

Bozen / Bolzano,  
04.04.2019

Protokollnummer  
Numero di protocollo

## **PROCESSO DI SELEZIONE DI UN THERMAL MANIKIN PER ATTIVITA' DI RICERCA E CONSULENZE ALLE IMPRESE: definizione del campo applicativo e dei requisiti e analisi dei possibili fornitori**

Una prima fase del processo di selezione del Thermal Manikin è stata mirata alla definizione delle caratteristiche e dei requisiti che devono essere soddisfatti dalla strumentazione oggetto dell'acquisto.

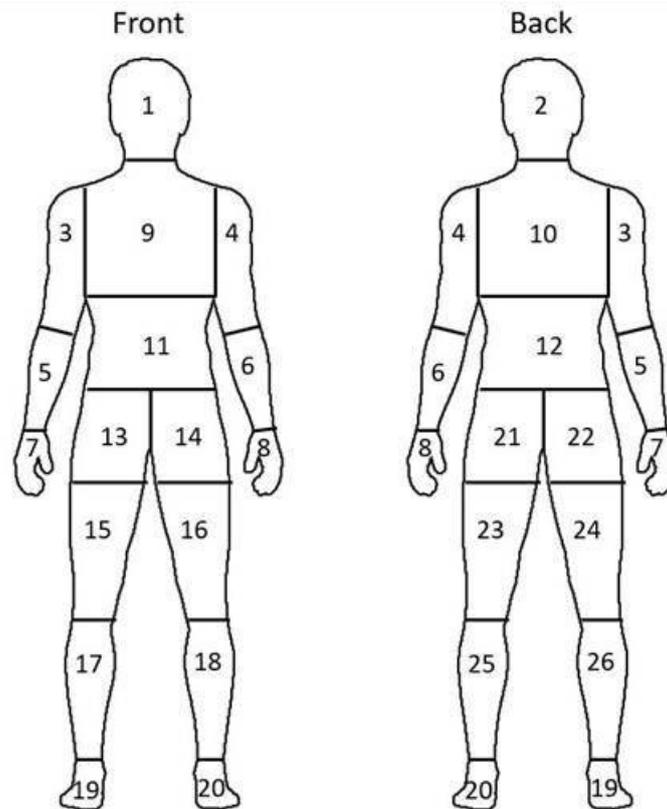
In primo luogo, **si sono definiti gli ambiti di applicazione del "Thermal Manikin"**, i.e., le attività di ricerca teorica e applicata e di consulenza alle imprese per cui la strumentazione sarà impiegata. In merito alle tematiche di ricerca, la strumentazione sarà impiegata per lo studio del comfort termico globale e del discomfort termico locale in ambienti confinati, per lo sviluppo e il miglioramento di modelli in letteratura per la simulazione del comfort termico percepito dagli occupanti – in particolare modelli multi-segment e multi-node, per il miglioramento della progettazione del controllo degli impianti di climatizzazione, per lo studio dell'impatto delle diverse sollecitazioni ambientali sul comfort percepito e per la previsione delle conseguenti reazioni degli occupanti e interazioni con il sistema edificio-impianto. Per quanto concerne la consulenza alle imprese e il trasferimento tecnologico, la strumentazione consentirà collaborazioni e supporto alla R&D aziendale nei settori degli impianti di condizionamento degli edifici, nell'ambito automotive (comfort dell'abitacolo dell'autoveicolo e relativi impianti di climatizzazione) e nel settore tessile (caratterizzazione della resistenza termica e dell'incidenza sul comfort termico di indumenti tecnici e sportivi avanzati). Unitamente a ciò, la strumentazione sarà impiegabile per diagnostica e la riprogettazione mirata al miglioramento delle condizioni ambientali in edifici pubblici in cui la qualità del comfort termico risulta particolarmente critica (e.g., ospedali, istituti sanitari).

Chiariti gli obiettivi per l'acquisizione di tale strumentazione, **si sono studiate le alternative presenti** in letteratura scientifica (riviste indicizzate WoS e Scopus, atti degli "International Thermal Manikin And Modelling Meeting"), le soluzioni già presenti in centri di ricerca e la normativa tecnica di riferimento in modo da stilare la lista di specifiche necessarie. I thermal manikin risultano essere una strumentazione complessa, presente in un numero limitato di esemplari e strutture di ricerca al mondo e customizzati secondo specifiche legate all'applicazione. A titolo esemplificativo, si citano dalla letteratura scientifica, in particolare: (1) la recente review della letteratura "Thermal manikins controlled by human thermoregulation models for energy efficiency and thermal comfort research – A review" di Psikuta *et al.*, pubblicata sul journal *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 78 (2017): 1315–1330; (2) il libro "Manikins for Textile Evaluation" pubblicato nel 2017, Rajkishore Nayak e Rajiv Padhye



(Eds), ISBN: 978-0-08-100909-3. In merito alla normativa tecnica, il principale riferimento per il test è dato dalla norma UNI EN ISO 15831:2005 "Indumenti - Effetti fisiologici - Misurazione dell'isolamento termico per mezzo di un manichino termico". Laddove possibile si sono visionati o testati alcuni thermal manikin in centri di ricerca: si citano, a tal proposito, i thermal manikin in dotazione alla UC Berkeley, CA, USA, e alla Brno University of Technology, Brno, Repubblica Ceca. Si segnala, inoltre, che il thermal manikin Thermetrics Newton in dotazione al secondo centro è stato impiegato nell'attività sperimentale lì condotta dal Dr Pavlin Boris, in precedenza dottorando del PhD Programme in Sustainable Energy and Technologies della Facoltà di Scienze e Tecnologie della Libera Università di Bolzano (Thesis: "Smart building automation technologies: thermal comfort assessment and improvements"; <https://bia.unibz.it/handle/10863/3094>). Considerata l'esperienza effettuata e tenuto conto dell'analisi della letteratura tecnico-scientifica, si è proceduto a preparare la lista di caratteristiche e funzioni riportata nella seguente tabella. Si è definito un thermal manikin in linea con lo stato dell'arte e finalizzato alle attività sopra descritte.

<b>Thermal manikin</b>	
<b>Intended Application Fields</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Occupants' thermal comfort in existing and new buildings</li> <li>- Thermal comfort and HVAC assessment in automotive</li> <li>- Characterization of clothing thermal insulation and impact on thermal comfort</li> </ul>
<b>Main Aims</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mimicking the thermo-physiological response of a human being exposed to chosen environmental conditions, providing reliable input data for advanced thermal sensation models.</li> <li>- Measuring the thermal insulation of a clothing ensemble (ref. ISO 15831), also under motion conditions. The thermal insulation will be used to determine the physiological effect of clothing on the wearer in specific climate/activity scenarios.</li> </ul>
<b>Required Manikin Characteristics</b>	<p><u>Thermal manikin:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Western adult male, shaped consisting in anatomically formed head, chest, abdomen, back, buttocks, arms, hands (with fingers to allow the use of gloves), legs and feet; <ul style="list-style-type: none"> <li>o Body high: <math>1.70 \pm 0.15</math> m;</li> <li>o Body surface: <math>1.7 \pm 0.3</math> m<sup>2</sup>;</li> <li>o Manikin's body proportion should correspond to those required for standard sizes of garments in order to avoid affecting results;</li> <li>o Weight: &lt; 40 kg (preferably);</li> <li>o Made in iron or plastic (e.g., Carbon Fiber-Epoxy).</li> </ul> </li> <li>2. With at least 26 body segments as in the Fig. 1 below, independently controlled (surface temperature and heat flow).</li> </ol>



- Each body segment of the manikin shall be equipped with an independently controlled heating systems for maintaining the same average constant temperature of  $34 \pm 0.2$  °C measured at all segments with nude body;
  - Internally heated to a constant skin surface temperature, uniform over its body;
  - Nominal maximum heat flux  $800 \text{ W/m}^2$  (for a rapid heat up);
  - Movable legs and arms; jointed at the shoulders, hips, knees, elbows and ankles.
3. Environmental operation conditions:  $-20$  to  $50$  °C,  $0$  to  $100$  % relative humidity (included condensation conditions); moisture protection and water compliant for use with wetted skin and in rain-room conditions.
  4. Sweating skin functions:
    - Sweat flowrates:  $20$ - $12000 \text{ ml/h/m}^2$ ;
    - With at least  $100$  pores distributed on the skin;
    - Removable fabric skin, with a second fabric skin included.
  5. Breathing functions.
  6. Possibility to recalibrate (if insulation value does not lie within  $\pm 4$  %) and support service for recalibration.

<p><b>Accuracy</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Measured temperature: +/- 0.1 °C;</li> <li>- Logging time: at least every 5 seconds;</li> <li>- Total accuracy on heater power measurement: 1 %.</li> </ul>
<p><b>Control system and modes</b></p>	<p><u>Control system:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Control software incorporating data logging, real time data analysis, individual zone control, diagnostic and calibration functions;</li> <li>2. Ambient sensors: temperature, air speed, relative humidity sensors integrated in the hardware/software control system;</li> <li>3. External data exchange: the manikin is able to communicate measurements and control setpoints with external software and codes, for possible further developments and non-standards controls.</li> </ol> <p><u>The Manikin shall operate with at least the following control modes:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>a) <b>Temperature control mode:</b> measurements of the heating power required for maintaining skin temperature at a fixed setpoint for the different body segments.</li> <li>b) <b>Heat flux control mode:</b> measurements of the skin temperature of the different body segments, obtained with a heating power set to a fixed value, representative of the metabolic production of the human being.</li> <li>c) <b>Comfort mode:</b> the manikin has to reproduce real human skin temperature (e.g., lower on segments exposed to cold) according to some standard and customized thermal comfort models (e.g., Madsen comfort model).</li> </ol>
<p><b>References</b></p>	<p>The manikin has to be fabricated in compliance with ISO 15831.</p>

Si sono quindi consultati i due principali operatori economici presenti sul mercato ritenuti in grado di configurare un thermal manikin secondo le specifiche sopraindicate e dotati di comprovata esperienza nell'ambito di questa strumentazione, con molteplici installazioni presso istituzioni di ricerca (i.e., PT Teknik, Espergærde, Danimarca, <http://pt-teknik.dk/thermalmanikin>; Thermetrics LLC, Seattle, USA, <http://www.thermetrics.com/>). PT Teknik è attiva dal 1988 e ha sviluppato e venduto oltre 30 thermal manikin (<http://pt-teknik.dk/references>), prevalentemente in strutture universitarie e di ricerca, tra cui UC Berkeley. Thermetrics LLC è una divisione di Measurement Technology Northwest e ha sviluppato diversi thermal manikin; si citano a titolo di esempio la strumentazione sviluppata per il NREL del Dipartimento dell'Energia degli USA (<http://www.thermetrics.com/products/adam-advanced-thermal-manikin>), la Marina Militare USA (<http://www.thermetrics.com/products/bo-thermal-heat-pipe-manikin>), la Loughborough University, UK, e, in Italia, il Centro Ricerche Inail di Monte Porzio Catone (<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02656736.2017.1316874>).

PT Teknik, vedasi scambio di mail allegato, ha indicato un tempo di 20 mesi per la consegna di un thermal maniking comprensivo della sweating function. Tale tempistica risulta incompatibile con la disponibilità del fondo e la durata del progetto "Klimahouse e Produzioni Energetiche", in scadenza il 31.12.2020.

Il rivenditore italiano di Thermetrics LLC, Mesdan SpA con sede a Puegnago Del Garda, distributore unico sul territorio italiano e dell'Europa occidentale, ha fornito una quotazione e una descrizione tecnica di un thermal manikin "Newton" soddisfacente i requisiti richiesti.

Si procede quindi alla richiesta di acquisto di un thermal manikin "Newton" conforme alla scheda tecnica allegata.

Bolzano, 04.04.19

Prof. Andrea Gasparella

Dr. Giovanni Pernigotto