

**NUOVI E VECCHI STRUMENTI
PER INDAGARE I FENOMENI IN NATURA**
Il laboratorio tra tradizione e innovazione

Firenze, 22 – 23 aprile 2026

SEZIONE TESINE BIENNIO

Menzione d'onore

Per un pugno di gradi in più. Termometri a confronto

Studenti

Camiciottoli Filippo - Corsi Andres –
Nocentini Stallabourdillon Elio Piero - Poggesi Jacopo

Classi 2A - 2B

Istituto di Istruzione Superiore

Istituto Tecnico Industriale ISIS Valdarno
San Giovanni Valdarno (AR)

Docente Coordinatore

Fabbri Giovanni

L'attività sperimentale, condotta accuratamente, è descritta in modo dettagliato con qualche limite nelle motivazioni di alcune scelte. Il lavoro è sviluppato a partire da una rassegna storica puntuale. L'impiego di una termocamera professionale e di un software di georeferenziazione porta gli studenti a misurarsi con consapevolezza con strumenti e metodi moderni. L'analisi dei risultati, attenta e accurata, è accompagnata da una appropriata valutazione critica.

RELAZIONE DEL DOCENTE

L'argomento proposto dagli studenti, provenienti da classi diverse del biennio comune di un istituto tecnico, in relazione al tema di ScienzaFirenze 2026 ovvero "Nuovi e vecchi strumenti per indagare i fenomeni in natura – il laboratorio tra tradizione ed innovazione" ha dato loro l'opportunità di approfondire la misura della temperatura, dando una nuova veste ed importanza al semplice strumento termometro. Il confronto tra strumenti diversi con diverse tecnologie e principi fisici di riferimento li ha entusiasmato, inducendoli a superare anche le difficoltà legate alle loro conoscenze e competenze che hanno incontrato nel costruire questo loro percorso. E' stato opportuno che comprendessero, innanzitutto, che dovevano contestualizzare gli strumenti che volevano usare nel progetto sperimentale intrapreso, attraverso una semplice ma opportuna ricerca storica: questa avrebbe fatto vedere loro come la fisica, la scienza e la tecnologia si sono evolute e che un semplice termometro poteva essere simbolo dell'evoluzione stessa dell'uomo pur nel semplice gesto di una misura di temperatura. Il progetto intrapreso, pur nella sua semplicità operativa, ha comunque presentato difficoltà operative ed interpretative dei dati raccolti: le loro conoscenze e competenze hanno consentito loro sì di comprendere le problematiche incontrate ma non di trovare appieno le soluzioni operative. Hanno compreso come in laboratorio non sempre tutto "torna" ma occorre continuare a provare per affinare il risultato o per trovare le giuste chiavi di lettura per raggiungere lo scopo che si erano prefissato. Un elemento importante è stato il fattore tempo legato agli impegni scolastici ed extra scolastici di ciascuno di loro, ma il risultato ottenuto è comunque significativo per l'impegno e la passione profuse in questo lavoro. E' stato interessante come hanno costruito il confronto tra i diversi strumenti, con il materiale utilizzato in laboratorio: come già accennato, il risultato sperimentale è stato senz'altro soddisfacente, ma ha posto loro nuovi interrogativi per completarlo ed affinarlo: l'attività laboratoriale è anche questo e va saputa apprezzare anche come un'occasione di crescita personale professionale.

XXIII Edizione

Nuovi e vecchi strumenti per indagare i fenomeni in natura

"Il laboratorio tra tradizione e innovazione"

PER UN PUGNO DI GRADI IN PIU'
TERMOMETRI A CONFRONTO

INDICE

1. Introduzione
2. Breve storia della Termometria
 - 2.1. Primi esempi di misura
 - 2.2. I primi termometri – da Galileo a Ferdinando dei Medici
 - 2.3. Le prime scale termometriche
 - 2.4. Il termometro a mercurio
 - 2.5. L'avvento delle scale termometriche
 - 2.5.1. La scala Fahrenheit (1724)
 - 2.5.2. La scala Reaumur (1730)
 - 2.5.3. La scala Celsius (1742)
 - 2.5.4. La scala Kelvin (1848)
 - 2.6. La tecnologia del XIX e XX secolo
 - 2.6.1. I termometri a resistenza
 - 2.6.2. Le termocoppie
 - 2.6.3. Termometria di precisione moderna
3. Termometri moderni di uso comune e loro funzionamento
 - 3.1. Termometri a mercurio e galinstan
 - 3.2. Termometri digitali a resistenza
 - 3.3. Termometri a cristalli liquidi
 - 3.4. Le termocoppie
 - 3.5. Termometri a d infrarossi e termocamere
4. Termometri a confronto: la nostra esperienza
 - 4.1. Osservazioni sulle due prove
5. Conclusioni
6. Bibliografia
7. Ringraziamenti

1. INTRODUZIONE

La scelta dell'argomento che abbiamo deciso di trattare e con cui abbiamo deciso di partecipare alla XXIII Edizione di ScienzaFirenze rientra nei percorsi curriculari dell'Istituto Tecnico Tecnologico di cui facciamo parte, in quanto interessa la Termologia ed in particolare la misura della Temperatura.

Non è solo affacciandoci al Laboratorio di Fisica che abbiamo cominciato a misurare la temperatura: se partiamo dai nostri primi anni di vita, il termometro a mercurio o digitale è stato il classico strumento per misurarci la "febbre". Il concetto di caldo o freddo per un caffè, una cioccolata o una bibita, o per il meteo, l'uso dei termoscanner nel periodo Covid, la giusta temperatura di un piatto cucinato, ci indicano come la misura di questa grandezza fisica faccia parte della nostra vita quotidiana. E come gli strumenti che la accompagnano si siano evoluti nell'applicazione di leggi o principi tanto diversi tra loro.

Abbiamo deciso di provare a confrontare vari tipi di termometro, effettuando un campo di misure di temperatura sulla stessa superficie, per poi provare a discutere i risultati ottenuti e i fattori che potessero incidere sulle differenze o gli errori riscontrati.

Data proprio la diversità degli strumenti utilizzati, come i principi fisici e la tecnologia che li contraddistinguono, abbiamo all'inizio analizzato il percorso storico della misura della temperatura, e di pari passo l'evoluzione scientifica che ne consegue. Pur con le nostre limitate conoscenze matematiche e fisiche, siamo consapevoli che non si può conoscere ed usare la tecnologia attuale se non ne conosci la storia e la sua evoluzione nel tempo. Abbiamo inoltre imparato come scrivere una tesina scientifica, lavorare in gruppo, passandoci i dati tra di noi, incontrandoci tutte le settimane e facendo incontri con professionisti che ci hanno aiutato nella elaborazione dei dati che abbiamo raccolto.

2. BREVE STORIA DELLA TERMOMETRIA

La seguente trattazione è stata ricavata dai riferimenti [1] della bibliografia

2.1 - PRIMI ESEMPI DI MISURA

Prima che esistessero i termometri, le persone dovevano stimare le differenze di temperatura in modo semplice e spesso soggettivo con il tatto. Questo metodo soggettivo e quindi soggetto ad errori, lo possiamo notare nella medicina antica. Il medico greco **Ippocrate** (ca. 460–370 a.C.) raccomandava di valutare la temperatura del paziente toccandogli la fronte o le mani. Si trattava di una delle prime forme di diagnosi utilizzate ancora oggi.

Anche gli antichi filosofi si interessavano ai concetti di caldo e freddo. Poiché non disponevano ancora di metodi scientifici, interpretavano la temperatura basandosi su fenomeni naturali e principi filosofici, condizionando talvolta il pensiero e l'agire nei secoli successivi. Due dei pensatori più importanti in questo campo furono **Empedocle** (V secolo a.C.) e **Aristotele** (IV secolo a.C.). Il primo sviluppò la teoria dei quattro elementi, secondo la quale tutto è costituito dalle quattro sostanze fondamentali: fuoco, acqua, aria e terra. Il calore era associato al fuoco e all'aria, mentre il freddo all'acqua e alla terra. Il secondo ampliò le idee di Empedocle e sviluppò un modello in cui il caldo e il freddo agivano come principi opposti. Il calore era associato all'ascesa (ad esempio all'aria calda o alle fiamme), mentre il freddo portava alla condensazione e al raffreddamento.

Pur con i limiti legati alle conoscenze scientifiche del tempo, si faceva strada la capacità di osservare il comportamento dei materiali quando sono riscaldati o raffreddati, ed in particolare quello dell'aria (espansione o contrazione del volume) aprendo la strada all'idea della costruzione dei primi strumenti di misurazione della temperatura nel XVI e XVII secolo.

2.2 I PRIMI TERMOMETRI – da Galileo a Ferdinando dei Medici [1]

Verso la fine del XVI secolo ebbe inizio nella storia della termometria lo studio sistematico della misurazione della temperatura. Uno dei primi sviluppi significativi fu il termoscopio, utilizzato per la prima volta per

osservazioni fisiche: fu attribuito a **Galileo Galilei** (ca. 1593) anche se all'epoca si conoscevano dispositivi simili. Il termoscopio era un dispositivo semplice che consentiva di rendere visibili le variazioni di temperatura. Consisteva in una sfera di vetro piena d'aria, che attraverso uno stretto tubo entrava in un recipiente pieno d'acqua. Quando l'aria nella palla si riscaldava, si espandeva e spingeva verso il basso l'acqua contenuta nel tubo. Quando l'aria si raffreddava, si contraeva e l'acqua risaliva.

La mancanza di una scala apposita per la misurazione della variazione della temperatura, rendeva lo strumento limitato in quanto il comportamento dell'aria era legato anche alla variazione di pressione. Ciò determinò la ricerca di liquidi come il mercurio o l'alcool che non fossero legati come l'aria alla pressione, ma al comportamento del volume con l'aumento o la diminuzione di temperatura. Con **Santorio Santorio** (1626), si arrivò ad aggiungere una scala per registrare numericamente le differenze di temperatura. Il suo termometro era costituito da un tubo di vetro riempito di alcol e dotato di una scala. Tuttavia, non ancora completamente indipendente dalla pressione dell'aria.

Un altro grande progresso venne da **Ferdinando II de' Medici**, Granduca di Toscana e appassionato scienziato naturalista. Sotto il suo patrocinio, i ricercatori dell'**Accademia del Cimento** svilupparono un termometro che utilizzava alcool o vino come fluido di misurazione, che aveva un capillare sigillato, il che lo rendeva meno influenzato dalle fluttuazioni della pressione dell'aria.

2.3 LE PRIME SCALE TERMOMETRICHE [1]

Con l'avvento dei primi termometri si presentò il problema dell'uso di una scala uniforme per la misurazione della temperatura, con l'adozione di opportuni punti che permettessero la definizione della corretta unità di misura. L'astronomo e fisico danese **Ole Romer** (1701) fu uno dei primi a sviluppare una scala di temperatura sistematica, utilizzando il punto di congelamento dell'acqua a 7,5° e quello di ebollizione a 60°, costruendo così una prima suddivisione in gradi. Quasi nello stesso periodo, **Isaac Newton** propose una scala di temperatura maggiormente basata sull'esperienza pratica. Invece di utilizzare punti fissi assoluti come il punto di congelamento o di ebollizione dell'acqua, Newton fu il primo nella storia della termometria a orientarsi sui fenomeni quotidiani della temperatura e ad assegnare loro valori su una scala, tra i quali "l'aria fredda in inverno" come punto di riferimento basso e "i carboni ardenti nel fuoco della cucina" come punto fisso superiore. Il proliferare di scale termometriche, tuttavia, non aiutò lo sviluppo di una corretta termometria. Solo nel XVIII secolo con l'avvento di scienziati come Daniel Gabriel Fahrenheit, Anders Celsius e René Antoine Ferchault de Réaumur furono sviluppate scale generalmente accettate, che divennero la base della moderna misurazione della temperatura.

2.4 IL TERMOMETRO A MERCURIO [1]

Nel 1724, il fisico tedesco **Daniel Gabriel Fahrenheit** introdusse una delle prime scale di temperatura standardizzate. Sviluppò anche il primo termometro a mercurio affidabile, che consentiva misurazioni più accurate rispetto ai precedenti termometri ad alcol.

I benefici del mercurio:

- Rimane liquido in un ampio intervallo di temperature (da -39 °C a 357 °C).
- Si espande linearmente, consentendo misurazioni più accurate.
- Non evapora facilmente, il che prolunga la durata del termometro.

2.5 - L'AVVENTO DELLE SCALE TERMOMETRICHE [1]

2.5.1 - LA SCALA FAHRENHEIT (1724)

Grazie a queste proprietà, il termometro a mercurio è diventato il metodo standard per la misurazione della temperatura in ambito scientifico e tecnologico.

Fahrenheit stabilì tre punti fissi per la sua scala di temperatura:

- **0 °F** : la temperatura più bassa raggiunta con una miscela di ghiaccio, acqua e idrossido di ammonio
- **32 °F** : punto di congelamento dell'acqua
- **96 °F** : Temperatura corporea di una “persona sana”
- **212 °F** : punto di ebollizione dell'acqua

Questi punti fissi consentivano una scala riproducibile che funzionava indipendentemente dai singoli termometri. La scala Fahrenheit divenne rapidamente popolare in Inghilterra e nelle colonie britanniche, ma fu sostituita dalla scala Celsius nella maggior parte dei paesi durante il XIX e il XX secolo.

2.5.2 – LA SCALA REAUMUR (1730) [1]

Nel 1730, lo scienziato francese **René Antoine Ferchault de Réaumur** sviluppò una scala di temperatura per termometri ad alcool che fu utilizzata a lungo in Francia e in alcune parti d'Europa. Le caratteristiche della scala Réaumur erano le seguenti:

- **0 °Ré** : punto di congelamento dell'acqua
- **80 °Ré**: punto di ebollizione dell'acqua

Réaumur scelse una divisione in 80 gradi perché presupponeva che l'alcool si espandesse linearmente con la temperatura. Tuttavia, questa ipotesi si è rivelata imprecisa perché i liquidi si espandono in modo diverso a diverse temperature.

La scala Réaumur fu utilizzata principalmente in Francia, Italia e Russia, ma perse importanza nella storia della termometria con l'introduzione della scala Celsius.

2.5.3 – LA SCALA CELSIUS (1742) [1]

Nel 1742 l'astronomo e fisico svedese **Anders Celsius** sviluppò una nuova scala di temperatura, che in seguito divenne lo standard internazionale . A differenza della scala Fahrenheit, la scala Celsius utilizzava una divisione decimale , che consentiva un utilizzo intuitivo.

Con Celsius ed i suoi allievi fu proposta una scala di temperatura con due punti fissi a pressione normale:

- **0 °C** : Punto di congelamento dell'acqua .
- **100 °C** : Punto di ebollizione dell'acqua .

un ordine più intuitivo che venne accettato in tutto il mondo. La scala Celsius presentava due grandi vantaggi rispetto alle precedenti scale di temperatura:

- **Facile da usare**: la divisione decimale in 100 incrementi semplifica le misurazioni e i calcoli.
- **Punti fissi precisi**: la scala si basava sulle proprietà fisiche dell'acqua (a pressione normale), riproducibili ovunque.

Grazie alla sua struttura semplice, ai punti fissi chiari e all'uso intuitivo, è diventata rapidamente lo standard internazionale. Dato che l'ampiezza del grado Celsius o centigrado e del grado Kelvin sono uguali, La scala Celsius costituisce anche la base della scala Kelvin , utilizzata in ambito scientifico. Si applica quanto segue: **0 °C = 273,15 K**.

2.5.4 – LA SCALA KELVIN (1848) [1]

Nel 1848, il fisico scozzese **William Thomson, Lord Kelvin** introdusse la prima scala di temperatura assoluta . La scala Kelvin (K) si basa sullo zero assoluto , la temperatura più bassa possibile alla quale cessa ogni moto termico. La scala Kelvin è la prima scala di temperatura assoluta fondata scientificamente. Le caratteristiche della scala Kelvin sono:

- **0 K** : Zero assoluto (-273,15 °C).

- **273,15 K** : Punto di congelamento dell'acqua (0 °C).
- **373,15 K** : punto di ebollizione dell'acqua (100 °C).

La scala Kelvin è utilizzata soprattutto in ambito scientifico, fisico e termodinamico perché è indipendente da punti fissi specifici e si basa sul movimento energetico delle particelle . La scala Kelvin è oggi la scala di temperatura ufficiale del **Sistema Internazionale di Unità di Misura (SI)** .

2.6 – LA TECNOLOGIA DEL XIX E XX SECOLO

Con l'avvento della scienza e della tecnologia moderne, in particolare con lo sviluppo dell'elettromagnetismo e dei circuiti elettrici, il XIX e il XX secolo hanno portato grandi progressi nella misurazione della temperatura. In particolare, si sono sviluppati due filoni importanti: il primo è legato al sistema di trasduzione delle variazioni di alcune caratteristiche elettriche in variazioni di temperatura, il secondo si è proteso verso lo sviluppo di nuove scale di temperatura. In tal modo la ricerca si è concentrata su metodi di misurazione più precisi e su nuove tecnologie, utili allo sviluppo industriale e scientifico.

2.6.1 – I TERMOMETRI A RESISTENZA [1]

Alla fine del XIX secolo un notevole progresso nella misurazione della temperatura fu rappresentato dall'introduzione dei termometri a resistenza che, rispetto ai termometri a liquido, hanno consentito misurazioni della temperatura altamente precise e riproducibili. Due scienziati hanno avuto un ruolo centrale in questo sviluppo:

- **Werner von Siemens** (1871) : Primi esperimenti con termometri a resistenza basati sul platino.
- **Hugh Longbourne Callendar** (1887) : Perfezionamento dei metodi di misurazione e introduzione dei termometri a resistenza al platino (PRT) per applicazioni scientifiche.

L'inventore e ingegnere tedesco **Werner von Siemens** fu il primo a rendersi conto nel 1871 che la resistenza elettrica di un filo cambia con la temperatura e può essere utilizzata come variabile di misura. Suggerì di utilizzare i metalli come sensori di temperatura perché la loro resistenza aumenta con la temperatura in modo prevedibile.

Inizialmente la Siemens utilizzò fili di rame e di ferro , ma scoprì che questi materiali non erano sufficientemente stabili per lunghi periodi di tempo. Pertanto continuò il suo lavoro di sviluppo con il platino come materiale di resistenza .

Nel 1887, il fisico britannico **Hugh Longbourne Callendar** perfezionò la termometria a resistenza e sviluppò il primo termometro a resistenza al platino (PRT) di precisione . Il platino infatti era ideale per i termometri a resistenza perché:

- offre la massima stabilità per lunghi periodi di tempo.
- mostra un aumento della resistenza quasi lineare con la temperatura.
- ha un elevato punto di fusione (1768 °C) ed è adatto ad ampi intervalli di temperatura.

La relazione resistenza-temperatura sviluppata da Callendar fu il primo approccio standardizzato alla misurazione della temperatura elettrica e in seguito divenne la base dei termometri a resistenza di platino (PRT). Oggi giorno i termometri a resistenza di platino sono i termometri elettrici più precisi.

2.6.2 – LE TERMOCOPPIE [1]

L'avvento delle termocoppie ha rappresentato uno dei metodi più versatili per misurare la temperatura e sono utilizzate in tutto il mondo nell'industria, nella scienza e nella ricerca. Si basano sull'effetto Seebeck , scoperto per la prima volta nel XIX secolo.

Il fisico tedesco **Thomas Johann Seebeck** scoprì nel 1821 che in un circuito chiuso costituito da due metalli diversi viene generata una tensione elettrica se i due punti di contatto hanno temperature diverse. Questo fenomeno è chiamato effetto Seebeck e costituisce la base delle termocoppie.

Una termocoppia è composta da due metalli diversi (spesso leghe) collegati ad entrambe le estremità (giunzioni). Una giunzione (punto di misura) viene riscaldata o raffreddata, mentre l'altra rimane a una temperatura di riferimento (o giunzione fredda). La differenza di temperatura crea una tensione elettrica direttamente correlata alla temperatura. Questa tensione è chiamata tensione termoelettrica.

Dopo la scoperta di Seebeck, la tecnologia è stata ulteriormente sviluppata: nel 1826 Jean Charles Athanase Peltier scoprì l'effetto inverso (effetto Peltier), ovvero che le correnti elettriche possono produrre differenze di temperatura.

Nel XX secolo: le termocoppie vengono standardizzate e ottimizzate per applicazioni industriali.

I vantaggi delle termocoppie sono i seguenti:

- Intervallo di temperatura molto ampio (da -270 °C a 1820 °C).
- Costruzione robusta, resistente alle vibrazioni e alle sollecitazioni meccaniche.
- Tempi di risposta rapidi alle variazioni di temperatura.
- Non è necessario alcun segnale di alimentazione esterno (autoenergia grazie all'effetto Seebeck).

A questi si associano i seguenti svantaggi:

- Precisione inferiore rispetto ai termometri a resistenza (SPRT, PRT) .
- La tensione termoelettrica non è lineare: sono necessarie tabelle di calibrazione o correzione.
- Le interferenze elettromagnetiche possono influenzare il segnale.

Le termocoppie rappresentano un metodo economico, robusto e versatile per misurare la temperatura e hanno dato prova della loro efficacia in numerose applicazioni industriali e scientifiche. Sebbene non raggiungano la precisione dei termometri a resistenza o degli SPRT, sono apprezzati per il loro basso costo, l'ampia gamma di applicazioni e gli elevati intervalli di temperatura .

2.6.3 – TERMOMETRIA DI PRECISIONE MODERNA [1]

La misurazione della temperatura si è evoluta enormemente dai primi termoscopi e termometri a liquido. Mentre i termometri precedenti erano spesso imprecisi a causa di influenze esterne come fluttuazioni della pressione dell'aria o evaporazione, i moderni termometri di precisione consentono una determinazione della temperatura estremamente accurata fino all'ordine dei microkelvin. Grazie a sensori altamente sviluppati, oggi è possibile misurare le temperature con una precisione di qualche milionesimo di grado . Questo è stato realizzato attraverso lo sviluppo di Scale internazionali volte a definire standard sempre più raffinati per la misurazione di precisione delle temperature, come l'attuale Scala Internazionale della Temperatura (ITS-90).

3 – TERMOMETRI MODERNI DI USO COMUNE E LORO FUNZIONAMENTO

Di pari passo allo sviluppo di termometri a alta precisione ed alla necessità di definire standard di misurazione più raffinati e riconosciuti a livello globale, negli ultimi decenni si sono presentati altri tipi di termometri che, per i principi fisici a cui sono legati, sono diventati di uso comune sia a livello medico, sia industriale che quotidiano.

Possiamo elencare oltre al termometro a mercurio (ora non più in uso), il termometro a galinstan, il termometro digitale, il termometro da cucina, il termometro ad infrarossi e la termocamera.

3.1 – TERMOMETRI A MERCURIO E GALINSTAN [2] [3] [13]

Nei **termometri a mercurio** e nei **termometri a galinstan** (lega liquida non tossica fatta da gallio, indio e stagno) il tubo capillare è strozzato in vicinanza del bulbo in modo che il liquido possa salire nel capillare, ma non ridiscendere anche se la temperatura si abbassa; infatti, dopo aver raggiunto la temperatura massima, il liquido, raffreddandosi, si contrae e si spezza nel punto in cui il tubo si assottiglia: la strozzatura

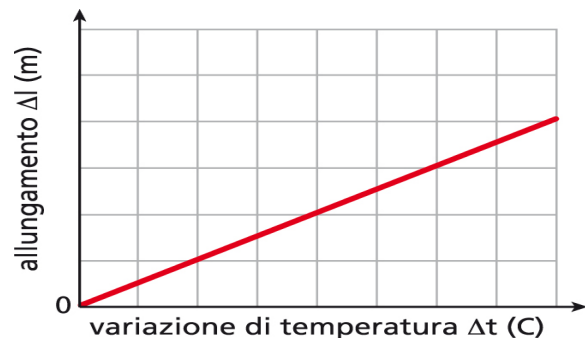
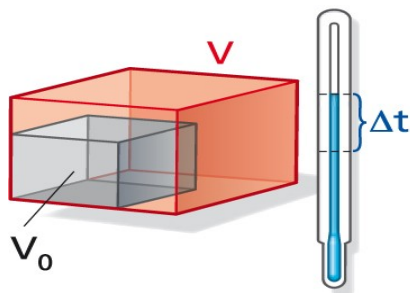
non consente così al mercurio di tornare liberamente nel bulbo. Il termometro di questo tipo si basa sulla proprietà di questo metallo di dilatarsi in modo lineare con l'aumentare della temperatura del sistema con cui viene a contatto, all'interno di un determinato intervallo di temperature.

Il mercurio (non più in uso per la sua tossicità) ed il galinstan sono metalli che si presentano liquidi a temperatura ambiente, sono dotati di una bassa temperatura di congelamento e un'alta temperatura di ebollizione.

Il principio su cui si basano simili termometri a contatto è il Principio Zero della Termodinamica, in quanto si caratterizza dal raggiungimento dell'equilibrio termico tra più corpi.

Il funzionamento del termometro a liquido è basato sulla differenza del coefficiente di dilatazione termica tra il liquido e il vetro. Esempio: il mercurio ha $\alpha=0.0001826 \text{ K}^{-1}$, mentre il vetro ha un coefficiente circa 100 volte inferiore. Il galinstan ha $\alpha=0.00018 \text{ K}^{-1}$.

È bene inoltre che il liquido termometrico abbia un coefficiente di dilatazione debolmente dipendente dalla temperatura; ciò consente infatti che la scala sia praticamente lineare.



$$V = V_0(1 + \alpha \Delta t)$$

volume iniziale (m^3)

volume finale (m^3)

coefficiente di dilatazione volumica ($^{\circ}\text{C}^{-1}$ o K^{-1})

variazione di temperatura ($^{\circ}\text{C}$ o K)

3.2 - TERMOMETRI DIGITALI A RESISTENZA

Un altro tipo di termometro costruito con una forma simile a quello clinico a mercurio è il termometro elettronico digitale. Il termometro digitale è un termometro a contatto dotato di un sensore di temperatura (termistore o termoresistenza). Il suo funzionamento si basa sul fatto che la resistenza elettrica di alcuni materiali dipende in modo sensibile dalla temperatura e queste variazioni possono essere convertite in un segnale elettrico; è proprio questo segnale che, per mezzo di un circuito elettronico alimentato da una pila e di opportune tarature, dà luogo ai numeri visualizzati su un display.

Per molti metalli, in campi di temperature limitate, può essere assunta una variazione lineare di R , con la temperatura, del tipo:

$$R(T)=R_0\cdot(1+\alpha\cdot T)$$

essendo R_0 la resistenza a 0°C e α il coefficiente di temperatura del materiale considerato. La misura della temperatura si riduce così ad una misura di resistenza, che può essere fatta con il metodo voltamperometrico oppure con il ponte di Wheatstone. In ogni caso è necessario far circolare una corrente sulla resistenza per permettere la misura della tensione.

Simili termometri hanno i seguenti pregi: sono idonei al funzionamento in ambienti ostili, linearità, dimensioni anche molto ridotte, velocità di risposta, costo contenuto.

Hanno i seguenti difetti: richiede circuito di alimentazione. La temperatura massima misurabile è più bassa di quella di una termocoppia. La sensibilità è limitata dal riscaldamento della resistenza per effetto Joule.

I termometri a resistenza sono formati da un filo metallico lungo e sottile, avvolto su un supporto isolante, e collegato a un circuito che, tramite strumenti elettronici, permette la visualizzazione, su un display in forma digitale, della temperatura a cui si trova il filo. Il platino è il metallo più usato per questo tipo di termometri, perché un filo di platino può essere prodotto con un estremo grado di purezza.

Una tipologia analoga è costituita dai termometri da cucina, utili per la cottura dei cibi, che funzionano anche con il principio delle termocoppie.

3.3 - TERMOMETRI A CRISTALLI LIQUIDI

Infine, un particolare modello di termometro è il termometro a strisce a cristalli liquidi. Si tratta di un insieme di striscette di materiale plastico contenente sostanze che assumono colore diverso a seconda della temperatura: per rilevare uno stato febbrile devono essere appoggiate sulla fronte della persona. Questi termometri si basano sulla proprietà dei cristalli liquidi (particolari sostanze organiche) di disporre le proprie molecole in strutture diverse che dipendono dalla temperatura: a seconda della temperatura, infatti, i cristalli liquidi interferiscono con la luce in modo differente cambiando colore. Purtroppo però questi termometri danno una misurazione molto approssimativa, di bassa affidabilità.

3.4 - LE TERMOCOPPIE [2] [3] [5] [13]

Ponendo a contatto due fili metallici di natura diversa e mantenendo le due giunzioni a diversa temperatura, si origina una forza elettromotrice dell'ordine di alcuni millivolt che provoca, nel caso il circuito sia chiuso, un passaggio di corrente.

Il fenomeno è noto in fisica come effetto Seebeck; il sistema dei due fili metallici diversi che sfrutta questo effetto per misurare una temperatura è detto termocoppia.

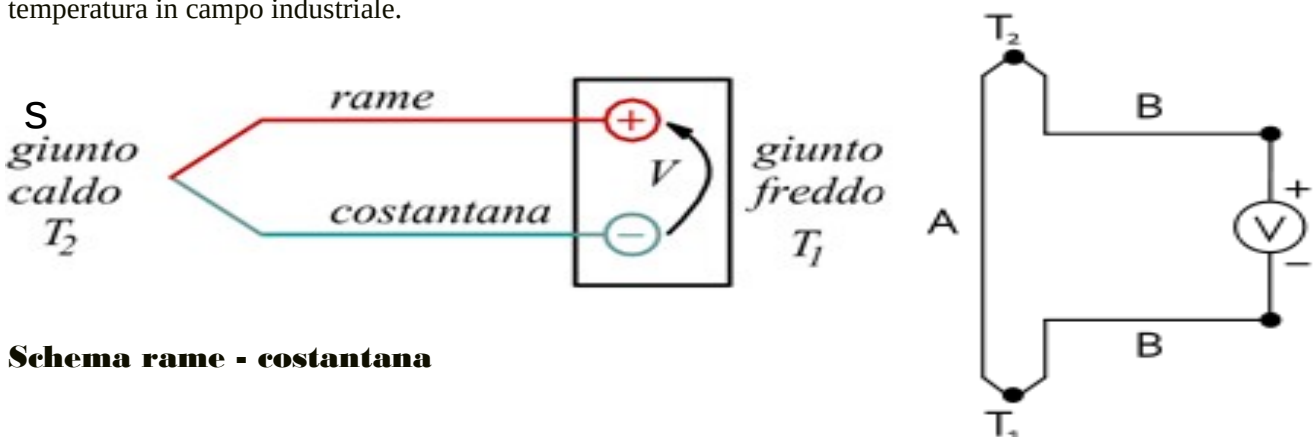
L'effetto fu scoperto accidentalmente dal fisico estone Thomas Johann Seebeck nel 1821, il quale notò la presenza di una differenza di potenziale ai capi di una barra metallica sottoposta ad un gradiente di temperatura. Egli osservò inoltre che l'ago di una bussola subiva una deflessione in prossimità di un anello costituito da due metalli differenti con le due zone di giunzione poste a differenti temperature. Ciò è dovuto al fatto che i due metalli generano potenziali elettrici differenti nelle due regioni a differente temperatura dando origine ad un flusso di corrente, il quale produce il campo magnetico che influenza la bussola.

Noti i metalli che formano la termocoppia, il valore della forza elettromotrice è strettamente collegato alla differenza di temperatura esistente fra i due giunti. Ponendo il giunto freddo a una temperatura di riferimento (per esempio bagno termostatico a 0°C in ghiaccio) e il giunto caldo a contatto con il corpo di cui si vuole conoscere la temperatura, la misura della forza elettromotrice sarà proporzionale alla temperatura alla quale si trova il giunto caldo. Esistono diversi tipi di termocoppie; le più usate sono:

tipo T: rame - costantana tipo J: ferro - costantana

tipo E: chromel - costantana tipo K: chromel - alumel

esistono poi altri tipi più pregiati, tra cui quelle a base di platino, adatte anche per altissime temperature. Ciascun tipo di termocoppia ha il suo campo di utilizzo; la possibilità di scegliere fra diversi tipi, ciascuno con il suo campo di impiego, ha fatto sì che la termocoppia sia attualmente lo strumento più usato nella misura di temperatura in campo industriale.



Nel circuito accanto il valore risultante della tensione V è data dalla formula approssimata:

$$V = (S_B - S_A) \cdot (T_2 - T_1)$$

S_A e S_B sono i cosiddetti **coefficienti di Seebeck** relativi ai due metalli, mentre T_1 e T_2 sono le temperature delle due giunzioni. I coefficienti di Seebeck sono non lineari e dipendono dai materiali, dalla loro temperatura assoluta e dalla loro struttura molecolare. Qualora i coefficienti si possano ritenere costanti nell'intervallo di temperatura considerato, la formula precedente esprime la diretta proporzionalità tra tensione V e differenza di temperatura tra le due giunzioni.

3.5 – TERMOMETRI AD INFRAROSSI E TERMOCAMERE [4] [6]

Un altro esempio di termometro elettronico è il termometro a raggi infrarossi : esso può essere messo a contatto con la pelle oppure, grazie a un puntatore, consente di effettuare la misura a distanza, seppur piccola. Questi termometri rilevano l'energia elettromagnetica (nello spettro infrarosso) emessa dal corpo, la quale è strettamente legata alla temperatura del corpo stesso. Per mezzo di un'ottica incorporata, questi termometri focalizzano l'energia in uno speciale sensore trasformandola in un segnale elettrico convertito in digitale e visualizzato su un piccolo schermo. La prontezza di questi termometri è così elevata da consentire una misurazione quasi istantanea, diversamente dagli altri strumenti presentati, che invece impiegano qualche minuto per fornire il dato.

Il termometro ad infrarossi trova la sua applicazione anche nelle termocamere che, con opportuni programmi di restituzione grafica riescono ad evidenziare la distribuzione della temperatura su superfici più ampie. Questi sono utili in campo edilizio ed in studi per il contenimento dei consumi energetici.

L'irraggiamento è il processo fisico mediante il quale il calore si propaga nello spazio vuoto. Questo consiste nell'emissione di particolari radiazioni, le onde elettromagnetiche. Tutti i corpi emettono e assorbono radiazioni elettromagnetiche. Con il termine radiazione termica di un corpo si intende l'insieme delle radiazioni elettromagnetiche emesse dal corpo per effetto della sua temperatura. In particolare, le onde che percepiamo come calore sono dette radiazioni infrarosse perché hanno frequenze minore della luce rossa.

I nostri occhi riescono ad individuare la radiazione elettromagnetica che costituisce lo spettro della luce visibile. Per tutte le altre forme di radiazioni elettromagnetiche, come gli infrarossi, l'occhio umano non è sensibile. La fonte principale della radiazione infrarossa è il calore, o la radiazione termica.

Qualsiasi oggetto ad una temperatura superiore allo zero assoluto ($-273,15^\circ\text{C}$ o 0 K), emette radiazioni nell'area dell'infrarosso. Anche se i nostri occhi non riescono a vederlo, le terminazioni nervose della nostra pelle lo avvertono come calore. Più caldo è l'oggetto, maggiore è la quantità di radiazioni infrarosse emesse. I corpi caldi emettono luce visibile, il cui colore dipende dalla temperatura. I corpi che invece si trovano a temperatura ambiente, o quelli ancora più freddi, non ci appaiono luminosi; anch'essi, tuttavia, emettono radiazioni elettromagnetiche.

Le leggi che governano l'emissione di radiazioni per un corpo a temperatura assoluta T sono :

LEGGE DI PLANCK (trasmissione di energia):

$$e = h\nu = hc / \lambda$$

dove h è la costante di Planck, c velocità della luce, λ lunghezza d'onda

LEGGE DI WIEN (legata alla lunghezza d'onda massima della radiazione alla temperatura T):

$$\lambda_{\text{max}} = b / T$$

dove T è la temperatura del corpo nero, $b = 2898$ è la costante di proporzionalità di Wien, λ_{max} è la lunghezza d'onda espressa in metri.

LEGGE DI STEFAN-BOLTZMANN (legata alla potenza emessa da un corpo a temperatura T):

$$P_e = e\sigma AT^4$$

e = emittanza o emissività della superficie del corpo; è numero adimensionale compreso tra 0 e 1 (il caso ideale

di una superficie con $\epsilon=1$ è detto corpo nero e assorbe totalmente le radiazioni elettromagnetiche incidenti)
 $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$ è una costante universale, la costante di Stefan-Boltzmann
 A = superficie del corpo (m^2)

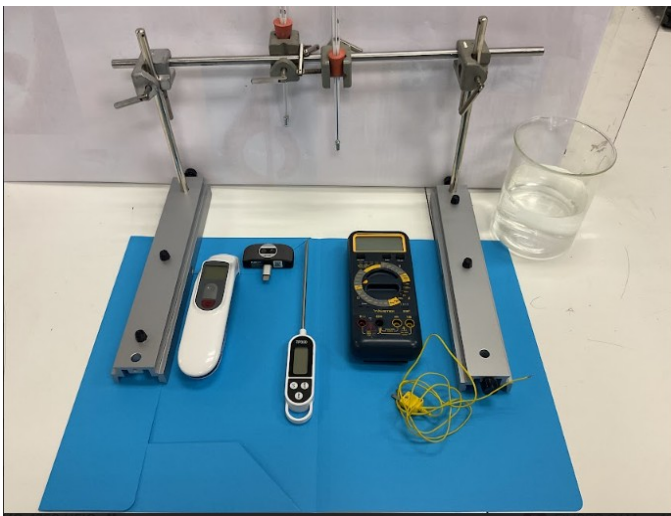
4 - TERMOMETRI A CONFRONTO: LA NOSTRA ESPERIENZA

Dopo avere affrontato l'analisi storica della termometria ed avere analizzato, anche se in maniera non approfondita, le leggi fisiche alla base della tecnologia di alcuni termometri, ci siamo proposti di effettuare noi stessi le misure di temperature utilizzando la medesima struttura e confrontando i dati alcuni di questi strumenti ci avrebbero fornito.

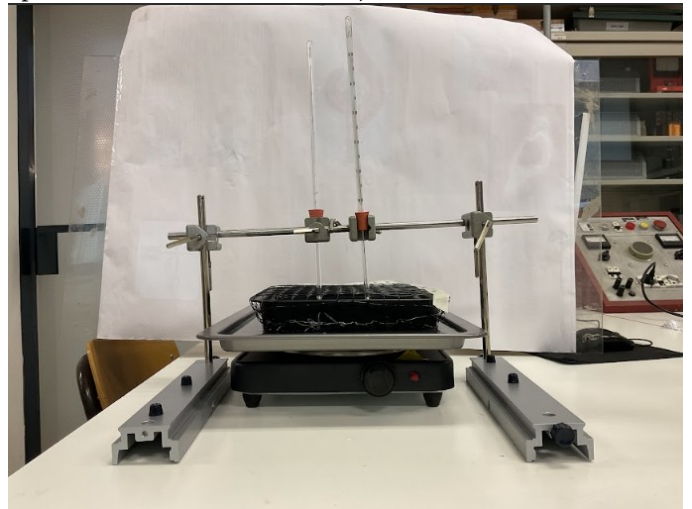
Per prima cosa abbiamo reperito, sia in laboratorio che a casa, alcuni di questi termometri ed in particolare abbiamo utilizzato.

1. n.2 termometri a bulbo (portata $-10,0^\circ\text{C}$ - $+50^\circ\text{C}$) (sens.tà $\pm 0,2^\circ\text{C}$)
2. n.1 termometro da cucina (portata -50°C $+300^\circ\text{C}$, sens.tà $\pm 0,1^\circ\text{C}$)
3. n.1 termometro a IR (sens.tà $\pm 0,1^\circ\text{C}$, precisione circa $\pm 1,5^\circ\text{C}$ o $\pm 2\%$.)
4. n.1 tester multimetro con misurature di temperatura (sens.tà $\pm 0,1^\circ\text{C}$, precisione $\pm 5\%$ rdg o $\pm 3^\circ\text{C}$)

Assieme a questi abbiamo reperito da un tecnico professionista un accessorio per scaricare su cellulare un'applicazione per termocamera (con restituzione della temperatura con sens.tà $\pm 0,1^\circ\text{C}$).



Strumenti utilizzati



Disposizione delle bacinelle e dei termometri a bulbo sullo stativo

Il confronto tra questi termometri doveva avvenire su una medesima superficie su cui avremmo costruito un reticolo per la posizione dei sensori di ciascun termometro e la rilevazione della temperatura. Inoltre doveva avvenire in due momenti diversi:

1. prima prova a temperatura ambiente
2. seconda prova con temperatura controllata

Per fare questo abbiamo reperito in laboratorio uno stativo con doppia base su cui sono stati montati due ritti ed un traverso con morsetti su cui avremmo collocato in modo fisso i due termometri a bulbo.

La superficie era costituita da una bacinella riempita di acqua sul cui bordo superiore è stata collocata una rete metallica con moduli circa $2 \text{ cm} \times 2 \text{ cm}$ che avrebbe rappresentato il reticolo cartesiano di base per la rilevazione e su due bordi perpendicolari abbiamo costruito il riferimento dei punti (a-1, a-2, b-1 ecc.).

La bacinella superiore è stata posta con 4 appoggi costituiti da cilindri metallici (pesetti reperiti in laboratorio) su una bacinella più larga ma meno spessa anch'essa riempita d'acqua; questa è stata posta sopra un fornello elettrico.

Date le caratteristiche dei termometri e della costruzione sopra descritta, abbiamo pensato di strutturare la prova sperimentale in questo modo:

PROVA N.1

- A) Prova a temperatura ambiente(fornello staccato): misura della temperatura con i termometri a bulbo: *i due termometri di eguali caratteristiche dovevano fornire la stessa temperatura. Data la loro inerzia, le due misure sono servite da base per la verifica con gli altri termometri*
- B) Prova a temperatura ambiente: misura della temperatura in prossimità dei punti di cui sopra con gli altri termometri: *questa prova doveva fornire le differenze tra le misure dei termometri e renderci conto di eventuali errori di partenza*
- C) Prova a temperatura ambiente: misura della temperature con ogni strumento nei punti del reticolo scelti dal gruppo: *questo avrebbe permesso di verificare le differenze sulla superficie nei medesimi punti o in prossimità con termometri diversi. Restituzione grafica con programma Qgis delle temperature ottenute sulla superficie* [7] [8] [9] [10] [11] [12]
- D) Prova a temperatura ambiente: restituzione grafica della termocamera posta sopra la superficie interessata: *questo avrebbe permesso un confronto tra il campo di misure puntuali di cui al punto C con una distribuzione superficiale di valori, evidenziata da mappe a colori apposite*
- E) Verifica delle distribuzioni ottenute per i termometri

A questa prima fase è seguita la prova a temperatura “controllata”, ovvero con acqua riscaldata. La prova si è svolta come la precedente, seguendo questo schema:

PROVA N.2

- a) Prova a temperatura controllata (fornello attaccato): misura della temperatura con i termometri a bulbo: *i due termometri di eguali caratteristiche dovevano fornire la stessa temperatura (temperatura scelta $35,0 \pm 0,2$ °C). Data la loro inerzia, le due misure sono servite da base per la verifica con gli altri termometri*
- b) Prova a temperatura controllata (a fornello staccato): misura della temperature con ogni strumento nei punti del reticolo scelti dal gruppo: *questo avrebbe permesso di verificare le differenze sulla superficie nei medesimi punti o in prossimità con termometri diversi. Restituzione grafica con programma Qgis delle temperature ottenute sulla superficie*
- c) Prova a temperatura controllata (a fornello staccato): restituzione grafica della termocamera posta sopra la superficie interessata: *questo avrebbe permesso un confronto tra il campo di misure puntuali di cui al punto C con una distribuzione superficiale di valori, evidenziata da mappe a colori apposite.*[7] [8] [9] [10] [11] [12]
- d) Verifica delle distribuzioni ottenute per i termometri

Le misurazioni effettuate nella Prova n.2 dovevano avvenire in sicurezza. Per la struttura che avevamo a disposizione (i cui effetti saranno commentati a commento dei risultati ottenuti) era collegata a rete elettrica e con acqua “calda”. La scelta più opportuna per la stabilità della temperatura “calda” era quella di portare l’acqua ad ebollizione (stabilità della temperatura al passaggio di stato liquido-vapore), ma questo avrebbe creato rischi per la presenza della rete elettrica e per possibili ustioni dato che era il nostro gruppo ad effettuare le misure, pur con il controllo dei docenti. La scelta di utilizzare la temperatura di 35 °C l’abbiamo condivisa pur sapendo che ciò avrebbe condizionato i risultati finali, tutelandoci da possibili pericoli in modo dal lavorare in sicurezza. I risultati sono stati i seguenti:

PROVA N.1 – A) / B) PROVA A TEMPERATURA AMBIENTE (controllo dei termometri)

<i>Termometro</i>	<i>temperatura</i>	<i>Termometro</i>	<i>temperatura</i>
Bulbo	$22,0 \pm 0,2$ °C	T. ad IR	$21,6 \pm 0,1$ °C
T. da cucina	$21,5 \pm 0,1$ °C	Tester	$21,9 \pm 5\%$ °C

Questa prima verifica indica che le temperature misurate sono sostanzialmente simili anche se il termometro tradizionale rispetto al termometro da cucina e ad IR si differenzia per circa $\pm 0,1$ °C. Possiamo ritenere in questa fase che i termometri abbiano rilevato la stessa temperatura e che il loro comportamento non sia troppo difforme nella misurazione.

PROVA N.1 - C) / D) PROVA A TEMPERATURA AMBIENTE (Misurazione nel reticolo e restituzione grafica)

Le foto in allegato indicano le misure effettuate nel reticolo scelto. Si notano differenze di colore che il programma di restituzione scelto ha evidenziato, specie per il termometro da cucina.

In questa fase abbiamo escluso la misurazione delle temperature puntuali con i termometri tradizionali a bulbo, in quanto la temperatura di equilibrio era condizionata dalla scarsa prontezza dei due strumenti. Si è notato per gli altri tre che il termometro ad infrarossi era più pronto, mentre per il tester e per il termometro da cucina l'attesa era di qualche secondo. Ciò ha fatto sì che la misurazione sul reticolo dei tre termometri avvenisse dopo circa 5 minuti l'una dall'altra. Per questa fase non ci sono stati problemi, ma questo problema si è manifestato nella seconda prova, come si potrà vedere.

PROVA N.1 - E) PROVA A TEMPERATURA AMBIENTE: Verifica delle distribuzioni ottenute

La restituzione grafica della termocamera, le cui misure sono state effettuate per ultime, ha evidenziato una temperatura uniforme di circa 22,2 °C escluso ai bordi. Tuttavia essa si discosta di circa 0,5°C rispetto ai valori puntuali dei tre termometri. Probabilmente è legato alle caratteristiche del programma di misurazione e restituzione. Per la restituzione grafica della distribuzione di misure dei tre termometri si notano differenze nella collocazioni di parti più calde o fredde, pur mantenendosi nell'acqua della bacinella una temperatura mediamente costante.

PROVA N.2 - b) / c) / d) PROVA A TEMPERATURA CONTROLLATA: misure con i termometri

La prova è stata svolta attaccando il fornello ad un valore medio di tensione per poter far scaldare l'acqua della bacinella sottostante in modo lento. Quando i termometri a bulbo hanno segnato la temperatura di 35,0 °C, la bacinella più grande segnava una temperatura di circa 46,4 °C. Il fornello è stato inizialmente abbassato e poi staccato. In questa fase la temperatura della bacinella sottostante ha continuato a salire anche poco dopo che era stato staccato il fornello, aumentando la temperatura della bacinella superiore. Il primo termometro ad essere usato è stato il tester che ha misurato la temperatura in salita. Dato che la misurazione per la prontezza dello strumento è stata effettuata in circa 5 minuti, la distribuzione delle misure per gli altri due termometri ha evidenziato questo fatto: infatti sia il termometro da cucina che il termometro ad IR hanno mostrato una diversa distribuzione di temperature con valori diversi tra loro ed in particolare con il tester.

La restituzione grafica della termocamera ha evidenziato una distribuzione più o meno uniforme di temperature con una temperatura media di circa 42,3°C. La parte più calda è stata quella più in basso nella foto allegata: i tre termometri presentano distribuzioni disomogenee specie negli spigoli della bacinella, ma non sembrano manifestare una distribuzione omogenea delle temperature.

4.1 - OSSERVAZIONI SULLE DUE PROVE

Le differenti distribuzioni tra i campi di misura delle temperature nelle due prove si legano alle caratteristiche degli stessi strumenti, alla loro sensibilità, alla loro prontezza e precisione. In queste due prove non abbiamo analizzato le problematiche dovute alle differenti caratteristiche, ma ci siamo basati sugli esiti dei valori puntuali che abbiamo riscontrato e che la restituzione grafica (anche per la termocamera) ha confermato.

Quindi hanno condizionato le misure nella seconda prova i tempi dovuti alla prontezza di ciascun termometro (più rapido per quello a IR), il riscaldamento prolungato per la prova 2 del tester, come pure la capacità termica delle due bacinelle. Questo problema doveva essere risolto perché le due bacinelle hanno differenti masse di acqua (maggiore quella superiore) che in tal modo hanno permesso (a fornello spento) una differente riduzione

delle temperature e quindi distribuzioni delle misure riscontrate.

In uno studio successivo dovrà essere analizzata l'incidenza delle due capacità termiche (quindi anche le dimensioni delle stesse bacinelle) in modo da garantire una riduzione delle temperature dell'acqua nel reticolo meno accelerata e quindi una distribuzione di misure confrontabile per i diversi strumenti adottati.

Potrà essere comunque interessante studiare le diverse precisioni, sensibilità e prontezza, e la loro influenza sulle misure, prima di effettuare una nuova serie di rilevazioni.

5 - CONCLUSIONI

Grazie a questo lavoro, abbiamo conosciuto alcuni strumenti per la misura delle temperature e, dopo aver cercato di capirne le caratteristiche, li abbiamo utilizzati alcuni per fare la rilevazione delle temperature su una superficie di acqua posta su una bacinella apposita.

Pur nella loro semplicità, gli esiti di restituzione grafica hanno dato risultati diversi che potranno essere analizzati, corretti o ridotti, sulla base di una maggiore consapevolezza della rapidità di ogni misura e delle possibilità di errore che simili operazioni comportano.

L'esperienza è stata positiva ma richiede comunque una maggiore attenzione per la riduzione degli errori fin qui segnalati.

Allegati:

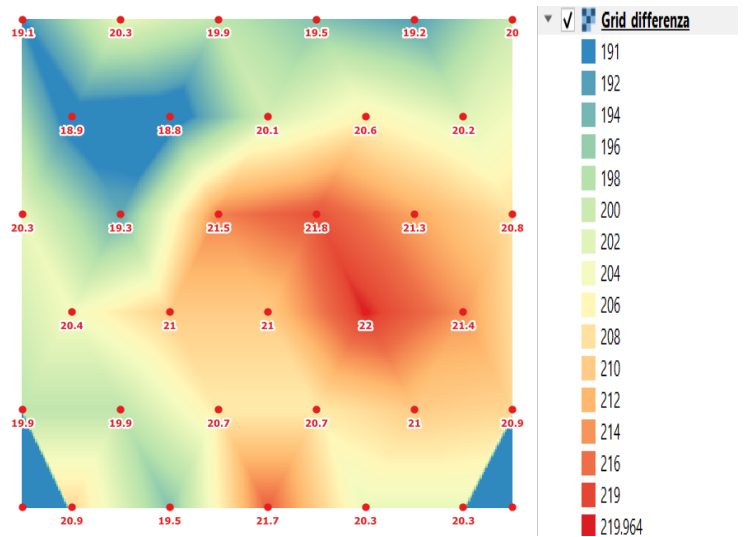
Restituzione grafica delle due prove e delle distribuzioni della termocamera

6 - BIBLIOGRAFIA

- [1] <https://klasmeier.engineer/la-storia-della-termometria-dagli-inizi-alla-precisione/?lang=it>
- [2] Pidatella, Ferrari Aggradi, Pidatella, Corso di meccanica, macchine ed energia © Zanichelli 2012 Vol.2 cap.15
- [3] Bagatti, Corradi, Desco, Ropa, Fisica dappertutto © Zanichelli Editore SpA, 2014
- [4] <https://bergamoscienza.liceomascheroni.it/wp-content/uploads/2019/01/termocamera-teoria-radiazione-ir-e-funzionamento.pdf>
- [5] https://www.roma1.infn.it/~luci/labo_termo/termometri.pdf#:~:text=Esso%20C3%A8%20costituito%20da%20un%20bulbo%20di,ha%20un%20coefficiente%20circa%20100%20volte%20inferiore
- [6] <https://www.clubfarma.it/blog/articoli/termoscanner-come-funziona-il-termometro-a-infrarossi-per-misurare-la-febbre->
- [7] Qgis. Importare file creati con cad in qgis. <https://www.youtube.com/watch?v=OpJOC4IJAYw>
- [8] Qgis. Creare campi attributi ad un file puntuale di qgis. https://www.youtube.com/watch?v=2g-AXZc_aE
- [9] Qgis. Creazione di un modello 3d in formato grid a partire da file puntuali.
- [10] https://www.youtube.com/watch?v=2pS_XLqvNm0
- [11] Qgis. Attribuire colori ad un modello 3d grid in qgis. . <https://www.youtube.com/watch?v=yPiQwveXBWE>
- [12] Qgis. Georeferenziazione delle immagini raster con qgis. <https://www.youtube.com/watch?v=gmNCLaAGKeY>
- [13] Amaldi – L'Amaldi 2.0 – Zanichelli 2010

7. Ringraziamenti

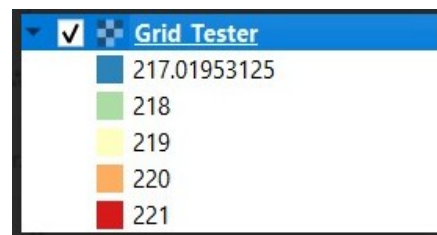
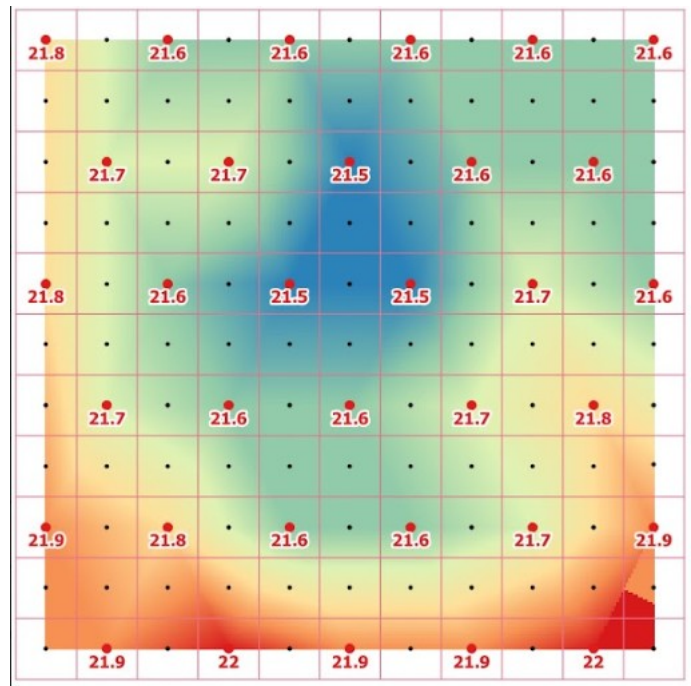
Desideriamo ringraziare il Geometra Fabio Camiciottoli che con professionalità e passione e generosità ha messo a nostra disposizione il suo programma di restituzione grafica e l'uso della termocamera, che ci ha permesso di completare l'esperienza e di confrontare i dati acquisiti.



Restituzione del programma di georeferenziazione Qgis con gradazione di colore in base alle temperature (esempio)

Grid Infrarosso

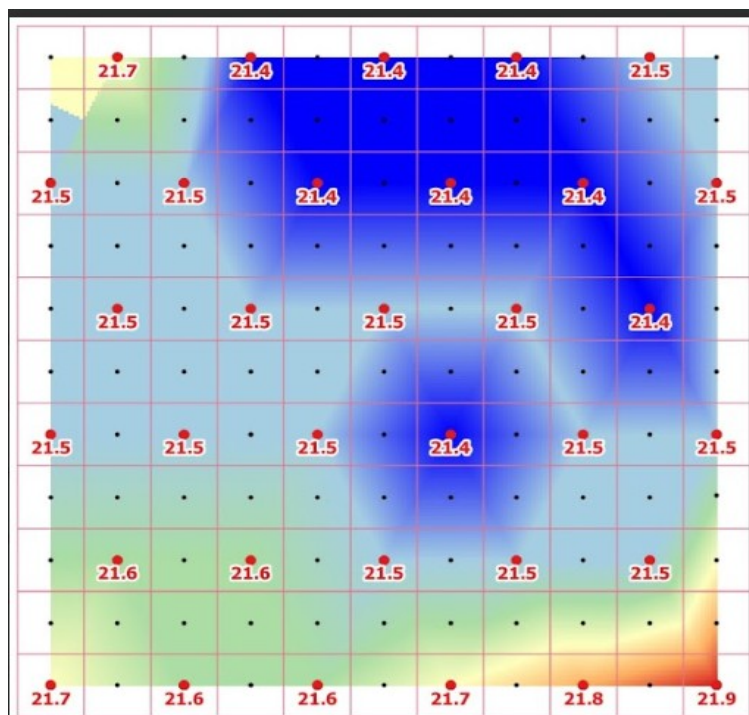
215
216
217
218
219
220

[illegible]

Prova con tester
Misure e restituzione grafica



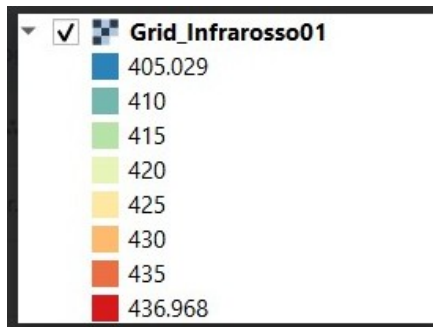
Prova con termometro da cucina
Misure e restituzione grafica



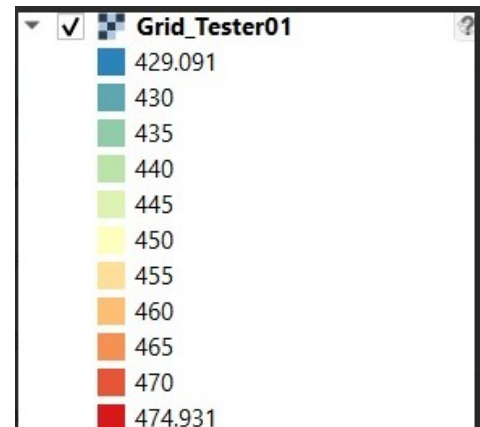
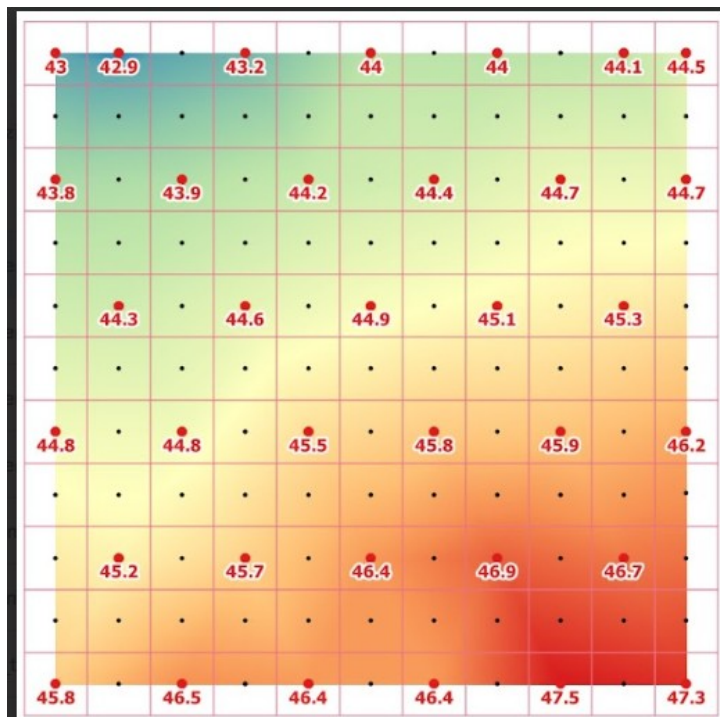
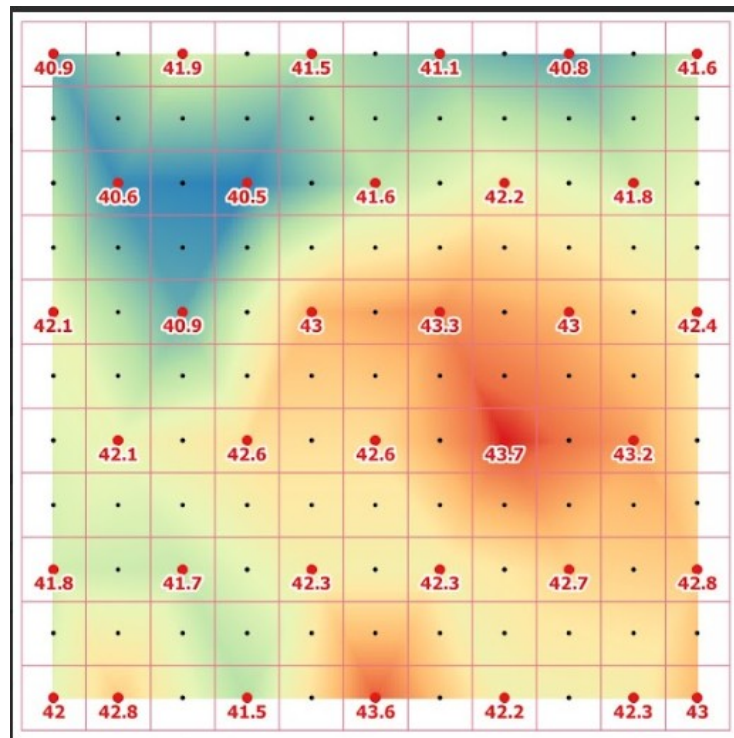
Restituzione grafica TERMOCAMERA
con indicazione dei gradi di temperatura



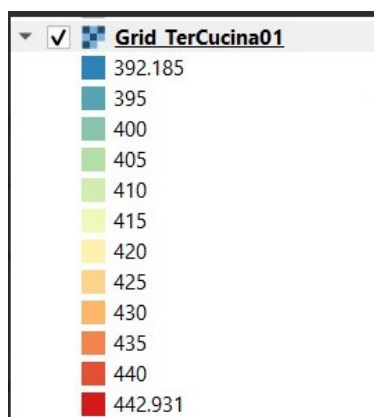
Prova n.2



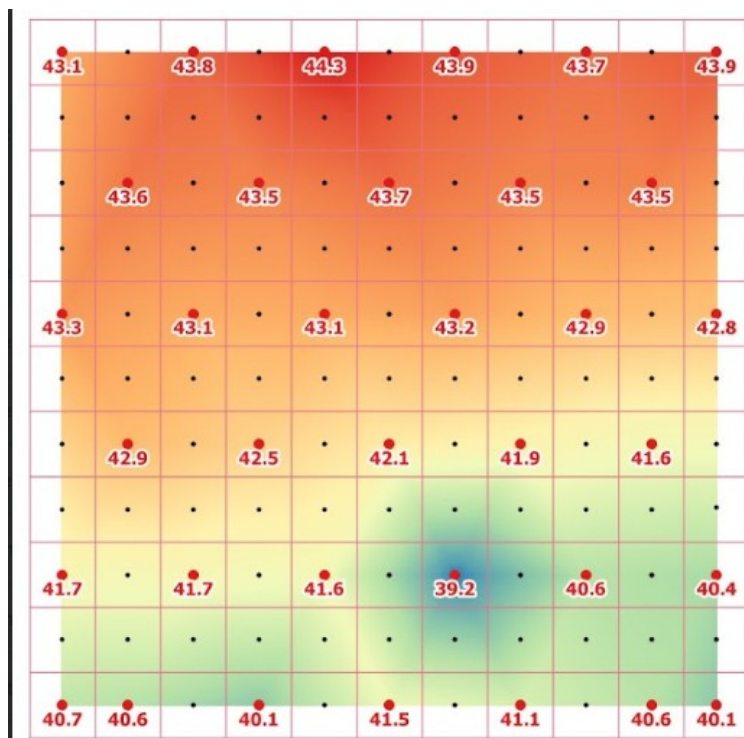
Prova con termometro a IR
Misure e restituzione grafica



Prova con tester
Misure e restituzione grafica



Prova con termometro da cucina
Misure e restituzione grafica



Restituzione grafica TERMOCAMERA
con indicazione dei gradi di temperatura

