

Comfort termico e termoscanning

Rioba, proposta di strumento per la rilevazione del comfort termico e della temperatura superficiale corporea

Luca Corsato, Data e Product manager, luca@lucacorsato.com

Alfonso Crisci, Ricercatore IBE Istituto per la Bioeconomia del CNR, alfonso.crisci@ibe.cnr.it

Simone Cortesi, Project manager, simone@cortesi.com

Matteo Scarpa, Backend Developer, matteo.scarpa@fundor333.com

Davide Pugliese, Backend Developer, davide.pglse@gmail.com

Abstract

Rioba è un ecosistema hardware e software integrato per costruire una rete di dispositivi connessi, a basso costo, di rilevazione del comfort termico prossimale tramite rilevamento temperature superficiali. Rioba è un'azione di solidarietà per affrontare l'emergenza COVID-19, che ha imposto una profonda revisione delle abitudini e delle informazioni di cui necessitiamo ogni giorno. La confusione sui dati di contagio ha mostrato i limiti dei sistemi di rilevazione attuali, poco integrati e frammentati. Le progressive riaperture dopo il lockdown, necessitano di un sistema automatizzato di strumenti di rilevazione delle temperature individuali e delle condizioni di comfort. Rioba propone un'architettura aperta e senza brevetti, per la gestione automatica dei dati, per facilitare le rilevazioni, ridurre gli errori, i tempi di raccolta e il lavoro manuale delle persone.

“«Scienza» a volte significa un metodo speciale di scoprire le cose; a volte significa l'insieme delle conoscenze che si originano dalle cose scoperte, ma può anche significare tutte le cose nuove che si possono fare usando la conoscenza acquisita, o il far effettivamente queste cose”

Richard Feynman, *Il senso delle cose*, 1999

Introduzione

Il progetto¹ Rioba² offre una soluzione alla necessità di dati e informazioni relative al comfort termico negli ambienti *indoor* e *outdoor* e degli individui. L'emergenza COVID-19 ha evidenziato che la carenza di dati comporta rischi e danni imponenti a livello sanitario, sociale ed economico. Senza una rete di sistemi di rilevazione automatica che scambiano dati con protocolli aperti e dispositivi a basso costo, ogni teoria e pratica rischiano di essere affidati alla “fortuna”. Si propone un sistema di rilevazione del comfort termico e di temperatura superficiale delle persone, per dare una soluzione alle tante realtà che si devono registrare le temperature delle persone negli ambienti. Rioba applica le recenti teorie/conoscenze sul comfort termico che hanno messo al centro l'osservazione dell'individuo. Ogni individuo manifesta il suo stato attraverso il proprio corpo: la sua temperatura superficiale in aree specifiche come la faccia, nonché le espressioni posturali e comportamentali sono la reazione all'ambiente in cui è presente. La rilevazione di questi indicatori è possibile attraverso strumenti a basso costo e algoritmi codificati, incardinati su due principi:

1. facile replicabilità degli strumenti di rilevazione,
2. accesso pubblico ai metodi e codici di distribuzione e gestione dei dati rilevati.

¹ Il sito del progetto è <https://riobaproject.it/>

² Il nome *Rioba* è in onore della statua *parlante* di Venezia, in Campo dei Mori, a cui era uso appendere dei foglietti con poemetti satirici, e alla tradizione che lo sfregare il naso di metallo portasse fortuna. G. Lorenzetti, Venezia e il suo estuario, Trieste, 1975, pag. 408; https://it.wikipedia.org/wiki/Antonio_Rioba

Fatti salvi questi principi, il *working paper* illustra gli elementi principali per ottenere una rete di dispositivi che rilevi lo stato di comfort termico ambientale e di un individuo e, per estensione, se il suo stato supera la soglia che può indicare un'allerta sintomatica (presunto stato febbrile). Verranno illustrati:

- benefici di Rioba;
- analisi delle attività;
- dispositivo e costi;
- architettura di gestione dati;
- elementi di comfort;
- workflow operativo;
- sviluppo.

Benefici di Rioba

Definiamo Rioba un ecosistema perché la sua diffusione forma un mosaico informativo di dati di comfort termico e temperatura individuale che altrimenti sono affidati a rilevazioni manuali e non condivise in forma anonimizzata. La scelta di distribuire il progetto Rioba con licenza aperta è un atto di solidarietà verso le tutte le realtà che devono dotarsi di strumenti di controllo, per i produttori di dispositivi a cui offriamo una soluzione a basso costo e di alto livello scientifico, agli enti amministrativi, sanitari e di ricerca che altrimenti non avrebbero accesso a tutti questi dati. L'*hardware* proposto è reperibile sul mercato di largo consumo, e software di gestione a codice aperto, definito su algoritmi di calcolo aperto e verificati scientificamente. Il sistema di distribuzione dati garantisce la massima privacy e consente un'architettura di gestione leggera e modulare con bassi costi di esercizio e sviluppo. La

duttilità dell'ecosistema consente sia l'uso per l'emergenza COVID-19 che per l'analisi di comfort in ambienti indoor che outdoor nei periodi stagionali con picchi di temperature.

Inquadramento dei bisogni

L'ecosistema Rioba risponde al bisogno di un dispositivo scientificamente valido e a basso costo, che comunichi dati di comfort sia ambientale che individuale. L'architettura di gestione dati di Rioba consente di avere una serie di sensori che comunicano e distribuiscono dati in maniera automatica e anonimizzata, rispondendo al bisogno di disporre di informazioni certe, documentate e accessibili automaticamente. Le direttive in ambito di sicurezza nei luoghi di lavoro³ e le recenti relative al contrasto dell'epidemia di COVID-19, garantiscono il benessere sia ambientale che individuale. Il datore di lavoro che tutela i propri dipendenti monitorando l'indice di comfort termico dei locali, e l'esercizio che rileva eventuali allerte sintomatiche di avventori, sono alcuni dei bisogni a cui si rivolge l'ecosistema Rioba.

L'ecosistema Rioba descrive il contesto ergonomico per generare un sistema economico a supporto e compendio delle le attività di rilevazione sanitaria svolto dal personale delle Aziende Sanitarie Locali e dalla Protezione Civile.

Analisi delle attività

Le attività sono principalmente due: rilevazione e distribuzione. All'interno di queste c'è il calcolo degli algoritmi, che poi restituiscono i risultati all'architettura di gestione dati. E' di fondamentale importanza rimarcare che l'attività di "mappatura facciale" non comporta il

³ Art. 22 L. 81/2017 *Misure per la tutela del lavoro autonomo non imprenditoriale e misure volte a favorire l'articolazione flessibile nei tempi e nei luoghi del lavoro subordinato*
<https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2017/06/13/17G00096/sg>

riconoscimento facciale, ma la mappatura dei *pixel* del volto su cui definire l'area di misurazione della temperatura superficiale.

Rilevazione

1. registrazione della temperatura ambientale
2. registrazione dell'umidità ambientale
3. rilevazione dell'unità facciale singola
4. elaborazione e calcolo
 - a. scansione termica del volto
 - b. individuazione dell'area del volto su cui eseguire il controllo termico
 - c. rilevazione della temperatura superficiale del volto
 - d. calcolo con funzioni di biometeorologia
5. invio dati

Distribuzione

1. scrittura su database di:
 - a. data e ora
 - b. localizzazione in coordinate geografiche
 - c. temperatura ambientale
 - d. umidità ambientale
 - e. numero di rilevazioni superficiali individuali sopra i 37.5°
2. invio dati ad un accesso aperto.

Finalità di Rioba

L'ecosistema di Rioba ha tre finalità: 1) aiutare le persone e le attività a rilevare i livelli di comfort e di temperatura individuale con dispositivi affidabili e a basso costo; 2) automatizzazione della gestione e della distribuzione dei dati; 3) accesso aperto ai flussi informativi anonimizzati.

Sia la rilevazione che la distribuzione sono finalizzate non alla sorveglianza bensì al monitoraggio di situazioni di allerta, come luoghi con indici di comfort troppo bassi che possono creare disagio e rischi alle persone⁴. Le indicazioni usate sia per la rilevazione che per il trattamento dati sono quelle indicate nel "Documento tecnico sulla possibile rimodulazione delle misure di contenimento del contagio da SARS-CoV-2 nei luoghi di lavoro e strategie di prevenzione" pubblicato da INAIL il 23 aprile 2020⁵.

Relazione tra comfort ambientale e individuale

Dal momento che l'accesso ad ambienti è soggetto al distanziamento e all'uso di dispositivi di protezione individuale, queste condizioni modificano la percezione di comfort. L'uso di mascherine e di guanti comporterà, soprattutto nelle stagioni calde, una modifica dello stato corporeo degli individui. Rioba associa la rilevazione ambientale con quella individuale per monitorare il benessere delle persone negli ambienti e, per estensione della rilevazione, in un contesto urbano.

⁴ Vedi nota 2

⁵ Documento tecnico sulla possibile rimodulazione delle misure di contenimento del contagio da SARS-CoV-2 nei luoghi di lavoro e strategie di prevenzione <https://www.inail.it/cs/internet/comunicazione/pubblicazioni/catalogo-generale/pubbl-rimodulazione-contenimento-covid19-sicurezza-lavoro.html>

Dispositivo e costi

Il dispositivo è costituito da:

1. Firmware di ricezione e trasmissione dati con modulo WiFi
2. Sensore di temperatura e umidità
3. termo globometro
4. termocamera

Il costo di materiale è circa 125€. Lo strumento necessita di un'alimentazione e di una connessione.

Architettura di gestione dati

L'architettura di gestione è composta da: 1) gestione; 2) calcolo; 3) distribuzione.

Gestione

La gestione comprende la ricezione del flusso dati all'interno del database, il controllo dei dati e pulizia di eventuali *outlier* (valori anomali o fuori scala). Riguardo alle immagini termiche vengono tenute per l'elaborazione solo quelle su cui si è effettuata una mappatura del volto.

Calcolo

Il database registra i dati verificati, sui quali viene svolto il calcolo da parte di algoritmi che analizzano i valori e determinano un indice di comfort termico ambientale. Vengono estratte le aree di misurazione termica dalle mappature dei volti presenti nel database, su cui si misurano le temperatura superficiali. Tutte le temperature rilevate sotto 37.5° vengono

scartate, mentre quelle superiori vengono registrate come semplice rilevazione sopra soglia senza alcuna associazione con le mappature del volto.

Distribuzione

Il database dell'ecosistema Rioba non svolge alcun tipo di archiviazione o di identificazione, quindi una volta ricevuti i risultati dei calcoli, compone un flusso dati contenente i dati ambientali con riferimento orario e di localizzazione approssimata. I valori sopra soglia di temperatura superficiale individuale vengono trasmessi come singolo valore dissociato da qualsiasi altro dato.

Anonimizzazione dei flussi informativi

Il sistema è in grado di essere utilizzato con segnalazioni in tempo reale o quasi reali di eventuali soggetti che presentino valori di temperatura facciale superiore a definite soglie e di generare delle statistiche di controllo. In questo caso i dati ambientali rilevati contengono le coordinate del luogo in cui è posto il dispositivo, e la scansione termica individuale avviene solo su base consenziente (stazionamento davanti alla termocamera per consentire la rilevazione della mappatura facciale), dal momento che il dispositivo non registra indiscriminatamente qualsiasi oggetto venga inquadrato dalla termocamera. Le mappature dei volti vengono usate solo per la rilevazione termica superficiale e non vengono archiviate. Ogni 24 ore il database produce delle statistiche giornaliere che vengono distribuite e si procede al reset del database, per impedire qualsiasi tipo di correlazione che possa associare le temperature ai volti mappati. In ogni caso il flusso dati è tracciato e gestito in osservanza delle normative di privacy e Regolamento (UE) 2016/679 (GDPR regolamento generale sulla protezione dei dati).

Elementi di comfort

L'ecosistema Rioba prende in considerazione la rilevazione e il calcolo dell'indice di comfort termico, che è il risultato dell'evoluzione della ricerca scientifica negli ultimi 40 anni. Negli ultimi anni la letteratura scientifica si è concentrata sull'opportunità offerta da dispositivi a basso costo disponibili sui mercati finali della grande distribuzione privata, per correlare comfort termico e temperatura individuale.

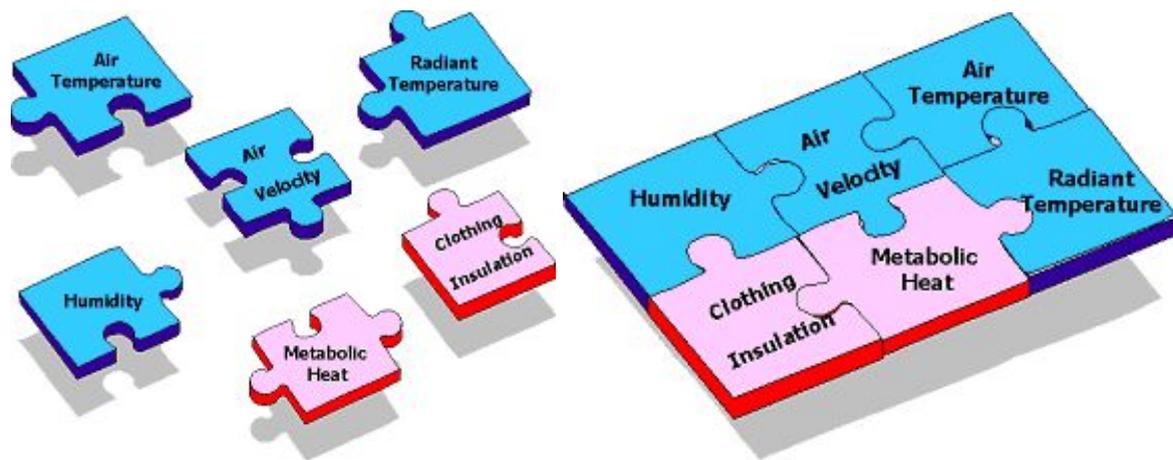
Comfort termico umano

L'uomo appartiene ai vertebrati ed è un omeotermo, cioè la sua temperatura interna tende ad essere stabile. L'uomo possiede un apparato di termoregolazione localizzato nella pelle e riesce a percepire una varietà di stimoli termici (freddo e caldo) e risponde modificando la sua irradiazione sanguigna in punti noti. Gli indumenti possono essere considerati dei dispositivi atti a limitare la dispersione termica.

I sei fattori del comfort generale

Il comfort generale, come anche quello termico, è l'insieme di relazioni tra stato mentale e percettivo di individui, clima, ambiente fisico in un contesto osservativo. Gli indici di comfort termici, modellano un giudizio previsto (sensazione termica) pesando i 6 elementi base⁶ (fig. 1): ambientali (1. temperatura aria, 2. temperatura media radiante, 3. velocità aria, 4. umidità relativa dell'aria); personali (1. livello di vestiario, 2. livello metabolico).

⁶ The six basic factors <https://www.hse.gov.uk/temperature/thermal/factors.html>



(fig. 1) I sei fattori che influenzano il comfort termico sono sia ambientali che personali. Questi fattori possono essere indipendenti l'uno dall'altro, ma insieme contribuiscono al comfort termico di un dipendente

Gli indici termici di comfort

A partire dai primi lavori degli anni '40, la ricerca ha voluto associare, al mosaico informativo dei sei fattori, un valore numerico unico, facilmente fruibile, delle condizioni in cui una persona svolge le proprie attività. L'inquadramento del valore numerico avviene attraverso un quadro metodico che individua gli indici termici per le diverse applicazioni negli studi biometeorologici sull'uomo (fig. 2)⁷. Dal framework emergono per l'ambiente outdoor i 4 principali indici che sono:

1. Universal Thermal Climate Index (UTCI),
2. Perceived Temperature (PTJ),
3. Physiologically Equivalent Temperature (PET)
4. Rational Standard Effective Temperature (SET).

⁷ Staiger, H.; Laschewski, G.; Matzarakis, A. Selection of Appropriate Thermal Indices for Applications in Human Biometeorological Studies. Atmosphere 2019, 10, 18 <https://doi.org/10.3390/atmos10010018>

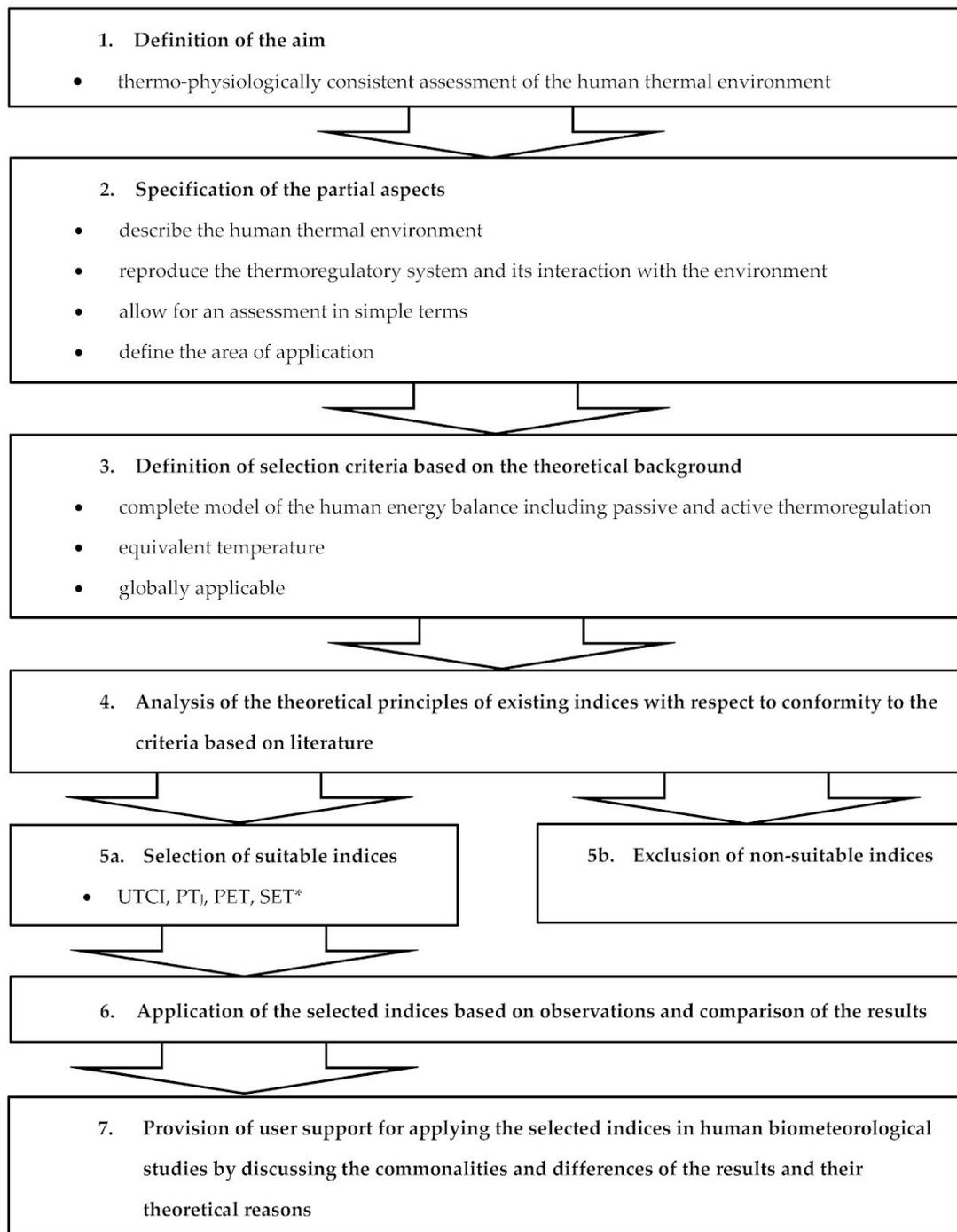
Sicurezza e riferimenti normativi

Nel campo della sicurezza del lavoro un indice empirico WBGT (Wet Bulb Globe Temperature) è nella normativa UNI EN ISO 7243:2017⁸. Per ambienti interni moderati un indice di riferimento è il Predicted Mean Vote (PMV) che si riferisce all'Ergonomia degli ambienti termici nella norma UNI EN ISO 7730:2006⁹. Oggi lo sviluppo delle tecniche di rilevamento non invasivo, basato su termografia, si è consolidato e modella il comfort generale in base alla temperatura della pelle¹⁰.

⁸ Ergonomia degli ambienti termici - Valutazione dello stress da calore utilizzando l'indice WBGT (temperatura globo del bulbo bagnato) <http://store.uni.com/catalogo/uni-en-iso-7243-2017>

⁹ Ergonomia degli ambienti termici - Determinazione analitica e interpretazione del benessere termico mediante il calcolo degli indici PMV e PPD e dei criteri di benessere termico locale <http://store.uni.com/catalogo/uni-en-iso-7730-2006>

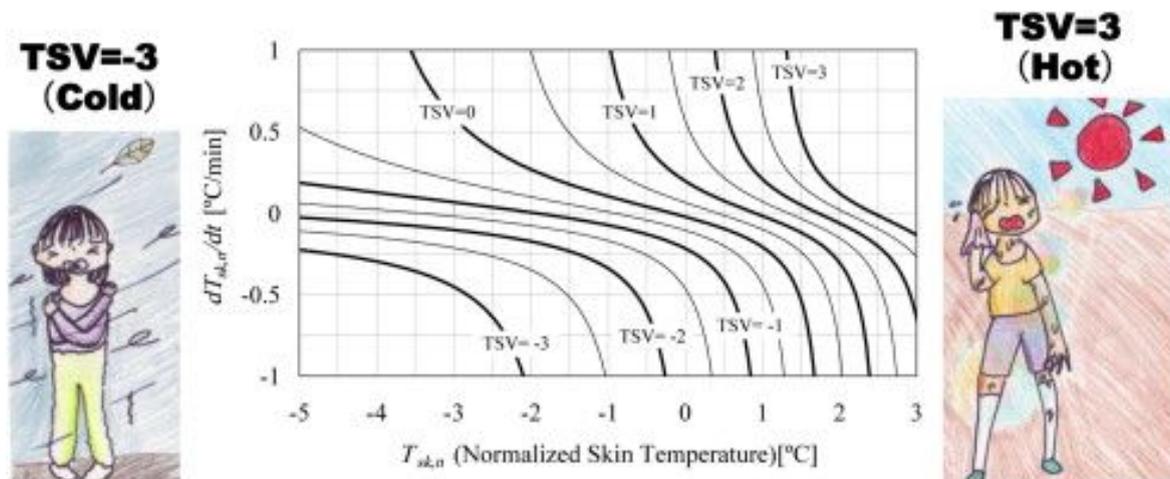
¹⁰ Satoru Takada, Sho Matsumoto, Takayuki Matsushita, *Prediction of whole-body thermal sensation in the non-steady state based on skin temperature*, Building and Environment, Volume 68, 2013, Pages 123-133, ISSN 0360-1323, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.06.004>



(fig. 2) Quadro metodico per selezionare gli indici termici per le diverse applicazioni negli studi biometeorologici sull'uomo

Temperatura superficiale facciale

La temperatura superficiale facciale è lo stato dell'arte della ricerca dal momento che sul mercato sono disponibili a basso costo delle telecamere termiche che effettuano una immagine termica (*thermal imaging*). L'elaborazione fisiologica e affettiva basata sull'immagine termica, attraverso il *face mapping*, consente di monitorare le funzioni corporee e comprendere i bisogni senza contatto (fig. 3), classificando il TSV (Thermal Sensation Vote), che viene poi confrontato con il TCV (Thermal Comfort Vote)¹¹ (fig. 4)



(fig. 3) Classificazione TSV (*thermal sensation vote*) nella variazione di temperatura nel tempo

¹¹ Zhou, Xiang & Ouyang, Qin & Zhu, Yingxin & Feng, Chuning & Zhang, Xu. (2015). Experimental Study of the Influence of Anticipated Control on Human Thermal Sensation and Thermal Comfort.. DOI 10.1111/ina.12067

TSV Scale	Definition	TCV Scale	Definition
+3	Hot	0	Comfortable
+2	Warm	-1	Slightly uncomfortable
+1	Slightly warm	-2	Uncomfortable
0	Neutral	-3	Very uncomfortable
-1	Slightly cool		
-2	Cool		
-3	Cold		

(fig. 4) Corrispondenza tra TSV (Thermal Sensation Vote) e TCV (Thermal Comfort Vote)

Workflow operativo di Rioba

Il workflow assimilato nell'ecosistema Rioba per "comfort status detection" è quello descritto da Da Li, Menassa e Kamat in "Non-intrusive interpretation of human thermal comfort through analysis of facial infrared thermography"¹² (fig. 5).

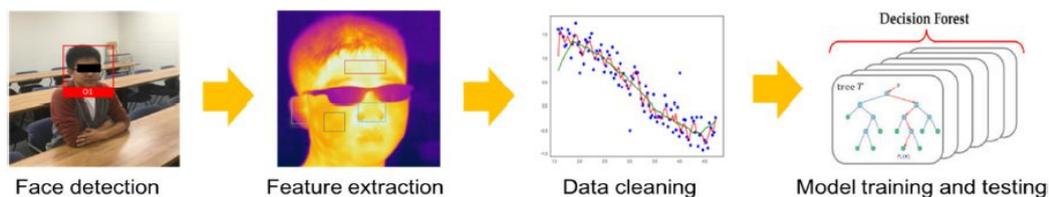
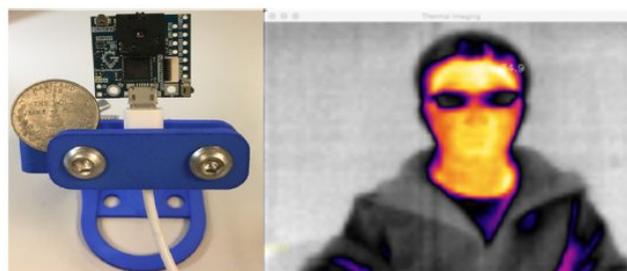


Fig 1. Overview of the non-intrusive thermal comfort interpretation framework.



¹² Da Li, Carol C. Menassa, Vineet R. Kamat, *Non-intrusive interpretation of human thermal comfort through analysis of facial infrared thermography*, in Energy and Buildings, Volume 176, 2018, Pages 246-261, ISSN 0378-7788, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.07.025>

(fig. 5) *Fasi di rilevazione per il comfort status detection*

Nello schema è importante sottolineare che la prima attività è una rilevazione facciale, il cui unico scopo è quello di definire l'area di osservazione e non un riconoscimento dell'identità. Nella fase successiva vengono estratte le aree del volto su cui rilevare la temperatura superficiale, mentre nelle fasi 3 e 4 vengono attivati la pulizia dei dati e la loro rielaborazione con i modelli di calcolo.

Sviluppo

La presentazione del presente working paper servirà a raccogliere degli eventuali interessi da parte di produttori per realizzare dei prototipi da mettere successivamente in produzione. Nel frattempo si procederà alla messa in pacchetto degli algoritmi e dell'architettura di gestione, che saranno distribuiti con licenza aperta dal sito di progetto riobaproject.it (<https://riobaproject.it>).

Bibliografia scientifica

- Da Li, Carol C. Menassa, Vineet R. Kamat, *Non-intrusive interpretation of human thermal comfort through analysis of facial infrared thermography*, in Energy and Buildings, Volume 176, 2018, Pages 246-261, ISSN 0378-7788, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.07.025>
- Zhou, Xiang & Ouyang, Qin & Zhu, Yingxin & Feng, Chuning & Zhang, Xu. (2015). *Experimental Study of the Influence of Anticipated Control on Human Thermal Sensation and Thermal Comfort*. DOI 10.1111/ina.12067
- Staiger, H.; Laschewski, G.; Matzarakis, A. Selection of Appropriate Thermal Indices for Applications in Human Biometeorological Studies. Atmosphere 2019, 10, 18 <https://doi.org/10.33>
- Satoru Takada, Sho Matsumoto, Takayuki Matsushita, Prediction of whole-body thermal sensation in the non-steady state based on skin temperature, Building and Environment,

L. Corsato, A. Crisci, S. Cortesi, M. Scarpa, D. Pugliese, "Comfort e termoscanning. Rioba, proposta di strumento per la rilevazione del comfort e della temperatura superficiale corporea"
DOI 10.5281/zenodo.3813156 // <https://riobaproject.it>

Volume 68, 2013, Pages 123-133, ISSN 0360-1323,

<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.06.004>

- Youngjun Cho, Nadia Bianchi-Berthouze *Physiological and Affective Computing through Thermal Imaging: A Survey*, 2016 <https://arxiv.org/abs/1908.10307v1>

- Ali Ghahramani, Guillermo Castro, Burcin Becerik-Gerber, Xinran Yu, *Infrared thermography of human face for monitoring thermoregulation performance and estimating personal thermal comfort*, Building and Environment, Volume 109, 2016, Pages 1-11, ISSN 0360-1323, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.09.005>

- Ali Ghahramani, Guillermo Castro, Simin Ahmadi Karvigh, Burcin Becerik-Gerber, *Towards unsupervised learning of thermal comfort using infrared thermography*, Applied Energy, Volume 211, 2018, Pages 41-49, ISSN 0306-2619, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.11.021>

Bibliografia generale

L. Corsato, A. Crisci, S. Cortesi, M. Scarpa, D. Pugliese, "Comfort e termoscanning. Rioba, proposta di strumento per la rilevazione del comfort e della temperatura superficiale corporea"

DOI 10.5281/zenodo.3813156 // <https://riobaproject.it/>

- Chesbrough H., *Open - modelli di business per l'innovazione*, 2ª ed., EGEA, Milano, 2013
- Corsato L., Raimondi A., Cataldi L., Cortesi S., Biancalana A.. (2019, May 27). *Ready for commons - L'arte della gestione e distribuzione dei dati* (Version 1.1). Zenodo.
<http://doi.org/10.5281/zenodo.3232983>, 2019
- Corsato L., Raimondi A., Cortesi S., *Il modello Ready for commons nella pratica della ricerca*. Zenodo. <http://doi.org/10.5281/zenodo.1544011>, 2019
- Corsato L., Raimondi A., Cortesi S., *La distribuzione dei dati è una negoziazione*. Zenodo.
<http://doi.org/10.5281/zenodo.1487945> , 2017
- Deleuze G, *Che cos'è un dispositivo*, 1ª ed., Edizioni Cronopio, Napoli, 2007
- Dumbill E., *Planning for Big Data*, 1ª ed., O' Reilly Media, Sebastopol, 2012
- Foerster von H., *Sistemi che osservano*, 1ª ed., Astrolabio, Roma, 1987
- Guercio M., *Archivistica informatica*, 2ª ed., Carocci Editore, Roma , 2010
- Hess C., Ostrom E. (a cura di), *La conoscenza come bene comune*, 1ª ed., Pearson Paravia Bruno Mondadori, Milano, 2009
- Kuhn T., *La struttura delle rivoluzioni scientifiche*, 5ª ed., Einaudi, Torino, 2009
- Lindsay P. H. e Norman D. A., *L'uomo - elaboratore di informazioni*, 1ª ed., Giunti Barbèra, Firenze, 1983
- Maeda J., *Le leggi della semplicità*, 1ª ed., Bruno Mondadori, Milano, 2006
- Morin E., *La conoscenza della conoscenza (il metodo 3)*, 1ª ed., Milano, Raffaello Cortina Editore, 2007
- Ostrom E., *Governare i beni collettivi*, 1ª ed., Marsilio, Venezia, 2006
- Popper K. R., Antiseri D. (a cura di), *Logica della ricerca aperta*, 1ª ed., Editrice La Scuola, Brescia, 2013
- Shirky C., *Surplu cognitivo*, 1ª ed., Codice edizioni, Torino, 2010
- Thaler R. H., *Misbehaving- la nascita dell'economia comportamentale*, 1ª ed., Einaudi, Torino, 2018