



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

Scuola di Scienze della Salute Umana
Corsi di Laurea Triennale (DM 270/04)
in TECNICHE ORTOPEDICHE



Meccanica Sperimentale

(Trasduttori di temperatura)

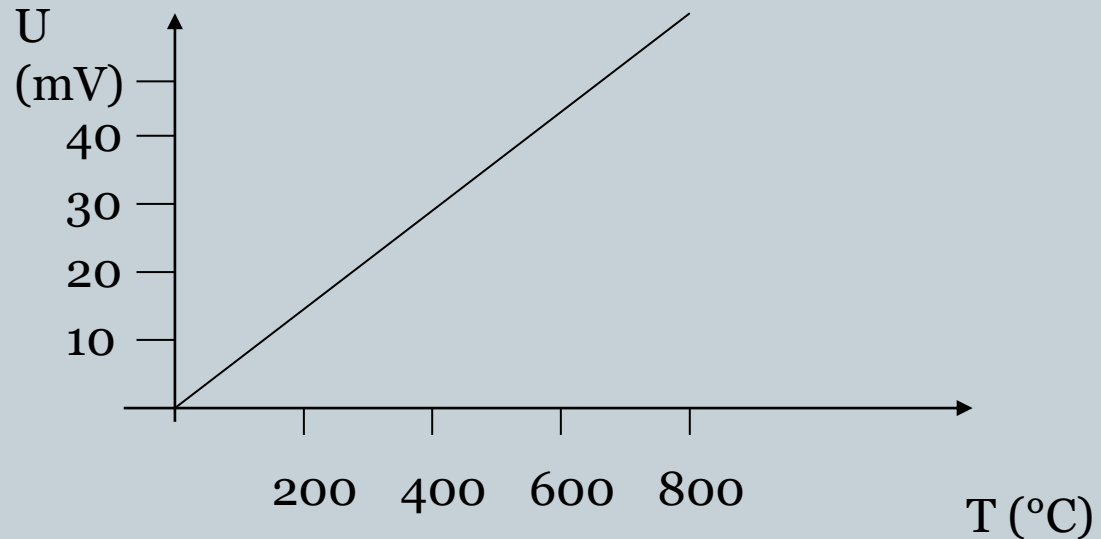
Dott. Ing. Sara Matteoli

Trasduttori

2

- I trasduttori hanno il compito di **convertire** una grandezza fisica in una grandezza elettrica ad essa *proporzionale*

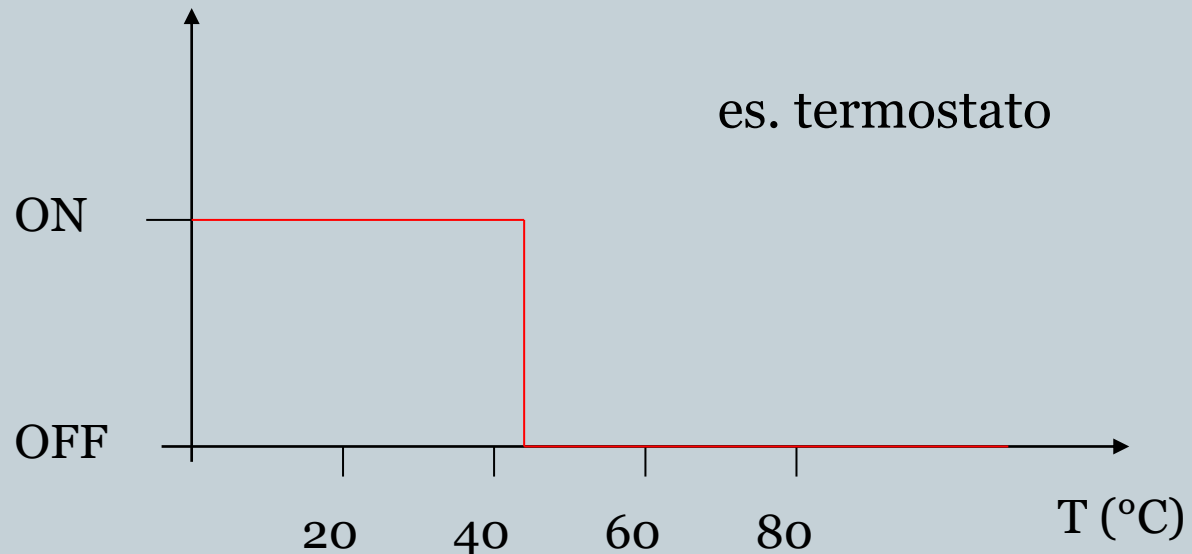
Ad es. una **termocoppia** converte una temperatura in una tensione



Sensori

3

- A differenza dei trasduttori forniscono in uscita solo due possibili valori:
 - ✦ Alto
 - ✦ Basso
- Spesso possono essere associati a dei contatti che possono risultare chiusi oppure aperti a seconda di un valore di soglia della grandezza da misurare



Grandezze Fisiche

4

- A seconda del processo che si desidera controllare, e quindi trasdurre, ci sono diverse tipologie di grandezze fisiche:
 - **Sistemi termici:** temperatura
 - **Sistemi meccanici:** posizione, velocità, accelerazione, forza, pressione
 - **Sistemi idraulici:** portata, pressione, livello

Caratteristiche dei trasduttori

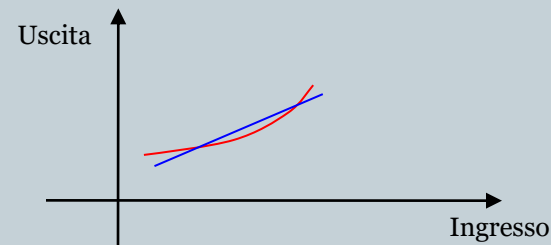
5

- **Curva di taratura:**

Definita attraverso un modello matematico, da una tabella o da una curva

- **Linearità:**

Si richiede che il trasduttore sia lineare per un ampio intervallo di valori della grandezza di ingresso. L'errore di non linearità indica lo scarto massimo tra la curva reale (in rosso in figura) e la retta che la approssima (in blu in figura).



Caratteristiche dei trasduttori

6

- **Sensibilità**

Esprime il rapporto tra la variazione della grandezza di uscita e la variazione della grandezza di ingresso.

$$S = \frac{\Delta U}{\Delta I}$$

U= uscita del trasduttore

I = ingresso del trasduttore

Caratteristiche dei trasduttori

7

- **Risoluzione:**
Minima variazione dell'ingresso apprezzabile in uscita
- **Ripetibilità:**
È la capacità del trasduttore di generare lo stesso segnale di uscita applicando, in tempi diversi, lo stesso segnale di ingresso
- **Accuratezza:**
Scostamento massimo tra il valore misurato e il valore vero, viene indicato in percentuale rispetto al valore di fondo scala.

Caratteristiche dei trasduttori

8

- **Caratteristiche dinamiche:**

Specificano il comportamento del trasduttore quando la grandezza da misurare compie brusche variazioni. Possono essere specificate attraverso la costante di tempo, tempo di assestamento o tempo di salita.

- **Segnale di uscita:**

Natura del segnale di uscita (tensione, corrente, variazione di resistenza, ecc.),

Tipologie di trasduttori

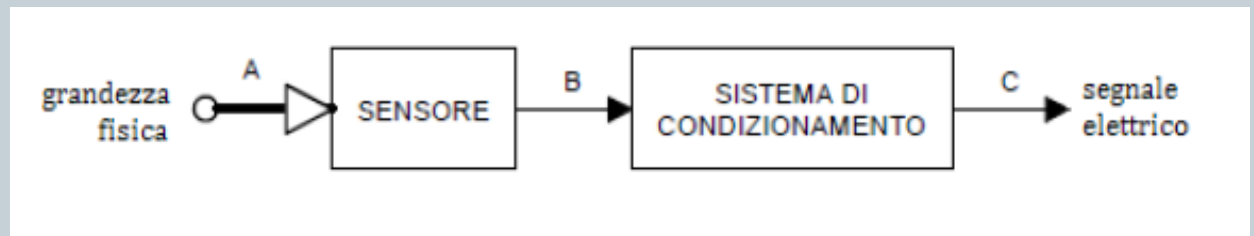


Grandezza misurabile	Trasduttore	Grandezza di uscita
Temperatura	Termoresistenza	Variazione di resistenza
	Termistori	
	Trasduttori a semiconduttore	Tensione o corrente
	Termocoppie	Tensione
Forza; Pressione	Estensimetri (strain gauge)	Variazione di resistenza
	Trasduttori capacitivi	Tensione
	Trasduttori piezoelettrici	
Posizione	Potenzimetri	Variazione di resistenza
	Trasduttori capacitivi	Variazione di capacità
	Trasduttori differenziali, synchro	Tensione
	Trasduttori induttivi	Variazione di induttanza
	Trasduttori ad effetto Hall	Tensione
	Encoder	Numero di impulsi
Velocità	Dinamo tachimetrica	Tensione
	Encoder	Frequenza di impulsi
Intensità luminosa	Fotodiodi, fototransistori	Tensione o corrente
	Fotoresistenze	Variazione di resistenza
	Celle fotovoltaiche	Tensione

Misurazione della temperatura

10

- Trasmissione di energia termica tra corpo e sensore
- Conversione di grandezze fisiche (temperatura->grandezze elettriche)
- Applicazioni:
 - Processi industriali (precisioni elevate e grandi variazioni di temperatura)
 - Sicurezza (Affidabilità e tutela degli utilizzatori)
 - Applicazioni civili (Basso costo e lunga durata)
- Modalità di misurazione:
 - Conduzione
 - Convezione
 - Irraggiamento



Tipologie

11

- Termocoppie



- Termistori



- Termoresistenze



- Pirometri



- Sensori termografici



Termocoppie

12

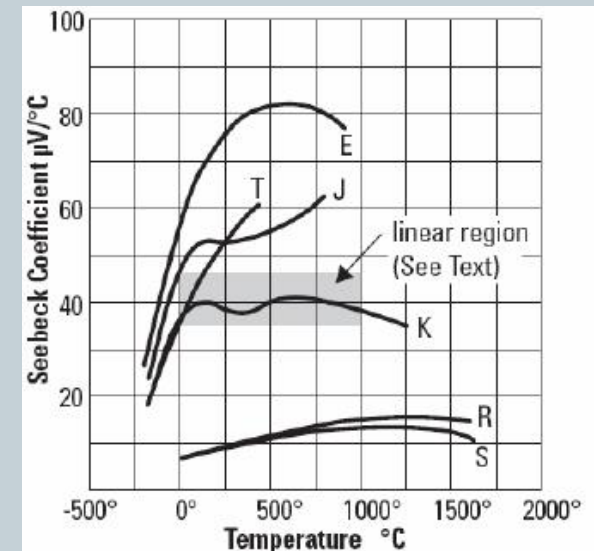
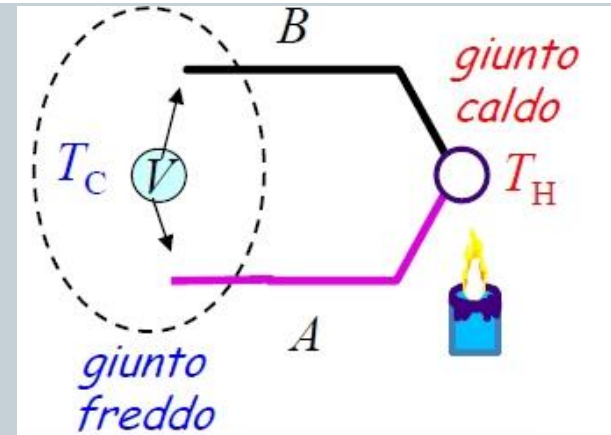
- ▶ Sfruttano proprietà termoelettriche derivanti dall'accoppiamento di due conduttori dissimili posti a differenti temperature



- ▶ **Effetto Seebeck**

$$V_{S_{AB}} = K_{S_{AB}}(T) \cdot \Delta T \quad \text{con } \Delta T = T_H - T_C$$

- ▶ La tensione tra i due capi al giunto freddo è proporzionale alla differenza di temperatura fra le due giunzioni
 - ▶ E necessario mantenere la temperatura del giunto freddo ad un valore fissato



Termocoppie

13

Tipo	Metalli	Coefficiente di Seebeck [$\mu V / ^\circ C$]	Range di Funzionamento [$^\circ C$]
T	Cu-Con	38	0 ÷ 370
K	Ni-Cr	40	-200 ÷ 1260
J	Fe-Con	50	0 ÷ 760
E	Ni/Cr-Con	59	-200 ÷ 900
R,S	Pt/Rh-Pt	10	0 ÷ 1480

- ▶ Il coefficiente di Seebeck (o sensibilità) dipende dai materiali costruttivi e risulta essere funzione della temperatura

- ▶ Le termocoppie vanno scelte in base al valore di temperatura media da misurare

- ▶ **Pro:**

- Basso costo
- Range esteso
- Ampia scelta
- Robustezza

- ▶ **Contro:**

- Non linearità
- Misure relative
- Misure complesse

Termoresistenza (RTD)

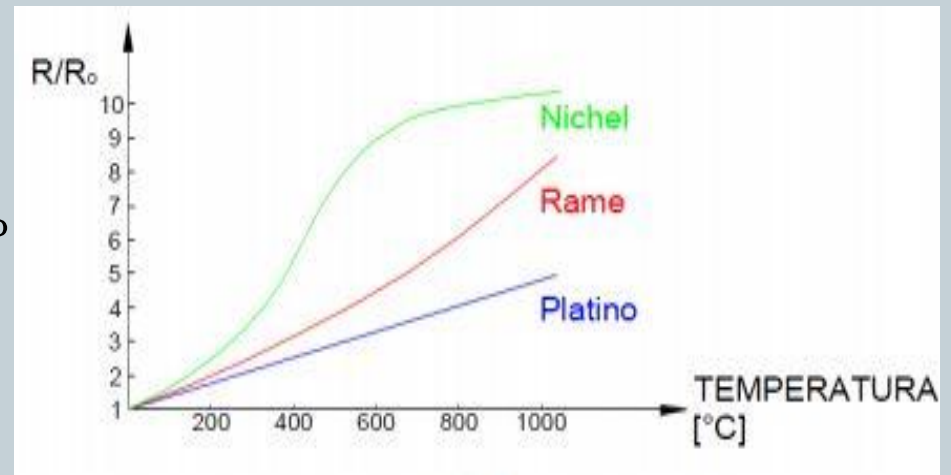
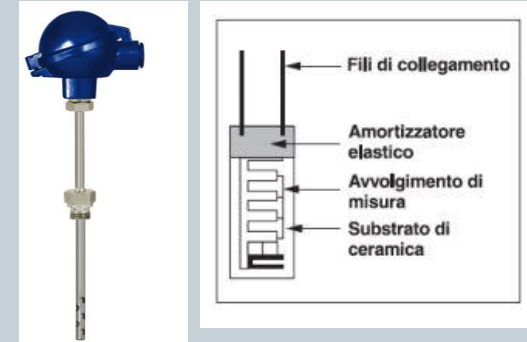
14

- ▶ Sfruttano la proprietà dei metalli di variare la conducibilità elettrica al variare della temperatura
- ▶ Equazione di Callendar e Van Dusen

$$R_t = R_0 [1 + AT + BT^2 + C (T - 100)^3]$$

dove i coefficienti A, B e C dipendono dal materiale:

- ▶ Platino maggiormente utilizzato:
 - Elevata linearità tra 0° e 630°
 - Ottima accuratezza



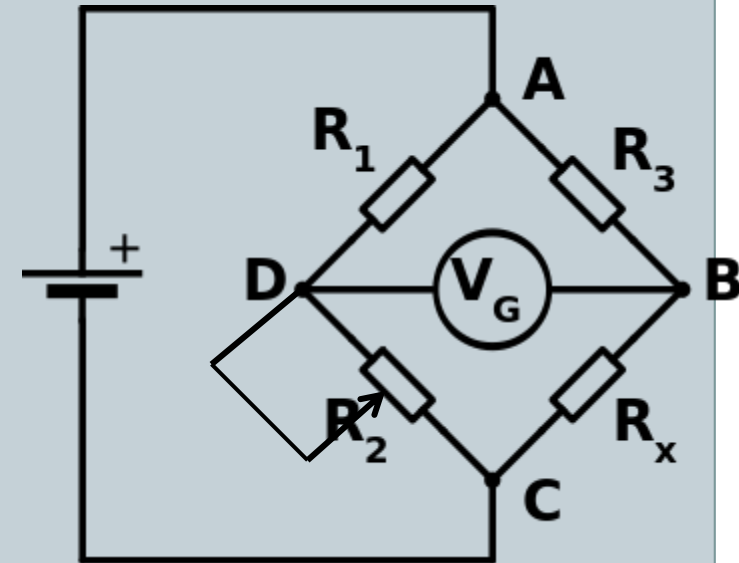
Termoresistenza

15

- ▶ Necessita di un circuito ausiliario: Ponte di Wheatstone

$$R_x = R_0 + \Delta R = R_0 \left(1 + \frac{\Delta R}{R_0} \right) = R(1 + \delta)$$

- ▶ Il sensore va inserito in un ramo del ponte
- ▶ Si fa variare R_2 finché non si raggiunge l'equilibrio in tutto il circuito



- ▶ Quando non scorre corrente nel circuito del galvanometro vale la relazione:

$$R_x = \frac{R_2 \times R_3}{R_1}$$

Termoresistenza

16

- ▶ Range di temperatura $[-200, 800]$ °C
- ▶ Correnti limitate per evitare aumento di temperatura indesiderato che falserebbe la misurazione

▶ Pro:

- Robustezza
- Linearità
- Accuratezza
- Stabilità

▶ Contro:

- Lentezza
- Bassa sensibilità
- Costo elevato
- Collegamento 4 fili



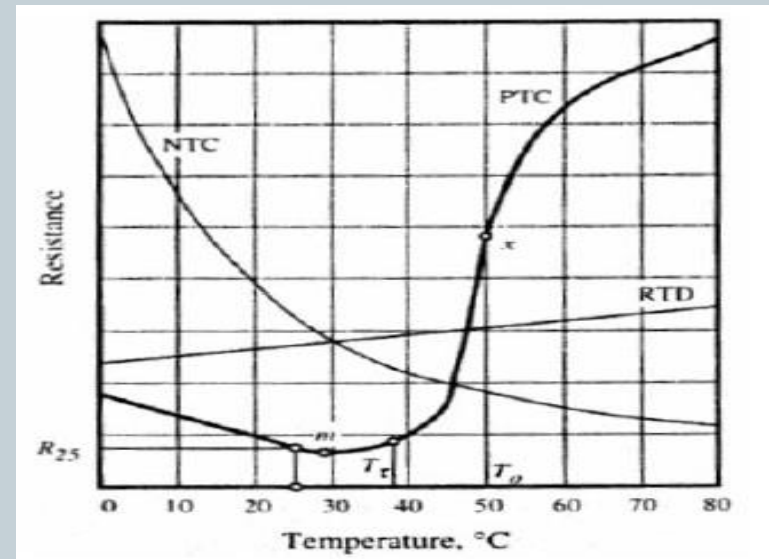
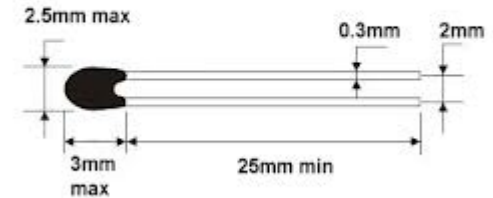
Termistori

17

- ▶ Sfruttano la proprietà dei semiconduttori di variare la conducibilità elettrica e al variare della temperatura
- ▶ Forma semplificata dell'equazione di Steinhart-Hart:

$$R = R_0 \exp \left[-\beta \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T} \right) \right]$$

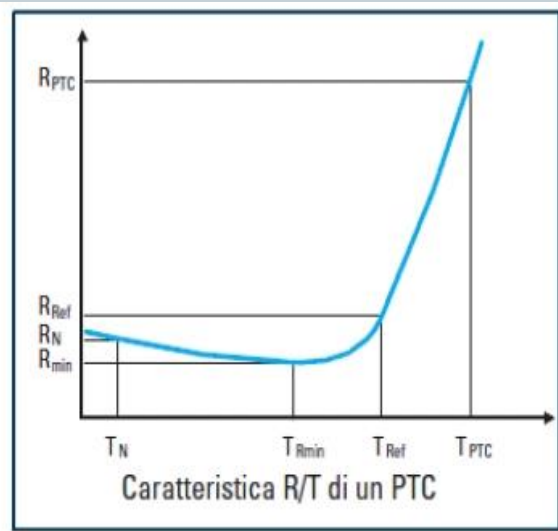
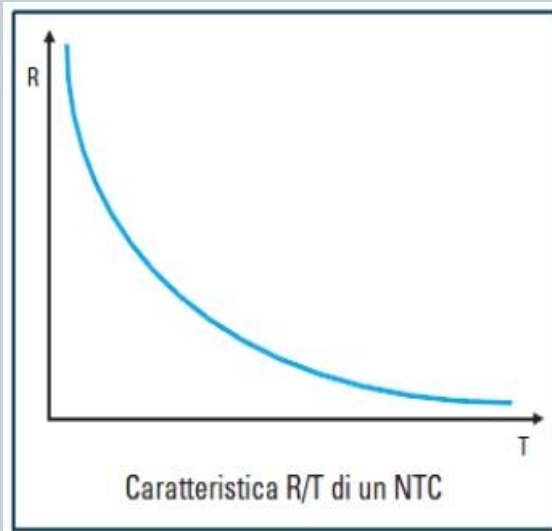
- ▶ Due tipologie di termistori:
 - PTC (positive temperature coefficient)
 - NTC (negative temperature coefficient)



Termistori

18

- ▶ PTC vengono utilizzati per termoregolazione (caratteristica esponenziale per temperature appena superiori a T_r)
- ▶ NTC vengono utilizzati per misurazioni di temperatura (caratteristica abbastanza lineare)



- ▶ Pro:
 - Velocità
 - Sensibilità
 - Basso costo
 - Collegamento 2 fili
- ▶ Contro:
 - Non linearità
 - Range limitato
 - Fragilità

Confronto RTD - termistori

19

▶ RTD

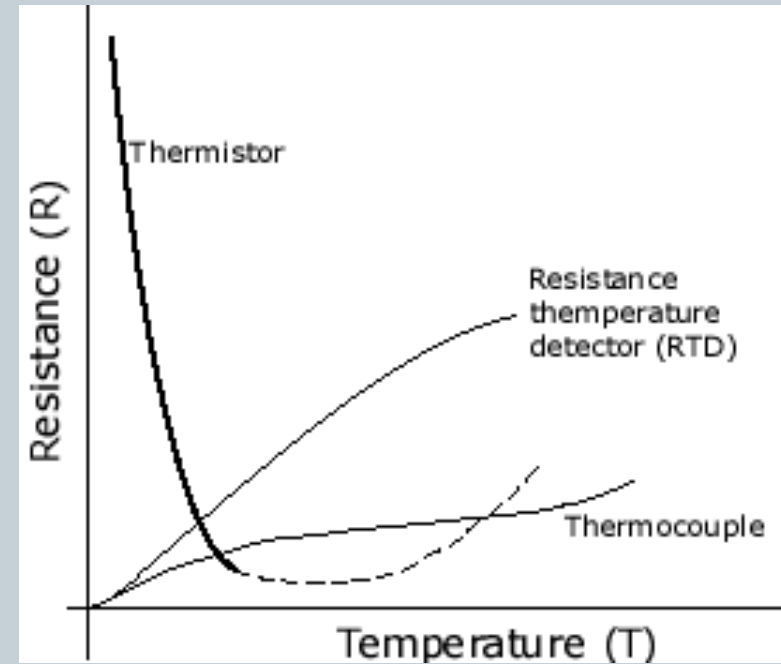
- ▶ Precisione e stabilità della misurazione
- ▶ Precisione lungo tutto l'intervallo
- ▶ Misurazione su un'area
- ▶ Alto livello di standardizzazione

▶ Termistori

- ▶ Alte risoluzioni su intervalli ristretti
- ▶ Riduzione dei costi
- ▶ Misurazione su un punto
- ▶ Miniaturizzazione

▶ Termocoppie

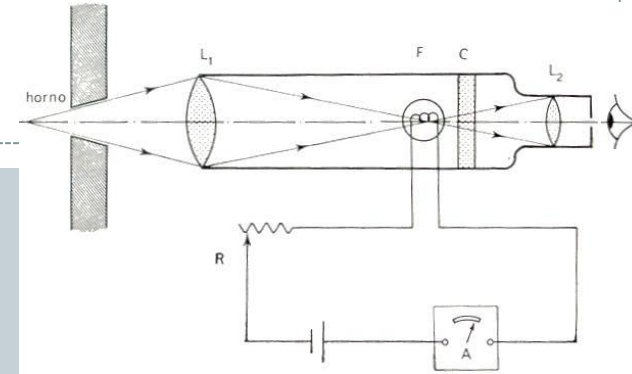
- ▶ Misurazione di elevate temperature
- ▶ Per applicazioni semplici



Pirometri

20

- ▶ Basati sulla trasmissione del calore per irraggiamento elettromagnetico regolata dalla legge di Planck.



- ▶ Equazione di Planck

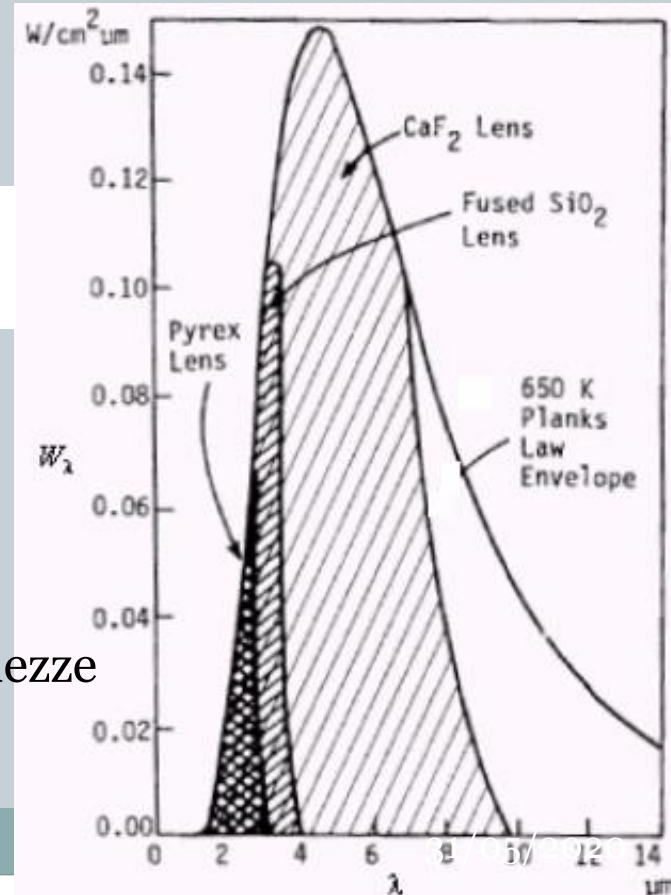
$$I_\nu(\nu, T) = \frac{2h}{c^2} \cdot \frac{\nu^3}{[\exp(h\nu/k_B T) - 1]} \cdot \varepsilon(\nu)$$

$$I = \int_{-\infty}^{+\infty} I_\lambda(\lambda, T) d\lambda$$

- ▶ Legge di Stefan Boltzmann

$$I(T) = \varepsilon \sigma T^4$$

- ▶ A causa delle lenti convogliatrici della radiazione sul sensore, il pirometro non funziona allo stesso modo per tutte le lunghezze d'onda (temperature)



Pirometri

21

- ▶ Vengono usati per temperature anche superiori ai 1450 °C
- ▶ Sono molto utili nel controllo di processi dove sia essenziale l'assenza di contatto con il sistema oppure in processi industriali dove altri sensori avrebbero vita breve.



- ▶ Pro:
 - Non invasività
 - Stabilità
 - Temperature elevate
 - Range esteso
- ▶ Contro:
 - Non linearità
 - Alto costo

Applicazioni

22

Trasduttori	Misure
Termocoppie	Forni ad induzione, forni per uso alimentare, applicazioni industriali
RTD	Processi fotochimici, monitoraggio temperatura sostanze alimentari
Termistori	Sistemi di riscaldamento, elettronica industriale e di consumo, telecomunicazioni
Pirometri	Vetro/quarzo fondente, acciaierie, applicazioni ad alte temperature



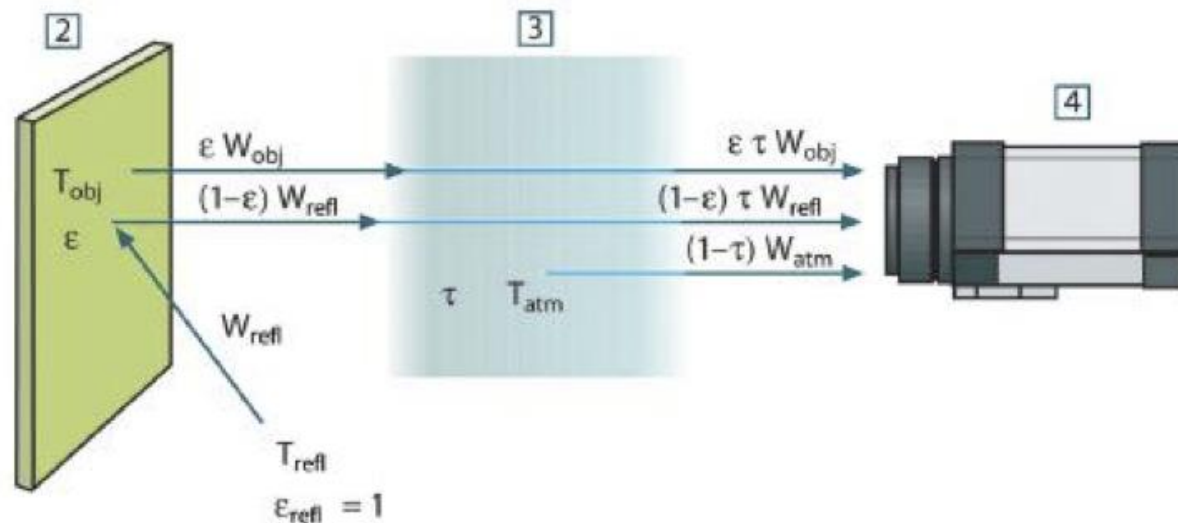
Cosa è la termografia?

Come si usa?

Quali sono le applicazioni cliniche?

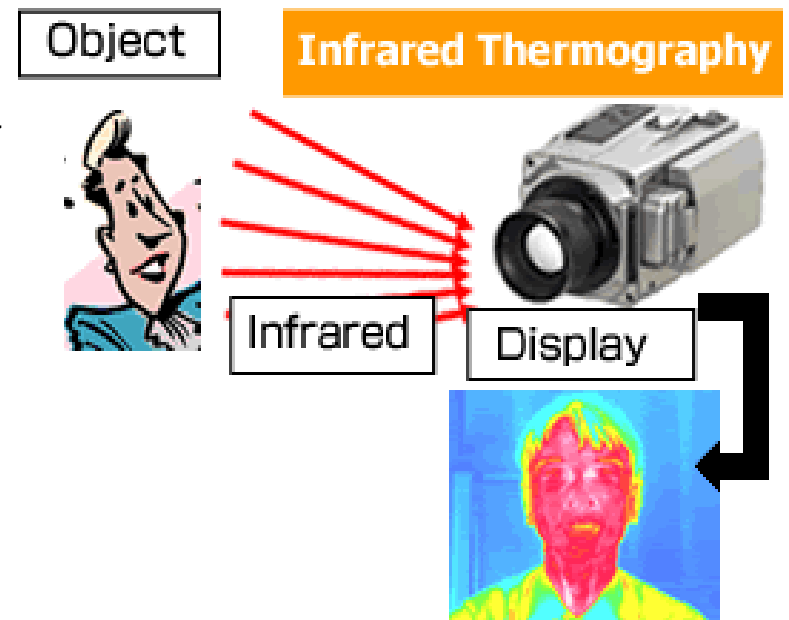


Una tecnica **non invasiva, non distruttiva e portatile** basata sulla registrazione della emissione della radiazione termica naturale di un corpo ($0,75 \leq \lambda \leq 13$ micron), impiegando una telecamera a infrarossi.



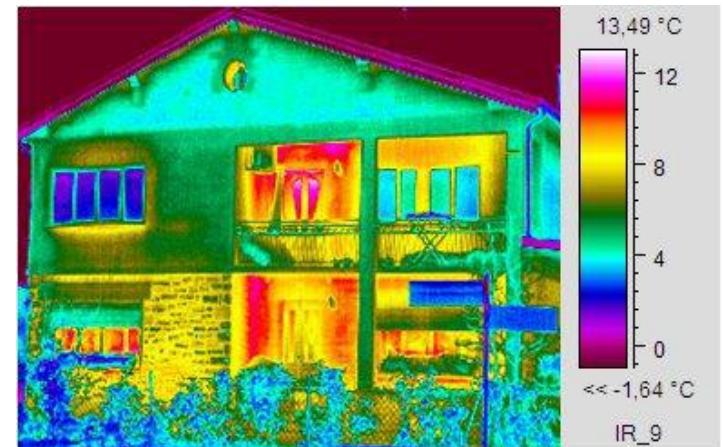
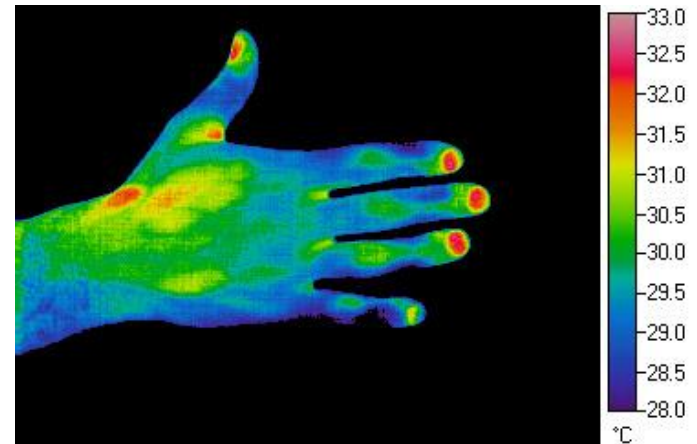
La termocamera:

- rileva la **radiazione termica naturale** dal corpo
 - produce un'immagine che rappresenta **la distribuzione della temperatura** delle zone del corpo la cui dimensione dipende dal campo visivo della lente.



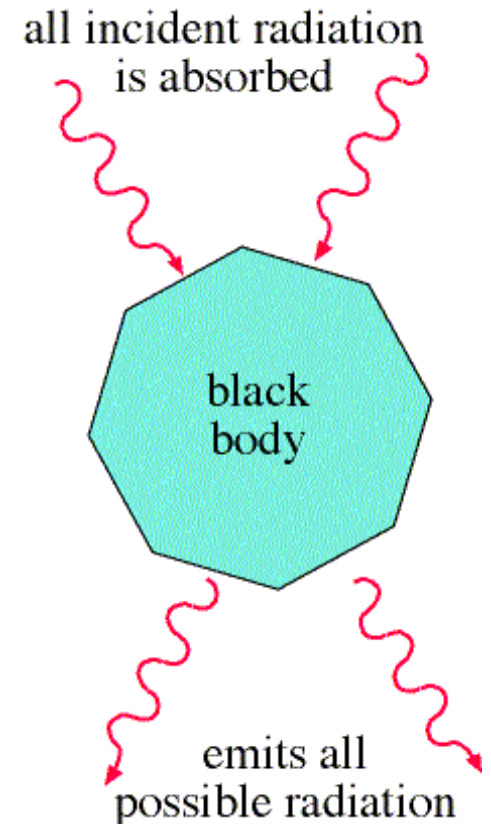
La **distribuzione di temperatura** della superficie del corpo in esame può essere visualizzata a **colori**.

Tali colori indicano un **aumento/diminuzione** della quantità di radiazione infrarossa emessa dalla superficie del corpo.

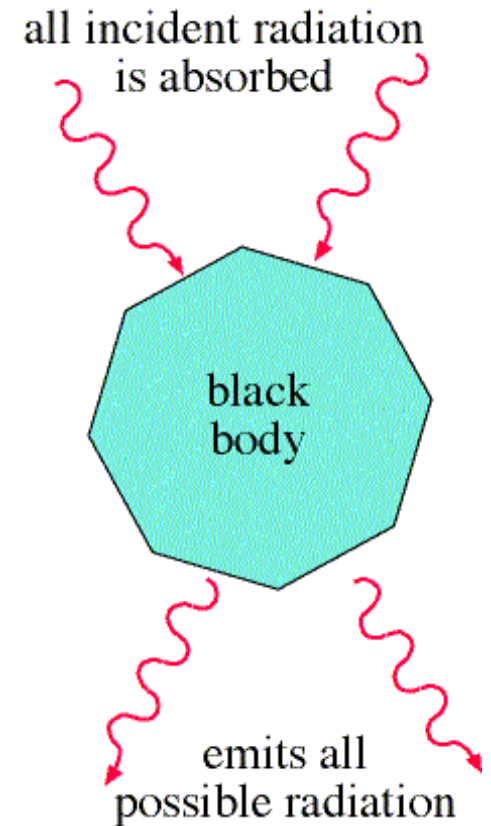


Il **principio fisico** alla base della termografia è che qualsiasi corpo reale che è ad una temperatura **superiore** allo zero assoluto (-273.15 K) emette spontaneamente radiazioni nel campo dell'infrarosso.

Per studiare il comportamento migliore che un oggetto ha quando emette radiazioni, ci si riferisce al caso del **corpo nero ideale.**



Per definizione è **corpo in perfetto equilibrio termico con potere assorbente unitario per qualsiasi lunghezza d'onda e angolo di incidenza.**



La fisica di un corpo nero si basa fundamentalmente su **tre leggi**:

❑ **Legge della radiazione di Plank:** l'energia associata ad una radiazione elettromagnetica è trasmessa in quanti, ciascuno dei quali è associato ad un singolo fotone.

$$E = h \cdot \nu \text{ [J]} \quad h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ W (costante di Plank)}$$

❑ **Legge di Stefan-Boltzmann:** stabilisce che la potenza irradiata (U) da un corpo nero ideale è proporzionale alla temperatura (T) elevata alla quarta potenza:

$$U = \sigma \cdot T^4 \text{ [W/m}^2\text{]} \quad \sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Jm}^{-2}\text{K}^{-4}\text{s}^{-1} \text{ (costante di Boltzmann)}$$

❑ **Legge di Wien:** attraverso questa si è in grado di calcolare il massimo della radiazione emessa da un corpo nero ad una determinata temperatura secondo una legge di proporzionalità inversa tra lunghezza d'onda (λ) e temperatura (T).

$$T \cdot \lambda_{\max} = K \quad K = 2,90 \cdot 10^{-3} \text{ mK (costante di Wien)}$$

Gli esseri umani sono esseri **omeotermi**, che sono in grado di mantenere una temperatura costante, diverso dal circostante.

Questo processo, noto come **omeostasi**, è vitale per la conservazione di un ambiente relativamente costante all'interno del corpo.

Le variazioni di temperatura interna di più di un paio di gradi in entrambe le direzioni è un chiaro indicatore di una **disfunzione** del corpo



Può essere usata per:

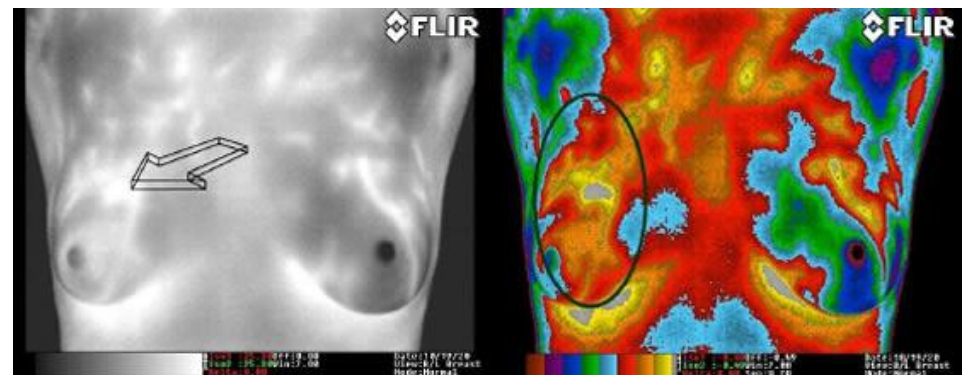
- **localizzare** una zona anomala precedentemente non identificata, così che ulteriori test diagnostici possono essere eseguiti;
- **definire l'estensione** di una lesione di cui è stata precedentemente fatta una diagnosi;
- **rilevare lesioni precoci** prima che siano clinicamente evidenti;
- **monitorare il trattamento** e il **processo di guarigione** prima che il paziente torni al lavoro

Le aree dove la termografia ha trovato prospettive sono:
la **neurologia**, i **disordini vascolari**, i **disordini reumatici**, la **circolazione sanguigna**, l'**oncologia**, i **disordini dermatologici**, l'**oftalmologia**, la **chirurgia**, la **neonatalogia** e nella variazione termica durante l'**esercizio fisico**.

Una delle maggiori aree dove la termografia ha mostrato le sue potenzialità è il **tumore al seno**.



La Termografia Medica è stata approvata negli U.S. dalla Food and Drug Administration (FDA) nel 1982 come supporto alla mammografia nella diagnosi del cancro al seno.





Il paziente deve essere messo a proprio agio, in ambiente ad illuminazione costante, sufficientemente spazioso e tranquillo, al fine di ridurre al minimo gli spostamenti d'aria sulla superficie esposta e le manovre ambientali, che potrebbero ottenere riflessi vegetativi.

Dopo aver completato l'anamnesi storica, è opportuno rilevare la **temperatura del paziente**: se è maggiore di $37,5^{\circ}\text{C}$ il test va rimandato; se è normale la superficie cutanea oggetto del rilievo termografico, deve essere esposta direttamente all'aria per circa 15 minuti, in modo da eliminare ogni modificazione termica a seguito dell'esposizione a diretto contatto con l'aria.

La **temperatura ambiente** deve essere tra i 20° ed i 24°C , con umidità relativa tra il 35 e il 60%



La preparazione del paziente all'indagine termografica prevede una serie di istruzioni alle quali attenersi.

Prima del test è opportuno:

- non fumare nelle 2 ore precedenti l'esame
- non sottoporsi a medicazioni
- non assumere farmaci
- non sottoporsi a test diagnostici invasivi
- non usare creme o altri prodotti
- astenersi dallo svolgere intensa attività fisica nelle 24h precedenti l'esame
- non esporsi al sole o a lampade abbronzanti.



Sicurezza per il paziente e per il personale medico

La termografia ad infrarossi si basa su un metodo passivo: il **dispositivo non interagisce con i pazienti** in esame, ma riceve informazioni da loro senza venirne in contatto.

Esistono pochi dispositivi che operano attraverso il metodo passivo in medicina, ad esempio l'ECG e l'EEG.

Data la sicurezza intrinseca di questo metodo, l'uso della termografia ad infrarossi è **privo di limitazioni o controindicazioni**.

Gli esami termografici possono essere effettuati su qualunque tipo di paziente in qualsiasi condizione, anche sui bambini e sulle donne in gravidanza.



Alta affidabilità

La grande affidabilità della termografia ad infrarossi è legata alla **stabilità delle temperature locali per lunghi periodi.**

Essa può essere utilizzata per verificare semplicemente le variazioni o come metodo oggettivo per monitorare l'evoluzione della patologia.

La termografia ad infrarossi è un metodo **veloce e affidabile**, estremamente sicuro per il medico e il paziente poiché non si basa sul contatto diretto.

La termografia ad infrarossi ha un illimitato campo di applicazione



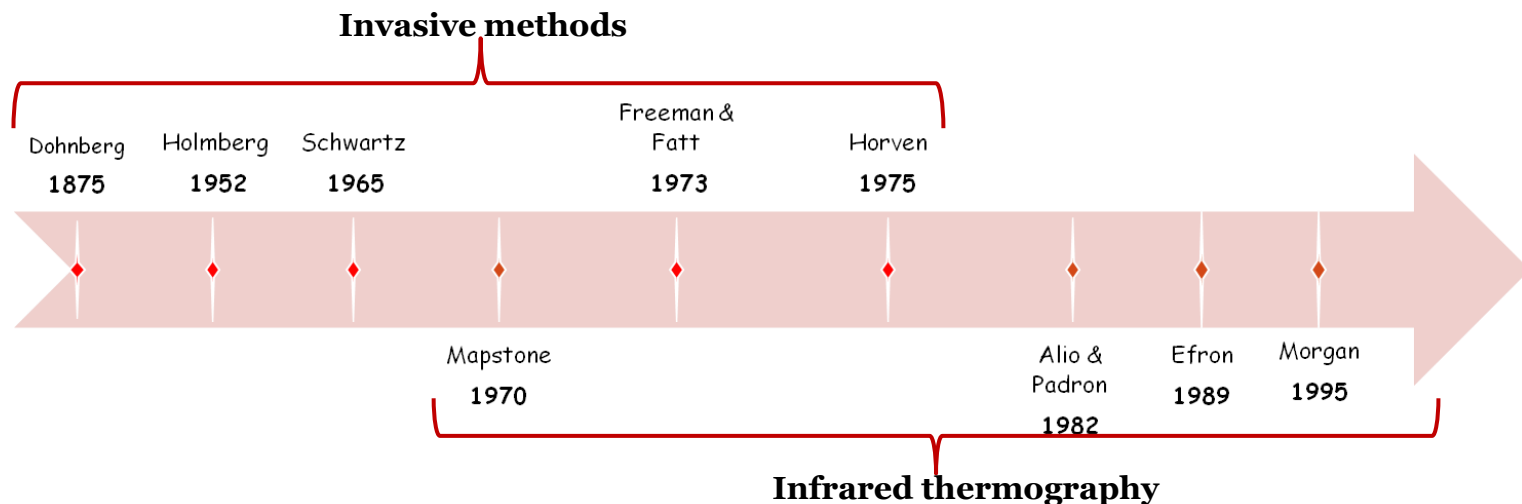
Esame non invasivo

La termografia ad infrarossi esclude qualunque tipo di rischio. Non vi sono infatti limitazioni, precauzioni o restrizioni particolari da attuare.

Grazie al metodo di diagnosi passivo e all'assenza di qualunque contatto fra paziente e medico, un esame termografico **non modifica in alcun modo le condizioni di salute del paziente.**

E' proprio grazie a questa tecnica che si aprono nuove porte all'utilizzo della termografia ad infrarossi nello screening diagnostico.

- ❖ L'interesse per la temperatura degli occhi risale a **più di 140 anni fa** (Holmberg 1952, Fatt & Forrester 1972)
- ❖ **Misure accurate e quantitative** della temperatura superficiale oculare (OST) possibile solo negli ultimi decenni, grazie a tecniche non invasive come la **termografia a infrarossi** (Mapstone 1968, 1969, 1970, Morgan Soh 1993).





Le applicazioni della termografia in oftalmologia hanno incluso:

- occhio secco (Morgan et al. 1996, Kurama et al. 1991, Matteoli et al. 2017)
- perfusione oculare sanguigna (Gugleta et al. 1999)
- uso di lenti a contatto (Martin & Fatt 1986, Tomlinson 1992)
- patologie retiniche (Sodi et al. 2007, Sodi et al. 2009)
- glaucoma (Flammer 1996, Galassi et al. 2002, 2003)
- monitoraggio di tecniche chirurgiche come cataratta o refrattiva (Betney 1997, Corvi et al. 2006, Smetankin 2009)



Collaborazione con il personale medico della sezione oftalmologica dell'Ospedale di Firenze (Careggi) per creare un laboratorio finalizzato alla **ricerca delle patologie oculari** mediante termografia



Collaborazione con il personale medico della sezione oftalmologica dell'Ospedale di Firenze (Careggi) per creare un laboratorio finalizzato alla **ricerca delle patologie oculari** mediante termografia



Il Laboratorio di Termografia Oculare (LaTO) è nato nel 2009, grazie anche al finanziamento della Cassa di Risparmio di Firenze

E' stato possibile fare ricerca su:

- **Glaucoma**
- **Retinopatia diabetica**
- **Occlusione delle vene della retina**
- **Degenerazione maculare**
- **Sindrome da occhio secco**
- **Lesioni Uveali**
- **Vasocostrizione periferica**
- **Disturbi oculari genetici**
- **Uveite**
- **Raffreddamento oculare**

- Database di occhi sani
(controlli)

- Procedura di Cross-linking
- Cataratta
- Chirurgia refrattiva



E' stato possibile creare:

- **Glaucoma**
- **Retinopatia diabetica**
- **Occlusione delle vene della retina**
- **Degenerazione maculare**
- **Sindrome da occhio secco**
- **Lesioni Uveali**
- **Vasocostrizione periferica**
- **Disturbi oculari genetici**
- **Uveite**
- **Raffreddamento oculare**

- **Database di occhi sani
(controlli)**

- Procedura di Cross-linking
- Cataratta
- Chirurgia refrattiva



E' stato possibile fare ricerca su:

- **Glaucoma**
- **Retinopatia diabetica**
- **Occlusione delle vene della retina**
- **Degenerazione maculare**
- **Sindrome da occhio secco**
- **Lesioni Uveali**
- **Vasocostrizione periferica**
- **Disturbi oculari genetici**
- **Uveite**
- **Raffreddamento oculare**

- **Database di occhi sani
(controlli)**

- Procedura di Cross-linking
- Cataratta
- Chirurgia refrattiva

TERMOCAMERA FLIR A320 (©FLIR SYSTEM)



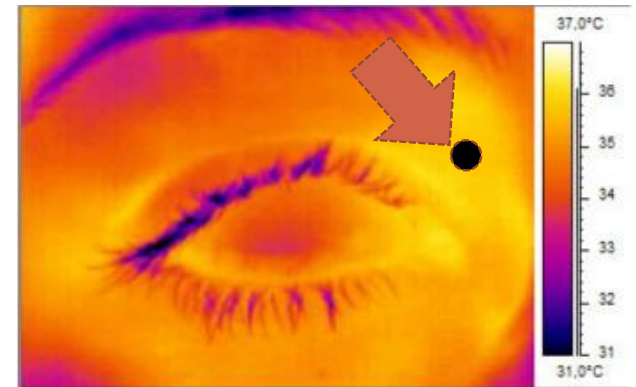
- Campo di temperatura: $-20/120^{\circ}\text{C}$
- Temperature di esercizio: $-15/50^{\circ}\text{C}$
- Precisione: $\pm 2\%$ temperatura lettura
 - Sensibilità: $<50\text{mK}$

Acquisizioni eseguite in una stanza dedicata alla prova termografica, **senza finestre, illuminata con luci al neon.**

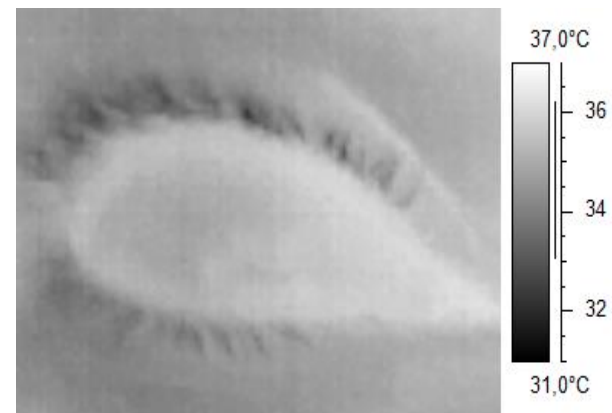
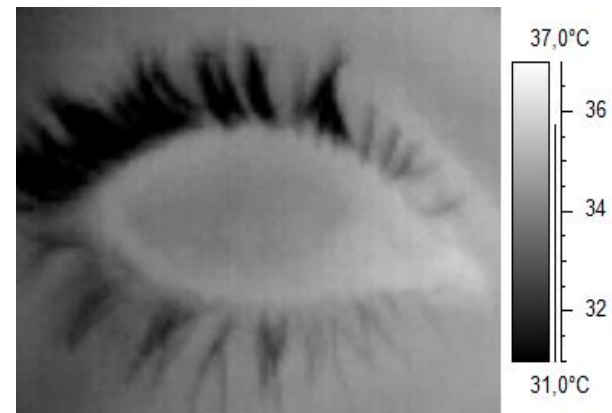
La temperatura e l'umidità vengono costantemente monitorati e mantenuti in media di $22,1 \pm 0,5$ °C e $43 \pm 4\%$ durante ogni acquisizione utilizzando un sistema di climatizzazione.



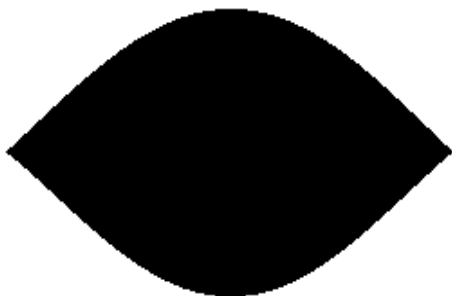
- Il soggetto è tenuto a non fumare, bere caffè, usare lubrificanti o gocce d'occhio almeno 2 ore prima della prova.
- Il soggetto rimane nella stanza per 20 min
- Il mento del soggetto è appoggiato su una mentoniera
- L'occhio si trova a 300 mm dalla lente dell'obiettivo
- Il soggetto tiene entrambi gli occhi chiusi per 10 s prima di iniziare la misurazione
- Il soggetto spalanca bene entrambi gli occhi durante l'acquisizione (7 s a 30 Hz)
- Il soggetto scrive un questionario con informazioni aggiuntive (età, peso, anamnesi, farmaci, ...)



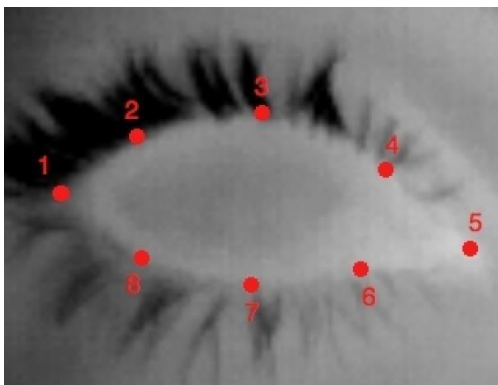
Nuovo metodo basato sulla **normalizzazione dei profili oculari.**



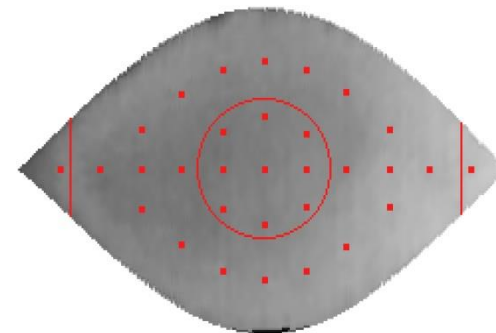
Forma normalizzante



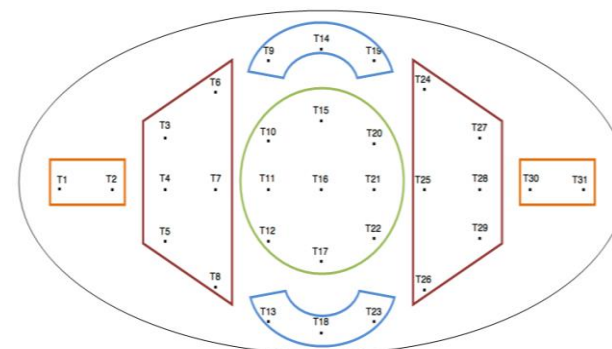
Selezione di 8 punti



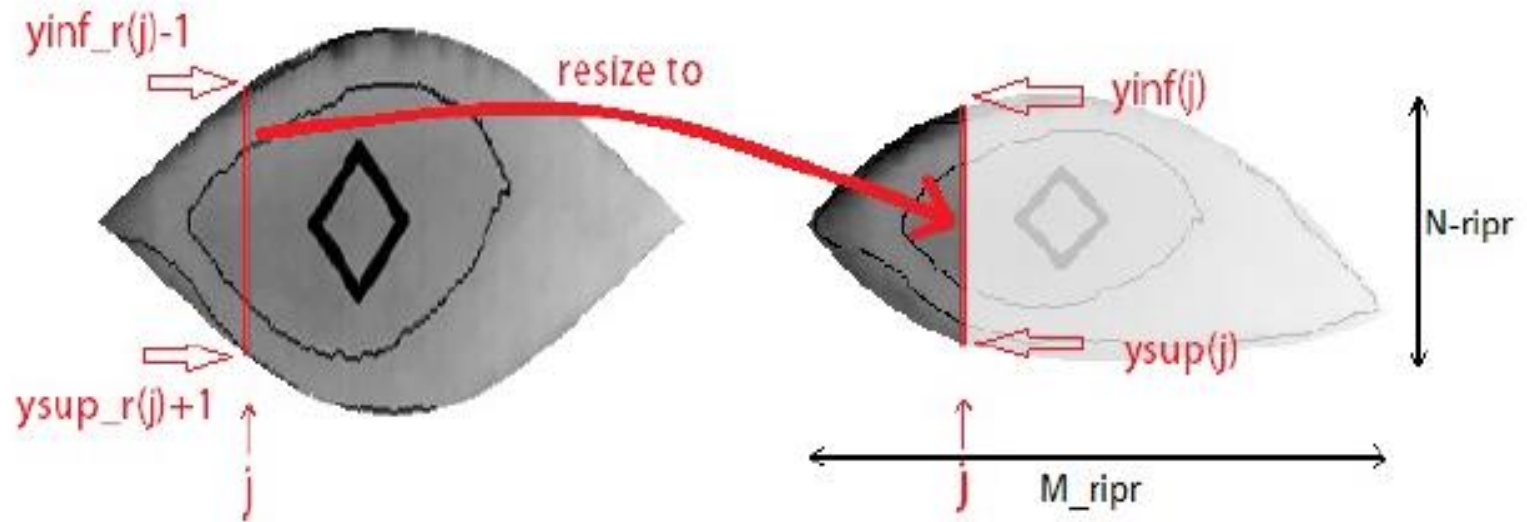
31 punti oculari estratti



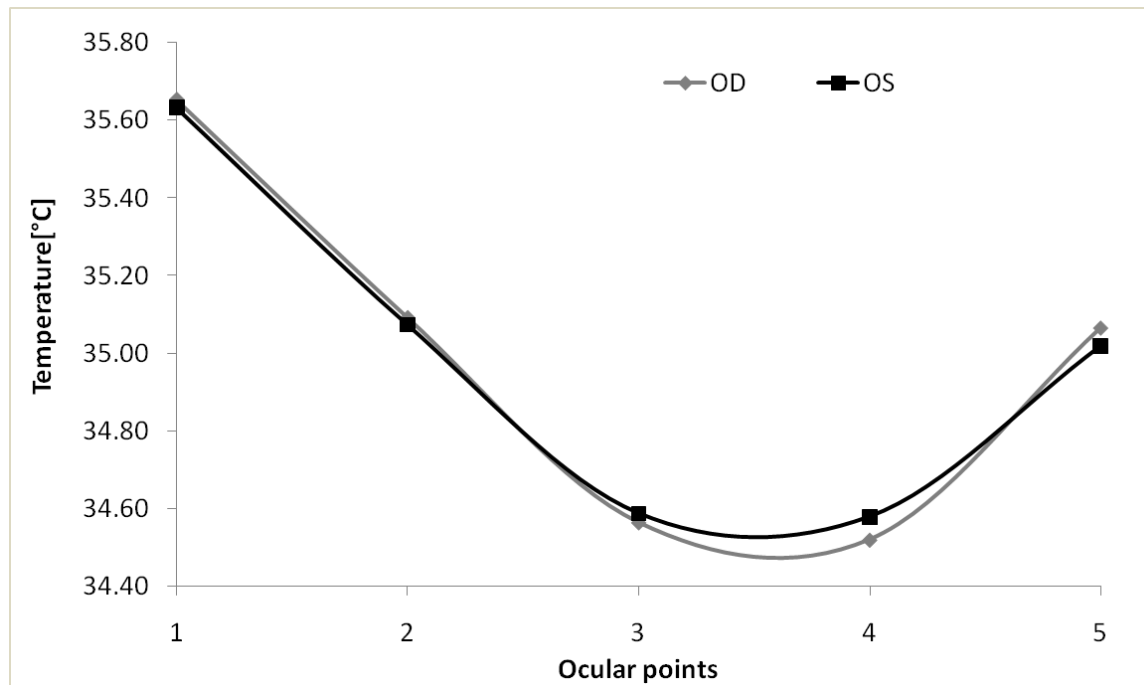
7 aree oculari principali



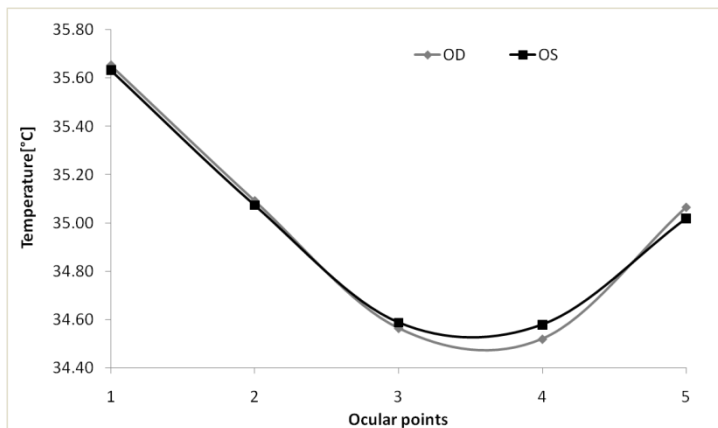
Processo denomarlizzante



Database di 200 occhi sani

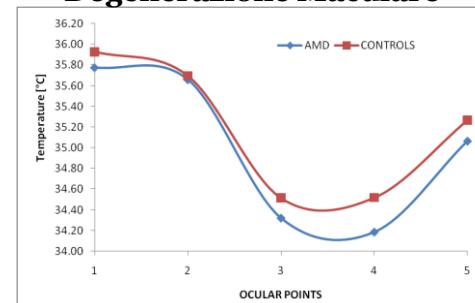


Occhi sani

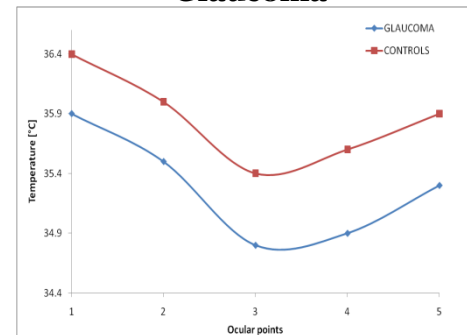


VS.

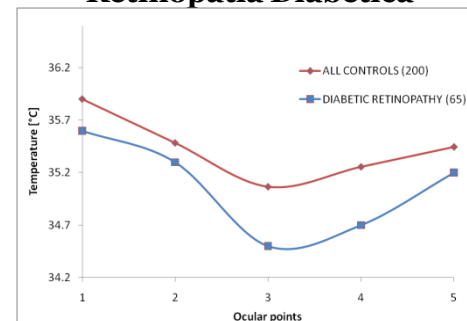
Degenerazione Maculare



Glaucoma

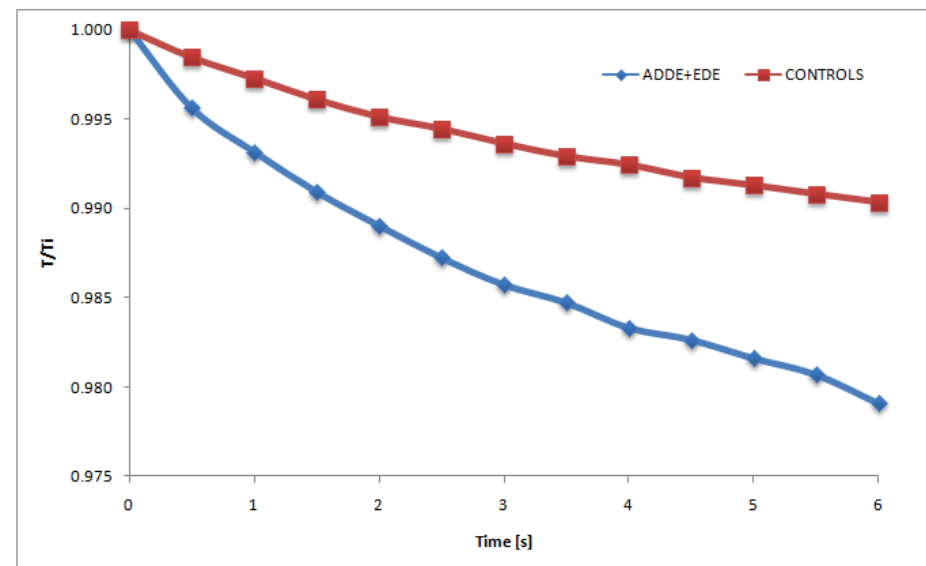
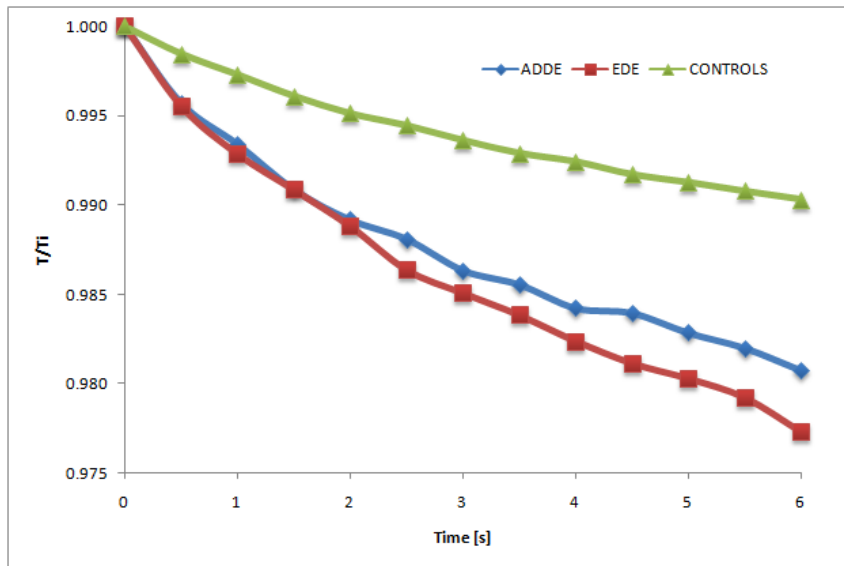


Retinopatia Diabetica



La sindrome dell'occhio secco è legata alla **distribuzione della pellicola di lacrima**

L'evaporazione eccessiva (EDE) o una carenza acquosa (ADDE) della pellicola di lacrima alterano il raffreddamento della superficie oculare.



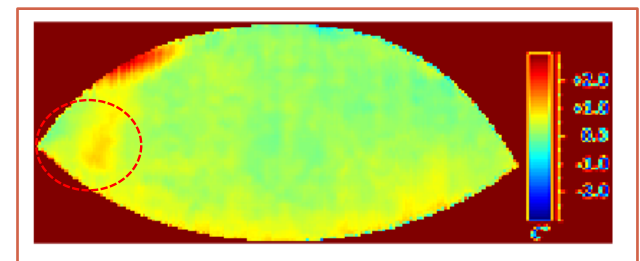
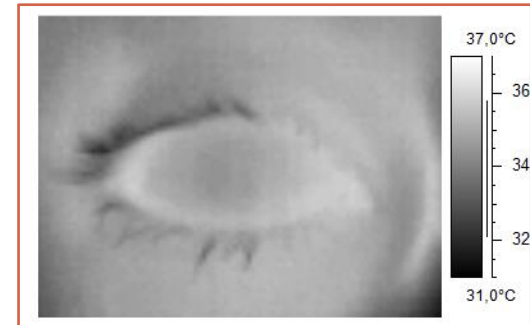
La presenza di un **tumore** all'interno dei corpi biologici è noto per causare un **aumento della temperatura** dei tessuti sani circostanti

Analisi sulla temperatura dell'oculare (OST) in pazienti affetti da lesioni uveali per indagare **qualsiasi corrispondenza tra OST e lesioni uveali**.



- i pazienti affetti da melanoma coroidale primario o secondario avevano l'occhio patologico più caldo (0,5-2 ° C) rispetto al controlaterale.
- il trattamento ha abbassato l'OST dell'occhio colpito (fino a 0.9 ° C), a causa degli effetti delle radiazioni sulla lesione.
- in caso di nevi coroidali, l'OST dell'occhio colpito era sempre inferiore rispetto al controlaterale.

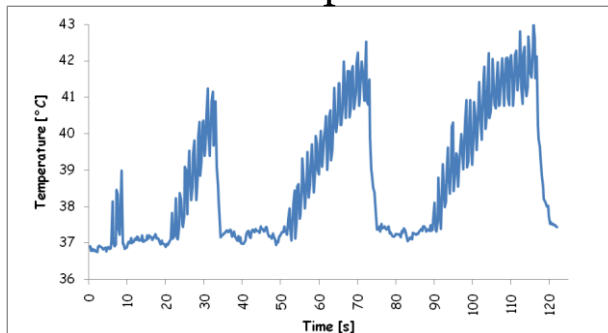
melanoma coroidale area
temporale occhio destro



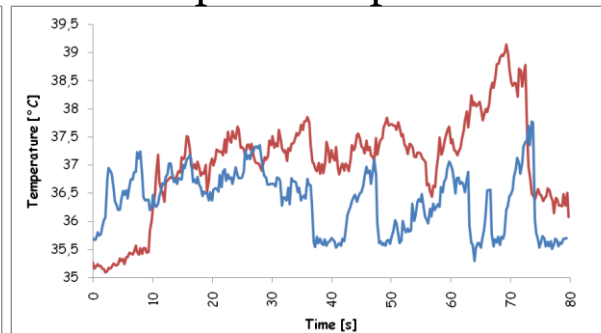
La **chirurgia refrattiva** è una procedura chirurgica che corregge i problemi di visione comune per ridurre la dipendenza da occhiali e / o da lenti a contatto

Per valutare il **carico termico dell'ablazione** nella chirurgia refrattiva corneale laser ad alta velocità con laser ad eccimeri

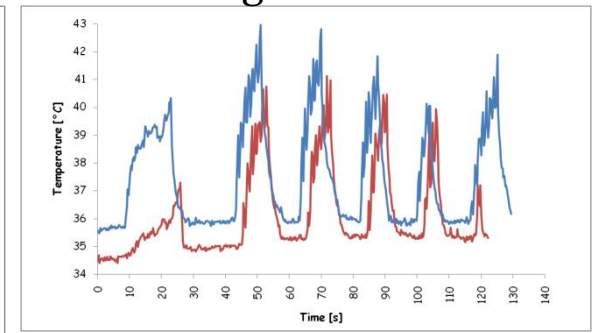
miopia



ipermetropia



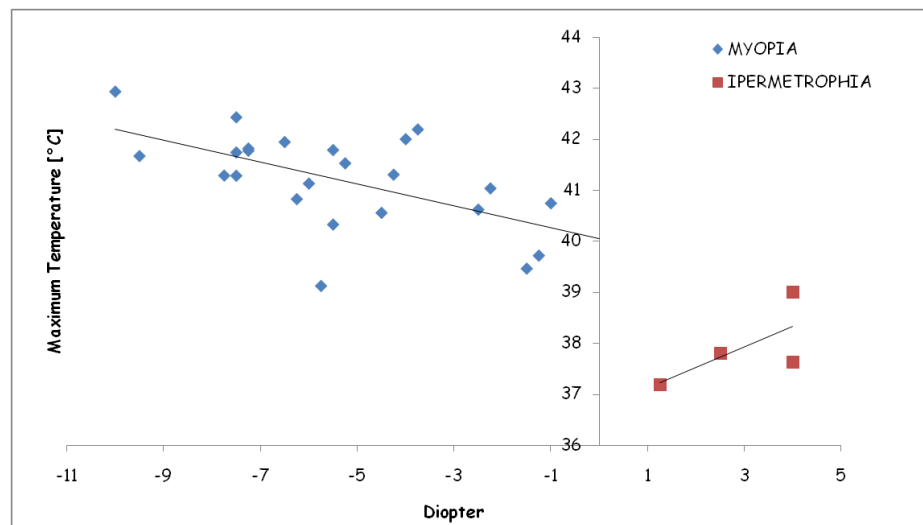
astigmatismo



La **chirurgia refrattiva** è una procedura chirurgica che corregge i problemi di visione comune per ridurre la dipendenza da occhiali e / o da lenti a contatto

Per valutare il **carico termico dell'ablazione** nella chirurgia refrattiva corneale laser ad alta velocità con laser ad eccimeri

Per indagare se esiste una **correlazione tra il diotetro e la variazione della temperatura oculare** dovuta all'effetto del laser.



Più alte sono il diottrie e maggiore è la temperatura massima corneale



Risultati principali



57

I nostri risultati sono stati pubblicati in 10 riviste internazionali e in 15 sessioni di conferenza.

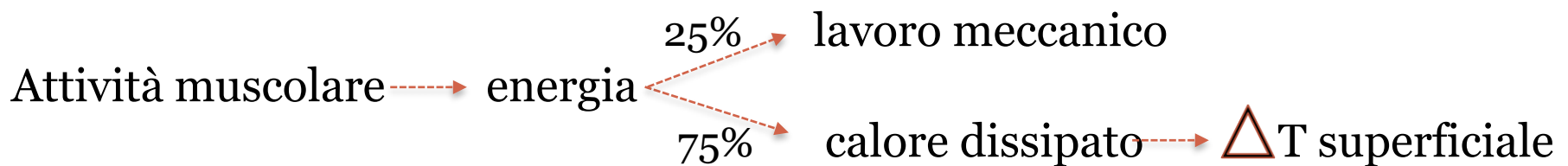
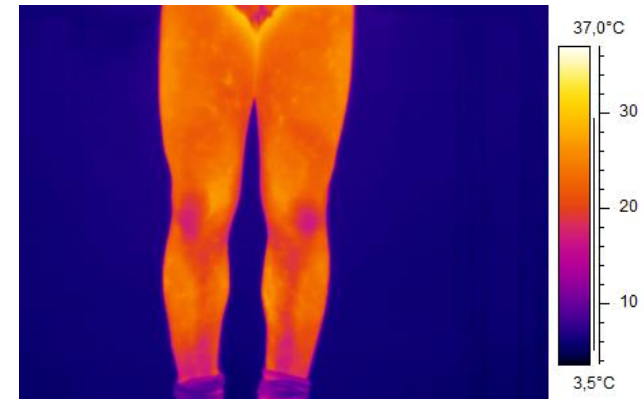
Stiamo ancora lavorando su altri articoli che mostrano gli ultimi risultati ottenuti



La termografia a infrarossi fornisce uno strumento non invasivo e non radiatore per analizzare la temperatura della superficie oculare in modo rapido e affidabile

La tecnologia infrarossa può fornire informazioni significative per la **gestione funzionale delle lesioni** negli atleti umani monitorando la temperatura cutanea.

Il **processo di termoregolazione** collega la **dissipazione del calore** attraverso l'allenamento dei muscoli e la pelle





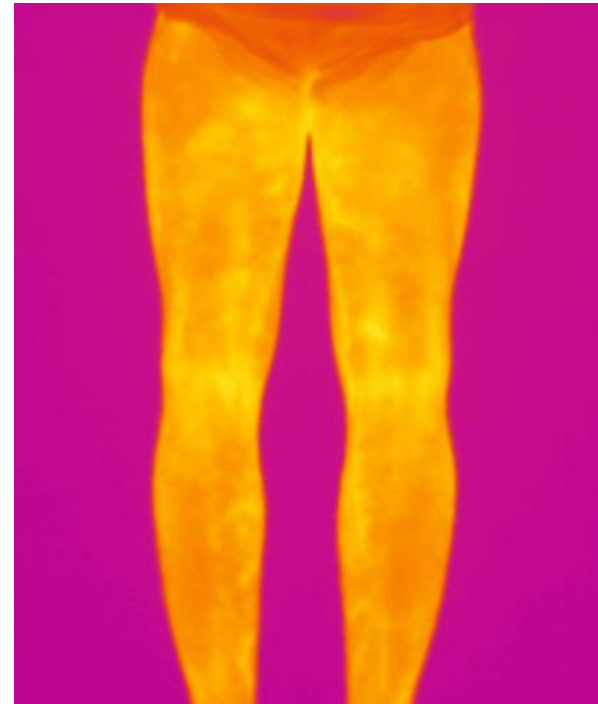
Acquisizione immagini



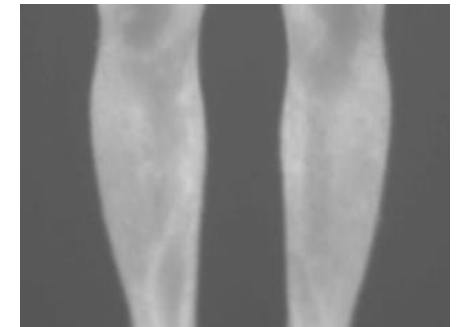
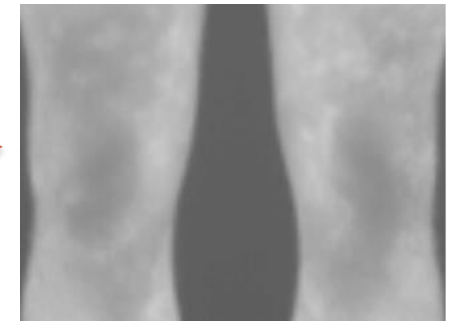
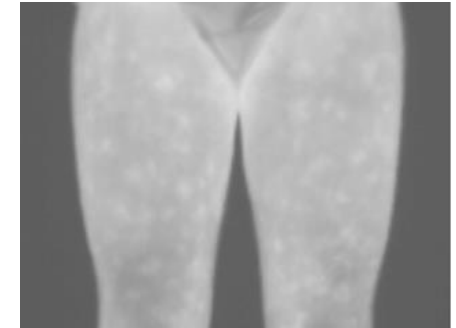
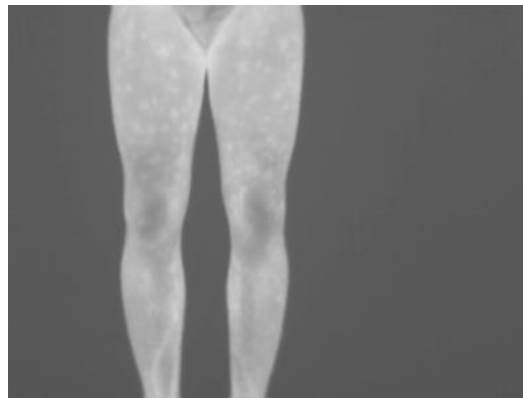
59



vista anteriore



vista posteriore

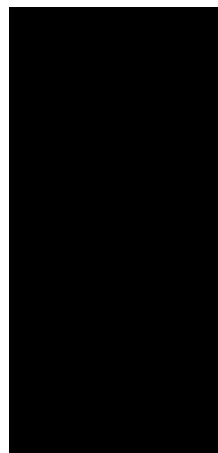




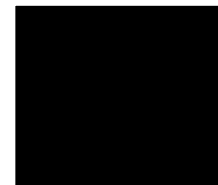
Processo di normalizzazione



coscia

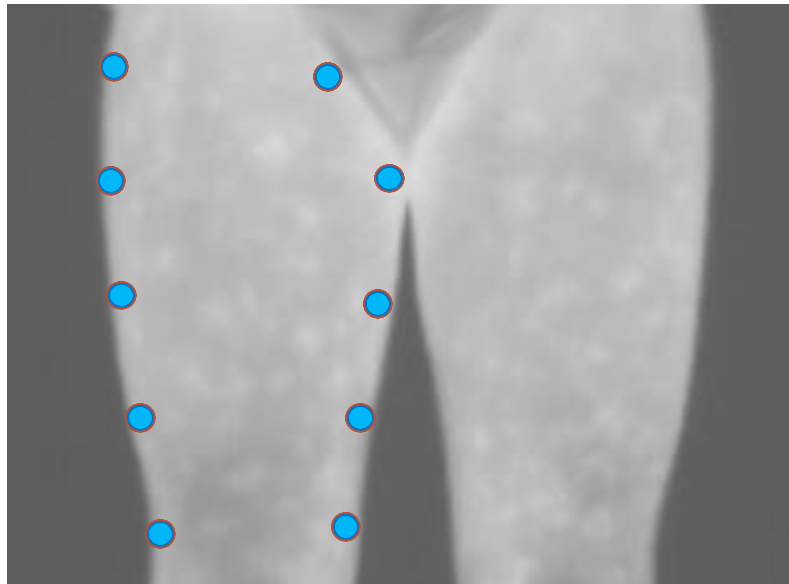


gamba

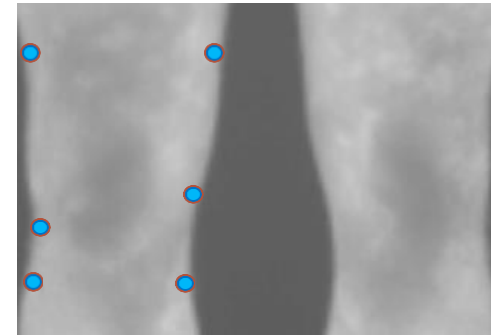


ginocchio

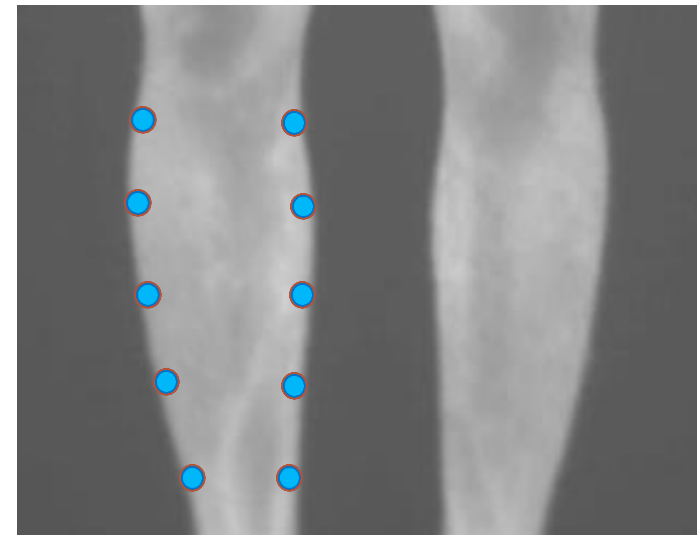
Processo di normalizzazione *selezione punti di contorno*



coscia

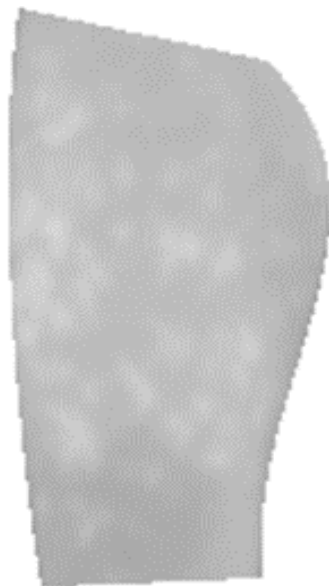


ginocchio



gamba

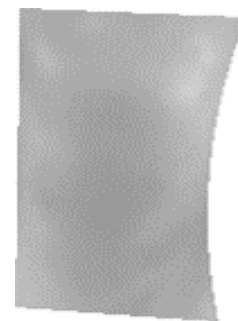
Processo di normalizzazione: *ritaglio*



coscia

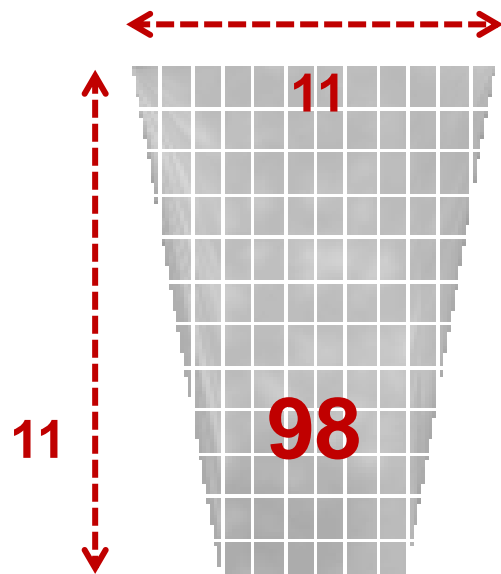


gamba

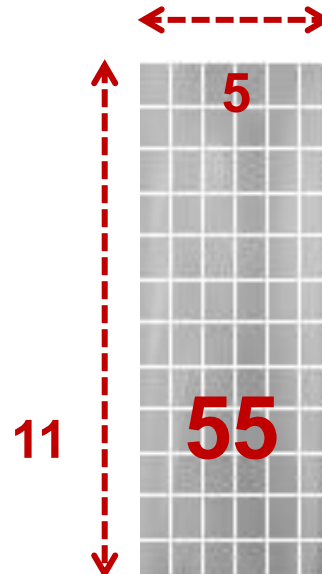


ginocchio

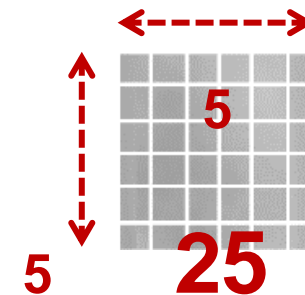
Processo di normalizzazione: *creazione griglie*



coscia

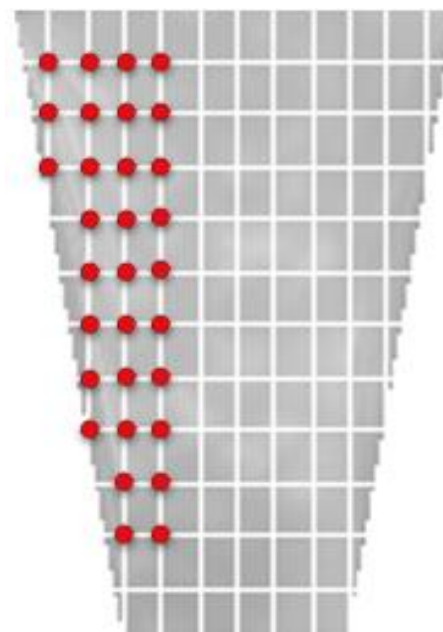
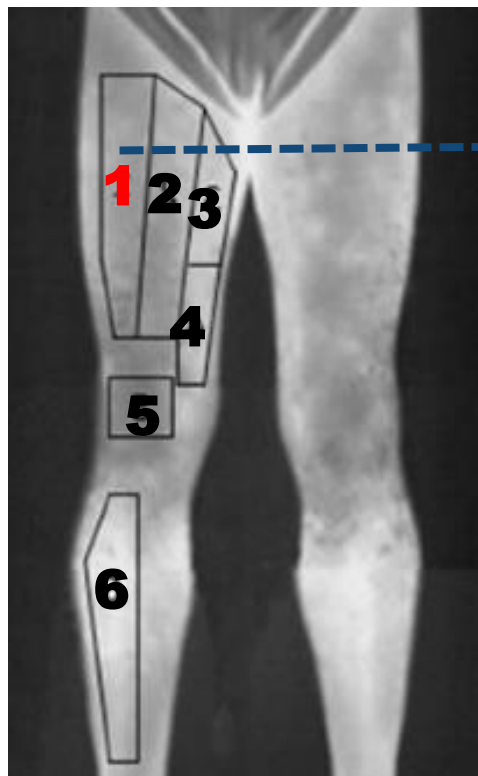


gamba



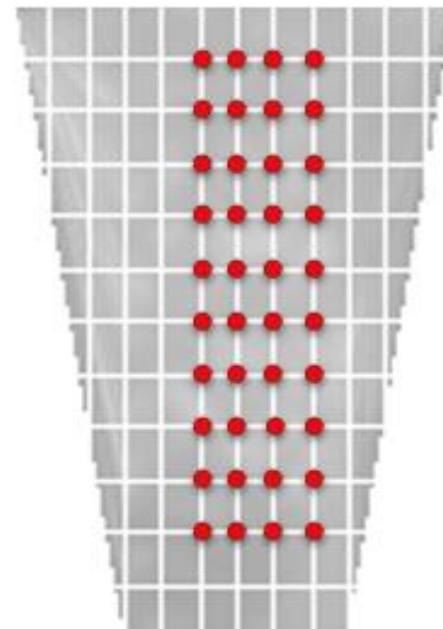
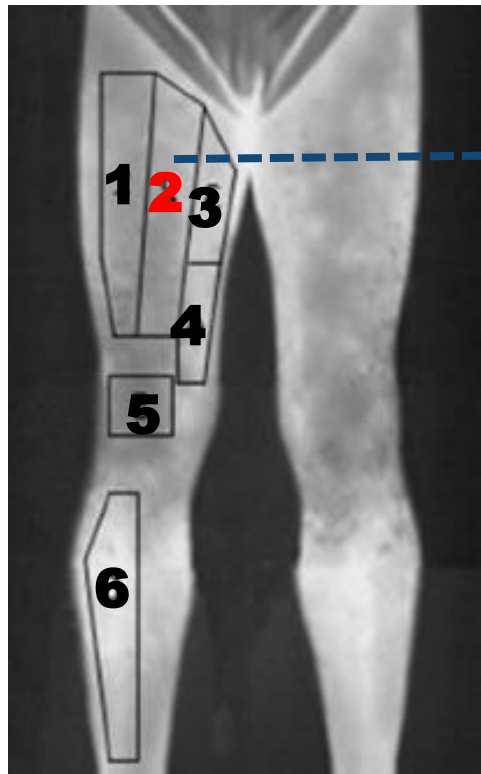
ginocchio

Processo di normalizzazione: *suddivisione in muscoli*



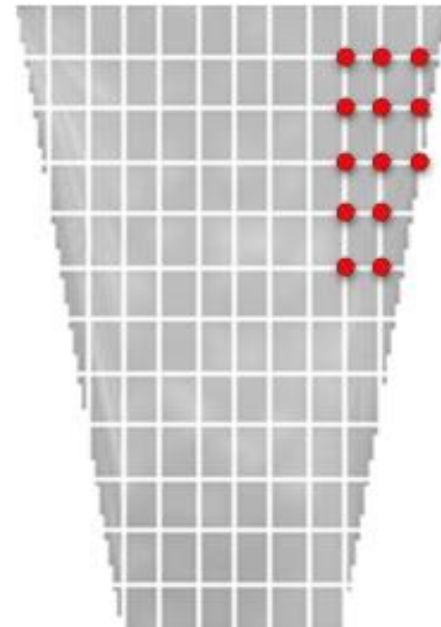
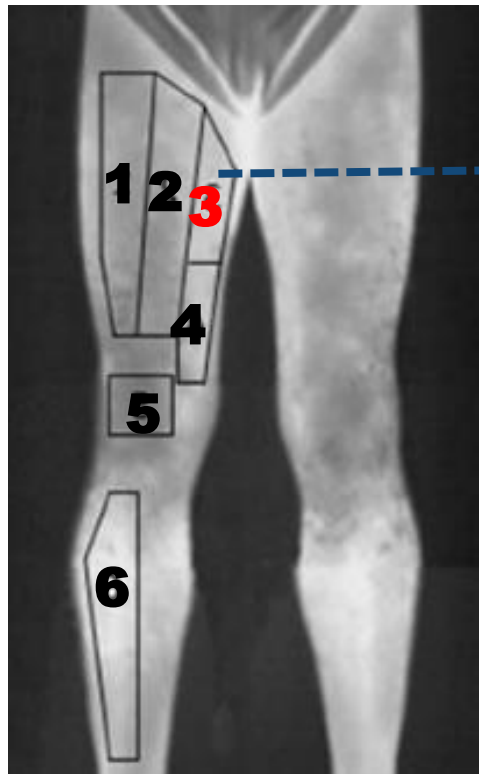
Vasto laterale

Processo di normalizzazione: *suddivisione in muscoli*



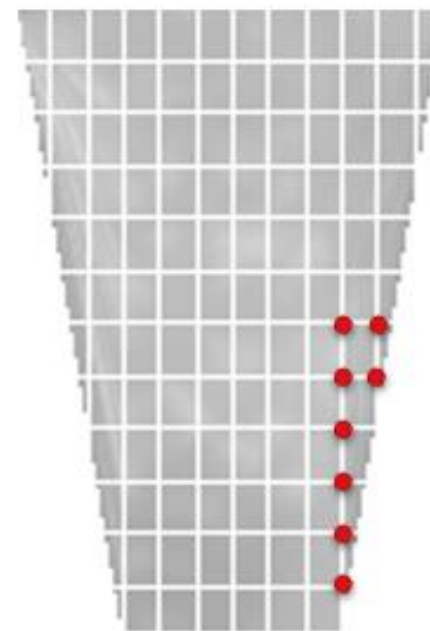
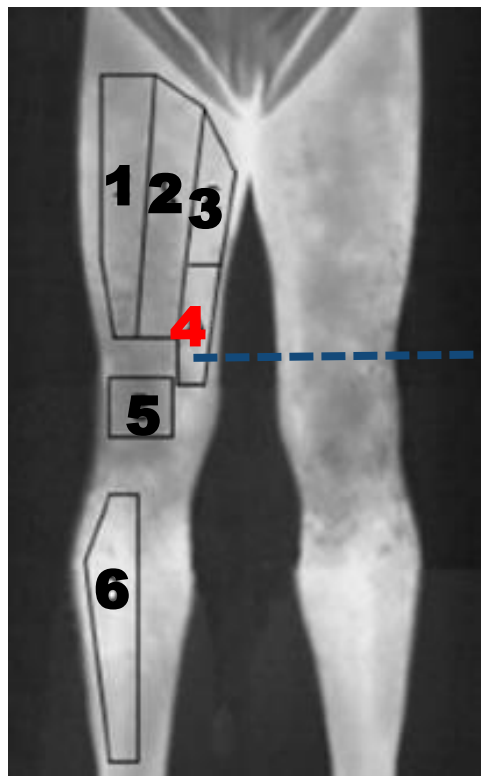
Quadricipite

Processo di normalizzazione: *suddivisione in muscoli*



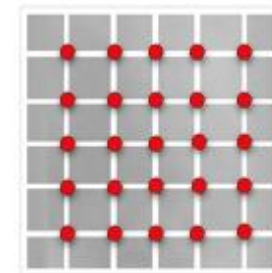
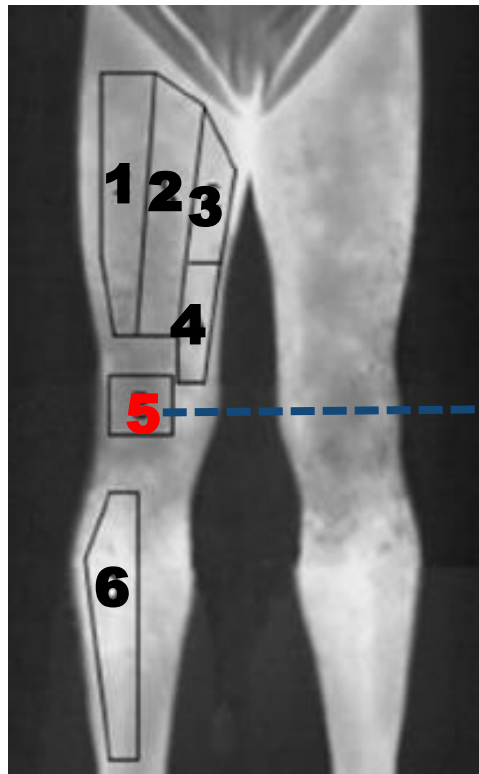
Adduttore

Processo di normalizzazione: *suddivisione in muscoli*



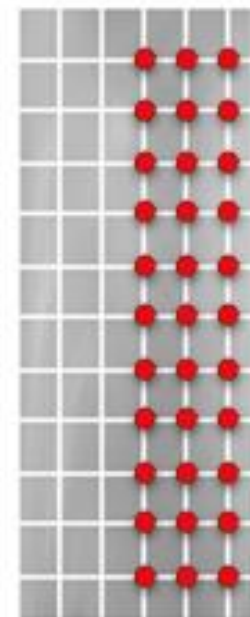
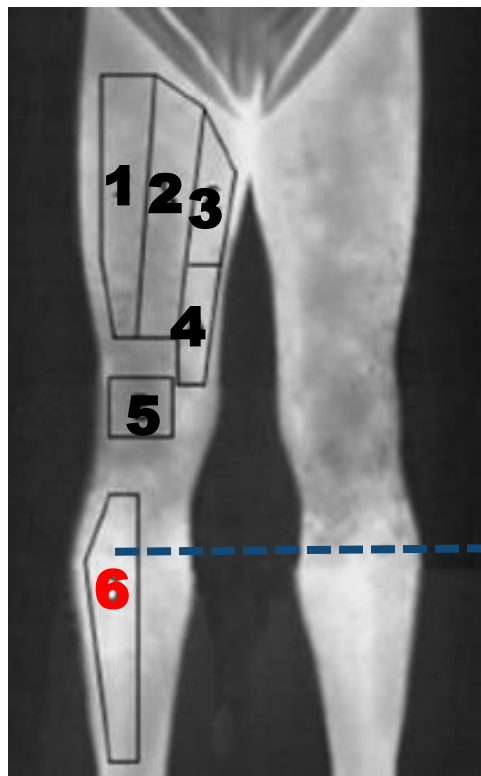
Vasto mediale

Processo di normalizzazione: *suddivisione in muscoli*



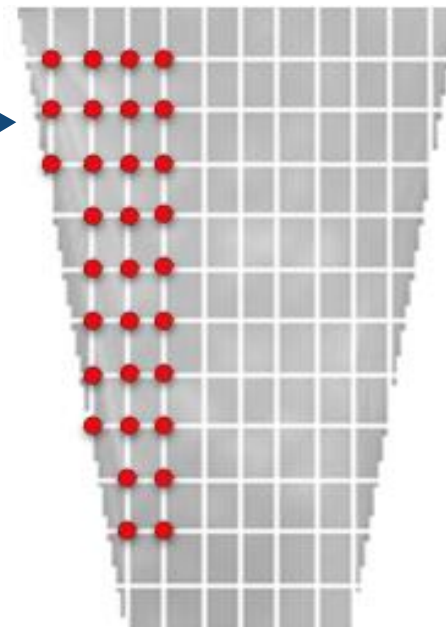
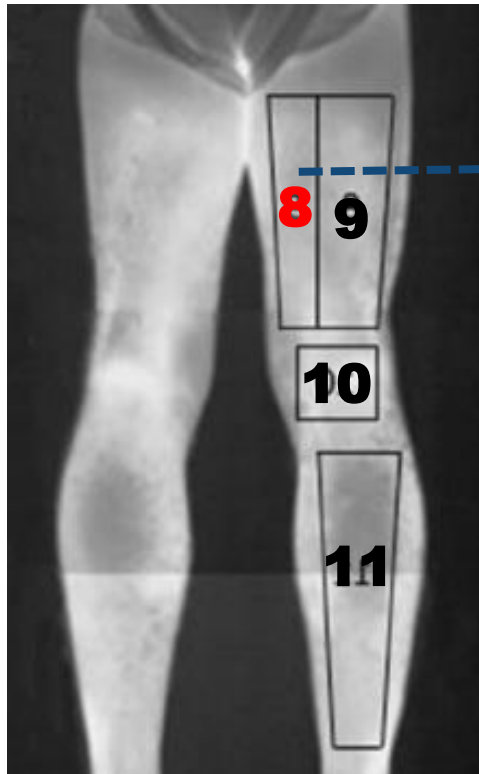
Ginocchio

Processo di normalizzazione: *suddivisione in muscoli*



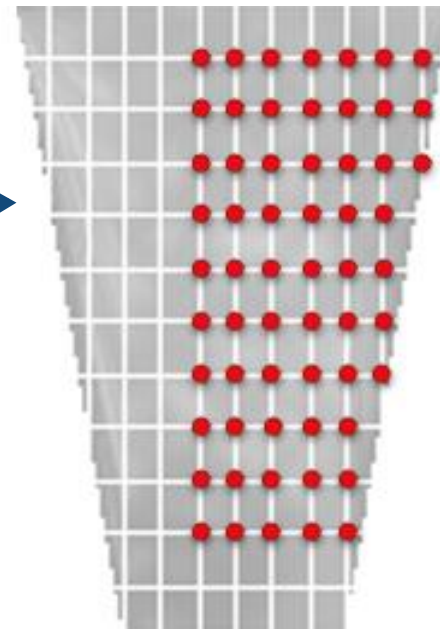
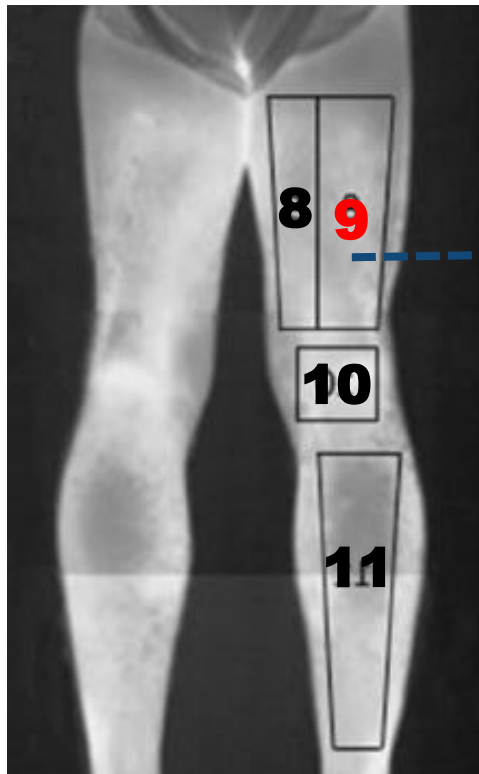
Tibiale

Processo di normalizzazione: *suddivisione in muscoli*



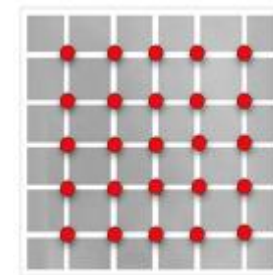
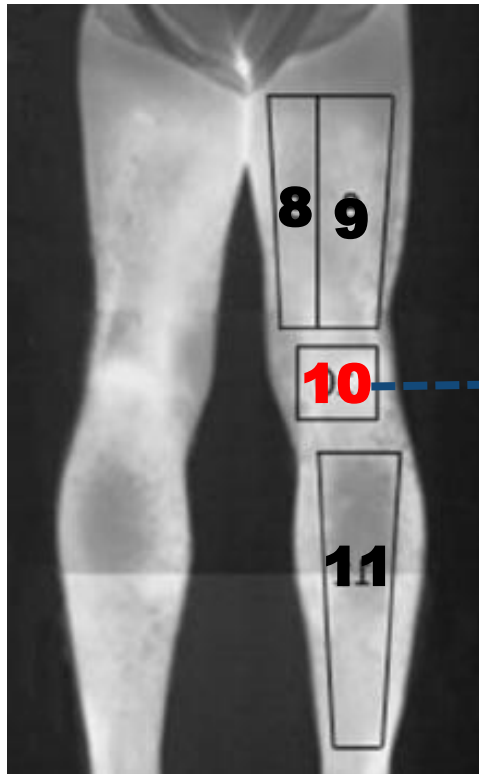
Semitendinoso

Processo di normalizzazione: *suddivisione in muscoli*



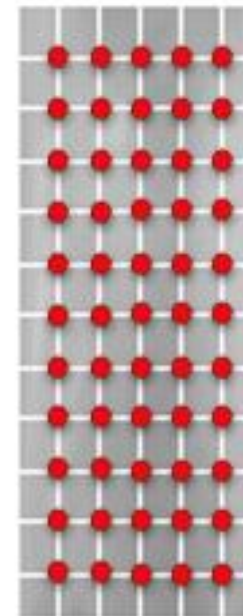
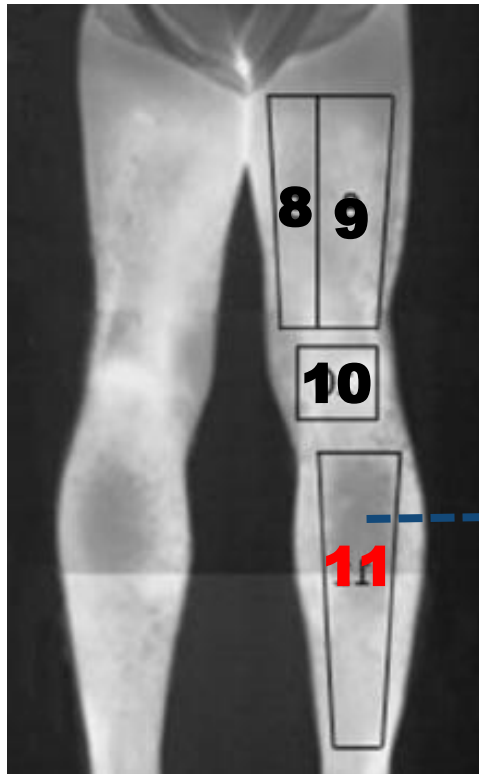
Bicipite

Processo di normalizzazione: *suddivisione in muscoli*



Popliteo

Processo di normalizzazione: *suddivisione in muscoli*



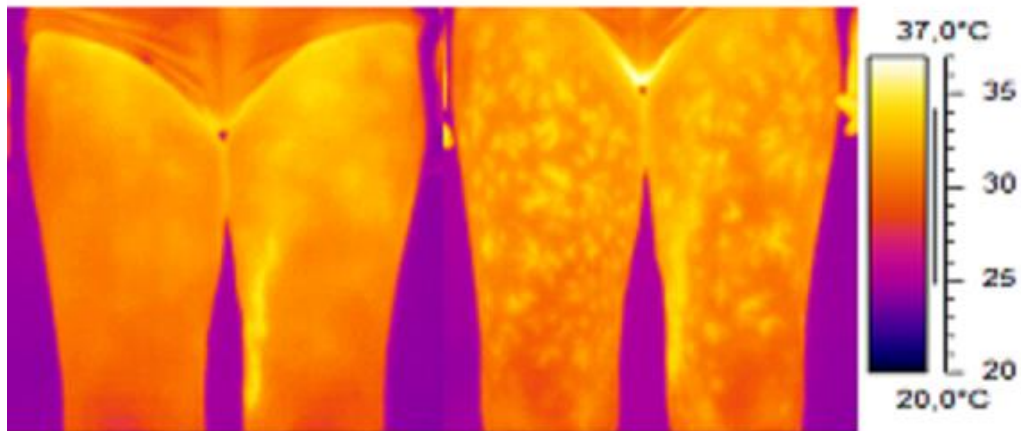
Gastrocnemio



Risultati



75

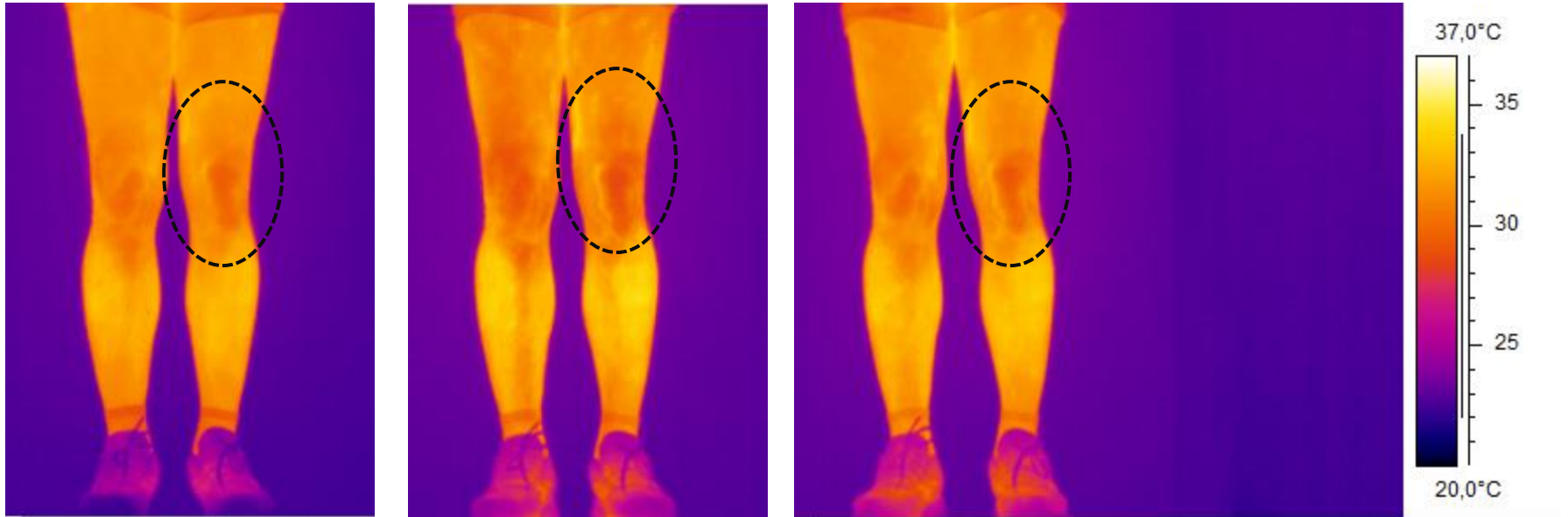




Risultati



76





Risultati



77

