minimo punto di misurazione</i>	Obiettivo standard: 32 °C×23 °C/0.1 m
<i>Impostazione grado di emissione</i>	0.01÷1
<i>Tempo di inserzione</i>	30 secondi



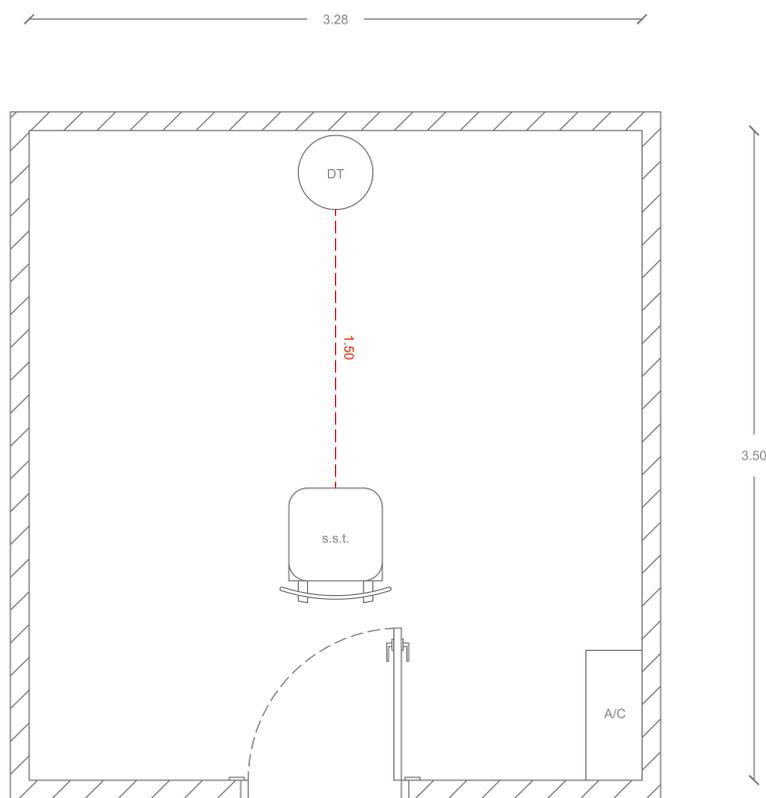
Tabella 5 – Specifiche tecniche *Testo 875i*

4.3 Camera di prova

La camera di prova utilizzata si trova al piano seminterrato del plesso centrale del Politecnico di Torino, presso il laboratorio ex CEQUA. Si tratta di un ambiente di area pari a circa 11 m² posto in adiacenza ad altri laboratori non climatizzati e non confinante con l'esterno.

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

Durante lo svolgimento delle prove, è stato chiesto ai *s.s.t.* di sedere su una sedia posta a 1.75 m lungo l'asse dal prodotto termoventilante. All'interno della camera di prova non sono presenti ulteriori elementi di ingombro.



4.4 Scelte operative

Nella programmazione delle modalità con cui effettuare i test, si è reso necessario risolvere preliminarmente alcune criticità.

Rispetto ai test precedentemente condotti in modalità heating [15], si è ritenuto opportuno ridurre la distanza tra il *s.s.t.* e il prodotto termoventilante da 2.3 m a 1.5 m. Tale modifica si rende necessaria alla luce di quanto evidenziato dai test in campo libero effettuati durante il lavoro di ricerca condotto da Chiara Pastacaldi [16]. In modalità cooling, sia il prodotto A (figura 11) che il prodotto B (figura 12) generano un flusso d'aria la cui velocità risulta percepibile dall'uomo in maniera ottimale se egli si trova a una distanza di circa 1.5 m dal centro di immissione del

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

getto, nell'ipotesi che il soggetto sia seduto e che il suo baricentro si trovi, pertanto, a una quota pari a 0.6 m.

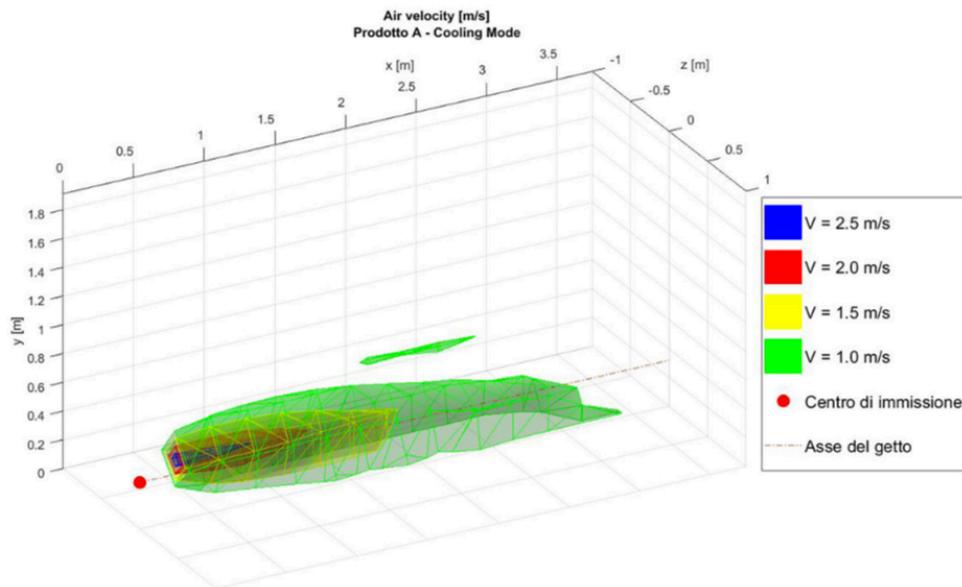


Figura 11 – Superfici di punti alla stessa velocità, prodotto A (C. Pastacaldi, 2017)

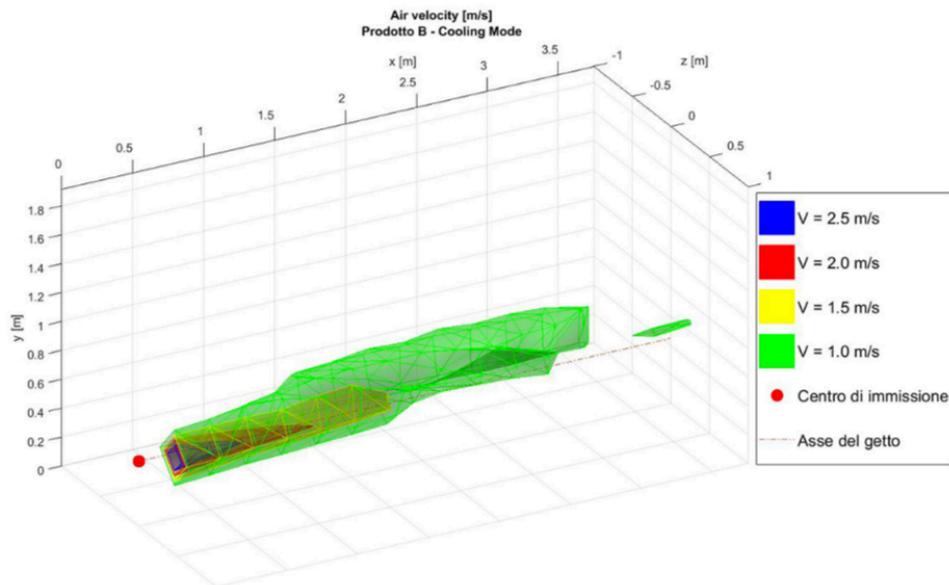


Figura 12 – Superfici di punti alla stessa velocità, prodotto B (C. Pastacaldi, 2017)

Capitolo 5

5. Analisi dati

Nel presente capitolo vengono descritti i risultati dei questionari analizzati su base statistica, i fattori che più hanno influenzato il comfort dei *s.s.t.* e i commenti dei soggetti. L'analisi viene effettuata per singolo prodotto, si procede poi al confronto dei risultati ottenuti dalle due popolazioni di dati.

5.1 Analisi statistiche effettuate

Al fine di descrivere la distribuzione dei dati raccolti mediante i questionari e le altre variabili monitorate durante i test, si è scelto il metodo tipo *box-plot*. Si tratta di una rappresentazione grafica costituita da un rettangolo (orientato orizzontalmente o verticalmente) diviso in due parti, da ciascuna delle quali viene prolungato un segmento. I due segmenti sono delimitati dal minimo e dal massimo dei valori, mentre il rettangolo è delimitato dal primo e dal terzo quartile¹³ ($q_{1/4}$ e $q_{3/4}$) e diviso al suo interno dalla mediana ($q_{1/2}$).

La distanza tra il primo e il terzo quartile, distanza interquartilica, è una misura della dispersione della distribuzione dei dati. Posto che il 50% delle osservazioni si trova compresa tra questi due valori, se la distanza interquartilica è piccola, tale 50% si troverà fortemente concentrato intorno alla mediana,

¹³ In statistica, data una distribuzione di carattere quantitativo (o qualitativo ordinabile), i quartili sono quei valori che ripartiscono la popolazione in quattro parti di uguale numerosità.

all'aumentare della distanza interquartilica, invece, aumenterà la dispersione del 50% delle osservazioni intorno alla mediana.

Le distanze tra ciascun quartile e la mediana forniscono informazioni relativamente alla forma della distribuzione. Se una distanza è diversa dall'altra, ciò implica che la distribuzione è asimmetrica. Nel caso di una distribuzione normale¹⁴, al contrario, le distanze tra ciascun quartile e la mediana saranno uguali.

Le linee che si allungano dai bordi del rettangolo (*baffi*) individuano gli intervalli in cui sono posizionati i valori rispettivamente minori del quartile inferiore e maggiori di quello superiore. I punti estremi dei *baffi* evidenziano i *valori adiacenti*. I valori esterni a questi vengono segnalati individualmente nel *box-plot* per meglio evidenziarne la presenza e la posizione. Questi valori, infatti, detti *outliers*, costituiscono un'anomalia rispetto alla maggior parte dei valori osservati e pertanto è necessario identificarli per poterne analizzare le caratteristiche e le eventuali cause che li hanno determinati.

Sui dati raccolti è stato effettuato inoltre un test per la verifica della normalità¹⁴ su tutte le variabili. A tal fine, è stato scelto il test di Shapiro-Wilk, considerato in letteratura uno dei test più attendibili per la verifica della normalità, soprattutto per piccoli campioni. Il test prevede che la verifica avvenga confrontando due stimatori alternativi della varianza: uno stimatore non parametrico¹⁵ e uno parametrico, ossia la varianza campionaria. Dal rapporto tra i due si ottiene la statistica W , che può assumere valori compresi tra 0 e 1. Se il valore di W è troppo piccolo, il test rifiuta l'ipotesi nulla che i valori campionari siano distribuiti come una variabile casuale normale.

Il test di Shapiro-Wilk restituisce inoltre il p-value, definito come la probabilità di ottenere un risultato altrettanto estremo o più estremo di quello osservato se la diversità è interamente dovuta alla sola variabilità campionaria, assumendo quindi che l'ipotesi iniziale nulla sia vera. Fissato un valore soglia α (convenzionalmente 0.05) e calcolato il p-value relativo ai dati osservati, se $p \leq \alpha$

¹⁴ Nella teoria della probabilità la distribuzione normale (o gaussiana) è una distribuzione di probabilità continua che è spesso usata - in prima approssimazione - per descrivere variabili casuali a valori reali che tendono a concentrarsi attorno a un singolo valore medio.

¹⁵ La statistica non parametrica è una parte della statistica in cui si assume che i modelli matematici non necessitino di ipotesi a priori sulle caratteristiche della popolazione o comunque le cui ipotesi sono meno restrittive di quelle usate nella statistica parametrica.

L'evidenza empirica è fortemente contraria all'ipotesi nulla, che quindi va rifiutata. In tal caso si dice che i dati osservati sono statisticamente significativi.

5.2 Risultati dei questionari sul prodotto A

5.2.1 Sensazione termica percepita

I questionari compilati dai *s.s.t.* durante i test condotti con il prodotto A, riportati in allegato A, hanno permesso di raccogliere informazioni riguardo la sensazione termica percepita dai soggetti agli istanti t_0 , t_{15} e t_{60} .

I voti espressi dagli stessi utenti agli istanti t_0 e t_{15} sono stati raccolti in due gruppi e analizzati mediante il test di Wilcoxon per dati appaiati. Il risultato fa riferimento alla scala ASHRAE ed è riportato in figura 13.

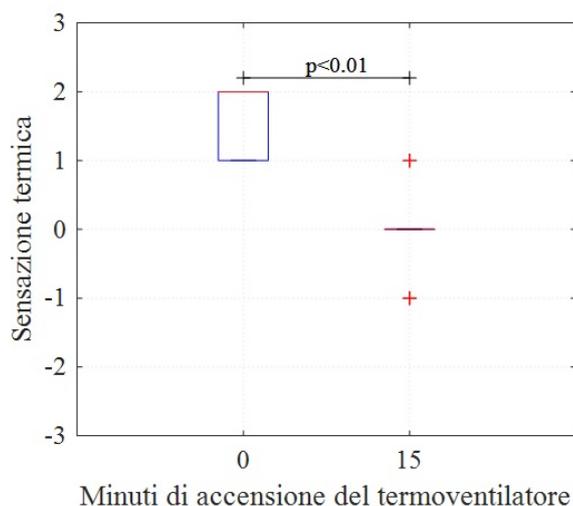


Figura 13 - Sensazione termica $t_0 - t_{15}$ (prodotto A)

La sensazione termica percepita dai *s.s.t.* a seguito dei primi 15' di funzionamento del prodotto viene modificata di ben due punti sulla scala ASHRAE. In riferimento all'istante t_0 , il terzo quartile corrisponde alla mediana,

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER
IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

che ricade sul voto +2, relativo alla sensazione termica *caldo*, mentre il primo quartile ricade sul voto +1, cioè *leggermente caldo*.

Dopo 15 minuti di accensione del termoventilatore, il primo quartile, il terzo quartile e la mediana si trovano allineati al voto 0, corrispondente alla sensazione di *neutralità termica*. Ciò evidenzia l'efficacia del prodotto termoventilante nel breve periodo.

Al fine di comprendere se tale sensazione termica permanga anche nel lungo periodo, vengono confrontati altresì i voti assegnati dagli stessi soggetti relativamente agli istanti t_{15} e t_{60} . Dal grafico rappresentato in figura 14, si nota come dopo 60 minuti di funzionamento del prodotto, nonostante la mediana continui a essere allineata alla sensazione di *neutralità termica*, il primo quartile si trova compreso tra i voti -1 (corrispondente alla sensazione di *leggermente freddo*) e 0. Il *box-plot* relativo all'istante t_{60} presenta inoltre un *baffo* fino al valore -1.

Ciò evidenzia un peggioramento, seppur minimo, della sensazione termica dei soggetti relativamente a un lungo periodo di utilizzo del dispositivo.

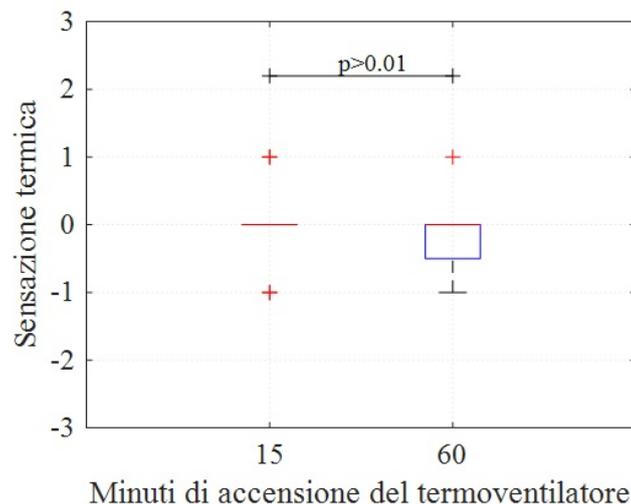


Figura 14 - Sensazione termica t_{15} - t_{60} (prodotto A)

5.2.2 Comfort termico percepito

Anche per quanto concerne il comfort ambientale relativo agli istanti t_0 , t_{15} e t_{60} , i voti espressi dagli utenti sono stati raccolti in due gruppi e analizzati mediante il test di Wilcoxon per dati appaiati.

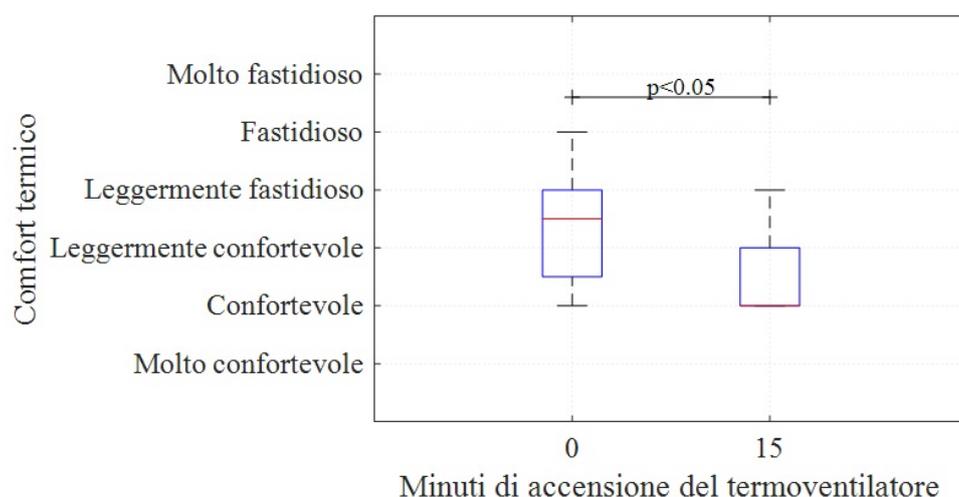


Figura 15 - Comfort termico $t_0 - t_{15}$ (prodotto A)

La distribuzione dei voti riguardanti il comfort dei *s.s.t.* rispecchia quanto già evidenziato dall'analisi delle sensazioni termiche degli stessi. Il comfort percepito dai soggetti a seguito dei primi 15 minuti di funzionamento del dispositivo viene migliorato di più di un voto (figura 15).

In riferimento all'istante t_0 , la mediana si trova compresa tra le sensazioni *leggermente confortevole* e *leggermente fastidioso*. Il terzo quartile è su una sensazione corrispondente a *leggermente fastidioso*, mentre il primo quartile ricade all'interno di un range compreso tra *leggermente confortevole* e *confortevole*. I valori adiacenti individuati dai *baffi* corrispondono rispettivamente alle sensazioni *confortevole* e *fastidioso*. Nel *box-plot* analizzato non sono stati riscontrati *outliers*.

Dopo 15 minuti di accensione del termoventilatore il primo quartile e la mediana si trovano allineati alla sensazione *confortevole*. Il terzo quartile è su una sensazione corrispondente a *leggermente confortevole*.

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

Il miglioramento netto riguardo le sensazioni termiche, osservato nell'analisi precedente, è coerente con le risposte fornite in merito al comfort.

In figura 16 è possibile osservare il comfort espresso anche dopo 60 minuti di funzionamento del dispositivo termoventilante.

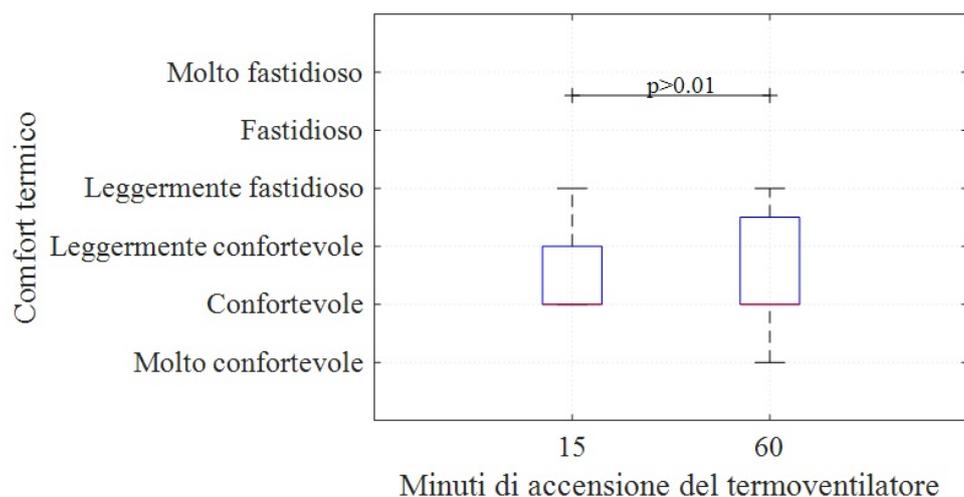


Figura 16 - Comfort termico $t_{15} - t_{60}$ (prodotto A)

Nonostante la mediana ricada sul voto *confortevole* in entrambi i *box-plot*, si può notare un lieve aumento della dispersione dei dati intorno a quest'ultima, evidenziato da una distanza interquartilica crescente. Il terzo quartile, infatti, trasla da una posizione corrispondente a *leggermente confortevole* a una compresa all'interno del range di voti *leggermente confortevole* – *leggermente fastidioso*.

Anche in questo caso, quindi, si evidenzia un lieve peggioramento del comfort coerente con le sensazioni termiche precedentemente analizzate.

5.2.3 Velocità dell'aria percepita

I questionari compilati dai *s.s.t.* durante i test ci hanno permesso di raccogliere informazioni riguardo il discomfort generale e locale dovuto a correnti d'aria

percepito dai soggetti agli istanti t_0 , t_{15} e t_{60} . Poiché non esiste una scala normata per esprimere un giudizio in merito alla velocità dell'aria, è stata utilizzata la medesima scala già impiegata per la valutazione del comfort termico.

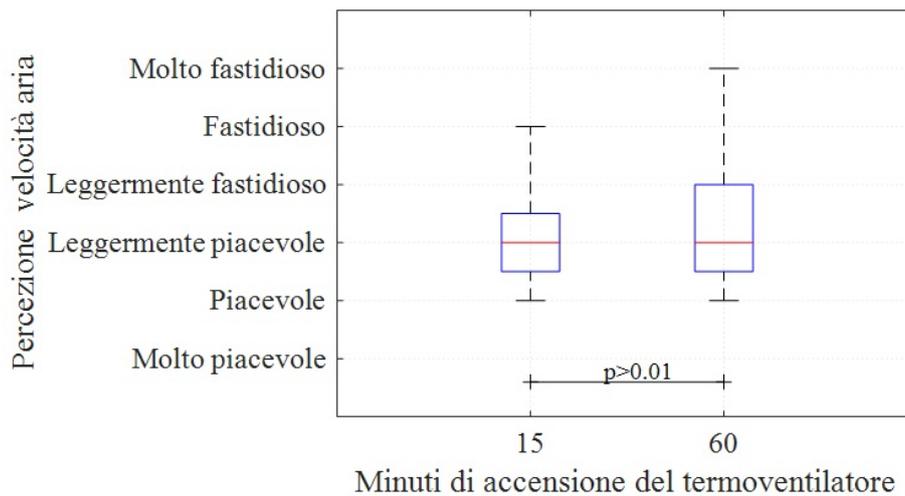


Figura 17 - Percezione della velocità dell'aria t_{15} - t_{60} (prodotto A)

Come si può osservare in figura 17, nonostante la mediana ricada sul voto *leggermente piacevole* in entrambi i *box-plot*, emerge un lieve aumento della dispersione dei dati, evidenziato da una distanza interquartilica crescente. Il terzo quartile, che all'istante t_{15} era posto in un range compreso tra i voti *leggermente piacevole* e *leggermente fastidioso*, trasla a una posizione allineata alla percezione *leggermente fastidioso*.

Il lieve peggioramento del comfort legato alla velocità dell'aria è evidenziato altresì dall'aumento della dimensione del *baffo superiore*, che individua un valore adiacente pari a *molto fastidioso* in riferimento all'istante t_{60} .

5.2.4 Modifiche desiderate

È stato chiesto ai *s.s.t.* di esprimere delle preferenze in merito alle modifiche desiderate sia riguardo la temperatura ambientale che la velocità dell'aria.

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

Per quanto concerne le variazioni termiche attese, come evidenziano i *box-plot* in figura 18, nei primi 15 minuti esse sono state solo parzialmente soddisfatte.

In riferimento all'istante t_0 , il primo quartile corrisponde alla mediana, che ricade sul voto *più freddo*, mentre il terzo quartile si trova in corrispondenza del voto *leggermente più freddo*.

Dopo 15 minuti di accensione del termoventilatore il primo quartile e la mediana si trovano allineati al voto *leggermente più freddo*, mentre il terzo quartile ricade sul voto *né più caldo né più freddo*.

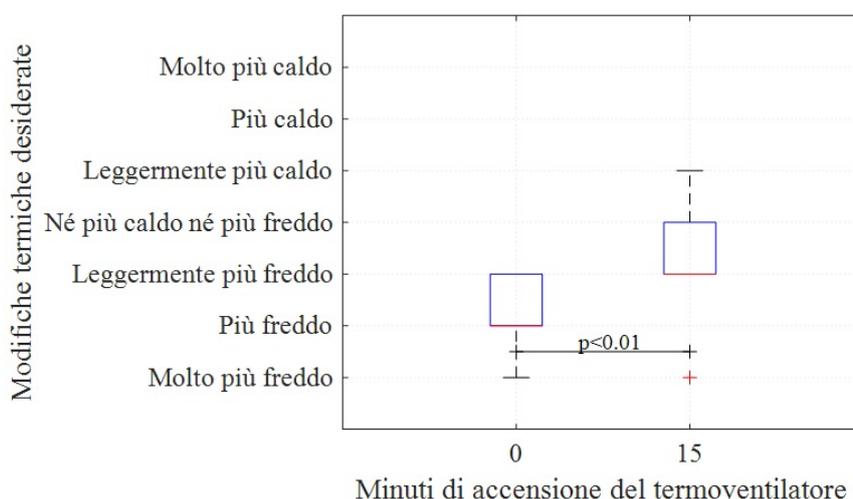


Figura 18 - Modifiche termiche desiderate $t_0 - t_{15}$ (prodotto A)

La figura 19 mostra come, a 60 minuti di funzionamento del dispositivo, si ha ancora un lieve miglioramento per quanto concerne le modifiche termiche desiderate. Nonostante il primo e il terzo quartile rimangano nelle medesime posizioni già viste, la mediana si pone ora in un range compreso tra *leggermente più freddo* e *né più caldo né più freddo*.

Sia in riferimento all'istante t_{15} che t_{60} , i *box-plot* evidenziano degli *outliers* in corrispondenza del voto *molto più freddo*.

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER
IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

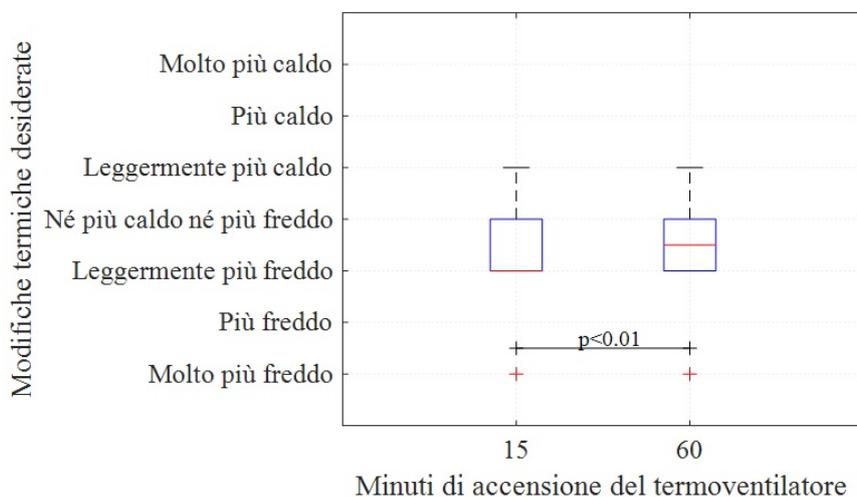


Figura 19 - Modifiche termiche desiderate t_{15} - t_{60} (prodotto A)

Per quanto concerne le modifiche inerenti la velocità dell'aria (figura 20), queste rimangono invariate, sottolineando – sia all'istante t_{15} che t_{60} – il desiderio di ridurre la velocità dell'aria immessa dal dispositivo in ambiente. In entrambi i *box-plot* la mediana, corrispondente al terzo quartile, si trova allineata alla valutazione *leggermente più lenta*, mentre il primo quartile è sul voto *né più veloce né più lenta*. Il desiderio di una riduzione della velocità dell'aria è emerso altresì dai commenti lasciati nella sezione dedicata del questionario.

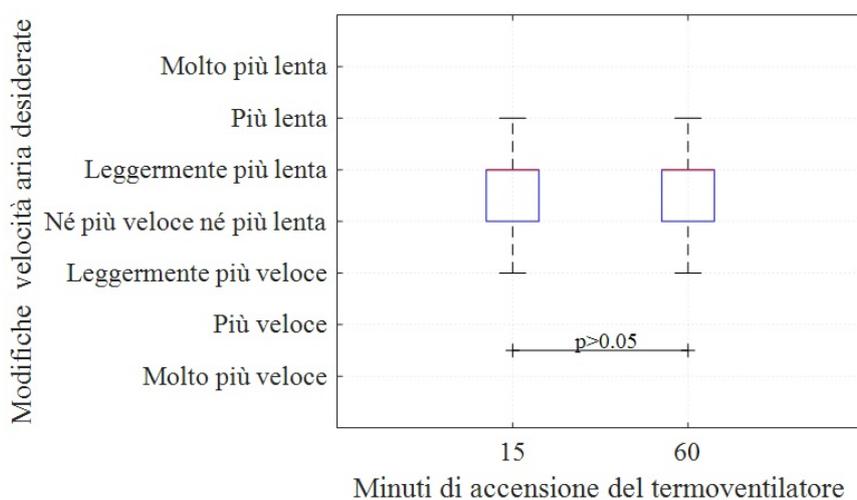


Figura 20 - Modifiche alla velocità dell'aria desiderate t_{15} - t_{60} (prodotto A)

5.2.5 Discomfort locale percepito

I dati raccolti riguardanti il discomfort locale sono stati analizzati e rappresentati graficamente mediante istogrammi.

Il discomfort locale provocato da temperatura ambientale particolarmente calda/fredda è stato analizzato agli istanti t_0 , t_{15} e t_{60} .

Come si evince dagli istogrammi rappresentati in figura 21, a seguito dell'accensione del dispositivo termoventilante, si nota una sostanziale diminuzione degli utenti che percepiscono discomfort localizzato dovuto a parti del corpo particolarmente e/o fastidiosamente calde.

All'istante t_0 , il 46.7% dei s.s.t. percepiva la faccia come particolarmente e/o fastidiosamente calda, dopo 15 minuti di utilizzo tale percentuale risulta dimezzata (23.3%), dopo 60 minuti solo il 6.7% degli utenti reputa tale parte del corpo ancora fastidiosamente calda.

Anche le aree del collo e del petto subiscono un netto decremento, passando rispettivamente da 23.3% e 33.3% in condizioni iniziali a 6.7% e 3.3% all'istante t_{60} .

Per quanto concerne le braccia, la frequenza relativa di soggetti che hanno avvertito una sensazione di fastidio diminuisce scarsamente nei primi 15 minuti (da 13.3% a 10%) per poi raggiungere valori estremamente bassi al termine della prova (3.3%).

La zona delle mani, nonostante non fosse interessata da una frequenza relativa particolarmente elevata in condizioni iniziali (13.3%), subisce anch'essa una diminuzione notevole giungendo al 3.3% all'istante t_{60} .

Per le zone di bacino e gambe si registrano delle frequenze relative pari rispettivamente a 26.7% e 36.7% prima dell'accensione del dispositivo, le quali decrescono rapidamente nei primi 15 minuti raggiungendo valori del 10%, che si manterranno costanti fino al termine del test.

È rimasta pressappoco invariata, invece, la percentuale di soggetti che hanno dichiarato di avvertire caldo ai piedi (da 16.7% a 13.3%), ciò probabilmente da imputarsi parzialmente al fatto che quasi tutti i soggetti indossassero delle calzature tali da impedire la dispersione di calore verso l'esterno.

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER
IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

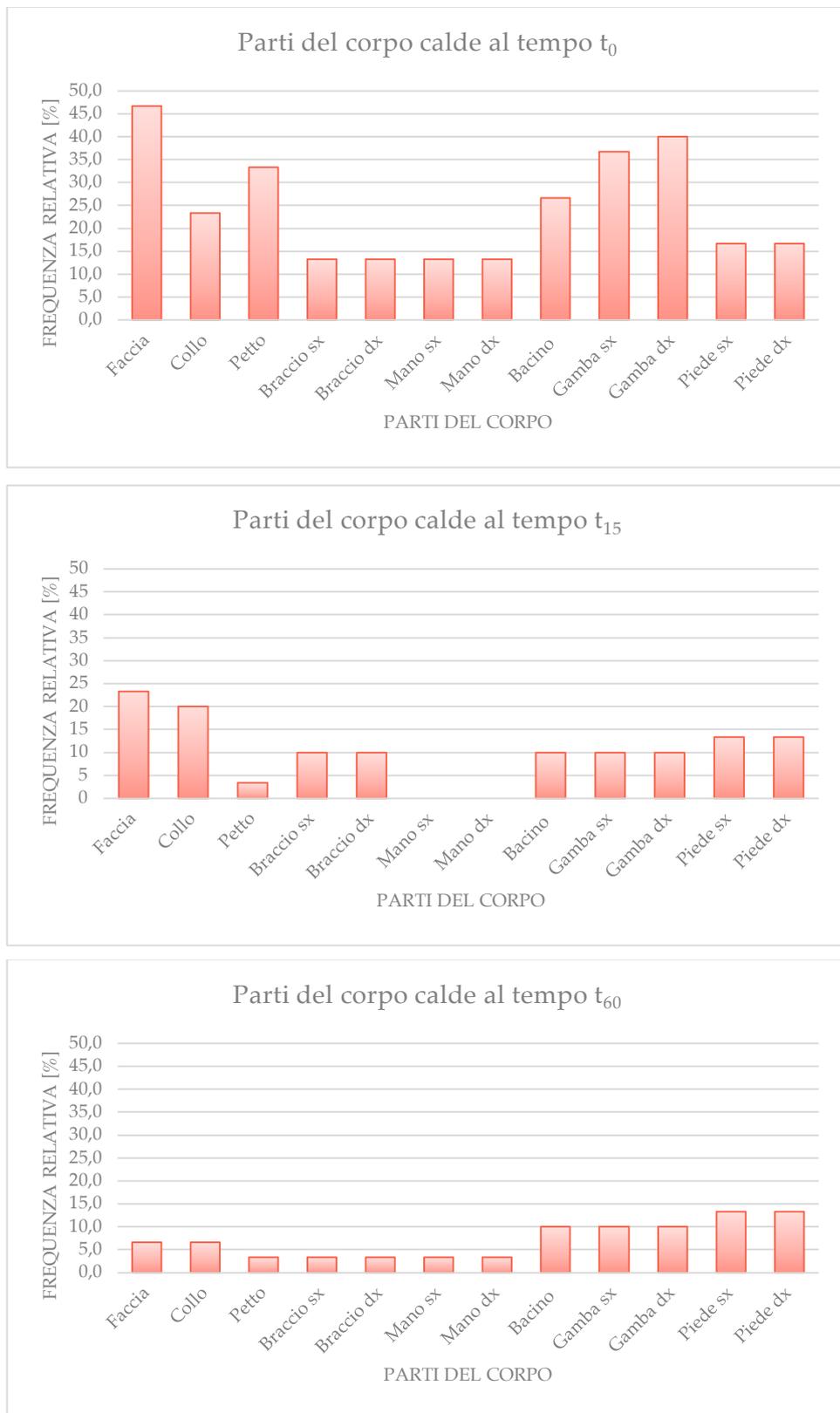


Figura 21 – Parti del corpo particolarmente calde (prodotto A)

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

I *s.s.t.* hanno altresì risposto a quesiti in merito al discomfort locale provocato da parti del corpo particolarmente e/o fastidiosamente fredde.

I dati ottenuti, raccolti negli istogrammi in figura 22, sono risultati coerenti con le informazioni già analizzate, evidenziando che l'effetto del getto d'aria emesso dal prodotto termoventilante risulta particolarmente efficace nella porzione alta del busto, soprattutto nelle zone comprese tra faccia e collo. Tale caratteristica, se da un lato ha determinato una forte riduzione della frequenza relativa di soggetti che avvertivano una sensazione di caldo fastidioso nelle suddette aree, dall'altro ha provocato una sensazione di discomfort in altri soggetti, i quali hanno percepito le zone di faccia e collo come particolarmente fredde. Ciò viene evidenziato da un aumento della frequenza relativa che passa dallo 0% in condizioni iniziali per entrambe le parti del corpo al 6.7% e 3.3% (rispettivamente per faccia e collo) al tempo t_{15} , per poi crescere ancora assestandosi fino al 10% dopo 60 minuti di funzionamento del dispositivo.

Anche per braccia e gambe si assiste a un lieve aumento della frequenza, anche se in misura inferiore rispetto ai valori riscontrati per la parte alta del busto.

È rimasta nulla, invece, la percentuale di soggetti che ha dichiarato di avvertire freddo alle zone di bacino e piedi.

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER
IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

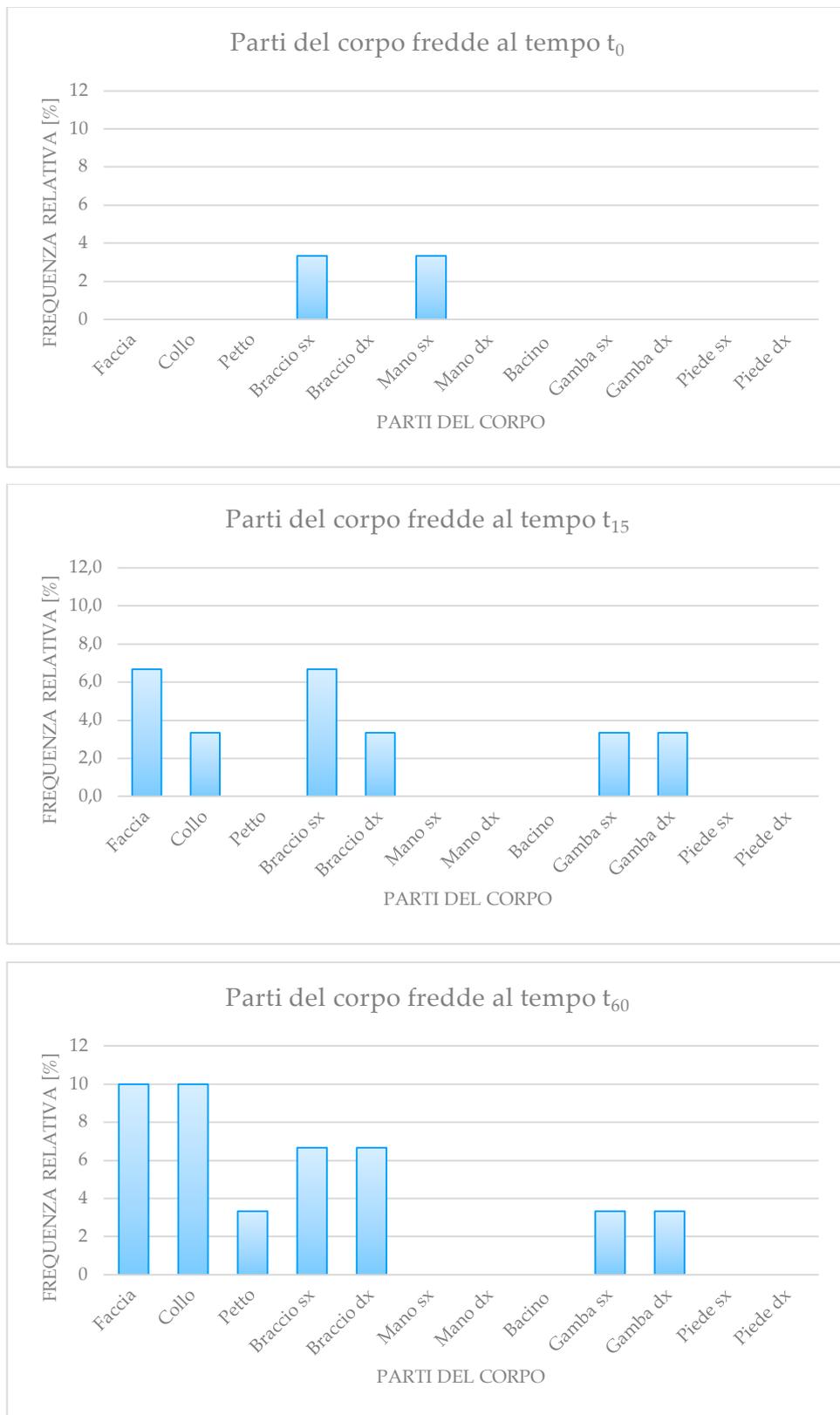


Figura 22 – Parti del corpo particolarmente fredde (prodotto A)

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

Ancora nell'ambito di discomfort locale, i *s.s.t.* hanno risposto ad alcuni quesiti in relazione alla percezione della velocità dell'aria in specifiche parti del corpo, al fine di valutare eventuali modifiche della direzione del getto per raggiungere livelli di comfort più soddisfacenti.

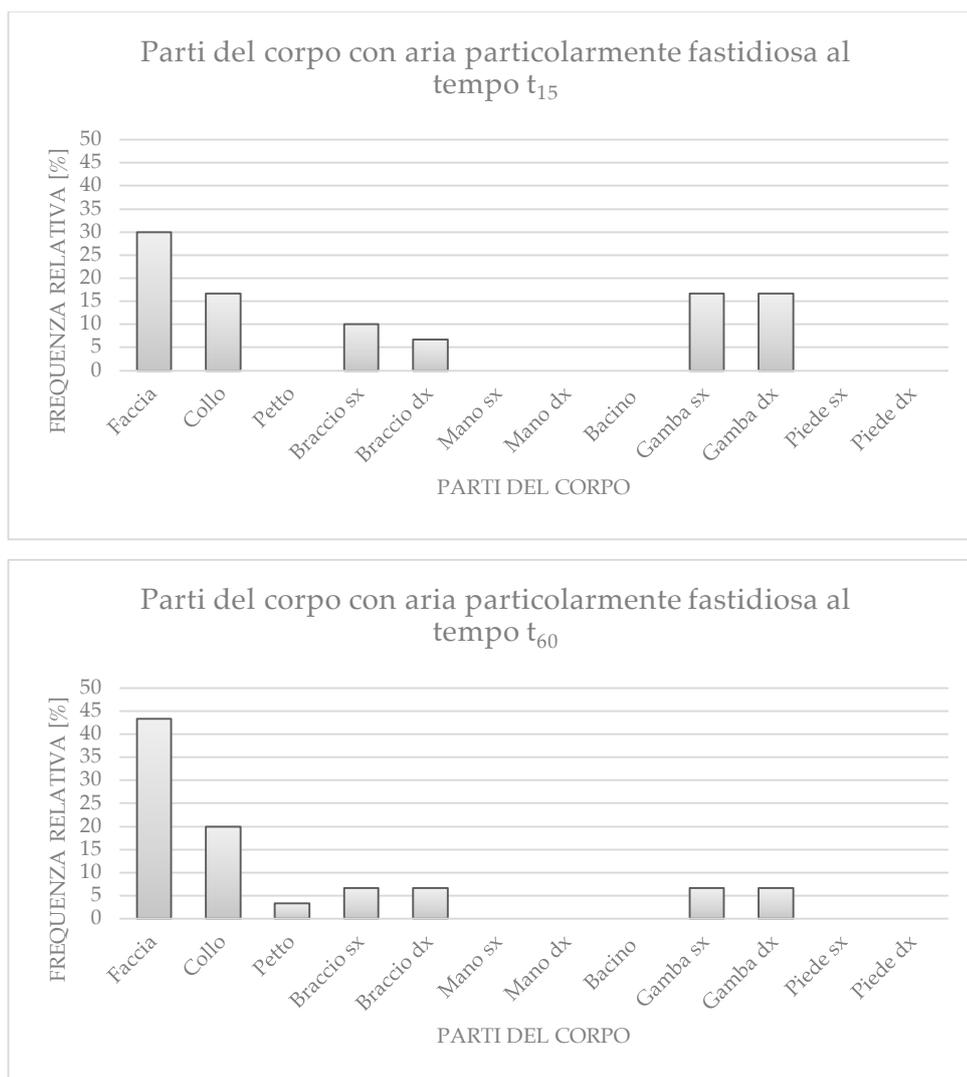


Figura 23 – Parti del corpo in cui l'aria è particolarmente fastidiosa (prodotto A)

Come si evince dagli istogrammi in figura 23, dopo 15 minuti di accensione del prodotto termoventilante, il 30% dei *s.s.t.* ha espresso di avvertire una sensazione di fastidio alla zona del viso legata alla velocità dell'aria. Tale percentuale aumenta fino a raggiungere il 43.3% all'istante t_{60} .

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

Anche per quanto riguarda il collo, emerge una situazione analoga: a 15 minuti dall'inizio del test la frequenza relativa legata al discomfort causato da un'eccessiva velocità dell'aria è pari al 16.7%, mentre alla fine della prova tale percentuale subisce un lieve incremento, assestandosi attorno al 20%.

Relativamente alle altre parti del corpo, la percentuale di soggetti che ha avvertito una sensazione di discomfort locale è molto bassa.

Tali dati confermano ulteriormente l'ipotesi di un flusso d'aria particolarmente orientato verso la zona superiore del corpo.

Analogamente, i soggetti hanno espresso dei voti in merito alle parti del corpo in cui l'aria risultasse particolarmente piacevole. I dati raccolti sono descritti tramite gli istogrammi in figura 24.

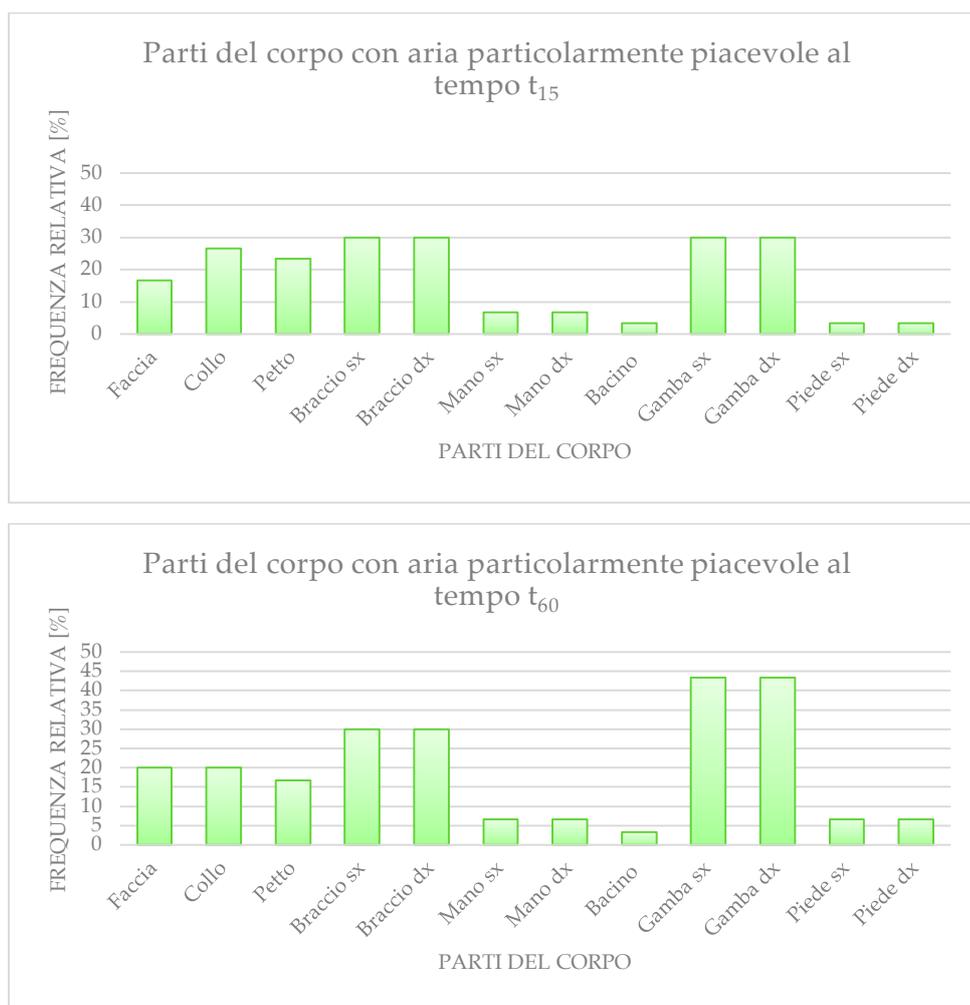


Figura 24 – Parti del corpo in cui l'aria è particolarmente piacevole (prodotto A)

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

La percentuale dei soggetti che percepiscono una sensazione piacevole legata alla velocità dell'aria subisce un debole incremento tra l'istante t_{15} e t_{60} pressoché relativamente a tutte le parti del corpo.

Si registra un particolare aumento della frequenza relativa solo per quanto riguarda la zona delle gambe, che passa dal 30% al 43.3%.

Le percentuali inerenti faccia, collo e petto subiscono solo una lieve variazione mantenendosi comunque intorno al 20%.

Braccia, mani e bacino non subiscono alcuna modifica attestandosi rispettivamente attorno a valori pari al 30%, 6.7% e 3.3%.

5.3 Risultati dei questionari sul prodotto B

I test svolti sul prodotto B hanno coinvolto 31 persone; l'analisi dei dati è stata svolta analogamente a quella già descritta per il prodotto A.

5.3.1 Sensazione termica percepita

I questionari compilati dai *s.s.t.* durante i test condotti con il prodotto B, riportati in allegato B, hanno permesso di raccogliere informazioni riguardo la sensazione termica percepita dai soggetti agli istanti t_0 , t_{15} e t_{60} .

I voti espressi dagli stessi utenti agli istanti t_0 e t_{15} sono stati raccolti in due gruppi e analizzati mediante il test di Wilcoxon per dati appaiati. Il risultato fa riferimento alla scala ASHRAE ed è riportato in figura 25.

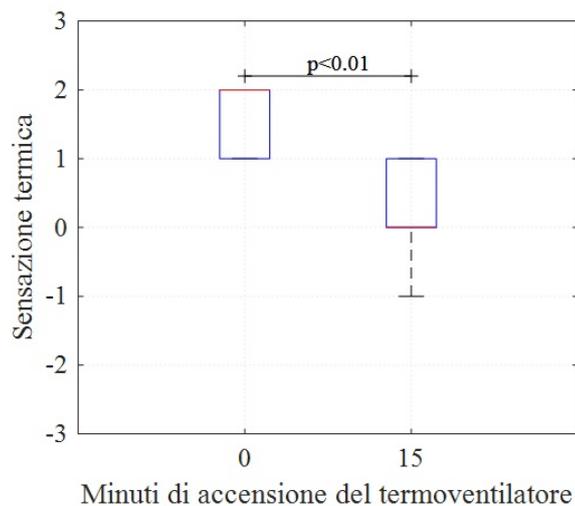


Figura 25 - Sensazione termica $t_0 - t_{15}$ (prodotto B)

La sensazione termica percepita dai *s.s.t.* a seguito dei primi 15 minuti di funzionamento del prodotto viene modificata di ben due punti sulla scala ASHRAE. In riferimento all'istante t_0 , il terzo quartile corrisponde alla mediana, che ricade sul voto +2, relativo alla sensazione termica *caldo*, mentre il primo quartile ricade sul voto +1, cioè *leggermente caldo*.

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

Dopo 15 minuti di accensione del termoventilatore, il primo quartile e la mediana si trovano allineati al voto 0, corrispondente alla sensazione di *neutralità termica*; il terzo quartile, invece, ricade sul voto +1 (*leggermente caldo*). Il *baffo inferiore* individua un valore adiacente relativo al valore -1, che corrisponde alla sensazione di *leggermente freddo*. Ciò evidenzia l'efficacia del prodotto termoventilante nel breve periodo.

Al fine di comprendere se tale sensazione termica permanga anche nel lungo periodo, vengono confrontati altresì i voti assegnati dagli stessi soggetti relativamente agli istanti t_{15} e t_{60} . Dal grafico rappresentato in figura 26, si nota come dopo 60 minuti di funzionamento del prodotto, nonostante la mediana continui a essere allineata alla sensazione di *neutralità termica*, il terzo quartile si trova compreso tra i voti +1 (corrispondente alla sensazione di *leggermente caldo*) e 0. Il *box-plot* relativo all'istante t_{60} presenta inoltre un *baffo* fino al valore +1. Non si rileva, pertanto, un sostanziale cambiamento della sensazione termica dell'utente.

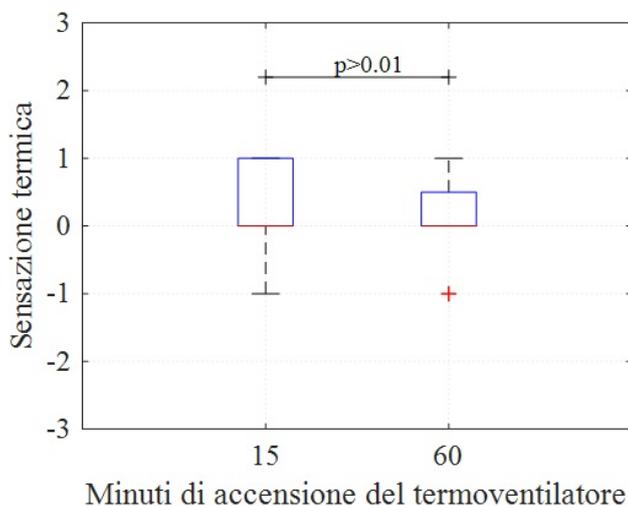


Figura 26 - Sensazione termica t_{15} - t_{60} (prodotto B)

5.3.2 Comfort termico percepito

Anche per quanto concerne il comfort ambientale relativo agli istanti t_0 , t_{15} e t_{60} , i voti espressi dagli utenti sono stati raccolti in due gruppi e analizzati mediante il test di Wilcoxon per dati appaiati.

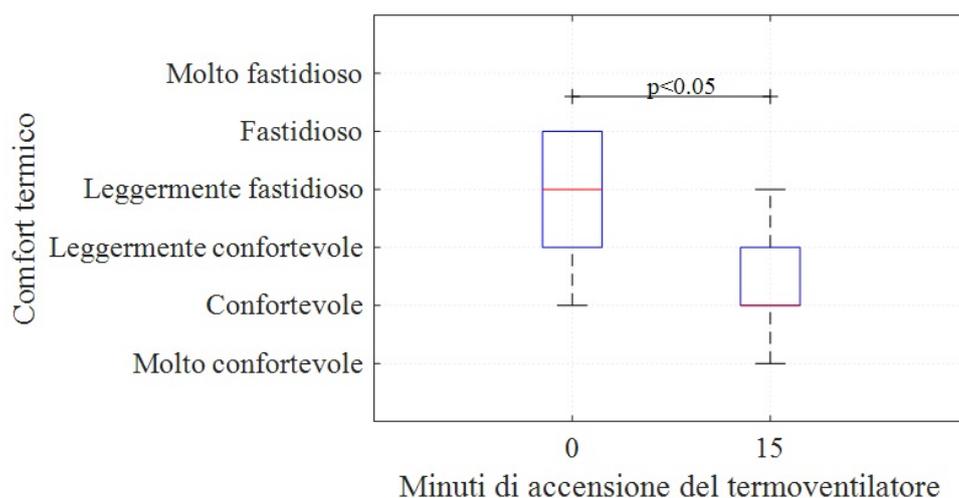


Figura 27 - Comfort termico $t_0 - t_{15}$ (prodotto B)

La distribuzione dei voti riguardanti il comfort dei *s.s.t.* rispecchia quanto già evidenziato dall'analisi delle sensazioni termiche degli stessi. Il comfort percepito dai soggetti a seguito dei primi 15 minuti di funzionamento del dispositivo viene migliorato di ben due voti (figura 27).

In riferimento all'istante t_0 , la mediana si trova allineata alla sensazione *leggermente fastidioso*. Il terzo quartile è su una sensazione corrispondente a *fastidioso*, mentre il primo quartile su *leggermente confortevole*. I valori adiacenti individuati dal *baffo inferiore* corrisponde alla sensazione *confortevole*. Nel *box-plot* analizzato non sono stati riscontrati *outliers*.

Dopo 15 minuti di accensione del termoventilatore, il primo quartile e la mediana si trovano allineati alla sensazione *confortevole*. Il terzo quartile è su una sensazione corrispondente a *leggermente confortevole*.

Il miglioramento netto riguardo le sensazioni termiche, osservato nell'analisi precedente, è coerente con le risposte fornite in merito al comfort.

In figura 28 è possibile osservare il comfort espresso anche dopo 60 minuti di funzionamento del dispositivo termoventilante, che risulta essere il medesimo rispetto a quanto già descritto in riferimento all'istante t_{15} .

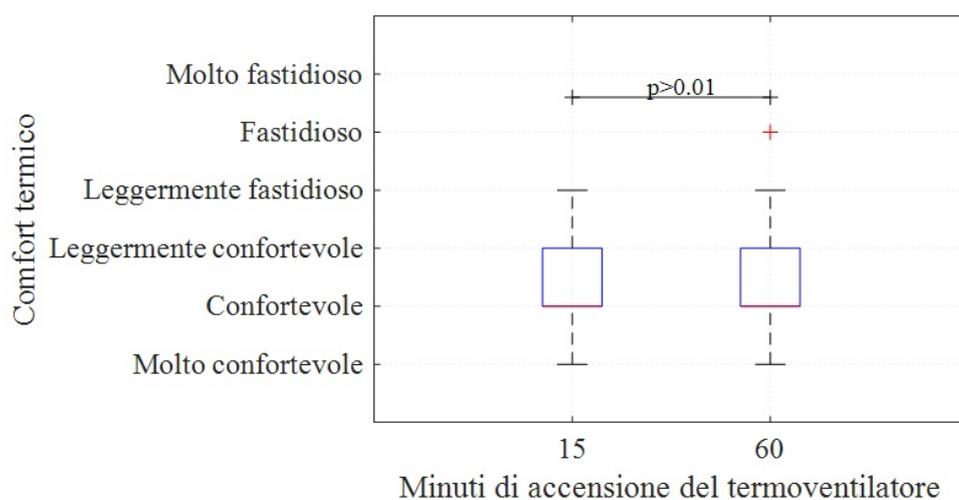


Figura 28 - Comfort termico t_{15} - t_{60} (prodotto B)

Coerentemente con quanto già rilevato in merito alla sensazione termica dei *s.s.t.*, non si evince un sostanziale cambiamento del comfort dopo 60 minuti di funzionamento del prodotto.

5.3.3 Velocità dell'aria percepita

Come già visto relativamente al prodotto A, per quanto attiene al discomfort generale e locale dovuto a correnti d'aria percepito dai soggetti agli istanti t_0 , t_{15} e t_{60} , è stata utilizzata la medesima scala già impiegata per la valutazione del comfort termico.

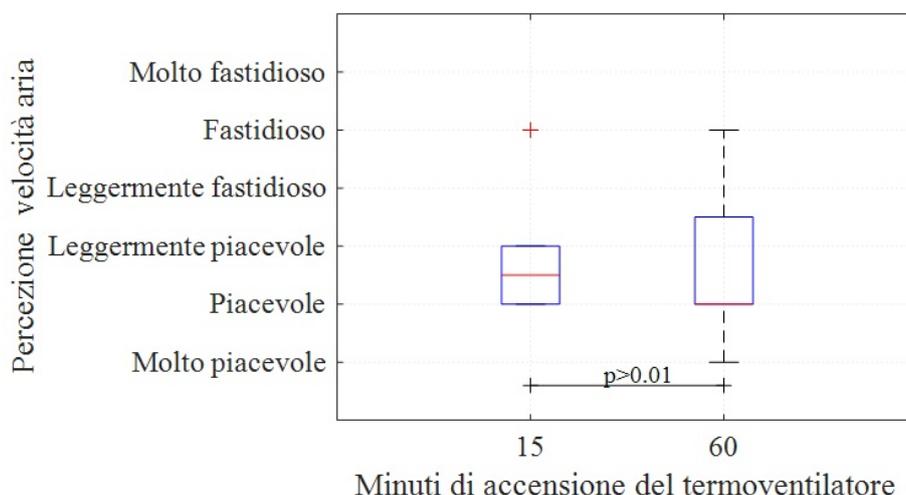


Figura 29 - Percezione della velocità dell'aria t_{15} - t_{60} (prodotto B)

Come si può osservare in figura 29, la mediana ricade in un range compreso tra i voti *piacevole* e *leggermente piacevole* in riferimento all'istante t_{15} , per poi assestarsi sul voto *piacevole* all'istante conclusivo della prova. Contestualmente a questo lieve miglioramento, si può notare un leggero aumento della dispersione dei dati, evidenziato da una distanza interquartilica crescente. Il terzo quartile, che all'istante t_{15} era posto in corrispondenza del voto *leggermente piacevole*, trasla in una posizione compresa tra *leggermente piacevole* e *leggermente fastidioso*.

Tale dispersione dei dati è evidenziata altresì dalla presenza del *baffo superiore*, che individua un valore adiacente pari a *fastidioso* in riferimento all'istante t_{60} .

5.3.4 Modifiche desiderate

Come nel caso del prodotto A, è stato chiesto ai *s.s.t.* di esprimere delle preferenze in merito alle modifiche desiderate sia riguardo la temperatura ambientale che la velocità dell'aria.

Per quanto concerne le variazioni termiche attese, come evidenziano i *box-plot* in figura 30, nei primi 15 minuti esse sono state quasi del tutto soddisfatte.

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

In riferimento all'istante t_0 , il primo quartile, il terzo quartile e la mediana si trovano allineati sul voto *più freddo*. Gli outliers individuati dal *box-plot* sono posizionati invece su *molto più freddo* e *leggermente più freddo*.

Dopo 15 minuti di accensione del termoventilatore, la mediana si trova compresa tra i voti *leggermente più freddo* e *né più caldo né più freddo*, mentre il terzo ed il primo quartile sono posizionati rispettivamente in corrispondenza dei voti *né più caldo né più freddo* e *leggermente più freddo*.

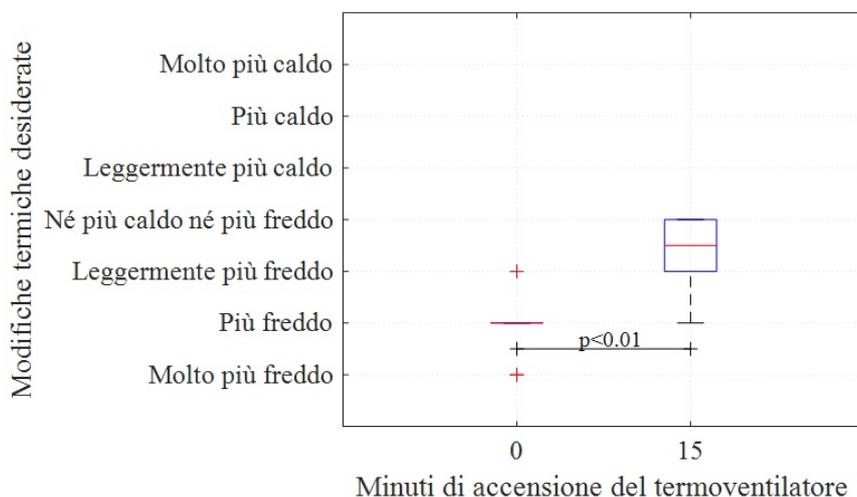


Figura 30 - Modifiche termiche desiderate $t_0 - t_{15}$ (prodotto B)

La figura 31 mostra come, a 60 minuti di funzionamento del dispositivo, si ha un lieve peggioramento per quanto concerne le modifiche termiche desiderate. Nonostante il terzo quartile rimanga nella medesima posizione, sia la mediana che il primo quartile traslano di mezzo voto, collocandosi rispettivamente in corrispondenza del voto *leggermente più freddo* e in un range compreso tra i voti *leggermente più freddo* e *più freddo*.

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER
IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

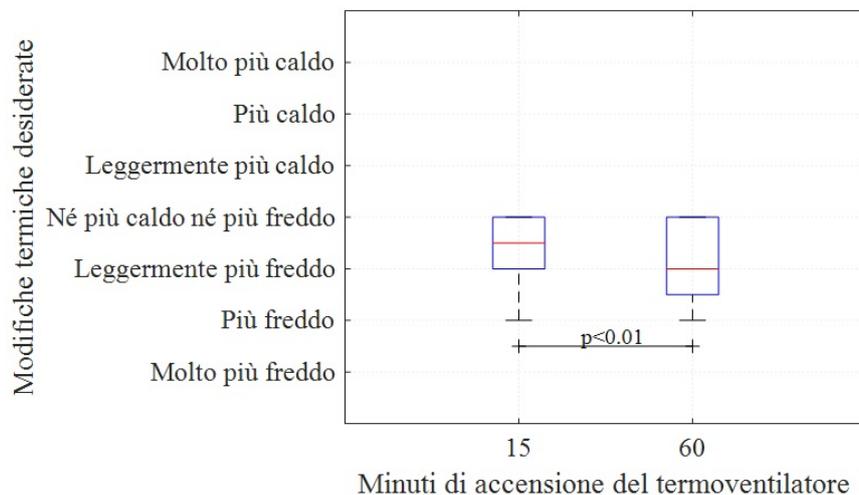


Figura 31 - Modifiche termiche desiderate t_{15} - t_{60} (prodotto B)

Il non completo soddisfacimento delle modifiche termiche desiderate può essere imputabile al fatto che non vi è, durante lo svolgimento delle prove, una sostanziale variazione di temperatura, la quale si mantiene perlopiù compresa tra i 28 e i 29 °C. Il dispositivo, infatti, non immette in ambiente un carico termico negativo, bensì il suo ruolo è demandato alla sola movimentazione dell'aria. Il miglioramento delle sensazioni termiche è dovuto al fatto che l'aria immessa, proprio perché in movimento, consente una maggiore dispersione di calore dal corpo umano verso l'esterno.

Per quanto concerne le modifiche inerenti la velocità dell'aria (figura 32), queste subiscono un lieve miglioramento, esprimendo comunque il desiderio di ridurre la velocità dell'aria immessa dal dispositivo in ambiente. In entrambi i *box-plot* il terzo ed il primo quartile si trovano rispettivamente allineati ai voti *leggermente più lenta* e *né più veloce né più lenta*, mentre la mediana trasla da *leggermente più lenta* all'istante t_{15} a *né più veloce né più lenta* al termine dalla prova.

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

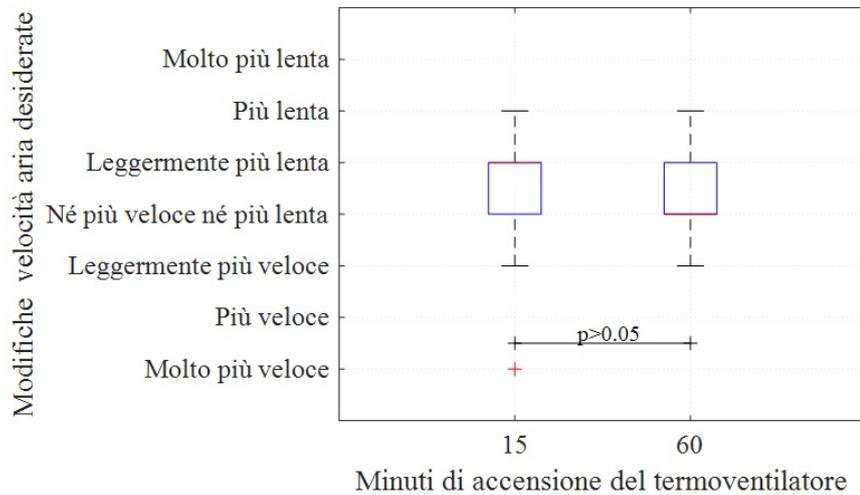


Figura 32 - Modifiche alla velocità dell'aria desiderate $t_{15} - t_{60}$ (prodotto B)

5.3.5 Discomfort locale percepito

Come si evince dagli istogrammi rappresentati in figura 33, a seguito dell'accensione del dispositivo termoventilante, si nota una diminuzione degli utenti che percepiscono discomfort localizzato dovuto a parti del corpo particolarmente e/o fastidiosamente calde.

All'istante t_0 , il 36.7% dei *s.s.t.* percepiva la faccia come particolarmente e/o fastidiosamente calda, dopo 15 minuti di utilizzo tale percentuale risulta pari al 30%, dopo 60 minuti vi è un lieve peggioramento (33.3%).

Anche le aree del collo e del petto subiscono un decremento, passando rispettivamente da 33.3% e 30% in condizioni iniziali a 16.7% e 10% all'istante t_{60} .

Per quanto concerne le braccia, la frequenza relativa di soggetti che hanno avvertito una sensazione di fastidio diminuisce nettamente nei primi 15 minuti, dal 13.3% fino all'annullamento. Tale condizione permane fino al completamento della prova.

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

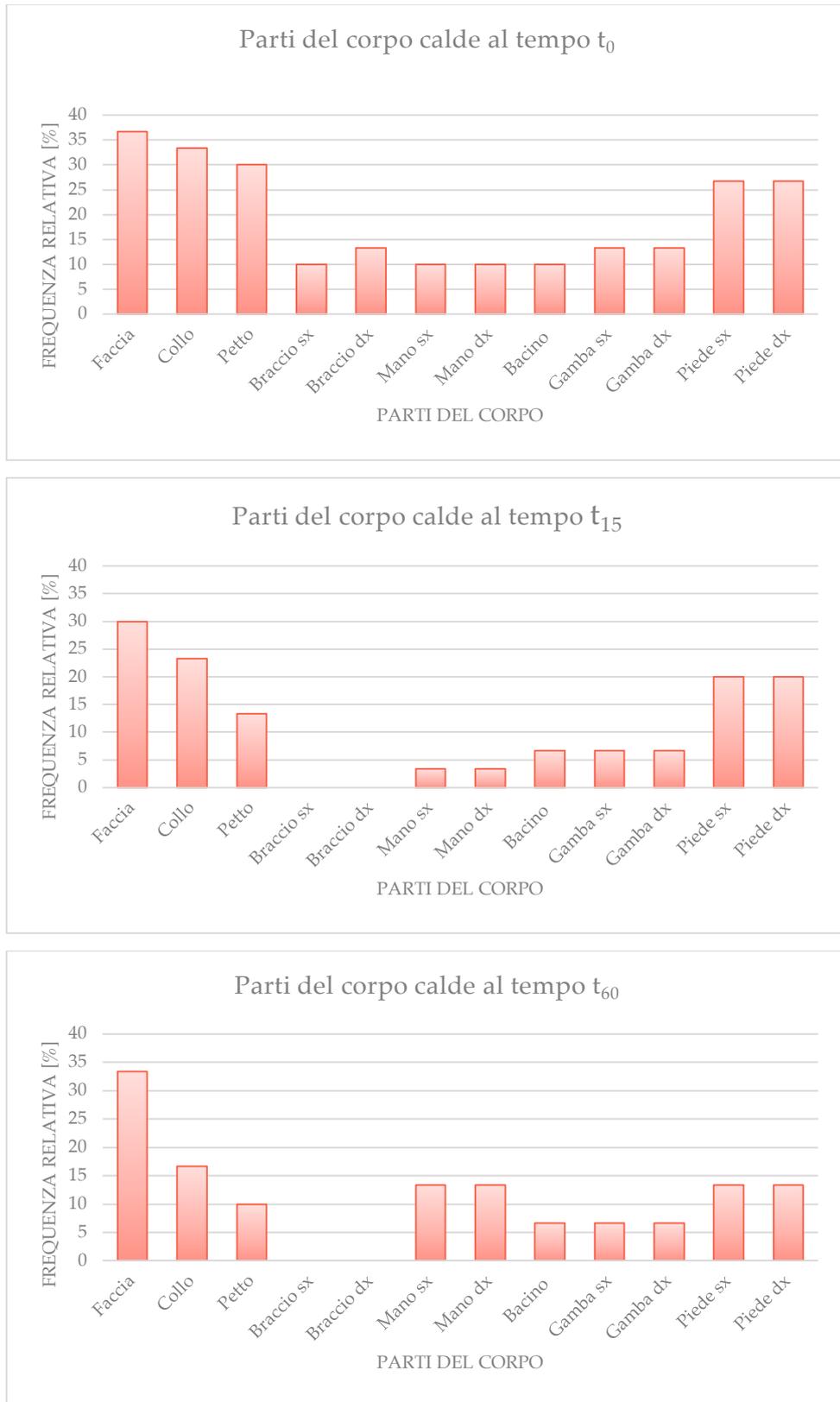


Figura 33 – Parti del corpo particolarmente calde (prodotto B)

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

La zona delle mani subisce un andamento anomalo; tale parte del corpo, che era interessata da una frequenza relativa piuttosto bassa in condizioni iniziali (10%), subisce un netto decremento nei primi 15 minuti di funzionamento del dispositivo, attestandosi attorno a un valore pari a 3.3%, per poi aumentare nuovamente all'istante t_{60} , raggiungendo il 13.3%.

Per le zone di bacino e gambe si registrano delle frequenze relative pari rispettivamente a 10% e 13.3% prima dell'accensione del dispositivo, le quali decrescono rapidamente nei primi 15 minuti raggiungendo valori del 6.7%, che si mantengono costanti fino all'istante t_{60} .

Si registra un decremento crescente della percentuale di soggetti che hanno dichiarato di avvertire caldo ai piedi, registrando delle frequenze relative pari rispettivamente a 26.7%, 20%, 13.3% in riferimento agli istanti temporali analizzati.

I *s.s.t.* hanno altresì risposto a quesiti in merito al discomfort locale provocato da parti del corpo particolarmente e/o fastidiosamente fredde. I dati ottenuti, raccolti negli istogrammi in figura 34, hanno evidenziato che l'effetto del getto d'aria emesso dal prodotto termoventilante risulta particolarmente efficace nella zona del busto, soprattutto in corrispondenza delle braccia. Tale caratteristica, se da un lato ha determinato una forte riduzione della frequenza relativa di soggetti che avvertivano una sensazione di caldo fastidioso nella suddetta area, dall'altro ha provocato una sensazione di discomfort in altri soggetti, i quali hanno percepito le braccia come particolarmente fredde. Ciò viene evidenziato da un aumento della frequenza relativa che passa dallo 0% in condizioni iniziali al 10% al tempo t_{15} , per poi decrescere lievemente assestandosi intorno al 6.7% dopo 60 minuti di funzionamento del dispositivo.

Anche per faccia e collo si assiste a un lieve aumento della frequenza relativa (inizialmente nulla), che si assesta rispettivamente sui valori del 10% e 3.3% al termine della prova.

Piuttosto bassa la percentuale di soggetti che avvertono la zona di gambe e piedi come particolarmente fredda, pari al 3.3% sia all'istante t_0 che all'istante t_{60} del test.

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

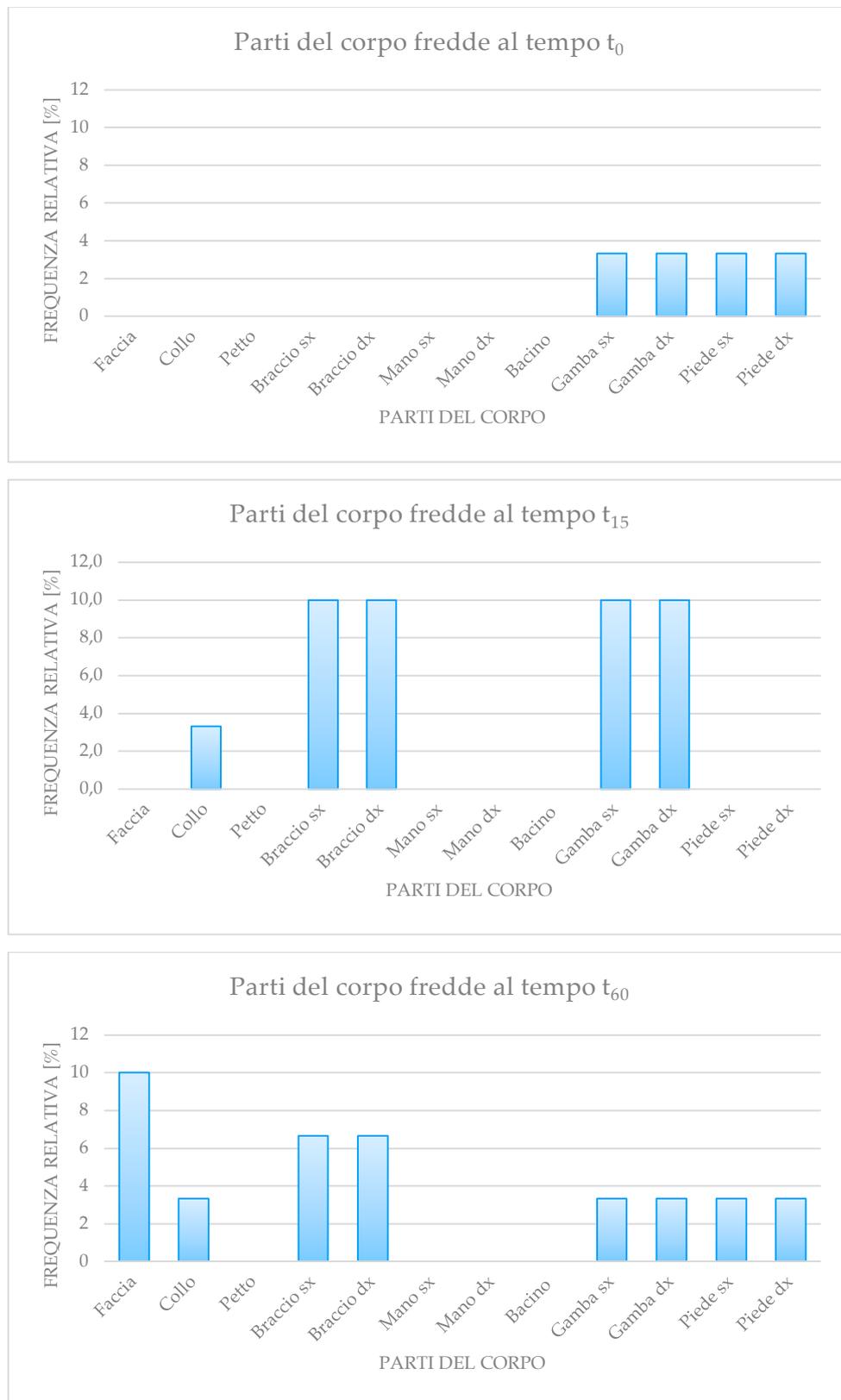


Figura 34 – Parti del corpo particolarmente fredde (prodotto B)

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

È rimasta nulla, invece, la percentuale di utenti che ha dichiarato di avvertire freddo alle zone di petto e mani.

Ancora nell'ambito di discomfort locale, i *s.s.t.* hanno risposto ad alcuni quesiti in relazione alla percezione della velocità dell'aria in specifiche parti del corpo; l'analisi dei dati è descritta dagli istogrammi riportati in figura 35.

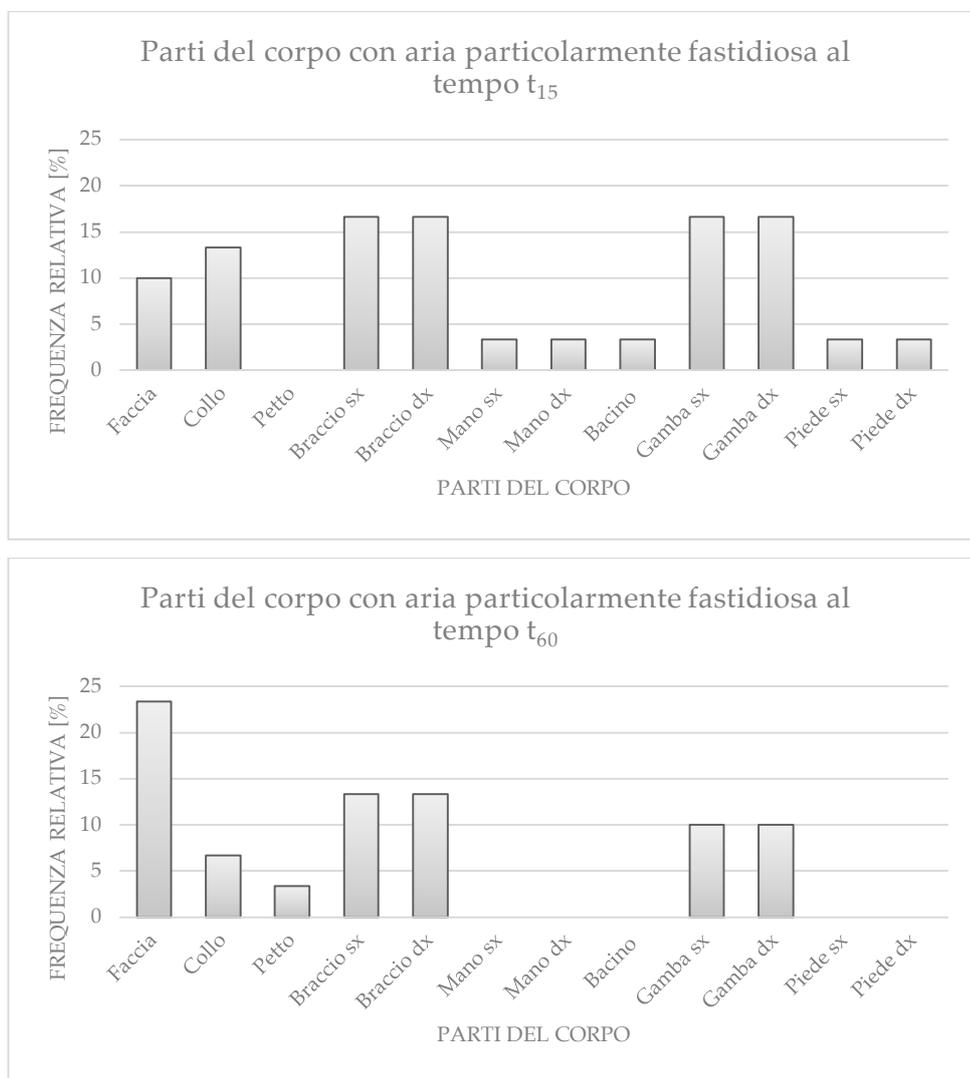


Figura 35 – Parti del corpo in cui l'aria è particolarmente fastidiosa (prodotto B)

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

Dopo 15 minuti di accensione del prodotto termoventilante, il 10% dei *s.s.t.* ha dichiarato di avvertire una sensazione di fastidio alla zona del viso. Tale percentuale aumenta fino a raggiungere il 23.3% all'istante t_{60} .

Per quanto riguarda il collo, a 15 minuti dall'inizio del test la frequenza relativa legata al discomfort causato da un'eccessiva velocità dell'aria è pari al 13.3%, mentre alla fine della prova tale percentuale subisce un lieve decremento, assestandosi attorno al 6.7%.

Relativamente a braccia e gambe, assistiamo a una lieve diminuzione delle frequenze relative, che passano dal 16.7% (per entrambe le aree) in riferimento all'istante t_{15} , al 13.3% e 10% (rispettivamente per braccia e gambe) al termine della prova.

In merito alle altre parti del corpo la percentuale di soggetti che ha avvertito una sensazione di discomfort locale è molto bassa.

Tali dati confermano ulteriormente l'ipotesi di un flusso d'aria particolarmente orientato verso la zona del busto.

Analogamente, i soggetti hanno espresso dei voti in merito alle parti del corpo in cui l'aria risultasse particolarmente piacevole.

Come si evince dagli istogrammi rappresentati in figura 36, la percentuale dei soggetti che percepiscono una sensazione piacevole legata alla velocità dell'aria non subisce alcuna variazione tra l'istante t_{15} e t_{60} pressoché relativamente a tutte le parti del corpo.

Si registra solo un lieve decremento in relazione al petto, la cui frequenza relativa passa dal 13.3% per l'istante t_{15} a 3.3% al termine del test.

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER
IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

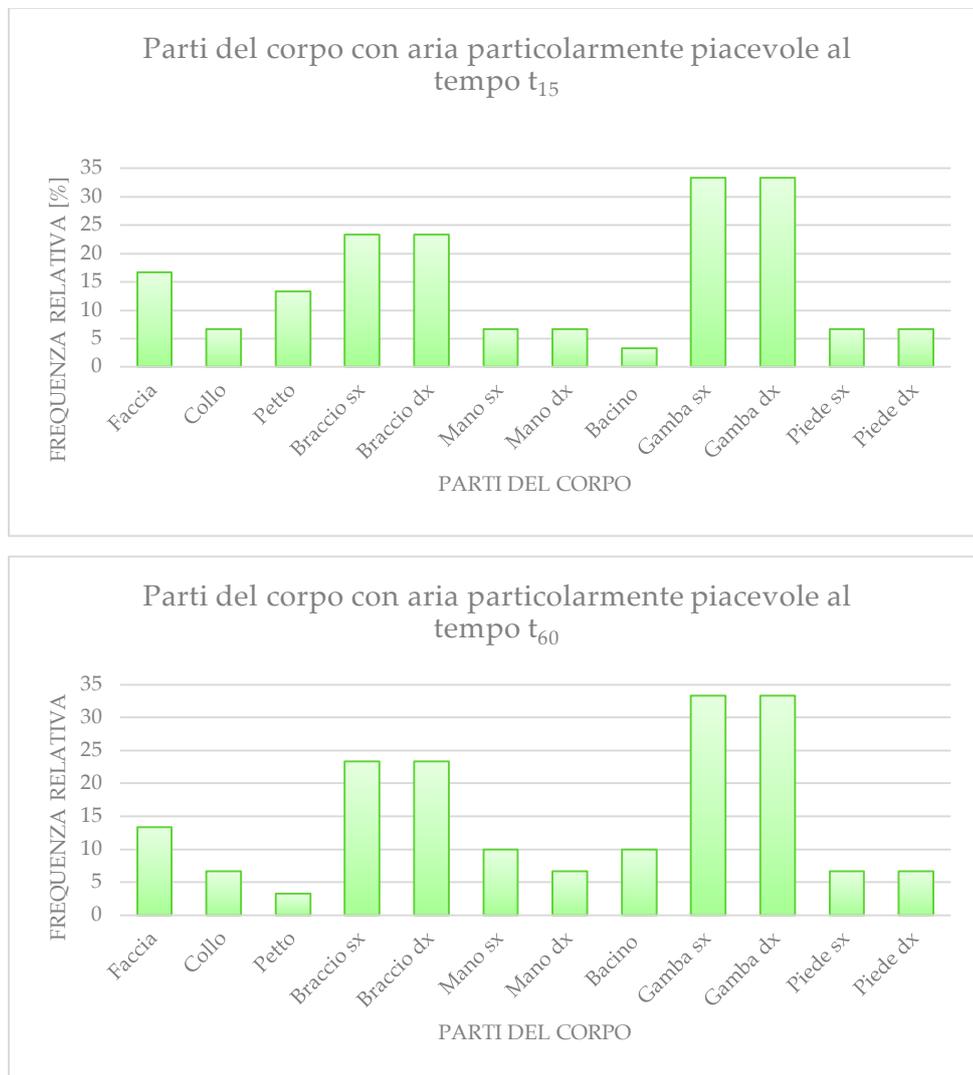


Figura 36 – Parti del corpo in cui l'aria è particolarmente piacevole (prodotto B)

5.4 Confronto tra i due prodotti termoventilanti

Dopo aver analizzato separatamente i dati raccolti a seguito dei test condotti sui due dispositivi termoventilanti, si è proceduto al confronto. Quest'ultimo è stato effettuato mediante applicazione del Friedman test al fine di valutare le differenze più significative tra i due prodotti.

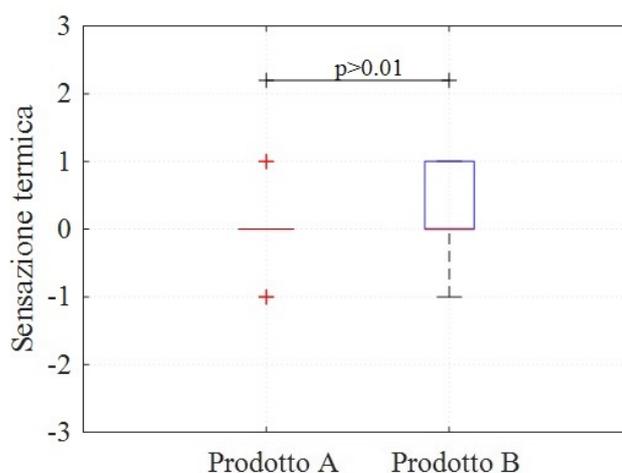


Figura 37 – Confronto sensazione termica t_{15}

Come evidenziato dai *box-plot* rappresentati in figura 37, la distribuzione dei voti raccolti in merito alla sensazione termica percepita dai soggetti dopo 15 minuti dall'inizio della prova risulta essere piuttosto simile. La mediana, infatti, cade sul voto 0, corrispondente alla sensazione di *neutralità termica*, in entrambi i casi. Si evidenzia una maggiore dispersione dei dati in relazione al prodotto B, per il quale il terzo quartile cade sul valore +1 (*leggermente caldo*).

Relativamente all'istante t_{60} (figura 38), emerge un quasi completo soddisfacimento delle sensazioni termiche con entrambi i prodotti. I due *box-plot* non presentano significative differenze: sia quello riguardante il prodotto A che il prodotto B presenta la mediana in corrispondenza del voto 0 (*neutralità termica*) e una distanza interquartilica ridotta.

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER
IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

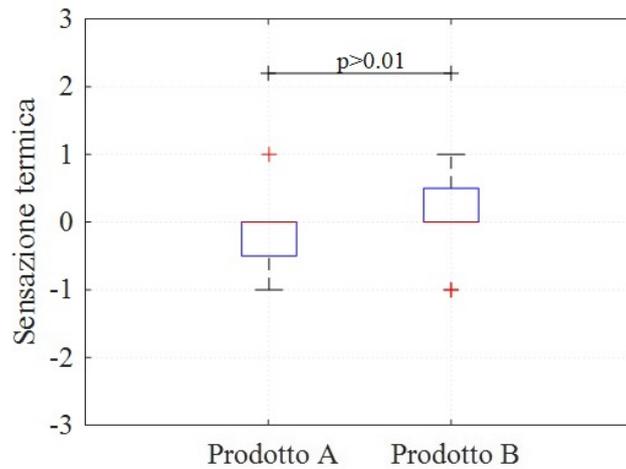


Figura 38 – Confronto sensazione termica t_{60}

Per quanto concerne il comfort termico, i dati raccolti confermano quanto già evidenziato dai precedenti *box-plot* riguardanti le sensazioni termiche percepite dai soggetti. All'istante t_{15} (figura 34), la mediana (coincidente con il primo quartile) si trova in corrispondenza del voto *confortevole* utilizzando sia l'uno che l'altro dispositivo termoventilante. Anche il terzo quartile si trova nella medesima posizione in entrambi i casi, allineandosi al voto *leggermente confortevole*. Nuovamente emerge una maggiore dispersione di dati, seppur minima, relativamente al prodotto B, per il quale un *baffo inferiore* si estende fino al voto *molto confortevole*.

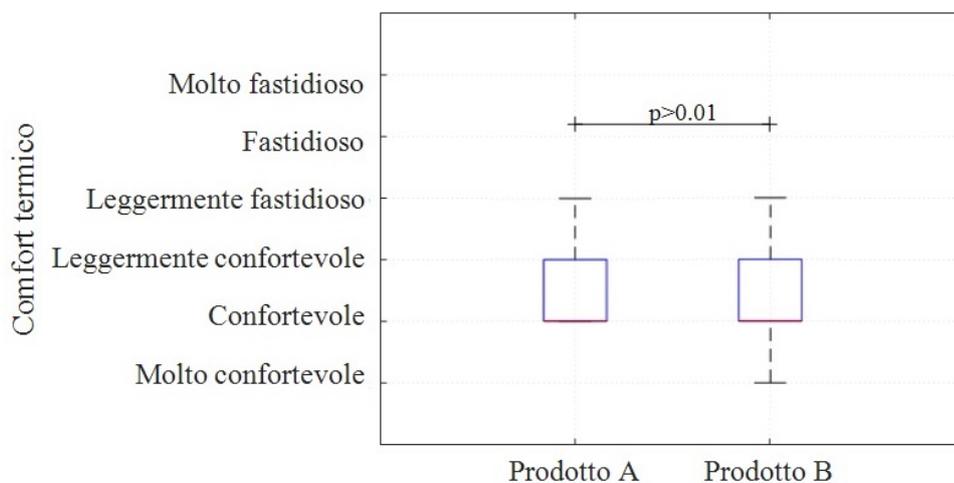


Figura 39 – Confronto comfort termico t_{15}

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

In relazione all'istante t_{60} , la mediana, coincidente con il primo quartile, permane in entrambi i casi in corrispondenza del voto *confortevole* anche dopo 60 minuti di utilizzo del dispositivo.

Relativamente al prodotto A, il terzo quartile subisce una lieve traslazione passando dal voto *leggermente confortevole* a una posizione compresa in un intervallo tra *leggermente confortevole* e *leggermente fastidioso*.

Ciò non avviene con il prodotto B, il cui *box-plot* risulta pressoché invariato rispetto all'istante precedentemente analizzato.

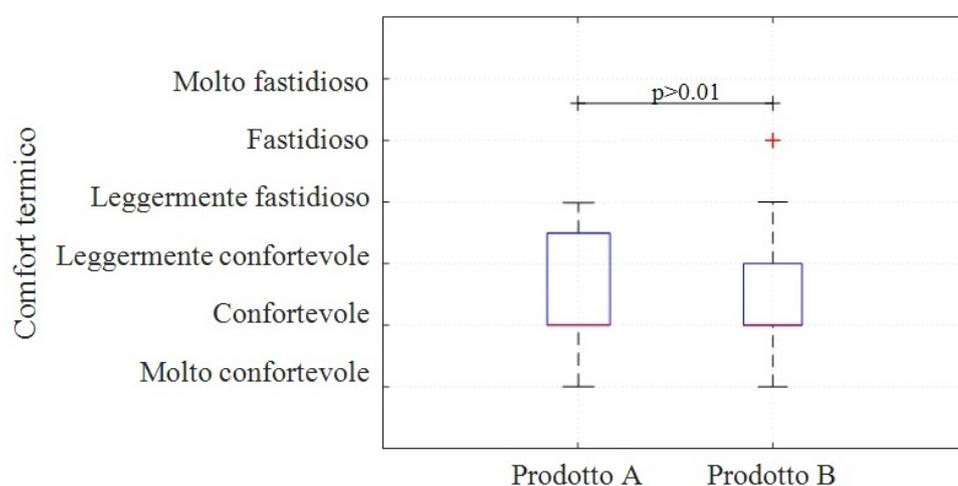


Figura 40 – Confronto comfort termico t_{60}

Per quanto concerne la percezione della velocità dell'aria all'istante t_{15} (figura 41), non si riscontrano differenze significative tra i due prodotti. Relativamente al prodotto A, la mediana si trova in corrispondenza del voto *leggermente piacevole* mentre il primo e il terzo quartile cadono rispettivamente sui voti compresi tra *piacevole* – *leggermente piacevole* e *leggermente piacevole* – *leggermente fastidioso*. Il *box.plot* inerente il prodotto B evidenzia una migliore, seppur minima, percezione della velocità dell'aria a seguito dei primi 15 minuti di utilizzo di questo dispositivo rispetto al dispositivo A. La mediana è collocata in un intervallo compreso tra i voti *piacevole* e *leggermente piacevole*, mentre il primo e il terzo quartile si trovano rispettivamente in corrispondenza dei voti *piacevole* e *leggermente piacevole*.

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER
IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

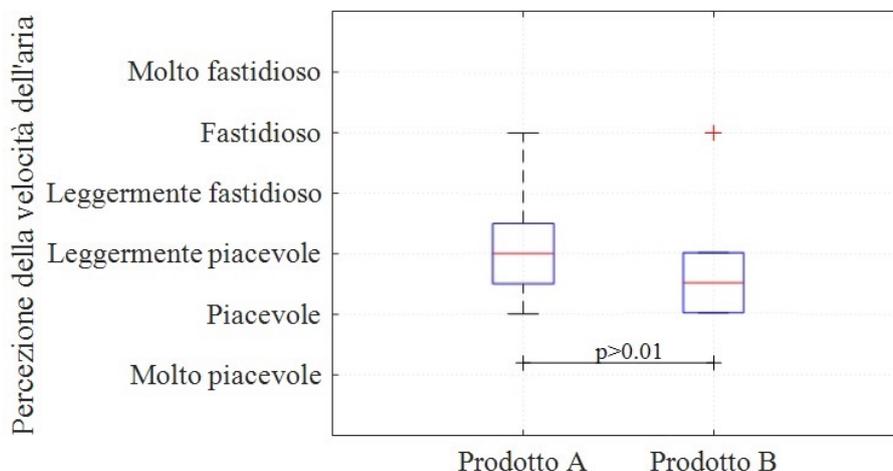


Figura 41 – Confronto percezione della velocità dell'aria t_{15}

In figura 42 sono messe a confronto le distribuzioni sulla percezione della velocità dell'aria dopo 60 minuti di azionamento dei due prodotti. In entrambi i casi viene evidenziata una maggiore dispersione dei dati, testimoniata da una distanza interquartilica crescente rispetto a quanto visto in figura 41. Per ciò che riguarda il *box-plot* relativo al prodotto A, la mediana mantiene la medesima posizione già vista all'istante temporale precedentemente analizzato, cioè allineata al voto *leggermente piacevole*. Si nota invece un leggero miglioramento relativamente al prodotto B; in questo caso la mediana del *box-plot* in esame trasla di mezzo voto, attestandosi in corrispondenza del voto *piacevole*.

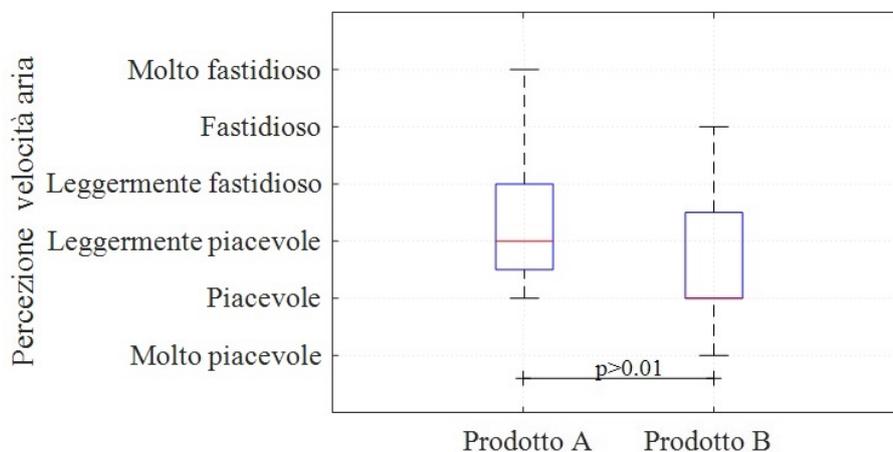


Figura 42 – Confronto percezione della velocità dell'aria t_{60}

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

Per quanto riguarda le modifiche desiderate sulla velocità dell'aria all'istante t_{15} , non emergono sostanziali differenze tra i due dispositivi, i cui *box-plot* relativi risultano essere pressoché identici (figura 43). Ciò conferma quanto già sottolineato dai diagrammi in figura 41, i quali testimoniavano una percezione della velocità dell'aria simile con l'utilizzo dei due dispositivi.

Dopo 60 minuti, la percezione dell'aria rimane invariata per gli utenti che hanno testato il prodotto A, mentre migliora leggermente per i soggetti che si sono sottoposti al test con il prodotto B. Nel primo caso la mediana si mantiene posizionata in corrispondenza del voto *leggermente più lenta*, nel secondo trasla da *leggermente più lenta* a *né più veloce né più lenta*, confermando anche in questo caso quanto già anticipato dall'analisi dei *box-plot* relativi alla percezione della velocità dell'aria all'istante t_{60} (figura 44).

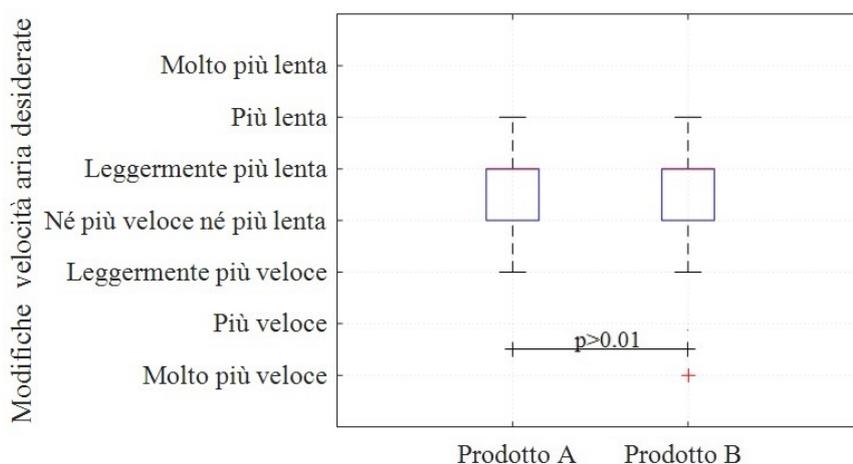


Figura 43 – Confronto modifiche desiderate sulla velocità dell'aria t_{15}

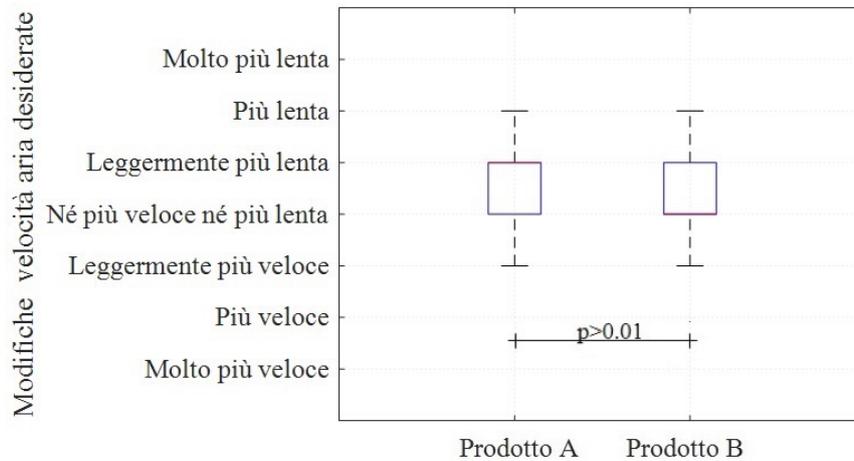


Figura 44 – Confronto percezione della velocità dell'aria t_{60}

5.5 Focus sulle principali differenze riscontrate tra i due prodotti

Dall'analisi dei dati raccolti sui due dispositivi, è emerso quanto segue:

1. Relativamente al comfort termico, dopo 15 minuti dall'accensione del prodotto A il 46.67% dei soggetti esprimeva soddisfazione in merito alle condizioni termiche percepite (*neutralità termica*). Tale percentuale è leggermente superiore se consideriamo i test condotti sul prodotto B (51.61%).
2. In riferimento all'istante t_{60} , emerge una sostanziale crescita degli utenti che percepiscono una sensazione di neutralità termica a seguito della prova con il prodotto A, raggiungendo il 60% di utenti soddisfatti. Non si riscontra il medesimo miglioramento anche nei soggetti che hanno effettuato il test con il prodotto B, tra i quali si registra una leggera diminuzione di coloro che percepiscono una sensazione di neutralità termica al termine della prova (48.39%).
3. Relativamente alla velocità dell'aria nei primi 15 minuti di test, i soggetti che hanno condotto la prova con il prodotto A risultano soddisfatti in una percentuale pari al 76.67%, mentre poco più che la metà dei *s.s.t.* che hanno provato il prodotto B esprime la medesima soddisfazione (54.84%).

4. Dopo 60 minuti dall'inizio della prova, in entrambi i casi si riscontra una diminuzione degli utenti soddisfatti per ciò che concerne la velocità dell'aria. Tale diminuzione risulta più evidente tra coloro che hanno svolto il test con il prodotto B, di cui solo il 48.39% esprime una sensazione di soddisfazione in merito alla velocità dell'aria all'istante t_{60} e solo il 35.26% risulta essere completamente soddisfatto. Relativamente al prodotto A, la percentuale di soddisfatti alle medesime condizioni risulta essere pari al 66.67%.
5. Per ciò che concerne il discomfort localizzato, il prodotto A risulta essere maggiormente efficace nella parte alta del busto. Ciò viene sottolineato da una sostanziale diminuzione (tra gli istanti t_0 e t_{60}) degli utenti che hanno dichiarato di percepire tale zona come particolarmente calda. I soggetti che hanno svolto il test con il prodotto B, invece, hanno percepito una maggiore concentrazione del getto nella zona del busto compresa tra il collo e il bacino. Tale dato emerge dall'analisi delle parti del corpo particolarmente calde nei tre istanti temporali considerati ed è supportato dai commenti dei soggetti stessi.

5.6 Analisi termografiche

5.6.1 Discomfort locale: temperature superficiali globali e locali

A seguito dell'analisi dei questionari compilati dai *s.s.t.* durante le prove, sono stati estrapolati i dati di coloro che hanno dichiarato di avvertire particolarmente caldo o freddo a una specifica parte del corpo.

Le termografie di questi soggetti sono state analizzate singolarmente, tracciando manualmente, per ciascun utente, prima il contorno dell'intero corpo (raccolgendo le temperature media, massima e minima), poi il contorno dell'area in cui è stato avvertito il discomfort, ricavando la temperatura media della sola area evidenziata.

A 15 minuti dall'inizio della prova, le aree maggiormente colpite da discomfort locale sono risultate essere quella del viso, del collo, delle braccia, delle

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

gambe e dei piedi, dichiarate termicamente fastidiose rispettivamente dal 27.9%, 24.6%, 13.1%, 13.1% e 18% degli utenti che si sono sottoposti al test.

Relativamente a coloro che hanno avvertito l'area del viso come particolarmente calda o fredda, sono state analizzate dapprima le temperature medie globali del corpo, che variano in un range compreso tra 30.3 e 32.2 °C. Per gli stessi soggetti, le temperature medie locali risultano comprese tra 31.9 e 34.2 °C. In figura 45 sono rappresentati in rosso e in blu i dati di coloro che hanno avvertito l'area del viso rispettivamente come fastidiosamente calda e fredda. In verde, invece, viene rappresentata la retta di regressione relativamente ai dati raccolti. Si può osservare una certa proporzionalità tra le temperature medie globali (rappresentate in ascissa) e quelle relative alla sola zona del viso (rappresentate in ordinata). Tuttavia, l'unico soggetto che ha dichiarato di percepire il viso come particolarmente freddo non presenta una temperatura media globale né locale meno elevata rispetto agli altri.

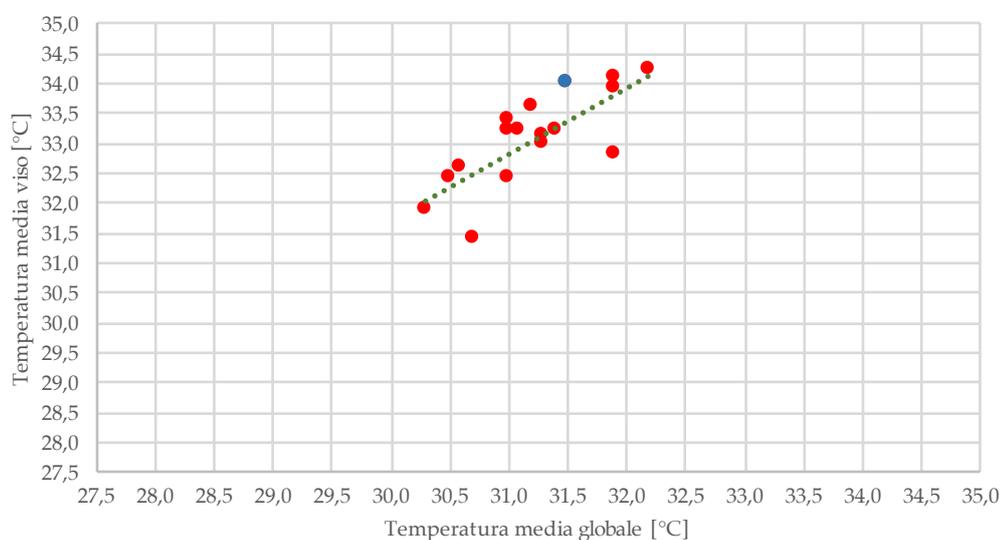


Figura 45 – Temperatura media del viso in funzione della temperatura media globale (soggetti insoddisfatti)

Anche per coloro che hanno avvertito la zona del collo come fastidiosamente calda o fredda sono state eseguite le medesime analisi. Ne è emerso che le temperature medie globali si trovano, in questo caso, nell'intervallo compreso tra

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

30.6 e 32.3 °C, mentre le temperature medie locali risultano variabili tra 31.1 e 34.4 °C.

Come emerge dall'analisi dei dati riportata in figura 46, anche per coloro che hanno avvertito caldo al collo vi è proporzionalità tra temperatura media globale e locale.

Anche in questo caso un unico soggetto ha avvertito tale area come fastidiosamente fredda ma egli non presenta temperature maggiori rispetto agli altri utenti.

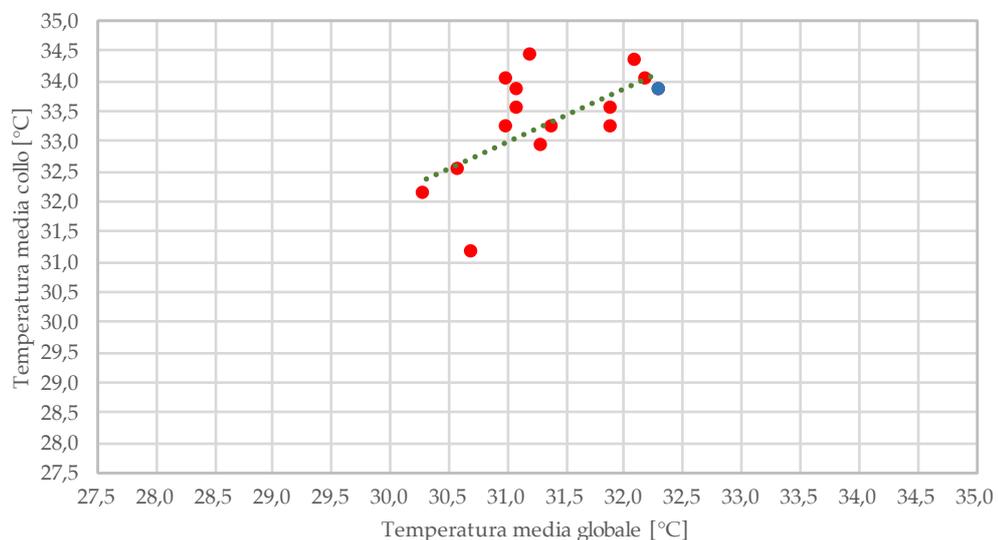


Figura 46 – Temperatura media del collo in funzione della temperatura media globale (soggetti insoddisfatti)

Analizzando i dati relativi alla zona delle braccia (figura 47), emerge che le temperature medie globali sono comprese in un intervallo tra 30.5 e 31.5 °C, mentre le temperature medie locali oscillano da 30.2 a 32.5 °C.

Non viene riscontrata una rispondenza sistematica tra temperature medie globali, locali e discomfort percepito: coloro che hanno avvertito le braccia fastidiosamente calde non presentano, infatti, temperatura media globale né locale maggiore rispetto agli altri soggetti.

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER
IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

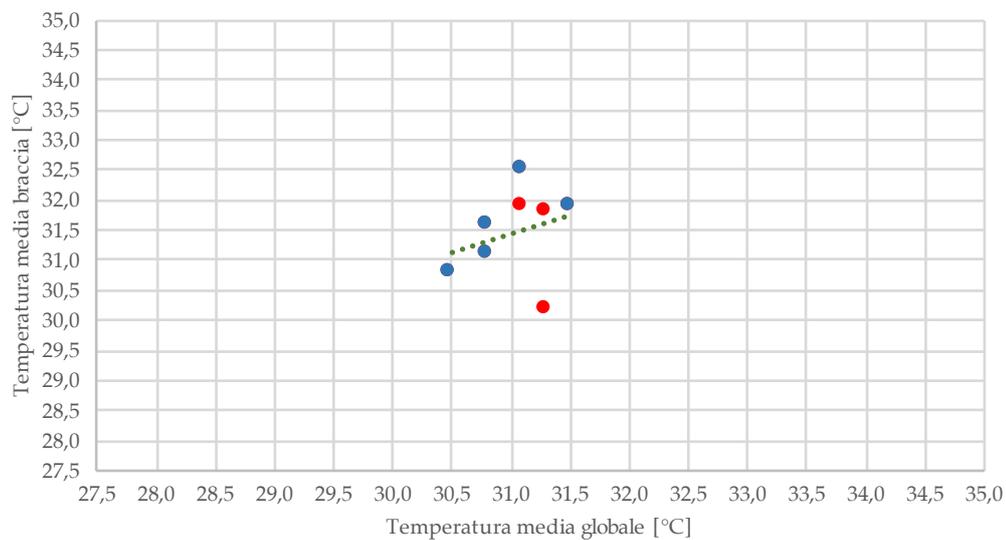


Figura 47 – Temperatura media delle braccia in funzione della temperatura media globale (soggetti insoddisfatti)

Relativamente alla zona delle gambe, le temperature medie globali degli otto soggetti che hanno avvertito discomfort locale variano tra 29,7 e 31,2 °C, mentre le locali sono comprese tra i valori 29,4 e 32,3 °C.

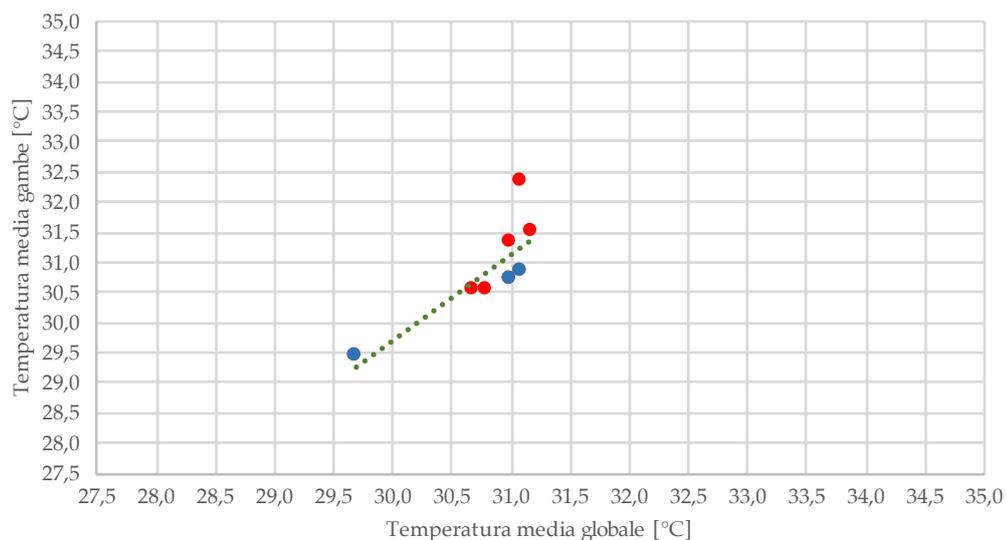


Figura 48 – Temperatura media delle gambe in funzione della temperatura media globale (soggetti insoddisfatti)

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

Anche in questo caso (figura 48), come già evidenziato relativamente all'area delle braccia, non viene riscontrata una rispondenza sistematica tra temperature medie globali, locali e discomfort percepito.

Per quanto concerne la zona dei piedi (figura 49), nessun soggetto ha dichiarato di percepire tale area come particolarmente fredda. Le temperature medie globali dei soggetti variano da 29.7 a 32.2 °C, mentre quelle locali da 27.8 a 31.4 °C.

Emerge una correlazione tra le due variabili: si può concludere che coloro che presentano temperature medie globali più elevate avvertono altresì una sensazione di calore ai piedi.

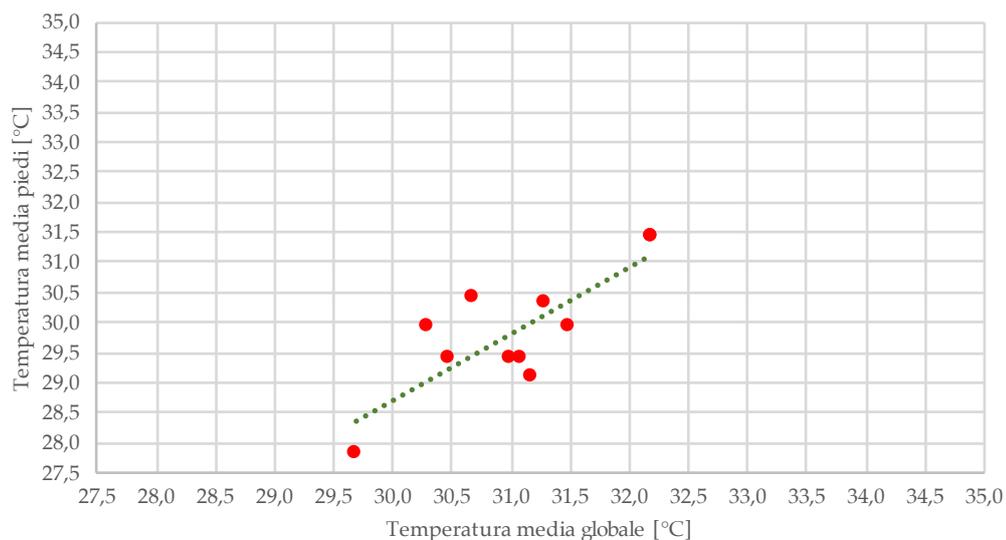


Figura 49 – Temperatura media dei piedi in funzione della temperatura media globale (soggetti insoddisfatti)

5.6.2 Comfort locale: temperature superficiali globali e locali

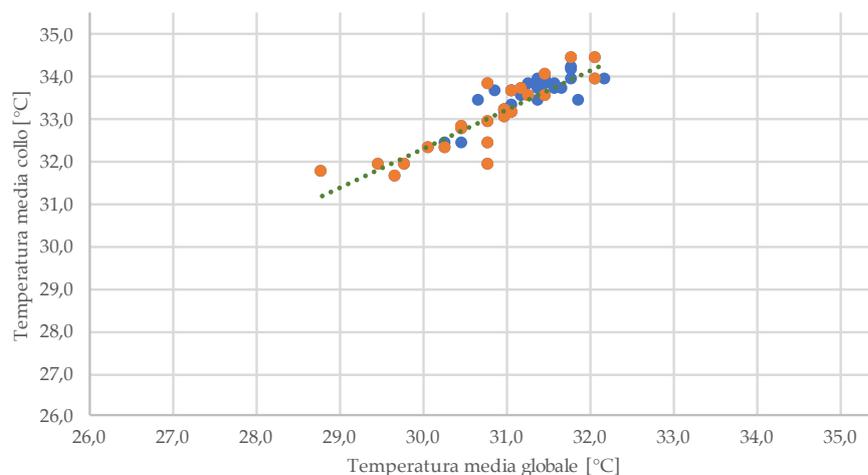
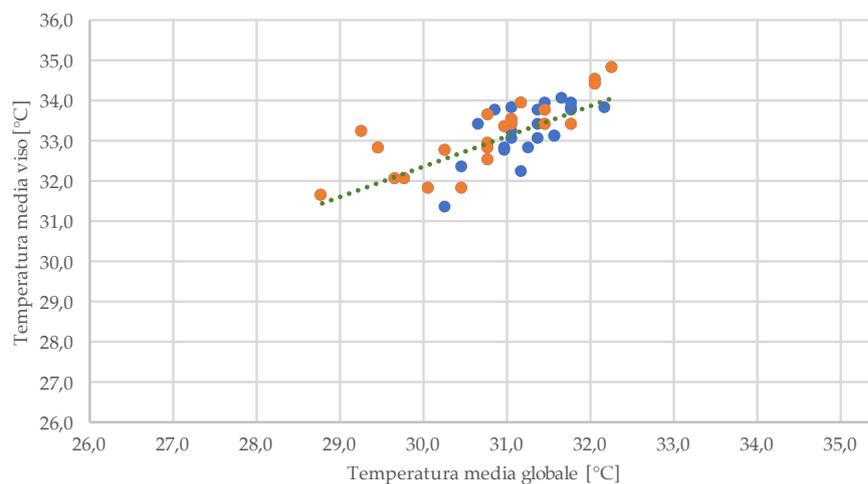
Per le aree corporee interessate da discomfort localizzato, sono state eseguite le medesime analisi descritte nel capitolo precedente anche relativamente alla restante popolazione di dati, ovvero agli utenti che non hanno espresso una sensazione di disagio. Il metodo applicato è il medesimo già descritto.

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

Relativamente a tutte le zone analizzate, si nota una spiccata corrispondenza tra temperatura media locale e globale, soprattutto per le aree del viso, collo, braccia e gambe. Meno evidente, seppur presente, la medesima corrispondenza in relazione alla zona dei piedi.

Di seguito (figura 50) vengono diagrammati i dati raccolti, distinguendo in blu quelli relativi al prodotto A, in arancio quelli relativi al prodotto B. In verde, invece, viene rappresentata la retta di regressione.

La discrepanza di risultati in relazione agli utenti insoddisfatti (soprattutto per quanto concerne le aree di braccia, gambe e piedi) è, con ogni probabilità, da imputare al ristretto numero di dati analizzati nel capitolo precedente.



ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER
IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

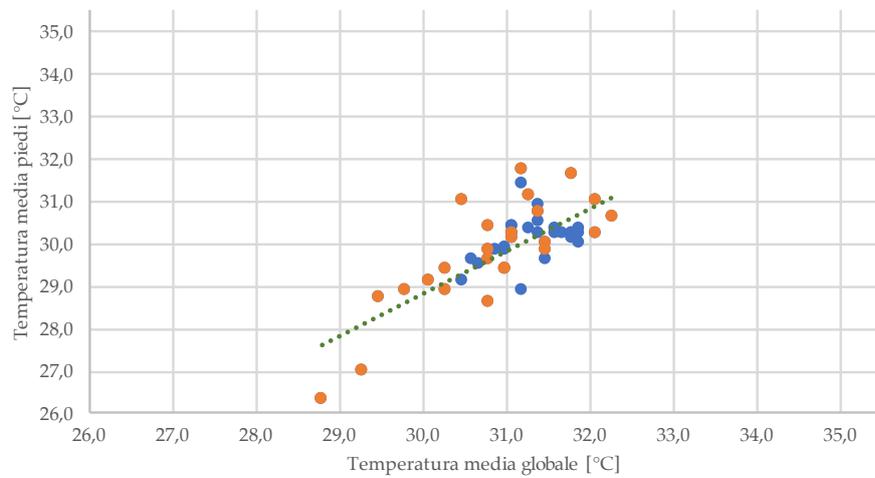
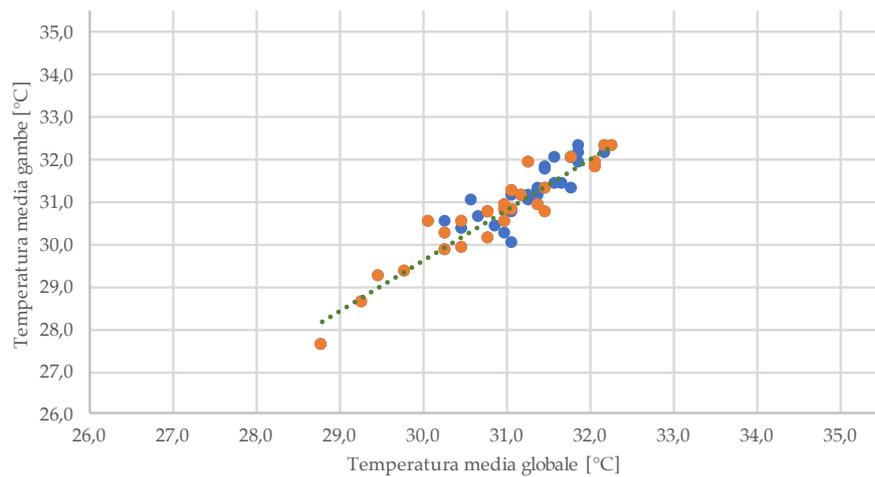
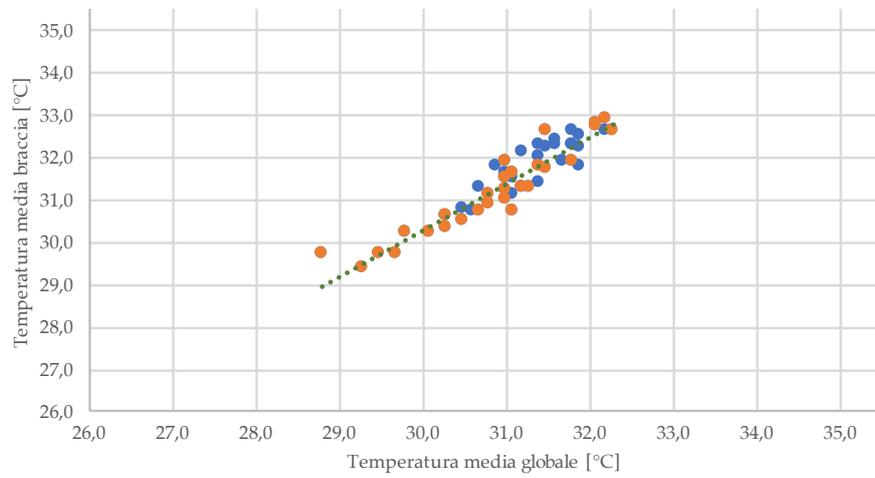


Figura 50 – Temperatura media locale in funzione della temperatura media globale (soggetti soddisfatti)

5.6.3 Relazione tra temperatura media del viso e temperatura media globale

Alla luce di quanto emerso dalle analisi descritte nei capitoli precedenti, si è ritenuto necessario uno studio più approfondito relativamente al rapporto tra temperatura media del viso e temperatura media globale. La correlazione tra queste variabili è risultata essere, infatti, significativa sia tra i soggetti che avevano percepito una sensazione di discomfort termico localizzato alla suddetta area sia tra coloro che avevano espresso soddisfazione in merito. Pertanto sono state analizzate le termografie di tutti i soggetti che si sono sottoposti a test (sia con il prodotto A che con il prodotto B), ricavandone temperature medie del viso e globali relativamente agli istanti t_0 , t_{15} e t_{60} .

I grafici in figura 51 confermano come i dati relativi alla temperatura media del viso siano strettamente legati alle temperature medie globali rilevate, indipendentemente dall'istante temporale preso in considerazione e, di conseguenza, indipendentemente dalle variazioni della temperatura ambientale.

Relativamente all'istante t_{60} , si nota come per i dati rappresentati in arancio (inerenti ai test condotti con il prodotto B) sia presente uno scostamento pressoché sistematico dei risultati rispetto alla retta di regressione. Tale esito può essere interpretato come conseguenza del fatto che il prodotto B, come è emerso dalle analisi descritte nei precedenti capitoli di questo elaborato, sia maggiormente efficace nella zona compresa tra il bacino ed il collo rispetto alla zona del viso. Tale specifica caratteristica può aver prodotto, dopo 60 minuti dall'inizio della prova, una leggera diminuzione della temperatura media globale dei soggetti che, tuttavia, non ha interessato anche l'area del viso, poiché investita dal flusso d'aria solo parzialmente.

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER
IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

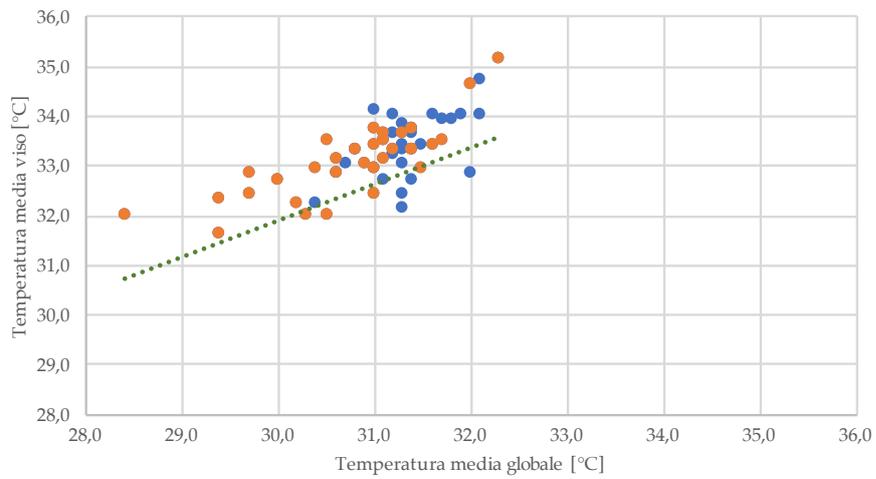
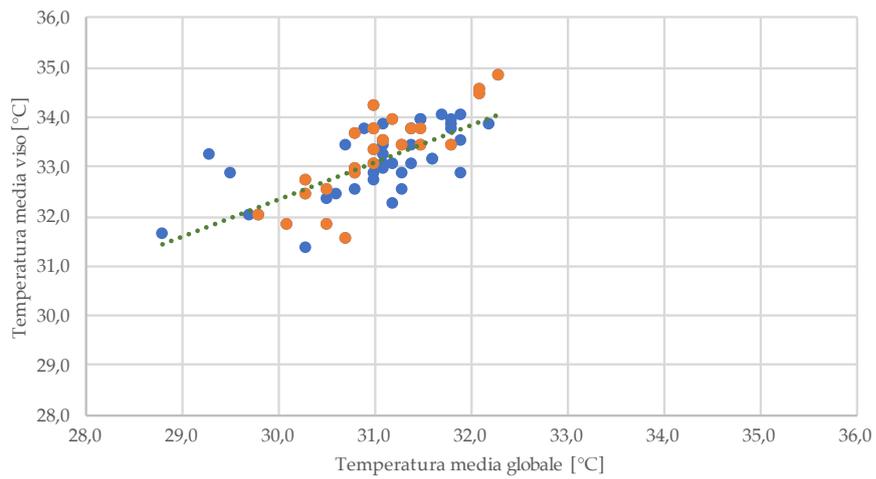
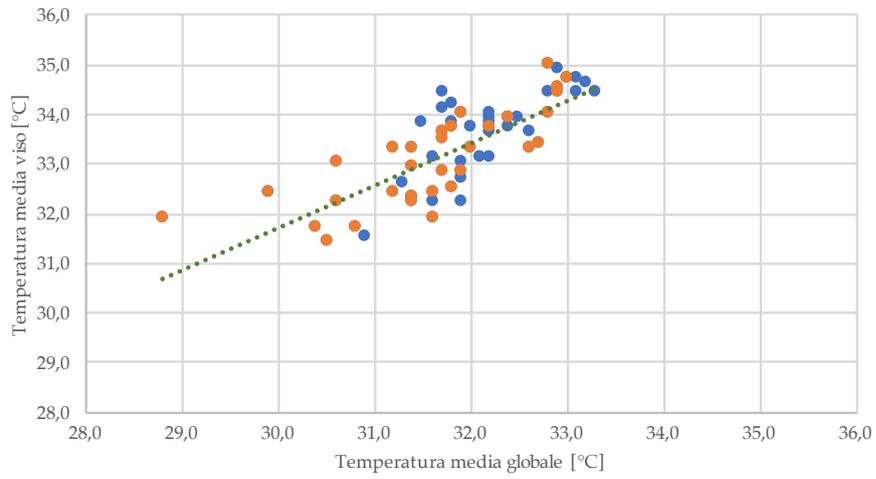


Figura 51 – Temperatura media del viso in funzione della temperatura media globale agli istanti t_0 , t_{15} , t_{60}

5.6.4 Relazione tra PMV e temperature medie locali e globali

Nel presente capitolo viene analizzato il rapporto tra *PMV* rilevato tramite *Thermal Comfort Meter* e temperature medie del viso e globali di ciascun soggetto (che ha condotto il test sia con il prodotto A che con il prodotto B) agli istanti t_0 , t_{15} e t_{60} .

Non emerge una stretta correlazione tra *PMV* rilevato e temperatura media del viso, né tra *PMV* e temperatura media globale agli istanti t_0 e t_{15} . Ci si aspetterebbe che, a temperature dei soggetti crescenti, corrisponda un voto medio previsto più elevato. Tuttavia ciò che si nota è che, a prescindere dalle temperature medie rilevate tramite termocamera, i valori di *PMV* – appartenenti ad un intervallo compreso tra 0.3 e 1.3 – risultano indipendenti da tali temperature e ciò determina una retta di regressione pressoché orizzontale.

In merito all'istante t_{60} , invece, si riscontra una lieve pendenza della retta di regressione, sia relativamente al rapporto tra *PMV* e temperatura media del viso che tra *PMV* e temperatura media globale.

I dati analizzati sono diagrammati nelle figure 52 e 53, che sono indicative rispettivamente della correlazione tra *PMV* e temperatura media locale e globale agli istanti t_0 , t_{15} e t_{60} . Vengono indicati in blu i risultati relativi ai test con il prodotto A e in arancio quelli condotti con il prodotto B.

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER
IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

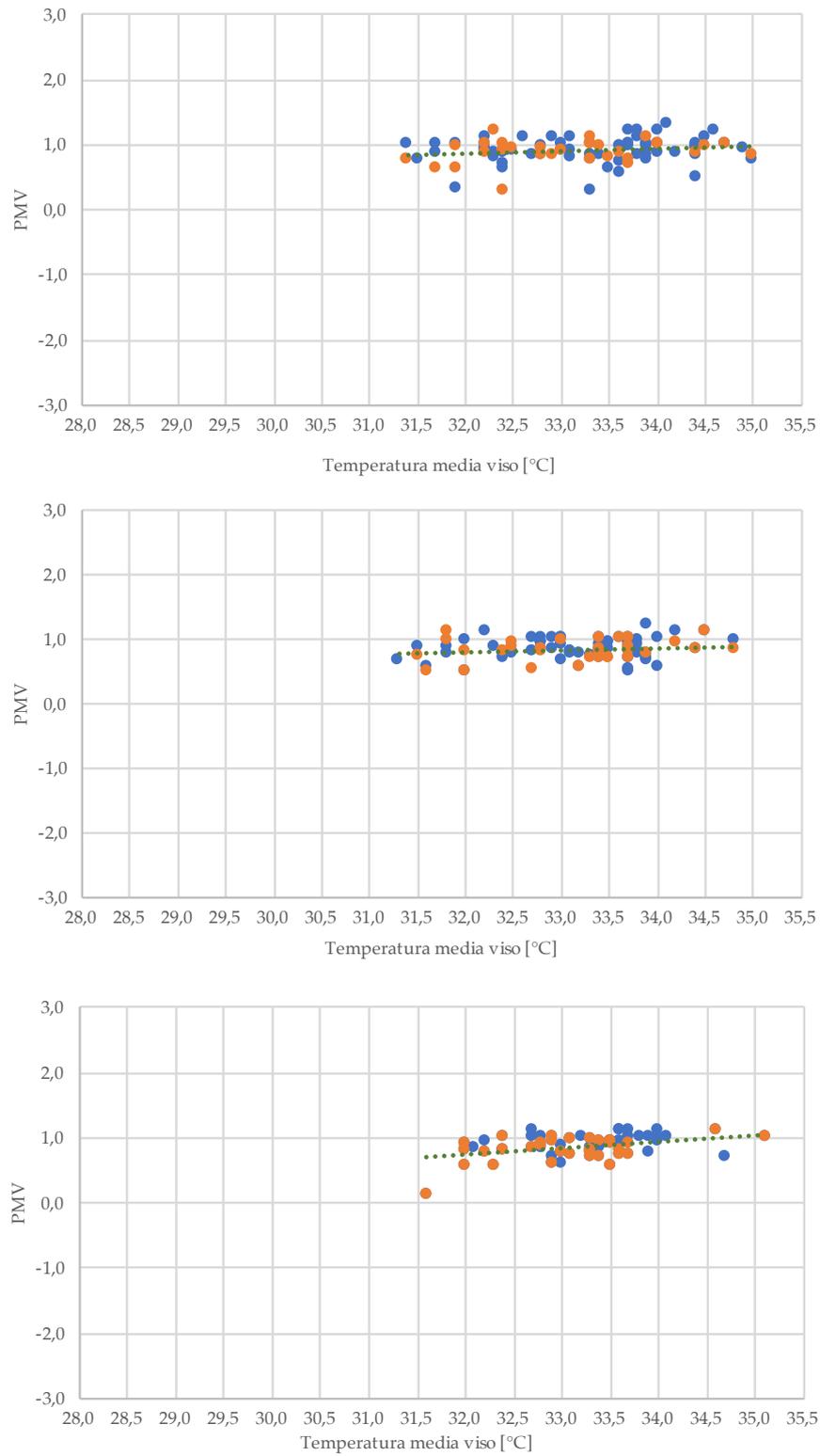


Figura 52 – PMV in funzione della temperatura media del viso agli istanti t_0 , t_{15} , t_{60}

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER
IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

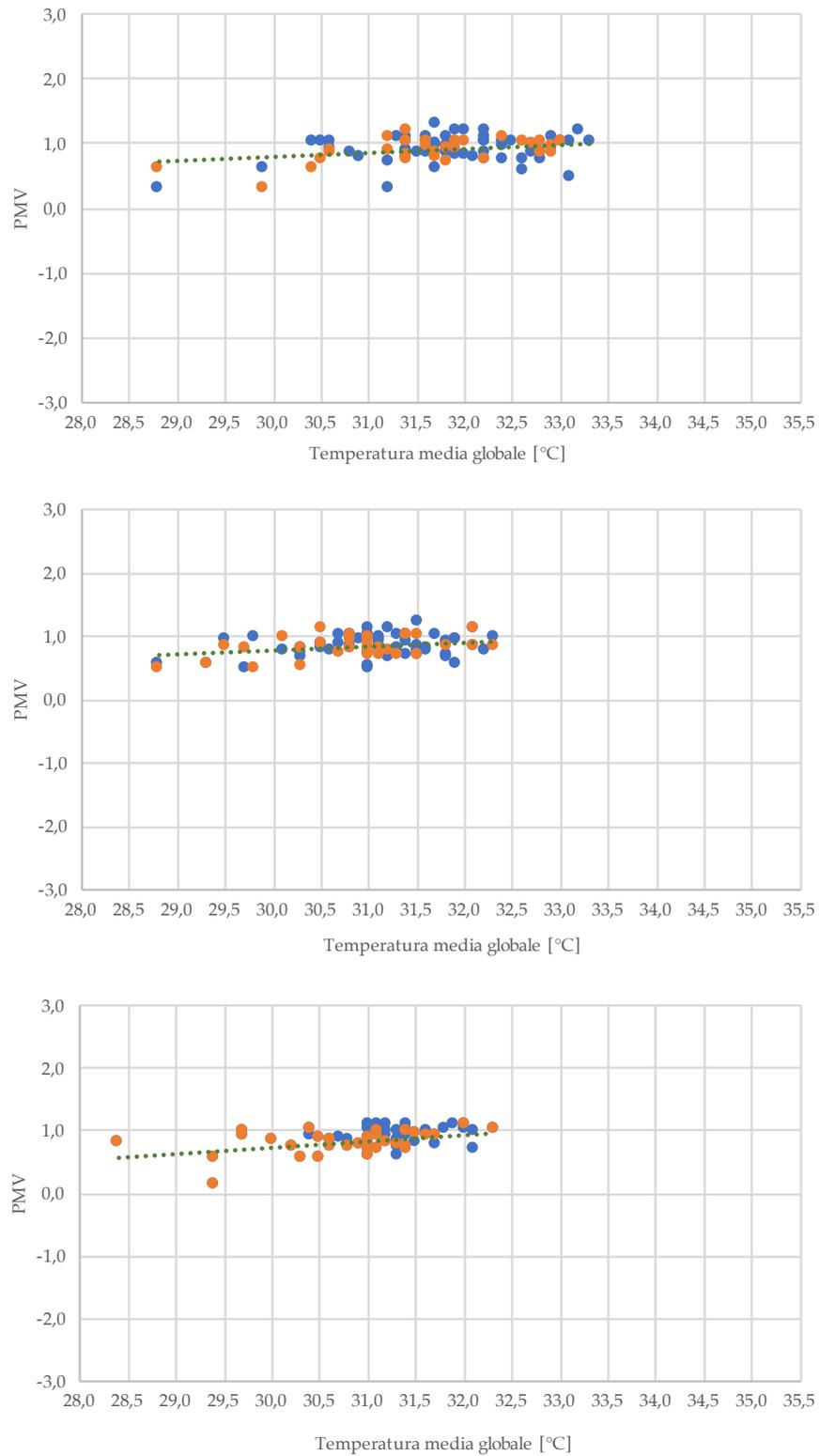


Figura 53 – PMV in funzione della temperatura media globale agli istanti t_0 , t_{15} , t_{60}

5.6.5 Relazione tra sensazione termica espressa e temperature medie locali e globali

Nel presente capitolo viene analizzato il rapporto tra sensazione termica espressa dagli utenti e temperature medie del viso e globali di ciascun soggetto (che ha condotto il test sia con il prodotto A che con il prodotto B) agli istanti t_0 , t_{15} e t_{60} .

Come già visto relativamente al *PMV*, non emerge una stretta correlazione tra sensazione termica espressa e temperatura media del viso, né tra sensazione termica espressa e temperatura media globale agli istanti t_0 e t_{15} . Ci si aspetterebbe che, a temperature dei soggetti crescenti, corrisponda un voto relativo alla sensazione termica maggiore, che determinerebbe una retta di regressione ascendente. Tuttavia ciò che si nota è che i valori inerenti la sensazione termica percepita dai soggetti risultano indipendenti dalle temperature rilevate, poiché influenzati – con ogni probabilità – da altri fattori. Ciò determina, contrariamente a quanto atteso, una retta di regressione discendente.

In merito all'istante t_{60} , invece, si riscontra una lieve pendenza della retta di regressione, sia relativamente al rapporto tra sensazione termica e temperatura media del viso che tra sensazione termica e temperatura media globale.

I dati analizzati sono diagrammati nelle figure 54 e 55, che sono indicative rispettivamente della correlazione tra sensazione termica e temperatura media locale e globale agli istanti t_0 , t_{15} e t_{60} . Vengono indicati in blu i risultati relativi ai test con il prodotto A e in arancio quelli condotti con il prodotto B.

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER
IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

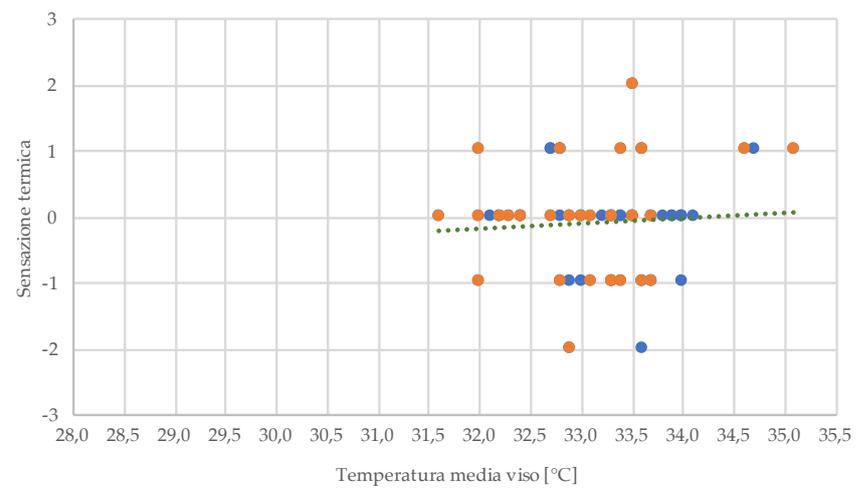
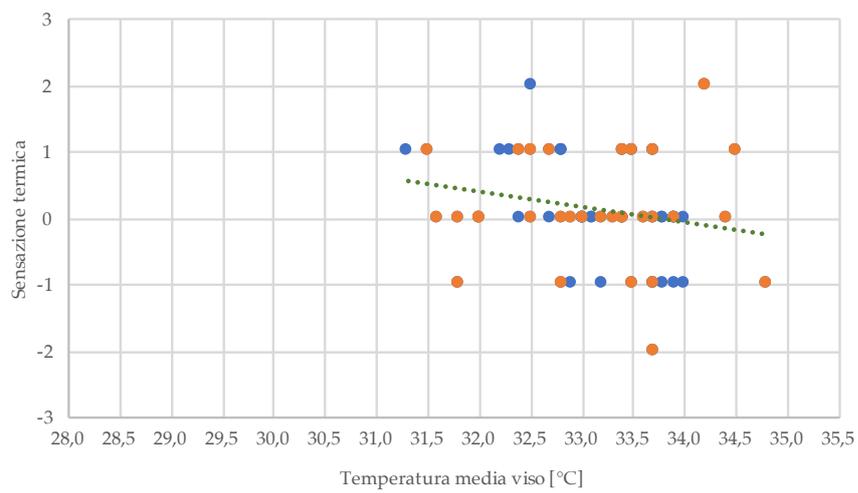
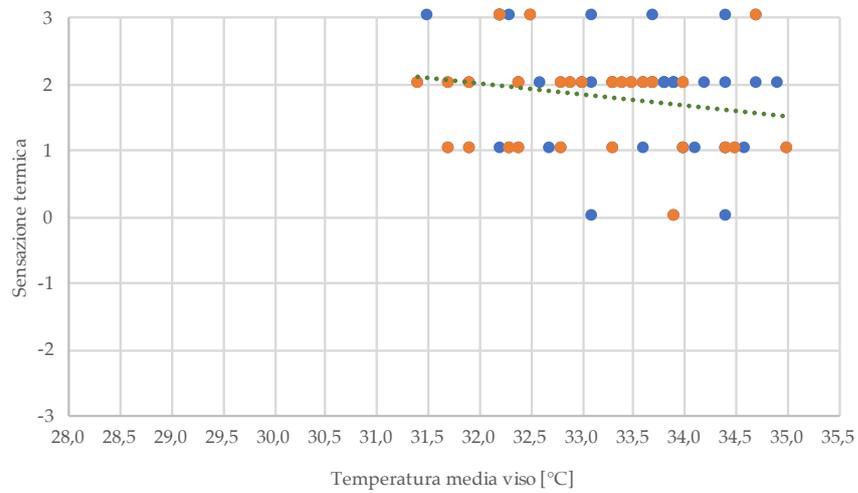


Figura 54 – Sensazione termica in funzione della temperatura media del viso
agli istanti t_0 , t_{15} , t_{60}

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER
IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

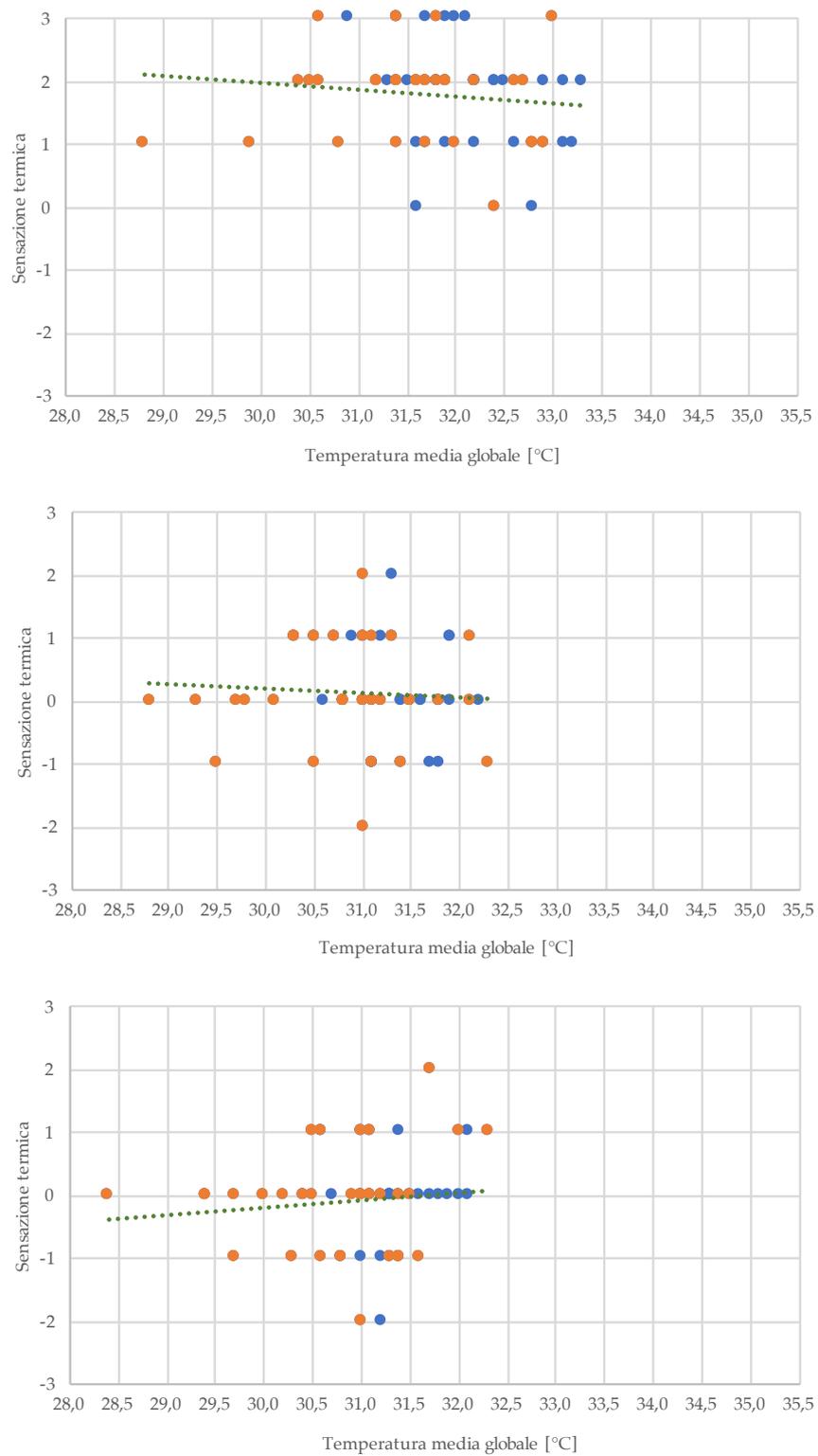


Figura 55 – Sensazione termica in funzione della temperatura media globale agli istanti t_0 t_{15} t_{60}

5.6.6 Relazione tra modifiche termiche desiderate e temperature medie locali e globali

Nel presente capitolo viene analizzato il rapporto tra le modifiche termiche desiderate dagli utenti e le temperature medie del viso e globali di ciascun soggetto (che ha condotto il test sia con il prodotto A che con il prodotto B) agli istanti t_0 , t_{15} e t_{60} .

Non emerge una correlazione tra modifiche termiche desiderate e temperatura media del viso a nessuno degli istanti analizzati. Ci si aspetterebbe che, a temperature medie locali crescenti, corrisponda un voto relativo alle modifiche termiche desiderate decrescente, che determinerebbe una retta di regressione discendente. Si ricorda che, relativamente alle modifiche termiche, è stata utilizzata una scala di sette valori (allegato A), da *molto più freddo* (corrispondente al voto 1) a *molto più caldo* (corrispondente al voto 7).

Tuttavia ciò che si nota è che i valori inerenti le modifiche termiche richieste dai soggetti risultano indipendenti dalle temperature medie del viso rilevate, poiché influenzati anch'essi – con ogni probabilità – da altri fattori. Ciò determina, contrariamente a quanto atteso, una retta di regressione ascendente agli istanti t_0 e t_{15} e pressoché orizzontale all'istante t_{60} .

In merito alla correlazione tra modifiche termiche desiderate e temperatura media globale, possono essere fatte le medesime considerazioni relativamente all'istante t_0 , invece, per ciò che concerne gli istanti t_{15} e t_{60} , si riscontra una lieve pendenza della retta di regressione, che assume un andamento discendente.

I dati analizzati sono diagrammati nelle figure 56 e 57, che sono indicative rispettivamente della correlazione tra modifiche termiche desiderate e temperatura media locale e globale agli istanti t_0 , t_{15} e t_{60} . Vengono indicati in blu i risultati relativi ai test con il prodotto A e in arancio quelli condotti con il prodotto B.

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER
IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

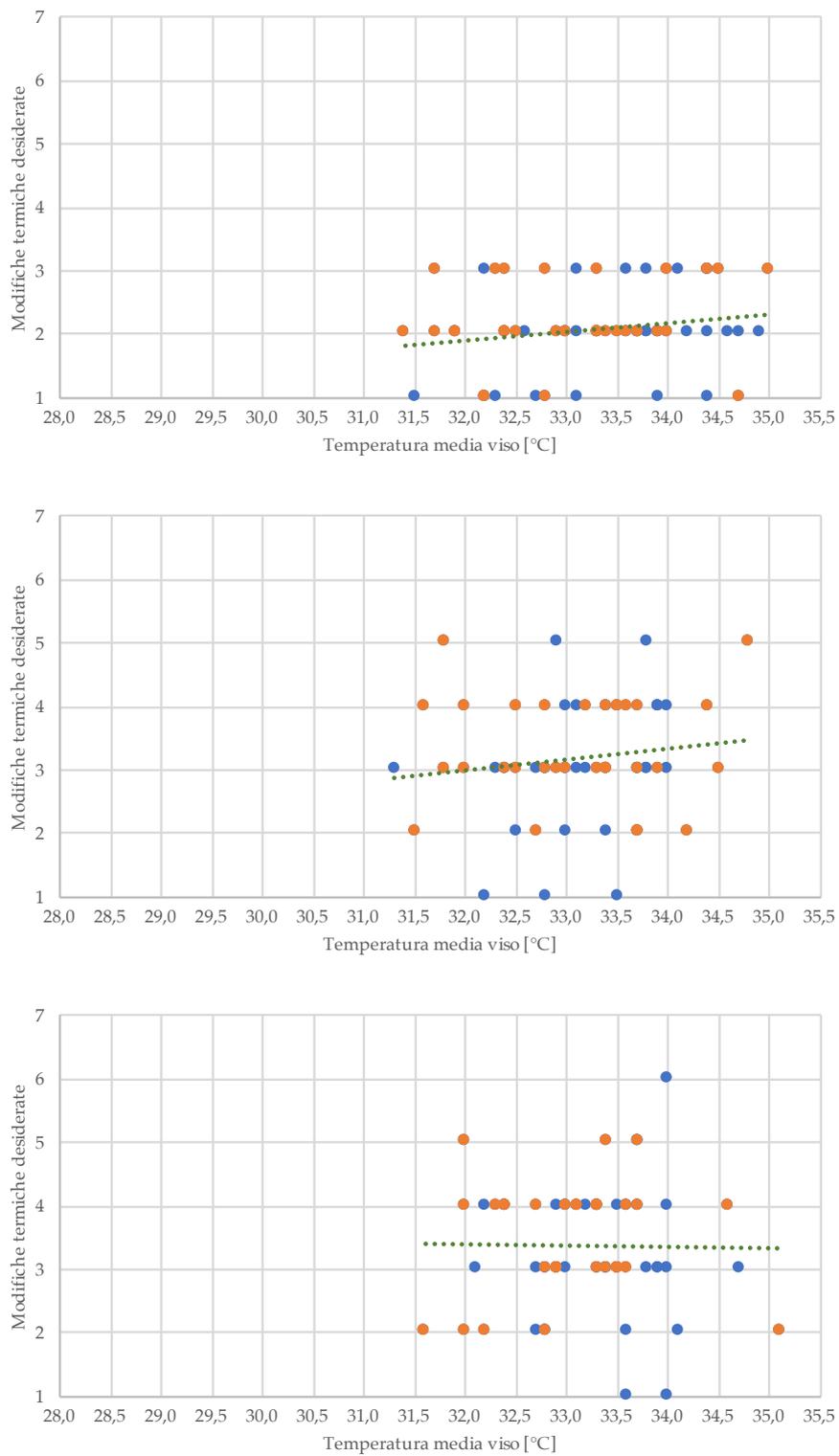


Figura 56 – Modifiche termiche desiderate in funzione della temperatura media del viso agli istanti t_0 , t_{15} , t_{60}

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER
IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

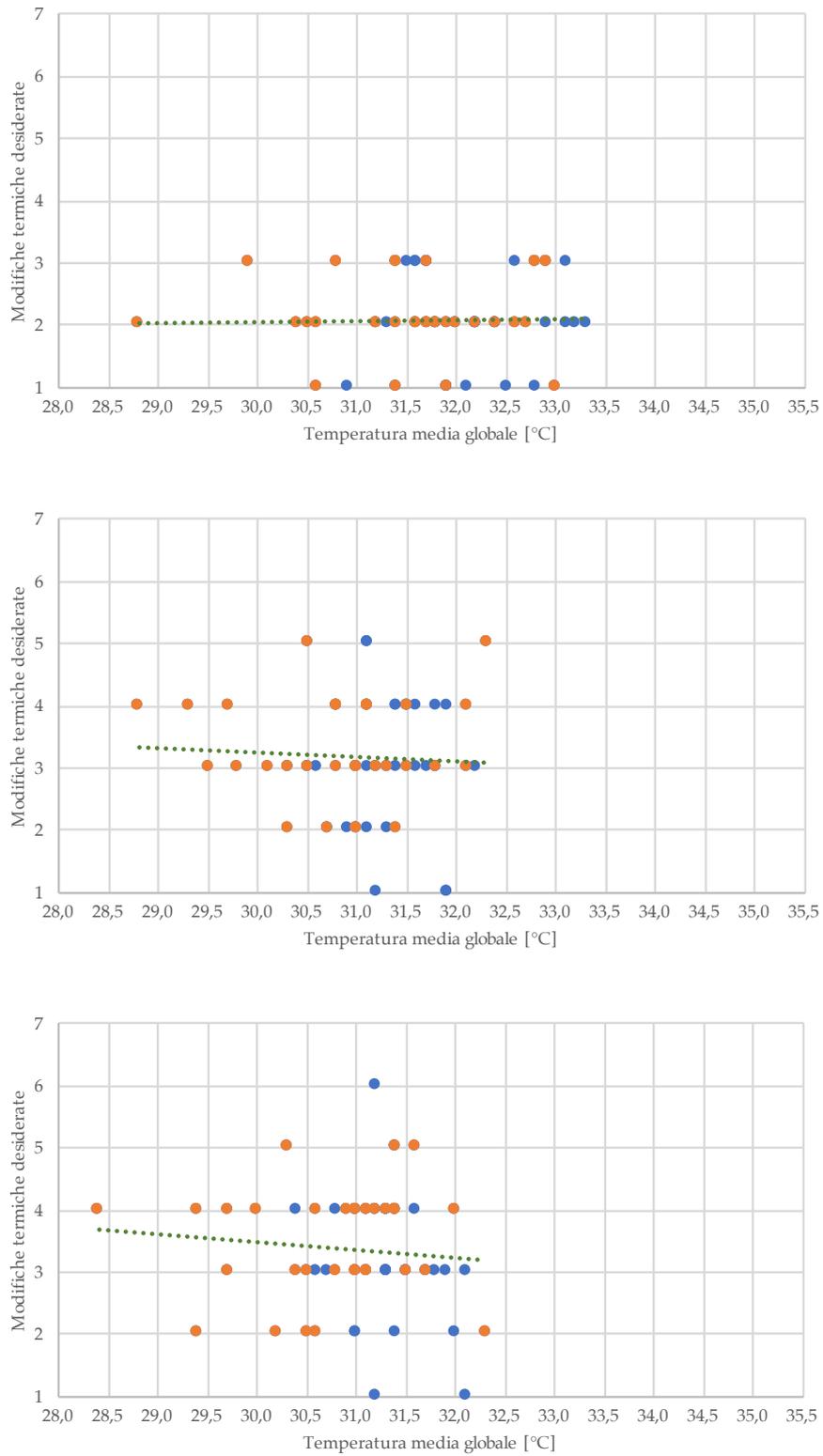


Figura 57 – Modifiche termiche desiderate in funzione della temperatura media globale agli istanti t_0 t_{15} t_{60}

5.6.7 Analisi termografica dei soggetti che hanno ripetuto il test

Nel presente capitolo vengono esaminate e confrontate le termografie dei dieci soggetti che hanno svolto il test sia con il prodotto A che con il prodotto B, consentendo un'analisi svincolata dal fattore di soggettività del singolo individuo.

Di seguito vengono riportate ed analizzate tramite *box-plot* le distribuzioni dei dati relativamente a sensazione termica, comfort termico e percezione della velocità dell'aria in riferimento all'istante t_{15} per i dieci soggetti.

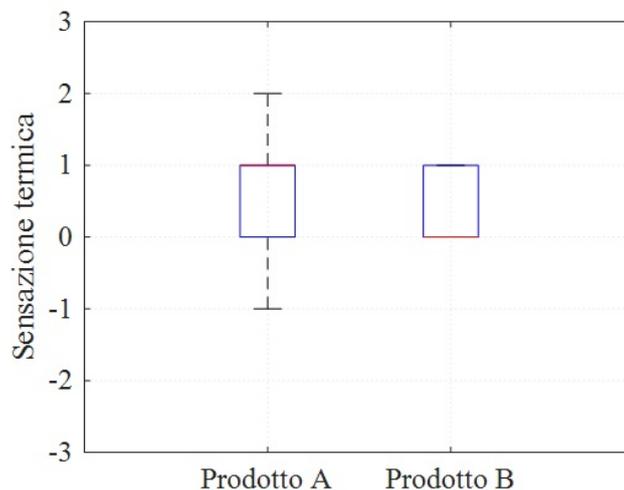


Figura 58 – Confronto sensazione termica dei soggetti che hanno ripetuto il test t_{15}

In figura 58 viene riportata la distribuzione dei dati relativamente alla percezione termica dei soggetti dopo 15 minuti dall'inizio della prova. In entrambi i casi, il primo e il terzo quartile si trovano allineati rispettivamente al voto 0 (*neutralità termica*) e 1 (*leggermente caldo*). In merito al prodotto A, la mediana si trova allineata al terzo quartile, mentre nel caso del prodotto B è posizionata in corrispondenza del primo, evidenziando l'azione più efficace di quest'ultimo relativamente alla sensazione termica percepita dai soggetti. Si nota, altresì, una maggiore dispersione per quanto riguarda il prodotto A, evidenziata dalla presenza di *baffi superiori ed inferiori*, i quali individuano valori adiacenti rispettivamente in corrispondenza del voto +2 (*caldo*) e -1 (*leggermente freddo*).

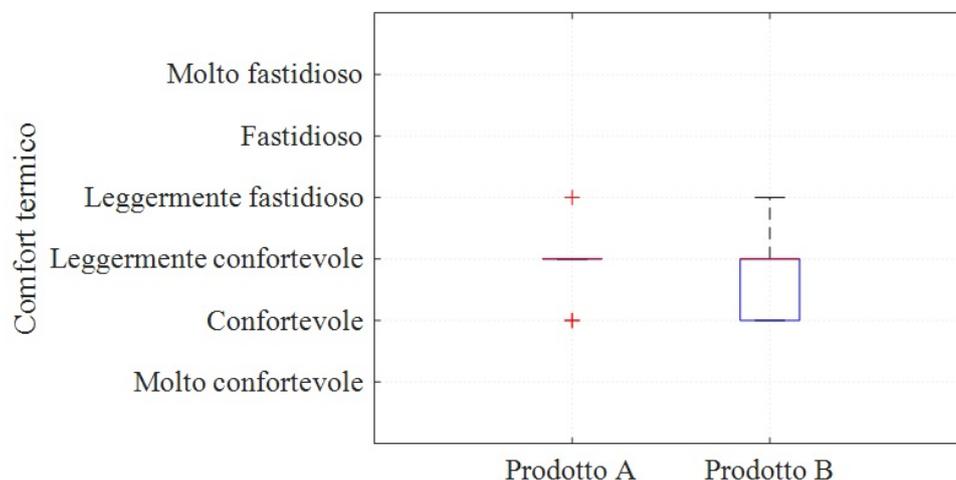


Figura 59 – Confronto comfort termico dei soggetti che hanno ripetuto il test t_{15}

I *box-plot* rappresentati in figura 59, riguardanti il confronto dei voti espressi in merito al comfort termico percepito dai soggetti all'istante t_{15} , confermano quanto già precedentemente evidenziato, sottolineando come il prodotto B produca un effetto poco più confortevole per quanto concerne la sensazione termica dei *s.s.t.* Nonostante i due *box-plot* presentino entrambi la mediana in corrispondenza del voto *leggermente confortevole*, relativamente al prodotto B, il primo quartile si trova allineato alla sensazione *confortevole*, a differenza del *box-plot* relativo al prodotto A, in cui il primo quartile è, invece, traslato di un voto e si assesta sulla posizione che corrisponde a *leggermente confortevole*.

Per ciò che concerne la percezione della velocità dell'aria da parte degli utenti, l'analisi dei dati all'istante t_{15} fa emergere una netta differenza tra i due prodotti (figura 60). Relativamente al prodotto A, la mediana dei voti, coincidente con il terzo quartile, cade su *leggermente piacevole* e il primo quartile si assesta sul voto *piacevole*. Nel caso del prodotto B, la mediana è collocata in un range compreso tra i voti *leggermente piacevole* e *leggermente fastidioso* e la dispersione dei dati è parecchio più ampia rispetto a quanto evidenziato per il prodotto A. Il primo quartile si pone in corrispondenza del voto *leggermente piacevole*, il terzo su

fastidioso. Vi è inoltre un *baffo inferiore* che si prolunga fino ad individuare il valore adiacente *piacevole*.

Ciò fa emergere come, se da un lato una maggiore della velocità dell'aria possa aumentare il comfort dei soggetti da un punto di vista termico (favorendo la dispersione di calore verso l'esterno), dall'altro ciò possa provocare discomfort causato dalla stessa aria in movimento.

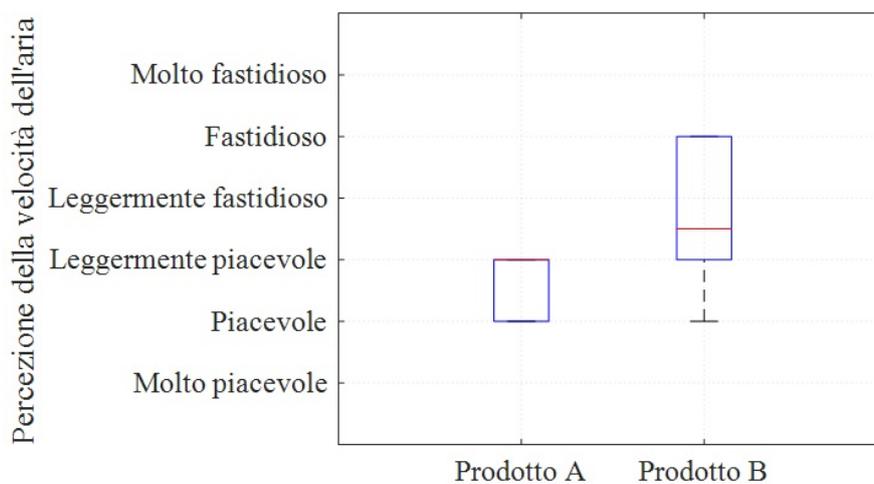


Figura 60 – Confronto percezione velocità dell'aria dei soggetti che hanno ripetuto il test t_{15}

Nelle figure 61 e 62 sono riportate le temperature medie delle diverse parti del corpo durante l'utilizzo rispettivamente del prodotto A e del prodotto B. Tali temperature sono state ricavate a seguito dell'analisi delle termografie dei soggetti eseguite dopo 15 minuti dall'inizio della prova. Per ogni soggetto, è stato isolato manualmente il contorno di ciascuna parte del corpo e sono state raccolte le temperature medie, minime e massime.

Dal confronto tra i diagrammi, non emergono sostanziali differenze tra i due prodotti.

Relativamente alla zona del viso, la mediana si trova nella medesima posizione per entrambi i dispositivi (32.3 °C).

Anche per ciò che concerne il busto e le mani le differenze sono minime; nel primo caso la mediana è collocata in corrispondenza del valore 31.1 °C (prodotto

A) e 30.8 °C (prodotto B), nel secondo caso è allineata ai valori 32.65 °C (prodotto A) e 32.55 °C (prodotto B).

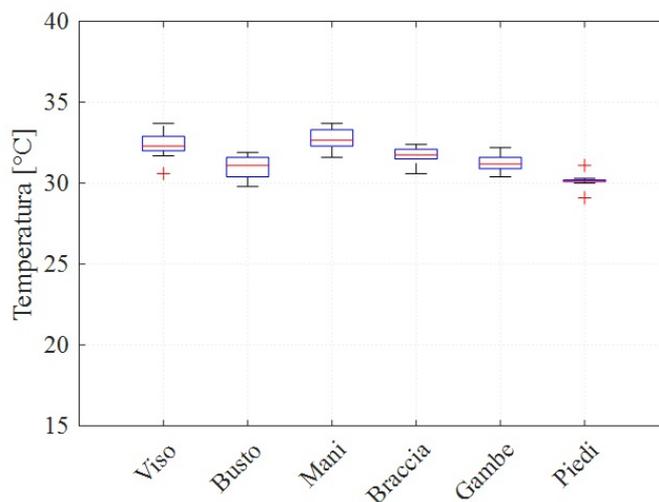


Figura 61 – Temperature locali t_{15} dei soggetti che hanno ripetuto il test (prodotto A)

In merito alle zone di gambe e piedi, emergono lievi differenze che confermano la maggiore efficacia del prodotto A relativamente alla parte alta del busto. Per tali aree, infatti, le temperature risultano essere leggermente più elevate a seguito dell'utilizzo del dispositivo A rispetto alle temperature rilevate durante i test svolti con il prodotto B.

Relativamente alla zona delle gambe, la mediana è collocata in corrispondenza del valore 31.2 °C conseguentemente ai test condotti con il prodotto A, mentre si trova allineata al valore 30.65 °C con l'utilizzo del prodotto B.

Anche per ciò che attiene alla zona dei piedi notiamo una differenza di quasi 1 °C tra i due dispositivi. Il *box-plot* relativo al prodotto A presenta la mediana sul valore pari a 30.15 °C, mentre quella relativa al prodotto B è collocata in corrispondenza di 29.4 °C.

Nonostante tali considerazioni confermino quanto già precedentemente rilevato, non è da escludere che le differenze osservate siano dovute, almeno parzialmente, a differenti tipologie di vestiario e calzature indossate dai soggetti. I capi d'abbigliamento erano in taluni casi chiusi, lasciando quindi completamente coperta la zona del corpo interessata, in altri casi aperti. Ciò ha comportato che le

temperature locali analizzate mediante le termografie eseguite durante i test fossero relative in taluni casi direttamente all'epidermide del soggetto, in altri ai capi d'abbigliamento indossati dallo stesso.

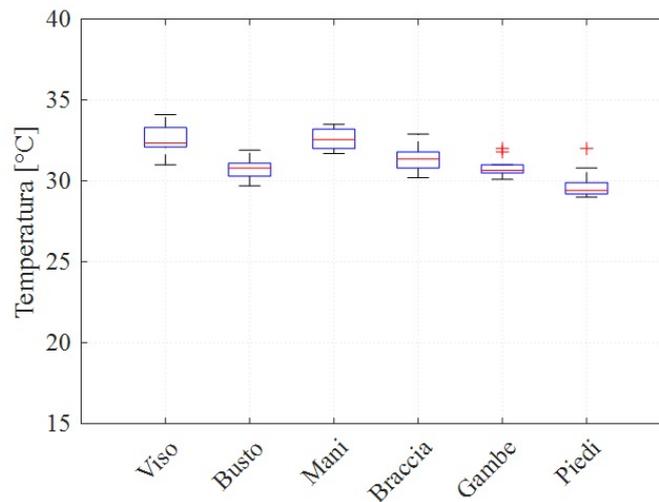


Figura 62 – Temperature locali t_{15} dei soggetti che hanno ripetuto il test (prodotto B)

5.6.8 Relazione tra PMV e sensazione termica espressa

L'analisi sperimentale condotta sui due prodotti termoventilanti ci ha permesso di raccogliere un ampio numero di dati, derivanti dalle risposte ai questionari e dalle misure raccolte mediante *Thermal Comfort Meter* agli istanti t_0 , t_{15} e t_{60} di ciascuna prova, per un totale di 186 coppie di dati.

Nella presente sezione si vuole analizzare la relazione tra il *PMV teorico* registrato dal *TCM* e le sensazioni termiche espresse dai soggetti raccolte nei questionari.

In figura 63 viene individuata la medesima sensazione termica in funzione dei dati raccolti mediante questionari (sensazione termica espressa, in ascissa) e di quelli registrati dal *TCM* (*PMV teorico*, in ordinata), tenendo conto del fatto che i primi variano su scala discreta mediante numero intero compreso tra -3 e +3, mentre i secondi oscillano all'interno dello stesso intervallo ma su scala continua.

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER
IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

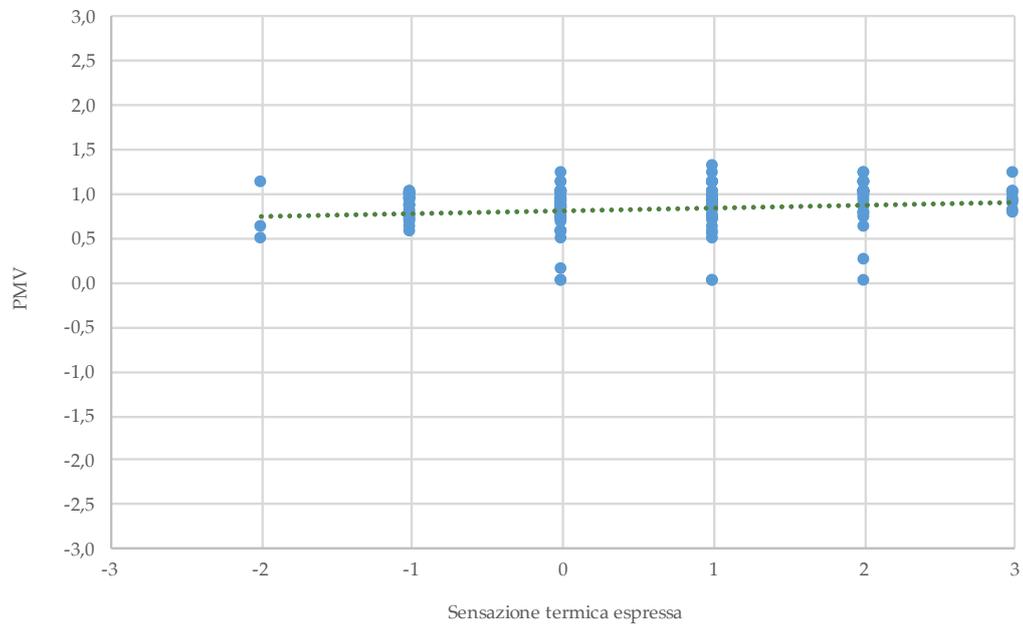


Figura 63 – Relazione tra sensazione termica espressa e PMV teorico

In verde viene rappresentata la retta di regressione relativamente ai dati raccolti, avente equazione:

$$y = 0.03x + 0.82$$

Ciò che emerge è la discrepanza tra le coppie di dati analizzate. Durante i test nei quali i *s.s.t.* hanno espresso un *PMV soggettivo* ≤ 0 , il *TCM* ha restituito valori più elevati. Alle sensazioni termiche -1 e 0 , infatti, sono corrisposti valori rilevati dal *TCM* mediamente compresi tra 0.7 e 1 .

Relativamente ai valori di *sensazione termica espressa* > 0 , invece, sono corrisposti valori di *PMV teorico* mediamente inferiori.

Capitolo 6

6. Sensori distanziometrici

I test soggettivi condotti e analizzati nel presente elaborato ci hanno permesso di capire quali siano le preferenze dell'utente medio relativamente a sensazione termica e velocità dell'aria percepite con i due dispositivi termoventilanti, evidenziando altresì punti di forza e criticità sia dell'uno che dell'altro prodotto.

Sulla base di queste informazioni e noti i profili di velocità dei due dispositivi [14], ci si è chiesti se fosse possibile automatizzare l'emissione del getto in funzione della distanza dell'utente dallo stesso.

Nel presente capitolo vengono analizzate alcune possibili applicazioni di quanto descritto mediante utilizzo di sensori distanziometrici.

6.1 Sensore ultrasuoni HC-SR04

Relativamente all'hardware, il sensore distanziometrico *HC-SR04* è un dispositivo elettronico di tipo ultrasonico costituito da tre componenti principali: un emettitore, un ricevitore e un circuito di controllo. Il sensore genera un impulso sonoro propagato dall'emettitore, mentre il ricevitore ha il compito di intercettare l'onda riflessa. L'onda emessa, infatti, incontrato un ostacolo, torna indietro, cambiando verso di propagazione. Pertanto, nota la velocità di propagazione dell'onda sonora nell'aria ($v_{aria} \approx 343.3 \text{ m/s}$) e il tempo intercorso tra i due istanti, la distanza è facilmente ricavabile come prodotto dei due termini. Tuttavia, il tempo che intercorre dall'istante in cui l'impulso sonoro viene emesso

dall'emettitore a quando lo stesso impulso viene intercettato dal ricevitore, tiene conto sia della propagazione nel tratto *emettitore-ostacolo* che quella dell'onda di rimbalzo nel tratto *ostacolo-ricevitore*, pertanto la relazione precedentemente descritta va divisa per due se si vuole calcolare la distanza *sensore-ostacolo*.

$$distanza = \frac{343.3 \cdot tempo\ intercorso}{2}$$

Il sensore *HC-SR04* effettua una lettura distanziometrica ogni decimo di secondo per un tempo di cinque secondi e, al termine di questi, esegue una media dei risultati raccolti, restituendola sul display collegato. Sullo stesso display viene riportato anche il numero di misure effettuate (n) andate a buon fine. Il parametro n ci consente quindi di valutare l'attendibilità della misura eseguita, che sarà tanto più accurata quanto più n si avvicinerà al valore 50, cioè il numero complessivo di letture effettuate dal sensore nell'intervallo di cinque secondi.

Il sensore è stato collegato alla piattaforma *Arduino*, un hardware composto da una serie di schede elettroniche che, abbinato al software programmabile dedicato, ci ha consentito di fornire al sensore i dati di input per il suo corretto funzionamento.

6.4 Descrizione delle prove

In laboratorio sono state effettuate diverse prove per testare il raggio di azione del sensore e la precisione dello stesso, ponendo un ostacolo (costituito da una lastra di polistirolo di dimensioni 40×112 cm) a distanza longitudinale e trasversale variabile, in un range compreso rispettivamente tra 0.50 e 2.50 m e -0.75 e +0.75 m, rispetto al sistema di riferimento indicato in figura 64.

In rosso vengono rappresentate le 55 posizioni in cui è stato collocato l'asse longitudinale della lastra per le prove distanziometriche. Il punto colorato in blu rappresenta, invece, la posizione fissa del sensore.

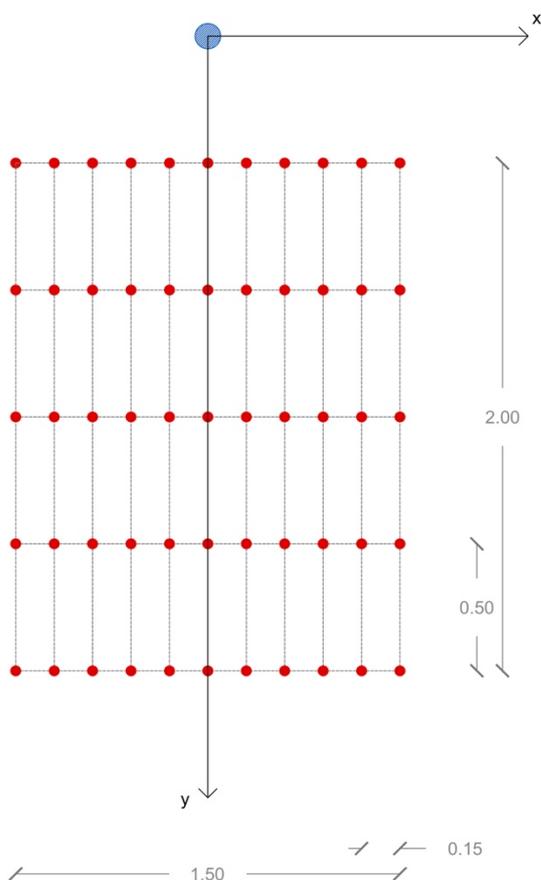


Figura 64 – Sistema di riferimento e area di prova con quote

6.5 Risultati sensore HC-SR04

I risultati ottenuti (tabella 6) evidenziano la forte direzionalità del sensore, le cui misurazioni risultano piuttosto precise se eseguite entro un raggio con ampiezza inferiore a 10° (figura 65). Per raggi più ampi, invece, il sensore rileva un valore compreso tra 3.38 e 3.40 m, che corrisponde alla distanza tra lo stesso e il primo ostacolo posto alle spalle della lastra, cioè il muro perimetrale della camera di prova.

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER
IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

Misure reali	-0.75	-0.60	-0.45	-0.30	-0.15	0.00	0.15	0.30	0.45	0.60	0.75
0.50	3.39 <i>n</i> =39	3.39 <i>n</i> =15	3.39 <i>n</i> =49	3.39 <i>n</i> =31	0.50 <i>n</i> =50	0.50 <i>n</i> =50	0.50 <i>n</i> =50	0.53 <i>n</i> =20	3.40 <i>n</i> =8	3.39 <i>n</i> =49	3.40 <i>n</i> =1
1.00	3.39 <i>n</i> =42	3.39 <i>n</i> =45	3.39 <i>n</i> =19	3.39 <i>n</i> =29	1.00 <i>n</i> =50	1.00 <i>n</i> =50	0.99 <i>n</i> =50	1.02 <i>n</i> =50	3.40 <i>n</i> =1	3.40 <i>n</i> =2	3.39 <i>n</i> =37
1.50	3.39 <i>n</i> =48	3.39 <i>n</i> =29	3.39 <i>n</i> =33	3.38 <i>n</i> =50	1.50 <i>n</i> =50	1.50 <i>n</i> =50	1.50 <i>n</i> =50	3.37 <i>n</i> =50	o.o.r. <i>n</i> =0	3.40 <i>n</i> =1	3.40 <i>n</i> =5
2.00	3.39 <i>n</i> =31	3.39 <i>n</i> =45	3.39 <i>n</i> =41	3.38 <i>n</i> =49	2.01 <i>n</i> =50	2.00 <i>n</i> =50	1.99 <i>n</i> =50	3.37 <i>n</i> =50	3.40 <i>n</i> =1	3.40 <i>n</i> =6	3.39 <i>n</i> =25
2.50	3.39 <i>n</i> =37	3.39 <i>n</i> =48	3.41 <i>n</i> =1	3.40 <i>n</i> =32	2.50 <i>n</i> =50	2.50 <i>n</i> =50	2.48 <i>n</i> =50	3.37 <i>n</i> =50	3.40 <i>n</i> =7	3.40 <i>n</i> =1	3.39 <i>n</i> =1

Tabella 6 – Risultati sensore distanziometrico HC-SR04

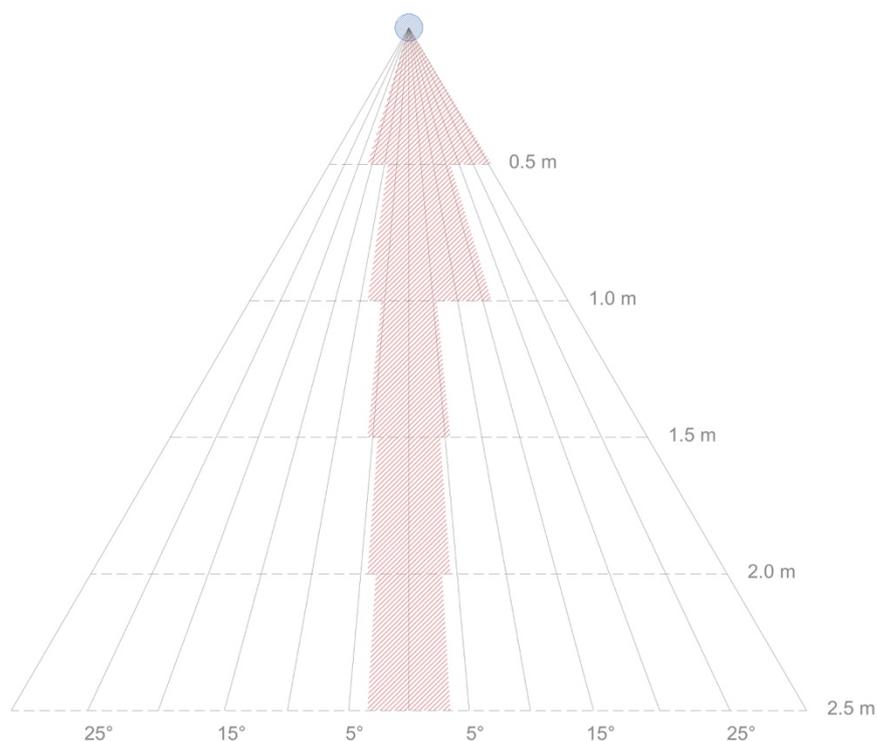


Figura 65 – Raggio di azione (sensore HC-SR04)

Capitolo 7

7. Conclusioni

L'analisi dei questionari soggettivi compilati dagli utenti durante le prove ci ha consentito di valutare quali fossero le percezioni dei *s.s.t.* relativamente ai due prodotti termoventilanti testati.

In merito al comfort termico, non si riscontrano differenze significative tra i due dispositivi nel breve periodo (in riferimento all'istante t_{15}). Al termine della prova, invece, si osserva un evidente distacco in termini di soddisfazione termica tra le due popolazioni di dati: i soggetti che hanno condotto la prova con il prodotto A, infatti, si definiscono mediamente più soddisfatti rispetto a quelli che hanno testato il dispositivo B.

Tale discrepanza nei risultati è da imputarsi – oltre che alla naturale soggettività della prova – a una diversa efficacia del getto in termini direzionali. Alla luce dei dati analizzati, infatti, è emerso che il prodotto A risulta particolarmente efficace nella porzione alta del busto, mentre il dispositivo B presenta un getto maggiormente concentrato verso la zona compresa tra collo e bacino. Tale differenza ha contribuito a produrre un numero maggiore di soggetti termicamente insoddisfatti tra coloro che hanno condotto le prove con il dispositivo B.

Relativamente alla percezione della velocità dell'aria, il prodotto A risulta più confortevole a tutti gli istanti analizzati. Ciò deriva da una minore turbolenza del getto emesso da tale dispositivo, il cui flusso risulta quindi più omogeneo e meno fastidioso per i soggetti che si sono sottoposti alla prova.

Sono state condotte, inoltre, diverse analisi relative alle termografie acquisite durante le prove, dalle quali è emersa un'interessante correlazione tra la temperatura media del viso e la temperatura media globale. Tale risultato è significativo e potrebbe costituire un interessante spunto di approfondimento, poiché conoscere la sola temperatura del viso potrebbe costituire un'informazione indicativa sulla temperatura media globale dell'utente e, conseguentemente, sulla sensazione termica percepita dallo stesso.

Durante lo svolgimento delle prove sono stati acquisiti altresì i valori di *PMV* ai vari istanti analizzati. Tali dati sono stati confrontati con le sensazioni termiche espresse dai soggetti, al fine di valutare se la normativa fosse applicabile anche ad ambienti in cui il raggiungimento delle condizioni di comfort termoigrometrico è affidato ai PCS. Da tali confronti emerge che non vi sia una correlazione sistematica tra le due variabili analizzate. A valori di *PMV soggettivo* ≤ 0 , infatti, il *TCM* ha restituito valori più elevati. Relativamente ai valori di *sensazione termica espressa* > 1 , invece, sono corrisposti valori di *PMV teorico* sottostimati.

I sistemi di climatizzazione locale analizzati si sono rivelati dei validi strumenti per il raggiungimento del comfort termoigrometrico degli utenti, minimizzando al contempo ogni possibile spreco in termini energetici, tipico della climatizzazione generalizzata.

Un ulteriore sviluppo di questi sistemi potrebbe riguardare l'applicazione di sensori di temperatura che, abbinati a sensori distanziometrici, permetterebbero al dispositivo di distinguere la natura dell'ostacolo rilevato, consentendogli conseguentemente di dedurre la presenza o meno di una persona all'interno dell'ambiente analizzato e, in funzione di questo, regolare autonomamente il getto d'aria emesso.

Bibliografia

- [1] J. W. Tester, E. M. Drake, M. J. Driscoll, M. W. Golay e W. A. Peters, *Sustainable Energy: Choosing Among Options*, The MIT Press, 2005.
- [2] International Energy Agency, *Transition to Sustainable Buildings: Strategies and Opportunities to 2050*, 2013.
- [3] Unione Europea, EPBD 2010/31.
- [4] E. Arens, H. Zhang e C. Huizenga, «Partial and whole-body thermal sensation and comfort - part I: uniform environmental conditions» *Journal of Thermal Biology*, vol. 31, n. 1-2, pp. 53-59, 2005.
- [5] J. Verhaart, M. Veselý e W. Zeiler, «Personal heating: effectiveness and energy use» *Building Research & Information*, vol. 43, n. 3, pp. 346-354, 2015.
- [6] F. S. Bauman, T. G. Carter, A. V. Baughman e E. A. Arens, «Field study of the impact of a desktop task/ambient conditioning system in office buildings» *ASHRAE Transactions*, vol. 104, pp. 1153-1171, 1998.
- [7] S. Watanabe, A. K. Melikov e G. L. Knudsen, «Design of an individually controlled system for an optimal thermal microenvironment» *Building and Environment*, vol. 45, pp. 549-558, 2010.
- [8] M. Consoli, «Abitare,» agosto 2016. [Online]. Available: <http://www.abitare.it/it/architettura/progetti/2016/08/08/carlo-ratti-lancia-lufficio-3-0/>.
- [9] H. Zhang, «Human thermal sensation and comfort in transient and non-uniform thermal environments» *UC Berkeley: Center for the Built Environment*, pp. 8-9, 2003.
- [10] K. Katic, R. Li e W. Zeiler, «Thermophysiological models and their applications: a review» *Building and Environment*, n. 106, pp. 286-300, 2016.
- [11] International Organization for Standardization, «UNI EN ISO 7730, Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER
IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria» 2005.

- [12] H. Li, H. Deng e Y. Lai, «Numerical and experimental research on the outlet flow field for the air multiplier» *Applied Thermal Engineering*, vol. 93, pp. 652-659, 2016.
- [13] G. Li, Y. Hu, Y. Jin, S. Toshiaki e K. Heuy Dong, «Influence of Coanda surface curvature on performance of bladeless fan» *Journal of Thermal Science*, vol. 23, n. 5, pp. 422-431, 2014.
- [14] B. W. Olesen, «Thermal Comfort» pp. 42-43, 1982.
- [15] M. Franco, «Sistemi per il controllo locale del microclima nell'ambiente costruito», 2018.
- [16] C. Pastacaldi, «Analisi teorica e sperimentale di sistemi per la climatizzazione locale» pp. 69-78, 2017.

Allegato A

Nel presente allegato vengono riportati i dati estratti dai questionari svolti durante i test condotti con il prodotto A. Le scale utilizzate vengono riportate di seguito:

Fascia d'età:

1: 20-25 anni;

2: 26-30 anni;

3: 31-35 anni;

4: 36-40 anni;

5: 41-45 anni;

6: 46-50 anni;

7: 51-55 anni;

8: 56-60 anni.

Sensibilità al freddo/caldo/velocità dell'aria:

0: non sensibile;

1: leggermente sensibile;

2: sensibile;

3: molto sensibile.

Sensazione termica percepita:

3: molto caldo;

2: caldo;

1: leggermente caldo;

0: neutro;

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER
IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

-1: *leggermente freddo;*

-2: *freddo;*

-3: *molto freddo.*

Comfort termico percepito:

1: *molto confortevole;*

2: *confortevole;*

3: *leggermente confortevole;*

4: *leggermente fastidioso;*

5: *fastidioso;*

6: *molto fastidioso.*

Modifiche termiche desiderate:

1: *molto più fresco;*

2: *più fresco;*

3: *leggermente più fresco;*

4: *né più fresco né più caldo;*

5: *leggermente più caldo;*

6: *più caldo;*

7: *molto più caldo.*

Velocità dell'aria percepita:

1: *molto piacevole;*

2: *piacevole;*

3: *leggermente piacevole;*

4: *leggermente fastidiosa;*

5: *fastidiosa;*

6: *molto fastidiosa.*

Modifiche alla velocità dell'aria desiderate:

1: *molto più veloce;*

2: *più veloce;*

3: *leggermente più veloce;*

4: *né più veloce né più lenta;*

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER
IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

5: *leggermente più lenta;*

6: *più lenta;*

7: *molto più lenta.*

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER
IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

	n° test	Temperatura [°C]	PMV [-]	PPD [%]	Fascia d'età	Genere	MBI	I _{cl} [clo]	M [Met]	Sensibilità al freddo	Sensibilità al caldo	Sensibilità velocità dell'aria	Sensazione termica	Comfort termico	Modifiche termiche desiderate
t ₀	1	28.7	0.82	21	1	M	27.40	0.53	1.2	0	2	2	1	2	1
t ₁₅		28.7	0.77	19									0	2	3
t ₆₀		28.6	0.69	16									-1	1	4
t ₀	2	29.0	1.00	31	1	M	23.55	0.53	1.2	1	2	0	2	5	2
t ₁₅		29.1	0.65	15									0	2	3
t ₆₀		28.7	0.77	19									0	2	3
t ₀	3	28.7	0.56	12	1	M	21.88	0.53	1.2	2	1	2	1	2	3
t ₁₅		29.0	0.77	19									0	3	4
t ₆₀		29.0	0.80	21									0	2	4
t ₀	4	28.7	0.83	21	3	M	29.73	0.53	1.2	1	3	1	2	3	3
t ₁₅		29.5	0.87	22									0	2	3
t ₆₀		28.9	0.81	20									0	2	3
t ₀	5	29.0	1.00	32	1	F	22.49	0.74	1.2	1	2	1	1	3	2
t ₁₅		29.8	1.00	32									0	2	3
t ₆₀		28.7	0.87	24									0	2	3
t ₀	6	29.2	0.94	26	2	M	23.57	0.53	1.2	1	1	2	2	5	2
t ₁₅		28.9	0.94	26									1	3	1
t ₆₀		29.0	0.99	29									0	4	1
t ₀	7	28.7	0.47	10	1	M	21.72	0.39	1.2	1	1	1	1	4	3
t ₁₅		28.8	0.56	11									0	3	4
t ₆₀		30.0	0.69	16									1	3	3
t ₀	8	29.2	0.96	27	2	M	25.98	0.51	1.2	0	3	2	2	2	2
t ₁₅		28.8	0.65	15									-1	4	4
t ₆₀		28.7	0.59	13									-1	4	4
t ₀	9	28.7	1.1	37	2	M	22.26	0.63	1.2	1	1	2	2	4	2
t ₁₅		28.9	0.88	23									1	2	3
t ₆₀		28.9	0.91	25									0	2	4

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER
IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

t ₀		29.0	0.85	22									2	4	2
t ₁₅	10	29.2	0.80	21	2	M	24.69	0.51	1.2	1	1	0	0	2	3
t ₆₀		29.1	0.85	20									0	2	3
t ₀		28.9	1.1	34									1	3	3
t ₁₅	11	29.1	0.84	22	5	F	26.57	0.60	1.2	1	2	0	-1	4	5
t ₆₀		28.9	0.98	27									-1	4	5
t ₀		29.0	1.00	30									2	4	2
t ₁₅	12	29.1	0.99	28	1	M	24.38	0.53	1.2	1	2	1	0	2	4
t ₆₀		29.0	0.98	27									0	2	4
t ₀		28.7	0.78	19									3	5	1
t ₁₅	13	28.8	0.75	18	1	M	23.15	0.53	1.2	1	2	1	2	4	2
t ₆₀		28.7	0.74	18									0	2	3
t ₀		28.6	0.87	23									3	6	1
t ₁₅	14	28.7	0.67	16	1	M	22.72	0.53	1.2	1	2	1	1	3	3
t ₆₀		29.2	0.82	20									0	3	3
t ₀		28.8	0.84	22									2	4	2
t ₁₅	15	30.1	1.00	31	1	M	26.57	0.53	1.2	2	1	2	-1	3	3
t ₆₀		30.0	1.00	31									0	3	3
t ₀		29.1	1.2	42									2	4	2
t ₁₅	16	28.7	0.91	25	2	M	20.66	0.69	1.2	1	1	2	0	3	2
t ₆₀		29.2	0.92	25									-1	3	4
t ₀		28.8	0.88	23									0	3	3
t ₁₅	17	29.6	1.00	32	1	M	20.52	0.62	1.2	1	1	0	1	3	2
t ₆₀		29.8	1.1	34									1	3	2
t ₀		28.9	1.3	45									1	1	3
t ₁₅	18	29.0	1.2	39	2	F	27.68	0.74	1.2	3	2	0	0	3	4
t ₆₀		29.2	1.1	33									0	3	4
t ₀		28.8	0.97	27									3	2	3
t ₁₅	19	28.6	0.96	26	1	F	25.22	0.71	1.2	3	1	3	-1	4	5
t ₆₀		28.7	0.91	25									-1	4	6
t ₀		28.7	1.00	31									2	2	1
t ₁₅	20	28.8	0.92	27	1	M	20.52	0.64	1.2	1	3	0	1	2	2
t ₆₀		29.0	1.00	29									0	3	2
t ₀		29.0	1.1	29									2	5	2
t ₁₅	21	29.4	1.00	30	1	M	27.77	0.55	1.2	1	3	1	1	2	3

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER
IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

t ₆₀		29.7	1.1	35									1	3	3
t ₀		28.7	0.89	23									2	4	2
t ₁₅	22	28.9	0.76	18	1	M	25.11	0.51	1.2	1	3	3	-1	3	3
t ₆₀		28.9	0.84	21									-1	2	4
t ₀		29.4	1.00	29									3	5	1
t ₁₅	23	29.8	0.93	25	1	M	27.61	0.51	1.2	0	3	0	1	3	1
t ₆₀		29.9	1.00	28									0	3	2
t ₀		28.7	0.76	18									3	5	1
t ₁₅	24	29.9	1.1	35	1	M	24.31	0.60	1.2	0	3	1	1	2	1
t ₆₀		29.6	1.00	33									1	2	2
t ₀		28.7	0.83	21									0	4	1
t ₁₅	25	28.6	0.76	18	1	M	25.54	0.53	1.2	0	2	1	0	2	4
t ₆₀		29.1	0.91	24									0	2	4
t ₀		29.0	1.00	31									2	4	2
t ₁₅	26	28.6	0.76	19	1	M	24.93	0.53	1.2	1	2	2	0	1	3
t ₆₀		29.4	0.97	27									0	1	4
t ₀		29.0	1.2	41									3	5	2
t ₁₅	27	28.9	0.90	24	1	M	20.52	0.68	1.2	1	3	1	0	3	4
t ₆₀		29.0	0.99	27									0	3	3
t ₀		29.3	1.2	38									1	2	2
t ₁₅	28	28.7	0.99	27	1	M	26.58	0.64	1.2	1	3	1	-1	2	3
t ₆₀		29.4	1.1	36									-2	1	1
t ₀		29.1	1.1	37									2	5	2
t ₁₅	29	28.9	0.9	24	1	M	22.09	0.62	1.2	0	2	2	0	3	3
t ₆₀		29.2	1.1	35									0	3	3
t ₀		28.7	0.73	18									2	5	2
t ₁₅	30	29.2	0.94	26	1	M	23.62	0.52	1.2	0	2	1	1	3	3
t ₆₀		28.8	0.83	21									1	4	3

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER
IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

n° test	Parti del corpo particolarmente calde												Parti del corpo particolarmente fredde																										
	Faccia	Collo	Petto	Braccio sx	Braccio dx	Mano sx	Mano dx	Bacino	Gamba sx	Gamba dx	Piede sx	Piede dx	Faccia	Collo	Petto	Braccio sx	Braccio dx	Mano sx	Mano dx	Bacino	Gamba sx	Gamba dx	Piede sx	Piede dx															
1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0		
7	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
8	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
9	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER
IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
12	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
20	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER
IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Allegato B

Nel presente allegato vengono riportati i dati estratti dai questionari svolti durante i test condotti con il prodotto B. Le scale utilizzate sono le medesime riportate in allegato A.

	n° test	Temperatura [°C]	PMV [-]	PPD [%]	Fascia d'età	Genere	MBI	I _{cl} [clo]	M [Met]	Sensibilità al freddo	Sensibilità al caldo	Sensibilità velocità dell'aria	Sensazione termica	Comfort termico	Modifiche termiche
t ₀	1	27.7	0.61	13	1	F	21.48	0.53	1.2	0	0	0	1	3	3
t ₁₅		28.4	0.54	12									0	2	4
t ₆₀		28.7	0.56	12									0	2	4
t ₀	2	28.4	0.28	8	1	F	20.55	0.44	1.2	2	1	0	2	4	2
t ₁₅		29.3	0.48	10									0	2	4
t ₆₀		28.7	0.12	6									0	1	2
t ₀	3	29.6	1.10	33	1	M	24.84	0.51	1.2	2	3	0	2	2	2
t ₁₅		29.4	0.81	18									0	1	4
t ₆₀		29.4	0.8	24									0	1	4
t ₀	4	28.8	0.82	20	1	M	26.23	0.51	1.2	1	3	3	1	4	2
t ₁₅		28.8	0.79	19									0	3	4
t ₆₀		28.8	0.73	17									-1	4	4

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER
IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

t ₀		28.8	1.00	30									2	4	2
t ₁₅	5	28.8	0.92	25	1	M	25.40	0.65	1.2	3	3	3	-1	3	3
t ₆₀		28.8	0.9	24									-1	3	3
t ₀		29.1	0.88	23									3	3	2
t ₁₅	6	29.0	0.83	21	1	M	19.39	0.53	1.2	3	1	2	1	3	4
t ₆₀		28.8	0.76	18									0	3	4
t ₀		29.0	0.92	24									3	5	1
t ₁₅	7	29.1	0.71	17	1	M	24.66	0.53	1.2	0	3	1	1	2	3
t ₆₀		29.7	0.85	22									1	2	2
t ₀		28.7	0.85	22									2	5	2
t ₁₅	8	28.8	0.81	20	1	M	23.15	0.53	1.2	0	2	1	1	3	3
t ₆₀		28.9	0.70	17									1	2	3
t ₀		28.7	1.00	32									2	2	2
t ₁₅	9	28.7	0.86	23	1	M	24.31	0.71	1.2	1	3	1	1	2	2
t ₆₀		28.9	0.89	23									1	3	2
t ₀		29.0	0.95	25									2	4	2
t ₁₅	10	29.5	0.72	17	1	M	26.57	0.51	1.2	1	0	2	0	2	3
t ₆₀		29.9	0.90	24									0	2	3
t ₀		28.8	0.70	17									2	5	2
t ₁₅	11	28.9	0.68	16	1	M	20.23	0.39	1.2	1	2	1	0	4	3
t ₆₀		29.2	0.56	12									0	5	3
t ₀		28.7	0.89	24									3	5	1
t ₁₅	12	28.9	0.75	18	1	M	27.61	0.53	1.2	0	3	0	0	2	3
t ₆₀		29.3	0.75	19									0	2	2
t ₀		28.9	1.00	32									2	4	2
t ₁₅	13	29.1	0.98	27	6	M	27.08	0.65	1.2	3	0	1	0	3	3
t ₆₀		29.2	0.99	28									0	3	4
t ₀		28.8	0.75	18									2	2	2
t ₁₅	14	29.0	0.48	10	1	M	24.51	0.53	1.2	1	3	2	-2	2	2
t ₆₀		29.2	0.59	13									-2	2	3
t ₀		28.7	1.00	31									2	5	2
t ₁₅	15	28.8	0.81	20	2	M	24.90	0.60	1.2	1	2	2	1	3	2
t ₆₀		29.4	1.00	32									0	2	3

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER
IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

t ₀		28.9	0.61	14									2	4	2
t ₁₅	16	29.0	0.53	14	1	M	21.80	0.39	1.2	2	1	1	1	4	3
t ₆₀		29.2	0.71	17									1	4	3
t ₀		28.7	0.79	16									1	4	3
t ₁₅	17	29.3	0.85	21	3	F	21.30	0.46	1.2	1	2	0	-1	2	5
t ₆₀		29.0	0.56	13									-1	4	5
t ₀		29.3	1.2	44									2	5	2
t ₁₅	18	29.7	1.1	36	1	M	22.09	0.63	1.2	1	2	1	1	3	3
t ₆₀		29.8	1.1	37									1	4	4
t ₀		29.7	1.00	31									3	5	1
t ₁₅	19	29.9	1.10	35	1	M	30.46	0.53	1.2	0	3	1	2	4	2
t ₆₀		29.8	1.00	33									1	4	2
t ₀		29.3	1.00	29									2	2	2
t ₁₅	20	29.4	0.95	27	4	M	22.72	0.61	1.2	2	2	0	-1	2	4
t ₆₀		28.9	0.83	27									0	2	4
t ₀		28.7	0.74	17									1	3	3
t ₁₅	21	28.9	0.70	17	6	M	23.88	0.49	1.2	1	1	1	0	2	4
t ₆₀		29.1	0.79	20									0	2	4
t ₀		28.6	0.84	22									2	5	1
t ₁₅	22	28.8	0.70	18	1	M	23.53	0.51	1.2	1	3	1	0	3	3
t ₆₀		29.4	0.93	25									0	3	3
t ₀		29.1	0.93	25									1	3	3
t ₁₅	23	28.9	0.83	21	1	M	20.68	0.51	1.2	1	3	1	0	3	4
t ₆₀		29.0	0.72	17									-1	4	5
t ₀		28.7	0.86	22									1	3	3
t ₁₅	24	28.9	0.83	21	2	M	22.26	0.53	1.2	1	1	1	0	3	3
t ₆₀		29.4	0.97	27									0	2	4
t ₀		28.6	1.00	29									2	4	3
t ₁₅	25	29.4	1.00	32	2	M	26.30	0.76	1.2	2	2	1	0	2	4
t ₆₀		28.7	0.88	23									0	2	4
t ₀		28.7	0.75	17									0	4	2
t ₁₅	26	29.9	0.99	28	1	M	24.26	0.51	1.2	0	3	0	0	4	3
t ₆₀		28.9	0.74	19									-1	4	3

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER
IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

t ₀		28.7	1.1	34									1	2	3
t ₁₅	27	29.0	0.98	29	3	F	27.76	0.63	1.2	1	2	3	-1	4	5
t ₆₀		28.8	0.92	24									-1	3	5
t ₀		29.0	0.95	25									1	4	3
t ₁₅	28	28.9	0.83	21	4	M	26.17	0.53	1.2	1	1	2	0	2	4
t ₆₀		29.0	0.68	16									0	3	4
t ₀		28.7	0.84	21									2	3	2
t ₁₅	29	29.0	0.79	19	1	M	26.85	0.53	1.2	0	3	0	1	3	3
t ₆₀		29.7	0.92	25									2	5	3
t ₀		28.7	0.97	26									2	5	2
t ₁₅	30	28.6	0.68	16	1	M	21.85	0.51	1.2	1	2	0	-1	2	2
t ₆₀		28.7	0.78	19									-1	2	4
t ₀		28.6	0.86	23									1	3	3
t ₁₅	31	29.6	1.00	31	2	F	21.08	0.63	1.2	2	1	2	0	3	3
t ₆₀		29.5	0.97	25									-1	4	4

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

n° test	Parti del corpo particolarmente calde												Parti del corpo particolarmente fredde											
	Faccia	Collo	Petto	Braccio sx	Braccio dx	Mano sx	Mano dx	Bacino	Gamba sx	Gamba dx	Piede sx	Piede dx	Faccia	Collo	Petto	Braccio sx	Braccio dx	Mano sx	Mano dx	Bacino	Gamba sx	Gamba dx	Piede sx	Piede dx
1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER
IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

10	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
13	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
14	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
15	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
17	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	
18	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
19	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER
IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

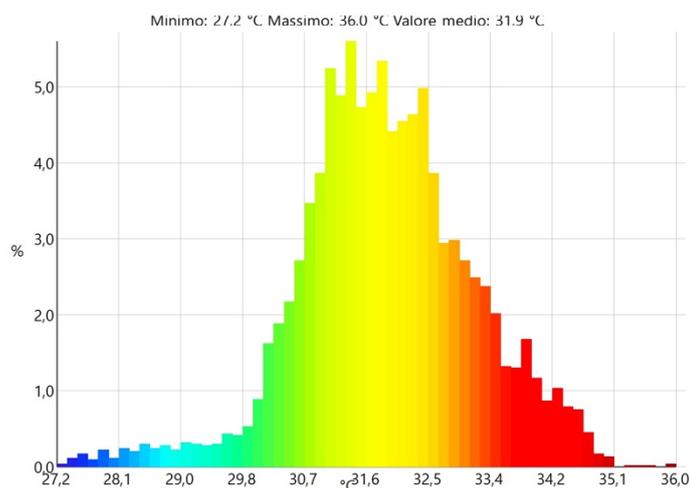
21	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0

Allegato C

Nel presente allegato sono riportati gli istogrammi relativi alle temperature superficiali dei *s.s.t.*, ricavati dall'analisi delle termografie acquisite durante i test sia con il prodotto A che con il prodotto B, tracciando manualmente il contorno del soggetto analizzato.

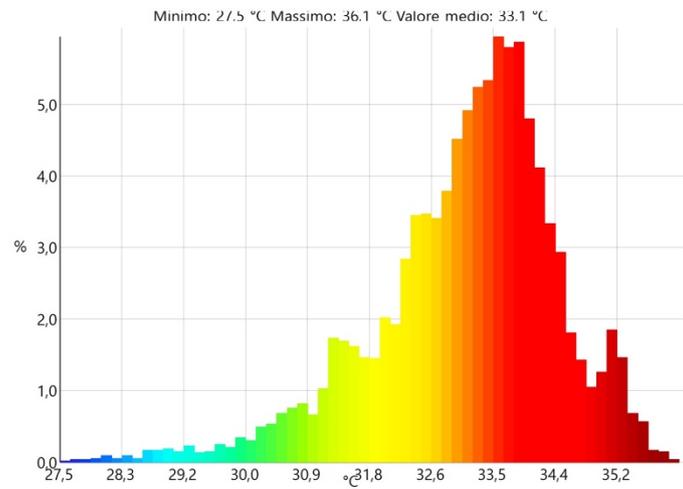
Analisi termografica dei soggetti che hanno svolto il test con il prodotto A (istante t_0)

$T_{m, globale}$	31.9 °C
$T_{min, globale}$	27.2 °C
$T_{max, globale}$	36.0 °C
$T_{m, viso}$	32.7 °C
$T_{min, viso}$	30.1 °C
$T_{max, viso}$	34.8 °C

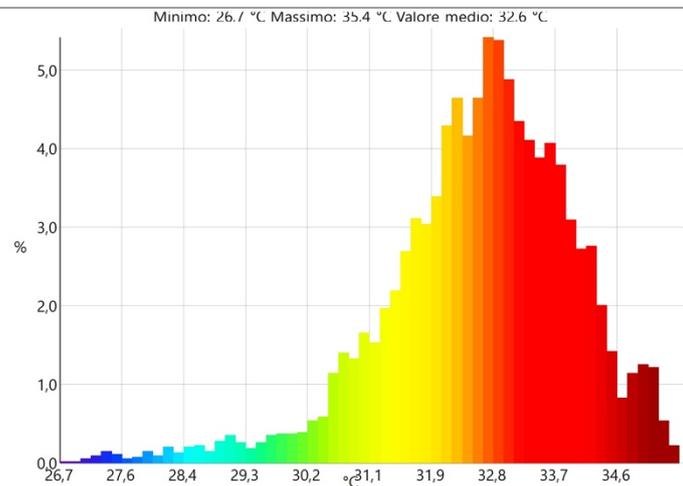


ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER
IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

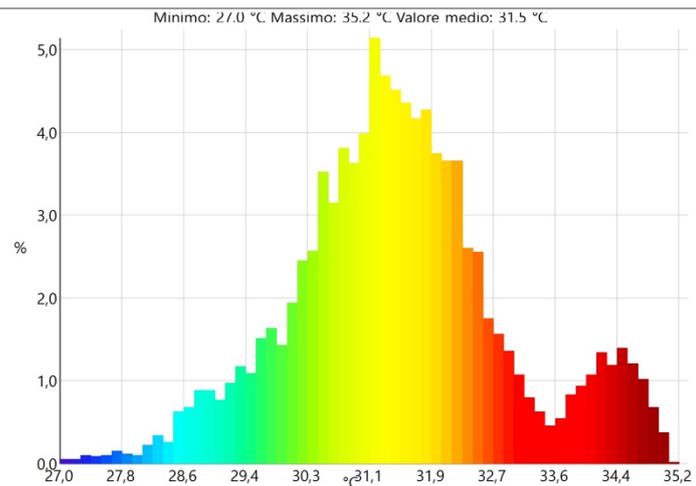
$T_{m, globale}$	33.1 °C
$T_{min, globale}$	27.5 °C
$T_{max, globale}$	36.1 °C
$T_{m, viso}$	34.7 °C
$T_{min, viso}$	29.3 °C
$T_{max, viso}$	36.1 °C



$T_{m, globale}$	32.6 °C
$T_{min, globale}$	26.7 °C
$T_{max, globale}$	35.4 °C
$T_{m, viso}$	33.6 °C
$T_{min, viso}$	28.8 °C
$T_{max, viso}$	35.3 °C

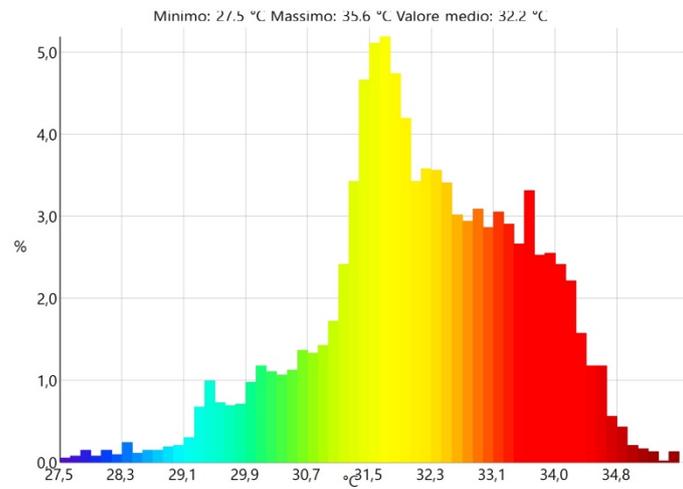


$T_{m, globale}$	31.5 °C
$T_{min, globale}$	27.0 °C
$T_{max, globale}$	35.2 °C
$T_{m, viso}$	33.8 °C
$T_{min, viso}$	29.1 °C
$T_{max, viso}$	35.1 °C

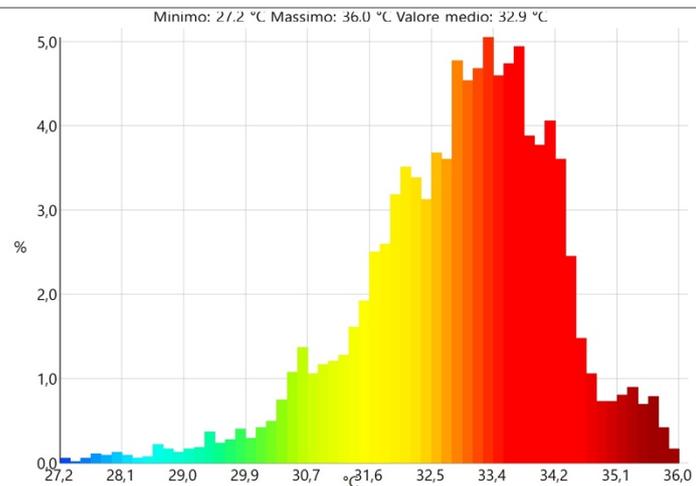


ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER
IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

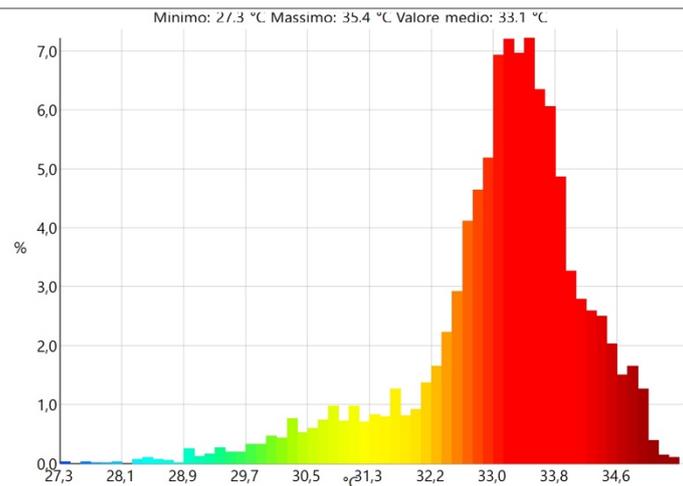
$T_{m, globale}$	32.2 °C
$T_{min, globale}$	27.5 °C
$T_{max, globale}$	35.6 °C
$T_{m, viso}$	34.0 °C
$T_{min, viso}$	32.3 °C
$T_{max, viso}$	35.3 °C



$T_{m, globale}$	32.9 °C
$T_{min, globale}$	27.2 °C
$T_{max, globale}$	36.0 °C
$T_{m, viso}$	34.9 °C
$T_{min, viso}$	32.8 °C
$T_{max, viso}$	36.0 °C

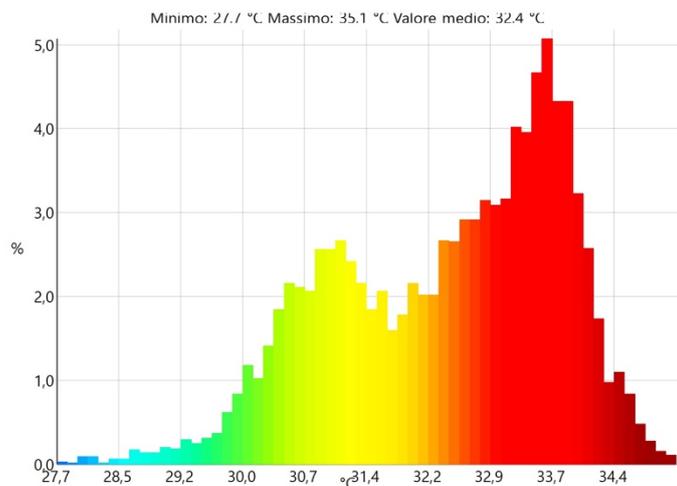


$T_{m, globale}$	33.1 °C
$T_{min, globale}$	27.3 °C
$T_{max, globale}$	35.4 °C
$T_{m, viso}$	34.4 °C
$T_{min, viso}$	30.9 °C
$T_{max, viso}$	35.4 °C

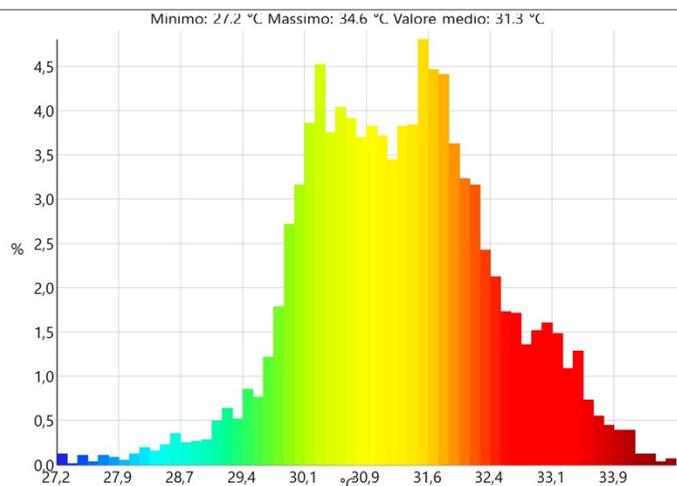


ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER
IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

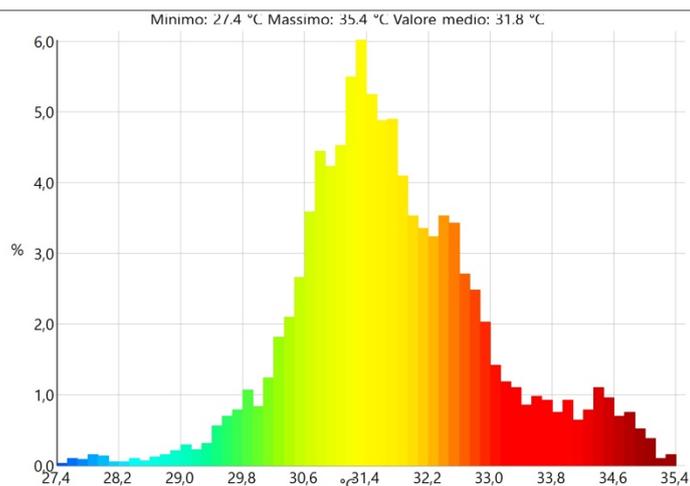
$T_{m, globale}$	32.4 °C
$T_{min, globale}$	27.7 °C
$T_{max, globale}$	35.1 °C
$T_{m, viso}$	33.9 °C
$T_{min, viso}$	31.1 °C
$T_{max, viso}$	35.1 °C



$T_{m, globale}$	31.3 °C
$T_{min, globale}$	27.2 °C
$T_{max, globale}$	34.6 °C
$T_{m, viso}$	32.6 °C
$T_{min, viso}$	29.8 °C
$T_{max, viso}$	34.6 °C

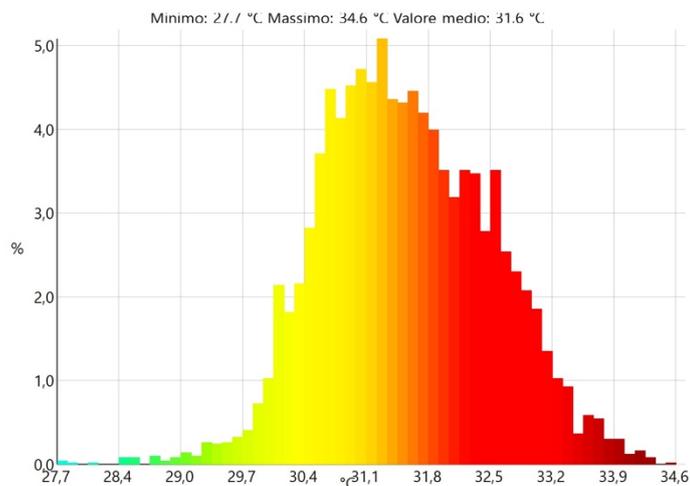


$T_{m, globale}$	31.8 °C
$T_{min, globale}$	27.4 °C
$T_{max, globale}$	35.4 °C
$T_{m, viso}$	34.2 °C
$T_{min, viso}$	30.3 °C
$T_{max, viso}$	35.4 °C

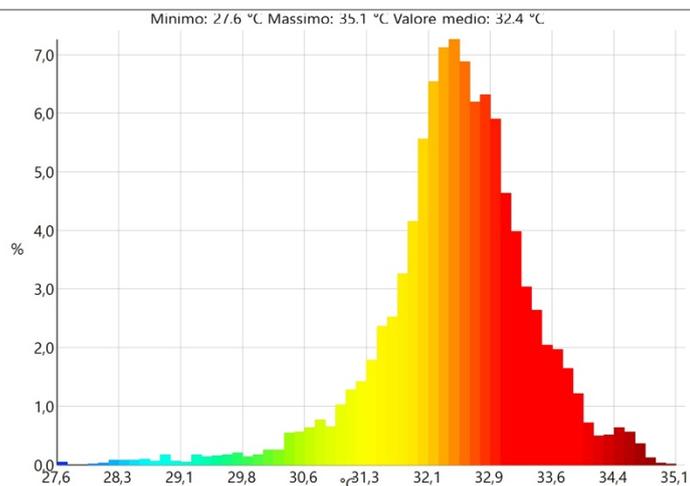


ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

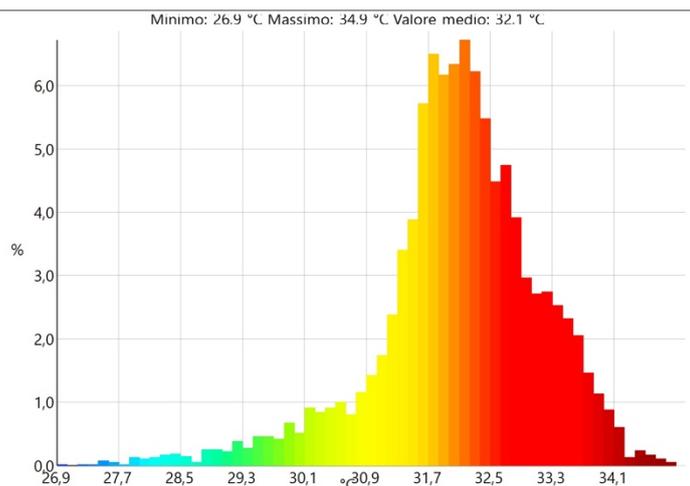
$T_{m, globale}$	31.6 °C
$T_{min, globale}$	27.7 °C
$T_{max, globale}$	34.6 °C
$T_{m, viso}$	32.2 °C
$T_{min, viso}$	30.7 °C
$T_{max, viso}$	33.7 °C



$T_{m, globale}$	32.4 °C
$T_{min, globale}$	27.6 °C
$T_{max, globale}$	35.1 °C
$T_{m, viso}$	33.7 °C
$T_{min, viso}$	31.2 °C
$T_{max, viso}$	35.1 °C

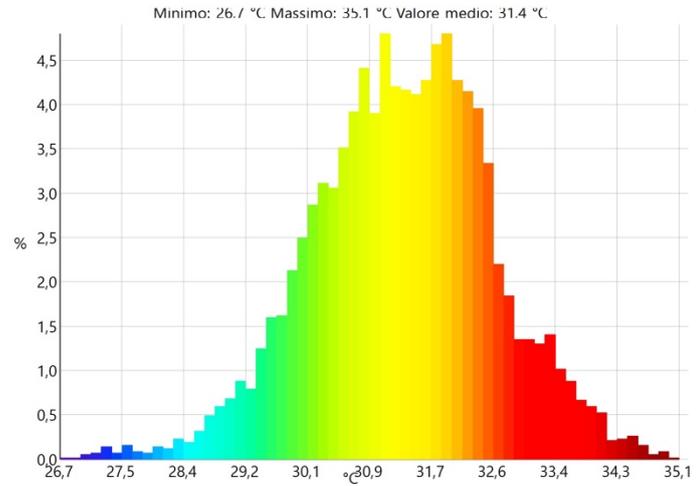


$T_{m, globale}$	32.1 °C
$T_{min, globale}$	26.9 °C
$T_{max, globale}$	34.9 °C
$T_{m, viso}$	33.1 °C
$T_{min, viso}$	30.5 °C
$T_{max, viso}$	34.9 °C

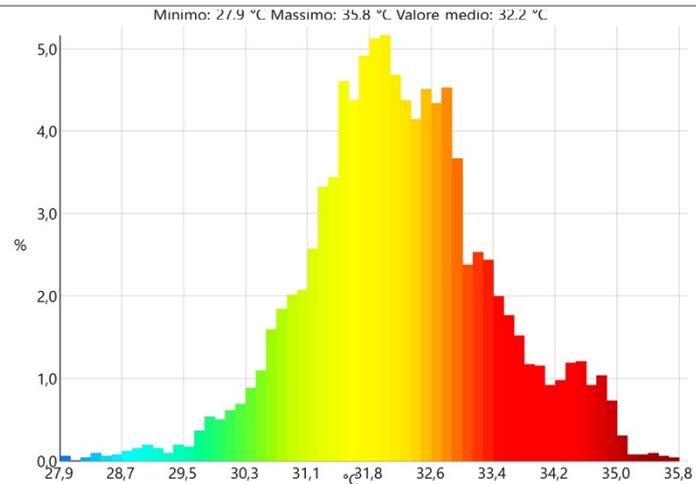


ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

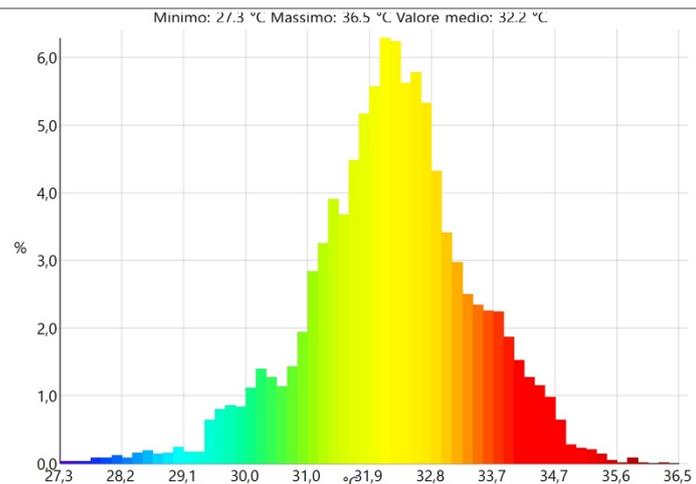
$T_{m, globale}$	31.4 °C
$T_{min, globale}$	26.7 °C
$T_{max, globale}$	35.1 °C
$T_{m, viso}$	32.3 °C
$T_{min, viso}$	29.0 °C
$T_{max, viso}$	34.5 °C



$T_{m, globale}$	32.2 °C
$T_{min, globale}$	27.9 °C
$T_{max, globale}$	35.8 °C
$T_{m, viso}$	33.9 °C
$T_{min, viso}$	31.0 °C
$T_{max, viso}$	35.1 °C

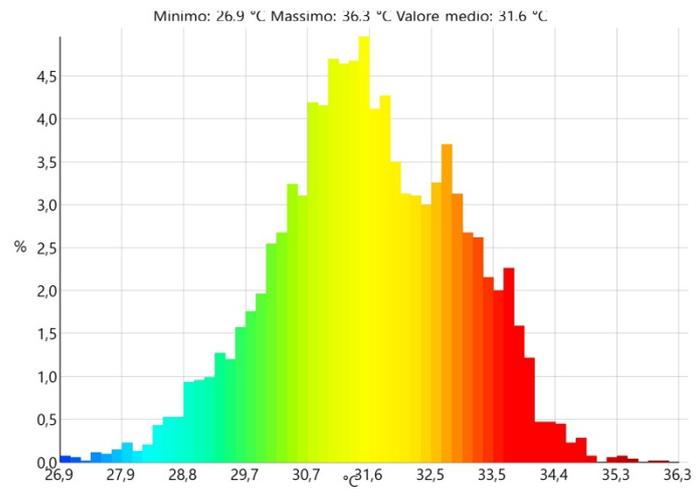


$T_{m, globale}$	32.2 °C
$T_{min, globale}$	27.3 °C
$T_{max, globale}$	36.5 °C
$T_{m, viso}$	33.8 °C
$T_{min, viso}$	31.3 °C
$T_{max, viso}$	34.9 °C

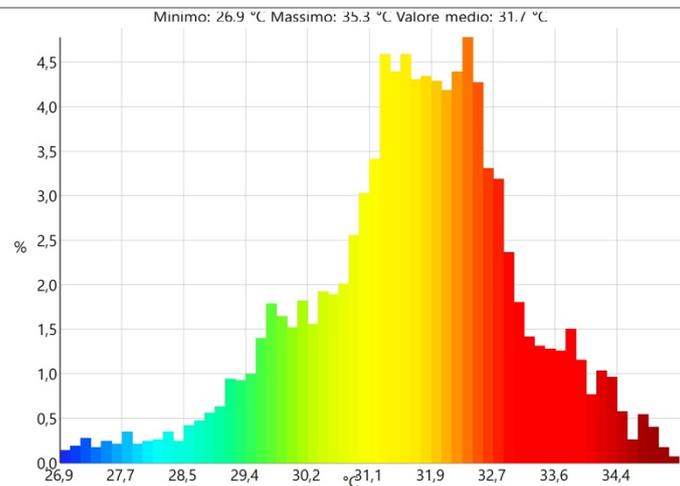


ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

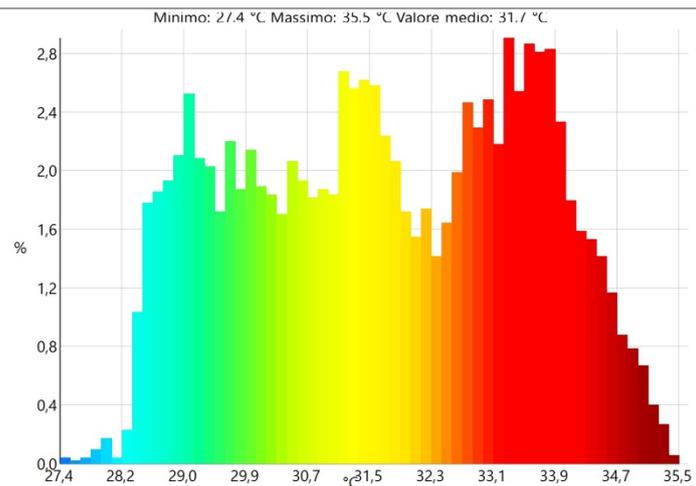
$T_{m, globale}$	31.6 °C
$T_{min, globale}$	26.9 °C
$T_{max, globale}$	36.3 °C
$T_{m, viso}$	33.1 °C
$T_{min, viso}$	30.0 °C
$T_{max, viso}$	34.8 °C



$T_{m, globale}$	31.7 °C
$T_{min, globale}$	26.9 °C
$T_{max, globale}$	35.3 °C
$T_{m, viso}$	34.1 °C
$T_{min, viso}$	31.6 °C
$T_{max, viso}$	35.3 °C

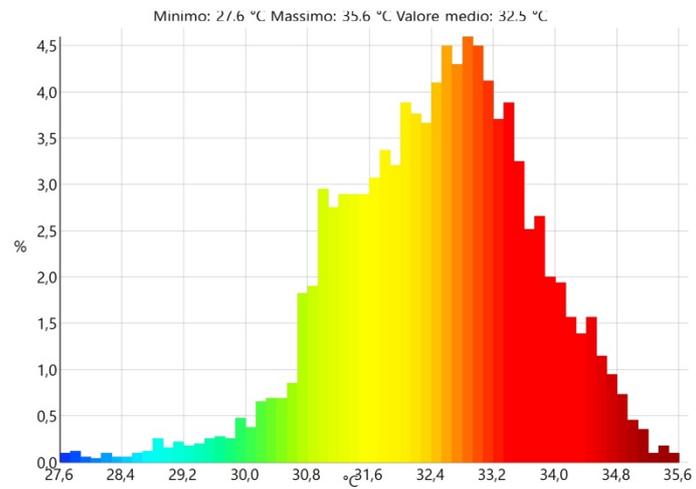


$T_{m, globale}$	31.7 °C
$T_{min, globale}$	27.4 °C
$T_{max, globale}$	35.5 °C
$T_{m, viso}$	34.4 °C
$T_{min, viso}$	32.2 °C
$T_{max, viso}$	35.5 °C

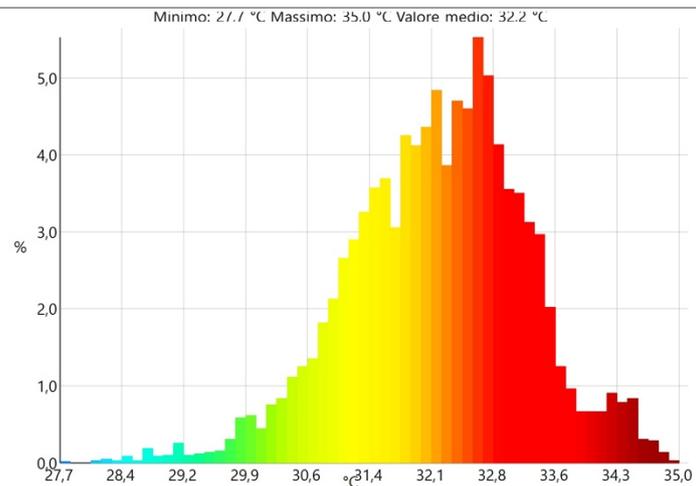


ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER
IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

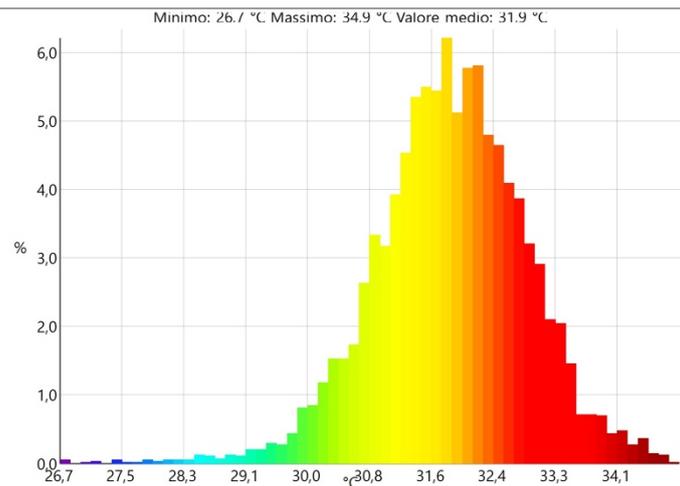
$T_{m, globale}$	32.5 °C
$T_{min, globale}$	27.6 °C
$T_{max, globale}$	35.6 °C
$T_{m, viso}$	33.9 °C
$T_{min, viso}$	30.9 °C
$T_{max, viso}$	35.5 °C



$T_{m, globale}$	32.2 °C
$T_{min, globale}$	27.7 °C
$T_{max, globale}$	35.0 °C
$T_{m, viso}$	33.1 °C
$T_{min, viso}$	30.2 °C
$T_{max, viso}$	34.8 °C

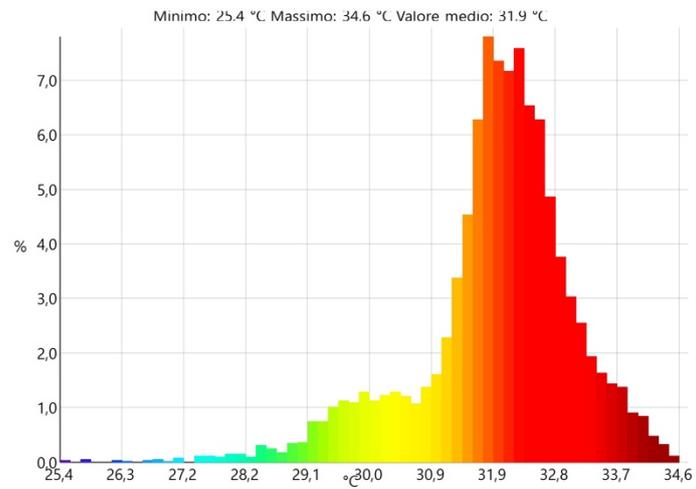


$T_{m, globale}$	31.9 °C
$T_{min, globale}$	26.7 °C
$T_{max, globale}$	34.9 °C
$T_{m, viso}$	33.0 °C
$T_{min, viso}$	30.9 °C
$T_{max, viso}$	34.9 °C

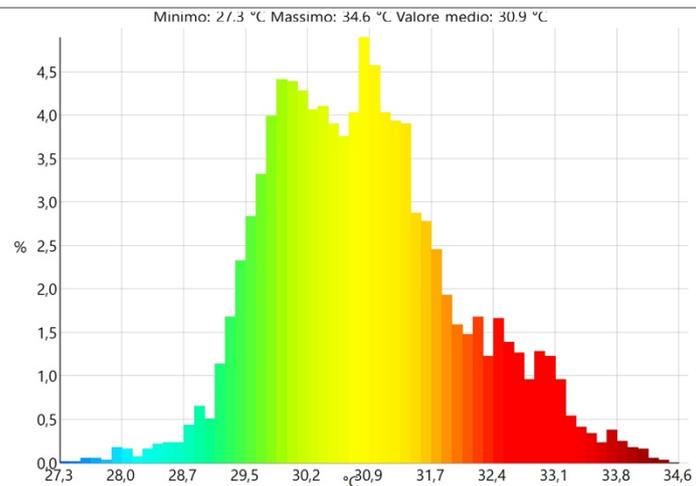


ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER
IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

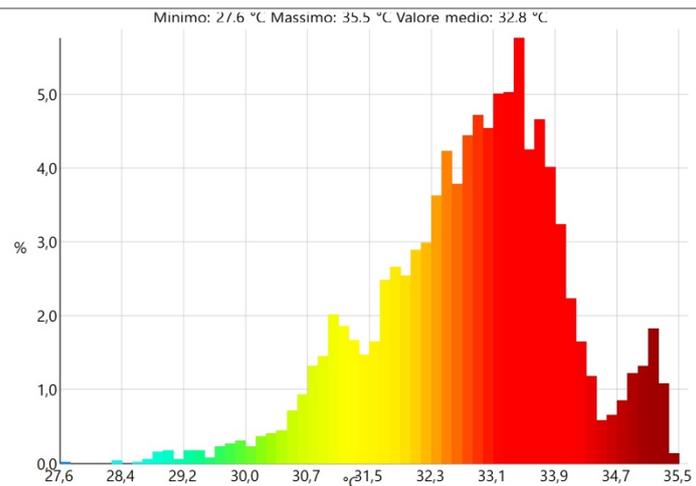
$T_{m, globale}$	31.9 °C
$T_{min, globale}$	25.4 °C
$T_{max, globale}$	34.6 °C
$T_{m, viso}$	32.2 °C
$T_{min, viso}$	28.4 °C
$T_{max, viso}$	34.5 °C



$T_{m, globale}$	30.9 °C
$T_{min, globale}$	27.3 °C
$T_{max, globale}$	34.6 °C
$T_{m, viso}$	31.5 °C
$T_{min, viso}$	29.3 °C
$T_{max, viso}$	34.0 °C

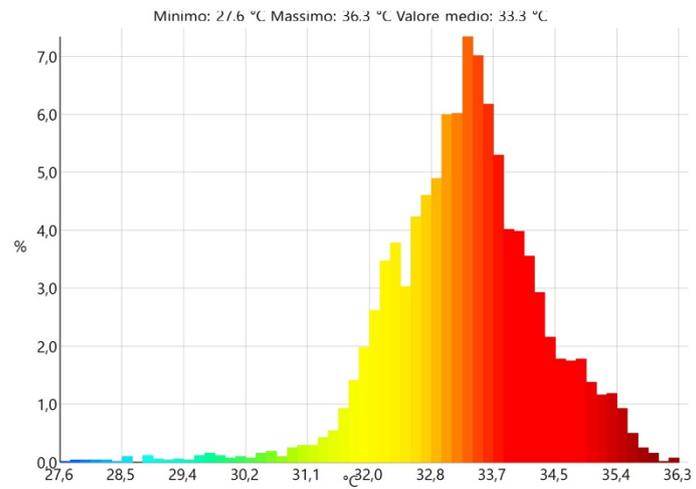


$T_{m, globale}$	32.8 °C
$T_{min, globale}$	27.6 °C
$T_{max, globale}$	35.5 °C
$T_{m, viso}$	34.4 °C
$T_{min, viso}$	31.6 °C
$T_{max, viso}$	35.4 °C

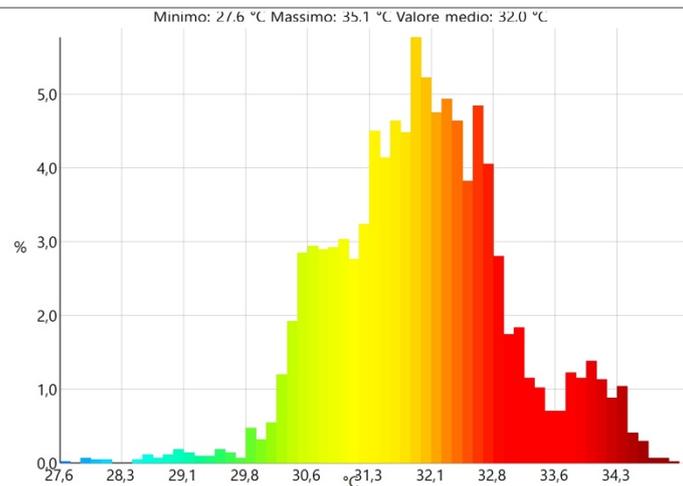


ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER
IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

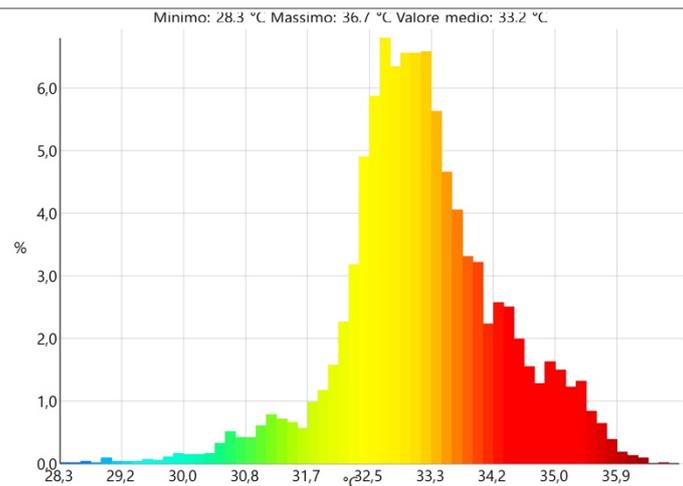
$T_{m, globale}$	33.3 °C
$T_{min, globale}$	27.6 °C
$T_{max, globale}$	36.3 °C
$T_{m, viso}$	34.4 °C
$T_{min, viso}$	30.8 °C
$T_{max, viso}$	35.5 °C



$T_{m, globale}$	32.0 °C
$T_{min, globale}$	27.6 °C
$T_{max, globale}$	35.1 °C
$T_{m, viso}$	33.7 °C
$T_{min, viso}$	29.9 °C
$T_{max, viso}$	35.1 °C

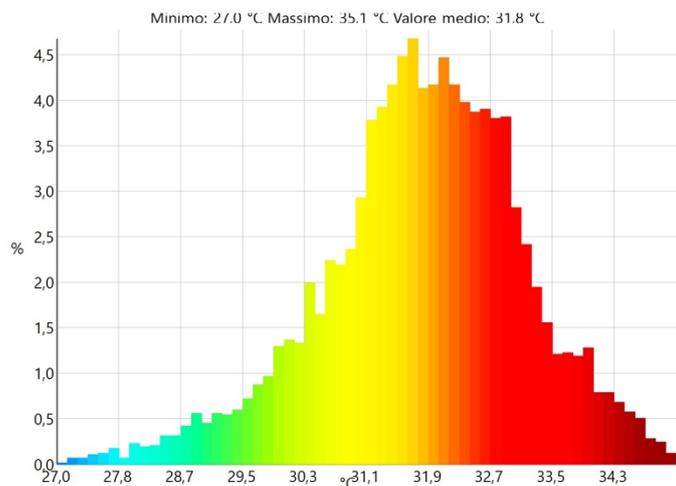


$T_{m, globale}$	33.2 °C
$T_{min, globale}$	28.3 °C
$T_{max, globale}$	36.7 °C
$T_{m, viso}$	34.6 °C
$T_{min, viso}$	32.8 °C
$T_{max, viso}$	35.8 °C

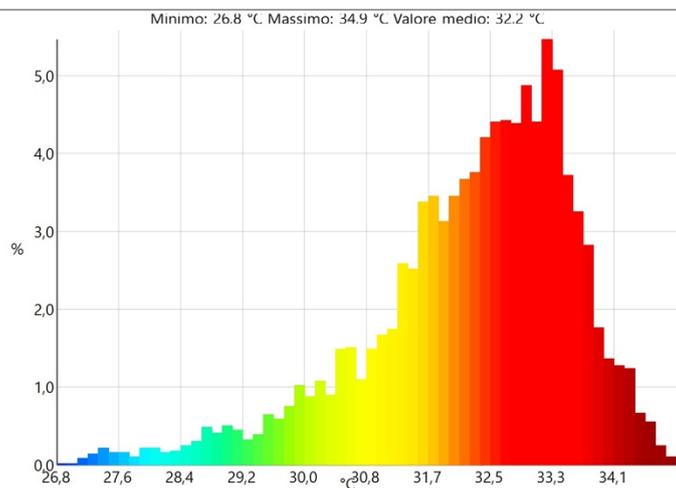


ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

$T_{m, globale}$	31.8 °C
$T_{min, globale}$	27.0 °C
$T_{max, globale}$	35.1 °C
$T_{m, viso}$	33.8 °C
$T_{min, viso}$	30.5 °C
$T_{max, viso}$	35.1 °C

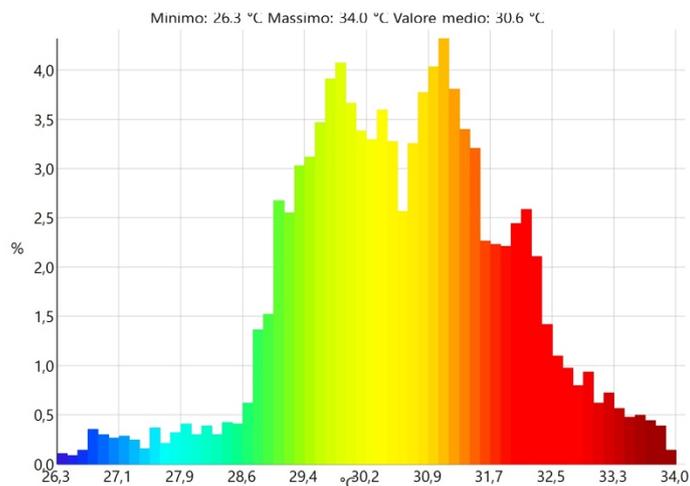


$T_{m, globale}$	32.2 °C
$T_{min, globale}$	26.8 °C
$T_{max, globale}$	34.9 °C
$T_{m, viso}$	33.6 °C
$T_{min, viso}$	30.1 °C
$T_{max, viso}$	34.9 °C



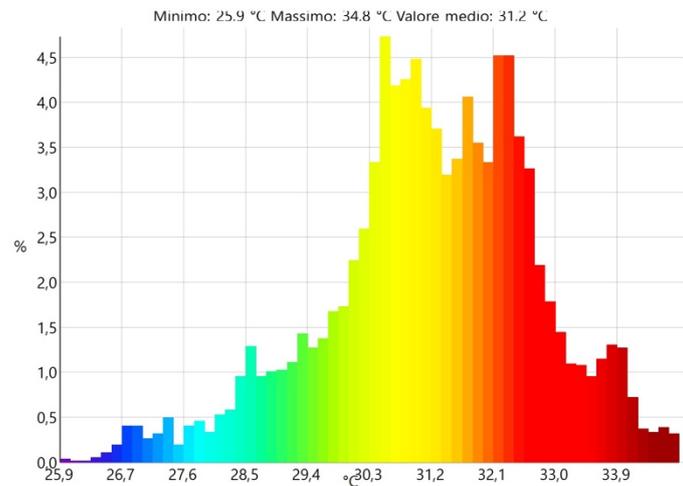
Analisi termografica dei soggetti che hanno svolto il test con il prodotto A (istante t_{15})

$T_{m, globale}$	30.6 °C
$T_{min, globale}$	26.3 °C
$T_{max, globale}$	34.0 °C
$T_{m, viso}$	32.4 °C
$T_{min, viso}$	29.4 °C
$T_{max, viso}$	34.0 °C

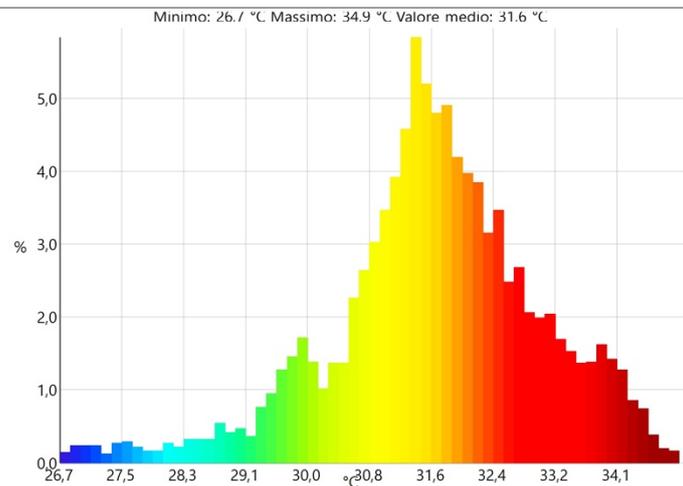


ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

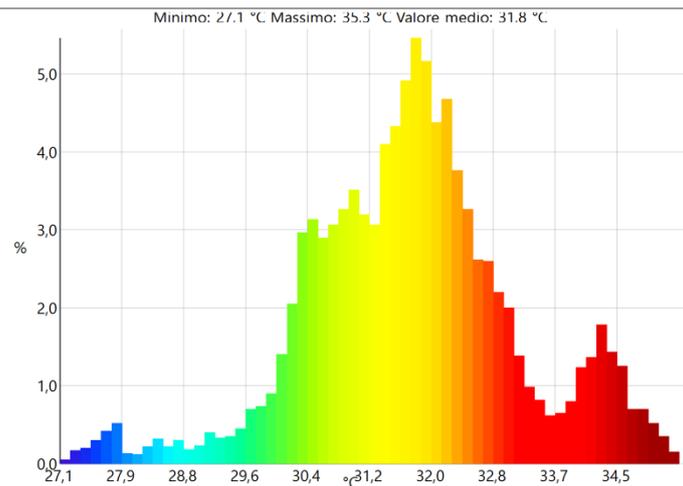
$T_{m, globale}$	31.2 °C
$T_{min, globale}$	25.9 °C
$T_{max, globale}$	34.8 °C
$T_{m, viso}$	33.0 °C
$T_{min, viso}$	29.1 °C
$T_{max, viso}$	34.8 °C



$T_{m, globale}$	31.6 °C
$T_{min, globale}$	26.7 °C
$T_{max, globale}$	34.9 °C
$T_{m, viso}$	33.1 °C
$T_{min, viso}$	29.5 °C
$T_{max, viso}$	34.9 °C

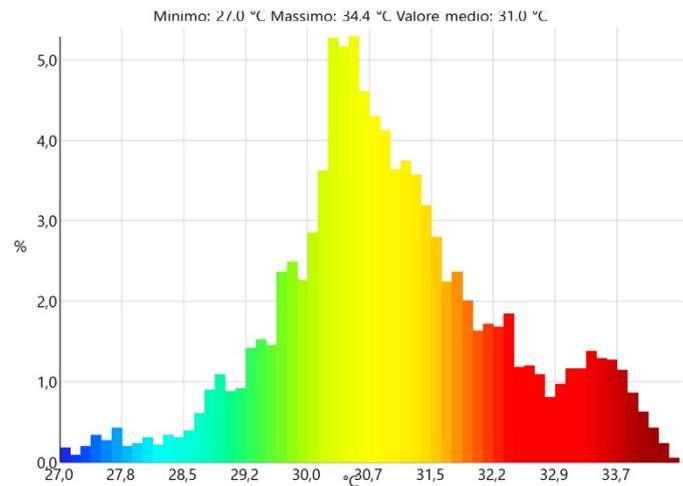


$T_{m, globale}$	31.8 °C
$T_{min, globale}$	27.1 °C
$T_{max, globale}$	35.3 °C
$T_{m, viso}$	33.7 °C
$T_{min, viso}$	29.8 °C
$T_{max, viso}$	35.3 °C

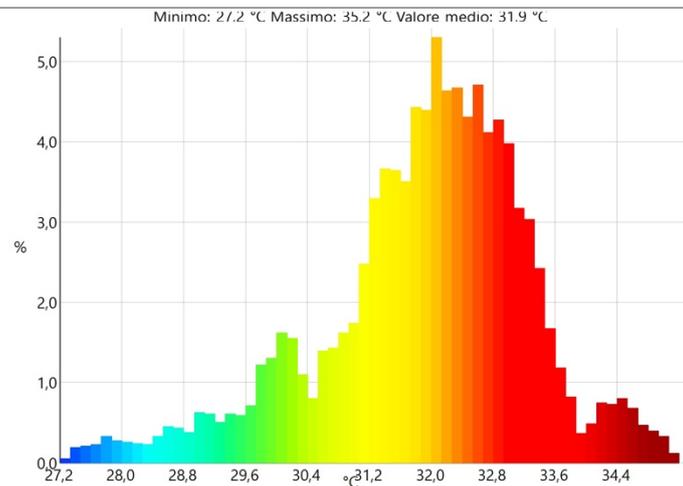


ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

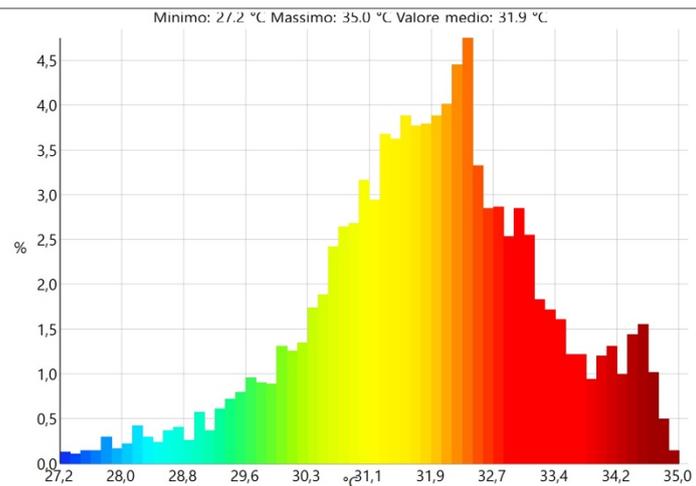
$T_{m, globale}$	31.0 °C
$T_{min, globale}$	27.0 °C
$T_{max, globale}$	34.4 °C
$T_{m, viso}$	32.7 °C
$T_{min, viso}$	28.9 °C
$T_{max, viso}$	34.4 °C



$T_{m, globale}$	31.9 °C
$T_{min, globale}$	27.2 °C
$T_{max, globale}$	35.2 °C
$T_{m, viso}$	33.5 °C
$T_{min, viso}$	28.4 °C
$T_{max, viso}$	35.2 °C

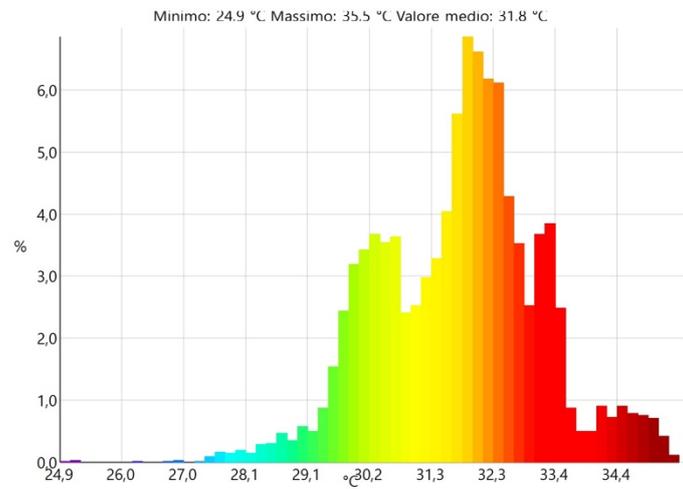


$T_{m, globale}$	31.9 °C
$T_{min, globale}$	27.2 °C
$T_{max, globale}$	35.0 °C
$T_{m, viso}$	34.0 °C
$T_{min, viso}$	30.0 °C
$T_{max, viso}$	35.0 °C

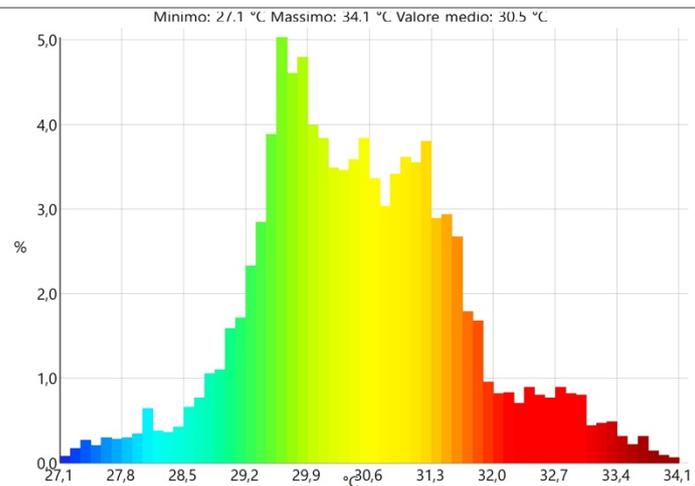


ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER
IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

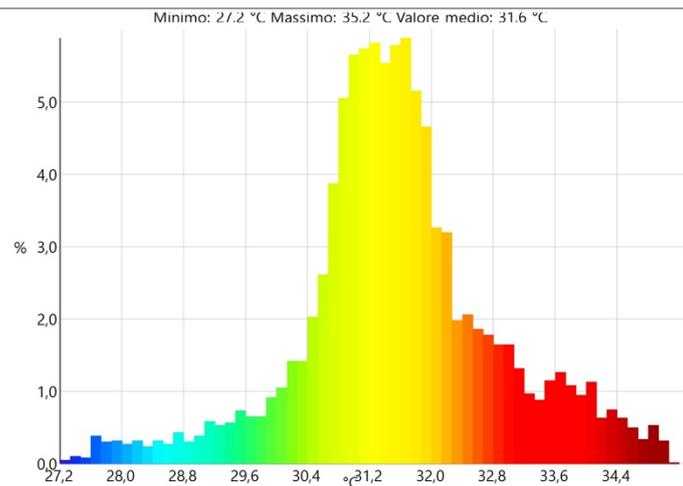
$T_{m, globale}$	31.8 °C
$T_{min, globale}$	24.9 °C
$T_{max, globale}$	35.5 °C
$T_{m, viso}$	33.9 °C
$T_{min, viso}$	30.5 °C
$T_{max, viso}$	35.5 °C



$T_{m, globale}$	30.5 °C
$T_{min, globale}$	27.1 °C
$T_{max, globale}$	34.1 °C
$T_{m, viso}$	32.3 °C
$T_{min, viso}$	29.1 °C
$T_{max, viso}$	34.1 °C

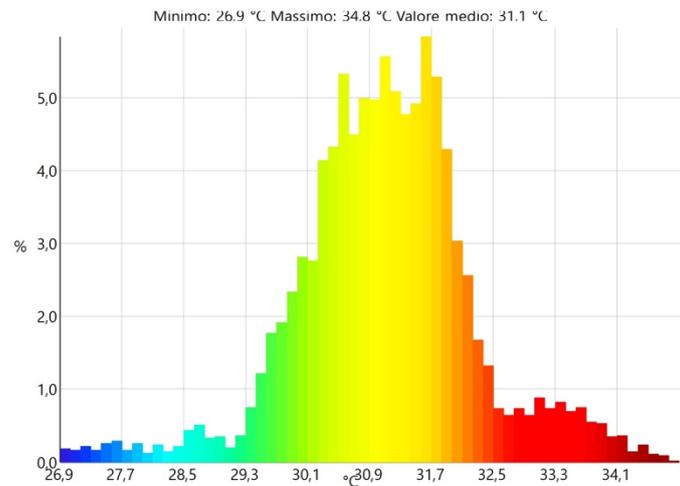


$T_{m, globale}$	31.6 °C
$T_{min, globale}$	27.2 °C
$T_{max, globale}$	35.2 °C
$T_{m, viso}$	33.1 °C
$T_{min, viso}$	29.2 °C
$T_{max, viso}$	35.2 °C

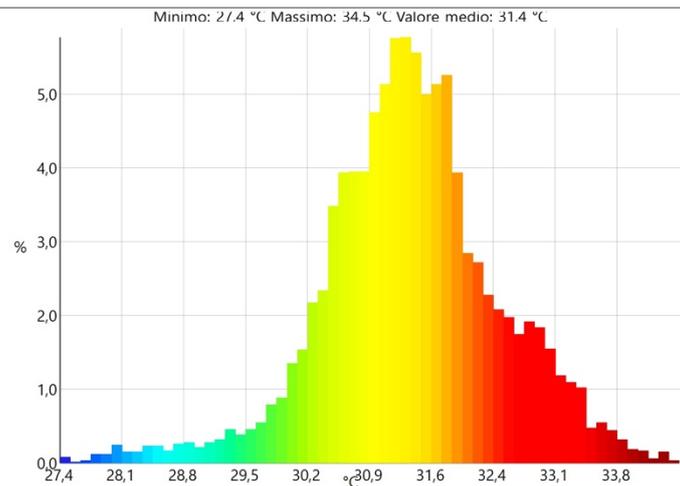


ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER
IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

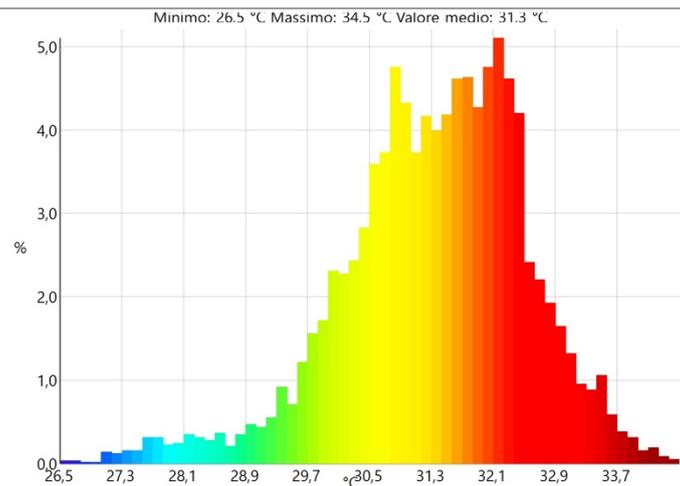
$T_{m, globale}$	31.1 °C
$T_{min, globale}$	26.9 °C
$T_{max, globale}$	34.8 °C
$T_{m, viso}$	32.9 °C
$T_{min, viso}$	30.3 °C
$T_{max, viso}$	34.6 °C



$T_{m, globale}$	31.4 °C
$T_{min, globale}$	27.4 °C
$T_{max, globale}$	34.5 °C
$T_{m, viso}$	33.0 °C
$T_{min, viso}$	30.9 °C
$T_{max, viso}$	34.5 °C

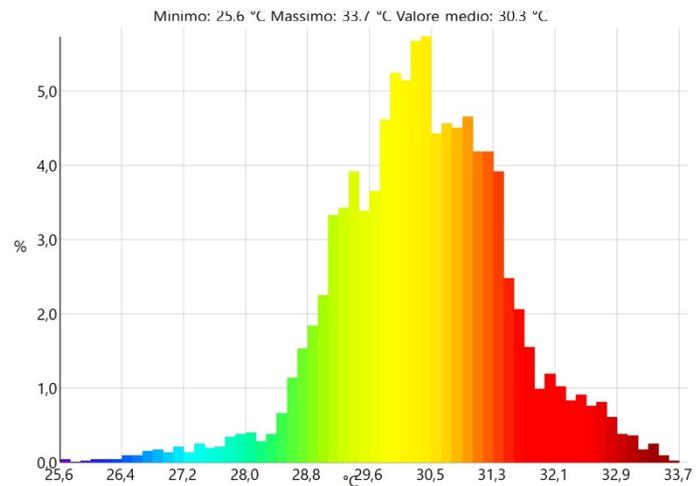


$T_{m, globale}$	31.3 °C
$T_{min, globale}$	26.5 °C
$T_{max, globale}$	34.5 °C
$T_{m, viso}$	32.5 °C
$T_{min, viso}$	27.6 °C
$T_{max, viso}$	34.5 °C

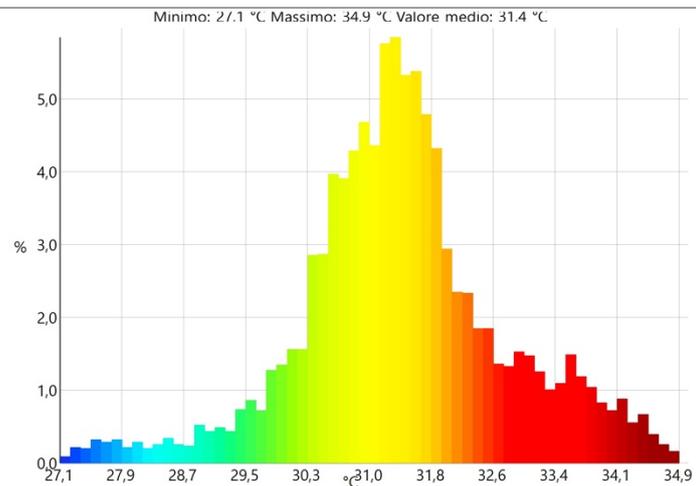


ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

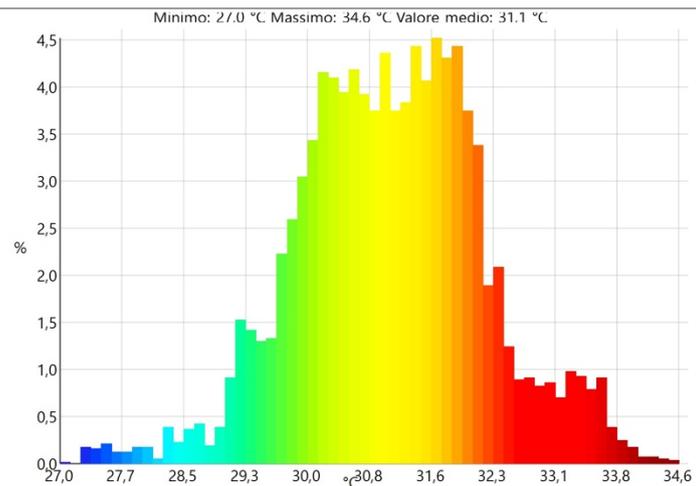
$T_{m, globale}$	30.3 °C
$T_{min, globale}$	25.6 °C
$T_{max, globale}$	33.7 °C
$T_{m, viso}$	31.3 °C
$T_{min, viso}$	29.1 °C
$T_{max, viso}$	33.7 °C



$T_{m, globale}$	31.4 °C
$T_{min, globale}$	27.1 °C
$T_{max, globale}$	34.9 °C
$T_{m, viso}$	33.7 °C
$T_{min, viso}$	30.7 °C
$T_{max, viso}$	34.9 °C

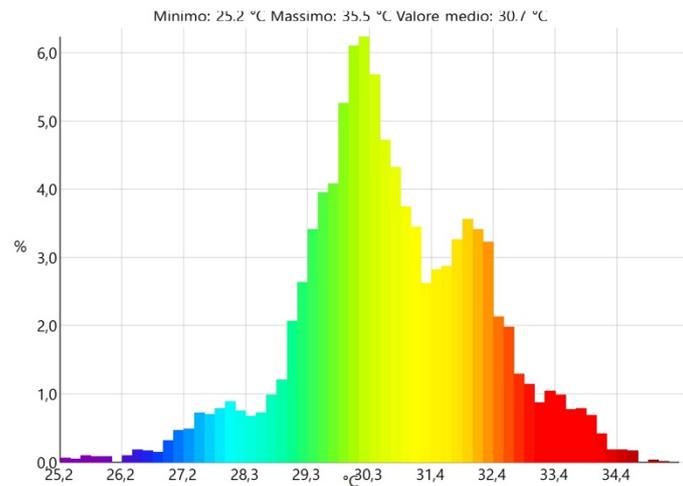


$T_{m, globale}$	31.1 °C
$T_{min, globale}$	27.0 °C
$T_{max, globale}$	34.6 °C
$T_{m, viso}$	33.0 °C
$T_{min, viso}$	30.0 °C
$T_{max, viso}$	34.6 °C

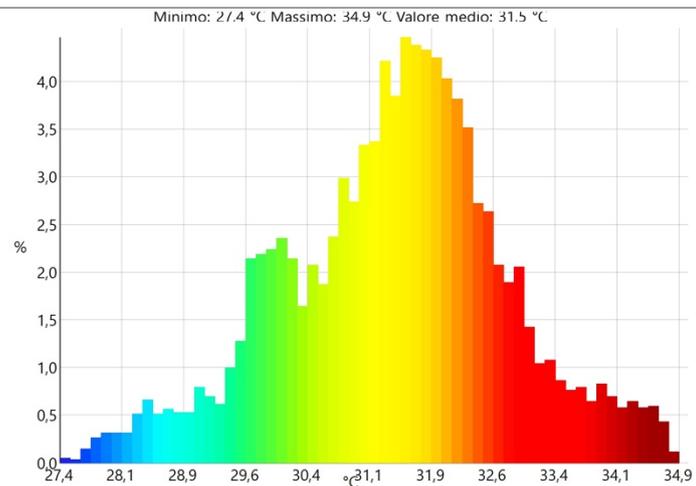


ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

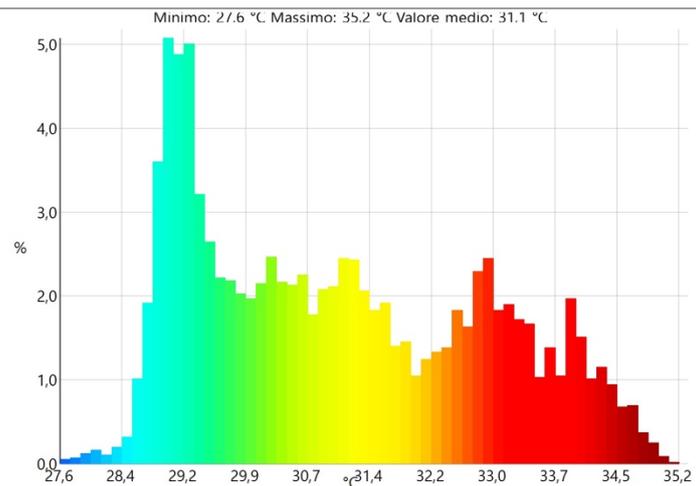
$T_{m, globale}$	30.7 °C
$T_{min, globale}$	25.2 °C
$T_{max, globale}$	35.5 °C
$T_{m, viso}$	33.4 °C
$T_{min, viso}$	30.0 °C
$T_{max, viso}$	34.7 °C



$T_{m, globale}$	31.5 °C
$T_{min, globale}$	27.4 °C
$T_{max, globale}$	34.9 °C
$T_{m, viso}$	33.9 °C
$T_{min, viso}$	29.9 °C
$T_{max, viso}$	34.9 °C

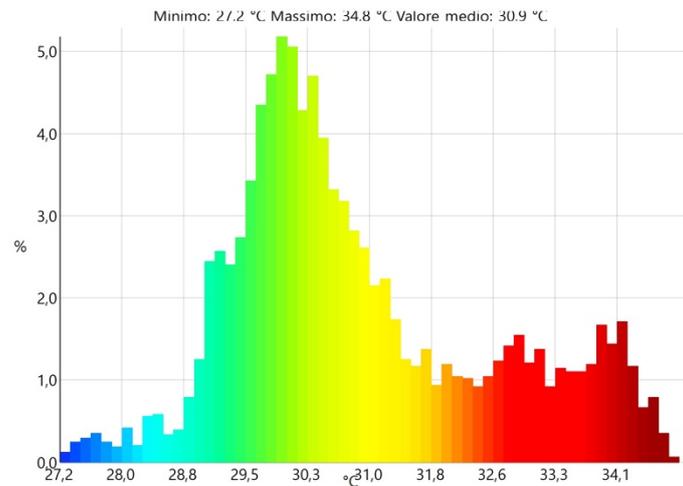


$T_{m, globale}$	31.1 °C
$T_{min, globale}$	27.6 °C
$T_{max, globale}$	35.2 °C
$T_{m, viso}$	33.8 °C
$T_{min, viso}$	30.3 °C
$T_{max, viso}$	35.2 °C

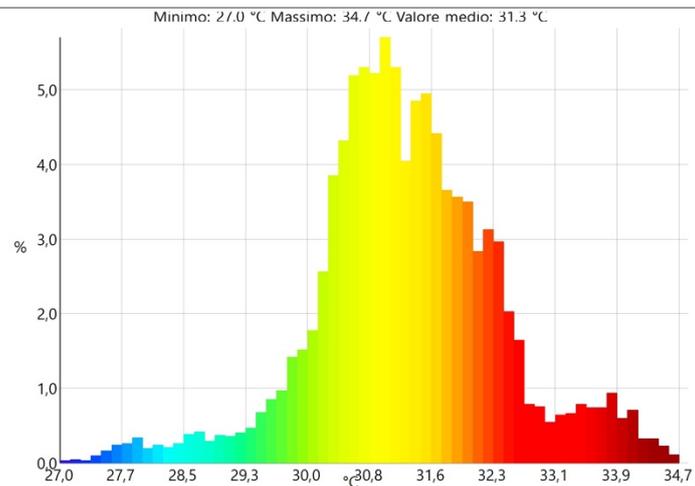


ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER
IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

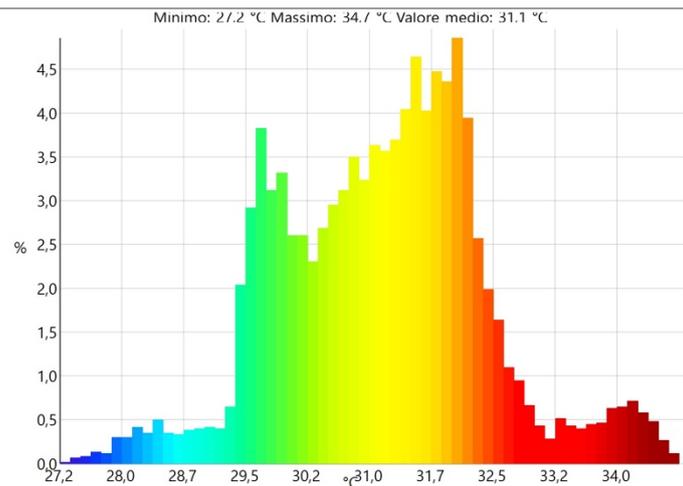
$T_{m, globale}$	30.9 °C
$T_{min, globale}$	27.2 °C
$T_{max, globale}$	34.8 °C
$T_{m, viso}$	33.7 °C
$T_{min, viso}$	30.5 °C
$T_{max, viso}$	34.7 °C



$T_{m, globale}$	31.3 °C
$T_{min, globale}$	27.0 °C
$T_{max, globale}$	34.7 °C
$T_{m, viso}$	32.8 °C
$T_{min, viso}$	29.9 °C
$T_{max, viso}$	34.4 °C

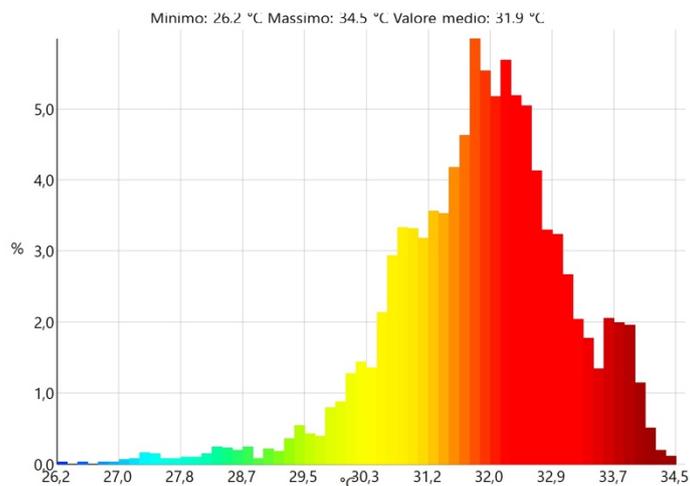


$T_{m, globale}$	31.1 °C
$T_{min, globale}$	27.2 °C
$T_{max, globale}$	34.7 °C
$T_{m, viso}$	33.2 °C
$T_{min, viso}$	29.4 °C
$T_{max, viso}$	34.7 °C

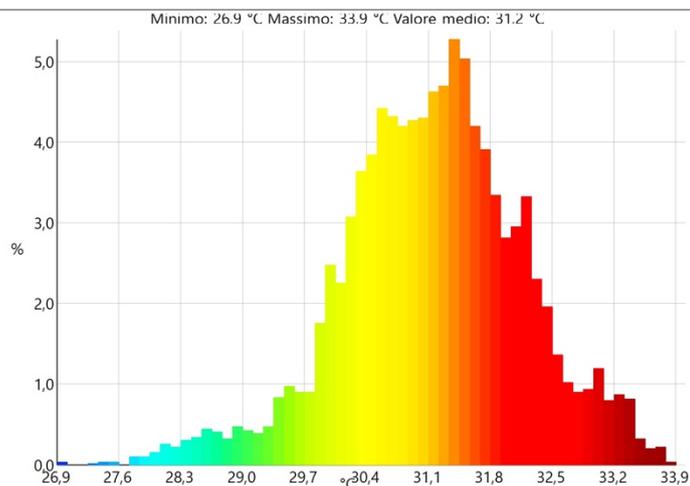


ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

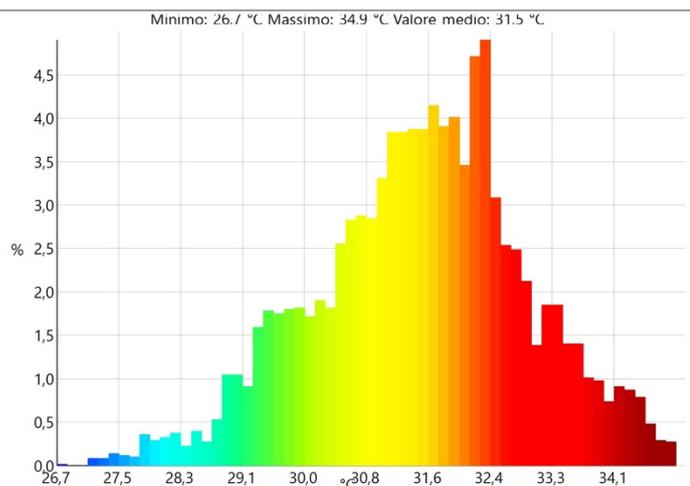
$T_{m, globale}$	31.9 °C
$T_{min, globale}$	26.2 °C
$T_{max, globale}$	34.5 °C
$T_{m, viso}$	32.8 °C
$T_{min, viso}$	27.4 °C
$T_{max, viso}$	34.5 °C



$T_{m, globale}$	31.2 °C
$T_{min, globale}$	26.9 °C
$T_{max, globale}$	33.9 °C
$T_{m, viso}$	32.2 °C
$T_{min, viso}$	30.4 °C
$T_{max, viso}$	33.9 °C

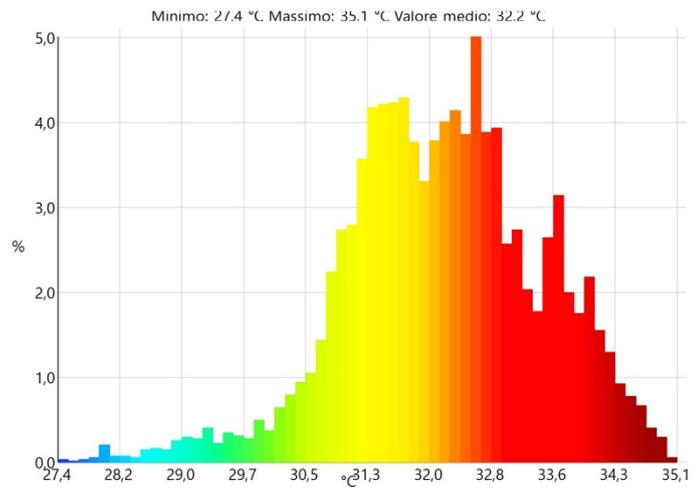


$T_{m, globale}$	31.5 °C
$T_{min, globale}$	26.7 °C
$T_{max, globale}$	34.9 °C
$T_{m, viso}$	33.9 °C
$T_{min, viso}$	28.6 °C
$T_{max, viso}$	34.9 °C

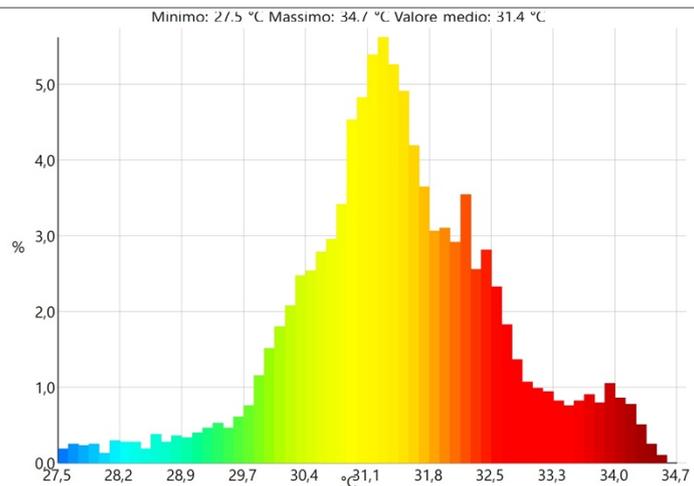


ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

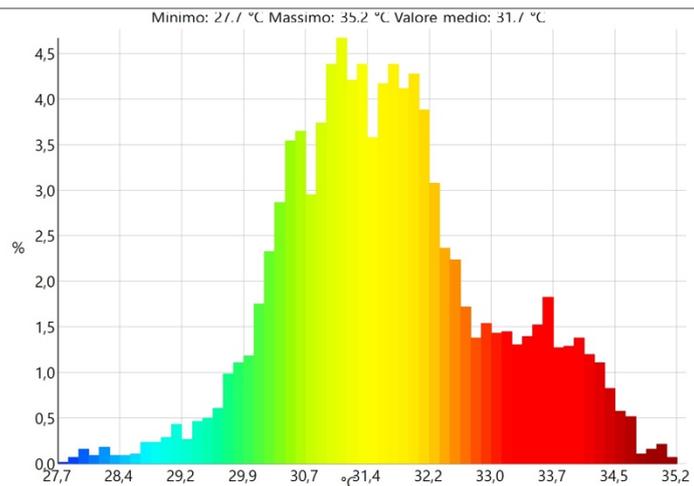
$T_{m, globale}$	32.2 °C
$T_{min, globale}$	27.4 °C
$T_{max, globale}$	35.1 °C
$T_{m, viso}$	33.8 °C
$T_{min, viso}$	29.4 °C
$T_{max, viso}$	35.0 °C



$T_{m, globale}$	31.4 °C
$T_{min, globale}$	27.5 °C
$T_{max, globale}$	34.7 °C
$T_{m, viso}$	33.4 °C
$T_{min, viso}$	29.9 °C
$T_{max, viso}$	34.7 °C

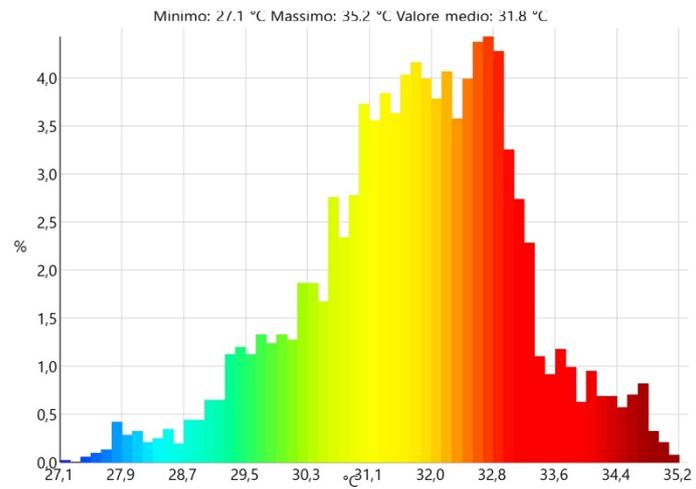


$T_{m, globale}$	31.7 °C
$T_{min, globale}$	27.7 °C
$T_{max, globale}$	35.2 °C
$T_{m, viso}$	34.0 °C
$T_{min, viso}$	30.0 °C
$T_{max, viso}$	35.2 °C

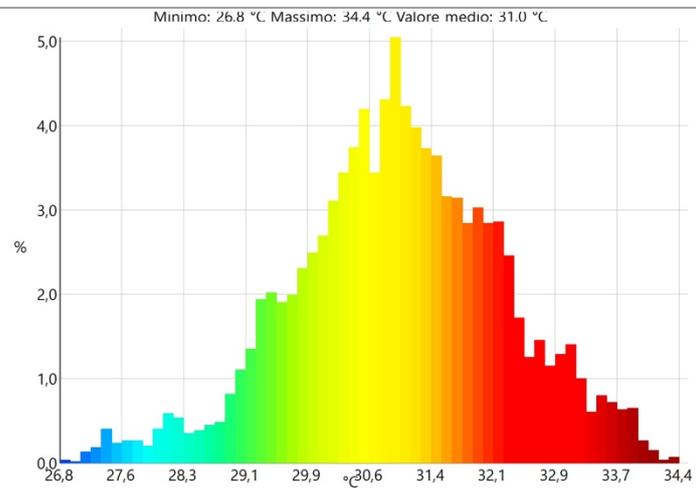


ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER
IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

$T_{m, globale}$	31.8 °C
$T_{min, globale}$	27.1 °C
$T_{max, globale}$	35.2 °C
$T_{m, viso}$	33.8 °C
$T_{min, viso}$	30.0 °C
$T_{max, viso}$	35.2 °C

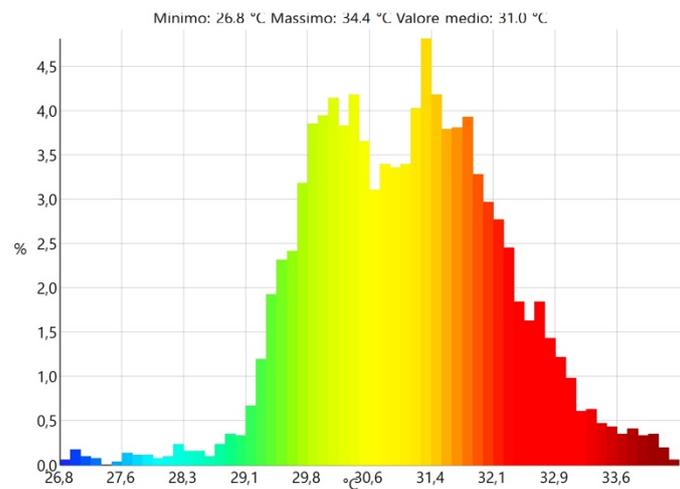


$T_{m, globale}$	31.0 °C
$T_{min, globale}$	26.8 °C
$T_{max, globale}$	34.4 °C
$T_{m, viso}$	32.8 °C
$T_{min, viso}$	28.8 °C
$T_{max, viso}$	34.4 °C



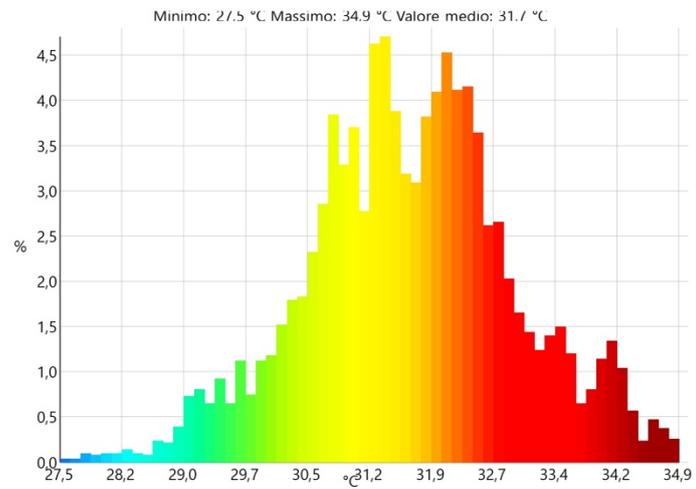
*Analisi termografica dei soggetti che hanno svolto il test con il prodotto A
(istante t_{60})*

$T_{m, globale}$	31.0 °C
$T_{min, globale}$	26.8 °C
$T_{max, globale}$	34.4 °C
$T_{m, viso}$	32.9 °C
$T_{min, viso}$	29.7 °C
$T_{max, viso}$	34.4 °C

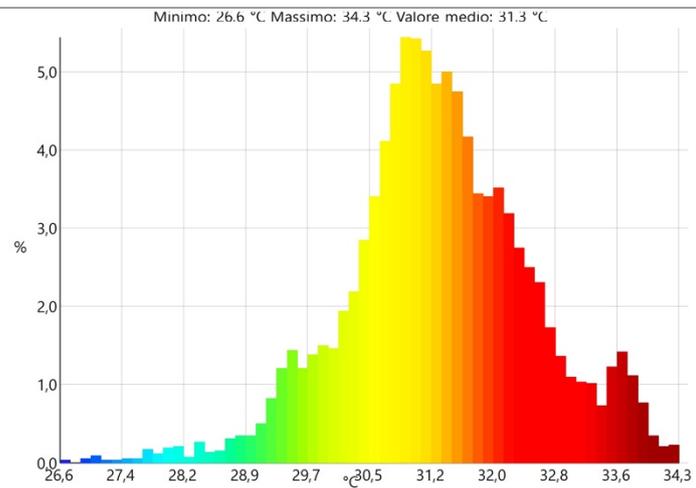


ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

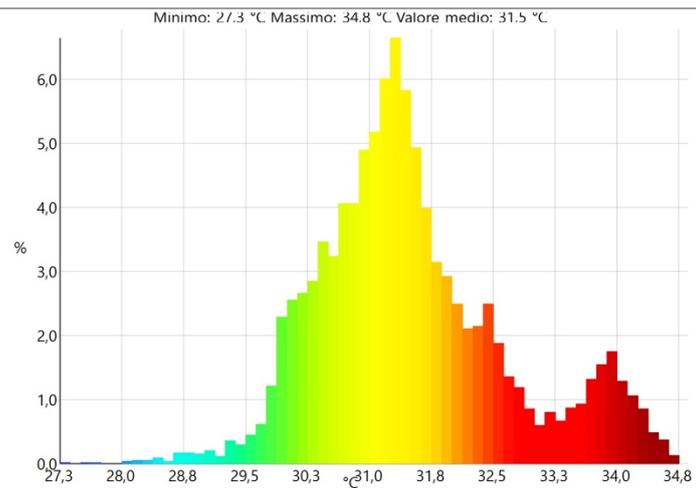
$T_{m, globale}$	31.7 °C
$T_{min, globale}$	27.5 °C
$T_{max, globale}$	34.9 °C
$T_{m, viso}$	33.9 °C
$T_{min, viso}$	29.8 °C
$T_{max, viso}$	34.9 °C



$T_{m, globale}$	31.3 °C
$T_{min, globale}$	26.6 °C
$T_{max, globale}$	34.3 °C
$T_{m, viso}$	32.4 °C
$T_{min, viso}$	28.7 °C
$T_{max, viso}$	34.3 °C

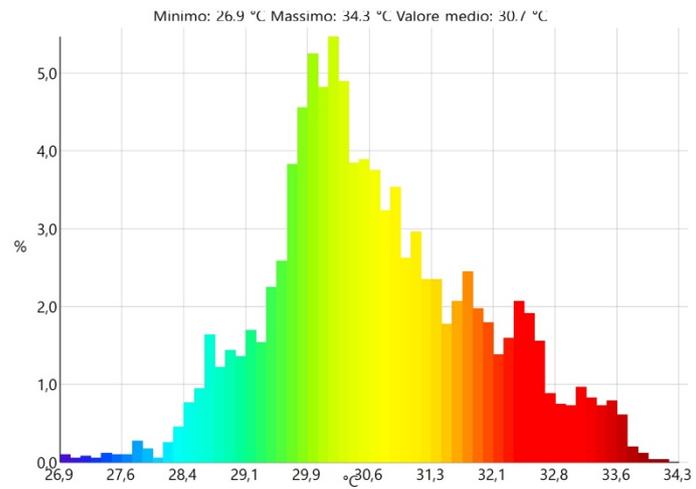


$T_{m, globale}$	31.5 °C
$T_{min, globale}$	27.3 °C
$T_{max, globale}$	34.8 °C
$T_{m, viso}$	33.4 °C
$T_{min, viso}$	29.7 °C
$T_{max, viso}$	34.7 °C

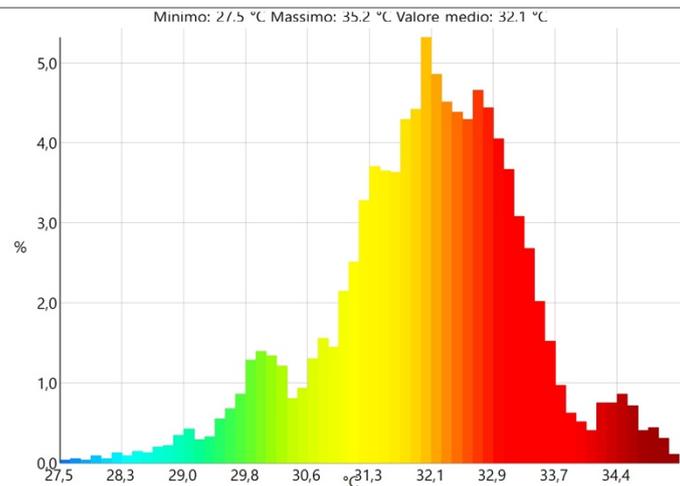


ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

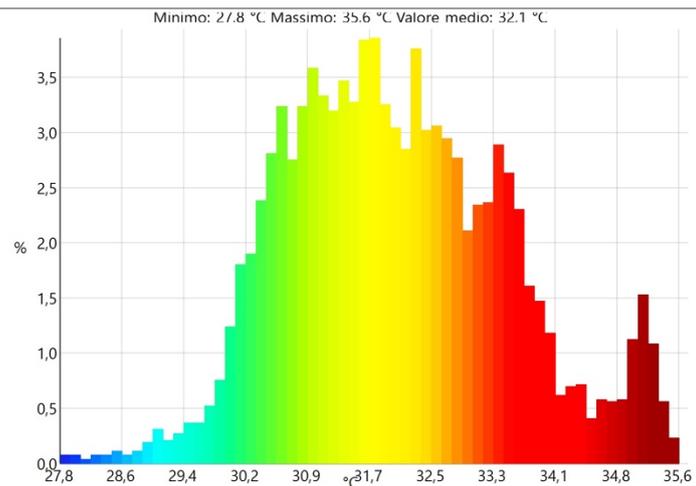
$T_{m, globale}$	30.7 °C
$T_{min, globale}$	26.9 °C
$T_{max, globale}$	34.3 °C
$T_{m, viso}$	33.0 °C
$T_{min, viso}$	30.4 °C
$T_{max, viso}$	34.3 °C



$T_{m, globale}$	32.1 °C
$T_{min, globale}$	27.5 °C
$T_{max, globale}$	35.2 °C
$T_{m, viso}$	34.0 °C
$T_{min, viso}$	30.7 °C
$T_{max, viso}$	35.2 °C

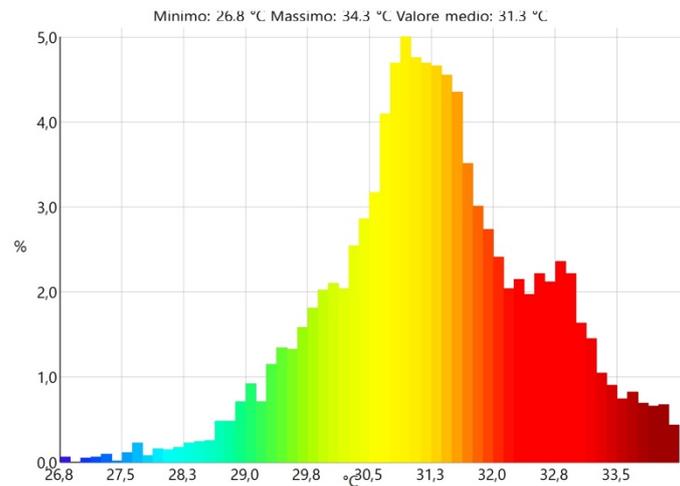


$T_{m, globale}$	32.1 °C
$T_{min, globale}$	27.8 °C
$T_{max, globale}$	35.6 °C
$T_{m, viso}$	34.7 °C
$T_{min, viso}$	29.9 °C
$T_{max, viso}$	35.6 °C

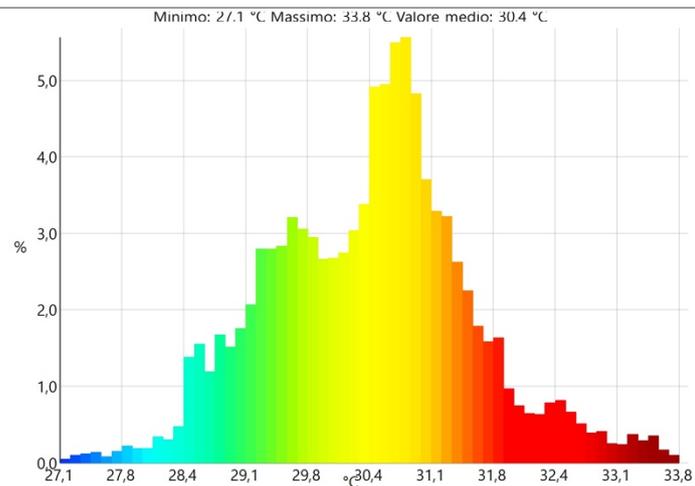


ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

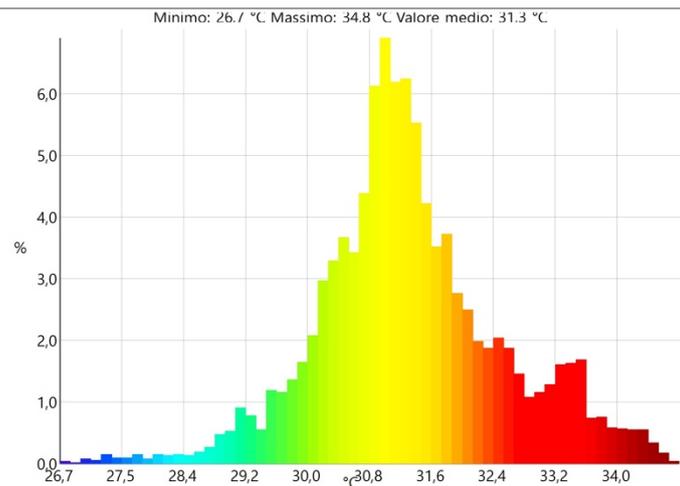
$T_{m, globale}$	31.3 °C
$T_{min, globale}$	26.8 °C
$T_{max, globale}$	34.3 °C
$T_{m, viso}$	33.0 °C
$T_{min, viso}$	29.6 °C
$T_{max, viso}$	34.3 °C



$T_{m, globale}$	30.4 °C
$T_{min, globale}$	27.1 °C
$T_{max, globale}$	33.8 °C
$T_{m, viso}$	32.2 °C
$T_{min, viso}$	29.5 °C
$T_{max, viso}$	33.8 °C

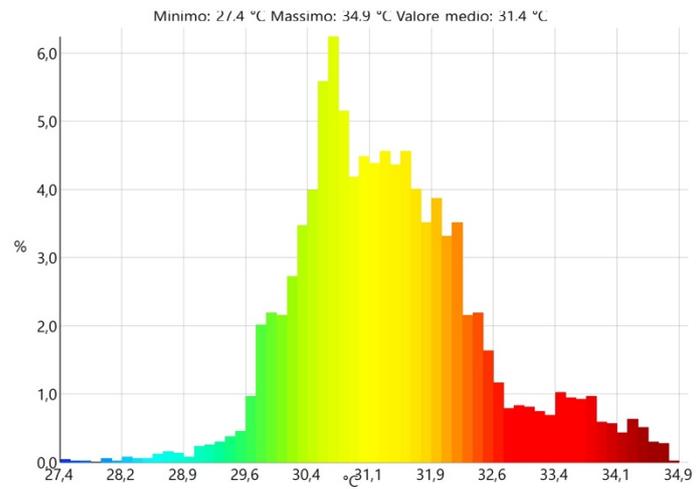


$T_{m, globale}$	31.3 °C
$T_{min, globale}$	26.7 °C
$T_{max, globale}$	34.8 °C
$T_{m, viso}$	33.4 °C
$T_{min, viso}$	30.2 °C
$T_{max, viso}$	34.8 °C

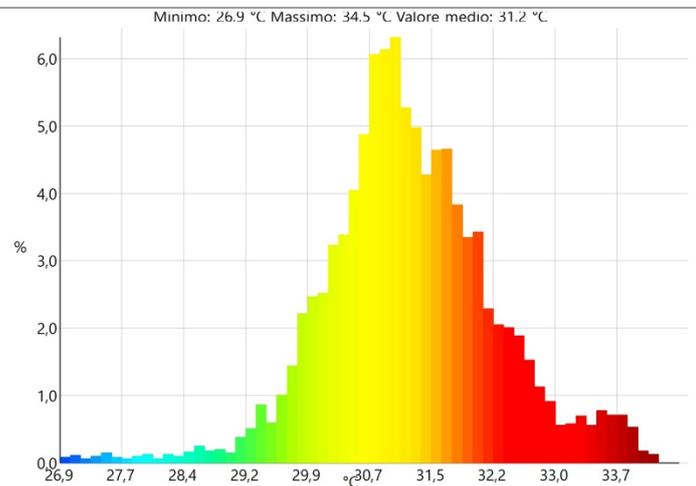


ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER
IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

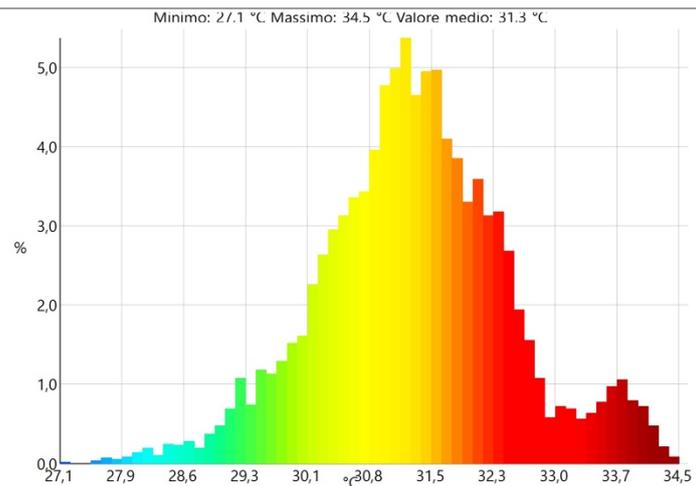
$T_{m, globale}$	31.4 °C
$T_{min, globale}$	27.4 °C
$T_{max, globale}$	34.9 °C
$T_{m, viso}$	33.7 °C
$T_{min, viso}$	31.3 °C
$T_{max, viso}$	34.9 °C



$T_{m, globale}$	31.2 °C
$T_{min, globale}$	26.9 °C
$T_{max, globale}$	34.5 °C
$T_{m, viso}$	32.2 °C
$T_{min, viso}$	29.8 °C
$T_{max, viso}$	34.5 °C

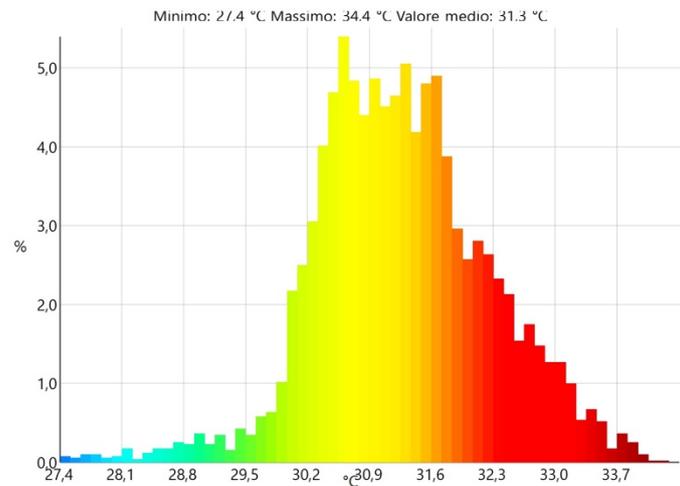


$T_{m, globale}$	31.3 °C
$T_{min, globale}$	27.1 °C
$T_{max, globale}$	34.5 °C
$T_{m, viso}$	33.3 °C
$T_{min, viso}$	28.4 °C
$T_{max, viso}$	34.5 °C

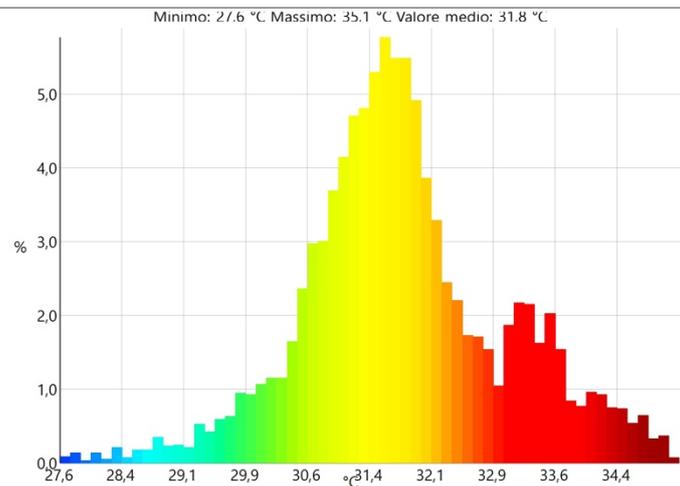


ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

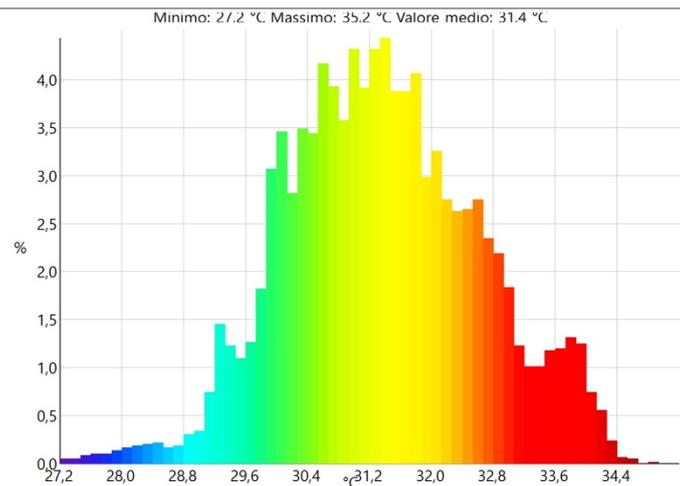
$T_{m, globale}$	31.3 °C
$T_{min, globale}$	27.4 °C
$T_{max, globale}$	34.4 °C
$T_{m, viso}$	32.1 °C
$T_{min, viso}$	30.0 °C
$T_{max, viso}$	34.1 °C



$T_{m, globale}$	31.8 °C
$T_{min, globale}$	27.6 °C
$T_{max, globale}$	35.1 °C
$T_{m, viso}$	33.9 °C
$T_{min, viso}$	30.0 °C
$T_{max, viso}$	35.1 °C

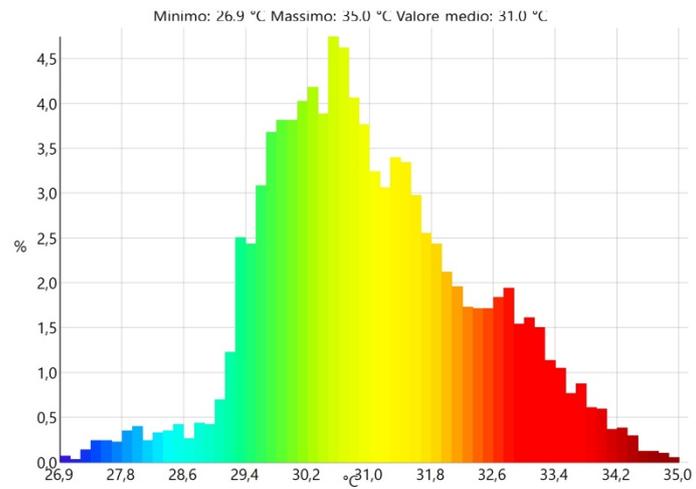


$T_{m, globale}$	31.4 °C
$T_{min, globale}$	27.2 °C
$T_{max, globale}$	35.2 °C
$T_{m, viso}$	33.6 °C
$T_{min, viso}$	31.3 °C
$T_{max, viso}$	34.6 °C

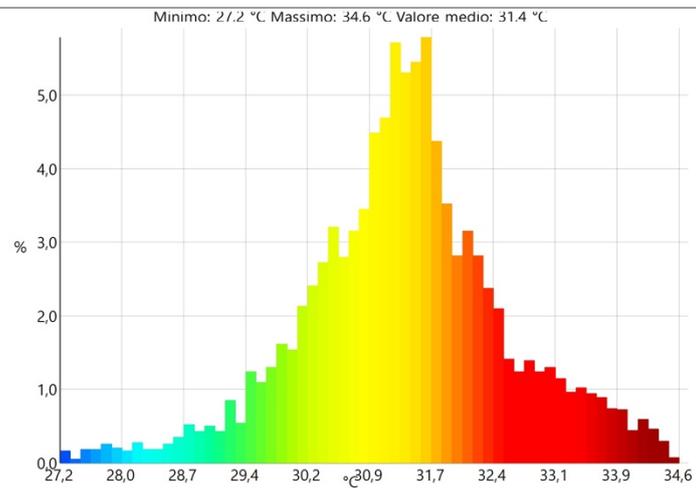


ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER
IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

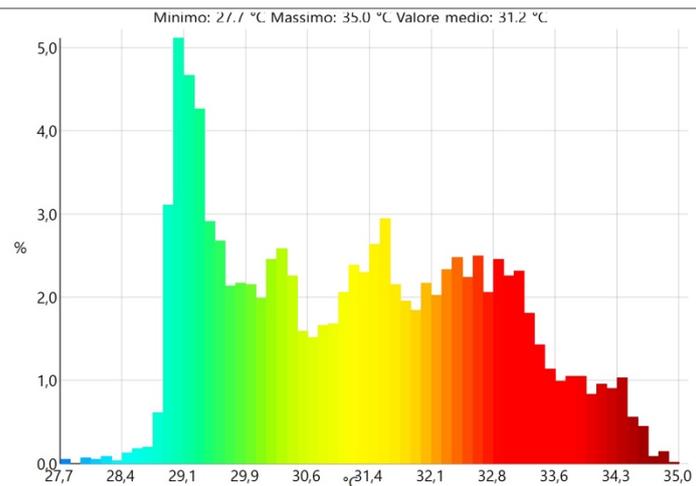
$T_{m, globale}$	31.0 °C
$T_{min, globale}$	26.9 °C
$T_{max, globale}$	35.0 °C
$T_{m, viso}$	33.6 °C
$T_{min, viso}$	29.3 °C
$T_{max, viso}$	34.9 °C



$T_{m, globale}$	31.4 °C
$T_{min, globale}$	27.2 °C
$T_{max, globale}$	34.6 °C
$T_{m, viso}$	33.7 °C
$T_{min, viso}$	31.3 °C
$T_{max, viso}$	34.6 °C

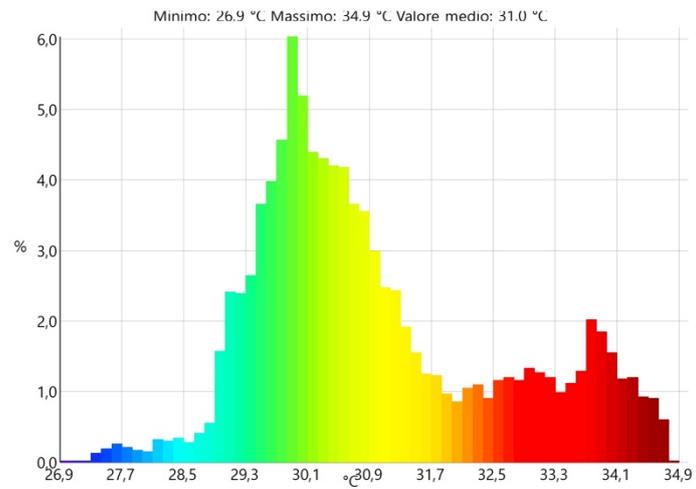


$T_{m, globale}$	31.2 °C
$T_{min, globale}$	27.7 °C
$T_{max, globale}$	35.0 °C
$T_{m, viso}$	34.0 °C
$T_{min, viso}$	31.6 °C
$T_{max, viso}$	35.0 °C

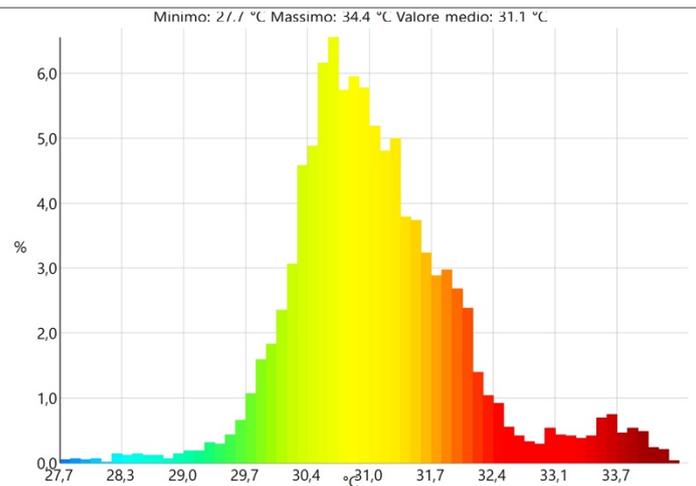


ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

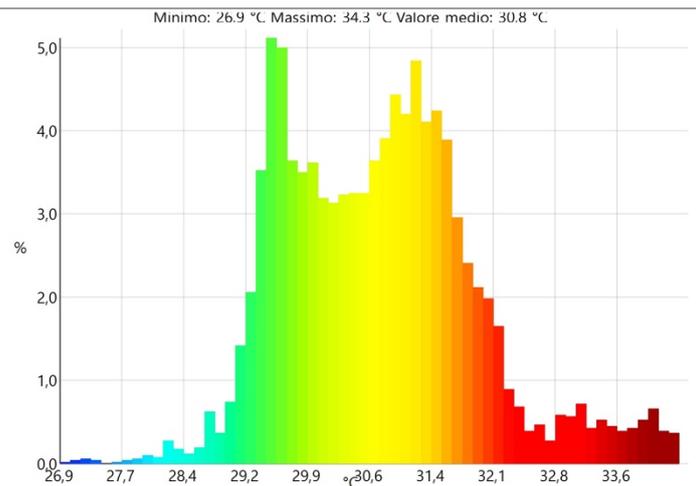
$T_{m, globale}$	31.0 °C
$T_{min, globale}$	26.9 °C
$T_{max, globale}$	34.9 °C
$T_{m, viso}$	34.1 °C
$T_{min, viso}$	31.2 °C
$T_{max, viso}$	34.9 °C



$T_{m, globale}$	31.1 °C
$T_{min, globale}$	27.7 °C
$T_{max, globale}$	34.4 °C
$T_{m, viso}$	32.7 °C
$T_{min, viso}$	30.0 °C
$T_{max, viso}$	34.4 °C

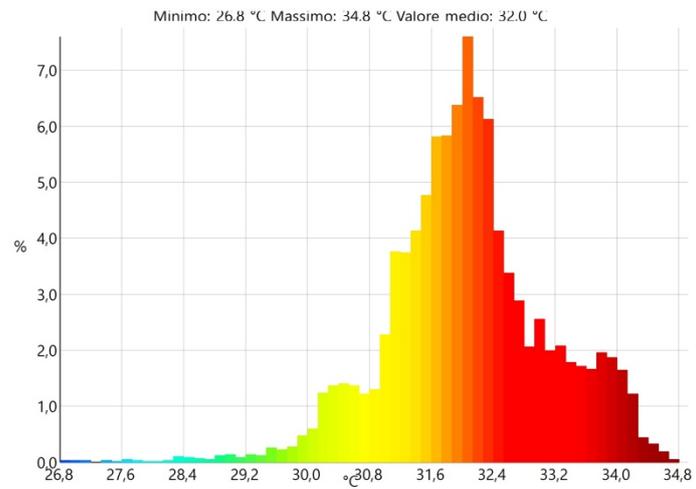


$T_{m, globale}$	30.8 °C
$T_{min, globale}$	26.9 °C
$T_{max, globale}$	34.3 °C
$T_{m, viso}$	33.3 °C
$T_{min, viso}$	29.0 °C
$T_{max, viso}$	34.3 °C

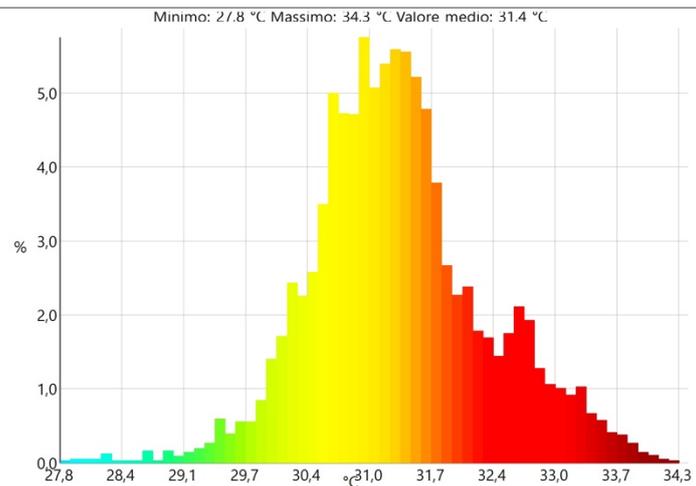


ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

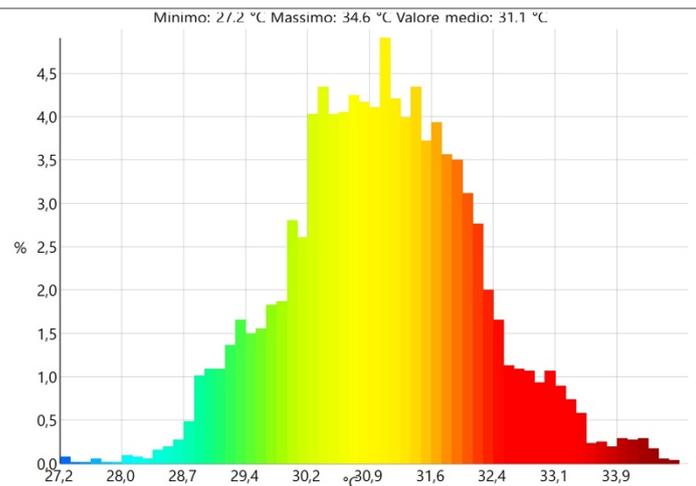
$T_{m, globale}$	32.0 °C
$T_{min, globale}$	26.8 °C
$T_{max, globale}$	34.8 °C
$T_{m, viso}$	32.8 °C
$T_{min, viso}$	26.8 °C
$T_{max, viso}$	34.8 °C



$T_{m, globale}$	31.4 °C
$T_{min, globale}$	27.8 °C
$T_{max, globale}$	34.3 °C
$T_{m, viso}$	32.7 °C
$T_{min, viso}$	30.1 °C
$T_{max, viso}$	34.3 °C

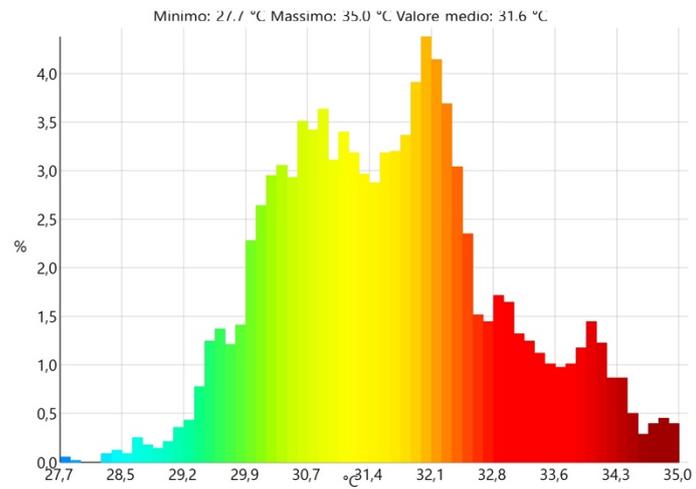


$T_{m, globale}$	31.1 °C
$T_{min, globale}$	27.2 °C
$T_{max, globale}$	34.6 °C
$T_{m, viso}$	33.5 °C
$T_{min, viso}$	29.9 °C
$T_{max, viso}$	34.6 °C

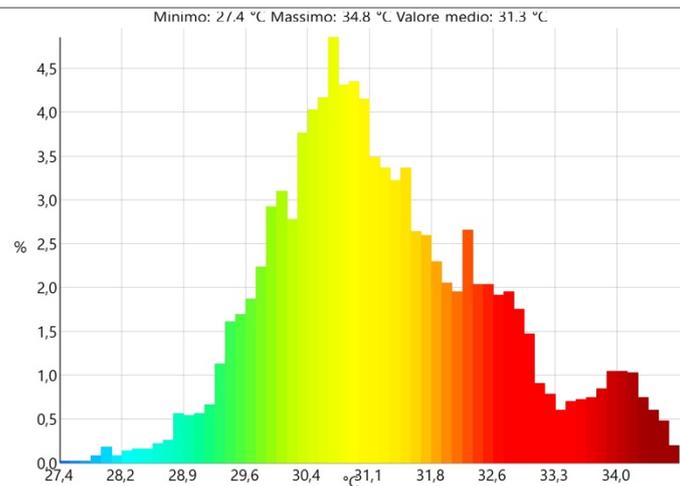


ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

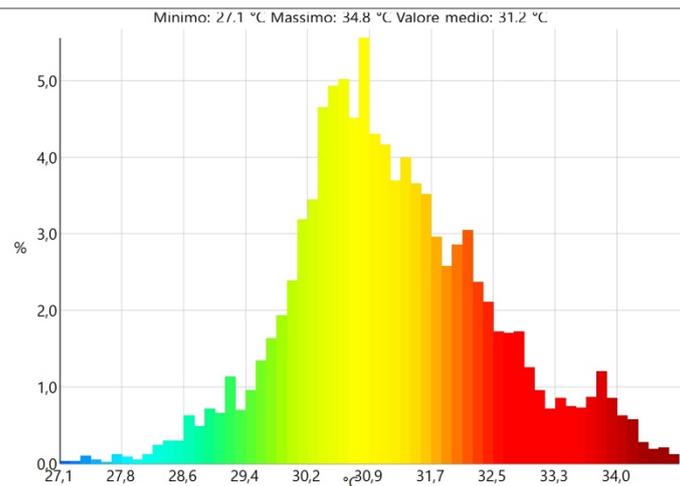
$T_{m, globale}$	31.6 °C
$T_{min, globale}$	27.7 °C
$T_{max, globale}$	35.0 °C
$T_{m, viso}$	34.0 °C
$T_{min, viso}$	30.8 °C
$T_{max, viso}$	35.0 °C



$T_{m, globale}$	31.3 °C
$T_{min, globale}$	27.4 °C
$T_{max, globale}$	34.8 °C
$T_{m, viso}$	33.8 °C
$T_{min, viso}$	30.6 °C
$T_{max, viso}$	34.8 °C

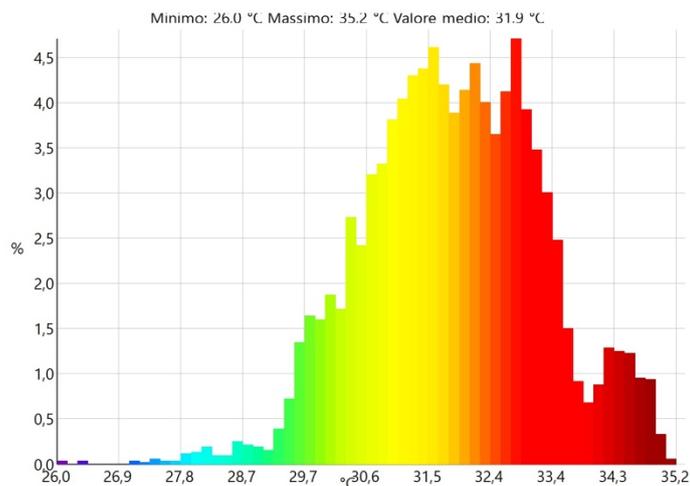


$T_{m, globale}$	31.2 °C
$T_{min, globale}$	27.1 °C
$T_{max, globale}$	34.8 °C
$T_{m, viso}$	33.6 °C
$T_{min, viso}$	29.9 °C
$T_{max, viso}$	34.8 °C

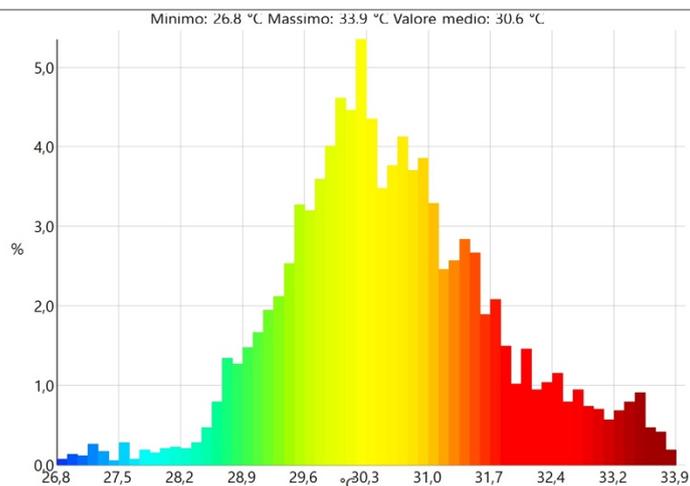


ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

$T_{m, globale}$	31.9 °C
$T_{min, globale}$	26.0 °C
$T_{max, globale}$	35.2 °C
$T_{m, viso}$	34.0 °C
$T_{min, viso}$	30.4 °C
$T_{max, viso}$	35.2 °C

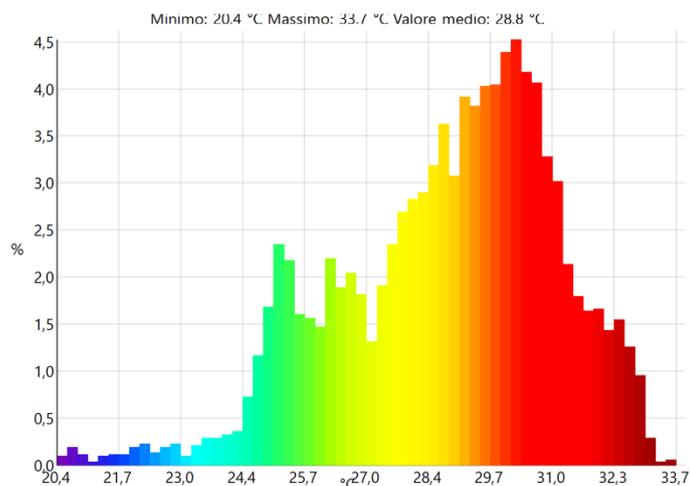


$T_{m, globale}$	30.6 °C
$T_{min, globale}$	26.8 °C
$T_{max, globale}$	33.9 °C
$T_{m, viso}$	32.8 °C
$T_{min, viso}$	29.5 °C
$T_{max, viso}$	33.9 °C



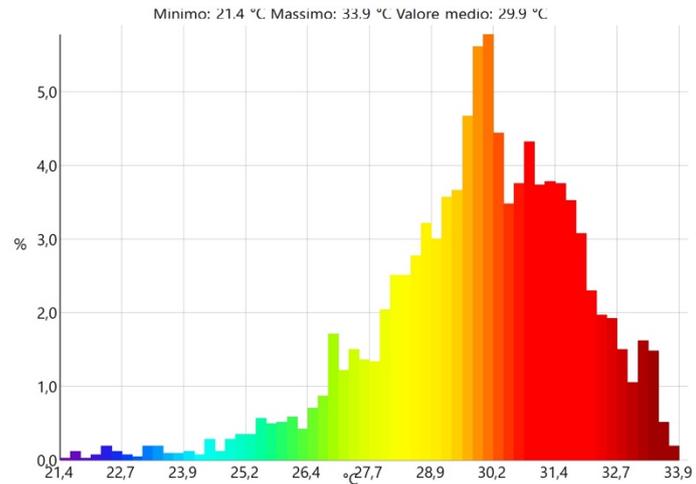
Analisi termografica dei soggetti che hanno svolto il test con il prodotto B (istante t_0)

$T_{m, globale}$	28.8 °C
$T_{min, globale}$	20.4 °C
$T_{max, globale}$	33.7 °C
$T_{m, viso}$	31.9 °C
$T_{min, viso}$	28.1 °C
$T_{max, viso}$	33.7 °C

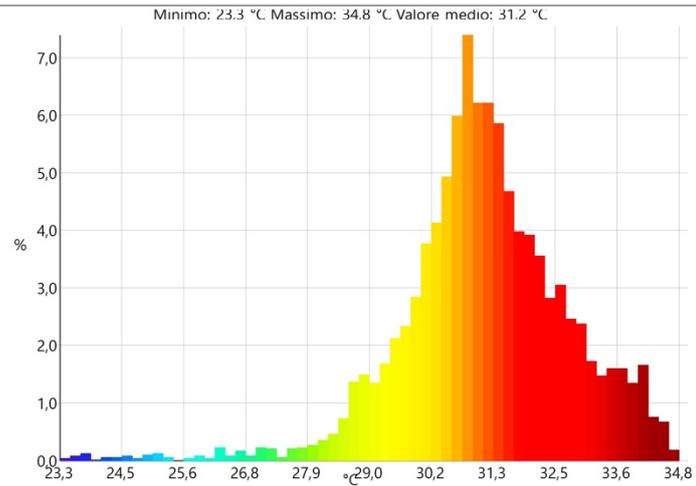


ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

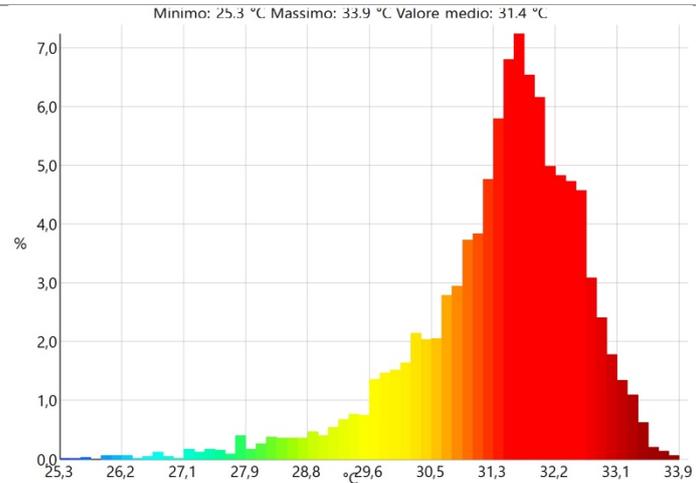
$T_{m, globale}$	29.9 °C
$T_{min, globale}$	21.4 °C
$T_{max, globale}$	33.9 °C
$T_{m, viso}$	32.4 °C
$T_{min, viso}$	28.1 °C
$T_{max, viso}$	33.6 °C



$T_{m, globale}$	31.2 °C
$T_{min, globale}$	23.3 °C
$T_{max, globale}$	34.8 °C
$T_{m, viso}$	33.3 °C
$T_{min, viso}$	29.8 °C
$T_{max, viso}$	34.5 °C

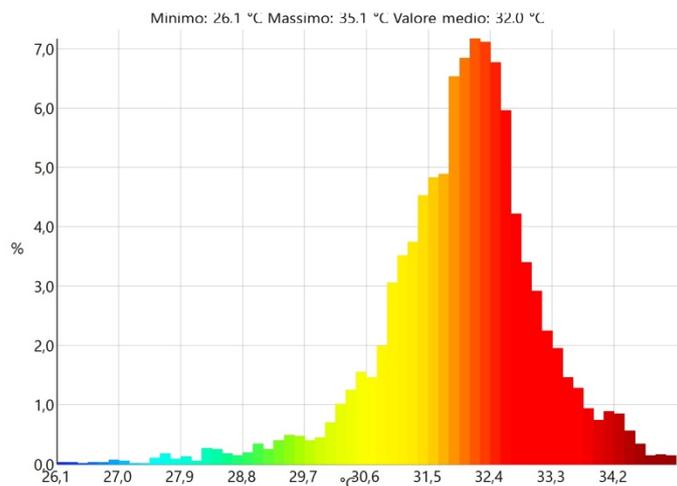


$T_{m, globale}$	31.4 °C
$T_{min, globale}$	25.3 °C
$T_{max, globale}$	33.9 °C
$T_{m, viso}$	32.9 °C
$T_{min, viso}$	32.0 °C
$T_{max, viso}$	33.9 °C

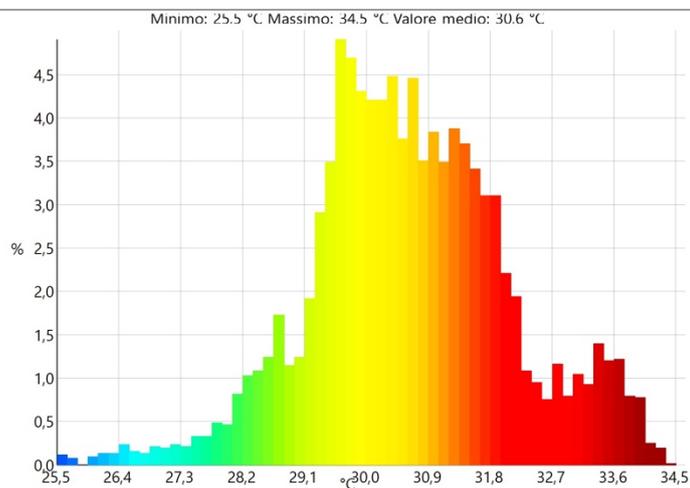


ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER
IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

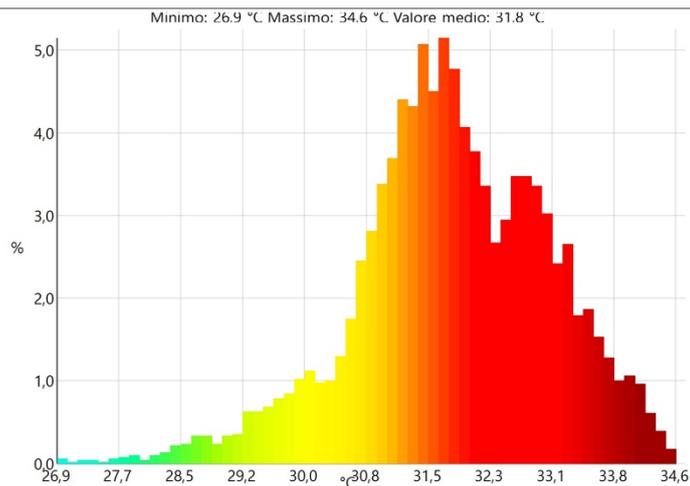
$T_{m, globale}$	32.0 °C
$T_{min, globale}$	26.1 °C
$T_{max, globale}$	35.1 °C
$T_{m, viso}$	33.3 °C
$T_{min, viso}$	29.1 °C
$T_{max, viso}$	35.1 °C



$T_{m, globale}$	30.6 °C
$T_{min, globale}$	25.5 °C
$T_{max, globale}$	34.5 °C
$T_{m, viso}$	33.0 °C
$T_{min, viso}$	29.2 °C
$T_{max, viso}$	34.0 °C

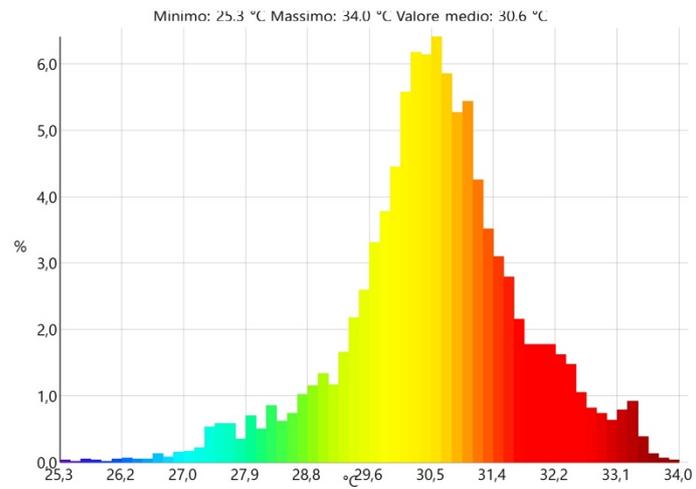


$T_{m, globale}$	31.8 °C
$T_{min, globale}$	26.9 °C
$T_{max, globale}$	34.6 °C
$T_{m, viso}$	32.5 °C
$T_{min, viso}$	29.1 °C
$T_{max, viso}$	33.6 °C

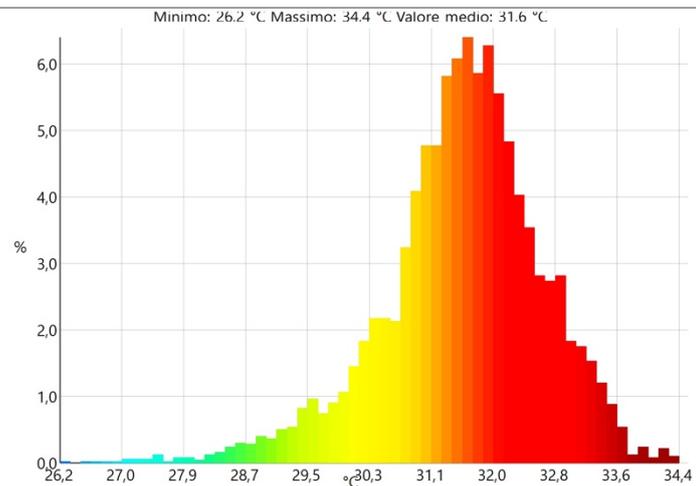


ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

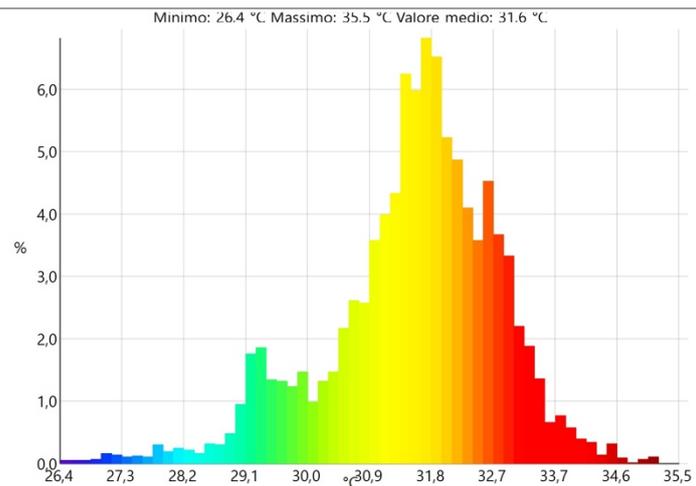
$T_{m, globale}$	30.6 °C
$T_{min, globale}$	25.3 °C
$T_{max, globale}$	34.0 °C
$T_{m, viso}$	32.2 °C
$T_{min, viso}$	30.0 °C
$T_{max, viso}$	33.2 °C



$T_{m, globale}$	31.6 °C
$T_{min, globale}$	26.2 °C
$T_{max, globale}$	34.4 °C
$T_{m, viso}$	32.4 °C
$T_{min, viso}$	30.2 °C
$T_{max, viso}$	33.7 °C

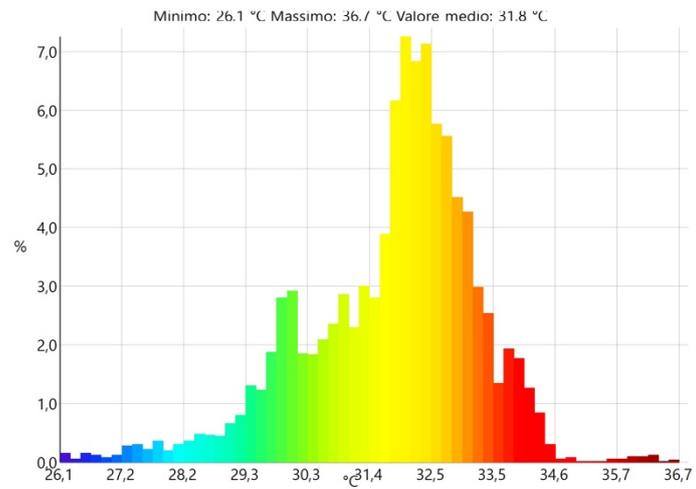


$T_{m, globale}$	31.6 °C
$T_{min, globale}$	26.4 °C
$T_{max, globale}$	35.5 °C
$T_{m, viso}$	31.9 °C
$T_{min, viso}$	28.7 °C
$T_{max, viso}$	34.1 °C

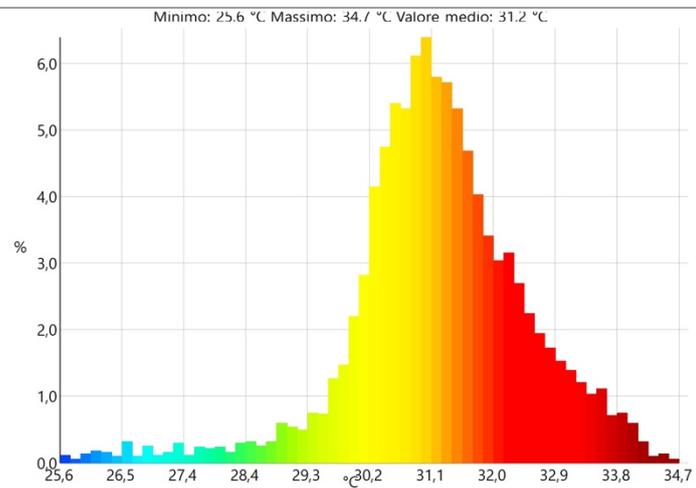


ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

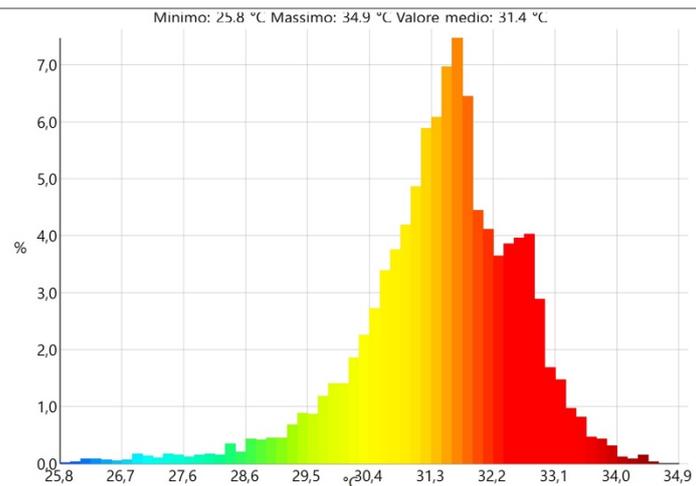
$T_{m, globale}$	31.8 °C
$T_{min, globale}$	26.1 °C
$T_{max, globale}$	36.7 °C
$T_{m, viso}$	33.7 °C
$T_{min, viso}$	31.5 °C
$T_{max, viso}$	34.5 °C



$T_{m, globale}$	31.2 °C
$T_{min, globale}$	25.6 °C
$T_{max, globale}$	34.7 °C
$T_{m, viso}$	32.4 °C
$T_{min, viso}$	29.1 °C
$T_{max, viso}$	34.1 °C

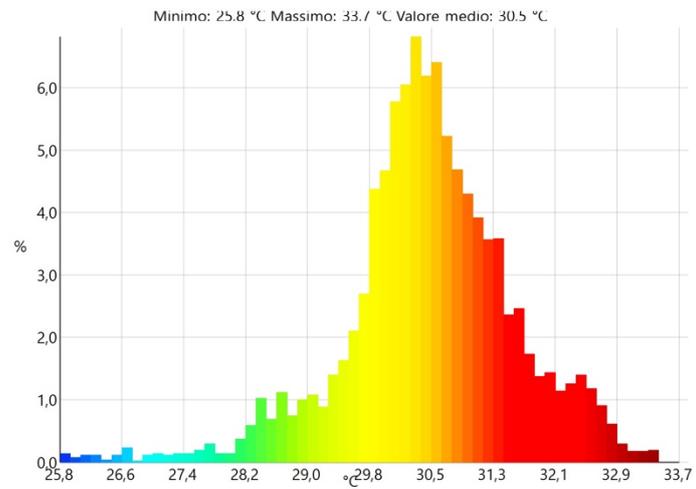


$T_{m, globale}$	31.4 °C
$T_{min, globale}$	25.8 °C
$T_{max, globale}$	34.9 °C
$T_{m, viso}$	32.2 °C
$T_{min, viso}$	29.3 °C
$T_{max, viso}$	34.0 °C

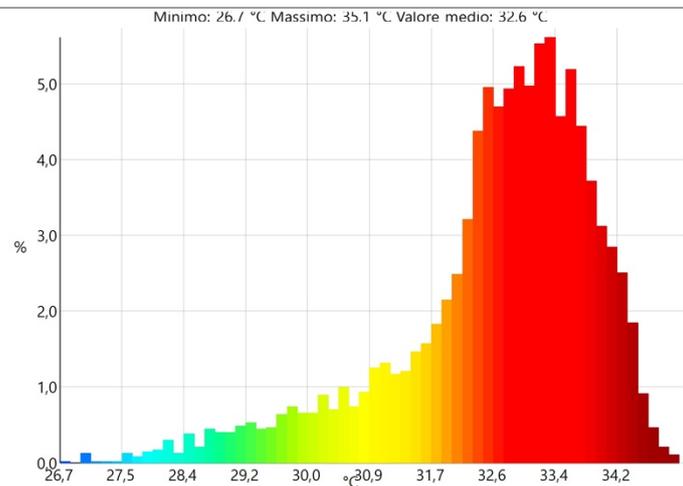


ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER
IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

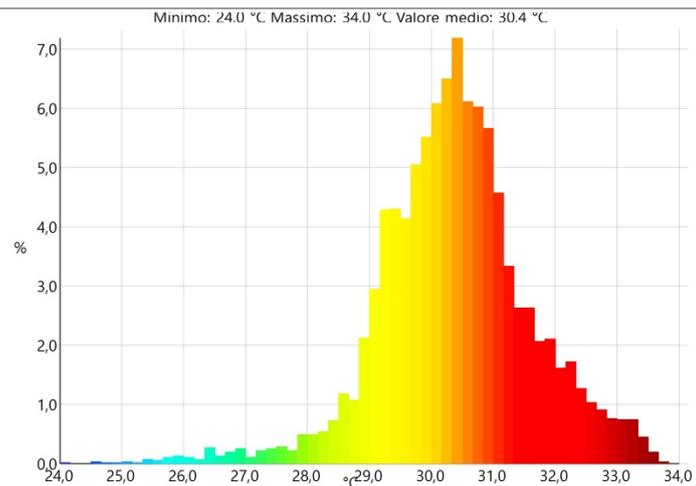
$T_{m, globale}$	30.5 °C
$T_{min, globale}$	25.8 °C
$T_{max, globale}$	33.7 °C
$T_{m, viso}$	31.4 °C
$T_{min, viso}$	28.9 °C
$T_{max, viso}$	33.0 °C



$T_{m, globale}$	32.6 °C
$T_{min, globale}$	26.7 °C
$T_{max, globale}$	35.1 °C
$T_{m, viso}$	33.3 °C
$T_{min, viso}$	29.8 °C
$T_{max, viso}$	35.1 °C

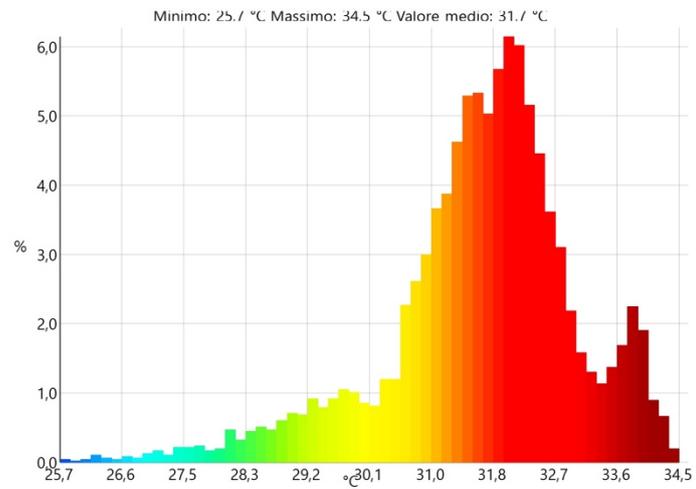


$T_{m, globale}$	30.4 °C
$T_{min, globale}$	24.0 °C
$T_{max, globale}$	34.0 °C
$T_{m, viso}$	31.7 °C
$T_{min, viso}$	29.9 °C
$T_{max, viso}$	33.4 °C

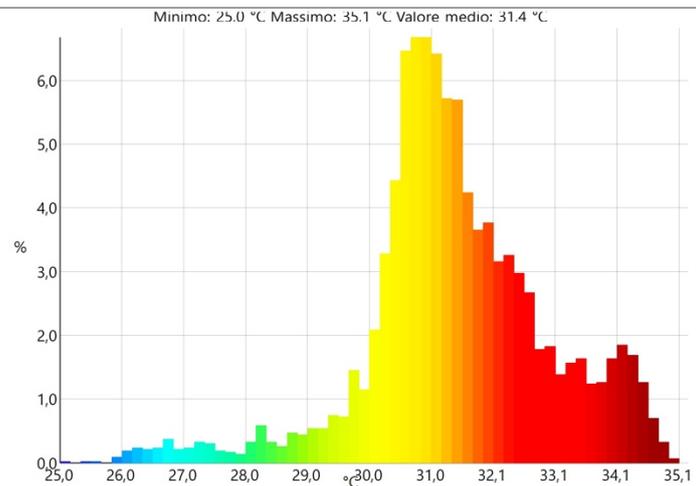


ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

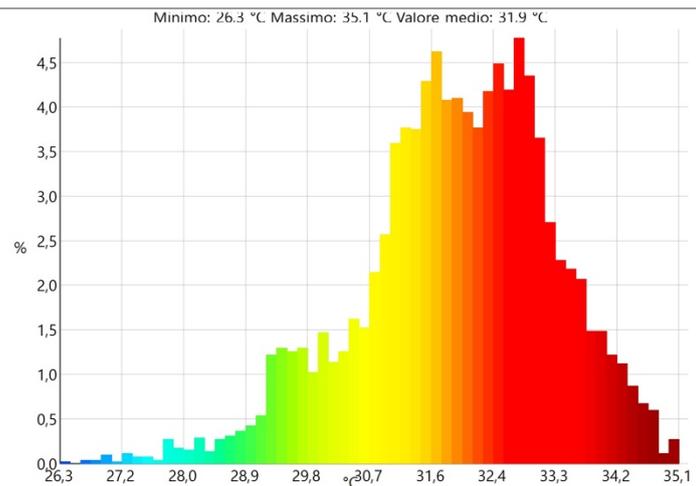
$T_{m, globale}$	31.7 °C
$T_{min, globale}$	25.7 °C
$T_{max, globale}$	34.5 °C
$T_{m, viso}$	33.5 °C
$T_{min, viso}$	28.6 °C
$T_{max, viso}$	34.4 °C



$T_{m, globale}$	31.4 °C
$T_{min, globale}$	25.0 °C
$T_{max, globale}$	35.1 °C
$T_{m, viso}$	32.3 °C
$T_{min, viso}$	29.2 °C
$T_{max, viso}$	34.7 °C

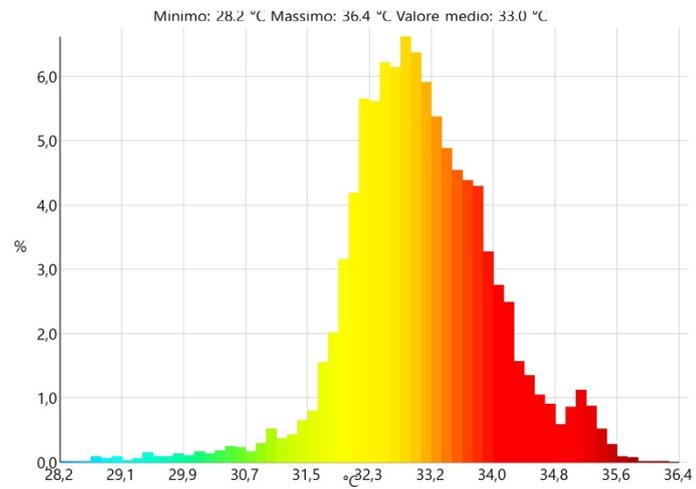


$T_{m, globale}$	31.9 °C
$T_{min, globale}$	26.3 °C
$T_{max, globale}$	35.1 °C
$T_{m, viso}$	34.0 °C
$T_{min, viso}$	30.4 °C
$T_{max, viso}$	35.0 °C

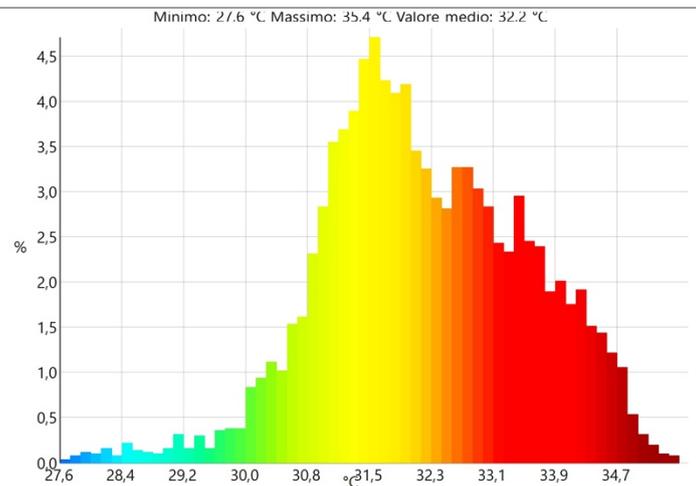


ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

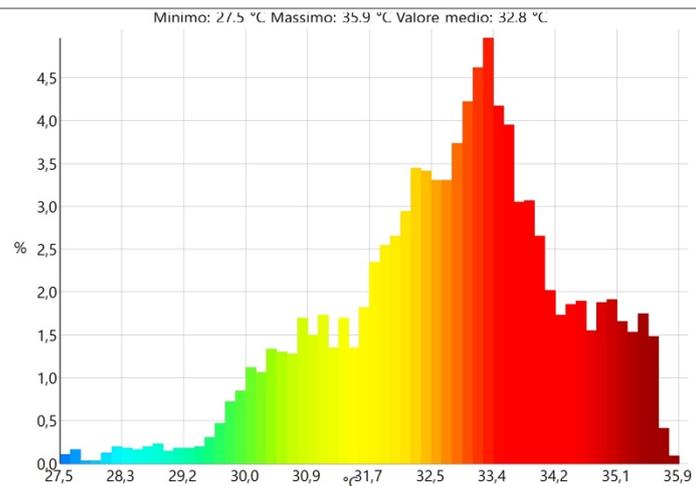
$T_{m, globale}$	33.0 °C
$T_{min, globale}$	28.2 °C
$T_{max, globale}$	36.4 °C
$T_{m, viso}$	34.7 °C
$T_{min, viso}$	32.9 °C
$T_{max, viso}$	36.0 °C



$T_{m, globale}$	32.2 °C
$T_{min, globale}$	27.6 °C
$T_{max, globale}$	35.4 °C
$T_{m, viso}$	33.7 °C
$T_{min, viso}$	30.2 °C
$T_{max, viso}$	35.4 °C

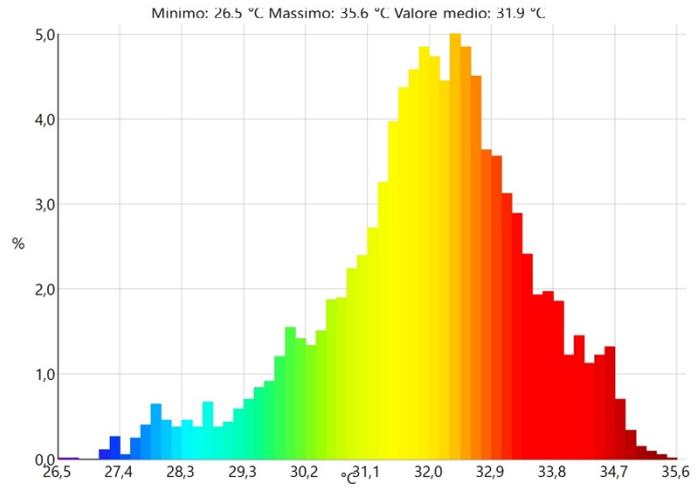


$T_{m, globale}$	32.8 °C
$T_{min, globale}$	27.5 °C
$T_{max, globale}$	35.9 °C
$T_{m, viso}$	35.0 °C
$T_{min, viso}$	29.2 °C
$T_{max, viso}$	35.8 °C

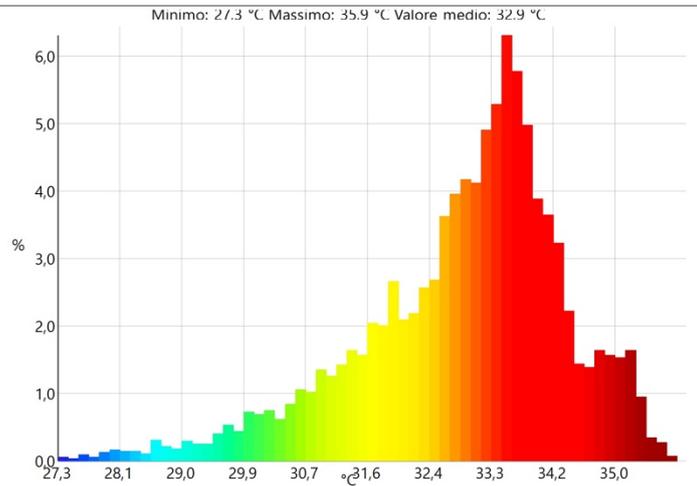


ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER
IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

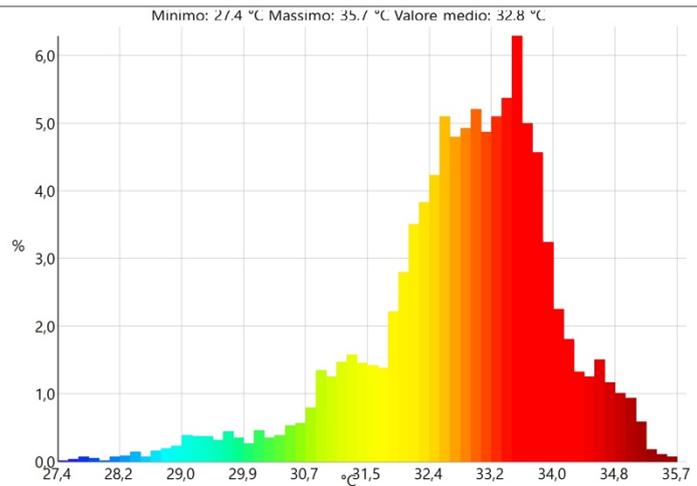
$T_{m, globale}$	31.9 °C
$T_{min, globale}$	26.5 °C
$T_{max, globale}$	35.6 °C
$T_{m, viso}$	32.8 °C
$T_{min, viso}$	30.0 °C
$T_{max, viso}$	35.0 °C



$T_{m, globale}$	32.9 °C
$T_{min, globale}$	27.3 °C
$T_{max, globale}$	35.9 °C
$T_{m, viso}$	34.4 °C
$T_{min, viso}$	30.0 °C
$T_{max, viso}$	35.6 °C

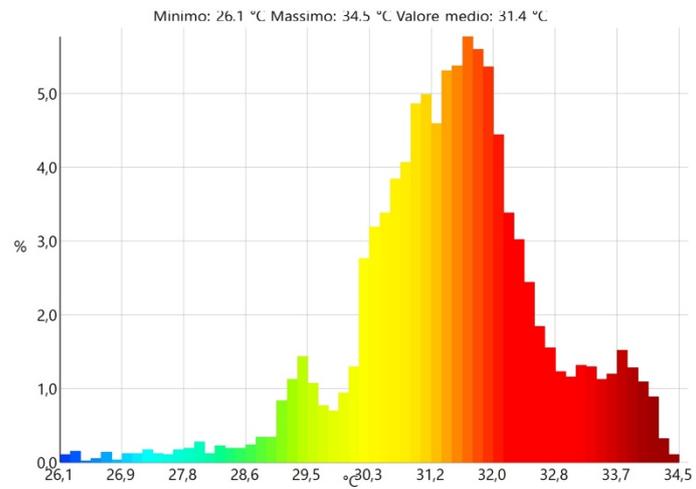


$T_{m, globale}$	32.8 °C
$T_{min, globale}$	27.4 °C
$T_{max, globale}$	35.7 °C
$T_{m, viso}$	34.0 °C
$T_{min, viso}$	31.0 °C
$T_{max, viso}$	35.6 °C

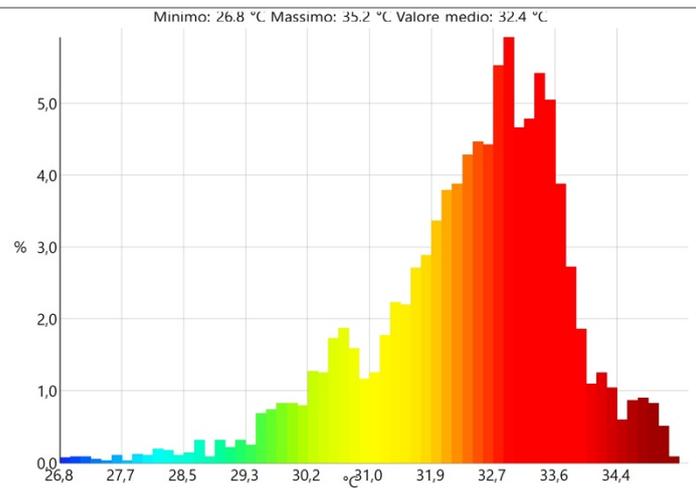


ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

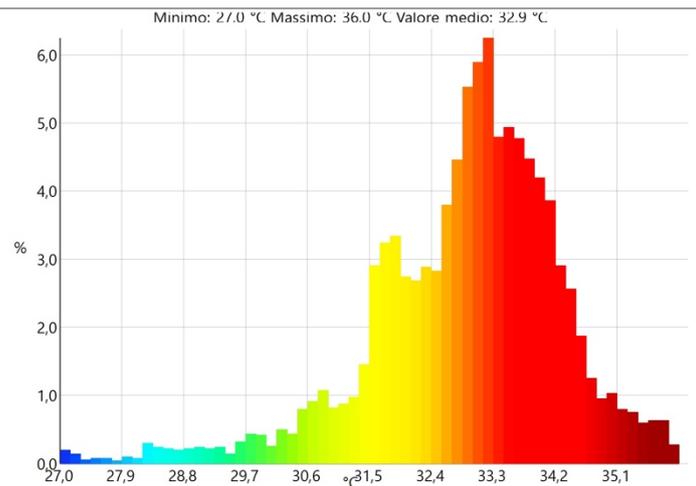
$T_{m, globale}$	31.4 °C
$T_{min, globale}$	26.1 °C
$T_{max, globale}$	34.5 °C
$T_{m, viso}$	33.3 °C
$T_{min, viso}$	31.0 °C
$T_{max, viso}$	34.5 °C



$T_{m, globale}$	32.4 °C
$T_{min, globale}$	26.8 °C
$T_{max, globale}$	35.2 °C
$T_{m, viso}$	33.9 °C
$T_{min, viso}$	31.2 °C
$T_{max, viso}$	35.2 °C

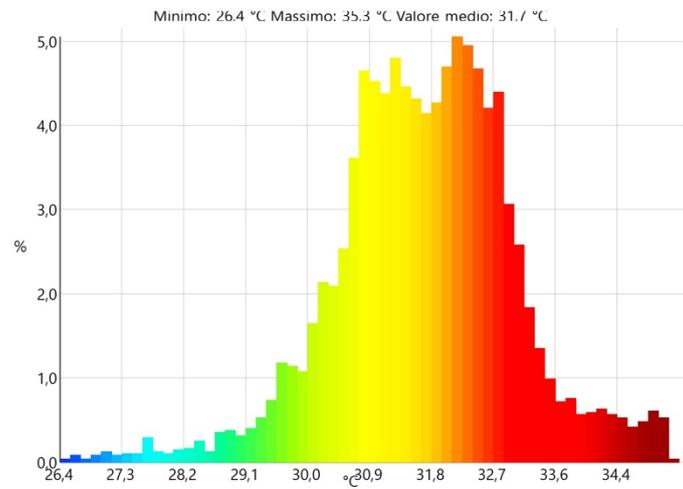


$T_{m, globale}$	32.9 °C
$T_{min, globale}$	27.0 °C
$T_{max, globale}$	36.0 °C
$T_{m, viso}$	34.5 °C
$T_{min, viso}$	30.8 °C
$T_{max, viso}$	36.0 °C

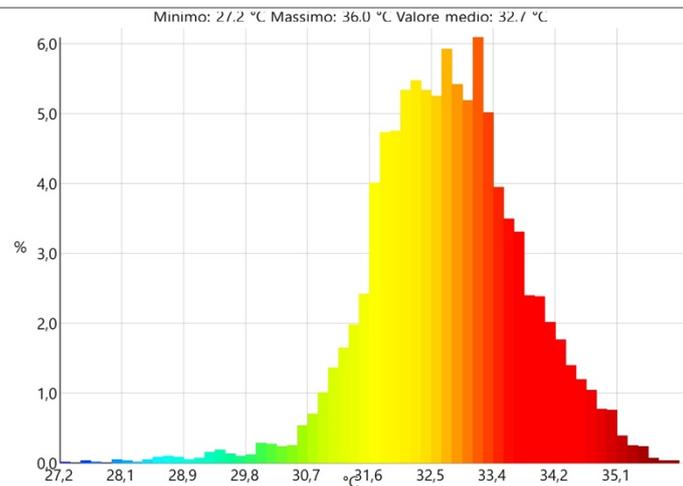


ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER
IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

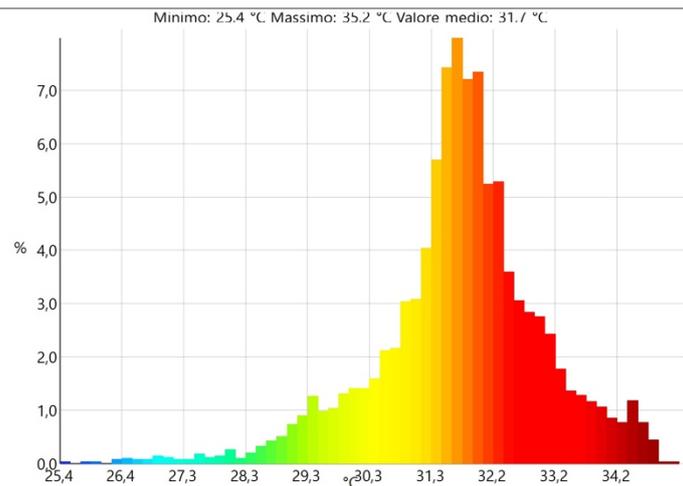
$T_{m, globale}$	31.7 °C
$T_{min, globale}$	26.4 °C
$T_{max, globale}$	35.3 °C
$T_{m, viso}$	32.8 °C
$T_{min, viso}$	29.5 °C
$T_{max, viso}$	34.8 °C



$T_{m, globale}$	32.7 °C
$T_{min, globale}$	27.2 °C
$T_{max, globale}$	36.0 °C
$T_{m, viso}$	33.4 °C
$T_{min, viso}$	30.8 °C
$T_{max, viso}$	35.3 °C

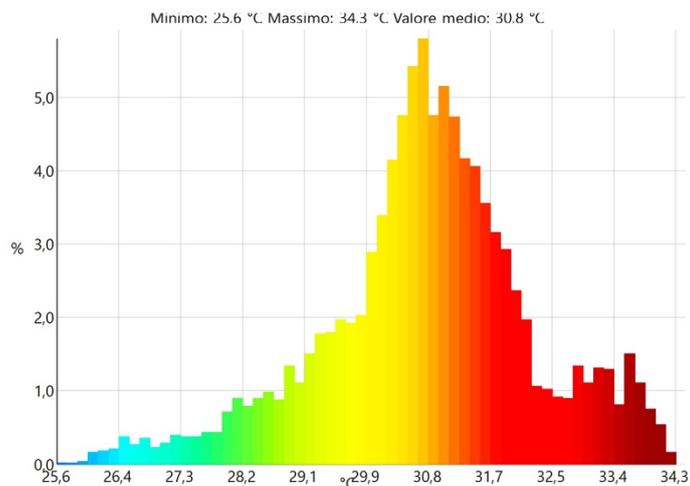


$T_{m, globale}$	31.7 °C
$T_{min, globale}$	25.4 °C
$T_{max, globale}$	35.2 °C
$T_{m, viso}$	33.6 °C
$T_{min, viso}$	31.8 °C
$T_{max, viso}$	34.8 °C



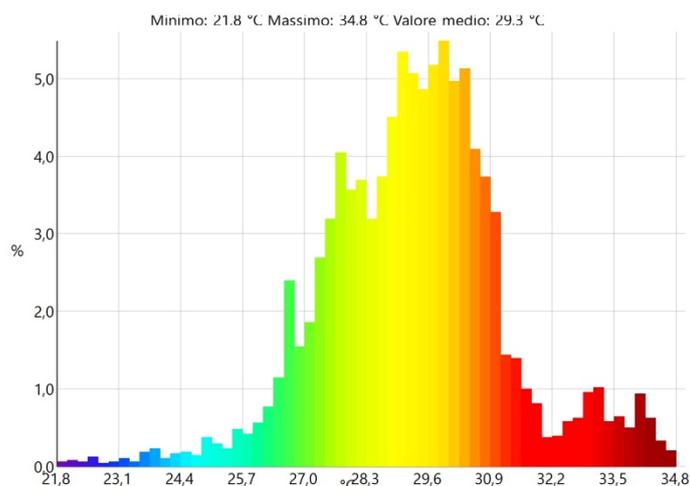
ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

$T_{m, globale}$	30.8 °C
$T_{min, globale}$	25.6 °C
$T_{max, globale}$	34.3 °C
$T_{m, viso}$	31.7 °C
$T_{min, viso}$	27.0 °C
$T_{max, viso}$	34.0 °C

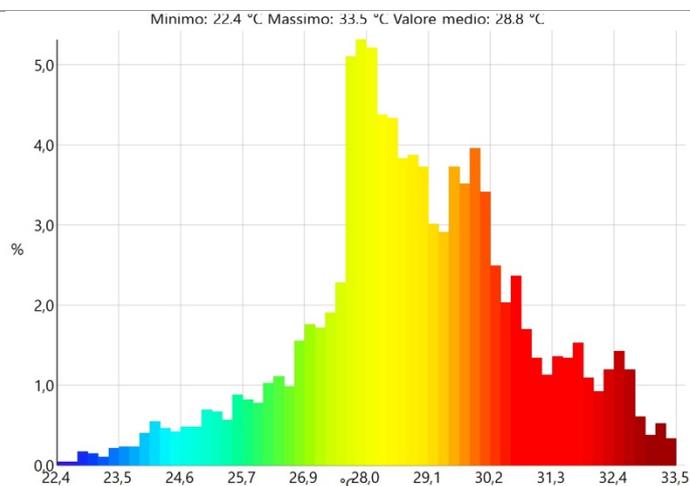


Analisi termografica dei soggetti che hanno svolto il test con il prodotto B (istante t_{15})

$T_{m, globale}$	29.3 °C
$T_{min, globale}$	21.8 °C
$T_{max, globale}$	34.8 °C
$T_{m, viso}$	33.2 °C
$T_{min, viso}$	28.6 °C
$T_{max, viso}$	34.8 °C

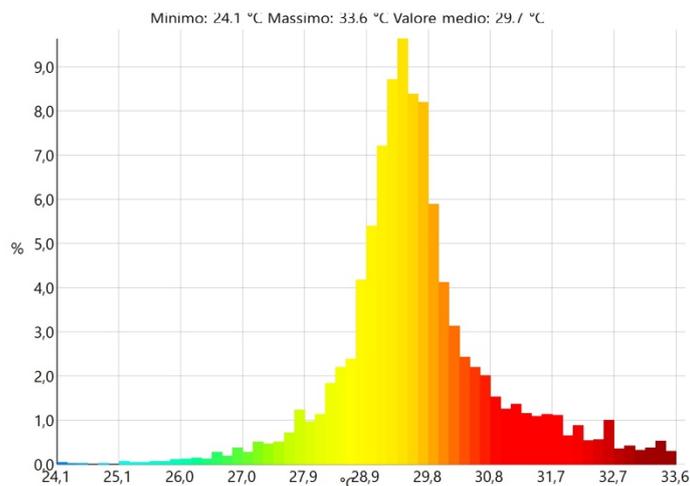


$T_{m, globale}$	28.8 °C
$T_{min, globale}$	22.4 °C
$T_{max, globale}$	33.5 °C
$T_{m, viso}$	31.6 °C
$T_{min, viso}$	25.8 °C
$T_{max, viso}$	33.5 °C

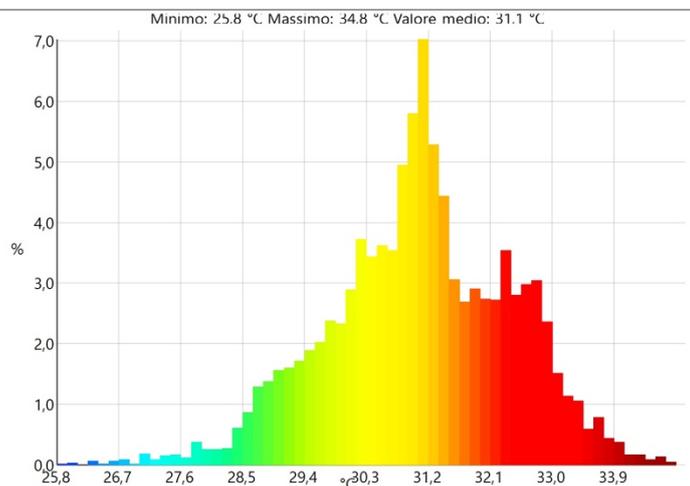


ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

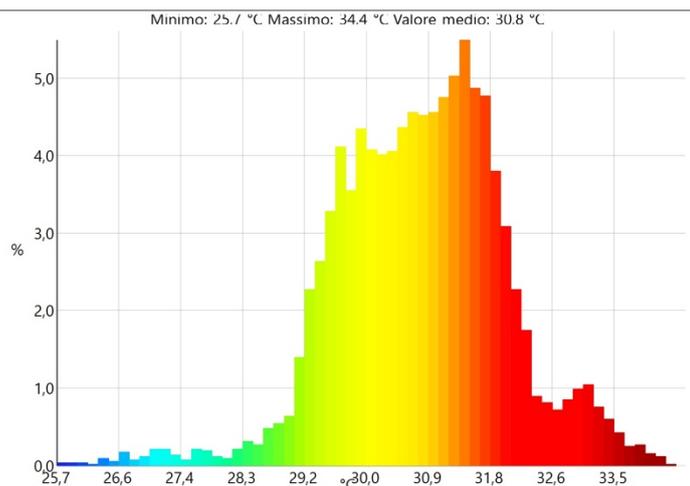
$T_{m, globale}$	29.7 °C
$T_{min, globale}$	24.1 °C
$T_{max, globale}$	33.6 °C
$T_{m, viso}$	32.0 °C
$T_{min, viso}$	28.8 °C
$T_{max, viso}$	33.6 °C



$T_{m, globale}$	31.1 °C
$T_{min, globale}$	25.8 °C
$T_{max, globale}$	34.8 °C
$T_{m, viso}$	33.4 °C
$T_{min, viso}$	30.0 °C
$T_{max, viso}$	34.8 °C

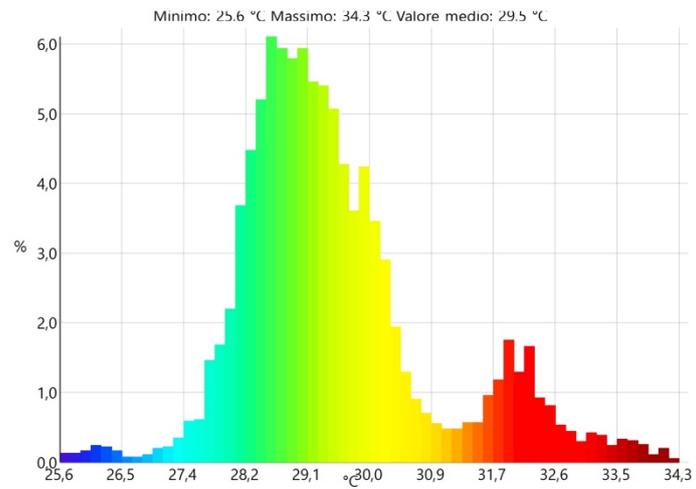


$T_{m, globale}$	30.8 °C
$T_{min, globale}$	25.7 °C
$T_{max, globale}$	34.4 °C
$T_{m, viso}$	32.5 °C
$T_{min, viso}$	28.1 °C
$T_{max, viso}$	34.4 °C

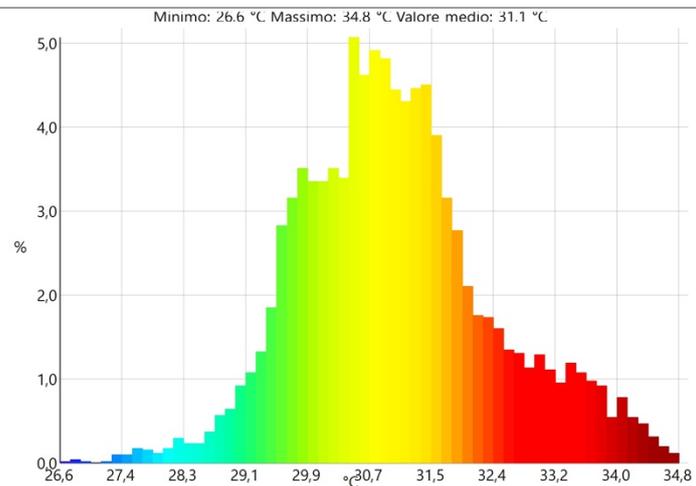


ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

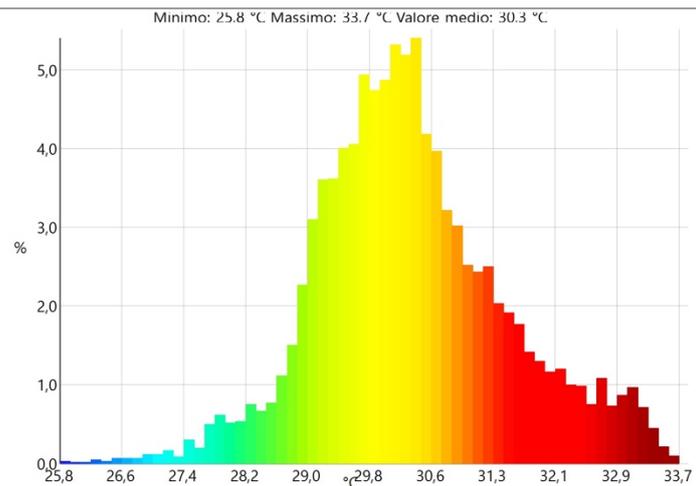
$T_{m, globale}$	29.5 °C
$T_{min, globale}$	25.6 °C
$T_{max, globale}$	34.3 °C
$T_{m, viso}$	32.8 °C
$T_{min, viso}$	29.4 °C
$T_{max, viso}$	34.3 °C



$T_{m, globale}$	31.1 °C
$T_{min, globale}$	26.6 °C
$T_{max, globale}$	34.8 °C
$T_{m, viso}$	33.5 °C
$T_{min, viso}$	29.0 °C
$T_{max, viso}$	34.8 °C

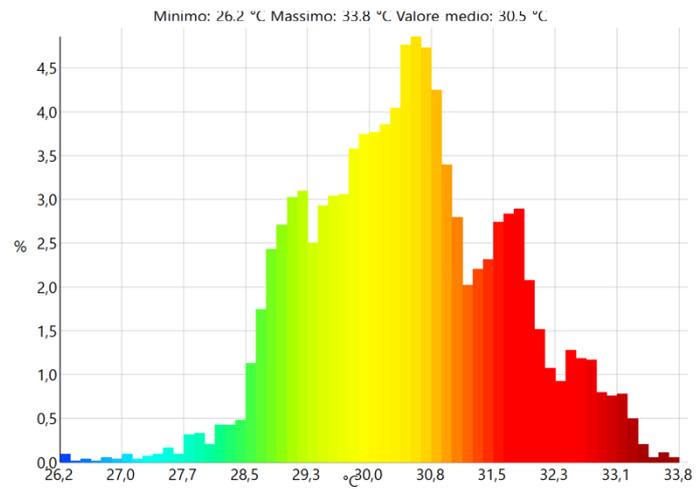


$T_{m, globale}$	30.3 °C
$T_{min, globale}$	25.8 °C
$T_{max, globale}$	33.7 °C
$T_{m, viso}$	32.4 °C
$T_{min, viso}$	29.7 °C
$T_{max, viso}$	33.7 °C

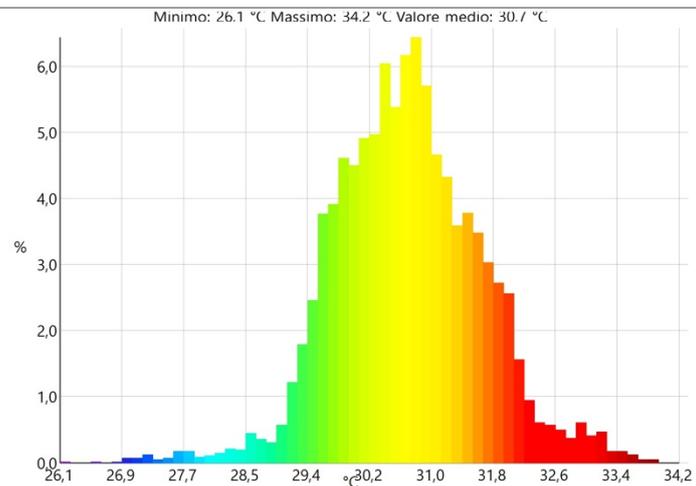


ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER
IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

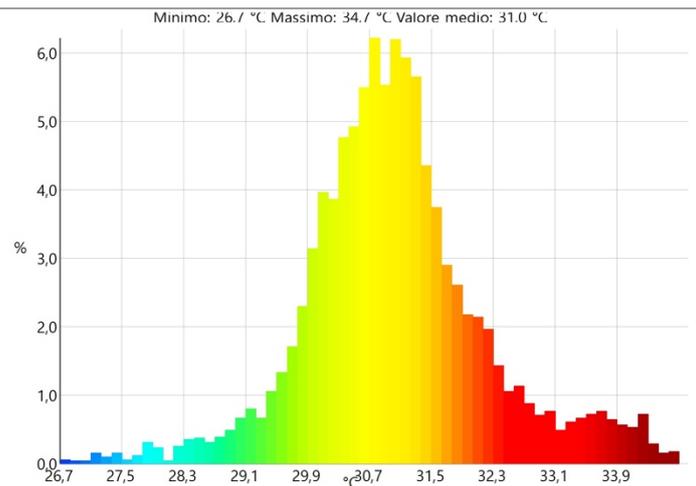
$T_{m, globale}$	30.5 °C
$T_{min, globale}$	26.2 °C
$T_{max, globale}$	33.8 °C
$T_{m, viso}$	32.5 °C
$T_{min, viso}$	29.7 °C
$T_{max, viso}$	33.8 °C



$T_{m, globale}$	30.7 °C
$T_{min, globale}$	26.1 °C
$T_{max, globale}$	34.2 °C
$T_{m, viso}$	31.5 °C
$T_{min, viso}$	29.0 °C
$T_{max, viso}$	33.6 °C

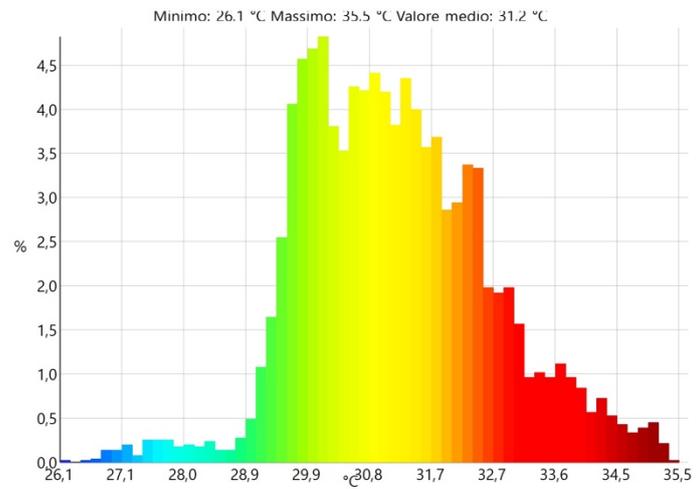


$T_{m, globale}$	31.0 °C
$T_{min, globale}$	26.7 °C
$T_{max, globale}$	34.7 °C
$T_{m, viso}$	33.3 °C
$T_{min, viso}$	29.0 °C
$T_{max, viso}$	34.7 °C

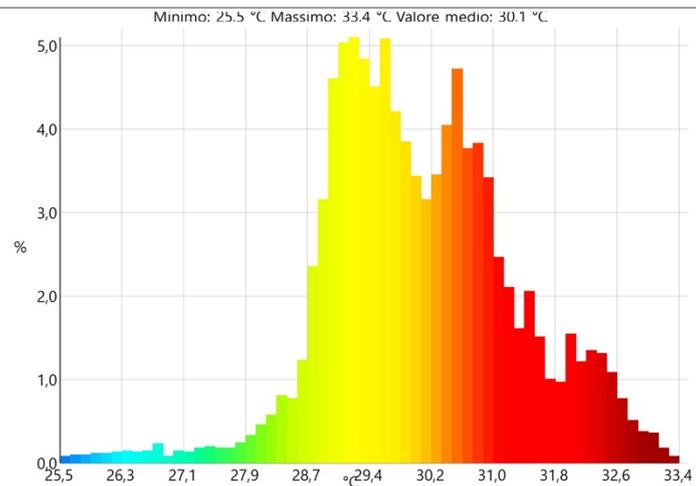


ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

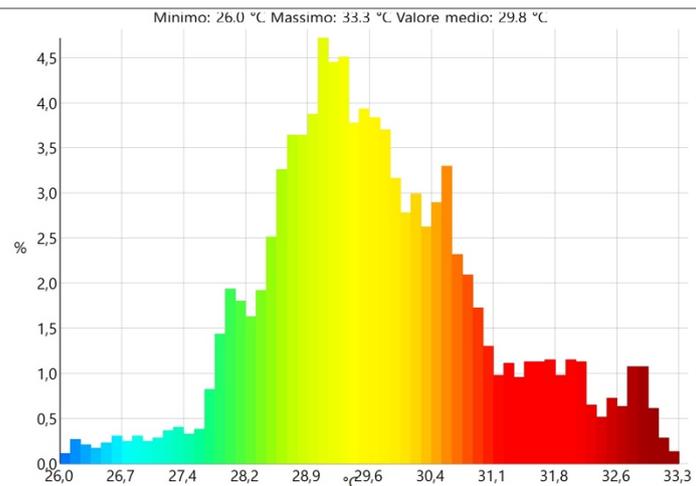
$T_{m, globale}$	31.2 °C
$T_{min, globale}$	26.1 °C
$T_{max, globale}$	35.5 °C
$T_{m, viso}$	33.9 °C
$T_{min, viso}$	30.3 °C
$T_{max, viso}$	35.5 °C



$T_{m, globale}$	30.1 °C
$T_{min, globale}$	25.5 °C
$T_{max, globale}$	33.4 °C
$T_{m, viso}$	31.8 °C
$T_{min, viso}$	28.7 °C
$T_{max, viso}$	33.4 °C

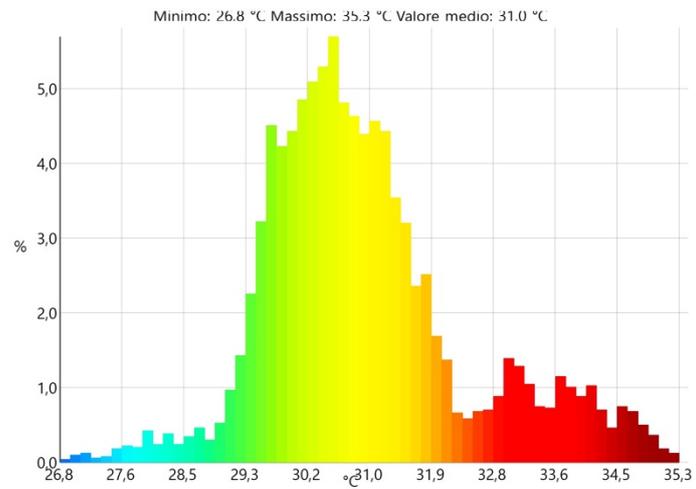


$T_{m, globale}$	29.8 °C
$T_{min, globale}$	26.0 °C
$T_{max, globale}$	33.3 °C
$T_{m, viso}$	32.0 °C
$T_{min, viso}$	28.1 °C
$T_{max, viso}$	33.3 °C

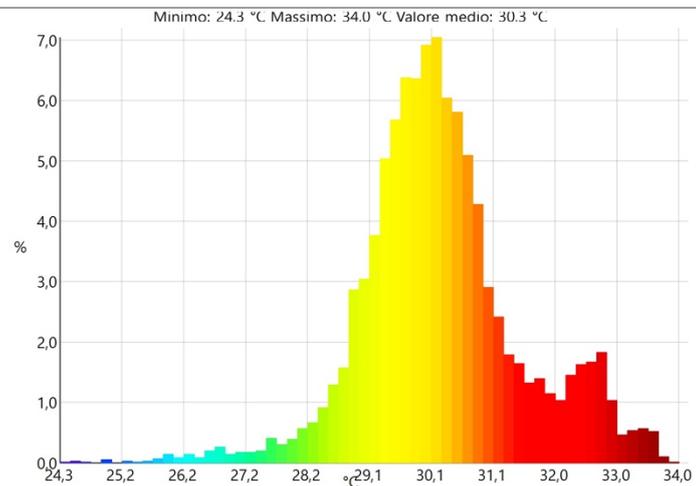


ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

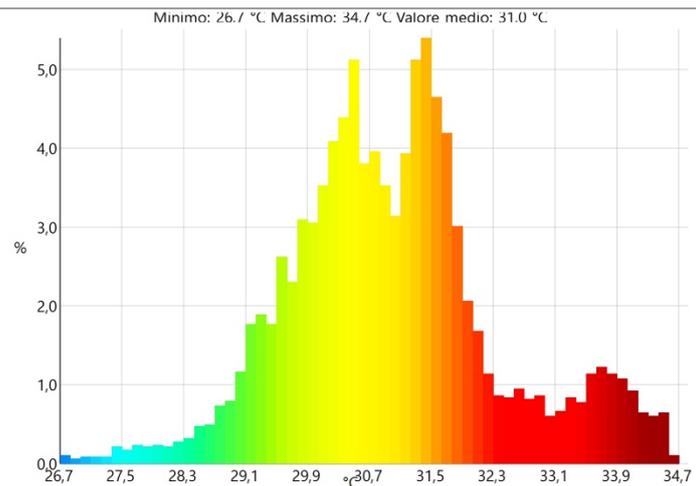
$T_{m, globale}$	31.0 °C
$T_{min, globale}$	26.8 °C
$T_{max, globale}$	35.3 °C
$T_{m, viso}$	33.7 °C
$T_{min, viso}$	29.1 °C
$T_{max, viso}$	35.3 °C



$T_{m, globale}$	30.3 °C
$T_{min, globale}$	24.3 °C
$T_{max, globale}$	34.0 °C
$T_{m, viso}$	32.7 °C
$T_{min, viso}$	30.1 °C
$T_{max, viso}$	34.0 °C

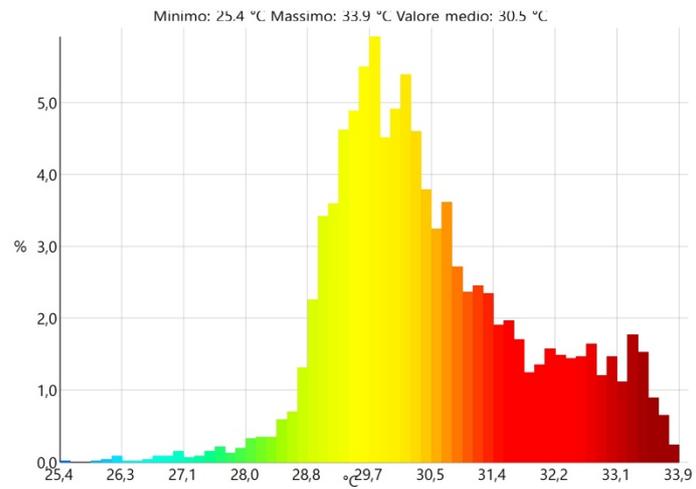


$T_{m, globale}$	31.0 °C
$T_{min, globale}$	26.7 °C
$T_{max, globale}$	34.7 °C
$T_{m, viso}$	33.7 °C
$T_{min, viso}$	28.0 °C
$T_{max, viso}$	34.7 °C

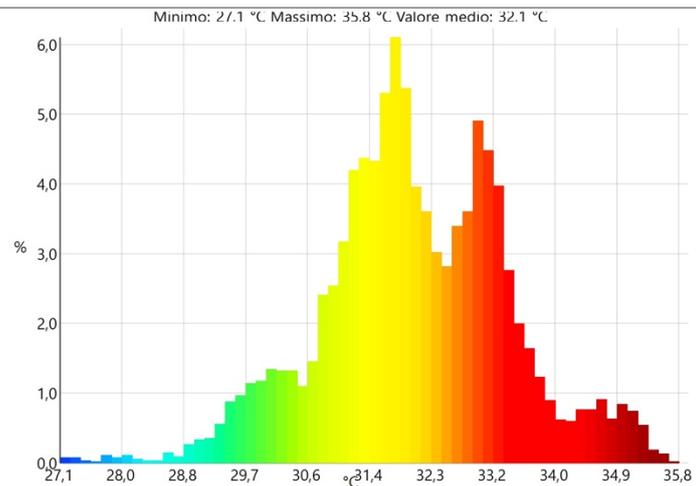


ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

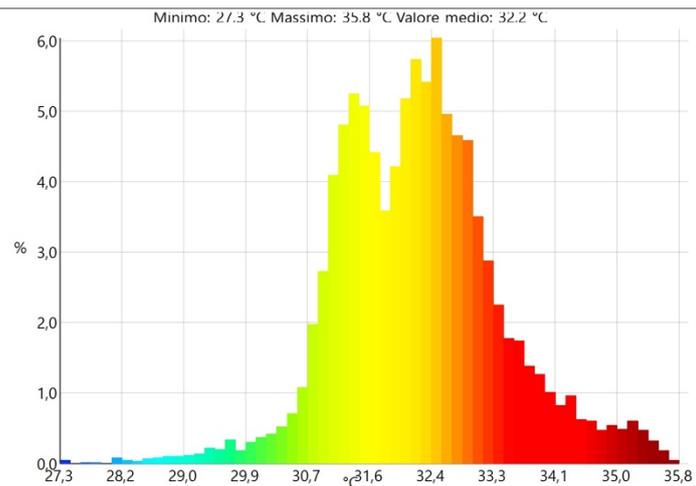
$T_{m, globale}$	30.5 °C
$T_{min, globale}$	25.4 °C
$T_{max, globale}$	33.9 °C
$T_{m, viso}$	31.8 °C
$T_{min, viso}$	29.2 °C
$T_{max, viso}$	33.9 °C



$T_{m, globale}$	32.1 °C
$T_{min, globale}$	27.1 °C
$T_{max, globale}$	35.8 °C
$T_{m, viso}$	34.5 °C
$T_{min, viso}$	30.8 °C
$T_{max, viso}$	35.3 °C

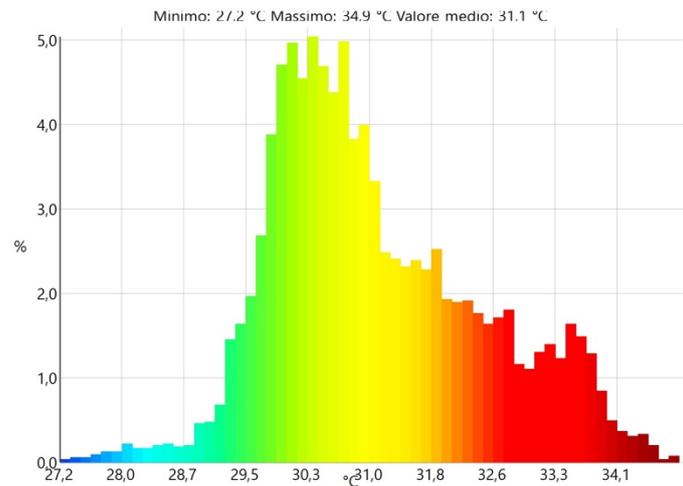


$T_{m, globale}$	32.2 °C
$T_{min, globale}$	27.3 °C
$T_{max, globale}$	35.8 °C
$T_{m, viso}$	34.2 °C
$T_{min, viso}$	30.0 °C
$T_{max, viso}$	35.8 °C

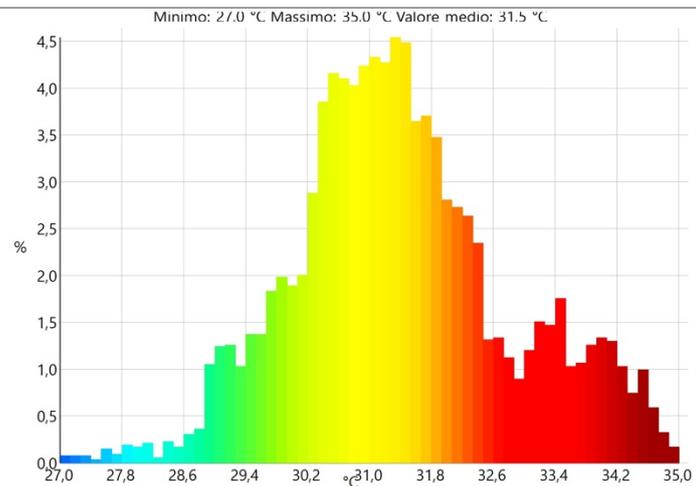


ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER
IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

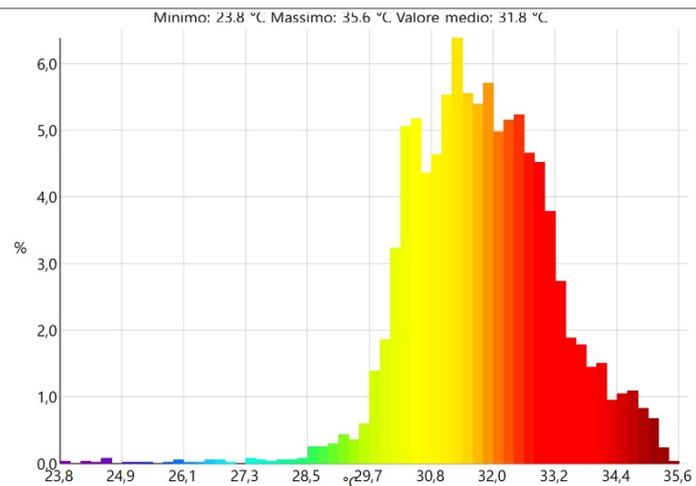
$T_{m, globale}$	31.1 °C
$T_{min, globale}$	27.2 °C
$T_{max, globale}$	34.9 °C
$T_{m, viso}$	33.5 °C
$T_{min, viso}$	30.5 °C
$T_{max, viso}$	34.9 °C



$T_{m, globale}$	31.5 °C
$T_{min, globale}$	27.0 °C
$T_{max, globale}$	35.0 °C
$T_{m, viso}$	33.7 °C
$T_{min, viso}$	30.1 °C
$T_{max, viso}$	35.0 °C

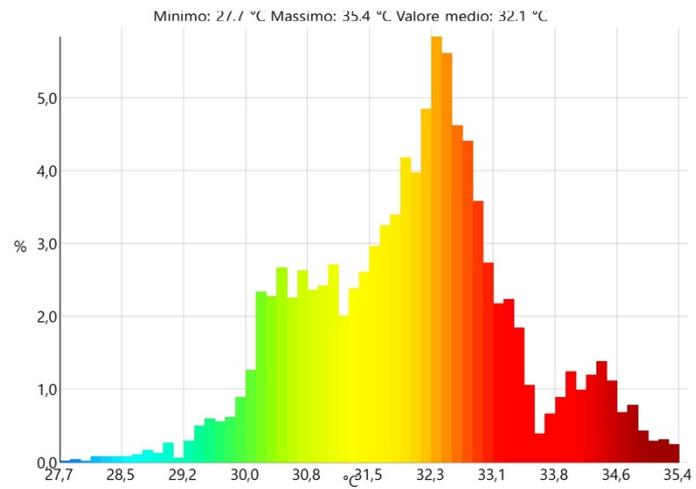


$T_{m, globale}$	31.8 °C
$T_{min, globale}$	23.8 °C
$T_{max, globale}$	35.6 °C
$T_{m, viso}$	33.4 °C
$T_{min, viso}$	30.2 °C
$T_{max, viso}$	35.6 °C

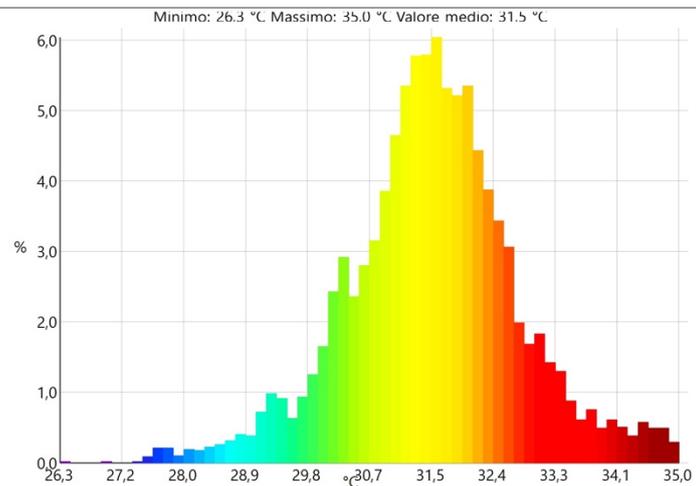


ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

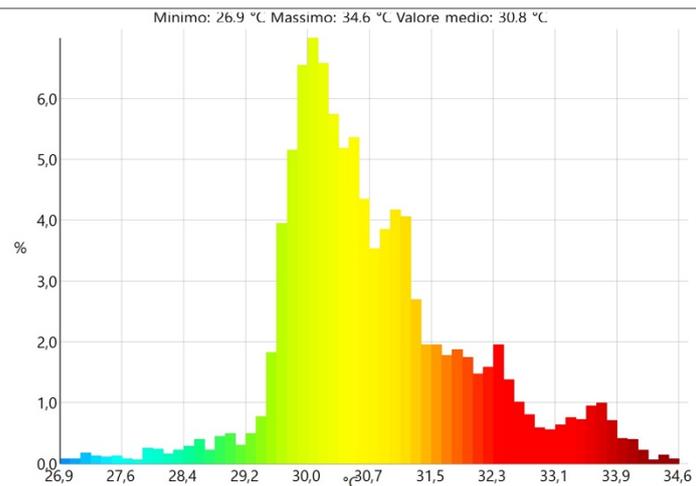
$T_{m, globale}$	32.1 °C
$T_{min, globale}$	27.7 °C
$T_{max, globale}$	35.4 °C
$T_{m, viso}$	34.4 °C
$T_{min, viso}$	31.3 °C
$T_{max, viso}$	35.4 °C



$T_{m, globale}$	31.5 °C
$T_{min, globale}$	26.3 °C
$T_{max, globale}$	35.0 °C
$T_{m, viso}$	33.4 °C
$T_{min, viso}$	29.4 °C
$T_{max, viso}$	35.0 °C

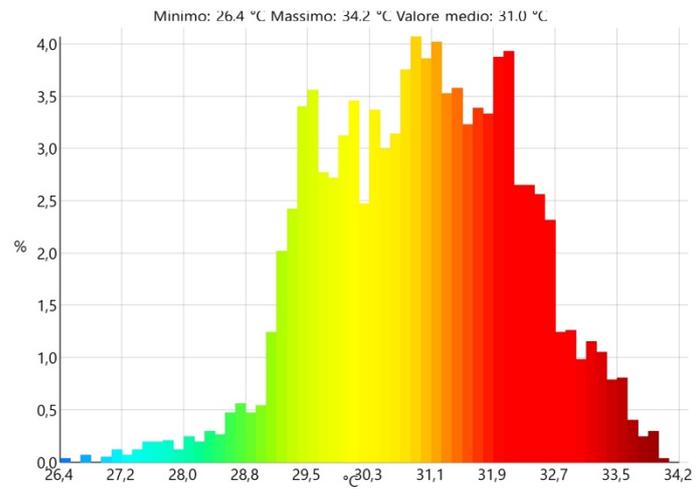


$T_{m, globale}$	30.8 °C
$T_{min, globale}$	26.9 °C
$T_{max, globale}$	34.6 °C
$T_{m, viso}$	33.6 °C
$T_{min, viso}$	32.0 °C
$T_{max, viso}$	34.6 °C

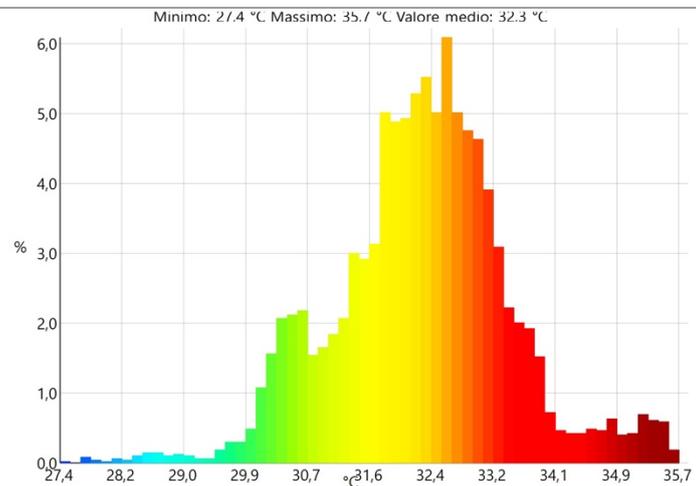


ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

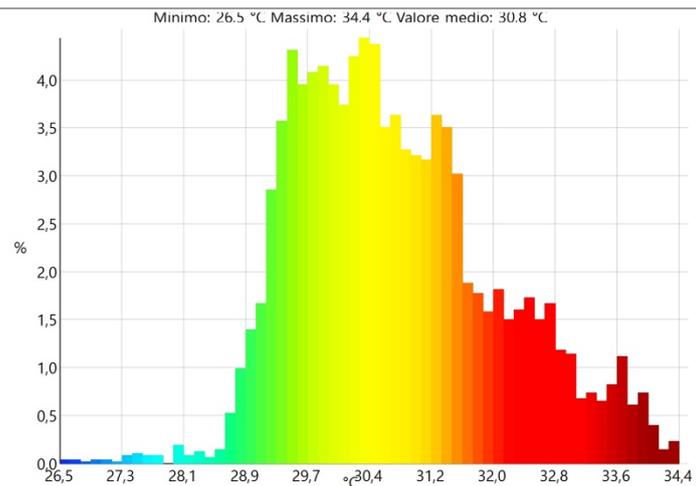
$T_{m, globale}$	31.0 °C
$T_{min, globale}$	26.4 °C
$T_{max, globale}$	34.2 °C
$T_{m, viso}$	33.0 °C
$T_{min, viso}$	29.8 °C
$T_{max, viso}$	34.2 °C



$T_{m, globale}$	32.3 °C
$T_{min, globale}$	27.4 °C
$T_{max, globale}$	35.7 °C
$T_{m, viso}$	34.8 °C
$T_{min, viso}$	31.0 °C
$T_{max, viso}$	35.7 °C

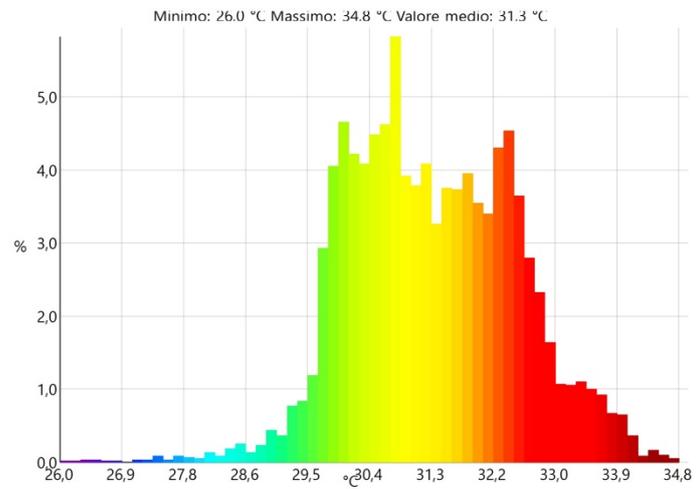


$T_{m, globale}$	30.8 °C
$T_{min, globale}$	26.5 °C
$T_{max, globale}$	34.4 °C
$T_{m, viso}$	32.8 °C
$T_{min, viso}$	30.1 °C
$T_{max, viso}$	34.4 °C

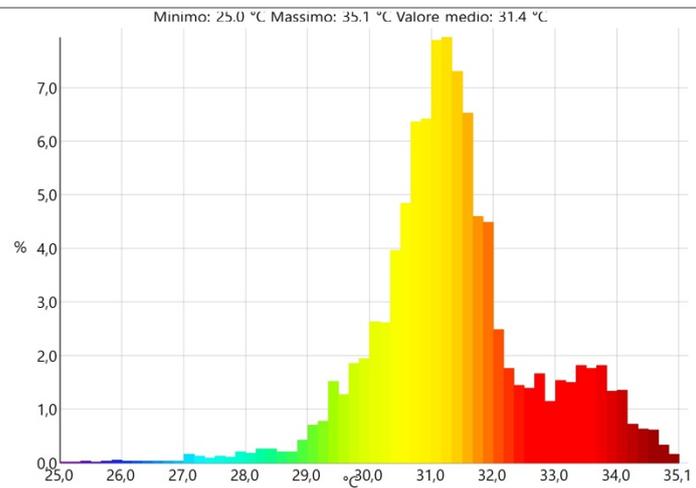


ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

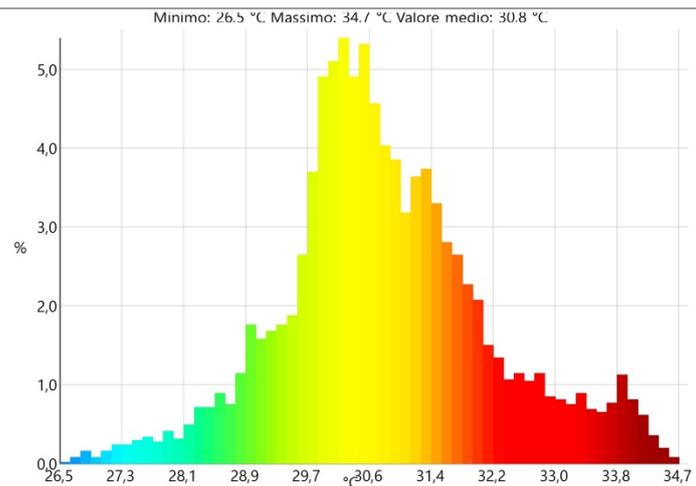
$T_{m, globale}$	31.3 °C
$T_{min, globale}$	26.0 °C
$T_{max, globale}$	34.8 °C
$T_{m, viso}$	33.4 °C
$T_{min, viso}$	30.6 °C
$T_{max, viso}$	34.8 °C



$T_{m, globale}$	31.4 °C
$T_{min, globale}$	25.0 °C
$T_{max, globale}$	35.1 °C
$T_{m, viso}$	33.7 °C
$T_{min, viso}$	27.5 °C
$T_{max, viso}$	35.1 °C

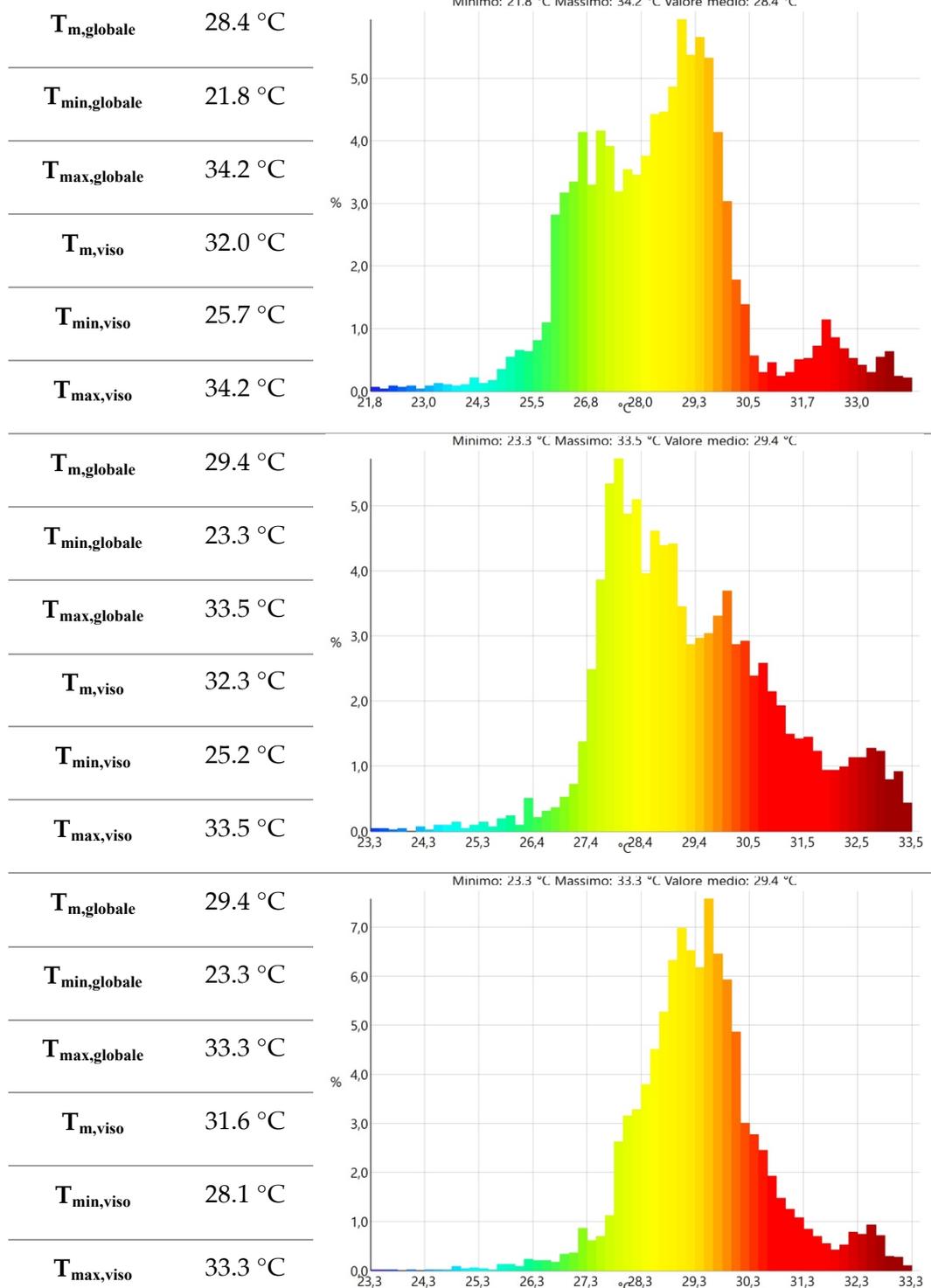


$T_{m, globale}$	30.8 °C
$T_{min, globale}$	26.5 °C
$T_{max, globale}$	34.7 °C
$T_{m, viso}$	32.9 °C
$T_{min, viso}$	30.1 °C
$T_{max, viso}$	34.7 °C



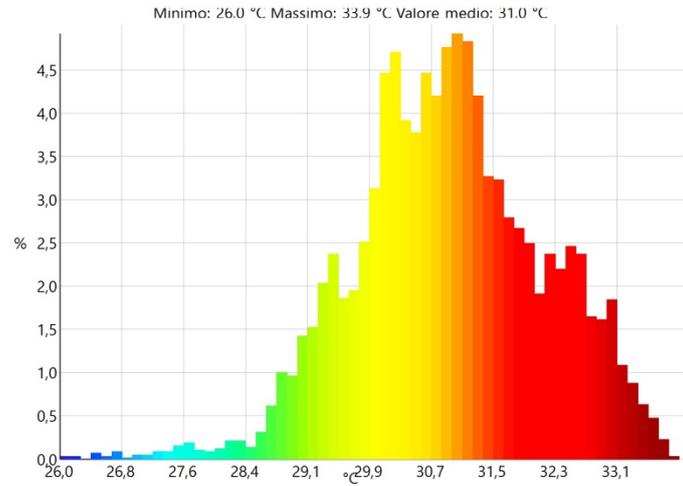
ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER
IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

*Analisi termografica dei soggetti che hanno svolto il test con il prodotto B
(istante t_{60})*

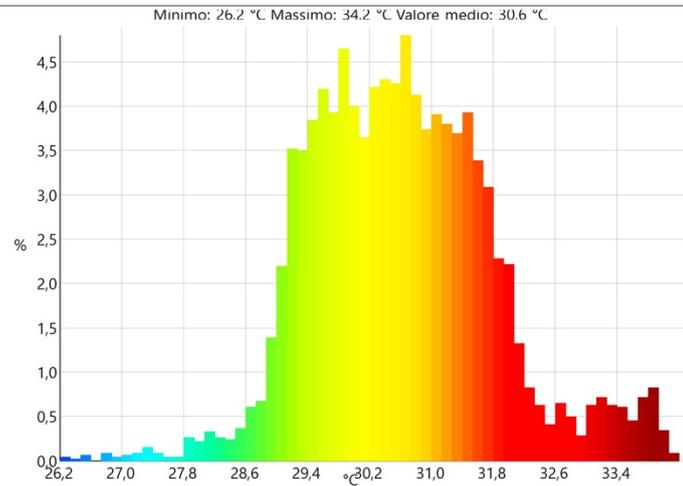


ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER
IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

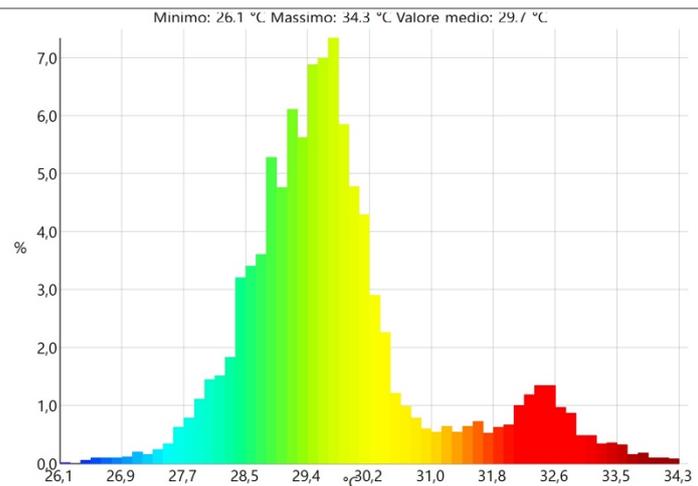
$T_{m, globale}$	31.0 °C
$T_{min, globale}$	26.0 °C
$T_{max, globale}$	33.9 °C
$T_{m, viso}$	32.4 °C
$T_{min, viso}$	29.3 °C
$T_{max, viso}$	33.9 °C



$T_{m, globale}$	30.6 °C
$T_{min, globale}$	26.2 °C
$T_{max, globale}$	34.2 °C
$T_{m, viso}$	33.1 °C
$T_{min, viso}$	30.2 °C
$T_{max, viso}$	34.2 °C

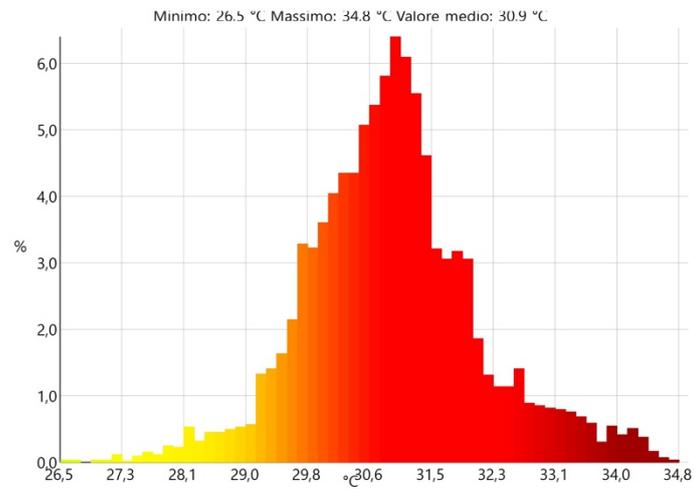


$T_{m, globale}$	29.7 °C
$T_{min, globale}$	26.1 °C
$T_{max, globale}$	34.3 °C
$T_{m, viso}$	32.8 °C
$T_{min, viso}$	29.9 °C
$T_{max, viso}$	34.3 °C

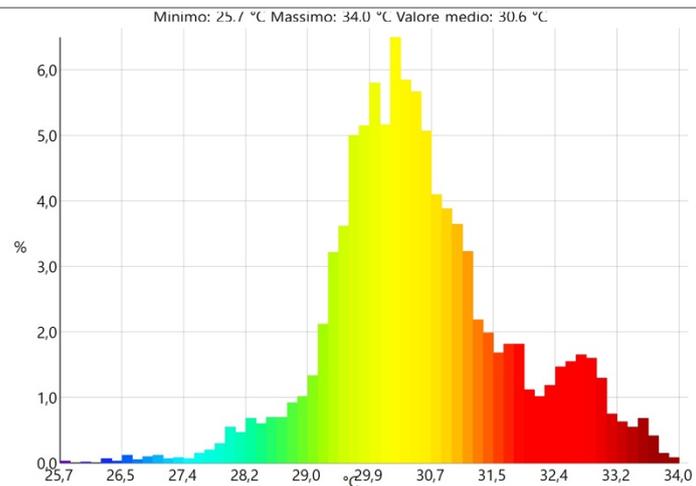


ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

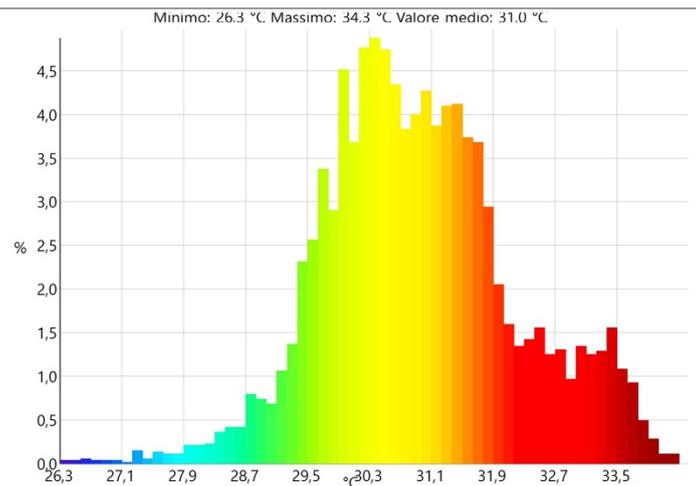
$T_{m, globale}$	30.9 °C
$T_{min, globale}$	26.5 °C
$T_{max, globale}$	34.8 °C
$T_{m, viso}$	33.0 °C
$T_{min, viso}$	29.0 °C
$T_{max, viso}$	34.8 °C



$T_{m, globale}$	30.6 °C
$T_{min, globale}$	25.7 °C
$T_{max, globale}$	34.0 °C
$T_{m, viso}$	32.8 °C
$T_{min, viso}$	27.8 °C
$T_{max, viso}$	34.0 °C

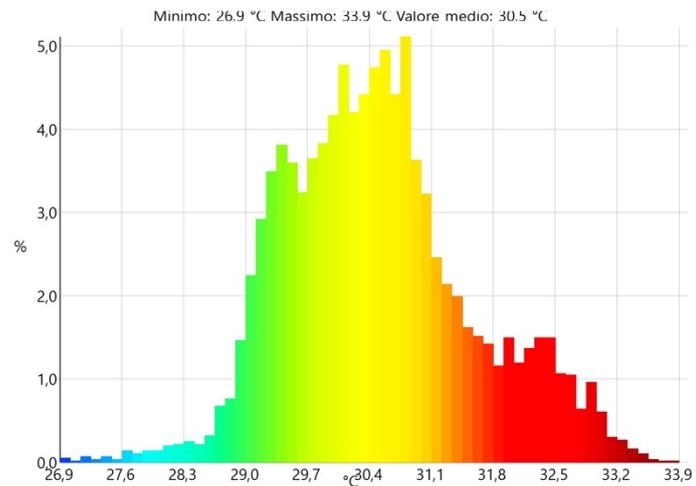


$T_{m, globale}$	31.0 °C
$T_{min, globale}$	26.3 °C
$T_{max, globale}$	34.3 °C
$T_{m, viso}$	33.4 °C
$T_{min, viso}$	30.7 °C
$T_{max, viso}$	34.3 °C

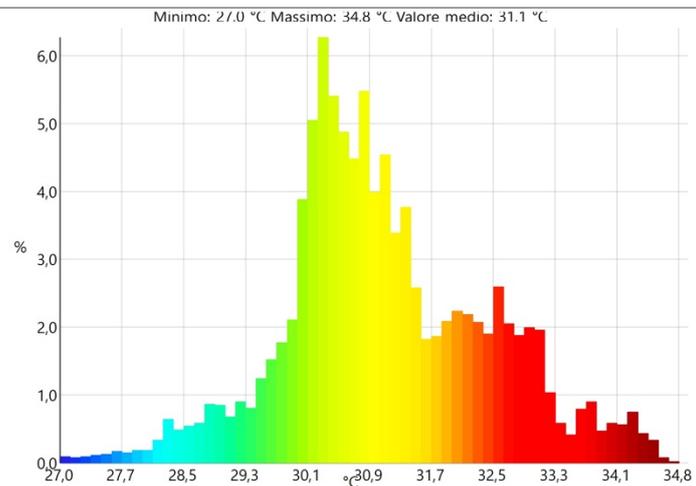


ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

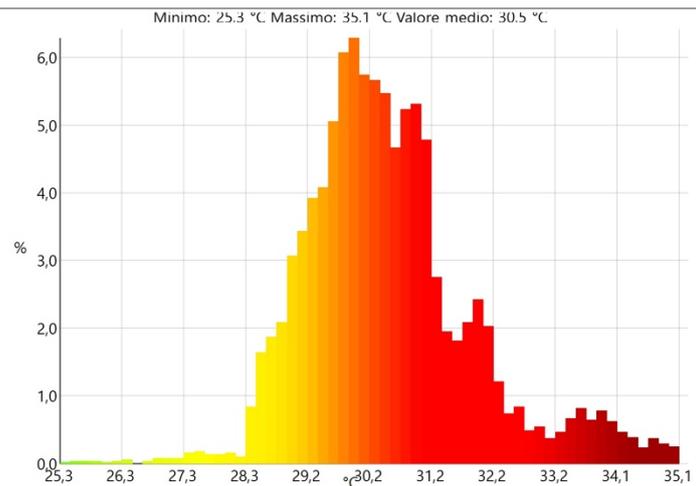
$T_{m, globale}$	30.5 °C
$T_{min, globale}$	26.9 °C
$T_{max, globale}$	33.9 °C
$T_{m, viso}$	32.0 °C
$T_{min, viso}$	29.8 °C
$T_{max, viso}$	33.9 °C



$T_{m, globale}$	31.1 °C
$T_{min, globale}$	27.0 °C
$T_{max, globale}$	34.8 °C
$T_{m, viso}$	33.5 °C
$T_{min, viso}$	29.3 °C
$T_{max, viso}$	34.8 °C

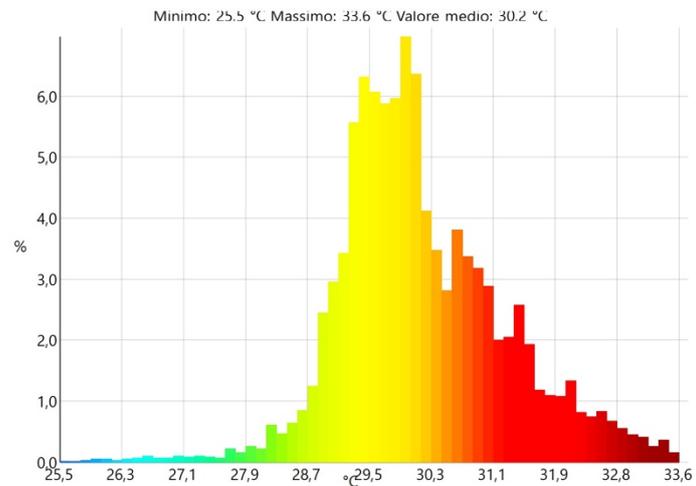


$T_{m, globale}$	30.5 °C
$T_{min, globale}$	25.3 °C
$T_{max, globale}$	35.3 °C
$T_{m, viso}$	33.5 °C
$T_{min, viso}$	28.7 °C
$T_{max, viso}$	35.1 °C

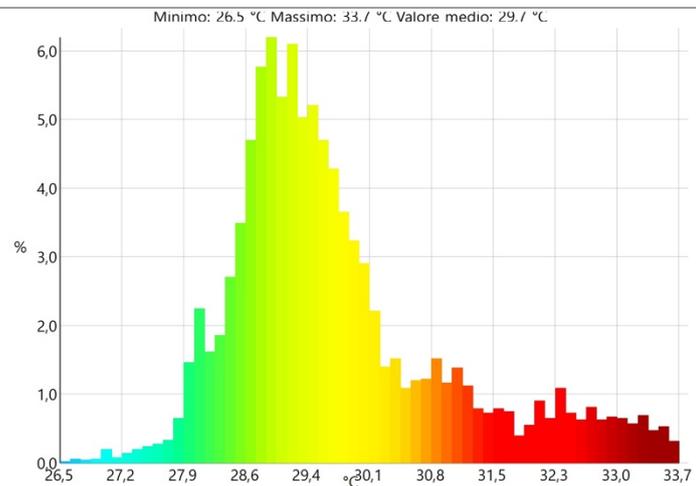


ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER
IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

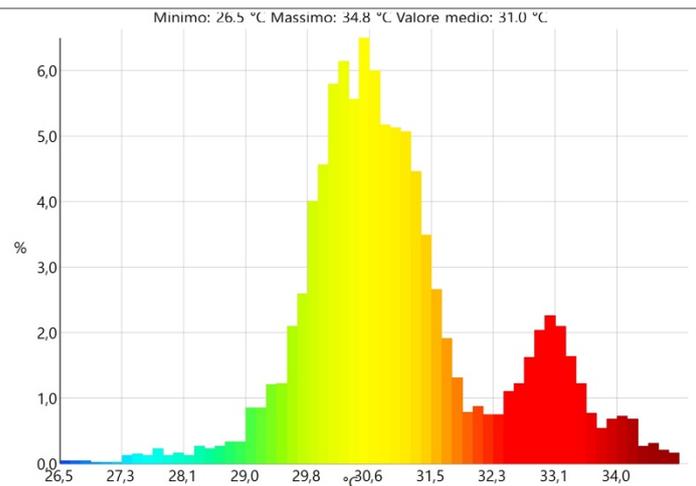
$T_{m, globale}$	30.2 °C
$T_{min, globale}$	25.5 °C
$T_{max, globale}$	33.6 °C
$T_{m, viso}$	32.2 °C
$T_{min, viso}$	29.0 °C
$T_{max, viso}$	33.6 °C



$T_{m, globale}$	29.7 °C
$T_{min, globale}$	26.5 °C
$T_{max, globale}$	33.7 °C
$T_{m, viso}$	32.4 °C
$T_{min, viso}$	29.1 °C
$T_{max, viso}$	33.7 °C

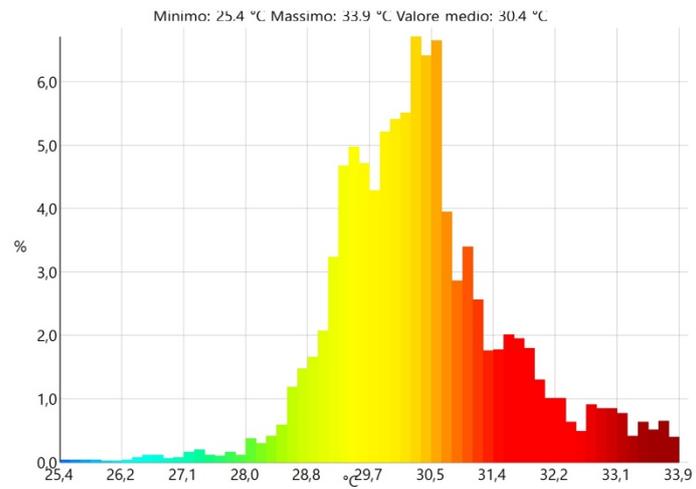


$T_{m, globale}$	31.0 °C
$T_{min, globale}$	26.5 °C
$T_{max, globale}$	34.8 °C
$T_{m, viso}$	32.9 °C
$T_{min, viso}$	27.6 °C
$T_{max, viso}$	34.8 °C

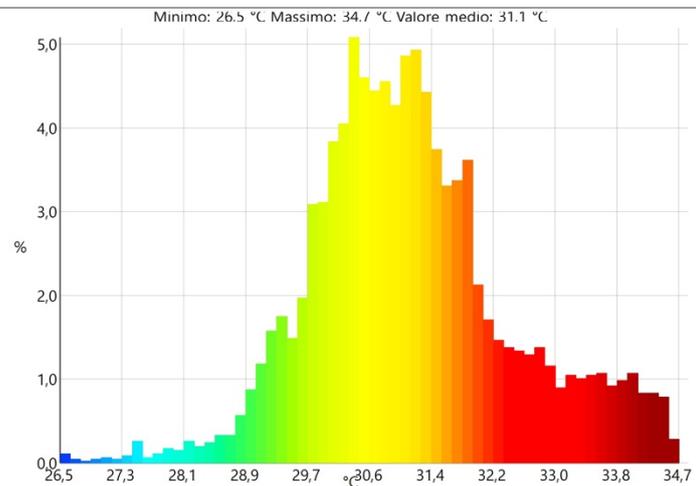


ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER
IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

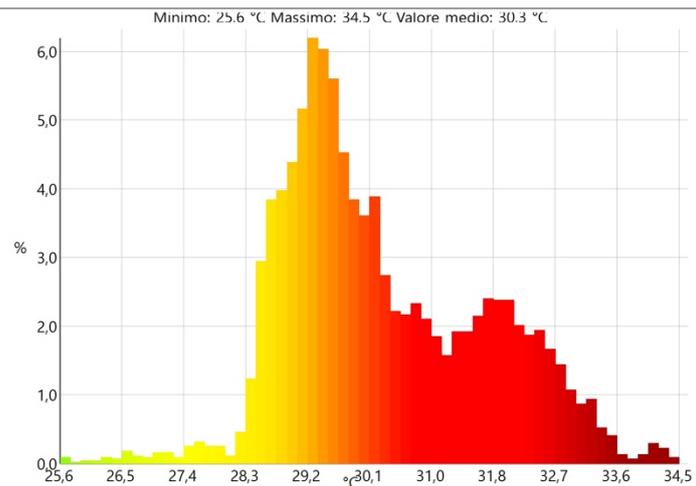
$T_{m, globale}$	30.4 °C
$T_{min, globale}$	25.4 °C
$T_{max, globale}$	33.9 °C
$T_{m, viso}$	32.9 °C
$T_{min, viso}$	29.1 °C
$T_{max, viso}$	33.9 °C



$T_{m, globale}$	31.1 °C
$T_{min, globale}$	26.5 °C
$T_{max, globale}$	34.7 °C
$T_{m, viso}$	33.6 °C
$T_{min, viso}$	28.0 °C
$T_{max, viso}$	34.7 °C

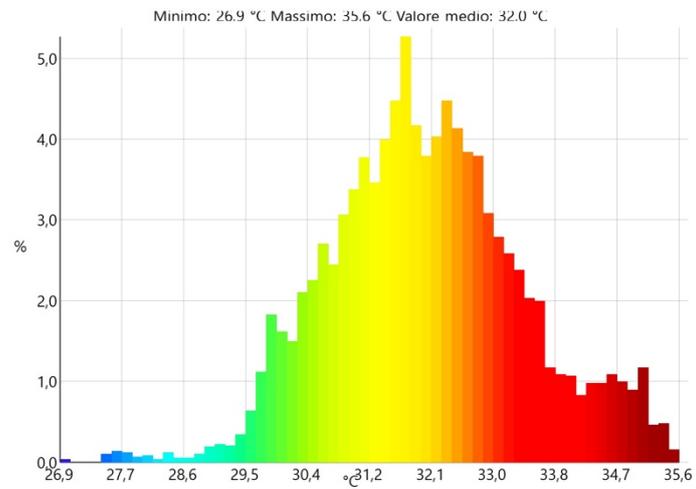


$T_{m, globale}$	30.3 °C
$T_{min, globale}$	25.6 °C
$T_{max, globale}$	34.5 °C
$T_{m, viso}$	32.0 °C
$T_{min, viso}$	29.2 °C
$T_{max, viso}$	34.5 °C

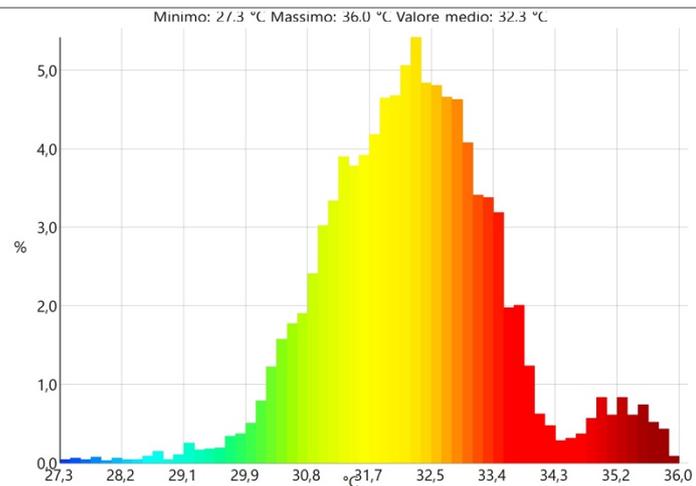


ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

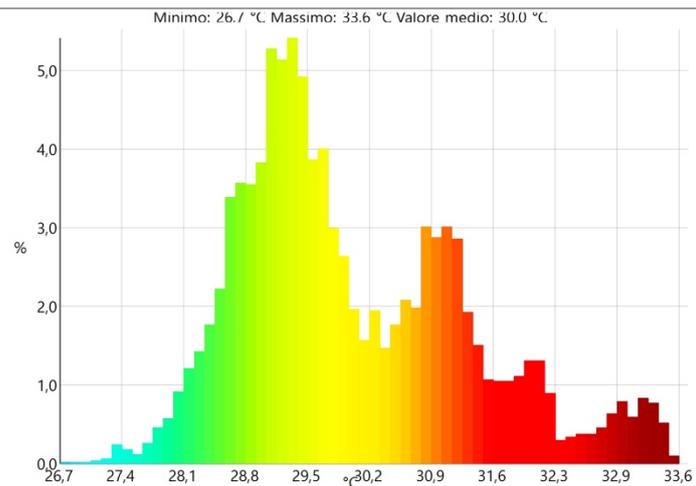
$T_{m, globale}$	32.0 °C
$T_{min, globale}$	26.9 °C
$T_{max, globale}$	35.6 °C
$T_{m, viso}$	34.6 °C
$T_{min, viso}$	31.4 °C
$T_{max, viso}$	35.6 °C



$T_{m, globale}$	32.3 °C
$T_{min, globale}$	27.3 °C
$T_{max, globale}$	36.0 °C
$T_{m, viso}$	35.1 °C
$T_{min, viso}$	31.9 °C
$T_{max, viso}$	36.0 °C

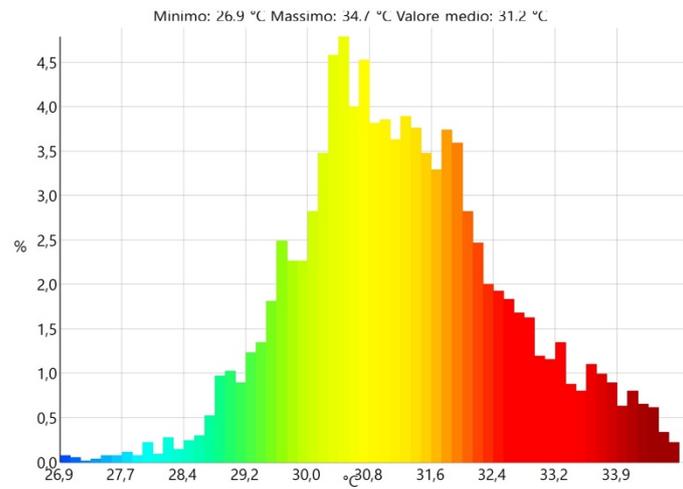


$T_{m, globale}$	30.0 °C
$T_{min, globale}$	26.7 °C
$T_{max, globale}$	33.6 °C
$T_{m, viso}$	32.7 °C
$T_{min, viso}$	29.8 °C
$T_{max, viso}$	33.6 °C

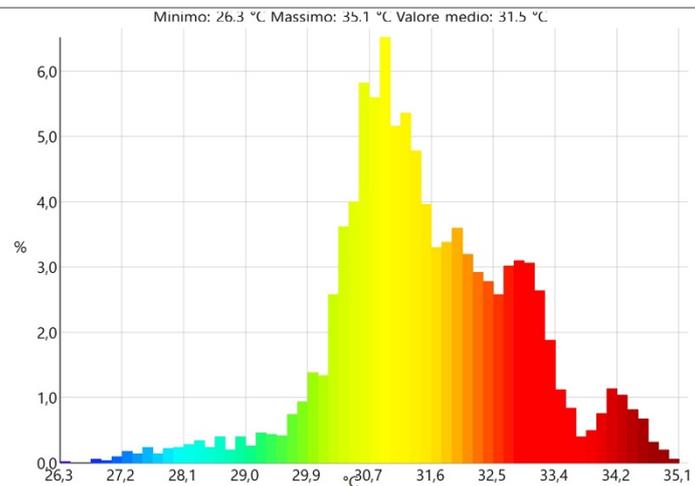


ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER
IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

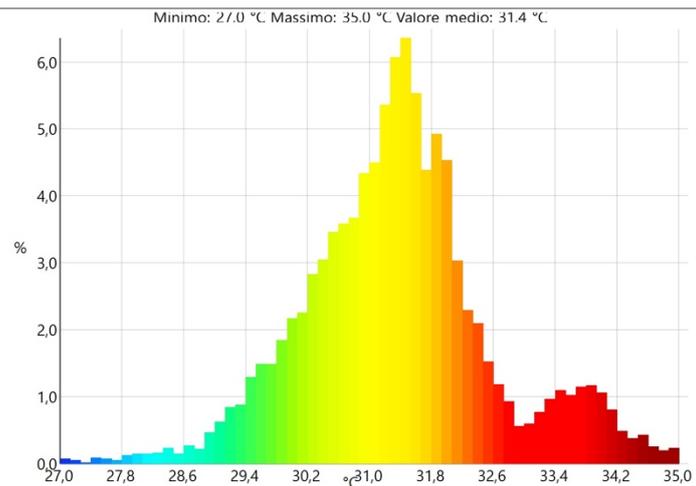
$T_{m, globale}$	31.2 °C
$T_{min, globale}$	26.9 °C
$T_{max, globale}$	34.7 °C
$T_{m, viso}$	33.3 °C
$T_{min, viso}$	29.3 °C
$T_{max, viso}$	34.7 °C



$T_{m, globale}$	31.5 °C
$T_{min, globale}$	26.3 °C
$T_{max, globale}$	35.1 °C
$T_{m, viso}$	32.9 °C
$T_{min, viso}$	30.2 °C
$T_{max, viso}$	34.9 °C

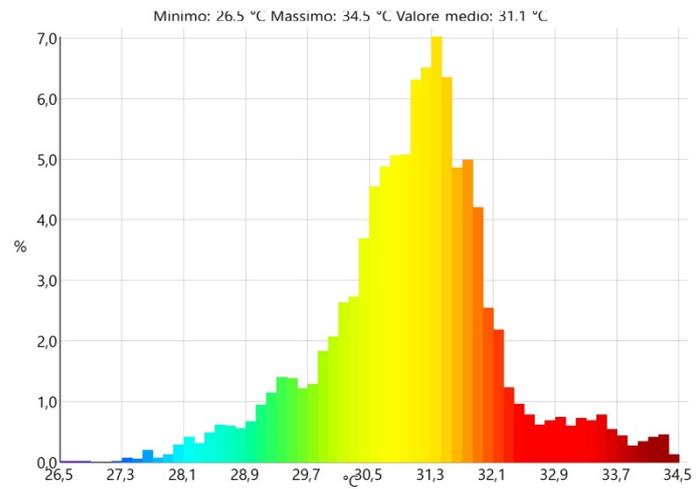


$T_{m, globale}$	31.4 °C
$T_{min, globale}$	27.0 °C
$T_{max, globale}$	35.0 °C
$T_{m, viso}$	33.7 °C
$T_{min, viso}$	28.3 °C
$T_{max, viso}$	35.0 °C

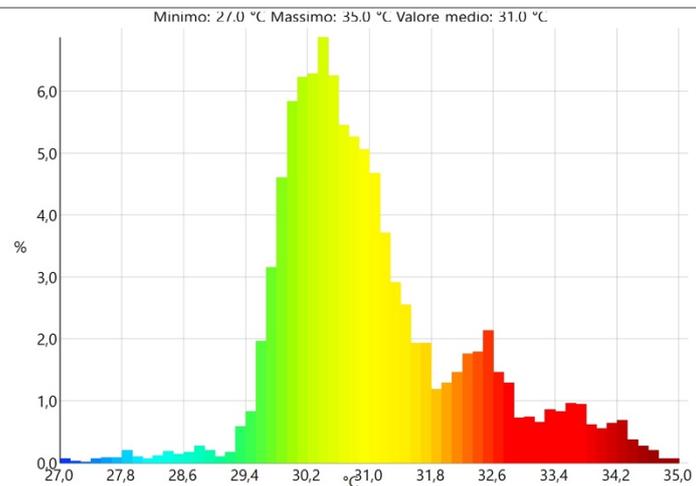


ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

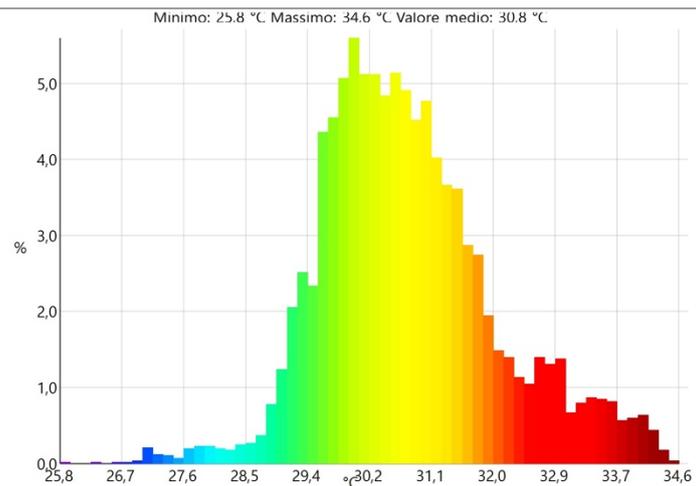
$T_{m, globale}$	31.1 °C
$T_{min, globale}$	26.5 °C
$T_{max, globale}$	34.5 °C
$T_{m, viso}$	33.1 °C
$T_{min, viso}$	30.5 °C
$T_{max, viso}$	34.5 °C



$T_{m, globale}$	31.0 °C
$T_{min, globale}$	27.0 °C
$T_{max, globale}$	35.0 °C
$T_{m, viso}$	33.7 °C
$T_{min, viso}$	30.8 °C
$T_{max, viso}$	35.0 °C

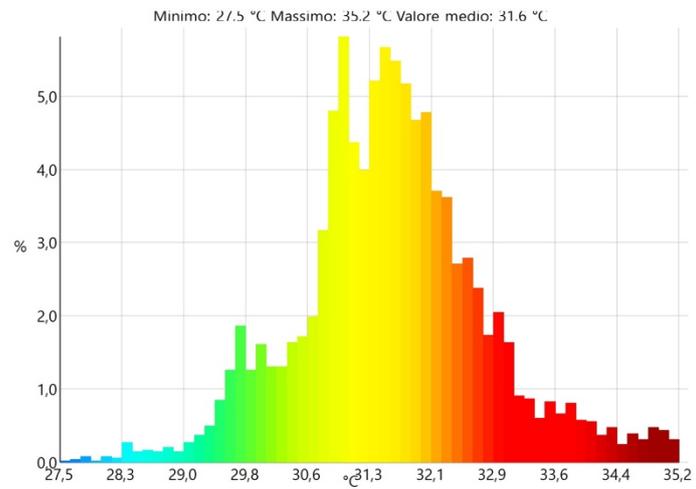


$T_{m, globale}$	30.8 °C
$T_{min, globale}$	25.8 °C
$T_{max, globale}$	34.6 °C
$T_{m, viso}$	33.3 °C
$T_{min, viso}$	30.0 °C
$T_{max, viso}$	34.6 °C

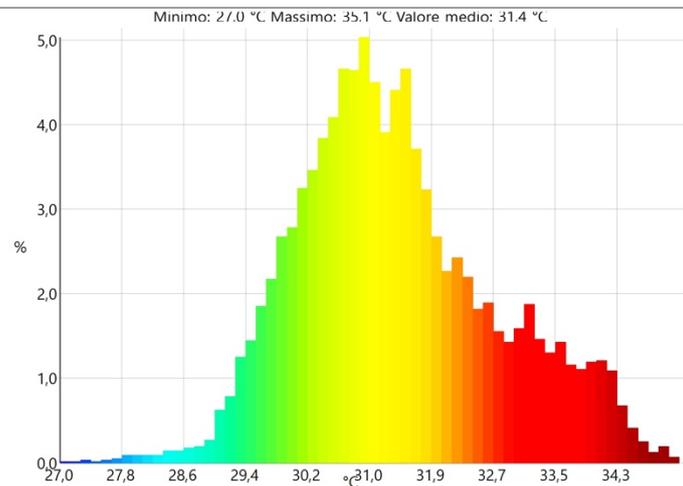


ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER
IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

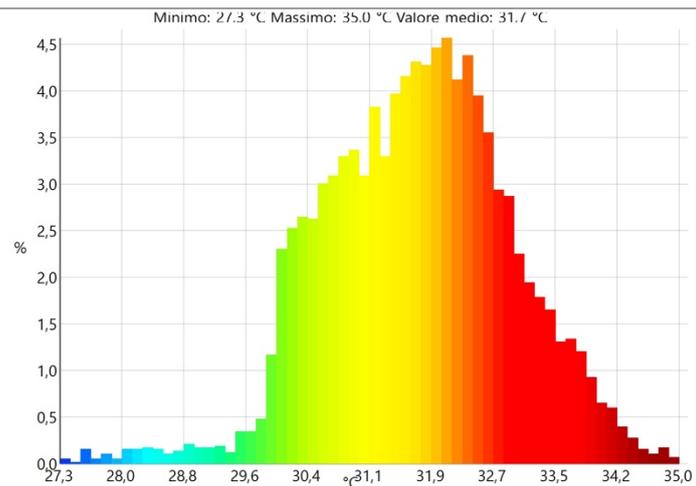
$T_{m, globale}$	31.6 °C
$T_{min, globale}$	27.5 °C
$T_{max, globale}$	35.2 °C
$T_{m, viso}$	33.4 °C
$T_{min, viso}$	29.6 °C
$T_{max, viso}$	35.2 °C



$T_{m, globale}$	31.4 °C
$T_{min, globale}$	27.0 °C
$T_{max, globale}$	35.1 °C
$T_{m, viso}$	33.3 °C
$T_{min, viso}$	29.6 °C
$T_{max, viso}$	35.1 °C

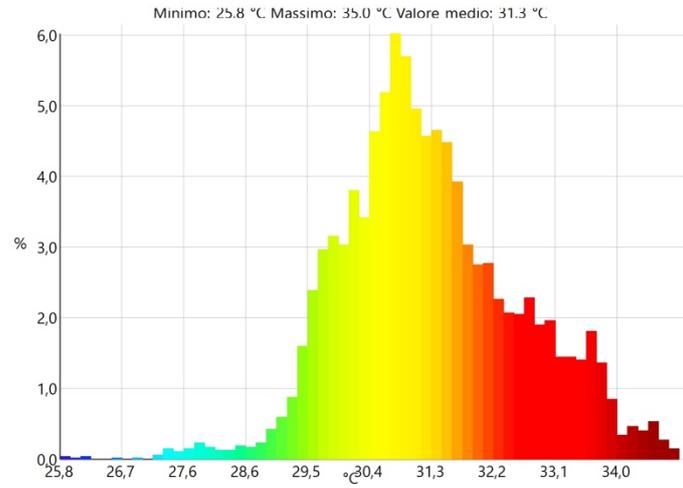


$T_{m, globale}$	31.7 °C
$T_{min, globale}$	27.3 °C
$T_{max, globale}$	35.0 °C
$T_{m, viso}$	33.5 °C
$T_{min, viso}$	31.6 °C
$T_{max, viso}$	35.0 °C



ANALISI SPERIMENTALE DI SISTEMI BLADELESS DI TERMOVENTILAZIONE PER
IL CONTROLLO LOCALE DEL MICROCLIMA

$T_{m, globale}$	31.3 °C
$T_{min, globale}$	25.8 °C
$T_{max, globale}$	35.0 °C
$T_{m, viso}$	33.6 °C
$T_{min, viso}$	27.8 °C
$T_{max, viso}$	35.0 °C



$T_{m, globale}$	31.4 °C
$T_{min, globale}$	26.9 °C
$T_{max, globale}$	35.1 °C
$T_{m, viso}$	33.3 °C
$T_{min, viso}$	28.7 °C
$T_{max, viso}$	35.1 °C

