

Collana Quaderni Tecnici

Termocoppie Teoria di Base



Application Notes

Lingua Italiana

File: TC_Teory_IT_Q1

Book Rev: 1.0

Indice:

1 – Premesse

2 – In Generale

3 – Compensazione del Giunto Freddo

4 – Giunto di Riferimento & Metodi di Compensazione

5 – Materiali per Termocoppie

6 – Termocoppie: Tipi Materiali Applicazioni

7 – Tolleranza delle Varie termocoppie

1 – Premesse

In epoca di IOT elettronica informatica e tecnologie sempre più avanzate, che per il gruppo Ceam sono ormai pane quotidiano, in un mondo in cui la quantità di sensori aumenta in modo esponenziale in ogni settore, ma i sensori comunque oggi ancora più diffusi sono le termocoppie, una tecnologia che forse la più longeva di tutti i sensori usati.

Infatti l'effetto termocoppia è stata osservato nel lontano 1822 dal fisico Thomas Seebeck, e da allora il fenomeno che fa funzionare le termocoppie è sempre il solito, non ci son state variazioni.

Mentre tante cose sono cambiate sulla tecnologia e sulle tecniche costruttive, che alla fine hanno reso le termocoppie realmente utilizzabili tanto da essere tuttora il sensore più corretto e affidabile per effettuare misure di temperatura affidabili ed economiche, anche grazie al notevole contributo tecnologico evolutivo che alcune aziende hanno dato negli anni: Ceam nei suoi tanti anni di attività (fondata nel 1967) è sicuramente una di queste, basti pensare che l'ultimo brevetto sulle termocoppie era stato registrato nel lontano 1958, quelli successivi son stati fatti registrati da CEAM e da nessun altro.



Ma la frequenza e la rapidità con cui in Ceam vengono trovate, validate e messe in produzione nuove idee, ha fatto sì che da anni per non dare spunti interessanti ai concorrenti, è stato deciso di non brevettare più nulla, per mantenere il massimo riserbo sulle tecnologie messe a punto, molte delle quali tuttora esclusive di Ceam, specie per le applicazioni del settore Vetrario.

Anche perché il brevetto richiede di investire denaro nella protezione per 20 anni di qualcosa che per noi anche grazie a nuove idee che arrivano molto prima e che ci permettono di migliorare costantemente le nostre stesse idee, sono soldi buttati.

A conferma di questo risultato sulla qualità dei prodotti, possiamo confermare che siamo tra le poche aziende che ormai esperta in tutto il mondo, collaborando con i maggiori gruppi mondiali dei vari settori, che vanno dal vetro, all'acciaio, alla chimica, fino anche all'aerospazio, ai quali rivolgiamo una produzione sicuramente di nicchia ma di qualità eccezionale, tanto che spesso queste importati realtà no ci chiedono banalmente la fornitura di sensori, ma chiedono una consulenza per verificare se i medesimi sono corretti per le loro applicazioni oppure si possono migliorare, alla luce delle nuove nostre tecnologie e questo avviene puntualmente.

Ma la capacità di fare investimenti in ricerca anche sulle termocoppie, avviene grazie al fatto che diversamente da tutti gli altri concorrenti mono-prodotto, Ceam ormai è un piccolo gruppo industriale privato attivo in svariati settori, compresi l'informatica e l'elettronica ovvero quelli di maggior crescita oggi, dove è stata capace di mettere a punto anche li prodotti innovativi e tecnologici di primissimo livello, tanto da arrivare ad interessare le maggiori multinazionali del mondo, con una lista di referenze degne di una multinazionale.

Ed il prossimo passo, che è già in corso di studio sarà la contaminazione tra la Business Unit delle Termocoppie tradizionali e tutte le altre BU tecnologiche.

E già molto bolle in pentola, tanto da mettere le basi di una rivoluzione copernicana, con la nascita di prodotti ibridi tra il tradizionale e tecnologico.

Prodotti che in perfetto stile IOT saranno intelligenti e potranno dare informazioni su di loro in modo wireless, oltre svolgere egregiamente il loro lavoro tradizionale di misurare la temperatura, fino anche un progetto ambizioso che potrebbe ridurre ulteriormente la quantità di platino nelle sonde dei settori ad alta temperatura, senza penalizzare la prestazione anzi migliorandola, ben oltre quanto abbiamo già realizzato con il brevetto CDWG del filo a diametri differenziati, che ci già fatto diventare leader di mercato inarrivabili.

Per maggiori informazioni sulla vasta gamma di termocoppie e accessori prodotti da CEAM, visitare il catalogo online del gruppo www.sensorstore.it alla pagina specifica T/C RTD facilmente trovabile sia con il motore di ricerca interno al catalogo, oppure con il sistema diretto QR CEAM, puntando con il vostro smart-phone o tablet il codice QR sotto:



2 - In Generalità

Se un conduttore elettrico è soggetto ad un gradiente termico, un flusso di energia (calore) si associa al flusso di elettroni lungo il conduttore e genera una forza elettromotrice (f.e.m.).

Il valore e la direzione della f.e.m. prodotta dipendono dal valore e dalla direzione del gradiente di temperatura e dal materiale del conduttore.

La tensione generata (f.e.m.) è funzione della differenza di temperatura tra gli estremi del conduttore, ovvero tra giunto caldo e giunto freddo. Questo fenomeno non è nuovo ma bensì fu scoperto da T.J. Seebeck nel 1822.

La tensione che risulta alle estremità del conduttore è la somma di tutte le f.e.m. generate al suo interno. Perciò, a parità di differenza complessiva di temperatura $T_1 - T_2$ pur essendo possibili differenti distribuzioni del gradiente lungo il conduttore, tutte generano la stessa tensione totale E (fig. 2.1 a,b,c) ipotizzando che il conduttore abbia caratteristiche termoelettriche uniformi lungo tutta la sua lunghezza.

La tensione in uscita da un singolo conduttore non è normalmente rilevabile perché la somma di tutte le f.e.m. interne lungo un circuito chiuso è pari a zero, a qualsiasi temperatura. Perciò nei normali termometri a termocoppia, si uniscono tra di loro due materiali aventi diverse caratteristiche f.e.m. termoelettriche/temperatura per produrre un flusso netto di elettroni utilizzabile e una tensione in uscita rilevabile.

In altre parole, due conduttori di materiale diverso A e B collegati insieme, esposti agli stessi gradienti di temperatura rappresentati nella figura 2.1 generano alle loro estremità uscite come quelle rappresentate nella figura 2.2.

Attraverso la giunzione si forma un flusso di elettroni dovuto alle diverse f.e.m., che a loro volta dipendono dall'interazione del gradiente con i due diversi conduttori.

Per questo il termine "Termocoppia".

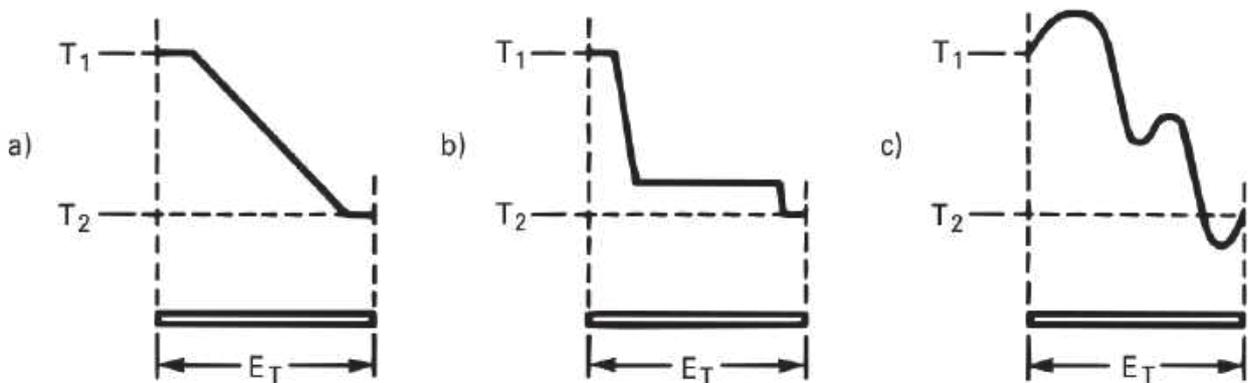


Figura 2.1 a,b,c: Distribuzioni diverse del gradiente di temperatura danno origine alla stessa f.e.m.

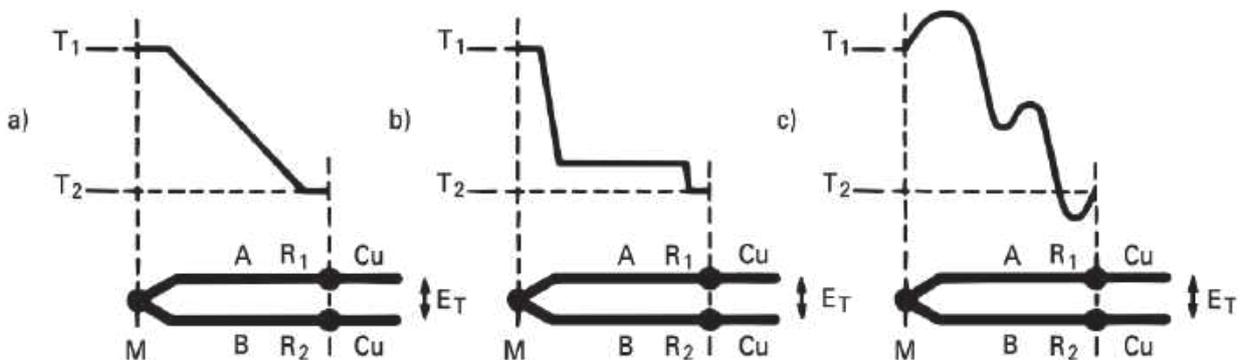


Figura 2.2 a,b,c: F.e.m. termoelettriche generate da gradienti di temperatura

Va osservato che la f.e.m. termoelettrica si genera nella zona del gradiente termico, non nella giunzione.

Questo è un punto importante da capire perché ne derivano conseguenze pratiche nella termometria effettuata tramite termocoppie: per esempio assicurarsi che i conduttori della termocoppia siano fisicamente e chimicamente omogenei se immersi in un gradiente termico.

Inoltre, le giunzioni stesse devono trovarsi in una zona isotermica.

Se una di queste condizioni non è soddisfatta, possono sorgere f.e.m. parassite.

Per inciso, un numero qualsiasi di conduttori può essere aggiunto in un circuito termoelettrico senza alterare l'uscita, purché le due estremità si trovino alla stessa temperatura e che sia garantita l'omogeneità.

Questo introduce il concetto dei cavi di estensione e di compensazione, che consentono di prolungare le lunghezze dei conduttori delle sonde.

Ritornando alla figura 2.2, si vede che la f.e.m. in uscita E_t è la stessa per qualsiasi distribuzione del gradiente termico a parità di differenza di temperatura $T_1 - T_2$, nell'ipotesi che i conduttori abbiano caratteristiche termoelettriche uniformi lungo tutta la loro lunghezza.

Poiché le giunzioni M, R1 e R2 rappresentano le estremità dei conduttori che generano la f.e.m., se i conduttori che collegano lo strumento di misura sono in filo di rame uniforme, l'uscita dalla termocoppia è effettivamente unicamente funzione delle temperature in corrispondenza delle due giunzioni principali, e questo costituisce nella sua essenza la base della termometria con termocoppie.

Le giunzioni rilevanti prendono il nome di giunzione di misura o giunto caldo (M) da una parte, mentre le giunzioni dei conduttori di materiali diversi con i prolungamenti in rame (normalmente due giunzioni) sono chiamati giunto di riferimento o giunto freddo (R nella figura 2.2).

Se il giunto di riferimento R è mantenuto ad una temperatura nota e costante, la temperatura del giunto di misura M può essere dedotta dalla tensione in uscita dalla termocoppia.

Le termocoppie pertanto possono essere considerate sensori differenziali di temperatura, piuttosto che sensori di temperatura assoluta.

Riassumendo, ci sono quattro punti importanti da ricordare.

Il primo è che le termocoppie generano un segnale in uscita solo quando si trovano all'interno di una zona con un gradiente di temperatura, non al di là.

Il secondo è che l'accuratezza e la stabilità si possono ottenere soltanto se le caratteristiche termoelettriche dei conduttori della termocoppia sono chimicamente uniformi su tutta la lunghezza, mentre non influisce la forma ed il diametro.

Il terzo è che solo un circuito formato da materiali diversi, all'interno di un gradiente termico, genera un segnale in uscita.

Infine nonostante gli effetti termoelettrici siano rilevati in corrispondenza delle giunzioni, essi non sono dovuti ad una particolare proprietà delle giunzioni, anche se è buona norma che tali giunzioni sia realizzate in modo eccellente.

3 - Compensazione del Giunto Freddo

Per ogni misura effettuata tramite termocoppia si deve chiaramente fare riferimento a queste tabelle per collegare la tensione dei segnali di uscita dei sensori alla corrispondente temperatura.

È anche importantissimo ricordarsi che in mancanza di una compensazione automatica, ad esempio con il sistema del Ghiaccio fondente a 0°C, anche con la fonte di calore stabile sul giunto caldo, potrebbero esserci tensioni diverse in uscita nel caso vari la temperatura del giunto di riferimento (Giunto Freddo) per qualche ragione variasse e si spostasse dallo 0°C, mentre se sul circuito di misura esiste una compensazione automatica al posto del ghiaccio, in grado di misurare la temperatura nel punto di connessione e compensarla, anche la misura generale risulterà stabile.

Nel caso ci sia un prolungamento della termocoppia con cavo di estensione o di compensazione, come è nella realtà quotidiana nelle applicazioni industriali, se il cavo usato è di tipo corretto ed collegato rispettando la giusta polarità, (compreso le teste di collegamento delle termocoppie) con sorgente di calore stabile, raffreddando forzatamente il punto di collegamento, la misura generale non deve variare, nel caso variasse, sta ad indicare che il cavo di estensione o compensazione è di tipo sbagliato oppure è connesso con polarità invertita e questo introduce errori di misura addirittura variabili in funzione della temperatura ambiente, la condizione peggiore.

Quindi, le tabelle di taratura sopra descritte si riferiscono sempre espressamente con il giunto di riferimento (giunto freddo) mantenuto alla temperatura di 0°C.

Questa condizione si può realizzare praticamente immergendo i giunti di rame nel ghiaccio fondente, protetti da tubi di vetro isolati o in una camera a temperatura controllata (come un contenitore isotermico con adeguati sensori di temperatura).

Ma oggi, salvo nei laboratori metrologici di calibrazione dove, qualche volta, questa pratica originale è ancora utilizzata, per le misurazioni industriali è improbabile usare bagni di ghiaccio fuso e questa condizione (Ghiaccio fondente 0°C) viene simulata tramite correzioni elettroniche della temperatura direttamente negli strumenti di misura, che provvedono anche a linearizzare le misure dei segnali delle varie termocoppie che non sono lineari, convertendole in valori di temperatura con precisioni anche estremamente elevate.

In pratica, la compensazione di temperatura sul giunto di riferimento, vengono rilevate da un sensore di temperatura autonomo, posto all'interno dello strumento di misura, il più vicino possibile al giunto di riferimento.

La qualità degli strumenti si misura anche con la precisione della misura del giunto di riferimento (Giunto Freddo), e la qualità della linearizzazione del segnale.

Come spero adesso sia chiaro, la qualità e la precisione della misura di temperatura con termocoppia, viene certamente garantita dalla qualità del sensore utilizzato, ma molto spesso viene peggiorata da una cattiva strumentazione dotata di una qualità scadente del sistema di misura del giunto di compensazione, errori che si ripercuotono direttamente sulla misura, oppure possono essere fortemente influenzate da un errato (Tipico) collegamento dei cavi di estensione e/o compensazione, e questa condizione è più frequente di quanto si possa pensare, anche a causa delle codici di colorazione dei cavi, che seguono delle codifiche particolari in funzione delle norme di riferimento dove non sempre il colore rosso indica il positivo, questo avviene solo nelle norme Din mentre ad esempio nelle norme ANSI il rosso è sempre negativo, dettaglio che frequentemente trae in inganno gli elettricisti che hanno poca esperienza di misure.

4 - Giunto di Riferimento (Giunto Freddo) e Metodi di Compensazione

Come è stato descritto in precedenza, le termocoppie generano un segnale elettrico (f.e.m.) legato alla differenza di temperatura tra il giunto caldo, ed il giunto freddo.

Per poter utilizzare le termocoppie come strumento di misura della temperatura assoluta anziché differenziale, il giunto di riferimento (Giunto freddo) deve essere mantenuto costantemente ad una temperatura nota (vedi figura sotto).

Un metodo semplice e consolidato di mantenere costante la temperatura di riferimento del giunto freddo, purtroppo assolutamente inadatto ad applicazioni industriali, ma ancora praticato qualche volta nei laboratori metrologici, consiste nell'immergere il giunto di riferimento in una miscela di ghiaccio fondente che si realizza mettendo il ghiaccio a sciogliere in acqua pura.

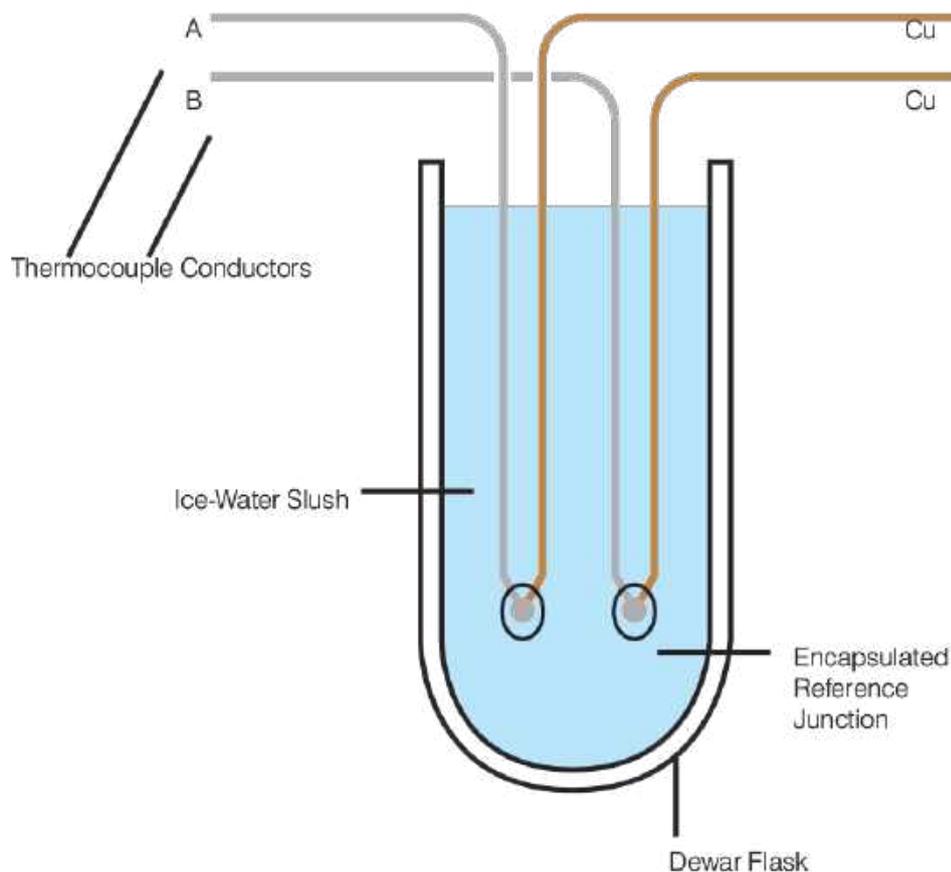
La temperatura durante la fase di fusione del ghiaccio, si mantiene costante a $0^{\circ}\text{C} \pm 0,001^{\circ}\text{C}$.

Per realizzare in pratica questo modello, si usa un vaso Dewar riempito di ghiaccio ed acqua.

Il metodo è teoricamente molto accurato ma richiede un'attenzione costante e ulteriori raddoppi in caso di uso prolungato.

Tra le fonti di errore, anche con questo metodo classico, ci potrebbe essere uno scarto di 4°C rispetto alla temperatura di riferimento, che si verifica se la quantità di ghiaccio che si scioglie in acqua è tale che le giunzioni di riferimento siano immerse soltanto nell'acqua, mentre il ghiaccio rimasto galleggia in superficie!

Viceversa, se il ghiaccio utilizzato è stato conservato in un congelatore, la sua temperatura potrebbe essere addirittura molto più bassa di 0°C .



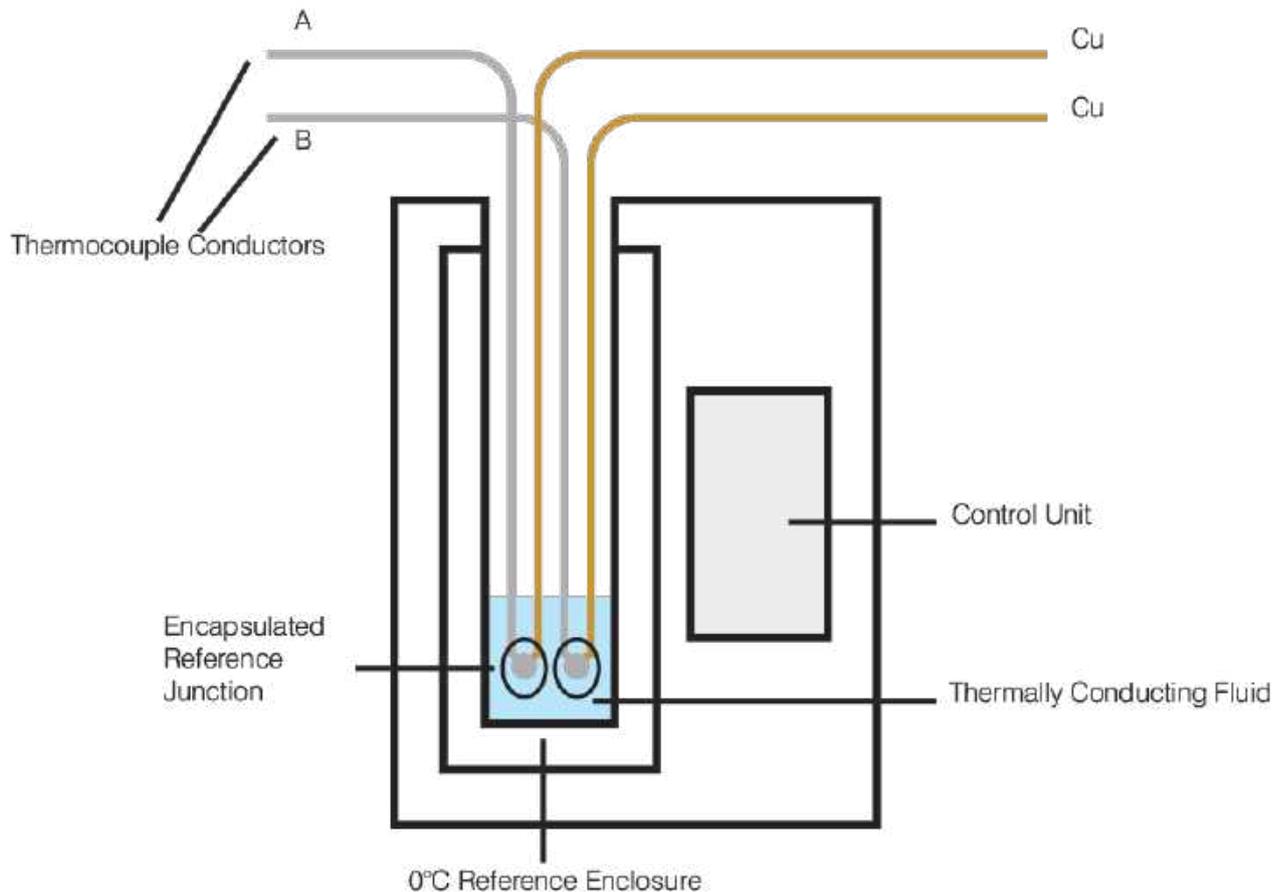
Nella figura: Vaso Dewar e giunzioni di riferimento

In ambito industriale esistono soluzioni alternative più pratiche per fornire la temperatura di riferimento a 0°C.

Una di queste è rappresentata da uno speciale strumento contenitore dotato di regolazione automatica della temperatura nel quale si inseriscono i giunti di riferimento.

I giunti sono mantenuti costantemente al punto di fusione del ghiaccio tramite dispositivi termoelettrici statici come le Celle di Peltier.

In questo caso, gli errori di temperatura sono normalmente inferiori a 0,1°C.



Nella Figura: Contenitore a temperatura controllata (Electronic ZeroPoint Reference)

In ambito di misure di laboratorio, l'utilizzo del punto di fusione del ghiaccio come riferimento o di un efficace simulatore equivalente è da preferire ad altre soluzioni, non soltanto per ragioni di accuratezza e stabilità, ma anche per comodità, perché le tabelle delle forze elettromotrici delle termocoppie sono riferite ad una temperatura di 0°C.

Un altro sistema molto comune usato oggi consiste in un circuito elettrico termosensibile (ne esistono varie opzioni) che rileva costantemente la temperatura del giunto di riferimento producendo una tensione proporzionale.

Questa tensione detta di compensazione del giunto freddo è aggiunta a quella del circuito della termocoppia o direttamente nella strumentazione di misura, nel punto di connessione.

Questi apparecchi sono disponibili in versioni modulari, possono essere alimentati a rete o a batteria; la loro accuratezza è di pochi gradi °C.

In ambito industriale ormai tutti gli strumenti funzionano collegandosi diretto alle termocoppie o ai cavi di estensione senza richiedere un giunto di riferimento a parte.

Tali apparecchi, come termometri elettronici, regolatori, trasmettitori, convertitori, data loggers ecc. sono dotati di un sistema più o meno accurato di misura e compensazione della temperatura di giunzione (Giunto Freddo) che in genere viene chiamato con la sigla CJC

La temperatura nel punto di connessione potrebbe essere determinata per mezzo di un termometro autonomo e così si ricava una tensione di riferimento adeguata.

Per inciso, bisogna prestare attenzione alla sistemazione fisica del generatore di riferimento, poiché l'accuratezza e la stabilità della lettura della termocoppia dipendono dal fatto che il suo circuito si trovi nello stesso ambiente delle connessioni, quindi alla stessa temperatura.

In ogni caso, la tensione di riferimento può essere sommata al segnale della termocoppia o per inserimento nel circuito elettrico o (in particolare nel caso di regolatori, data loggers e altri sistemi digitali) modificando elettronicamente o per via digitale dati nei calcoli della temperatura, quest'ultima è la tecnica di fatto usata da tutti gli strumenti di recente progettazione.

Per grandi circuiti che comportano un elevato numero di termocoppie, sono possibili sistemazioni su rack o armadietti aventi anche un centinaio di giunzioni equivalenti di riferimento, tutte sistemate all'interno di una sede opportuna a temperatura costante.

Questa sede può essere un'unità a ghiaccio fondente come già descritta, oppure un blocco metallico termicamente stabile in grado di mantenere una temperatura ragionevolmente costante prossima a quella dell'ambiente circostante.

In quest'ultimo caso, la temperatura del blocco è sotto costante monitoraggio di un compensatore elettrico, e di nuovo la tensione equivalente del punto di ghiaccio è disponibile per essere sommata al segnale di uscita di ciascuna termocoppia, o elettricamente o numericamente.

Esistono altre unità di riferimento che sono state progettate per operare a temperature elevate.

Sono utili in zone con temperatura ambiente particolarmente alta, ma i segnali delle termocoppie devono comunque essere riparametrati ai valori equivalenti allo zero.

In sintesi, se la temperatura di riferimento è nota, la temperatura della giunzione di misura può essere ricavata sommando un fattore correttivo ai valori indicati nelle tabelle delle termocoppie corrispondenti.

5 - Materiali per Termocoppie

Quasi tutti i materiali conduttori possono produrre un segnale termoelettrico e possono costituire una termocoppia.

Ma non appena si prendono in considerazione fattori come l'ampiezza dell'intervallo di temperatura, la qualità del segnale in uscita, linearità e ripetibilità (cioè la relazione tra il segnale in uscita e la temperatura), la scelta si riduce sensibilmente.

La selezione di materiali adeguati è stata oggetto di molti studi per varie decine di anni da parte dei fornitori e dei principali laboratori di taratura e certificazione e delle università.

Così, l'intervallo di temperature coperto oggi tra metalli e leghe adatte, sotto forma di filo o di sensore, si estende complessivamente da -270°C a 2600°C.

Naturalmente, non tutto l'intervallo può essere coperto con un solo tipo di termocoppia.

Negli anni sono stati riconosciuti e standardizzati a livello internazionale diversi tipi di termocoppie, ciascuno con i propri vantaggi ed i propri limiti.

Le norme internazionali IEC 60584 (International Electrotechnical Commission) si riferiscono a termocoppie standardizzate e le identificano con una lettera, sistema che era stato proposto inizialmente dalla Instrument Society of America.

Le termocoppie possono essere ripartite in due categorie principali: quelle a base di metalli preziosi (principalmente platino con platino-rodio) e quelle con metalli comuni, come nichel-cromo con nichel-alluminio, o ferro con rame-nichel (costantana).

Le termocoppie a base di platino tendono ad essere le più stabili, ma sono anche le più costose.

Il loro intervallo utile di utilizzo si estende dalla temperatura ambiente a circa 2000°C ma può essere molto più esteso limitatamente a brevi esposizioni (da -270°C a 3000°C).

L'intervallo di funzionamento delle termocoppie con metalli comuni è più ridotto, in genere da 0°C a 1200°C, ma anche in questo caso può essere maggiore per un uso non prolungato.

I segnali che si ottengono con termocoppie di metalli preziosi sono però più deboli di quelli ottenuti con i metalli comuni.

Un altro aspetto riguarda l'instabilità termoelettrica intrinseca delle termocoppie di metallo comune più diffuse, quelle di tipo K, sia in funzione del tempo che della temperatura, benché anche i tipi E, J e T non siano esenti da critiche.

Da qui l'interesse per le più recenti termocoppie di tipo N (Nicrosil con Nisil), che per certi ambiti di temperatura possono coniugare le migliori caratteristiche dei metalli preziosi al minore prezzo dei metalli comuni, con i livelli di segnale dei metalli comuni, ma con un intervallo di funzionamento leggermente più esteso, inoltre la particolare composizione chimica, le rende immuni da alcuni difetti tipici delle termocoppie tipo K.

6 - Termocoppie: Tipi, Materiali, Applicazioni

Sono state sperimentate numerose coppie di materiali per produrre termocoppie accettabili, ciascuna con un proprio particolare campo di applicazione.

Ma il vantaggio di avere componenti intercambiabili e l'economia derivante dalla produzione di massa hanno portato ad una standardizzazione di un numero ridotto di tipi, oggi facilmente disponibili sul mercato e in grado di coprire la maggior parte delle esigenze, sia come temperature che come condizioni ambientali, anzi con l'avvento delle ultime tecnologie digitali e le prestazioni sempre migliori dei componenti elettronici, oggi potremmo senza alcun impatto negativo sul mercato, anche ridurre di molto le tipologie di termocoppie, infatti l'attuale numero elevato di tipi, aveva un senso ieri per compensare la qualità scadente degli strumenti di misura, in particolare nell'epoca dei galvanometrici, poi tutto ha iniziato a cambiare con l'avvento dell'elettronica, fino ad oggi che con l'elettronica digitale a buon mercato e di qualità media elevata, è possibile misurare temperature con precisione, anche con valori di tensione che una volta gli strumenti non riuscivano a misurare e paradossalmente potremmo usare una termocoppia in platino per rilevare la temperatura in un frigo, che una volta sarebbe stato impossibile perché costoso a parte, tali termocoppie hanno un rapporto di segnale/temperatura molto basso e gli strumenti non avevano la sensibilità di per leggere una temperatura molto bassa, ma anche fossero riusciti, il problema era il valore di temperatura di compensazione del giunto freddo, che ovviamente sarebbe stato ancora più basso, quindi impossibile da misurare con precisione.

Queste termocoppie sono costruite conformemente alla relazione f.e.m. / temperatura specificata in forma di tabelle già richiamate, con i valori della f.e.m. (espressi in μV) in funzione della temperatura (in $^{\circ}\text{C}$) e viceversa.

Queste tabelle di riferimento sono pubblicate nella Norma IEC 60584.

È interessante osservare che queste norme non affrontano aspetti relativi alla fabbricazione, all'isolamento dei cavi, o ad altri criteri di rendimento, ma si limitano a descrivere il comportamento teorico dei soli filamenti, con tutte le diversità che ne conseguono, infatti va sottolineato per non trarre in inganno i lettori, che la costruzione dei sensori alla fine è determinante per il buon risultato della misura e negli anni CEAM ha messo a punto delle tecniche di costruzione e di lavorazione speciali anche coperte da brevetto che fanno la differenza con altri costruttori che sono meri assemblatori di componenti di terze parti, e grazie a queste innovative tecnologie CEAM garantisce risultati eccellenti riconosciuti sul mercato.

Le norme definiscono gli otto tipi maggiormente utilizzati di termocoppie, riferendosi ad essi con la loro denominazione fatta di un carattere alfabetico riconosciuta a livello internazionale e fornendo le tabelle di riferimento di ciascuno di essi. Queste tabelle sono state riportate nel Compendio.

E' utile dare un'occhiata a ciascuna di esse, esaminando valori, proprietà e ambito di applicazione.

Si ricorda che il conduttore positivo è sempre indicato per primo.

La temperatura massima di esercizio indicata, in particolare per le termocoppie con materiali comuni, non va presa come limite assoluto, ma solo teorico, tale valore poi nel caso di sonde complete deve essere verificato con il tipo di disegno, perché certe tipologie di costruzioni potrebbero anche limitare molto la temperatura massima di lavoro della sonda, infatti nelle applicazioni reali, la massima temperatura di lavoro di una sonda, va commisurata al diametro dei conduttori, alle condizioni ambientali e alle necessità di durata della termocoppia, di conseguenza si compone il costo della sonda stessa, anzi è proprio su questo punto che spesso sorgono equivoci, specie quando costruttori poco corretti, cercano di svilire il valore della sonda alla sola tipologia di termocoppia, mentre non è certo il solo tipo di filamento usato, ma ovvio il diametro che ne determina la quantità di metallo, specie in quelle di metalli nobili, ma anche il tipo di costruzione, che secondo come viene effettuata per ottenere delle sonde affidabili, possono anche generare una quantità di scarto che incide sul prezzo del sensore, ma lo rende anche più affidabile, questo è particolarmente vero per le sonde del settore vetro dove Ceam ha messo a punto delle tecniche costruttive speciali, che rendono le sonde molto affidabili, ma che richiedono una quantità di materiale superiore.

A titolo di promemoria, si riportano nelle tabelle sotto A & B i materiali utilizzati e i limiti di temperatura per ciascun tipo di termocoppia.

La prima tabella si riferisce a termocoppie di metalli preziosi (a base di platino), la seconda a termocoppie di metalli comuni.

International Type Designation	Conductor Material	Temperature range (°C)
R	Pt-13%Rh (+)	0 to +1600
	Pt (-)	
S	Pt-10%Rh (+)	0 to +1500
	Pt (-)	
B	Pt-30%Rh (+)	+100 to +1600
	Pt-6%Rh (-)	

Tabella A: Termocoppie a base di platino di normale utilizzo

International Type Designation	Conductor Material	Temperature range (°C)
K	Ni-Cr (+)	0 to +1100
	Ni-Al (-)	
T	Cu (+)	-185 to +300
	Cu-Ni (-)	
J	Fe (+)	+20 to +700
	Cu-Ni (-)	
E	Ni-Cr (+)	0 to +800
	Cu-Ni (-)	
N	Ni-Cr-Si (+)	0 to +1250
	Ni-Si (-)	

Tabella B: Termocoppie di metalli comuni di normale utilizzo

IEC 60584-1 - Tipo S (Platino- Platino 10%Rodio)

Questo tipo di termocoppia si può utilizzare in ambienti ossidanti o inerti fino a 1600°C in modo continuo, e fino a 1700°C per brevi esposizioni anche se nella pratica reale sarebbe meglio non utilizzarla oltre 1550 °C specie diametri di filamento inferiori a 0.50 mm.

Per impieghi nella fascia alta delle temperature, si utilizzano isolanti e guaine in allumina ricristallizzata ad elevata purezza.

In tutte le applicazioni, tranne quelle in condizioni di elevatissima pulizia, l'elemento deve essere protetto con una guaina ceramica affinché piccole quantità di vapore metallico non provochino il deterioramento e perciò la riduzione della f.e.m. prodotta.

L'uso continuo ad elevata temperatura può causare deterioramento.

Potrebbe infatti in particolari condizioni ambientali a caldo, verificarsi il fenomeno della migrazioni del rodio nel conduttore in platino puro, con conseguente riduzione anche in questo caso del segnale di uscita.

IEC 60584-1 - Tipo R (Platino - Platino-13%Rodio)

Questo tipo di termocoppia è simile al precedente tipo S ma ha il vantaggio di avere un segnale di uscita leggermente più forte e migliore stabilità.

In genere, le termocoppie di tipo R sono preferite sui mercati americani a quelle del tipo S per applicazioni in gran parte identiche.

IEC 60584-1 - Tipo J (Ferro e Rame-Nickel)

Comunemente chiamato ferro/costantina, questo tipo di termocoppia è uno dei pochi che si possono utilizzare in modo sicuro negli ambienti riducenti.

In ambienti ossidanti sopra 550°C si degrada velocemente, in pratica arrugginisce.

La temperatura massima di utilizzo continuo è di circa 800°C, anche se per brevi esposizioni si possono raggiungere fino a 1000°C, ma nella pratica comune raramente si usano oltre i 600 °C

La temperatura minima è di -210°C, ma sotto la temperatura ambiente bisogna fare attenzione alla condensa: si potrebbe formare ruggine sul conduttore in ferro, e potrebbe esserci fragilità alle basse temperature.

IEC 60584-1 - Tipo K (Nickel-Cromo e Nickel-Alluminio)

Generalmente chiamato Chromel-Alumel, questo tipo di termocoppia è tuttora quello più diffuso in campo industriale.

Si presta principalmente agli ambienti ossidanti. In tutti gli altri ambienti, il sensore va protetto con molta cura!

Il limite massimo di temperatura con uso continuativo è di circa 1100°C, anche se da 800°C l'ossidazione è causa progressiva di deriva termica e perdita di taratura.

Per brevi esposizioni, si può comunque arrivare a 1200°C, anche se nella pratica comune non viene mai usato oltre i 1000 °C, mentre l'elemento è adatto per applicazioni criogeniche fino a -250°C.

Il tipo K, benché largamente adoperato per via del suo ampio intervallo di funzionamento e del suo basso costo, non è così stabile come altri sensori a metalli comuni di uso corrente.

A temperature comprese tra 250°C e 600°C e in particolare a 300°C e 550°C, l'isteresi termica può provocare errori di diversi gradi.

Infine, benché il tipo K sia molto adoperato nelle applicazioni nucleari per via della sua relativa resistenza alle radiazioni, il tipo N rappresenta oggi una scelta migliore.

IEC 60584-1 - Tipo T (Rame e Rame-Nickel)

Il suo nome originale è rame-costantana.

Questo tipo si è ritagliato una nicchia nelle misure di temperatura effettuate in laboratorio nell'intervallo da -250°C a 400°C, nonostante la rapida ossidazione del conduttore in rame sopra questo intervallo.

La ripetitività è eccellente tra -200°C e 200°C ($\pm 0,1^\circ\text{C}$).

Da segnalare l'elevata conducibilità termica del conduttore in rame ed inoltre il fatto che la lega rame-nickel del conduttore negativo non sia la stessa di quella adoperata per il tipo J, quindi non sono intercambiabili.

IEC 60584-1 - Tipo E (Nickel-Cromo e Rame-Nickel)

Noto anche con il nome di chromel-costantana, questo tipo di termocoppia oggi desueto, deve il suo successo in passato al suo elevato segnale in uscita, il più elevato tra i sensori normalmente adoperati, anche se questa caratteristica ha perso di importanza in un'epoca di amplificatori a stato solido ultrastabili.

I limiti di temperatura di lavoro vanno da -250°C (criogenia) a 900°C in ambienti ossidanti o inerti.

Riconosciuto più stabile del tipo K, è più adatto per misure accurate.

Ciò nonostante, il tipo N segna ugualmente qualche punto in più a suo favore per la stabilità e l'intervallo di temperature.

IEC 60584-1 – Tipo B (Platino-30% Rodio e Platino-6% Rodio)

Il tipo B è nato più recentemente (1950) ed è la più anomala delle termocoppie.

Può essere utilizzato fino a 1600°C in modo continuo e fino a 1800°C circa per brevi esposizioni.

Per il resto, assomiglia alle altre termocoppie di metalli preziosi, i tipi S e R, benché il suo segnale in uscita sia più debole;

perciò è utilizzato normalmente sotto i 600°C.

Un vantaggio pratico interessante è che avendo un'uscita praticamente trascurabile tra 0°C e 50°C, la compensazione del giunto freddo non è normalmente necessaria ed questa la caratteristica che la rende anomala essendo anche l'unica termocoppia con questa caratteristica.

IEC 60584-1 – Tipo N (Nickel-Cromo-Silicio e Nickel-Silicio)

Introdotta come la rivoluzionaria alternativa al tipo K (il tipo di termocoppia più diffuso in ambito industriale), e senza i suoi inconvenienti, il tipo N (Nicrosil-Nisil) è dotato di una resistenza alla deriva termica (prodotta dall'ossidazione alle alte temperature) di gran lunga superiore alla sua rivale, e alle altre instabilità comuni in particolare nel tipo K, ma anche nelle altre termocoppie a metalli comuni.

È perciò in grado di sopportare temperature più elevate rispetto al tipo K , la N può arrivare veramente a lavorare 1280°C e anche oltre per brevi periodi.

La superiore resistenza all'ossidazione si spiega con la combinazione di una maggiore quantità di cromo e silicio nel conduttore positivo in Nicrosil. Analogamente, la maggiore quantità di silicio e magnesio nel conduttore negativo in Nisil forma una barriera protettiva contro la diffusione.

L'elemento inoltre è dotato di una ripetibilità notevolmente migliorata da 300°C a 500°C, intervallo in cui la stabilità del tipo K è piuttosto scarsa (per via dell'isteresi indotta dalle disomogeneità magnetiche e/o strutturali).

I livelli elevati di cromo nel conduttore N-positivo e di silicio nel polo N-negativo forniscono anche una migliore stabilità magnetica.

Inoltre, il tipo N non è soggetto ad altri problemi di deriva termica di lungo termine associati alla trasmutazione di elementi ad alta tensione del vapore nelle termocoppie ad isolamento minerale (principalmente manganese e alluminio, dal conduttore K-negativo attraverso l'isolante in ossido di magnesio fino al conduttore K-positivo).

La trasmutazione è virtualmente eliminata in quanto i conduttori contengono soltanto tracce di manganese e di alluminio.

Infine, poiché manganese, alluminio e rame non sono adoperati nei conduttori N-negativi, la stabilità al bombardamento nucleare è notevolmente migliorata.

Standardizzato nel 1986 e successivamente normalizzato nella IEC 60584, si è detto che questo nuovo tipo di termocoppie rende obsolete tutte le altre termocoppie a base di metalli comuni (i tipi E,J,K e T).

In effetti CEAM ha creduto da subito a questa nuova termocoppia investendoci molto anche nell'ambito delle tecnologie di lavorazione che non sono banali, infatti per ottenere risultati eccellenti CEAM usa la saldatura Laser in atmosfera inerte, inarrivabile a causa dei costi elevatissimi delle attrezzature, per quasi gli altri costruttori artigianali, ma unica via per ottenere prodotti eccellenti.

La N offre molte delle caratteristiche delle termocoppie a metalli preziosi, ma al costo delle termocoppie a metalli comuni.

Difatti, fino ad una temperatura massima continuativa di 1280°C, in determinate condizioni di utilizzo, può sostituire le termocoppie di tipo R ed S il cui costo è da 10 a 20 volte superiore.

Nella pratica, nonostante l'adozione di questo sensore sia stata più lenta di quanto anticipato da molti, ora che sono stati studiati, provati e collaudati il Nicrobell® e leghe similari per costituire le guaine delle termocoppie di tipo N ad isolamento minerale corazzate in metallo destinate a temperature più elevate, si può prevedere un utilizzo ancora più grande e che non può fare altro che crescere, anche in settori ostici al cambiamento, perché non ci sono dubbi ormai che si tratti di una termocoppia fondamentalmente migliore delle sue rivali a metallo comune.

Altri Tipi non Standardizzati

Benché siano stati testati molteplici abbinamenti di elementi termoelettrici nel corso degli anni, la maggior parte di essi oggi non è più disponibile o in uso, tranne in qualche applicazione molto speciale o per ragioni storiche.

Tuttavia, si possono raggruppare essenzialmente in quattro tipi le termocoppie non standardizzate che continuano ad avere un'utilità nella misura della temperatura.

Tungsteno-Renio

Ne esistono tre tipi principali. Sono il tipo G: tungsteno e tungsteno-26% renio; il tipo C: tungsteno-5% renio e tungsteno-26% renio; e il tipo D: tungsteno-3% renio e tungsteno-25% renio.

Tra tutti, il primo è sicuramente quello più economico, ma il conduttore in tungsteno può avere problemi di fragilità, che ne ha limitato molto la diffusione.

Tutti possono essere adoperati fino a 2300°C, e fino a 2750°C per brevi periodi nel vuoto, nell'idrogeno puro o in gas inerti puri.

Tuttavia, al disopra di 1800°C, possono esserci problemi di vaporizzazione del renio.

Come isolanti si consigliano generalmente il berillio e il torio, anche se possono sorgere problemi al limite superiore dell'intervallo di temperatura, con potenziali reazioni dei conduttori e degli isolanti.

Iridio-40% Rodio e Iridio

Rivendicando la fama di essere l'unica termocoppia a metallo prezioso che si possa adoperare nell'aria senza protezione fino a 2000°C (solo per un periodo di tempo limitato), questi elementi si adoperano anche nel vuoto e in ambienti inerti.

Tuttavia, non esistono tabelle di riferimento standard e gli utenti devono dipendere dalle tarature dei singoli lotti di produzione dei fornitori.

Possono diventare fragili dopo l'uso a temperature elevate.

Platino-40% Rodio e Platino-20% Rodio

Consigliato al posto del tipo B quando si richiedono temperature leggermente più elevate, questo tipo di termocoppia può essere adoperato fino a 1700°C in modo continuo, e fino a 1850°C per brevi esposizioni.

Al disopra, valgono le regole applicative descritte per il tipo S.

Non esistono tabelle di riferimento standard, ma sono normalmente disponibili lotti con taratura secondo i produttori.

Nichel-Cromo e Oro-0,07% Ferro

Questo è probabilmente l'ultimo ritrovato per uso specifico in campo criogenico.

È stato progettato per misurazioni al disotto di 1K, ma funziona meglio da 4K in su.

Alcune tabelle di riferimento sono state pubblicate dal National Bureau of Standards, ma in Europa si adopera più comunemente una lega oro - 0,03% ferro per il conduttore negativo.

7 - Tolleranze delle Termocoppie

Nella realtà, le termocoppie non si possono sempre realizzare in modo esattamente conforme alle tabelle di riferimento.

Perciò sono state pubblicate come IEC 60584-2:1993 le tolleranze per i segnali in uscita dalle termocoppie a metalli preziosi e comuni; e Ceam fornisce sensori conformemente a questi limiti.

I valori delle tolleranze sono riferiti a termocoppie realizzate con conduttori di diametro compreso tra 0,1 e 3 mm e non consentono derive di taratura durante l'uso.

Le termocoppie di tipo non standardizzato sono solitamente fornite con le tabelle di lavorazione del produttore.

Types	Tolerance class 1	Tolerance class 2	Tolerance class 3 ¹⁾
Type T			
Temperature range	-40°C to +125 °C	-40°C to +133°C	-67°C to +40 °C
Tolerance value	±0,5°C	±1°C	±1°C
Temperature range	+125°C to +350 °C	+133°C to +350°C	-200°C to -67 °C
Tolerance value	±0,004 · t	±0,0075 · t	±0,015 · t
Type E			
Temperature range	-40°C to +375 °C	-40°C to +333°C	-167°C to +40 °C
Tolerance value	±1,5°C	±2,5°C	±2,5°C
Temperature range	+375°C to +800 °C	+333°C to +900°C	-200°C to -167 °C
Tolerance value	±0,004 · t	±0,0075 · t	±0,015 · t
Type J			
Temperature range	-40°C to +375 °C	-40°C to +333°C	-
Tolerance value	±1,5°C	±2,5°C	-
Temperature range	+375°C to +750 °C	+333°C to +750°C	-
Tolerance value	±0,004 · t	±0,0075 · t	-
Type K, Type N			
Temperature range	-40°C to +375 °C	-40°C to +333°C	-167°C to +40 °C
Tolerance value	±1,5°C	±2,5°C	±2,5°C
Temperature range	+375°C to +1000 °C	+333°C to +1200°C	-200°C to -167 °C
Tolerance value	±0,004 · t	±0,0075 · t	±0,015 · t
Type R, Type S			
Temperature range	0°C to +1100 °C	0°C to +600°C	-
Tolerance value	±1°C	±1,5°C	-
Temperature range	+1100°C to +1600 °C	+600°C to +1600°C	-
Tolerance value	±[1 + 0,003 (t - 1100)] °C	±0,0025 · t	-
Type B			
Temperature range	-	-	+600°C to +800 °C
Tolerance value	-	-	+4°C
Temperature range	-	+600°C to +1700°C	+800°C to +1700 °C
Tolerance value	-	±0,0025 · t	±0,005 · t

1) Thermocouple materials are normally supplied to meet the manufacturing tolerances specified in the table for temperatures above -40°C. These materials, however, may not fall within the manufacturing tolerances for low temperatures given under Class 3 for Types T, E, K and N. If thermocouples are required to meet limits of class 3, as well as those of Class 1 or 2 the purchaser shall state this, as selection of materials is usually required.

Tabella: Tolleranze secondo la norma CEI EN 60584-2 (con giunzione di riferimento a 0°C).

Note & Appunti:

Note & Appunti:

Note & Appunti:

Note & Appunti:



CEAM Control Equipment srl

Headquarters:

Via Val D'Orme No. 291

50053 Empoli (Firenze) Italy

Tel. (+39) 0571 924082 - Fax. (+39) 0571 924505

☎ Skype Name: [ceam_info](#)



Internet:

Portale Web Generale del Gruppo: www.ceamgroup.com

Web Specifico del Settore: www.ceamcontrolequipment.it

Web di supporto tecnico: www.ceamsupport.it

E.mail:

Informazioni Generali: info@ceamgroup.it

Servizio Assistenza Vendite: sales@ceamgroup.it

Rivenditore di zona: