

**biblioteca
tascabile
elettronica**

20

heinrich stöckle

come si costruisce un termometro elettronico



franco muzzio & c. editore

**misure della temperatura
da -100°C a $+1300^{\circ}\text{C}$**

biblioteca tascabile di elettronica

coordinata da Mauro Boscarol

20

franco muzzio & c. editore

Heinrich Stöckle

come si costruisce un termometro elettronico

Misure di temperatura
da $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+1300\text{ }^{\circ}\text{C}$

Con 28 figure nel testo
e 8 foto su 4 tavole

franco muzzio & c. editore

Copertina di Edgar Dambacher da una diapositiva di Armin Rudert
27 disegni di Gabriele Dahouk su schizzi dell'Autore

traduzione di Michele Grillo

© 1978 franco muzzio & c. editore

Piazza de Gasperi 12 - 35100 Padova - tel. 049/45094

Titolo originale dell'opera: « Elektronische Thermometer »

© 1971 Franckh'sche Verlagshandlung, W. Keller & Co., Stoccarda

Finito di stampare da Offset Invicta - Limena nel giugno 1978

Tutti i diritti sono riservati

Come si costruisce un termometro elettronico

1. Cenni sulla misura della temperatura	7
1.1 Cos'è la temperatura?	7
1.2 Come si misurano le temperature	10
1.3 La termocoppia	12
1.4 La termoresistenza	14
2. Termometro per alte temperature	17
2.1 Amplificatore per tensioni termoelettriche	17
2.2 Costruzione e taratura	21
2.3 Esperimenti con il termometro elettronico	28
3. Termometro per basse temperature	30
3.1 Termometro con sonda a transistori	30
3.2 Montaggio e taratura	38
3.3 Prove con il termometro a transistore	43
4. Termometro per campi ristretti	45
4.1 Termoresistenza	45
4.2 Costruzione e taratura	49
4.3 Prove con il termometro a resistenza	54
5. Termostato	56
5.1 Termometro a resistenza modificato	57
5.2 Alimentatore universale	59
5.3 Costruzione e taratura	61
6. Segnalatore di possibile gelata	64
6.1 La misura psicrometrica di umidità	64
6.2 Un po' di meteorologia	66
6.3 Il segnalatore di possibile gelata	69

6.4 Prove con il segnalatore di possibile gelata	70
6.5 Come proteggere il giardino dalla gelata	72
7. Costruzione di una custodia	73
8. Guida all'acquisto	77
9. Appendice	78
Indice analitico	80

1. Cenni sulla misura della temperatura

1.1 Cos'è la « temperatura »?

Nell'antichità le prime misure di temperatura si basarono sull'osservazione che il volume di un liquido aumenta, man mano che esso diviene più caldo.

Noi chiamiamo « temperatura » la condizione fisica correlata al volume. Questo ce lo dice il libro di fisica.

La temperatura è il livello calorico di un corpo, sia solido, liquido o gassoso. Facendo astrazione da quanto avviene negli spazi al di fuori del nostro pianeta, ogni corpo sulla terra ha una temperatura. Esso è « caldo » anche quando a noi sembra assolutamente freddo. Il vocabolo « freddo » non è un termine della fisica, perché questa conosce solamente il calore. Noi diciamo che qualcosa « è freddo »: ma è una sensazione relativa, che si riferisce alla nostra sensibilità. Anche il ghiaccio secco (anidride carbonica solida) che può provocare, se maneggiato, delle lesioni simili a scottature, è dal punto di vista della fisica « caldo ».

E allora: che cos'è la temperatura? Per tornare alla fisica: la temperatura dipende dal fatto che l'energia cinetica media degli atomi o delle molecole corrisponde alla loro energia termica. Detto in modo più comprensibile, ciò significa che gli atomi e le molecole si muovono a zig-zag (nei gas e nei liquidi) o hanno movimento oscillatori (nei solidi). L'ampiezza di questi movimenti corrisponde al loro livello di calore, cioè alla loro temperatura. Più un corpo è freddo, più rallenta il movimento. Questo cessa del tutto a $-273,16\text{ }^{\circ}\text{C}$. Questa temperatura è nota come lo zero assoluto. Nessun corpo può diventare più freddo, perché le molecole ormai sono ferme.

La variazione del volume dei corpi corrisponde strettamente alla variazione della temperatura.

Dal punto di vista della fisica non c'è più ragione quindi di distinguere fra gradi sopra o sotto (sottinteso: lo zero) e fra caldo o freddo. Un solo composto chimico di primaria importanza nella natura, e cioè l'acqua, cambia di stato a 0 °C.

A 0 °C l'acqua gela: per questo abbiamo introdotto gradi positivi e gradi negativi. Per la nostra vita di tutti i giorni è certamente utile, ma per la fisica non molto razionale.

I fisici partono con le loro misure dallo zero assoluto, che esprimono così: 0 K (da leggersi « zero gradi Kelvin »). Poiché la temperatura non può essere più bassa, esistono solo gradi Kelvin positivi. Per passare da °C (gradi Celsius o centigradi) a K ci si serve della equazione:

$$T_K = T_C + T_0 = T_C + 273,16$$

e, inversamente

$$T_C = T_K - T_0 = T_K - 273,16$$

in cui T_K = temperatura assoluta in gradi Kelvin

T_C = temperatura in gradi Celsius

T_0 = zero assoluto (-273,16 °C)

In elettrotecnica, come temperatura di riferimento per i componenti elettronici e le apparecchiature, viene preso il valore di 300 K, considerato equivalente a 25 °C. Se si fa però una verifica, si noterà che 25 °C corrisponde a solo 298,16 K. In fig. 1 vengono confrontati alcuni valori tipici che vengono spesso presi a riferimento per controlli precisi di temperatura.

I movimenti a zig-zag delle molecole sono stati intuiti da Brown, che osservò come il polline di fiori in una goccia d'acqua faccia questi movimenti, provocati dagli urti delle molecole.

La teoria sull'agitazione termica è significativamente confermata dalla emissione di luce da corpi roventi. L'agitazione termica pro-

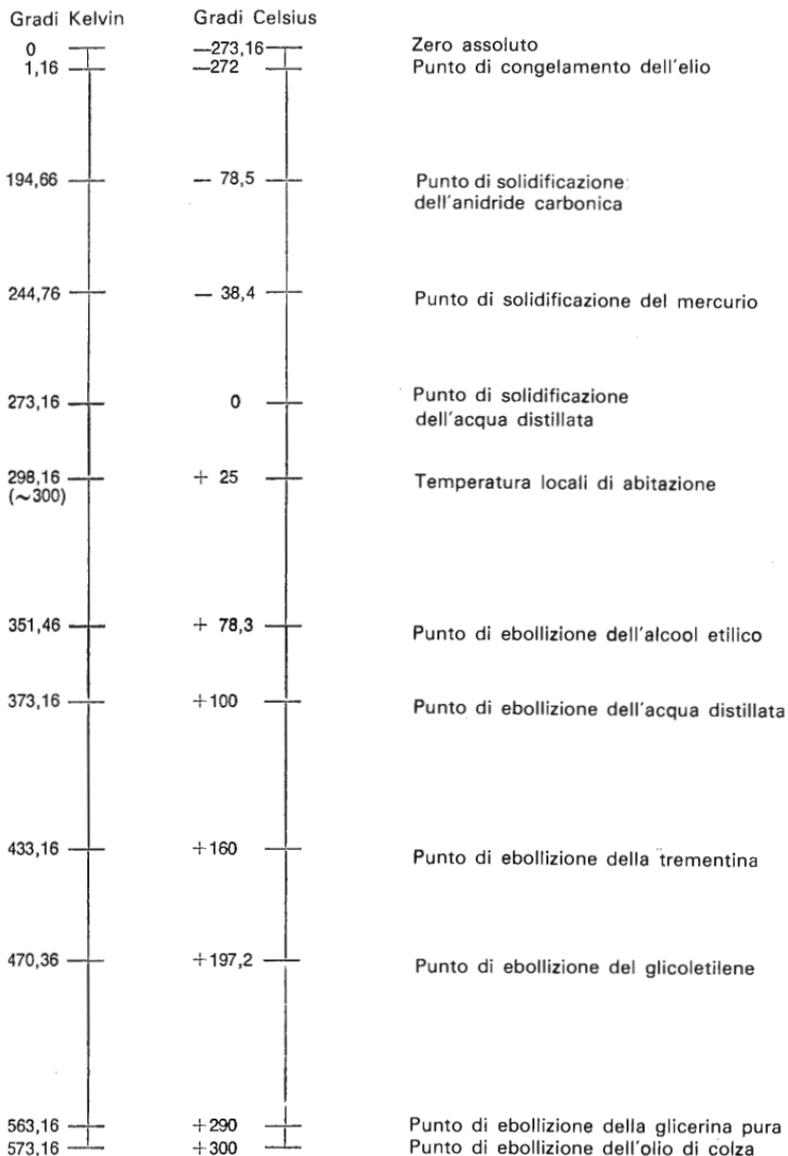


Fig. 1. Punti di congelamento e di ebollizione di alcuni composti

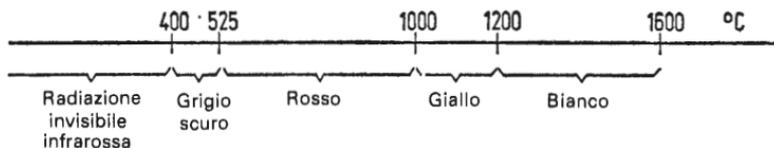


Fig. 2. Emissione di colori del ferro

voca alle alte temperature una sollecitazione degli atomi, che irradiano luce.

Il colore della luce emessa varia, avvicinandosi al bianco con l'aumento della temperatura. I colori del ferro rovente sono un esempio: a bassa temperatura il ferro è rosso scuro, per poi passare al rosso ciliegia, al giallo chiaro e al bianco. La fig. 2 illustra la correlazione fra la temperatura e il colore della luce emessa.

1.2 Come si misurano le temperature

Noi utilizziamo correntemente termometri (dal greco « termos » = caldo e « métron » = misura) a mercurio o a alcool, che ci danno la temperatura dell'ambiente circostante. Essi appartengono alla categoria dei termometri a dilatazione, che sfruttano l'aumento di volume di gas o liquidi in funzione della temperatura.

Nei termometri a liquido, lungo un tubicino di materiale trasparente è fissata una scala che indica la temperatura. Nel tubicino si trova il liquido, eventualmente colorato (come nel termometro ad alcool).

Il campo di impiego del termometro a mercurio, nella esecuzione più comune, va da $-39\text{ }^{\circ}\text{C}$ (punto di congelamento del mercurio) a $150\text{ }^{\circ}\text{C}$. Per coprire anche il campo da 150 a $356\text{ }^{\circ}\text{C}$ (punto di ebollizione del mercurio) nel tubicino si introduce anche un gas, affinché il mercurio non cominci a passare alla fase vapore già prima del punto di ebollizione, a causa del vuoto esistente nel tubicino. Per raggiungere temperature maggiori il gas si trova in pres-

sione. In questo caso al posto del vetro viene impiegato un tubicino di vetro di quarzo.

Per la misura di temperature sotto i $-39\text{ }^{\circ}\text{C}$ vengono impiegati alcool, petrolio, etere di petrolio e altri liquidi. Il termometro a pentano permette misure tra -100 e $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Al posto di liquidi si possono usare anche gas, la cui dilatazione viene sfruttata per spostare una colonnina di mercurio in collegamento col gas. Vengono usati in questo caso idrogeno, elio e azoto.

Un tipo particolare di termometro a dilatazione è denominato di massima e minima ed è costituito da due colonnine parallele, collegate alla base fra di loro. Il liquido sposta un corto ago metallico, che rimane al valore massimo anche quando il liquido si è ritirato all'abbassarsi della temperatura.

Anche i termometri metallici fanno parte dei termometri a dilatazione. Due molle di metalli con diverso coefficiente di dilatazione, rivettate alle estremità, possono essere accoppiate meccanicamente ad una punta scrivente. Si realizza così un termografo.

I termometri a resistenza (termoresistenze) si basano sulla proprietà dei metalli di presentare una resistenza elettrica specifica variabile con la temperatura; la variazione di resistenza viene misurata e indicata da un galvanometro. Per temperature fino a $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ si impiegano fili di platino avvolti a spirale su un tubetto ceramico; per temperature molto basse si passa a fili di oro o di piombo.

Una nuova versione delle termoresistenze è rappresentata da semiconduttori aventi un coefficiente di temperatura molto alto. Di essi viene trattato più diffusamente al paragrafo 1.4.

Le termocoppie si impiegano nel campo da -260 a $+1600\text{ }^{\circ}\text{C}$. Le esamineremo al paragrafo 1.3. Sono di particolare interesse perché hanno il vantaggio di permettere una misura quasi puntiforme. Disposte nel fuoco di uno specchio parabolico, possono servire per misurare la temperatura di corpi molto lontani, ad es. di stelle. Ricordiamo ancora i coni Seger, costituiti da tipi vari di argille con diverso punto di fusione. Si impiegano in genere nella

industria ceramica; dal rammollimento dei diversi coni è possibile stabilire se un forno ha raggiunto la temperatura voluta. Un metodo molto semplice consente di verificare la temperatura di lavoro di un corpo, quindi anche di un componente elettrico o elettronico, con una lacca termosensibile. Raggiungendo un definito valore di temperatura la lacca assume diversa colorazione. Occupiamoci però di un metodo che può interessare noi elettronici.

1.3 La termocoppia

La termocoppia, per la semplicità della sua struttura, ha nella tecnica un impiego molto vasto. Poiché essa sarà l'elemento base di un nostro strumento, merita di essere esaminata in modo più dettagliato. L'effetto termoelettrico ha origine quando la giunzione di due metalli diversi viene riscaldata. La giunzione è in genere ottenuta con saldatura. Ai due estremi freddi si può rilevare una tensione il cui valore dipende dalla differenza di temperatura fra la giunzione e gli estremi, nonché dal tipo di metalli impiegati.

Dalla termocoppia, se realizzata in modo opportuno, si possono ricavare anche correnti discretamente alte. È ovvio che questa energia non viene creata dal nulla: infatti occorre calore per riscaldare la giunzione.

Le termocoppie non possono essere considerate come generatori di corrente continua o trasduttori di energia: esse costano poco, ma la tensione fornita è anche molto bassa. Il suo ordine di grandezza è di 1 mV per ogni 20 °C di differenza di temperatura. Si dovrebbero pertanto collegare moltissime giunzioni in serie, in modo da formare una batteria di termocoppie, con tratti di conduttore di notevole sezione e possibilmente cortissimi; ma allora gli estremi (che dovrebbero restare alla temperatura ambiente) si riscaldano: sorgono così problemi di raffreddamento.

Al fine delle misure le tensioni termoelettriche sono comunque sufficienti, se si ha a disposizione un sensibile galvanometro o un adatto amplificatore. A meno di ricavare con una apposita tabella

il valore della temperatura in base alla tensione misurata, lo strumento deve essere provvisto di una scala speciale. Infatti la relazione fra tensione termoelettrica e temperatura non è lineare.

La fig. 3 rappresenta la curva caratteristica di una termocoppia ferro-costantana e la fig. 4 quella di una termocoppia nichelcromo-nichel. Specialmente ai due estremi le curve si allontanano dalla caratteristica ideale, segnata a tratteggio. Con la coppia nichelcromo-nichel lo scostamento sarebbe ancora trascurabile, se si tiene conto che gli strumenti correnti hanno già un rispettabile errore del 2,5%. Occorre poi sommare l'errore introdotto dall'amplificatore e l'errore di parallasse durante la lettura. Poiché però noi desideriamo utilizzare tutto il campo utile della termocoppia, che va da zero a 900 °C, per il ferro-costantana, e da zero a 1300 °C per il nichelcromo-nichel, dobbiamo pensare ad allestire una nuova scala, in quanto strumenti con 900 o 1300 divisioni non sono di produzione corrente.

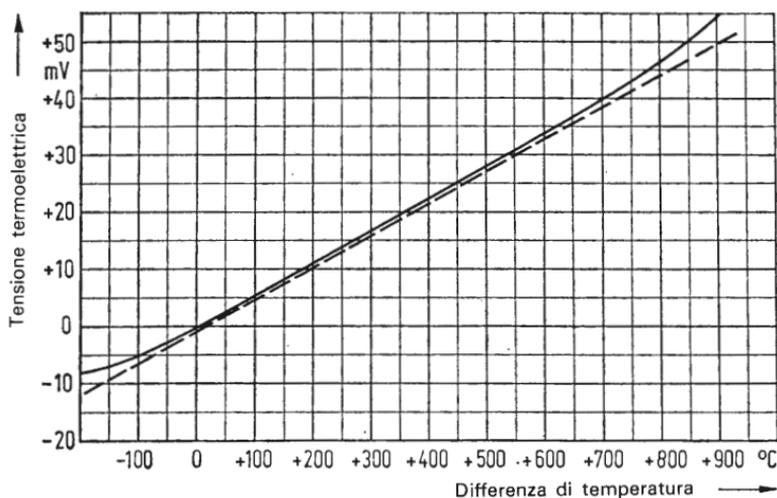


Fig. 3. Tensione termoelettrica della coppia ferro-costantana in funzione della differenza di temperatura

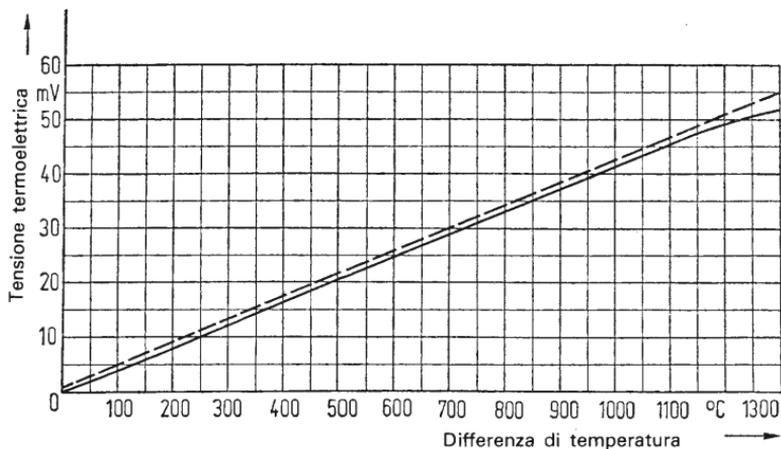


Fig. 4. Tensione termoelettrica della coppia nichelcromo-nichel in funzione della differenza di temperatura

La termocoppia ferro-costantana, di costo modesto, può essere impiegata fino a 900 °C. La coppia nichelcromo-nichel non è molto più costosa ed è quindi ancora abordabile; essa permette misure fino a 1300 °C. Nei capitoli che seguono viene preso in considerazione sempre questo tipo.

1.4 La termoresistenza

Le termoresistenze classiche consistono in una spirale di filo di platino, avvolta su un supporto ceramico, che può essere portata a temperature abbastanza alte. Viene sfruttata la proprietà dei conduttori metallici per cui la loro resistenza specifica aumenta con la temperatura. Ad esempio il filamento di una lampada assorbe all'accensione una corrente molto più alta di quando esso è in normale funzionamento.

Da non molto sono comparsi sul mercato dei componenti particolarmente adatti alle misure di cui ci occupiamo, costituiti da ossidi

metallici sinterizzati, che hanno un coefficiente di temperatura dieci volte maggiore di quello della termoresistenza di platino. Essi si dividono in due grandi gruppi: quelli che conducono meglio ad alta temperatura e quelli che si comportano inversamente. I primi vengono indicati come « resistenze NTC » (Negative Temperature Coefficient) o « termistori ». I secondi vengono analogamente denominati « resistenze PTC ».

La caratteristica dei termistori è logaritmica, il che complica la tracciatura della scala dell'indicatore. In fig. 5 viene riportata la curva caratteristica di un tipo minuscolo di termoresistenza che alla temperatura ambiente ha un valore di 1 kOhm. Negli schemi che illustreremo si farà impiego, per via delle ridotte dimensioni e della bassa inerzia termica, di questo tipo di sonda, adatto particolarmente alle misure di temperatura. Le resistenze PTC hanno un difetto: la loro caratteristica presenta agli estremi dei ginocchi pronunciati, che ne limitano l'impiego a campi piuttosto ristretti. Esse si prestano per esempio alla protezione di motori.

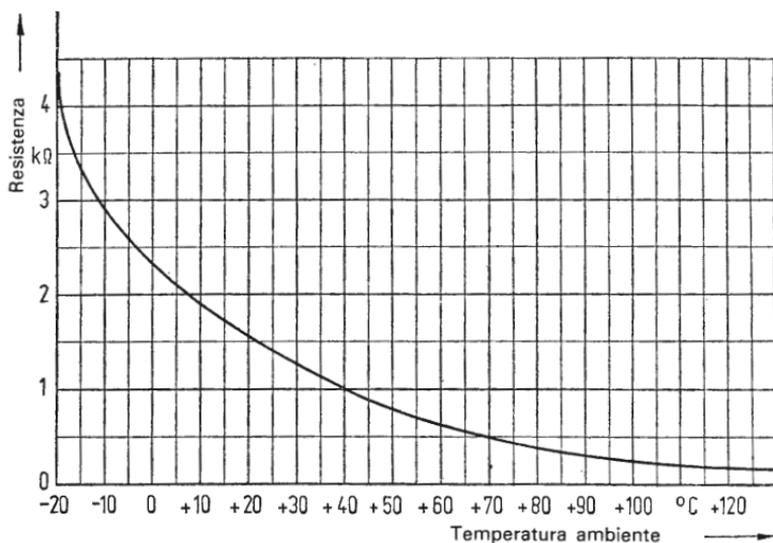


Fig. 5. Curva caratteristica di un termistore (miniaturizzato da 1 kΩ della VALVO)

La relativamente alta dipendenza dalla temperatura delle resistenze NTC, che si aggira sul 3 . . . 3,5% per grado, ne favorisce l'impiego per le misure. Si può anche diminuirla con un artificio, collegando in parallelo una resistenza fissa; la caratteristica risultante si avvicina alla linearità. Nella fig. 16 del capitolo 4 è rappresentata la caratteristica di un simile accoppiamento di resistenze. Grazie alla alta sensibilità delle resistenze NTC, si possono ancora osservare anche minime variazioni di temperatura; questi componenti perciò si prestano bene alla realizzazione di un termostato per impianto centralizzato di riscaldamento.

Al confronto delle termocoppie i termistori hanno il grosso vantaggio di essere sensibili non alla differenza di temperatura, ma direttamente alla temperatura stessa. A causa della loro alta resistenza, quella della linea — anche se lunga — non influisce sulla misura. Occorre solo fare attenzione a che la corrente che attraversa il termistore non lo riscaldi, per non falsare la misura. In genere il termistore viene inserito in un circuito a ponte, che consente una alta sensibilità.

2. Termometro per alte temperature

Nel volumetto di questa stessa collana dal titolo « Come si costruisce un circuito elettronico » è stato descritto un semplice amplificatore differenziale, che si presta anche per tensioni termoelettriche. Nel caso presente non vogliamo dedicarci a montaggi sperimentali per elettronici alle prime armi; vorremmo invece arrivare ad uno strumento di buone qualità. Il costo dei suoi componenti elettronici sarà appena superiore alle 10.000 lire: spendere di meno non sarà facile, dati i requisiti che abbiamo fissato. La spesa maggiore riguarderà lo strumento indicatore, il circuito stampato con il connettore, la custodia ecc. Volendo fare delle economie si compromette solo il risultato finale, senza poi risparmiare gran che.

2.1 Amplificatore per tensioni termoelettriche

Sarebbe veramente tempo perso e buttar via soldi, se ci mettessimo a progettare e costruire un circuito amplificatore con componenti discreti. A parte il fatto che si rischia di sudare non poco per farlo funzionare passabilmente, un circuito del genere sarebbe probabilmente più ingombrante e più costoso di un integrato operativo. L'integrato che proponiamo è veramente a buon mercato (costava tempo fa sulle 2500 lire, i prezzi comunque variano continuamente) e poi non crea problemi in quanto è dotato di stabilizzazione incorporata. In questo integrato abbiamo trovato un amplificatore di cui ci si può fidare, che corrisponde ai requisiti da noi fissati.

Naturalmente non è possibile prendere l'integrato, collegarlo e

Elenco dei componenti dello schema di fig. 6

- 1 Resistenza 680 Ω
- 5 Resistenze 1,5 k Ω
- 1 Resistenza 10 k Ω
(tutte le resistenze con tolleranza 5%, $\frac{1}{3}$ Watt)
- 2 Potenziometri trimmer a decade 10 k Ω
- 1 Diodo Zener ZF 2,7
- 1 Diodo Zener ZF 6,2
- 1 Diodo al silicio BA 209
- 1 Transistore BC 184
- 1 Amplificatore operazionale μ A 741 C, con involucro metallico
- 1 Interruttore unipolare
- 2 Morsetti 10 A, rosso e blu
- 1 Piastrina KACO n° 4
- 1 Connettore KF 22/141/4
- 2 Batterie Piatte da 4,5 V
- 1 Strumento di misura 100 μ A

aspettarsi che funzioni. Nella maggior parte delle pubblicazioni, anche quelle dei produttori, sono indicati solo dei circuiti di principio, ritenendo ovvio il resto del circuito.

Per completare lo schema occorre un po' di esperienza e affrontare la matematica. Il principiante dovrebbe quindi limitarsi a intraprendere il montaggio di schemi completi, con componenti dimensionati. Talvolta sono fonte di difficoltà le oscillazioni incontrollate cui questi amplificatori sono soggetti a causa dell'elevato guadagno. Occorre collegare allora elementi esterni per stabilizzare il circuito. L'integrato dello schema di fig. 6 è però compensato in frequenza già internamente. Ciò comporta alcuni svantaggi, che comunque nel nostro caso non hanno importanza. Un'altra difficoltà risiede nella deriva dell'amplificatore, dovuta alla temperatura: lo zero elettrico cioè non è stabile. Bisogna pertanto dimensionare convenientemente le resistenze esterne all'integrato. Le caratteristiche elettriche dei semiconduttori dipendono moltissime dalla temperatura. Negli amplificatori per tensioni continue ciò dà molto fastidio, per cui si preferisce ricorrere ad un amplificatore differenziale. Due transistori sono collegati in oppo-

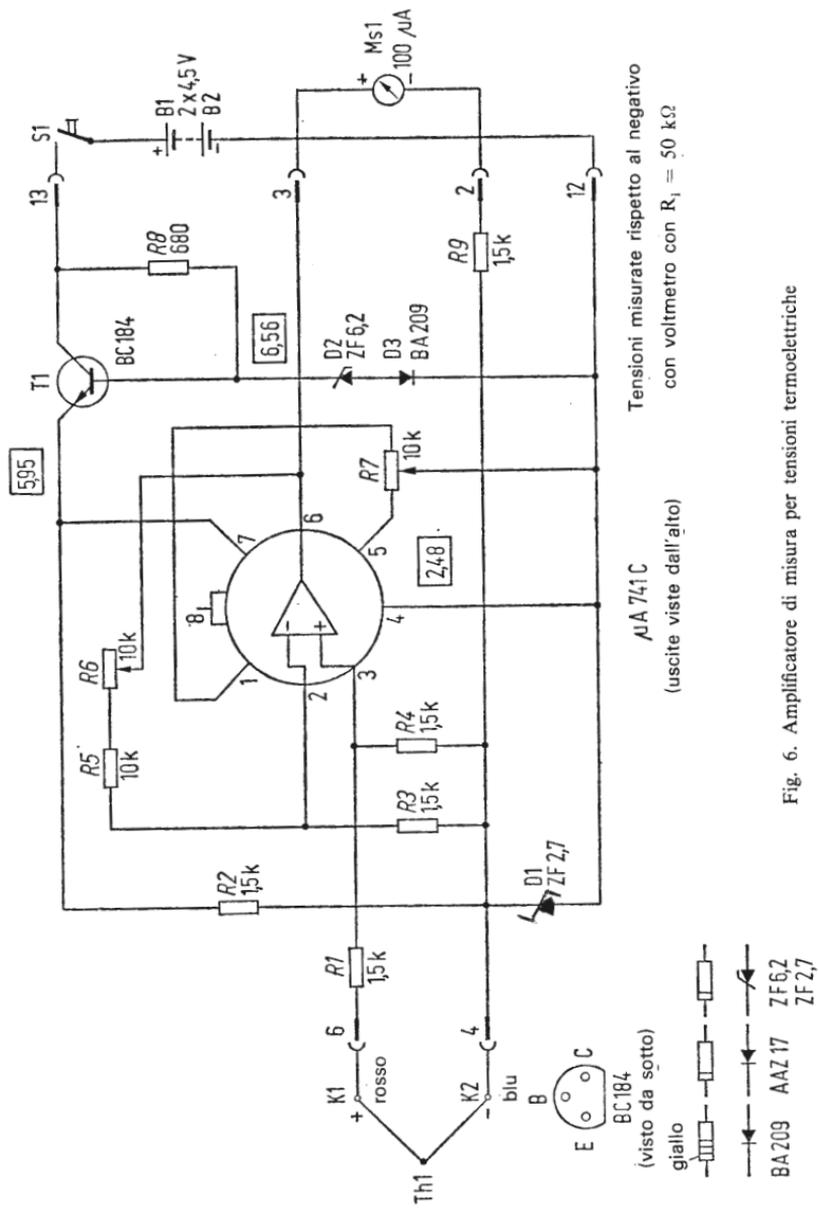


Fig. 6. Amplificatore di misura per tensioni termoelettriche

sizione in modo che le derive termiche si compensano.

Questa tecnica strutturale ha raggiunto la più alta perfezione negli amplificatori integrati operazionali. Poiché la fabbricazione avviene su larga scala, il circuito interno può anche essere molto complicato. L'integrato del nostro strumento ad esempio comprende 20 transistori e 12 resistenze.

Malgrado tutti questi accorgimenti circuitali la deriva di temperatura non è completamente annullata; la deriva si fa notare soprattutto quando l'amplificatore lavora con guadagno elevato. Per le nostre necessità basta una moderata amplificazione e pertanto non sorgono difficoltà di deriva. Il guadagno dell'integrato, che a vuoto raggiunge 20.000, viene ridotto a circa 3 mediante le resistenze di controreazione R3, R5 e R6 della fig. 6.

Secondo gli impieghi previsti, l'integrato è munito di un certo numero di piedini; al massimo sono 14. Un tipo simile non è però molto adatto per un circuito stampato universale. La scelta è pertanto caduta su un tipo a 8 piedini, di cui uno non collegato. Questi sette piedini si adattano benissimo al montaggio su un circuito stampato per laboratorio della KACO (n. 4).

Per alimentazione sono previste due batterie piatte. La tensione fornita dalle batterie viene stabilizzata dal transistor T1 e dai diodi D2 e D3. La tensione stabilizzata di 6 V circa è sufficiente per alimentare l'integrato, in quanto in uscita occorre solo un modesto segnale. In genere un integrato operativo richiede una tensione positiva ed una negativa. Infatti non è possibile applicargli un segnale d'entrata tanto ampio, da ottenere in uscita una tensione variabile dal massimo positivo al massimo negativo. Ai due estremi rimangono sempre circa 2 V.

A nessuno però piace, che l'inizio scala di uno strumento sia già a 2 V. Bisogna allora creare un potenziale di riferimento a metà strada fra il positivo e il negativo dell'alimentazione. Nel nostro circuito questo potenziale viene fornito dal diodo Zener D1.

La corrente di ingresso produce una caduta ai capi delle resistenze R3 e R4. Questa caduta deve essere uguale, tanto sull'entrata in fase che in quella controfase, affinché l'amplificatore rimanga

equilibrato. R3 e R4 pertanto devono essere uguali. Ad impedire che, cortocircuitando i morsetti di ingresso K1 e K2, la tensione su R4 cada a zero, è prevista la resistenza R1. Per compensare le asimmetrie interne del circuito integrato viene collegato il potenziometro R7. I dati caratteristici dello schema completo, espressi in cifre, sono riportati nella seguente tabella.

Dati tecnici dell'amplificatore dello schema di fig. 6

Tensione di alimentazione	6 . . . 10 V c.c.
Sorgente	2 batterie, 4,5 V
Assorbimento	6,5 mA
Amplificazione	3 . . . 10
Temperatura di impiego	0 . . . 75 °C
Variazione della tensione stabilizzata di alimentazione per 1 V di variazione tensione batterie	0,3%
Errore per variazione tensione batterie di 1 V	0,3%

2.2 Costruzione e taratura

Come già detto, viene impiegato per il montaggio un circuito stampato KACO n. 4. La disposizione dei componenti è indicata nella fig. 7. Si può naturalmente scegliere un'altra disposizione. Un circuito stampato comprendente due dispositivi di misura è illustrato nella foto 2 della tavola 1. La disposizione veramente non è la stessa di fig. 7, in quanto l'alimentazione è comune ai due dispositivi.

I componenti vanno possibilmente disposti in modo compatto, allo scopo di riservare posto per altri circuiti e realizzare così un misuratore universale di temperatura.

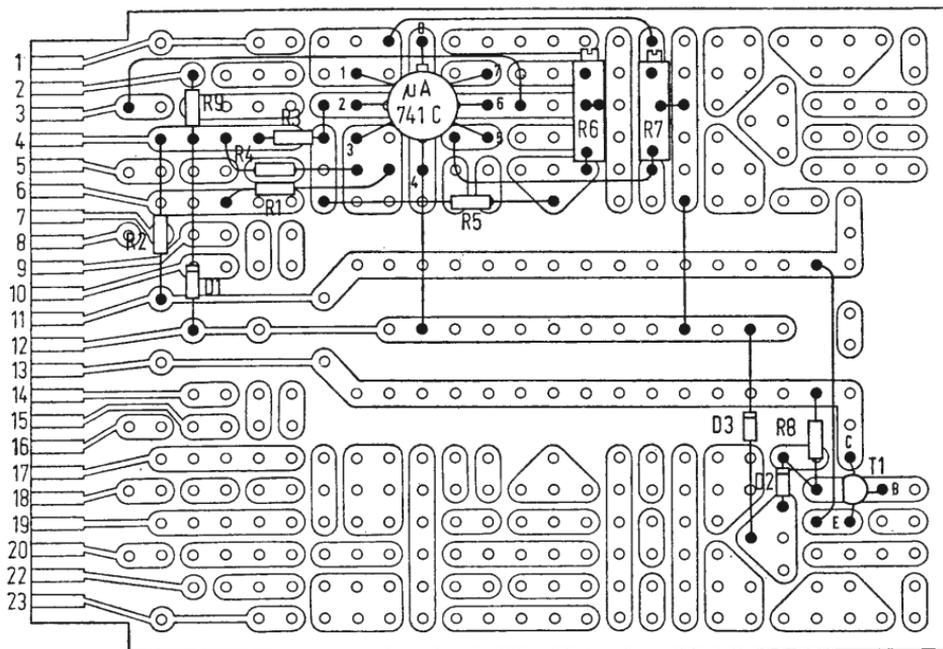


Fig. 7. Disposizione dei componenti dello schema di fig. 6 visti dal lato isolante del circuito stampato

È possibile perfino utilizzare l'integrato in varie maniere, collegando in entrata sonde diverse. Il guadagno deve naturalmente essere adatto, inserendo nel circuito di controreazione diversi potenziometri commutabili.

Non sono possibili molte varianti di montaggio dell'integrato, se non si desidera modificare, con opportune incisioni, il tracciato in rame. Il piedino 8 dell'integrato non è in collegamento elettrico e può essere quindi troncato. I fori destinati ai trimmer devono essere leggermente allargati oppure devono essere praticati nuovi fori, perché i loro piedini non si adattano ai fori del circuito stampato. Esistono certamente potenziometri con terminali che combi-

nano con i fori: però non sono del tipo a dieci giri e quindi sono piuttosto critici da mettere a punto. E magari sono anche più cari. I potenziometri semifissi a dieci giri della Amphenol hanno inoltre un coperchietto trasparente, per cui è facilissimo osservare e la posizione del cursore e il movimento del pernetto.

L'indicatore deve essere corredato di una scala con graduazione speciale: con un po' di pazienza e di abilità la scala autocostruita non sarà diversa dalle scale stampate dell'industria.

Prima però di cominciare a tracciare la scala, è bene precisare che nei capitoli che seguono vengono proposti altri diversi circuiti di misura. Dato che probabilmente non vorrete per ogni circuito ricorrere ad un indicatore separato, è ovvio pensare ad una scala con più graduazioni. Occorre quindi pensare dapprima a come deve essere l'edizione finale dello strumento.

L'attrezzatura richiesta comprende una forbice, un foglio di cartoncino rigido liscio, un tubetto di adesivo, una matita tenera, una gomma morbida ed una dura, un compasso, un righello millimetrato ed una squadra.

Per ripassare in china il disegno, è stato adoperato per le divisioni principali (0, 200, 400 . . .) un pennino di 0,4 mm, per le divisioni intermedie un pennino di 0,1 mm. Le cifre sono state fatte con normografo di 3 mm con caratteri stretti, per l'unità di misura ($^{\circ}\text{C}$) un normografo di 4 mm a caratteri di larghezza media.

Dovendo comperare apposta tutta l'attrezzatura descritta, il bor-

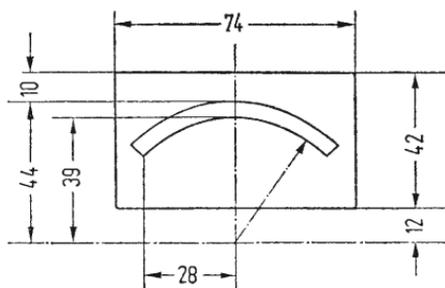


Fig. 8. Dimensioni di una scala autocostruita adatta per l'indicatore Wisometer 65

sellino ne soffrirà alquanto. È però possibile farsi prestare i normografi o farsi dare una mano da qualcuno.

Dapprima si disegneranno il contorno della scala e gli archi delle graduazioni con raggi di 39 e 44 mm. Fra i due archi tracciare ancora un terzo arco. Le divisioni principali (0, 200, 400, ...) saranno comprese fra i due archi esterni, quelle intermedie (100, 300, ...) fra quello interno e quello intermedio. Usare una matita ben appuntita e morbida.

Si segnano ora i limiti della graduazione e il centro. Affinché il lavoro risulti più accurato, tracciamo con raggio molto maggiore un arco (v. fig. 9) che divideremo aiutandoci con il compasso o il righello. A scuola non abbiamo imparato a costruire la bisettrice di un angolo? Dividendo successivamente per due e ripetendo sei volte l'operazione avremo ottenuto otto angoli uguali.

Gli otto punti ottenuti servono ora per passare alla graduazione in gradi, valendoci della tabella di pag. 25.

All'inizio della graduazione più tardi verrà tracciata una barretta di 0,4 mm. Succede ora che il trattino corrispondente a 100 °C, da tabella, viene a cadere a 6,1/80 della graduazione provvisoria. Occorre dividere a occhio il primo intervallo e stimare la posizione giusta per il valore 6,1. La divisione successiva (corrispondente a

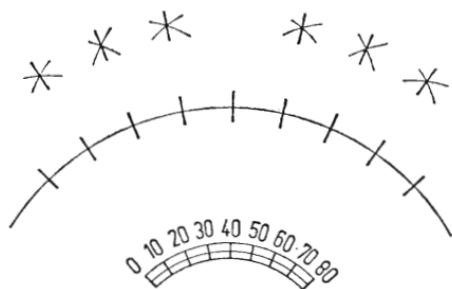


Fig. 9. Suddivisione della scala

200 °C) va analogamente segnata al valore 12,4 con una barretta di 0,4 mm.

Piazzate tutte le divisioni a matita, si ripasserà a china e verranno aggiunte le cifre. Per mancanza di spazio verranno messe solo le cifre delle centinaia pari (0, 200, 400 . . .). La scala ottenuta termina a 1300 °C e comprende quindi tutto il campo di applicazione della termocoppia nichelcromo-nichel. Si asporteranno infine con la gomma morbida tutti i segni a matita e si taglieranno i contorni della scala. Se nel lavoro a china sfuggisse qualche errore, cancellare con la gomma dura (non grattare con la lametta). La scala finita è riprodotta nella fig. 10 di pag. 26 e nella fig. 1 della tabella 1.

L'indicatore va aperto svitando le due viti sul frontalino e togliendo questo ultimo.

Si toglieranno ora le due viti di fissaggio della scala e la si sfilerà

Tabella di calcolo dei gradi

Scala	Tensione termica mV	Differenza di tempe- ratura °C
0	0	0
6,1	4,10	100
12,4	8,13	200
18,6	12,21	300
25,0	16,40	400
31,5	20,65	500
38,0	24,91	600
44,3		700
50,8	33,30	800
56,9	37,36	900
63,0	41,31	1000
68,9	45,16	1100
74,6	48,89	1200
80,0	52,46	1300



Fig. 10. La scala finita

con cautela, cercando di non danneggiare l'indice.

La scala che abbiamo disegnato va incollata con adesivo. La scala originale va conservata: potrebbe un giorno essere utile.

Ed ora passiamo alla taratura, che come sempre si presenta laboriosa. Naturalmente tutto sarebbe più facile, se ci si potesse procurare un millivoltmetro in prestito. Per prima cosa collegheremo in modo provvisorio i diversi componenti del montaggio e cioè circuito stampato (tramite il connettore), batteria (con un interruttore intermedio) e indicatore. Agendo sul potenziometro R7 si porterà l'indice a inizio graduazione (a zero). Se si cortocircuitano le entrate K1 e K2, l'indice non si deve muovere.

Avendo a disposizione un millivoltmetro, si ricaverà da un partitore costituito da un potenziometro collegato ai due poli di una torcetta una tensione di 52,46 mV, che applicheremo ai morsetti di entrata. Si agisce poi sul potenziometro R6 finché l'indice dell'indicatore si porta esattamente al fondo scala, cioè 1300 °C. Così la taratura è fatta.

Se invece non disponiamo di uno strumento di confronto, non ci resta altra possibilità che quella di fissare alcuni punti di taratura basandoci sul diagramma di fig. 1. Gli estremi freddi della termocoppia verranno messi in un recipiente con ghiaccio fondente. I due estremi verranno collegati con i morsetti di entrata dello strumento. Il positivo della termocoppia viene contrassegnato con il colore rosso; esso verrà quindi collegato al morsetto rosso.

La taratura non potrà essere molto accurata, se prendiamo acqua bollente come riferimento per i 100 °C. Bisognerebbe infatti essere al livello del mare. Se ci procuriamo dal droghiere della glicerina e la portiamo all'ebollizione, abbiamo già un riferimento più preciso

Valori della tensione termoelettrica della coppia nichelcromo-nichel per incrementi di 10 °C

°C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	mV/°C 1)
0	0	0,40	0,80	1,20	1,61	2,02	2,43	2,85	3,26	3,68	4,10	0,041
100	4,10	4,51	4,92	5,33	5,73	6,13	6,53	6,93	7,33	7,73	8,13	0,040
200	8,13	8,54	8,94	9,34	9,75	10,16	10,57	10,98	11,39	11,80	12,21	0,041
300	12,21	12,63	13,04	13,46	13,88	14,29	14,71	15,13	15,55	15,98	16,40	0,042
400	16,40	16,82	17,24	17,67	18,09	18,51	18,94	19,36	19,79	20,22	20,65	0,042
500	20,65	21,07	21,50	21,92	22,35	22,78	23,20	23,63	24,06	24,49	24,91	0,043
600	24,91	25,34	25,76	26,19	26,61	27,03	27,45	27,87	28,29	28,72	29,14	0,042
700	29,14	29,56	29,97	30,39	30,81	31,23	31,65	32,06	32,48	32,89	33,30	0,042
800	33,30	33,71	34,12	34,53	34,93	35,34	35,75	36,15	36,55	36,96	37,36	0,041
900	37,36	37,76	38,16	38,56	38,95	39,35	39,75	40,14	40,53	40,92	41,31	0,040
1000	41,31	41,70	42,09	42,48	42,87	43,25	43,63	44,02	44,40	44,78	45,16	0,039
1100	45,16	45,54	45,92	46,29	46,67	47,04	47,41	47,78	48,15	48,52	48,89	0,037
1200	48,89	49,25	49,62	49,98	50,34	50,69	51,05	51,41	51,76	52,11	52,46	0,036

1) Pendenza media sull'intervallo di 100 °C

per i 290 °C. Le altre temperature più alte non possono però essere controllate con le nostre attrezzature. E allora bisogna sperare che la scala sia stata tracciata con cura e che il potenziometro R6 sia regolato bene.

Una tabella completa delle tensioni termoelettriche fornite dalla termocoppia Degussa nichelcromo-nichel per temperature ad intervalli di 10 °C viene data a pag. 27. Alcune indicazioni per l'assemblaggio finale vengono ancora date nell'ultimo capitolo.

2.3 Esperimenti con il termometro elettronico

Ora il circuito è funzionante e possiamo fare alcune interessanti prove. Si tenga però sempre presente che la termocoppia misura solo la differenza di temperatura fra la giunzione calda e gli estremi freddi. Bisogna quindi tener conto della temperatura ambiente. Volendo fare delle misure accurate, gli estremi vanno posti in un recipiente con ghiaccio fondente. A questo modo si evita che avvenga un certo scambio di calore fra giunto caldo e estremi freddi. Infatti è possibile che del calore venga trasmesso lungo i fili e che quindi gli estremi si riscaldino, con ovvii errori di misura.

La giunzione della termocoppia ha naturalmente una certa inerzia. Si noterà che la termocoppia dà la giusta tensione dopo qualche tempo e cioè quando l'indice si ferma. La buona conducibilità termica dei fili della termocoppia qualche volta compromette soddisfacenti risultati. Il filo di nichelcromo-nichel è reperibile a partire dal diametro di 1 mm. Una termocoppia del genere ha indicato per una sigaretta una temperatura di circa 300 °C, per un fiammifero quella di 550 °C e per una fiamma di candela quella di 700 °C.

Le temperature in realtà sono maggiori: per esempio una brace dovrebbe raggiungere almeno i 525 °C. Ciò avviene in quanto il calore viene trasmesso lungo il metallo più rapidamente di quanto possa fornirne la sorgente. Questa deve essere quindi sufficiente-

mente potente, affinché la misura sia giusta. Se c'è la possibilità di saldare i fili da sé, se ne approfitti: infatti fili singoli, ricoperti da isolamenti in tessile di vetro, si possono trovare a partire dal diametro di 0,2 mm. Con termocoppie di questo tipo i risultati sono senz'altro migliori.

Certamente avrete già in programma altre applicazioni: non avreste altrimenti pensato a costruirvi uno strumento di questo tipo.

3. Termometro per basse temperature

Il metodo più semplice, per la misura della temperatura dell'ambiente, è senz'altro quello che impiega un normalissimo termometro a liquido. Noi però ci siamo proposti di fare la misura con mezzi elettronici, che fra l'altro hanno il grande vantaggio di consentire l'indicazione anche a notevole distanza dal punto di misura. Non occorre pertanto correre alla finestra alla mattina a vedere che temperatura fa all'esterno, ma si può già dal letto osservare l'indicatore e quindi stabilire se bisogna alzarsi dieci minuti prima per togliere il ghiaccio dai vetri della macchina.

3.1 Termometro con sonda a transistori

Una misura di temperatura particolarmente elegante consiste nello sfruttare la dipendenza dal calore della tensione base-emettitore di un transistor al silicio. Contrariamente a quanto succede con una termocoppia, si può realizzare una scala pressoché lineare, con uno scostamento massimo dell'1%. Ciò avviene a causa di contrastanti comportamenti della struttura interna del transistor, che si compensano a vicenda. La pendenza si aggira su 1.7 mV per grado. Il campo di impiego è quello stesso di utilizzazione del transistor e quindi va da $-50 \dots$ a $+125$ °C.

Prendendo come sonda un picotransistor (tipo quelli delle protesi uditive) è possibile seguire, grazie alle minuscole proporzioni, rapide variazioni di temperatura.

Il sistema ha un lato negativo: il resto del circuito deve essere pressoché insensibile alla temperatura, cosa importante specie per la tensione di riferimento. Ora i soliti componenti stabilizzatori di

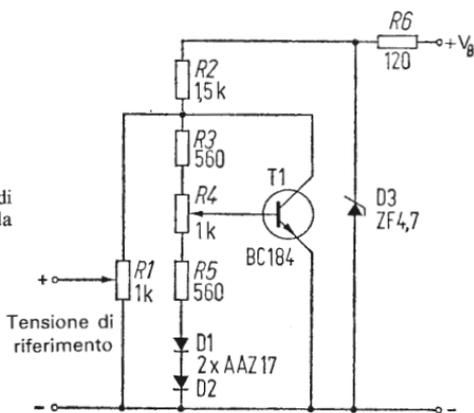
tensione hanno anche essi un coefficiente di temperatura, in genere maggiore di quello del transistor usato come sonda. Questo coefficiente vizierebbe decisamente la misura. L'industria propone degli stabilizzatori con deriva molto bassa: però essa non arriva a zero, per prima cosa, e poi è meglio non chiedere il prezzo. Ci sarebbe da impallidire. Un diodo Zener senza deriva si può trovare così: tra i diodi con tensione di soglia di 5,6 V ce n'è con coefficiente positivo e con coefficiente negativo. Nella massa ce ne devono essere alcuni con coefficiente nullo. Se ne comprate cento, un diodo utilizzabile lo trovate di certo.

Per fare una scelta del genere non occorre nemmeno una camera termostatica in quanto non occorre stabilire quale sia in realtà il coefficiente: importante è sapere che sia uguale a zero.

Un altro sistema un po' più semplice: compensare il diodo Zener con un diodo al germanio. Ma allora occorre un preciso millivoltmetro e molta pazienza.

C'è però una soluzione geniale; è poco conosciuta, ma funziona sicuramente. Ci si può fabbricare un diodo Zener artificiale, nel quale i coefficienti di un transistor e quelli di due diodi al germanio si compensano. Non c'è bisogno di fare cernite, perché con un potenziometro il problema è risolto, il circuito è presentato in fig. 11. Forse è un po' complicato, con undici componenti al posto di

Fig. 11. Schema di generatore di tensione di riferimento esente da deriva



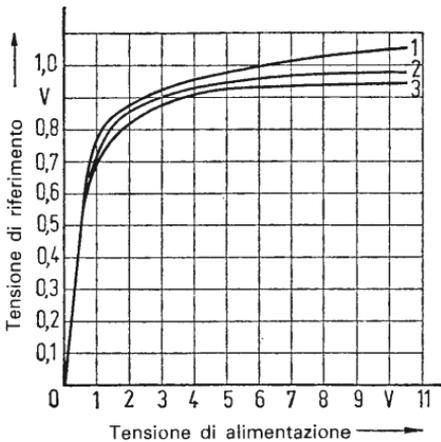


Fig. 12. Curve caratteristiche dello schema di fig. 11 (chiarimenti nel testo)

due. Ma consolidiamoci: la bontà ha il suo prezzo.

Il circuito funziona così: supponiamo dapprima che il potenziometro R4 non ci sia. La base di T1 è collegata fra R3 e R5. Allora la tensione di riferimento è circa uguale al doppio della tensione base-emettitore del transistor, meno la tensione ai capi della serie di diodi (circa 1 V). Se le derive sono uguali, la deriva generale è zero. È ovvio che le derive non sono uguali. Ma con l'aiuto del potenziometro potremo dosare l'influenza dell'una e dell'altra in modo che — con un po' di pazienza — la deriva globale risulti praticamente nulla.

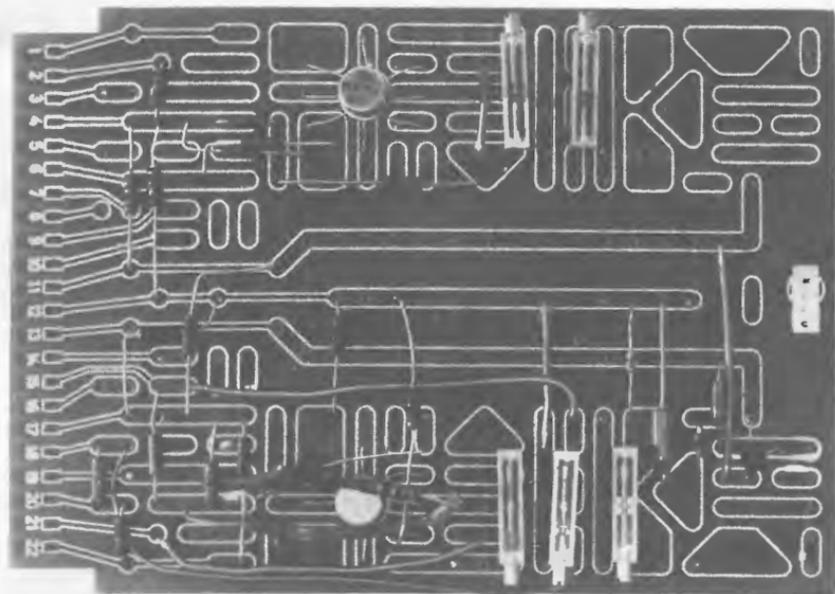
Il diodo Zener « artificiale » si comporta ottimamente, per quanto riguarda la deriva termica, ma non stabilizza la tensione a sufficienza. La curva 1 di figura 12 rappresenta la caratteristica, che è piuttosto inclinata. Occorrerà pertanto migliorare la stabilizzazione con un diodo Zener disposto a monte. La curva 2 dà la caratteristica del circuito di fig. 11: ma non è ancora soddisfacente. Il circuito va quindi alimentato con tensione stabilizzata (come indica lo schema di fig. 13). Si ottiene così la curva 3, che è sufficientemente lineare da 5 V in su.



Fig. 1. Montaggio sperimentale per la misura di temperatura con coppia termoelettrica

Tavola 1

Fig. 2. Amplificatore per termoresistenza (sotto) e per termocoppia (sopra)



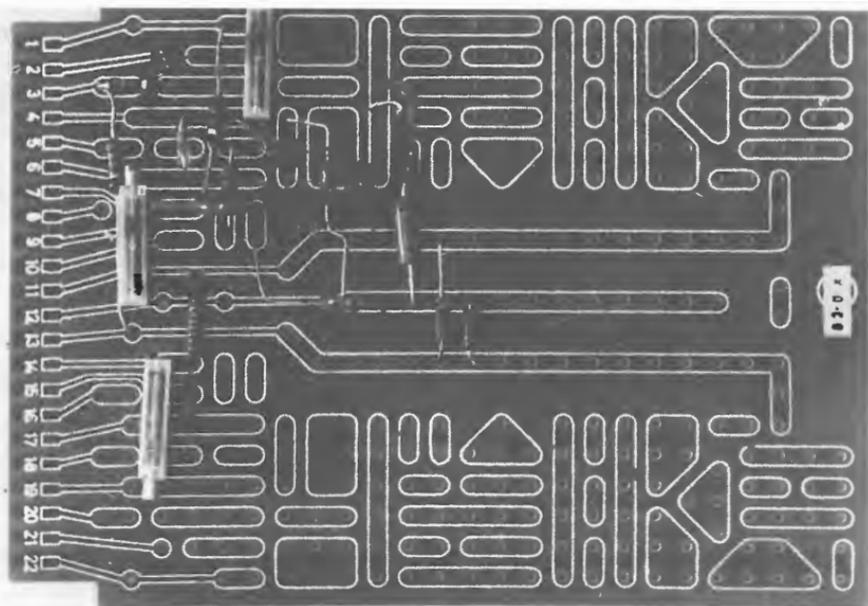
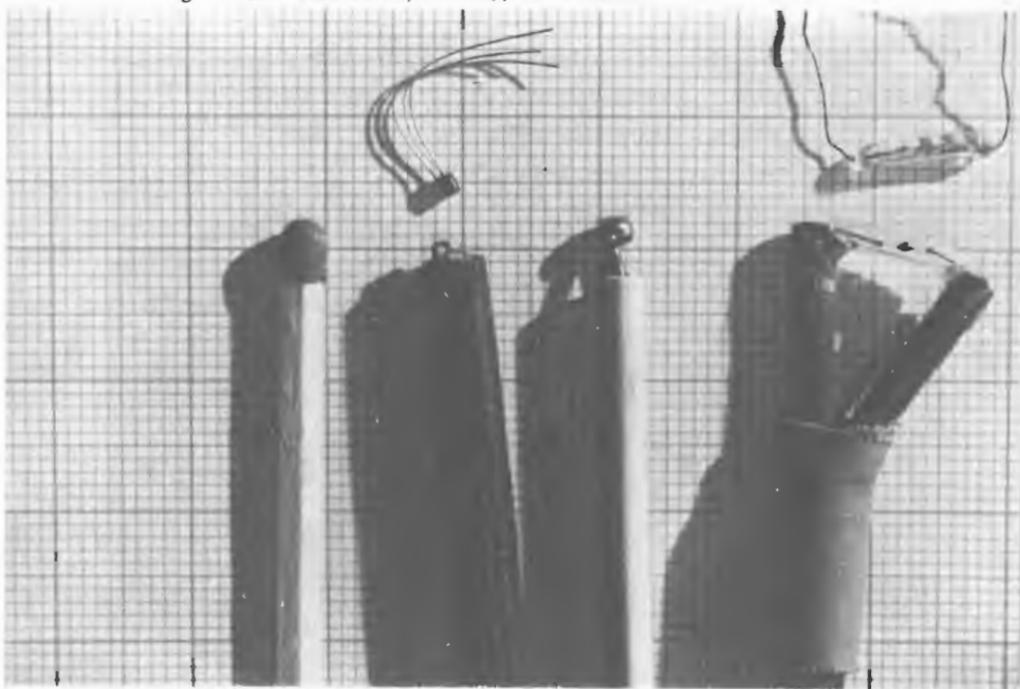


Fig. 3. Montaggio sperimentale di termometro con transistore

Tavola 2

Fig. 4. Sonda a transistore, termocoppia e termistore



In fig. 13 è lo schema completo (la marcatura dei componenti si scosta da quella di fig. 11). Il cuore dello strumento è il transistor T1, che funge da sonda. La base è collegata al collettore e quindi il transistor si comporta come un diodo. La tensione fra collettore ed emettitore, che è anche la tensione base-emettitore, varia in funzione della temperatura: scaldando il transistor essa diminuisce. Questa variazione viene sfruttata per la misura. Per eliminare possibili cause di errore, la tensione non viene amplificata, ma applicata direttamente allo strumento indicatore.

Elenco dei componenti dello schema di fig. 13

- 1 resistenza 120 Ω
- 2 resistenze 560 Ω
- 3 resistenze 680 Ω
- 1 resistenza 1,5 k Ω
- 2 resistenze 5,6 k Ω
(precisione 5%, dissipazione 1/3 W)
- 1 trimmer multigiri 1 k Ω
- 1 diodo al silicio BA 209
- 3 diodi al germanio AAZ 17
- 1 picotransistor BC 112 (giallo) per otoacustica
- 3 transistor al silicio NPN BC 184
- 1 transistor al silicio PNP BC 214
- 1 diodo Zener ZF 4,7
- 1 diodo Zener ZF 5,6
- 1 interruttore unipolare a levetta
- 2 morsetti Pki 10 A, giallo e verde
- 1 circuito stampato KACO mod. 4
- 1 connettore KF 22-141/4
- 2 pile piatte 4,5 V
- 1 indicatore a bobina mobile 100 A, Wisometer 65

Purtroppo la deriva termica di tutto il complesso è zero solo per un campo ristretto di esercizio e cioè ± 5 °C riferiti alla temperatura di taratura. Probabilmente le caratteristiche di temperatura dei diodi e dei transistori hanno delle pronunciate curvature e magari con andamento diverso l'una dall'altra. Quando il termometro viene tarato alla temperatura ambiente, la tensione di riferimento diminuisce leggermente tanto per ambiente più caldo come più freddo. La variazione è di circa 1 mV per ogni 10 °C. Se il cir-

cuito è tarato in modo da far corrispondere un tratto di graduazione a 1 °C, l'errore è di 0,7 °C non è poi così grave. A parte la deriva suddetta, nel prototipo collaudato con millivoltmetri e termometri di precisione non sono stati riscontrati scostamenti di nessun genere.

Un difetto del circuito consiste nel campo di misura, necessariamente piuttosto ampio. L'indicatore va a fondo scala con circa 145 mV. Con una pendenza di 1,7 mV per grado ciò equivale a un campo di 85 °C, che può essere allargato a 100 °C, ma non ristretto. Esso sarebbe già esuberante per la misura di temperature esterne, che possono andare da -20 a +50 °C. Volendo misurare solo temperature di ambienti, e queste anche in modo molto preciso, occorrerebbe dilatare la scala, perché siano possibili buone lettere fra 0 e 30 °C. Il termometro elettronico a transistor in questo caso non può trovare impiego.

Dati tecnici del circuito di fig. 13

Tensione di alimentazione	6 . . . 10 V c.c.
Sorgente	2 batterie da 4.5 V
Assorbimento	8 mA
Campo di impiego ammesso per la sonda	-50 . . . +125 °C
per il circuito di misura	0 . . . 75 °C
Pendenza della sonda	circa 1,7 mV/grado
Campo minimo per indicatore da 100 μ A, Wisometer 65	circa 85 °C
Errore per scarto della tensione di alimentazione	0,1% per 1 V
Deriva termica del circuito di misura	0,08% per 1 °C
Errore di lettura per non linearità della sonda	1 °C
Errore proprio dell'indicatore	2,5% del fondo scala

3.2 Montaggio e taratura

I componenti del circuito vengono montati su un circuito stampato (a scheda) KACO mod. 4. In fig. 14 sono indicate le posizioni dei componenti. Il disegno può forse a prima vista disorientare, perché alcuni elementi sono stati sovrapposti al fine di guadagnare spazio ed evitare collegamenti in più. I circuiti stampati cosiddetti universali (per il montaggio di prototipi) non hanno una disposizione ottimale delle piste e delle forature. Nella pratica però non ha importanza, se i componenti vengono sovrapposti, finché i loro terminali sono sufficientemente rigidi.

La scheda finita è illustrata alla fig. 3 della tavola 2. La disposizione dei componenti differisce in qualche dettaglio dal disegno di fig. 14.

Il circuito viene alimentato con due batterie piatte da 4,5 V. Se il circuito rimane in funzione per molto tempo, con notevole consumo di batterie, può interessare un alimentatore della rete, che viene descritto in uno dei capitoli che seguono e che è già previsto con i dispositivi di stabilizzazione adatti ai circuiti descritti.

Per prima cosa c'è da tracciare la graduazione dell'indicatore come è già stato spiegato nel capitolo precedente. Questo lavoro è ovviamente superfluo, se si prevede un campo di misura 0... 100 °C. Negli altri casi la scala va ridisegnata. Poiché il circuito consente delle misure molto precise, anche la graduazione della scala deve essere adeguatamente accurata: gli intervalli della graduazione devono essere distribuiti in modo uniforme. Le divisioni dovrebbero essere anche abbastanza fitte perché, se il circuito è preciso al grado, bisogna anche poterlo leggere sulla scala. Consigliamo quindi di procurarsi un goniometro.

Come inizio e fondo scala possiamo scegliere a piacere fra -50 °C e +125 °C; l'ampiezza del campo deve però essere maggiore di 90 °C (ad esempio -20... +70 °C). Si può anche estendere la scala per includere anche la temperatura dell'acqua all'ebollizione; in questo caso la scala sarà -20... +100 °C.

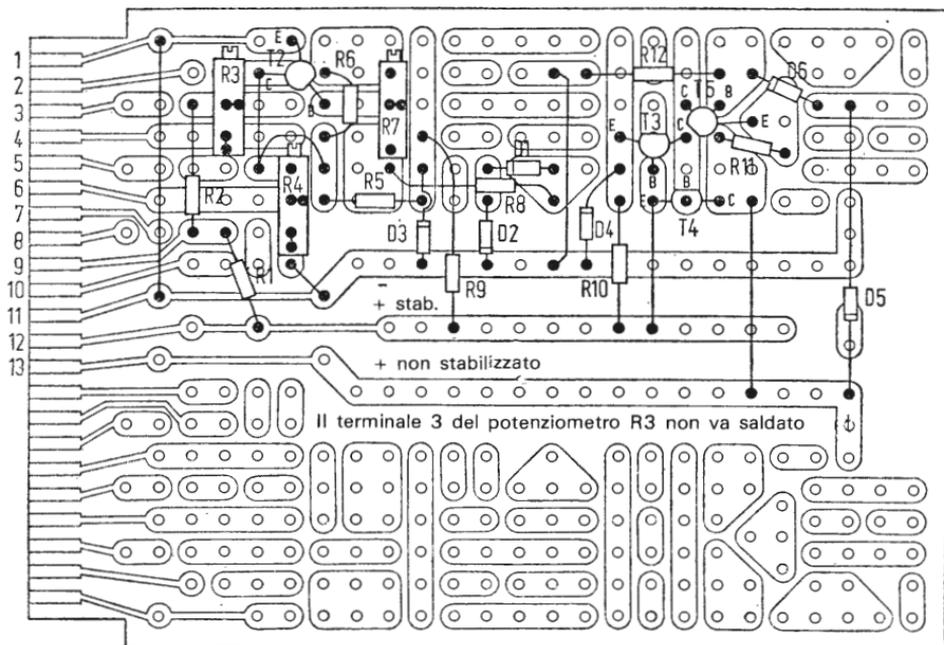


Fig. 14. Disposizione dei componenti del circuito di fig. 13 visti dal lato isolante del circuito stampato

Prima di mettere in funzione il circuito va preparata la sonda. Il transistor che abbiamo proposto viene di solito montato sugli apparecchi acustici per sordi e ha le dimensioni di una testa di spillo. Esso riesce a seguire facilmente le variazioni di temperatura. Ci procureremo una trecciola isolata di piccola sezione e ne taglieremo due spezzoni, di lunghezza adatta agli impieghi previsti. Per misure in ambiente bastano $30 \div 40$ cm. Per misure all'esterno, dovendo attraversare il telaio della finestra, gli spezzoni potranno anche essere lunghi $1 \div 2$ m.

Dagli estremi della trecciola verrà tolto l'isolamento degli ultimi $3 \div 4$ mm e si farà una stagnatura; si infilerà poi sopra un pezzetto di guainetta isolante lungo $2 \div 3$ cm, di diametro interno appena

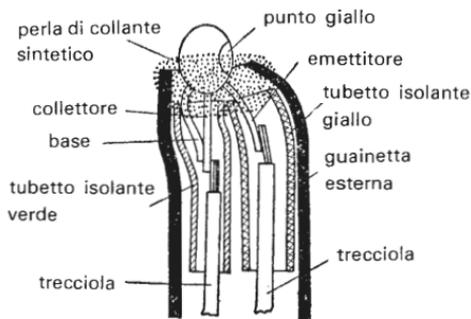


Fig. 15. Montaggio della sonda a transistor

maggiore di quello della trecciola. Su uno dei fili si metterà guainetta gialla, sull'altro verde.

Dal transistor escono tre fili: quello vicino alla marcatura gialla verrà saldato alla trecciola con guainetta gialla. Gli altri due fili del transistor verranno saldati assieme all'estremo della trecciola con guainetta verde. Fatte le saldature, le guainette verranno fatte scorrere in modo da ricoprire i fili uscenti dal transistor. Sulle due treccie assieme verrà poi infilato un tubetto isolante di diametro maggiore, di lunghezza tale che da una parte sporga appena il transistor e dall'altra i due terminali delle treccie. Nella fig. 15 è schizzata la preparazione della sonda; la fig. 4 della tavola 2 mostra la sonda finita.

Sui terminali del cavetto così assemato si monteranno due spinotti (banane), sempre nei colori giallo e verde. Per poter eventualmente utilizzare la sonda per misure su liquidi conduttori, è necessario isolare le uscite del transistor. Si può prendere un collante sintetico, un po' del quale viene pressato con un fiammifero entro la guainetta esterna, curando che buona parte del transistor non venga ricoperta di collante, al fine di non isolarlo termicamente. I singoli componenti dello strumento vanno collegati a mezzo di un adatto connettore al circuito stampato, rispettando la polarità delle batterie, dell'indicatore e della sonda (attenzione ai colori!). Per procedere alla stabilizzazione della tensione di riferimento occorre disporre di diverse temperature. Possiamo introdurre il

circuito entro il congelatore del frigo o il casco asciugacapelli; meglio ancora alternativamente nell'uno e nell'altro. Al posto del casco si può utilizzare un comune asciugacapelli a mano; però bisogna evitare riscaldamenti localizzati, per cui circuito e asciugacapelli sono da disporre sotto un panno. Non importa a quale temperatura si opera, in quanto occorre solo verificare se si presenta o no una deriva termica.

Al circuito vanno collegate le batterie e lo strumento indicatore. Il positivo va al cursore del potenziometro R4 (come indicato nello schema) e il negativo va direttamente al meno. Dapprima il cursore del potenziometro sarà portato a fine corsa verso il meno; poi si tornerà indietro, finché l'indice dello strumento si trova esattamente a fondo scala. Si agisce ora sul potenziometro R7, finché viene eliminata la deriva termica. Correggendo la posizione di R7 si muove l'indice dell'indicatore; con R4 si porterà nuovamente l'indice a fondo scala. Per chiarire il procedimento, diamo la tabella seguente.

1. Aumento di temperatura (estraendo il circuito dal frigo o mettendolo sotto l'asciugacapelli):
se l'indice si muove oltre il fondo scala, spostare R7 per un aumento dell'indicazione e recuperare con R4 per portare l'indice a fine scala; se l'indicazione diminuisce, correggere R7 per una ulteriore diminuzione e ricuperare con R4 per portare l'indice a fine scala.
2. Diminuzione di temperatura (togliendo l'asciugacapelli o mettendo in frigo):
se l'indice va oltre il fondo scala, con R7 riportarlo verso il fondo scala, completare con R4;
se l'indice torna indietro, con R7 correggere parzialmente, completare la correzione agendo su R4.

Se gli scostamenti sono di modesta entità, procedere alternativamente come descritto ai punti 1. e 2. Alla fine si arriverà ad una regolazione per cui l'indicazione diminuisce e non ha importanza

se la temperatura sale o scende. La taratura è allora terminata e non può essere migliorata ulteriormente.

Tarata la tensione di confronto, si collegheranno batteria, indicatore e sonda a transistor al connettore, come indica lo schema. Il cursore del potenziometro va allontanato progressivamente dal lato più negativo; poiché la custodia è trasparente lo spostamento è facilmente controllabile. L'indice deve spostarsi verso lo zero. Ed ora prepariamo due recipienti con acqua a temperature diverse. È indifferente a quali temperature; la taratura è però più agevole se esse sono molto diverse. Tuffiamo dapprima la sonda nel recipiente con acqua fredda. Per ottenere un valore preciso di temperatura, si aggiungerà all'acqua un po' di cubetti di ghiaccio del frigo ed una presa di sale da cucina. Agitando bene, l'acqua si trova a 0°C precisi. R4 viene ritoccata in modo che l'indice dello strumento si porti a zero (anche quando la scala parte da -20 °C). Si tufferà poi la sonda in acqua calda, di cui misureremo con un termometro la temperatura. Agendo su R2 faremo segnare all'indice un valore pari alla temperatura letta al termometro più la temperatura di inizio scala.

Ad esempio:

– temperatura dell'acqua + 70 °C

– inizio della scala – 20 °C

L'indice va portato sul valore

$$+ 70 + (-20) \text{ °C} = 70 - 20 \text{ °C} = + 50 \text{ °C}.$$

Con scala che parte da 0 °C, l'indice va portato su 70 °C.

Con scala che parte da 10 °C, l'indice va portato su

$$+ 70 + (+10) \text{ °C} = 70 + 10 \text{ °C} = 80 \text{ °C}$$

La sonda rimane nel recipiente con acqua calda. Si agisce ora sul potenziometro R4, in modo che l'indice si porti sul valore letto al termometro. Tutto il procedimento va ripetuto ancora qualche volta: non perché il circuito presenta deriva, ma perché l'acqua si raffredda.

Con questo sarebbe esaurita la parte elettrica del circuito. Poiché le custodie previste per i montaggi descritti in questo volume sono tutte uguali, non val la pena di descriverne ogni volta il montaggio.

3.3 Prove con il termometro a transistorore

Il nostro termometro elettronico corrisponde, anche per quanto riguarda il campo di misura, a un comune termometro a dilatazione di liquido. Ma per quali misure possiamo ora impiegarlo? Prepariamoci di nuovo un recipiente con acqua, ghiaccio e sale. Potremo verificare che, dopo alcuni minuti di assiduo mescolare, la temperatura è scesa a zero. Aumentando la dose di sale, potrà anche scendere sotto lo zero; è per questo che d'inverno sulle strade si sparge il sale. Avendo una bilancia a portata di mano, si potrà riscontrare come la minima temperatura raggiungibile dipenda dalla quantità di sale. Con questo trucco è possibile fare anche del gelato, senza dover ricorrere al congelatore del frigo. Si mette semplicemente in una vaschetta con salamoia e cubetti di ghiaccio.

Se sospendiamo l'agitazione, potremo presto notare che la temperatura dell'acqua verso la superficie è diversa da quella sul fondo del recipiente. La stessa osservazione l'abbiamo già fatta nel bagno. Stando fermi nell'acqua, si avverte che del fondo comincia a raffreddarsi. Muovendosi però con energia, l'acqua viene rimescolata, torna ad essere uniformemente calda e piacevole.

Come prova successiva misuriamo la temperatura dell'acqua bollente. Si prenderà acqua possibilmente pura: acqua piovana o acqua di disgelo della neve. Se alla ebollizione lo strumento indicatore non segna 100 °C, non è detto che il termometro elettronico non funzioni. È probabile che il lettore non viva al livello del mare (a meno che sia nato olandese o nomade del Sahara). A livelli superiori l'acqua bolle sotto i 100 °C. Si dice ad esempio che sull'Himalaia l'acqua bolle ad una temperatura così bassa che i

piselli non arrivano a cuocere (ma chi va a cuocere lassù dei piselli?).

Un'altra prova, per la quale la minuscola sonda si presta particolarmente bene, è quella della verifica del calore di evaporazione. Si collegherà dapprima la sonda asciutta. Lo strumento indicherà la temperatura dell'ambiente. Se si soffia con energia sulla sonda, la temperatura indicata aumenterà: infatti l'aria espirata è più calda dell'ambiente. Immergiamo la sonda in acqua tiepida, finché l'indice si stabilizza. Soffiamo ora di nuovo sulla sonda e vedremo l'indice dello strumento tornare decisamente indietro di circa $6 \div 8$ °C. L'aria in movimento asciuga la sonda più rapidamente di aria tranquilla. Dall'ambiente viene pertanto del calore, in quanto l'evaporazione richiede energia. Il nostro corpo si è adattato a questo principio fisico e possiamo quindi capire come mai si sudi in estate: a causa del calore dissipato nell'evaporazione del sudore il corpo gode di certo refrigerio. Il poter sudare è quindi molto importante in regioni molto calde. Alla visita medica degli enti militari si controlla quindi anche se l'individuo può sopportare climi tropicali e cioè se può sudare.

Speriamo che il lettore abbia ora ricevuto sufficienti suggerimenti, per procedere da sé ad ulteriori prove. Buona riuscita.

4. Termometro per campi ristretti

Come già accennato, i procedimenti finora esaminati non si prestano ad una misura sufficientemente precisa in campi ristretti. Vorremmo proporre un metodo di misura che consente di aumentare la sensibilità e di dilatare la scala dello strumento. Si tratta di un metodo capace di fornire un segnale di ampiezza sufficiente.

4.1 Termoresistenza

Il concetto base della termoresistenza è stato discusso al capitolo 1.4. Come si vede dalla figura 5, il termistore con coefficiente

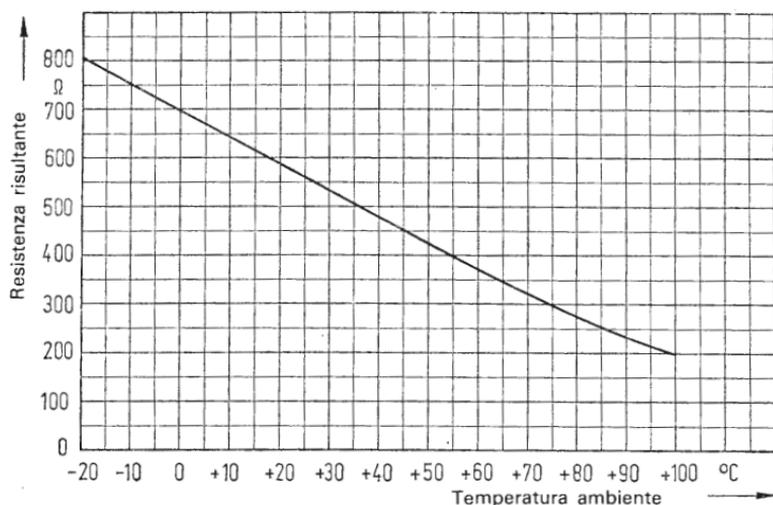


Fig. 16. Resistenza risultante del collegamento in parallelo di un termistore da 1 kΩ e di una resistenza fissa da 1 kΩ, in funzione della temperatura

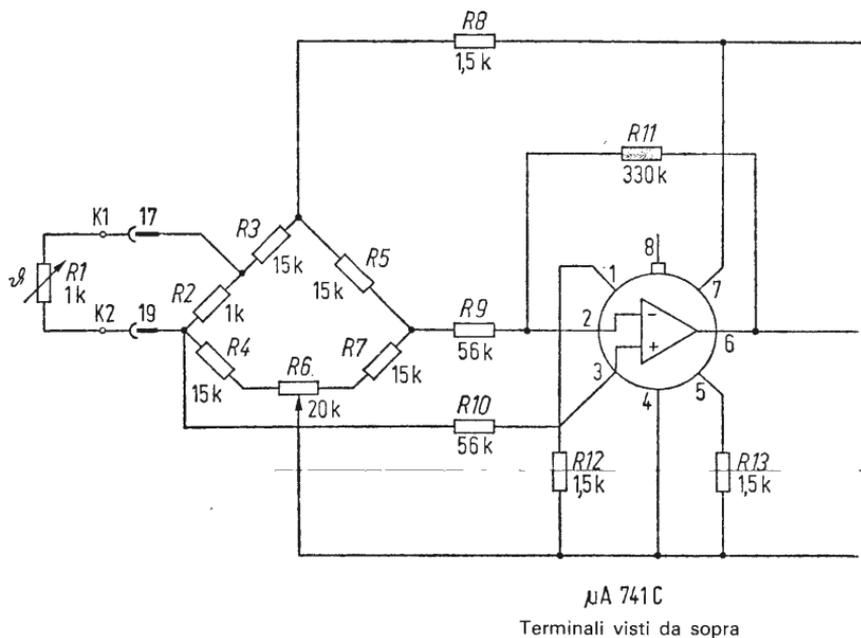
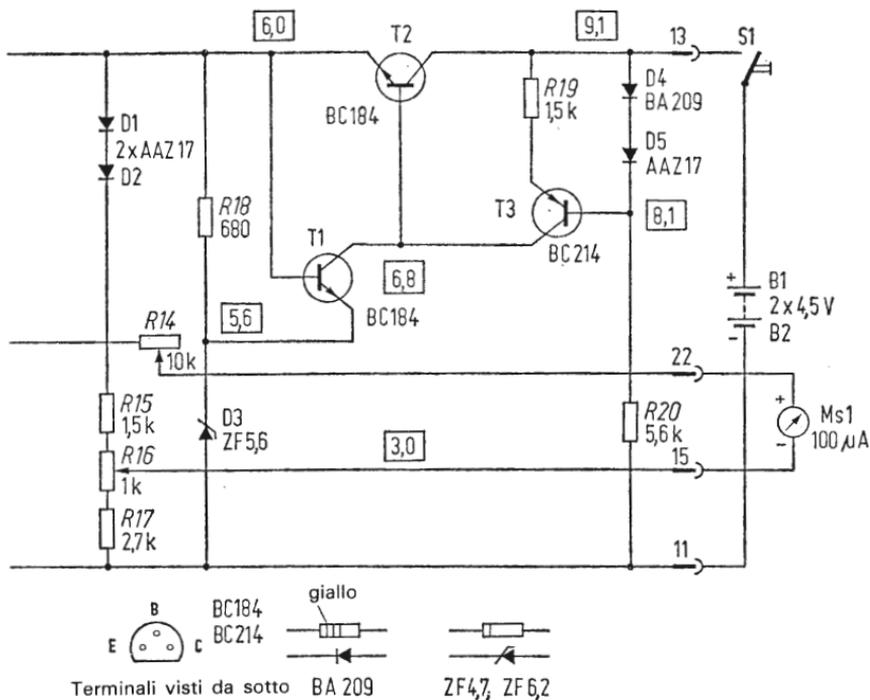


Fig. 18. Schema del termometro con termistore

negativo di temperatura presenta una caratteristica non lineare, che comporta quindi una graduazione non uniforme dello strumento indicatore. Disponendo in parallelo al termistore una resistenza fissa, la caratteristica risultante si raddrizza, per cui — almeno per campi ristretti — l'andamento è da ritenersi praticamente lineare. L'aggiunta della resistenza fissa causa però una riduzione della pendenza, per cui il segnale disponibile diminuisce. Bisogna quindi sopperire aumentando l'amplificazione. Ma allora i difetti congeniti del circuito, ad esempio la deriva, diventano più evidenti. È inevitabile la scelta di un compromesso, per non essere costretti a ricorrere a particolari misure di stabilizzazione. Lo schema di fig. 18 è proporzionato in modo che si possa ancora coprire un campo di circa 50 °C. Come indicato nella fig. 16 di



pag. 45, la caratteristica del gruppo termistore-resistenza è curva solamente ad un estremo. Alla resistenza fissa va assegnato un valore corrispondente a quello dal termistore al centro del campo di misura prescelto, e cioè nel nostro caso alla temperatura ambiente.

Dimensionando il circuito in modo che all'inizio del campo di misura l'indicatore segni zero, all'uscita del ponte (sulla diagonale) appare, con temperature crescenti, la tensione rappresentata nel diagramma di fig. 17. Anche sull'uscita dell'amplificatore opera- 17 40
zionale appare una tensione con andamento perfettamente analogo. Se alla resistenza di controreazione R11 viene assegnato un valore di 330 k Ω , per la posizione del potenziometro R14 di massima sensibilità si raggiunge un campo di misura di circa 40 $^{\circ}\text{C}$.

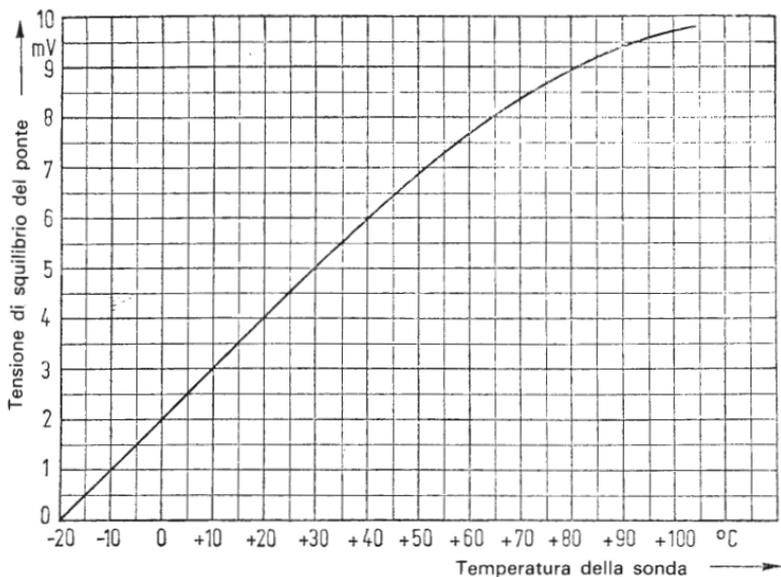


Fig. 17. Tensione di uscita (tensione di squilibrio) del circuito a ponte di fig. 18

Le possibilità di un restringimento del campo sono riportate nel capitolo 6.3.

Lo schema di fig. 18 comprende di nuovo una stabilizzazione di tensione come a fig. 13. Ogni variazione della tensione di alimentazione influisce direttamente sulla misura.

L'amplificatore operazionale è collegato a resistenze da valore elevato, affinché la sorgente di segnale (il ponte) risulti in confronto a bassa impedenza. Il ponte è formato da tre lati uguali, mentre sul quarto lato è disposto il termistore. Il potenziometro semifisso R6 serve per equilibrare il ponte alla temperatura prescelta per l'inizio scala. Per la sonda R1 si può adoperare qualsiasi tipo con resistenza nominale di 1 k Ω . Il tipo proposto in elenco segue ogni variazione di temperatura con prontezza, grazie alle minuscole dimensioni; essendo isolato in vetro, può servire anche per misure su liquidi.

Elenco dei componenti dello schema di fig. 18

- 1 resistenza 680 Ω
- 1 resistenza 1 k Ω
- 4 resistenze 1,5 k Ω
- 1 resistenza 2,7 k Ω
- 1 resistenza 5,6 k Ω
- 4 resistenze 15 k Ω
- 2 resistenze 56 k Ω
- 1 resistenza 330 k Ω
(precisione 5%, dissipazione 1/3 W)
- 1 termistore 1 k Ω (Valvo 2322 634 2101)
- 1 trimmer 10 giri 1 k Ω
- 1 trimmer 10 giri 10 k Ω
- 1 trimmer 10 giri 20 k Ω
- 1 diodo al silicio BA 209
- 3 diodi al germanio AAZ 17
- 1 diodo Zener ZF 5,6
- 2 transistor silicio NPN BC 184
- 1 transistor silicio PNP BC 214
- 1 amplificatore operazionale μ A 741 C (custodia TO 99)
- 1 interruttore a levetta
- 2 morsetti Pki 10 A neri
- 1 circuito stampato KACO mod. 4
- 1 connettore KF 22-141/4
- 1 indicatore a bobina mobile 100 μ A Wisometer 65
- 2 batterie 4,5 V

4.2 Costruzione e taratura

I componenti verranno disposti sul circuito stampato mod. 4 della KACO per montaggi sperimentali come suggerisce la fig. 19 di pag. 50. La loro distribuzione è stata prevista in modo tale da permettere anche il montaggio sullo stesso circuito stampato del circuito del capitolo precedente, con alimentazione comune. Se il circuito del termometro a resistenza deve essere montato singolarmente, la parte alimentazione rappresentata in fig. 14 va riportata sul disegno di fig. 19. Un'altra combinazione viene mostrata nella tavola 2. Sul circuito stampato sono montati il termometro a resistenza e l'amplificatore per tensioni termoelettriche con alimentatore comune.

Se due circuiti di misura vengono realizzati sullo stesso supporto, nel caso di impiego di un indicatore comune ai due circuiti (even-

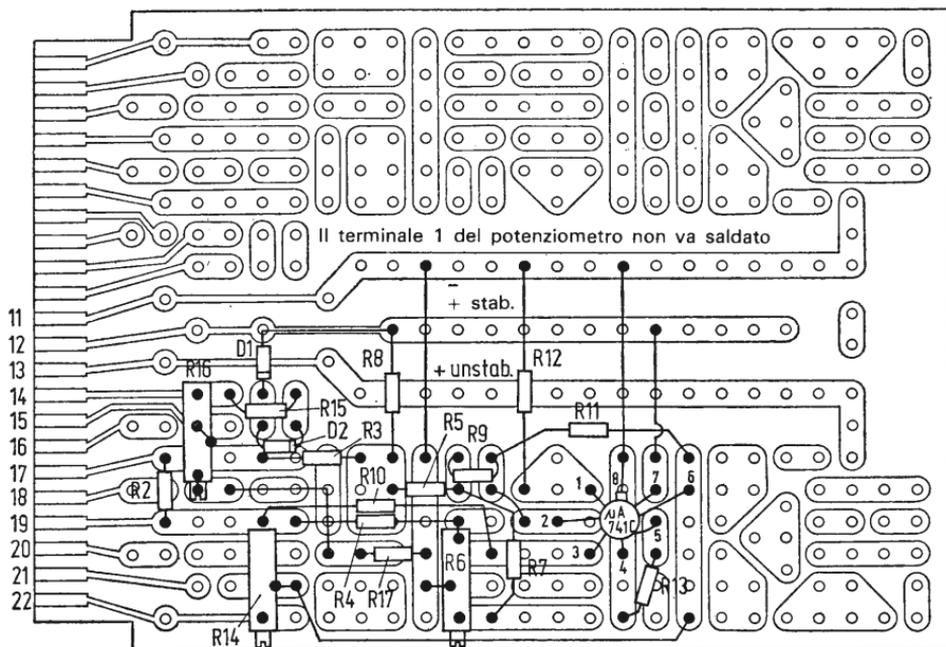


Fig. 19. Disposizione dei componenti del circuito di fig. 18 (senza la parte alimentazione), visti dal lato isolante del circuito stampato

tualmente provvisto di scala con due graduazioni) occorre prevedere un commutatore. A pag. 53 la fig. 20 illustra l'impiego di un commutatore bipolare che collega lo strumento al termometro a resistenza oppure al termometro a transistor.

Come ricordato nelle figure 14 e 19, un piedino del potenziometro semifisso non viene saldato. Se però tocca la traccia in rame adiacente si può verificare un funzionamento difettoso. È opportuno quindi raschiare con una punta da trapano di diametro opportuno il rame attorno al foro entro il quale sta il piedino libero.

Prima di cominciare con la taratura i fili di collegamento della sonda, vanno isolati accuratamente con collante sintetico, come descritto in precedenza nel caso del termometro a transistor, in

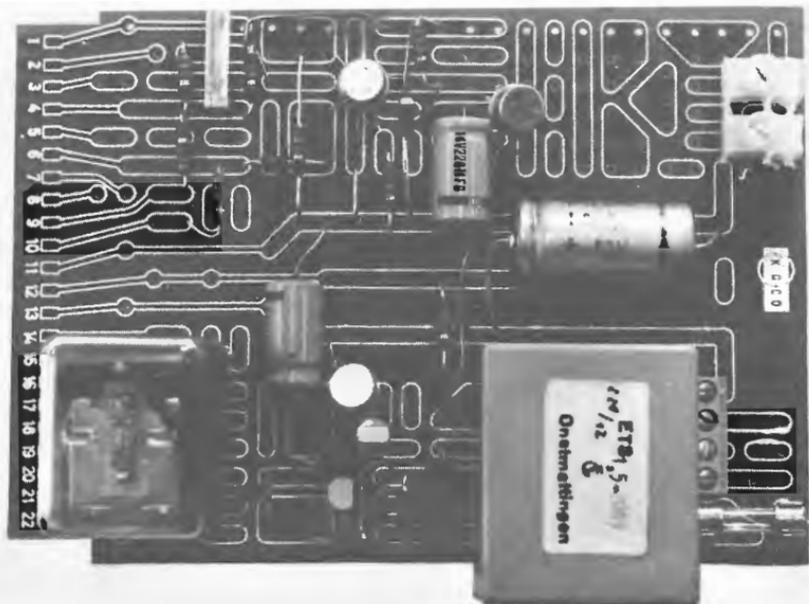


Fig. 5. Termostato

Tavola 3

Fig. 6. Montaggio sperimentale per la misura di umidità con termometro a termistore



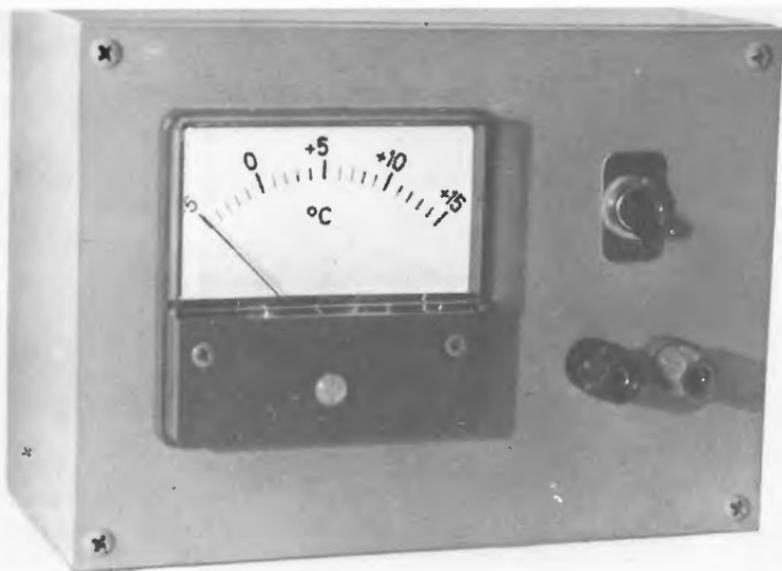


Fig. 7. Custodia per il termometro elettronico

Tavola 4

Fig. 8. Custodia con pannello anteriore smontato

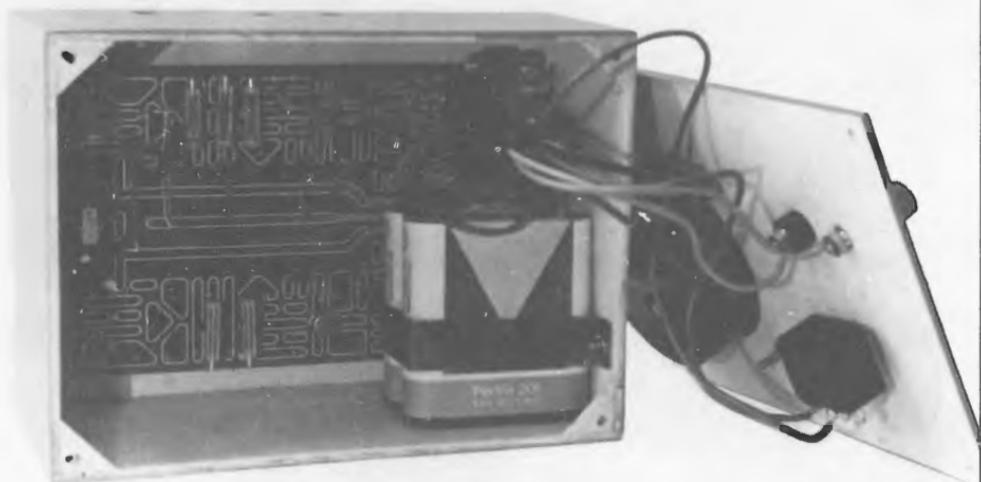
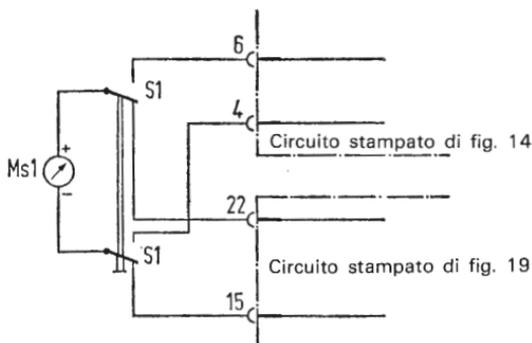


Fig. 20. Commutazione dello strumento indicatore per impiego alternato su due circuiti di misura



modo da poter tarare con acqua o un domani fare misure su liquidi.

La scala dello strumento va preparata come già detto al capitolo 2.2. Se si può ritenere che l'andamento della graduazione possa essere lineare, si può subito passare al disegno in china e poi all'incollaggio sul portascala. Con campi piuttosto estesi è invece preferibile fissare la scala solo in modo provvisorio e, segnate le divisioni in matita durante la taratura, ripassare in china dopo.

Per la taratura si metterà in corto l'uscita del ponte, collegando assieme le resistenze R9 e R10 dal lato del ponte (non dal lato dell'operazionale) con un tratto di conduttore. Il trimmer R16 sarà allora regolato in modo che lo strumento indicatore segni zero. Ora prendiamo un recipiente con acqua. Se la graduazione inizia a 0 °C o sotto zero occorre portare l'acqua a 0 °C con cubetti di ghiaccio del freezer, agitando bene e a lungo. Se la temperatura dell'acqua non scende a zero, occorrerà aggiungere un po' di sale da cucina. La sonda va immersa nell'acqua e poi si regolerà R6 finché l'indice si porta su 0 °C (e questo anche se la graduazione si estende sotto lo zero).

Le istruzioni che seguono si riferiscono ad un campo da -20 a +50 °C e vanno modificate leggermente nel caso di altri campi. La sonda viene immersa ora in un recipiente con acqua a 70 °C; regolando R14 si porterà l'indice a fondo scala. Con altro reci-

piante di acqua a 20 °C si farà adesso il segno corrispondente sulla scala. La sonda va di nuovo immersa nel recipiente di acqua a 0 °C (mescolare!) e il potenziometro R6 va spostato in modo che l'indice si porti su 20 °C. Se ora si mette la sonda in acqua a 50 °C l'indice dovrebbe andare esattamente a fondo scala; in caso diverso occorre ritoccare la taratura. Con prove a temperature intermedie verranno definiti poi i relativi punti della graduazione. All'inizio della scala si metterà -20 °C, al punto definito con la prova a 20 °C si metterà 0 °C e così via. In questo modo è stato possibile tarare fino a -20 °C, anche se non era possibile portare materialmente la sonda a quella temperatura. Le istruzioni per il montaggio in una custodia verranno date al capitolo 7.

4.3 Prove con il termometro a resistenza

Il termometro a resistenza si differenzia da quello a transistor per la possibilità di effettuare misure a temperature maggiori e di dilatare la scala, con conseguente migliore lettura. Con una scala allargata, in cui è compresa la temperatura ambiente, è possibile controllare la distribuzione del calore nel nostro soggiorno e riuscire a scoprire come mai spesso si ha freddo ai piedi. Si fa dapprima una pianta della stanza e vi si riportano le misure di temperatura eseguite un po' dappertutto, una volta al pavimento e una volta ad un metro di altezza. Naturalmente i rilievi saranno più fitti nelle zone abitualmente occupate e in prossimità di possibili cause di freddo (finestre, porte, pareti esterne, parete e porta dal lato balcone, ecc.).

Se dai rilievi si riscontrano differenze di temperatura fra pavimento e misure fatte a un metro di altezza superiori a $3 \div 4$ °C, è da ritenere che l'impianto di riscaldamento o l'isolamento termico non siano efficienti. Quando non esiste un riscaldamento centrale, le « falle » da cui entra aria fredda si possono fronteggiare con un radiatore o una stufetta. La sonda sarà di aiuto per stabilire dove occorre una sorgente di calore e se essa è sufficiente.

È invece più difficile rimediare alla infiltrazione di freddo dovuto alla gettata di cemento del balcone. Per quanto ad ogni progettista sia noto che il cemento ha buona conducibilità termica e che la gettata viene prolungata all'interno della camera per ragioni di statica, ci si dimentica regolarmente di prevedere un isolamento termico appropriato. In questo caso una stufetta non è di grande aiuto; meglio un tappeto di buon spessore.

5. Termostato

Ci siamo occupati finora di temperature indicate da uno strumento. Occorre quindi l'intervento dell'uomo per aumentare il riscaldamento, se c'è freddo. La manovra può però essere affidata con maggior precisione ad un dispositivo elettronico. Un dispositivo del genere, capace di mantenere costante una temperatura prefis-

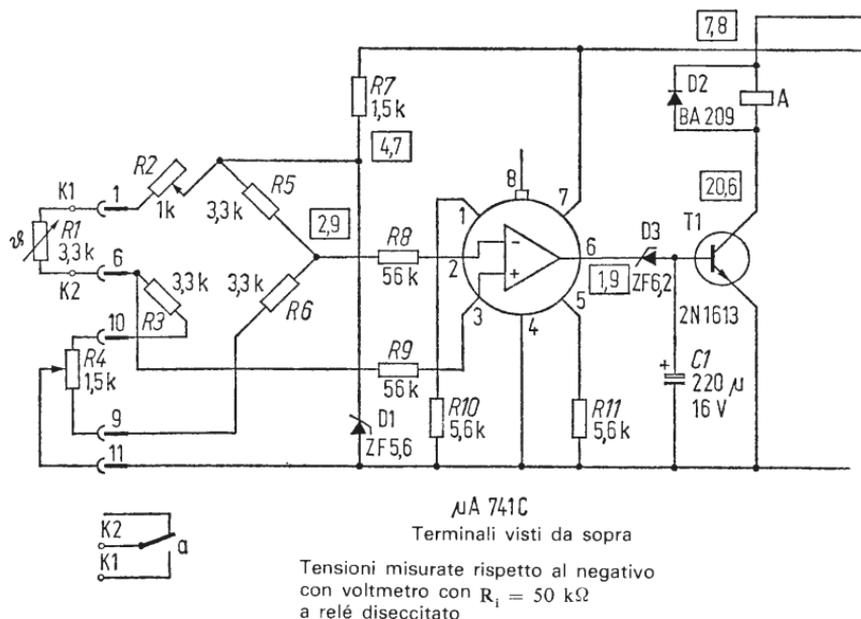
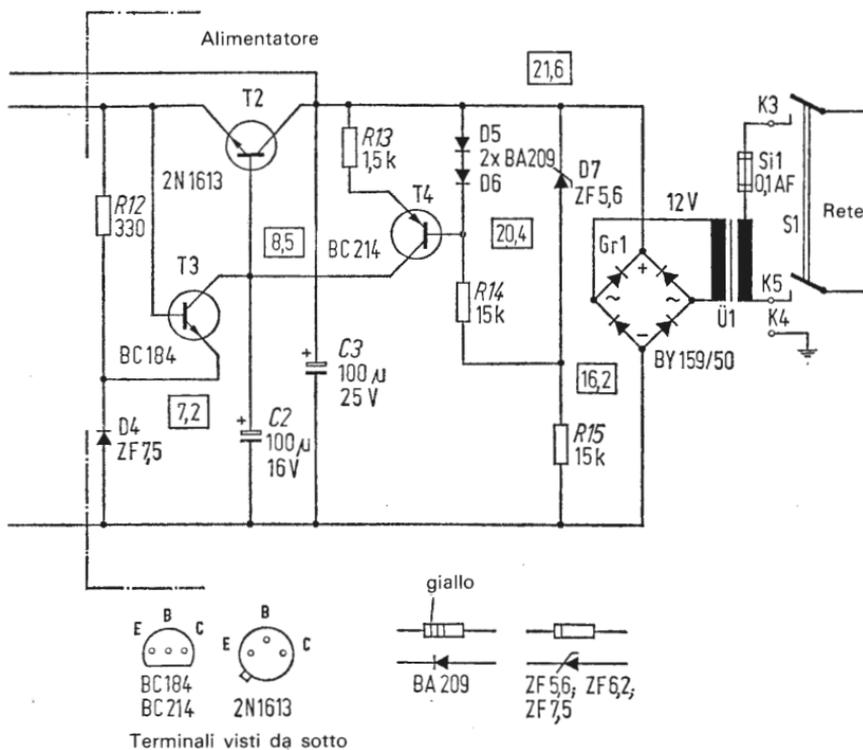


Fig. 21. Circuito di un termostato

sata, è il termostato (dal greco « thermòs » = caldo, « statòs » = stabile). Con una modifica al termometro a resistenza descritto in precedenza è possibile realizzare un termostato. Esso è solo un regolatore. L'organo di comando (ad es. il motore che sposta una valvola miscelatrice) deve essere scelto a parte in funzione dell'impianto preesistente.

5.1 Termometro a resistenza modificato

Il circuito di misura, illustrato in fig. 21, in linea di principio non è variato. C'è una variante importante, però: il termistore impiegato



come sonda è privo della resistenza fissa in parallelo. Questa serviva solo a linearizzare la scala; per contro riduceva la sensibilità in quanto le variazioni della resistenza complessiva erano di ampiezza inferiore.

Per questa volta la linearità non ci interessa più; la temperatura desiderata infatti può variare di pochi gradi, ad esempio fra +15 e +25 °C. È invece importante raggiungere la più alta sensibilità possibile, al fine di contenere l'isteresi. I sistemi meccanici sono afflitti infatti da una certa inerzia e, per ragioni fisiche, devono anche averla.

Elenco dei componenti dello schema di fig. 21

- 1 resistenza 330 Ω
- 2 resistenze 1,5 k Ω
- 3 resistenze 3,3 k Ω
- 2 resistenze 5,6 k Ω
- 2 resistenze 15 k Ω
- 2 resistenze 56 k Ω
(precisione 5%, dissipazione 1/3 W)
- 1 termistore 3,3 k Ω
- 1 trimmer 10 giri 1 k Ω
- 1 potenziometro a filo 1,5 k Ω
- 1 condensatore elettrolitico 100 μ F/16 V
- 1 condensatore elettrolitico 100 μ F/25 V
- 1 condensatore elettrolitico 220 μ F/16 V
- 1 raddrizzatore a ponte 35 V/0, 2 A (BY 159/50)
- 3 diodi al silicio BA 209
- 2 diodi Zener ZF 5,6
- 1 diodo Zener ZF 6,2
- 1 diodo Zener ZF 7,5
- 1 transistor NPN al silicio BC 184
- 1 transistor PNP al silicio BC 214
- 2 transistor di potenza NPN al silicio ZN 1613
- 1 amplificatore integrato operazionale μ A 741 C
- 1 zoccolo per fusibili 5 \times 20 mm
- 1 fusibile rapido 0,125 A, 5 \times 20 mm
- 1 gruppo 3 morsetti per circuito stampato
- 1 gruppo 2 morsetti per circuito stampato
- 1 circuito stampato per montaggi sperimentali KACO tipo 4
- 1 connettore KF 22-141/4
- 1 interruttore a levetta bipolare
- 2 passanti in gomma
- 1 relé per circuito stampato, bobina 12 V, 1 contatto di scambio
(Badische Telefonbau tipo 272-031 DR)
- 1 trasformatore di alimentazione per circuito stampato prim. 220 V, sec. 12 V, 1,5 W

Sia fissata ad esempio come valore desiderato la temperatura di 22 °C, a mezzo del potenziometro. La sonda misura esattamente 22 °C. Cosa deve fare allora il circuito, attaccare o staccare? Bisognerà quindi proporzionarlo affinché attacchi a 21,5 °C e stacchi a 22,5 °C. Naturalmente sarebbe anche meglio se attaccasse a 21,9 °C e staccasse a 22,1 °C. La differenza di temperatura tra i due punti di intervento, in quest'ultimo caso 0,2 °C, è detta isteresi. A minor isteresi corrisponde una maggiore costanza della temperatura.

L'amplificatore operazionale integrato, che aveva prima un guadagno di appena 10, viene ora impiegato senza controreazione, per cui il suo guadagno a vuoto — che i dati del costruttore indicano superiore a 20.000 — viene sfruttato in pieno. Bastano pertanto ora le più piccole variazioni di temperatura per pilotarlo completamente. L'alta amplificazione è necessaria in quanto non viene richiesta questa volta una indicazione della temperatura, ma un deciso eccitarsi e diseccitarsi del relé.

Il diodo Zener D3 impedisce che il relé sia eccitato parzialmente, per cui il contatto non sarebbe sicuro quando l'amplificatore non è pilotato completamente.

Nel prototipo realizzato il relé aveva una bobina di 80 ohm. L'assorbimento provocava un abbassamento della tensione a 12 V, al limite della stabilizzazione. Nella lista dei componenti viene indicata invece una maggiore resistenza della bobina. Se per una ragione qualsiasi si desidera impiegare un relé con minor resistenza, sarà meglio montare un trasformatore di maggior potenza, ad es. di 2,5 W.

5.2 Alimentatore universale

Per una regolazione continua del riscaldamento il termostato deve essere sempre alimentato. L'impiego di batterie alla lunga diverrebbe piuttosto costo: pertanto si è pensato ad un alimentatore collegato alla rete. L'alimentatore è stato progettato per l'impiego

con tutti i circuiti qui descritti. Chi lo preferisce può quindi collegare al posto delle batterie la parte a destra dello schema di fig. 2, circoscritta dalla linea a tratti. Così diventa superflua la parte stabilizzatrice di tensione degli schemi già esaminati. I componenti da sopprimere sono:

in fig. 6: T1, D2, D3, R8;

in fig. 13: T3, T4, T5, D4, D5, D6, R10, R11, R12;

in fig. 18: T1, T2, T3, D3, D4, D5, R16, R17, R18.

I valori di tensione indicati negli schemi non valgono naturalmente più; essi risulteranno leggermente più elevati che con esercizio a batteria.

In linea generale la stabilizzazione lavora come negli schemi di fig. 13 e 18; sono però stati aggiunti dei condensatori di livellamento, un trasformatore di rete ed un raddrizzatore a ponte. Non essendo lo schema autoprotetto contro i cortocircuiti, è stato previsto un fusibile sul primario del trasformatore. Normalmente è difficile che con un circuito stampato si verifichino cortocircuiti (dato anche che non vi sono tensioni elevate in gioco); il fusibile può pertanto trovare posto sullo stesso supporto.

Importante nello schema è la funzione dei transistori T3 e T4. Il secondo lavora come sorgente di corrente costante; la corrente di collettore non varia apprezzabilmente. Buona parte di questa corrente circola in T3. Se ora la corrente che dal positivo passa in R13, T4, T3, D4 per andare al negativo rimane costante, in presenza di variazioni della tensione di entrata per la legge di Ohm dovrà variare una delle resistenze interessate. Effettivamente è T3 che funge da resistenza variabile. Se T3 conduce più o meno, varia la caduta di tensione fra collettore e emettitore. Quest'ultimo ha un potenziale fisso, definito dal diodo Zener D4.

Allorché la tensione stabilizzata tende a salire, T3 riduce la sua resistenza, la tensione al collettore si abbassa e quindi diminuisce anche la tensione sulla base di T2. Così viene controbilanciata la variazione iniziale.

È ovvio che la corrente di collettore di T4 deve rimanere veramente costante.

Essa viene stabilizzata dalla tensione su D5 e D6. Questi diodi non riescono a compensare variazioni di tensione ingenti, senza che vari la loro tensione di soglia. A causa del trasformatore, di potenza troppo bassa, la tensione raddrizzata da 21 V cade a 12 V, quando il relé si eccita.

Per ridurre questo ingente scarto, la tensione per D5 e D6 viene stabilizzata dal diodo Zener D7. La tensione per il ponte e per l'integrato varia di circa 10 mV; salti di tensione in entrata vengono ridotti all'1%.

5.3 Costruzione e taratura

In fig. 22 a pag. 62 è riportata la disposizione dei componenti sul circuito stampato KACO mod. 4. Sulla tavola 3 la foto di fig. 5 rappresenta il circuito già montato.

Qui bisogna ancora far presente che lo strumento non può essere posto in esercizio senza controllare che vengano rispettate le norme di sicurezza. L'alimentazione ed i circuiti che interessano l'impianto di riscaldamento vanno collegati da un competente. Soprattutto occorre escludere contatti accidentali con le parti sotto tensione. Lo strumento va incluso in una custodia di materiale isolante, come nel capitolo 7.

Il pannellino anteriore questa volta non ha indicatore o organi di comando. Per questa ragione e anche perché non c'è più la batteria, la custodia può avere una profondità ridotta rispetto a quella che verrà descritta nel capitolo 7. In più ci sono i bloccaggi dei collegamenti alla rete e all'impianto di riscaldamento.

Nel punto in cui si effettua la misura e cioè nel locale del quale vogliamo regolare la temperatura, si trovano solo la sonda e il potenziometro R4. I quattro conduttori di collegamento possono essere di sezione molto piccola, come ad es. filo da campanelli. Il potenziometro può essere montato sul coperchio di una scatola di

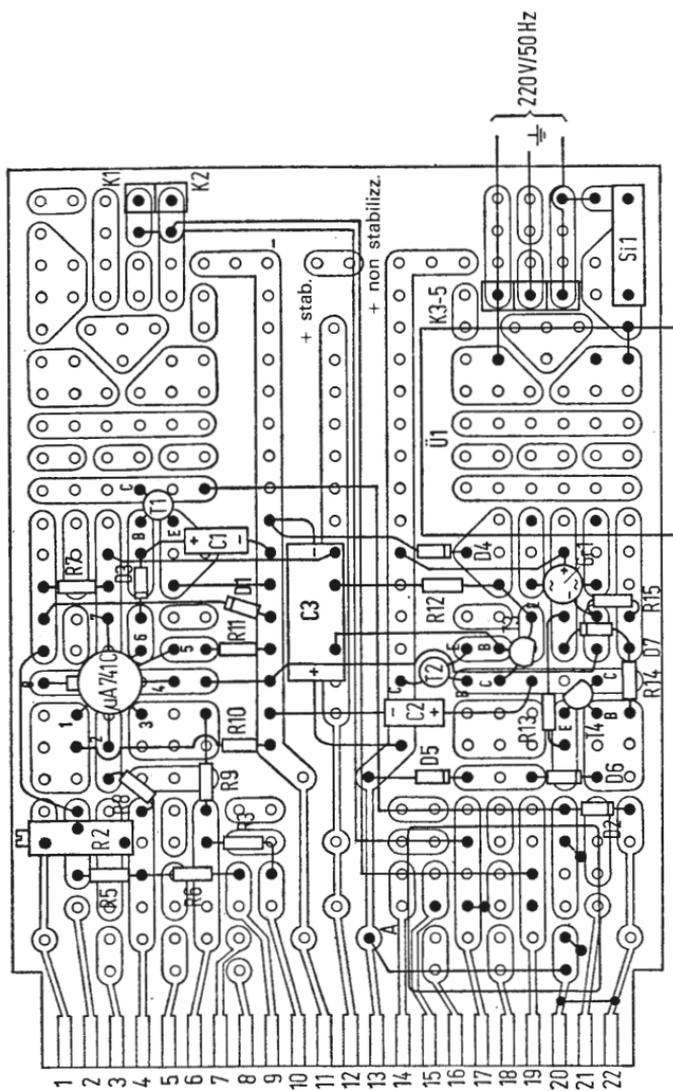


Fig. 22. Disposizione dei componenti del circuito di fig. 21 vista dal lato isolante del circuito stampato

derivazione per incasso oppure fissato ad una squadretta assicurata alla parete.

A quale organo di comando del riscaldamento conviene collegare il termostato? Dipende dall'impianto. Con il termostato non è possibile agire su una valvola di miscelazione; infatti esso è capace di dare solo un comando di tipo ON-OFF. È invece possibile agire sulla pompa di circolazione. Negli impianti a circolazione naturale privi di pompa, è possibile comandare una valvola elettromagnetica. Delle informazioni utili possono essere raccolte presso un installatore. Se per controllare l'impianto non basta un contatto di scambio occorrerà provvedere con un adatto relé con avvolgimento di minor resistenza. In questo caso come trasformatore di alimentazione va adottato un tipo di maggior potenza.

Il prototipo è stato collaudato con un termometro clinico, che consente la lettura del decimo di grado. L'isteresi è risultata di $\pm 0,1$ °C. Questo non significa che la temperatura del locale possa essere mantenuta entro questa tolleranza, perché tutto il sistema di riscaldamento ha una certa inerzia. La taratura del potenziometro si dovrà perciò fare rilevando la temperatura dell'aria a 1 m di altezza molte volte, su tempi molto lunghi. La media dei valori letti verrà marcata sulla scala, dapprima in matita e, dopo i dovuti controlli, in china.

Il termostato è dimensionato per lavorare nell'intorno di 25 °C. Con il trimmer R2 si riesce a spostare in su il punto di lavoro di circa 10 °C. Con temperature più basse occorrerà invece aumentare il valore di R3, portandola magari a 3,9 k Ω .

6. Segnalatore di possibile gelata

Ogni appassionato di giardinaggio si amareggia se una gelata tardiva in primavera o una precoce in autunno gli rovina buona parte delle sue belle piante. Se si potesse prevedere in quale notte ciò può avvenire, sarebbe possibile correre ai ripari. Quali sono le condizioni, variabili del resto da luogo a luogo, che possono provocare una gelata? Qui l'elettronica può dare una mano.

6.1 La misura psicrometrica di umidità

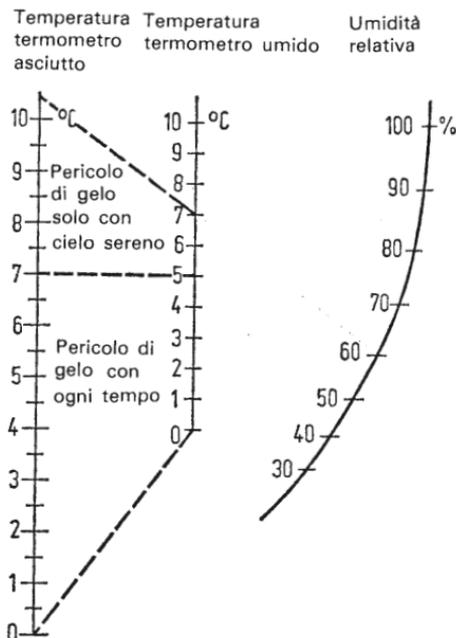
Lo strumento che proponiamo si rifà alla temperatura dell'aria e al contenuto di umidità. Le relazioni fra queste grandezze verranno esaminati nel prossimo capitolo. Ora ci occupiamo solo della misura di umidità.

Si conoscono diversi metodi, più o meno precisi, più o meno complicati. La molteplicità dei metodi conferma che il problema non è di semplice soluzione.

Un metodo molto diffuso si basa sul raffreddamento da evaporazione, che ha una certa correlazione con l'umidità dell'aria. Le cose vanno in questo modo: si prenda un normale termometro e si misuri la temperatura dell'aria. Occorre poi un secondo termometro con le stesse dimensioni, sul quale viene infilata una calzetta di garza, la cui coda inferiore pesca in un recipiente con acqua distillata. Questo secondo termometro viene raffreddato, come si è visto in un capitolo precedente; si legge quindi una temperatura inferiore a quella del primo termometro. La differenza delle due letture è chiamata differenza psicrometrica.

In base a curve e tabelle, dalle due temperature si può risalire

Fig. 23. Relazione fra temperature del termometro asciutto e del termometro umido e l'umidità relativa dell'aria



all'umidità relativa. Un nomogramma limitato al campo di nostro interesse è illustrato in fig. 23. Collegando con una retta i valori misurati e prolungandola, la sua intersezione con la curva di destra dà il valore dell'umidità relativa. La linea tratteggiata ad esempio che passa dal valore 10,5 °C (termometro asciutto) e 7 °C (termometro umido) incontra la curva dell'umidità al valore 60%.

Il procedimento è valevole ad una condizione: la velocità dell'aria che lambisce il termometro umido deve essere di $2 \div 3$ m/secondo. Con questa informazione non si può combinare gran che. Una pratica soluzione è quella di puntare sul termometro il getto di un asciugacapelli (ovviamente senza inserire il riscaldamento), a circa 10 cm di distanza.

Come ulteriore condizione, è raccomandato che al termometro, tramite la calza imbevuta di acqua, non venga trasmesso calore

dall'acqua. La calza deve quindi essere abbastanza lunga, in modo che fra superficie dell'acqua e bulbo del termometro vi siano almeno 5 cm di distanza. Si può anche immergere la calza, per poi estrarla e eseguire rapidamente la misura, prima che essa sia asciugata.

6.2 Un po' di meteorologia

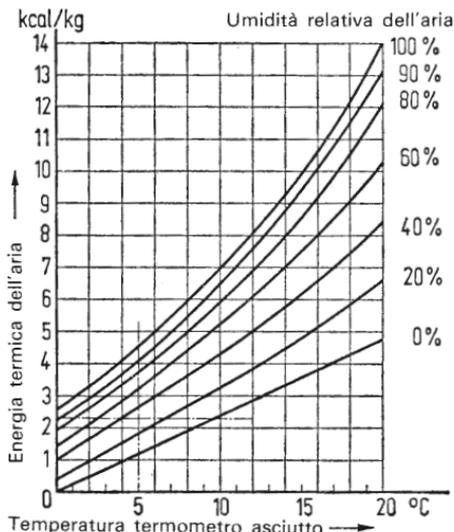
Diciamolo subito: prevedere una gelata non è una faccenda sicura, anche malgrado accurate misure. È però un fatto che ogni tanto succede. Vediamo di esaminare tutto il meccanismo.

Sia chiaro che le previsioni non sempre sono azzeccate, magari anche perché durante la notte la situazione si evolve. Cielo sereno e mancanza di vento sono sempre indici di probabile gelo. Poiché uno strumento viene osservato alla sera, non è difficile che di notte, cambiando il vento e lo stato del cielo si arrivi ad una previsione sbagliata.

I bollettini meteorologici ufficiali hanno lati buoni e cattivi. Per le previsioni è negativo il fatto che la situazione viene valutata in base a osservazioni fatte ancora a mezzogiorno. Se noi facciamo le misure alla sera, abbiamo già dei dati più attendibili. Inoltre i bollettini ufficiali si riferiscono a intere regioni, entro le quali però coesistono situazioni molto diverse. A noi non interessa il tempo medio, ma le condizioni climatiche del nostro giardino. Chi guida sa per esperienza che il fondo stradale a volte è ghiacciato in corrispondenza di boschi, di avvallamenti o di ponti, mentre è di nuovo asciutto un centinaio di metri più avanti.

Un bollettino meteorologico naturalmente non può tener conto di tutti questi fatti locali. Per quanto riguarda la situazione generale i meteorologi sono in vantaggio: se per esempio alla sera il cielo è coperto, a noi può sembrare che non ci sia gelo probabile. I meteorologi invece con qualche sicurezza possono prevedere una diminuzione della nuvolosità, per cui si affaccia il pericolo di gelata.

Fig. 24. Relazione fra contenuto di energia termica nell'aria e temperatura dell'aria, in funzione dell'umidità.



Se la notte è serena, il terreno si raffredda più rapidamente dell'aria. È senz'altro possibile che la temperatura del terreno scenda sotto lo zero, mentre a 2 m di altezza (lo standard per le osservazioni meteorologiche) l'aria sia qualche grado sopra lo zero. In questo caso abbiamo terreno gelato. Se però anche i bassi strati d'aria si raffreddano sotto il punto di congelamento, si ha la gelata notturna.

Il pericolo di gelata diventa attuale quando le condizioni di temperatura e umidità dell'aria sono giunte ad un punto per cui è probabile che durante la notte la situazione si aggravi e il gelo sopraggiunga. È importante al proposito il contenuto di energia dell'aria. L'aria secca, in fase di raffreddamento, si comporta in modo diverso dall'aria umida; nel vapore acqueo infatti è contenuto più calore che nell'aria. Con un esperimento possiamo verificare quanto basso sia il contenuto in calore dell'aria. Se in una stanza fredda facciamo bruciare in un recipiente alcune cucchiainate di spirito, la camera si riscalda in pochi minuti. Non appena lo spirito è esaurito, la stanza si raffredda nuovamente. Se invece anche

le pareti si sono riscaldate per un riscaldamento prolungato, al cessare di esso la discesa della temperatura è molto più bassa. Succede inoltre che, scendendo la temperatura al punto di rugiada, viene liberata dell'energia, e cioè il calore di condensazione. Occorre invece fornire calore per l'opposto fenomeno della evaporazione. È per questo che la biancheria asciuga più presto con aria calda che con aria fredda, a parità di umidità relativa.

Il diagramma di fig. 24 illustra la relazione fra contenuto di calore e temperatura. Da esso ad esempio si rileva che l'aria perfettamente secca (0% umidità relativa) a 10 °C ha lo stesso contenuto calorico di aria a 1,5 °C con 80% di umidità relativa. Ciò significa che, a parità di temperatura, in un metro cubo di aria è racchiusa più energia calorifica quanto maggiore è l'umidità relativa. Maggiore è il contenuto in calore, minore è la probabilità che esso durante la notte venga ceduto e si raggiunga quindi il punto di congelamento. Con tempo umido le probabilità di gelo sono quindi limitate.

Non è però detto che solo la pioggia ci garantisca dal pericolo di una gelata. Poiché il calore contenuto nell'aria viene irradiato verso l'alto, basta anche una bassa coltre di nubi per rallentare molto il fenomeno. Sono quindi da temere soprattutto le notti sere-

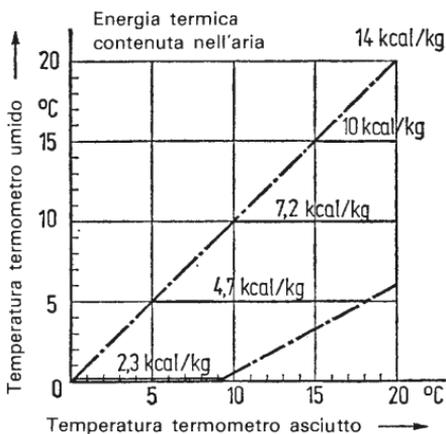


Fig. 25. Relazione fra temperatura del termometro umido, quella del termometro asciutto e energia termica contenuta nell'aria

ne. Anche in estate abbiamo notti limpide, ma senza passaggio dalla rugiada in brina. Vediamo un po' perché.

Come già detto, dalle curve di raffreddamento dell'aria è possibile prevedere una situazione di gelata. Sarebbe meglio perciò fare due o più rilevamenti dei dati, e cioè almeno prima e durante il tramonto. Si può comunque dire che, se un'ora prima del tramonto la temperatura è 5°C e il contenuto di calore $2,3\text{ kcal/kg}$, si presenta già il pericolo di gelo notturno. Dal diagramma di fig. 25 si può rilevare che al contenuto di calore citato corrisponde una temperatura del termometro umido di 0°C . Dai diagrammi delle figg. 23 e 24 si ricava una umidità relativa di circa 30%. Nella fig. 23 sono segnati i limiti delle zone pericolose. Sopra la linea congiungente 7°C (termometro asciutto) e 5°C (termometro umido) è il campo di modesta probabilità, sotto è il campo di forte probabilità.

Abbiamo radunato durante l'approntamento della pubblicazione alcuni dati statistici che, riuniti in tabella, sono alla fine della trattazione. Con ciò chiudiamo le nostre divagazioni meteorologiche.

6.3 Il segnalatore di possibile gelata

Malgrado il titolo molto promettente, non verrà descritto ora un nuovo strumento, ma semplicemente una variante del termometro elettronico a resistenza. Gli altri strumenti, per esempio quello a transistor, non sono considerati perché occorre una scala notevolmente dilatata, al fine di rilevare con buona precisione nell'intorno di 0°C . Il campo che ci interessa va da -5 a $+15^{\circ}\text{C}$. Con un campo così ristretto possiamo ritenere che la graduazione possa avere andamento lineare, per cui si può disegnare la scala in china e montarla sull'indicatore. Le suddivisioni saranno ricavate con un goniometro, perché sono distribuite in modo regolare. La scala finita è illustrata nella tavola 3, fig. 6 e nella tavola 4, fig. 7.

Il circuito di fig. 18 subisce alcune modifiche per adattarlo al campo prescelto. Il guadagno dell'amplificatore operazionale va

aumentato, sostituendo la resistenza di controreazione R11 da 330 k Ω con una da 470 k Ω . Il circuito di ingresso va inoltre modificato in funzione del campo di misura, per cui la resistenza disposta in parallelo al termistore va portata da 1 k Ω a 3,3 k Ω ; ciò provoca anche un aumento del segnale disponibile.

La taratura va fatta dapprima con acqua come descritto il capitolo 4.2. Si metterà in cortocircuito l'uscita del ponte (resistenze R9 e R10), con il potenziometro R16 si porterà l'indice dell'indicatore a zero. La sonda va immersa in acqua e ghiaccio; tolto il cortocircuito, con R6 l'indice verrà portato a inizio scala (non a 0 °C). Lasciare la sonda in acqua e ghiaccio, portare l'indice a 0 °C, agendo sul potenziometro R16. Preparare ora dell'acqua a 15 °C, immergere la sonda, portare l'indice al valore corrispondente. Con questa correzione viene alterata la taratura a 0 °C. Bisogna allora ritoccare alternativamente i due potenziometri, immergendo in acqua fredda e tiepida. Per la bassa inerzia della sonda, la taratura viene rapidamente conclusa.

Per quanto le resistenze del ponte siano di forte valore, sarà inevitabile che la sonda a termistore si riscaldi (a causa della corrente) di circa 1 °C. Va ritoccata la posizione di R6, finché l'indice segna la stessa temperatura del termometro di confronto. I singoli componenti vengono montati in una custodia come descritto nel capitolo 7. Lo strumento, finito, è visibile nelle figg. 4 e 6 della tavola 3.

6.4 Prove con il segnalatore di possibile gelata

Come si svolgono le misure per la previsione del gelo, è già stato detto in precedenza. Per quanto lo strumento in sé non abbia bisogno di alimentazione dalla rete, ci occorrerà un cavetto abbastanza lungo per collegare l'asciugacapelli.

L'orario del tramonto del sole è riportato in molti calendari. Per le misure è opportuno che esse vengano effettuate giornalmente alla stessa ora (per esempio al tramonto). I risultati saranno riportati

in forma di tabella, con una eventuale annotazione in caso di gelo notturno. In tal modo nasce rapidamente un certo senso premonitore che ci dice quando c'è pericolo.

Nella fig. 6 della tavola 3 è rappresentata l'attrezzatura per la misura di umidità. La sonda è fasciata con uno straccio umido in modo da avere un solo strato di tessuto da ogni parte. Il tessuto umido, che deve aderire alla sonda, va dapprima tenuto alla temperatura ambiente per 5 ÷ 10 minuti, affinché la temperatura dell'acqua non falsi la misura.

Prima di utilizzare il termometro elettronico per misurare la temperatura dell'aria occorre rettificare la taratura (effettuata con acqua) per compensare l'auto-riscaldamento. Dapprima si farà la misura in aria tranquilla; poi sulla sonda si disporrà il getto d'aria dell'asciugacapelli, con bocca a circa 10 cm di distanza. La temperatura aumenterà leggermente, a causa dell'aria riscaldata nell'asciugacapelli. Si annota la misura in aria tranquilla. L'aumento dovuto alla ventilazione forzata dovrà poi essere conteggiato quando si farà la misura col termometro umido. Ci scappa un piccolo errore, perché la relazione non è lineare; però è trascurabile per i nostri scopi. Per la misura dell'umidità l'asciugacapelli verrà posto a 10 cm di distanza; la lettura si farà quando l'indice dell'indicatore si stabilizza definitivamente. Ci si annota il valore, detraendo il piccolo aumento già citato, e si annoterà anche se il cielo è sereno o nuvoloso. In base alla fig. 23 si dovrà giudicare se c'è pericolo di gelo o no.

In precedenza è stato detto una volta che il termometro a mercurio è il mezzo più semplice e meno costoso per la misura della temperatura dell'aria. In questo caso però, a causa della sua inerzia, non si presta bene. Esso impiega 5 ÷ 10 minuti per dare una indicazione corretta, mentre il termometro elettronico impiega forse un minuto.

Poiché la serie di misure richiede 15 minuti complessivamente, e la pazienza non aiuta avremo misure poco precise. Per questa applicazione il termometro elettronico è effettivamente molto più adatto. La tabella in fondo al volumetto riporta una serie di misure

eseguite nei dintorni di Stuttgart nella primavera del 1971. Queste misure sono poi condensate nel diagramma di pag. 79, che parzialmente modifica quanto invece mostra il diagramma di pag. 65.

6.5 Come proteggere il giardino dalla gelata

Le coltivazioni di verdure, i frutteti e le piantine di vivaio sono sempre più o meno sensibili al gelo. Piante basse possono essere protette con fogli di plastica, arelle, paglia o magari carta di giornale; singole pianticelle con sacchetti di plastica o carta. Queste protezioni di giorno vanno tolte perché le piante possono essere danneggiate dal clima anormale che si produce con i raggi solari. Si possono proteggere gli alberi da frutto con irrigatori a pioggia, anche se il getto di questi ultimi non arriva al sommo della vegetazione. L'acqua, che al confronto della brina è più calda, impedisce la formazione di ghiaccio. I giardinieri spesso si aiutano con dei falò di materiali che producono molto fumo, come erba, fogliame, paglia umida o trucioli. Vengono anche impiegati bruciatori a nafta, come si fa nell'edilizia.

Una ulteriore possibilità offre il riscaldamento elettrico. Non è molto conveniente sospendere dei radiatori a raggi infrarossi, però alcune lampade ad incandescenza di qualche centinaio di watt, appese sotto gli alberi, dovrebbero essere sufficienti.

7. Costruzione di una custodia

Una custodia per gli strumenti descritti può essere facilmente autocostruita. Occorre un pannello di 3 mm di spessore circa di materiale plastico e un collante adatto. Per il prototipo è stato utilizzato del polistirolo, incollato con UHU-plast. I singoli pezzi, con indicazione delle misure, sono illustrati nelle figg. 26 e 27. La maggior parte delle materie plastiche si rammolliscono al taglio della sega circolare, per cui occorre procedere lentamente. Chi non dispone di una sega meccanica, dovrà utilizzare un seghetto di traforo.

Il pannello frontale deve poter essere smontato. Il materiale è troppo sottile per accogliere dei fori filettati, per cui occorre rinforzare gli angoli come indica a destra, in alto, la fig. 27. Si possono usare viti a metallo o anche autofilettanti.

La custodia avrà quindi sul pannello frontale l'indicatore e i comandi; nell'interno si può disporre il circuito stampato e le due batterie. Sul circuito stampato si possono realizzare due montaggi, con l'indicatore commutabile in comune.

Il connettore va fissato alla parete destra su due colonnine distanziatrici di circa 12 mm. Le due batterie verranno fissate con una fascetta di lamierino come illustra la fig. 28; per il ricambio i fili di collegamento verranno dissaldati e poi risaldati sulle nuove batterie. Questo lavoro viene eliminato se si può disporre di un contenitore per batterie in plastica, munito di lamelle di contatto. Questi contenitori sono reperibili come ricambi di alcuni tipi di radio portatili.

Le figg. 7 e 8 della tavola 4 mostrano la custodia finita. Per migliorarne l'aspetto si può verniciarla con colore spray, prima di montare i singoli pezzi. I fori che si vedono sul lato superiore servono

Lato anteriore

Lato posteriore Materiale: polistirolo 3 mm

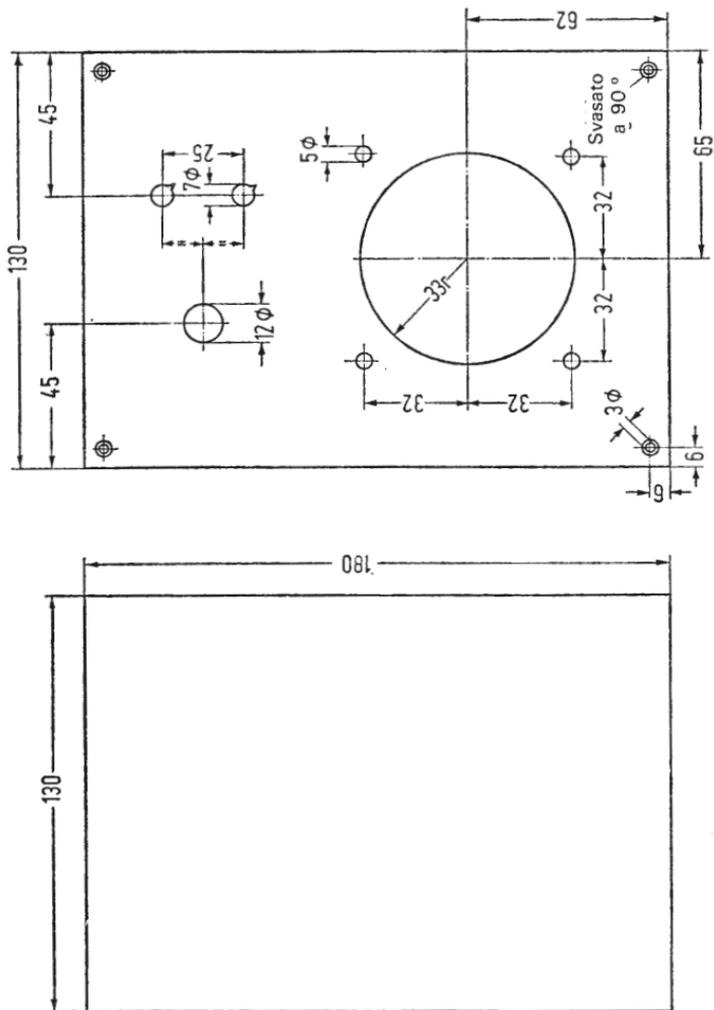


Fig. 26. Lato anteriore e posteriore della custodia

per poter raggiungere i trimmer di taratura. I fori devono ovviamente essere posizionati con cura.

Siamo così arrivati alla fine dei nostri esperimenti. Altre realizzazioni di apparecchi che hanno a che fare con la misura del calore,

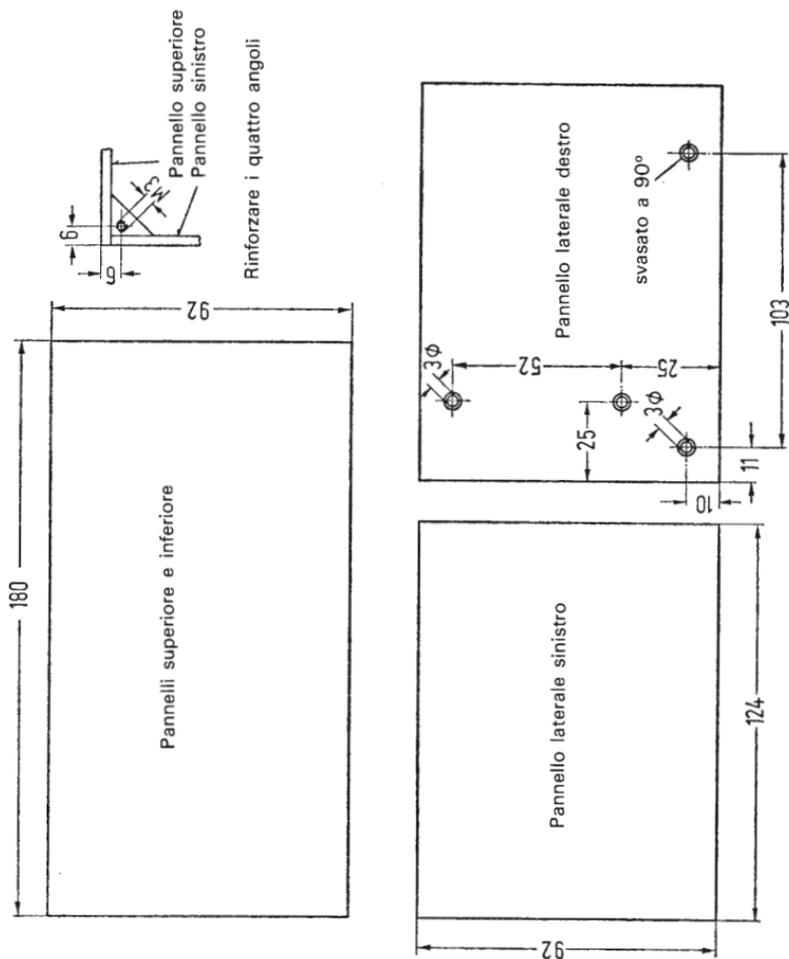


Fig. 27. Pannelli laterali della custodia

Materiale: ottone, rame o ferro stagnato
spessore 0,5 mm, sviluppo 184mm

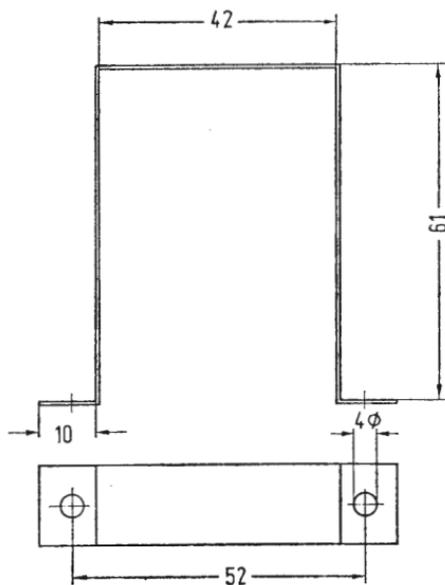


Fig. 28. Fascetta di fissaggio per le batterie

come un segnalatore di sovratemperatura, un rivelatore di fumo ed un segnalatore, che impedisce ai cibi di riversarsi per eccessivo bollore, sono descritti nel volumetto « Impianti d'allarme » della collana « biblioteca tascabile elettronica ».

8. Guida all'acquisto

I componenti necessari alla realizzazione dei circuiti descritti si possono trovare abbastanza facilmente presso i negozianti di materiale elettronico.

Il circuito stampato della KACO si può richiedere a – COMAREL S.P.A., Via Montepulciano 17, Milano.

9. Appendice

Misure di temperatura e umidità eseguite al tramonto nei dintorni di Stuttgart nella primavera del 1971

Data	t_T °C	t_F °C	φ %	i kcal/kg	Cielo	Note
19.3.	7	6	84	4,8	sereno	
20.3.	9,5	7	60	5,4	coperto	
21.3.	6	5,5	92	4,7	pioggia	
23.3.	5	3,5	78	3,7	sereno	gelo
25.3.	6,8	6	90	4,8	pioggia	
27.3.	3,8	3,2	92	3,6	nuvoloso	gelo
28.3.	7	5	74	4,4	sereno	gelo
1.4.	10,5	7	60	5,4	sereno	gelo
3.4.	6,5	5	80	4,4	sereno	gelo
5.4.	15	8	35	5,9	nuvoloso	
6.4.	9	8	87	5,9	sereno	gelo
7.4.	11,5	8,5	65	6,2	sereno	
9.4.	15,5	10,5	55	7,3	sereno	
11.4.	12	8,5	62	6,2	nuvoloso	
19.4.	18	10	34	7,0	coperto	
20.4.	12	9	68	6,5	sereno	
21.4.	18	11	40	7,6	sereno	
27.4.	6	5,2	88	4,6	coperto	
28.4.	6	4,5	80	4,3	sereno	
1.5.	6,5	5,7	88	4,8	pioggia	
2.5.	8	6,5	80	5,2	nuvoloso	
4.5.	10	9	88	6,5	coperto	
5.5.	13,5	11	75	7,7	coperto	
6.5.	15	11	60	7,7	sereno	
8.5.	16	13	70	8,8	coperto	
9.5.	17	14,5	76	9,7	sereno	
11.5.	21	14	46	9,3	sereno	
12.5.	17	15	80	10	sereno	

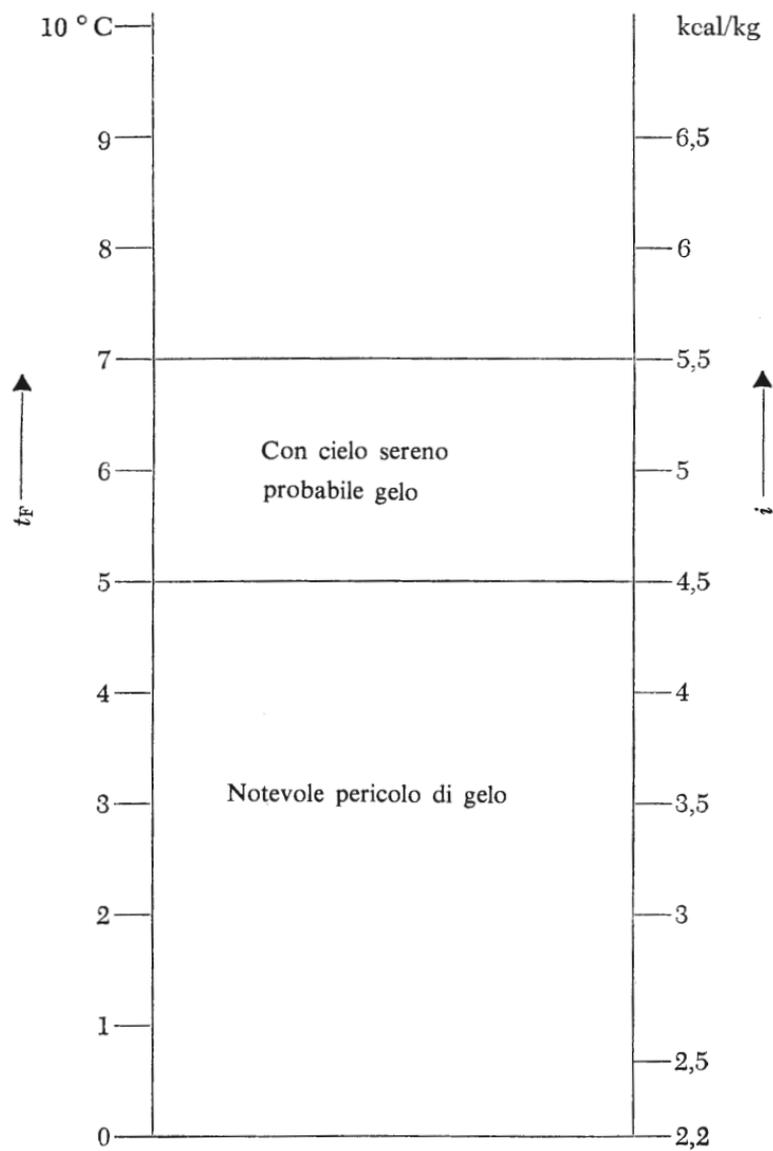
T_T = temperatura termometro asciutto

t_F = temperatura termometro umido

i = energia termica (entalpia)

φ = umidità relativa

Diagramma ricavato dalla tabella in appendice



Indice analitico

- Alimentatore universale 59
Amplificatore per tensioni termoelettriche 17
- Celsius 8
Circuito stampato 20, 49, 77
Curve di raffreddamento 69
- Deriva termica 36, 41
- Emissione di colori 8, 10
- Kelvin 8, 10
- Misura psicrometrica dell'umidità 64
Montaggio 73
- Scala 23, 38, 53
Segnalatore di possibile gelata 64
- Sonda 39, 40
- Taratura 26, 40, 61
Tensione di riferimento 40
Termistori 15
Termocoppia 11, 12
— ferro-costantana 13
— nichelcromo-nichel 13
Termometro/i
— a mercurio 10
— a resistenza 11, 57
— metallici 11
— per alte temperature 17
— per basse temperature 30
— per campi ristretti 45
Termoresistenza 14, 45
- Zero
— assoluto 7
— elettrico 18

biblioteca tascabile elettronica

coordinata da Mauro Boscarol

come si costruisce un termometro elettronico

Questo libro risponde a una domanda fondamentale nel campo della misurazione dei fenomeni fisici: cosa fare quando il semplice tocco della mano, o anche il termometro a mercurio, non bastano più a misurare la temperatura che ci interessa conoscere?

Heinrich Stöckle, che i nostri lettori ormai conoscono come autore di altri testi di questa stessa collana, risponde con semplicità e completezza. L'autore non spiega però solo il funzionamento di questa « ultima generazione » dei misuratori di temperatura, ma fornisce tutte le indicazioni per la costruzione di un termometro elettronico. Oltre a ciò, il libro presenta una vasta gamma di possibili applicazioni, dal termostato per la regolazione automatica dell'impianto di riscaldamento allo strumento che prevede le gelate, e ci permette di salvare piante e fiori del nostro giardino.

Alla portata di tutti i dilettanti, questo libro può riservare piacevoli novità anche a chi si occupa di elettronica a livello professionale.

- | | | |
|----|------------------------|--|
| 1 | Hanns-Peter Siebert | L'elettronica e la fotografia (L. 2.400) |
| 2 | Richard Zierl | Come si lavora con i transistori (L. 2.400)
Prima parte: i collegamenti |
| 3 | Heinrich Stöckle | Come si costruisce un circuito elettronico (L. 2.400) |
| 4 | Heinz Richter | La luce in elettronica (L. 2.400) |
| 5 | Richard Zierl | Come si costruisce un ricevitore radio (L. 2.400) |
| 6 | Richard Zierl | Come si lavora con i transistori (L. 2.400)
Seconda parte: l'amplificazione |
| 7 | Helmut Tünker | Strumenti musicali elettronici (L. 2.400) |
| 8 | Heinrich Stöckle | Strumenti di misura e di verifica (L. 3.200) |
| 9 | Heinrich Stöckle | Sistemi d'allarme (L. 2.400) |
| 10 | Hanns-Peter Siebert | Verifiche e misure elettroniche (L. 3.200) |
| 11 | Richard Zierl | Come si costruisce un amplificatore audio (L. 2.400) |
| 12 | Waldemar Baitinger | Come si costruisce un tester (L. 2.400) |
| 13 | Henning Gamlich | Come si lavora con i tiristori (L. 2.400) |
| 14 | Richard Zierl | Come si costruisce un telecomando elettronico (L. 2.400) |
| 16 | Karl-Heinz Biebersdorf | Circuiti dell'elettronica digitale (L. 2.400) |
| 17 | Frahm/Kort | Come si costruisce un diffusore acustico (L. 2.400) |
| 18 | Waldemar Baitinger | Come si costruisce un alimentatore (L. 3.200) |
| 19 | Heinrich Stöckle | Come si lavora con i circuiti integrati (L. 2.400) |
| 20 | Heinrich Stöckle | Come si costruisce un termometro elettronico (L. 2.400) |