

VALUTAZIONE DELLA TEMPERATURA CORPOREA CON TERMOCAMERE DURANTE LA PANDEMIA DA NUOVO CORONAVIRUS SARS-COV2: PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO E INDICAZIONI D'USO

2020

Nell'ambito della emergenza Covid-19, la misurazione della temperatura corporea rappresenta uno degli strumenti di prevenzione per limitare la diffusione dell'infezione consentendo di individuare i pazienti ai primi segni di esordio dell'infezione. Tale strumento può essere associato – senza sostituirle – alle altre misure specifiche di prevenzione (distanziamento fisico, rigorosa igiene delle mani e degli ambienti, "etichetta respiratoria" e uso delle protezioni delle vie respiratorie). Inoltre, in linea con le previsioni contenute nel *Protocollo condiviso di regolamentazione delle misure per il contrasto e il contenimento della diffusione del virus Covid-19*

negli ambienti di lavoro, sottoscritto da Governo e parti sociali il 24 aprile 2020, il controllo della temperatura può essere svolto all'ingresso dei luoghi di lavoro come misura accessoria per tutelare la salute e la sicurezza dei lavoratori dal possibile contagio e garantire la salubrità dell'ambiente di lavoro. In continuità con il precedente factsheet sulla *Valutazione della temperatura corporea con termometri IR*, il presente documento si propone di analizzare le indicazioni d'uso e gli accorgimenti da adottare nella misurazione della temperatura con termocamere.

LE TERMOCAMERE: COSA SONO E A COSA SERVONO

La termocamera è un particolare tipo di telecamera sensibile alla radiazione infrarossa (IR) irradiata da tutti i corpi con temperatura superiore allo zero assoluto. Le caratteristiche della radiazione emessa sono funzione della temperatura del materiale: più un oggetto è caldo, maggiore sarà la radiazione termica irradiata. Le termocamere sono in grado di effettuare una mappatura della distribuzione di energia infrarossa emessa dal corpo, costruendo un'immagine che utilizza una scala di colori convenzionale. Sono utilizzate in molte applicazioni mediche, per la diagnosi di patologie che comportano un aumento della temperatura superficiale, come malattie della pelle e reumatologiche, imaging tumorali, monitoraggio ischemico e vascolare, ecc. Durante le epidemie da ceppi influenzali gravi come l'H1N1 e la SARS, sono state utilizzate in aree ad alta affluenza quali aeroporti, stazioni o porti, al fine di identificare soggetti con temperatura maggiore di 37,5 °C, potenzialmente portatori di infezioni in atto. Anche durante l'attuale pandemia da Sars-Cov-2, sono utilizzate sia nelle aree ad alta movimentazione di persone sia per limitare l'accesso ai luoghi pubblici e privati.



COME FUNZIONANO

Le termocamere per la misura della temperatura corporea forniscono la mappa termica del volto dell'individuo inquadrato, così come una normale fotocamera fornisce la sua immagine visibile. Mentre quest'ultima è una rappresentazione della luce riflessa dal soggetto e percepita dall'occhio umano, nell'immagine termografica la sorgente di radiazione è l'individuo stesso. La radiazione infrarossa, emessa dal volto, viene fatta convergere dai componenti ottici (lenti) verso un opportuno apparato di rilevazione formato da una matrice di sensori, ciascuno dei quali si attiva sulla base dell'energia infrarossa che lo colpisce. Le informazioni così raccolte sono elaborate per generare un'immagine digitale. Questa, composta da un certo numero di pixel, è a gradazioni di grigio, in cui il livello di luminosità è funzione dell'energia rilevata da ciascun sensore. Per renderla meglio interpretabile, si crea digitalmente una mappa di falsi colori assegnando, in genere, il rosso alle parti più calde ed il blu a quelle più fredde, ottenendo così una mappa termica o termogramma. Contemporaneamente alla rilevazione della radiazione proveniente dal volto, si rileva anche quella proveniente da una sorgente di riferimento a temperatura nota (corpo nero), in modo da ottenere il corretto valore di temperatura da assegnare alle diverse porzioni del viso.

TERMOCAMERA E TERMOMETRO IR: DIFFERENZE

Entrambi possono misurare le temperature superficiali senza contatto. Mentre con un termometro IR è possibile misurare la temperatura di una ristretta area da distanze ravvicinate (nell'ordine dei cm), con le termocamere, invece, è possibile misurare le temperature di un'area più estesa da distanze maggiori, fornendo delle mappe grafiche di temperatura delle superfici inquadrature, ottenibili con svariate misurazioni puntuali con i termometri IR.

FATTORI CHE POSSONO COMUNEMENTE INFLUENZARE LA MISURAZIONE DI TEMPERATURA CON TERMOCAMERA

I fattori che possono influenzarla sono diversi. Tra questi: A) Agenti esterni (freddo/caldo), uso di cosmetici, tatuaggi, ecc., che possono alterare la misura della temperatura della pelle. B) Particolari indumenti (cappelli, bandane, ecc.) o dispositivi (occhiali) che possono schermare la radiazione infrarossa emessa dall'individuo. C) Presenza di metalli, specchi, superfici riflettenti, ecc., che possono riflettere le radiazioni termiche provenienti da sorgenti esterne alla persona. D) Movimenti d'aria, esposizione diretta ai raggi solari, a radiazioni termiche (ad es. radiatori o stufe) e a sorgenti luminose particolarmente intense (ad es. lampade incandescenti o alogene), dirette sul sensore termico, che possono creare artefatti sull'immagine termografica, interferendo sulla rilevazione della temperatura. E) Riflessioni della luce solare o irraggiamento diretto del sole, che a causa della saturazione del sensore a infrarossi, determinano un'immagine poco leggibile e non utilizzabile.

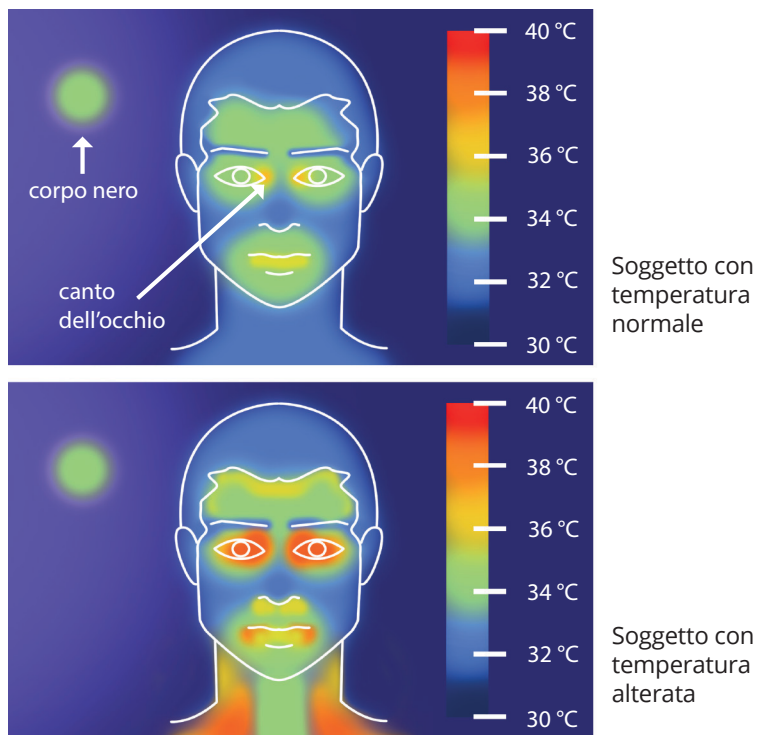
USO DELLA TERMOGRAFIA PER LA STIMA DELLA TEMPERATURA DEL NUCLEO CORPOREO

La temperatura interna di un essere umano dovrebbe essere di circa 37 °C, ma la termocamera misura la temperatura della pelle dell'individuo che ha, generalmente, valori inferiori, essendo influenzata da fattori esterni.

Diversi studi suggeriscono che la temperatura del canto interno dell'occhio, in corrispondenza del dotto lacrimale, misurata con termografia a infrarossi, possa essere rappresentativa della temperatura interna dell'individuo.

Ciò è dovuto al fatto che la pelle del canthus è sottile (minore effetto isolante), meno esposta ai fattori ambientali ed è direttamente soprastante le arterie principali, pertanto, è caratterizzata da un flusso sanguigno maggiore che aumenta lo scambio di calore.

La termografia facciale di aree superficiali diverse dalla regione medialmente adiacente al canthus interno dell'occhio può essere complicata dalla sudorazione, dagli arrossamenti della pelle causati da affaticamento, ecc.



LE TIPOLOGIE DI TERMOCAMERA

I dispositivi termografici si possono raggruppare in quattro tipologie:

1) Termoscanner portatili: sono dispositivi molto simili ai termometri IR ma normalmente dotati di un display che visualizza l'immagine termica di ciò che si sta inquadrando. Necessitano, come nel caso dei termometri IR, di un operatore che li possa manovrare, orientandoli in modo opportuno sul soggetto da esaminare. Sono relativamente facili da utilizzare, non richiedendo una configurazione approfondita.

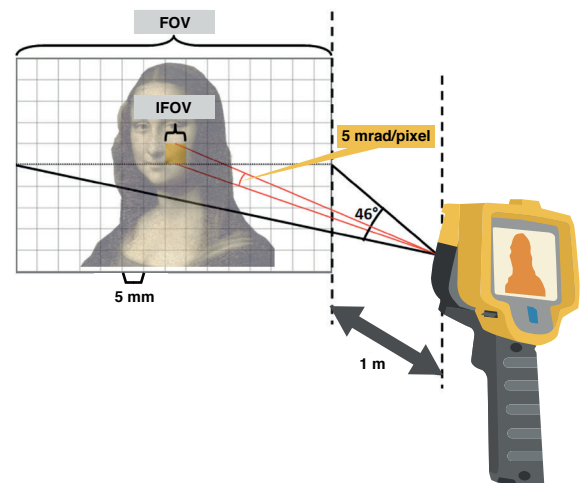
2) Termoscanner a "totem": sono i più semplici sistemi di rilevamento termografico non portatili, normalmente "single-target", a cui occorre accostarsi per permettere la misurazione. Tali dispositivi, se dotati di opportuni software di elaborazione delle immagini, possono combinare la tecnologia di scansione della temperatura con quella di riconoscimento facciale, oltre a poter essere impostati per effettuare in automatico la verifica di presenza del dispositivo di protezione individuale sul viso.

3) Termoscanner con "gate" di scansione della temperatura in zone di mobilità pedonale: sono sistemi dotati di un varco di accesso, all'attraversamento del quale una termocamera opportunamente orientata effettua il rilevamento della temperatura. Tali dispositivi, normalmente di tipo multifunzionale, possono combinare la misura della temperatura corporea con altri sistemi di controllo (ad esempio rilevatore di metalli) e sono particolarmente adatti in aree a traffico pedonale consistente ma regolare.

4) Termoscanner a telecamera: sono sistemi di screening termografico adatti per aree ad alto traffico pedonale (quali aeroporti, stazioni, centri commerciali, ecc.). Il dispositivo consente l'inquadramento contemporaneo di più soggetti, con zona di rilevamento che copre aree ampie e relativamente lontane.

RISOLUZIONE DELL'IMMAGINE TERMOGRAFICA

Caratteristiche tecniche delle termocamere sono il campo visivo globale, indicato con il termine FOV (Field of View), espresso in gradi o, in termini di angolo solido, in milliradiani (mrad), e la risoluzione geometrica del sensore, ossia la dimensione della matrice di pixel che lo costituiscono. Conoscendo questi due parametri, è possibile determinare la risoluzione dell'immagine termografica e, dunque, l'accuratezza nella rilevazione della temperatura, definita dall'IFOV (Instantaneous Field of View), espresso in mrad/pixel, che rappresenta l'area di visione del singolo pixel. Più piccolo è il valore dell'IFOV, più accurata sarà la risoluzione dell'immagine termografica acquisita. Ad esempio, con un sensore di 160 x 120 pixel ed un FOV di 46° x 34° ossia circa 800 mrad x 600 mrad, si avrà IFOV di 5 mrad/pixel. Ciò significa che, alla distanza di 1 m dal corpo inquadrato, ogni singolo pixel rileverà il segnale termico emesso da un'area di 5 mm². Aumentando la distanza del sensore dall'oggetto inquadrato, aumenterà l'area del campo di vista globale (l'area aumenta proporzionalmente al quadrato della distanza) e, nello stesso tempo, diminuirà la risoluzione poiché ciascun pixel catturerà l'energia infrarossa emessa da un'area più grande. Le norme tecniche suggeriscono di utilizzare apparati termografici dotati di un sensore di almeno 320 x 240 pixel.



ACCURATEZZA DELLA MISURAZIONE FORNITA DALLE TERMOCAMERE

Molti fattori possono influenzare l'accuratezza di una termocamera, tra questi la messa a fuoco, la distanza, l'ambiente in cui si svolge la misura e la stabilità della strumentazione utilizzata (drift termico del sensore). Nel caso di misure effettuate su singoli individui, l'errore dei dati ottenuti con le termocamere è quasi sempre attorno a $\pm 0,5$ °C. Questo dato può essere migliorato utilizzando una sorgente di calibrazione con una temperatura di riferimento fissata (corpo nero), che permette di incrementare l'accuratezza della misura fino a $\pm 0,3$ °C. Poiché le sorgenti a corpo nero mantengono una temperatura costante ed hanno una emissività nota, possono essere efficacemente impiegate per aumentare le performance delle termocamere meno stabili.

Nel caso in cui i sistemi termografici siano utilizzati per screening di massa, lo scopo è differenziare i soggetti con temperatura più alta all'interno dell'area inquadrata per rilevarne automaticamente il punto più caldo. I risultati della misura di temperatura sono, pertanto, meno accurati, a causa dell'impossibilità, in questa modalità d'uso, di adottare tutti gli accorgimenti tecnico-procedurali previsti dalle norme di riferimento.

DISTANZA DI POSIZIONAMENTO DELLA TERMOCAMERA PER UNA CORRETTA RILEVAZIONE

Nel caso di dispositivi con messa a fuoco fissa, è possibile rilevare la temperatura ad una distanza che dipende dall'ottica dello strumento. Per ottenere misure dettagliate della temperatura occorre porsi ad una distanza tale che il viso del soggetto riempi circa per il 60 % il campo visivo della termocamera, rispettando, comunque, la distanza minima di messa a fuoco. Se la termocamera possiede una messa a fuoco manuale, si possono misurare le temperature di soggetti posti sia ad una distanza di pochi decimetri dal dispositivo, che ottenere risultati accurati anche a distanze di alcuni metri. In caso di utilizzo di una sorgente di temperatura esterna di riferimento (corpo nero) occorre verificare che sia il viso del soggetto esaminato che la sorgente siano compresi nel campo visivo.

UTILIZZO DEI SISTEMI DI IMAGING TERMICO NELLA PREVENZIONE DEL CONTAGIO DA COVID-19

L'alterazione della temperatura corporea è un sintomo comune a numerose patologie e condizioni: assunzione di farmaci, ad esempio il cortisone, e terapie ormonali, gravidanza e ciclo mestruale, consumo di alcool o bevande calde, sforzi fisici effettuati prima dello screening. Inoltre tale alterazione non è sistematicamente presente nei soggetti affetti da COVID-19. Bisogna poi considerare l'eventualità che il sistema di imaging termico possa fornire letture false positive o false negative in tutti quei casi in cui l'emissione di radiazione infrarossa dell'individuo è schermata e/o alterata. Tuttavia, al netto di queste considerazioni, esso rappresenta comunque uno strumento valido ed efficace per individuare, anche in situazioni di assembramento, soggetti potenzialmente infetti in quanto termicamente alterati.

SISTEMI DI IMAGING TERMICO COME DISPOSITIVI MEDICI

Sono considerati dispositivi medici tutti quelli che posseggono i requisiti stabiliti dal regolamento sui Dispositivi Medici (UE) 2017/745. Tali dispositivi devono recare la marcatura CE che ne consente la libera circolazione nell'Unione Europea e la messa in servizio conformemente alla loro destinazione d'uso. Ai sensi del suddetto regolamento, i sistemi di imaging termico, per essere considerati dispositivi medici per la valutazione della temperatura corporea devono essere classificati in categoria II A.

LE NORME TECNICHE CHE DEFINISCONO I REQUISITI ESSENZIALI DI PRESTAZIONE

La Commissione Elettrotecnica Internazionale (IEC) ha fornito indicazioni per individuare i sistemi termografici idonei alla rilevazione della temperatura umana. Nella norma CEI EN IEC 80601-2-59:2020 *Medical electrical equipment - Part 2-59: Particular requirements for the basic safety and essential performance of screening thermographs for human febrile temperature screening*, sono specificate le prescrizioni relative alla sicurezza fondamentale ed alle prestazioni essenziali dei termografi destinati alla verifica individuale, non invasiva, della temperatura febbrile di esseri umani in condizioni ambientali controllate.

La norma fissa i limiti di prova per la caratterizzazione dei termografi di screening in termini di classificazione, stabilità e accuratezza e, inoltre, stabilisce gli obblighi del produttore del dispositivo in materia di documentazione di accompagnamento (ad es. intervallo di calibrazione). Le indicazioni contenute nella precedente norma sono state recepite dall'Organismo Internazionale di Standardizzazione (ISO), nel rapporto tecnico ISO/TR 13154:2017 *Medical electrical equipment — Deployment, implementation and operational guidelines for identifying febrile humans using a screening thermograph*. Tale documento riporta le linee guida operative per l'implementazione della citata norma CEI, con le indicazioni per l'utilizzo dei sistemi di imaging termico per l'identificazione di individui in stato febbrile e, dunque, potenzialmente infetti, in ingresso a: ospedali e cliniche, luoghi di lavoro, scuole, uffici pubblici, stazioni, aeroporti ed altre infrastrutture critiche. Nel rapporto si evidenzia, inoltre, che l'errata selezione e l'uso inappropriato dei dispositivi termografici (ad es. carenti in calibrazione) potrebbe vanificare l'azione di controllo.



INDICAZIONI OPERATIVE PER LA MISURAZIONE DELLA TEMPERATURA CORPOREA MEDIANTE TERMOCAMERA

Minimizzazione delle fonti di errore legate all'ambiente:

- ▶ La temperatura dell'ambiente dove si svolge la misura dovrebbe essere compresa tra 18-24 °C e l'umidità relativa inferiore al 50%.
- ▶ Controllare i fattori che potrebbero influire sulla misurazione della temperatura, e in particolare:
 - Evitare sfondi riflettenti (ad es. vetri, specchi, superfici metalliche) per ridurre al minimo la radiazione infrarossa riflessa.
 - Utilizzare il dispositivo in una stanza senza correnti d'aria, lontano dalla luce solare diretta e da calore radiante (ad es. stufe portatili, radiatori e pompe di calore, ecc.).
 - Evitare una forte illuminazione (ad es. lampade a incandescenza ed alogene).

Minimizzazione delle fonti di errore legate alla strumentazione e alla metodica:

- ▶ Assicurarsi che l'operatore addetto sia correttamente formato all'utilizzo di apparati termografici per lo screening della temperatura umana.
- ▶ Assicurarsi di utilizzare un apparato termografico che rispetti gli standard di qualità del prodotto.
- ▶ Eseguire periodiche calibrazioni secondo la tempistica suggerita dal produttore.
- ▶ Controllare le istruzioni del produttore per determinare se sia necessario l'utilizzo di un corpo nero calibrato come sorgente di riferimento per migliorare l'accuratezza dei risultati. In tal caso la sorgente di riferimento ed il volto dell'individuo devono essere entrambi presenti nel campo visivo della termocamera.
- ▶ Mettere in funzione il dispositivo 30 minuti prima dell'uso per ottenere la condizione di equilibrio termico con l'ambiente di misura. Nel caso in cui la raccomandazione non possa essere soddisfatta (ad es. per dispositivi dotati di spegnimento automatico), è consigliabile comunque far permanere lo strumento per un pari periodo nell'ambiente di misura.

Minimizzazione delle fonti di errore legate alla persona:

- ▶ Verificare che l'uso di particolari indumenti (cappelli, scarpe, bandane, ecc.), dispositivi (occhiali) e cosmetici non alteri la misurazione della temperatura rilevata.
- ▶ Controllare che il soggetto si sia acclimatato alla temperatura dell'ambiente prima che venga eseguita la misura.

Utilizzo del sistema di imaging termico per l'accesso ai luoghi di lavoro:

- ▶ Effettuare la misurazione della temperatura per singoli individui.
- ▶ Posizionare la persona di fronte alla termocamera a una distanza tale da rispettare la messa a fuoco del dispositivo, in accordo con le istruzioni del produttore.
- ▶ Includere l'intero viso della persona nel campo visivo del dispositivo, orientando la termocamera in modo che sia perpendicolare al volto dell'individuo sottoposto a screening.
- ▶ Nel caso di utilizzo di una sorgente esterna di riferimento della temperatura, verificare che sia il corpo nero che il viso della persona rientrino nel campo visivo della termocamera in modo che siano entrambi alla distanza focale ottimale e che, durante la misura, la sorgente stessa risulti sempre visibile nell'inquadratura.
- ▶ Se si osserva una temperatura alterata, il soggetto deve essere preso in carico dal personale preposto per gli approfondimenti opportuni.

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

CEI EN IEC 80601-2-59:2020 Medical electrical equipment - Part 2-59:

Particular requirements for the basic safety and essential performance of screening thermographs for human febrile temperature screening.

Censi F. et al. (2020). Indicazioni relative alla scelta e alla gestione dei termoscanner per il controllo della temperatura corporea. *Not Ist. Super. Sanità*, 33(10), 3-6

Ghassemi P. et al. (2018). Best practices for standardized performance testing of infrared thermographs intended for fever screening. *PLOS ONE* 13(9). DOI:10.1371/journal.pone.0203302.

ISO TR 13154:2017 Medical electrical equipment - Deployment, implementation and operational guidelines for identifying febrile humans using a screening thermograph.

Mercer J.B. et al. (2009). Fever screening and infrared thermal imaging: concerns and guidelines. *Thermology international*, 19(3), 67-69.

Ming-Fu C. et al. (2008). Mass Screening of Suspected Febrile Patients with Remote-sensing Infrared Thermography: Alarm Temperature and Optimal Distance. *J Formos Med Assoc*, 17(12), 937-944.

Nguyen V. et al (2010) Comparison of 3 Infrared Thermal Detection Systems and Self-Report for Mass Fever Screening. *Emerging Infectious Diseases* www.cdc.gov/eid Vol. 16, No. 11.

Ring F.J. et al.(2012) Infrared thermal imaging standards for human fever detection. In: Diakides M, Bronzino JD, Peterson DR, editors. *Medical infrared imaging: principles and practices*: CRC press; p. 22-1 --5.

Zhou Y. et al (2020). Clinical evaluation of fever-screening thermography: impact of consensus guidelines and facial measurement location. *J. Of Biomedical Optics*, 25(9), 097002-1-17. DOI:10.1117/1.JBO.25.9.097002.

<https://www.fda.gov/medical-devices/general-hospital-devices-and-supplies/thermal-imaging-systems-infrared-thermographic-systems-thermal-imaging-cameras>

AUTORI

Claudia Giliberti¹, Raffaele Mariconte¹, Renata Sisto², Marta Petyx², Diana Gagliardi², Maria Patrizia Orlando³, Maurizio Diano⁴

¹INAIL DIT, ²INAIL DIMEILA, ³Dipartimento Organi di Senso, Sapienza Università di Roma, ⁴INAIL Direzione Regionale Calabria U.O.T. Catanzaro