

Ottimizzazione del Tempo di Risposta (T90) nei Sistemi di Monitoraggio della Temperatura

Abstract

Il tempo di risposta di un sensore di temperatura rappresenta un parametro critico nei processi industriali regolati, in particolare nei settori **farmaceutico** e **alimentare**. Questo documento analizza in modo sistematico i fattori che influenzano il parametro T90, attraverso test sperimentali condotti in ambiente controllato.

I risultati dimostrano che variabili quali spessore, lunghezza, protezione termica e superficie del probe incidono in maniera significativa sulla capacità del sensore di rilevare variazioni termiche rapide, con miglioramenti fino al 70% nelle configurazioni ottimizzate.

1. Introduzione

Nei processi termici critici — come sterilizzazione, pastorizzazione e validazioni termiche — l'accuratezza della misura non dipende esclusivamente dalla precisione del sensore, ma anche dalla sua **dinamica di risposta**.

Il parametro di riferimento è il **T90**, definito come:

il tempo necessario affinché il sensore rilevi il 90% della variazione tra una condizione iniziale e una finale

Un T90 elevato può comportare:

- ritardi nella rilevazione dei transitori
- sottostima dei picchi termici
- errori nella determinazione dei punti critici di processo (cold spot)

Il T90 di un sensore o di una sonda può variare anche in base alle condizioni ambientali, ad esempio se in aria o in acqua e se il fluido o il gas sono fermi o in movimento e se in movimento, con quale velocità si muove.

Di conseguenza, la progettazione del sistema di misura assume un ruolo determinante.

2. Metodologia sperimentale

Le analisi presentate derivano da campagne di test condotte con data logger equipaggiati con diverse configurazioni di probe.

Condizioni di prova:

- ambiente: forno ventilato
- temperatura: 120 °C
- confronto tra diverse geometrie e costruzioni

Variabili analizzate:

- spessore della parete del probe
- lunghezza del probe
- presenza di protezione termica
- superficie di scambio termico

L'approccio sperimentale ha consentito di isolare il contributo di ciascun parametro sul tempo di risposta.

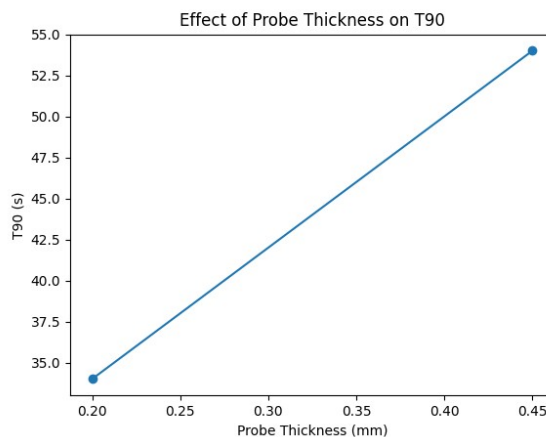
3. Risultati e discussione

3.1 Influenza dello spessore

La riduzione dello spessore della parete del probe si conferma il fattore più influente.

I test evidenziano una riduzione del T90 da circa 54 s a 34 s passando da 0,45 mm a 0,2 mm, con un miglioramento del 37%.

Questo comportamento è riconducibile alla minore massa termica e alla maggiore rapidità di trasferimento del calore verso l'elemento sensibile.



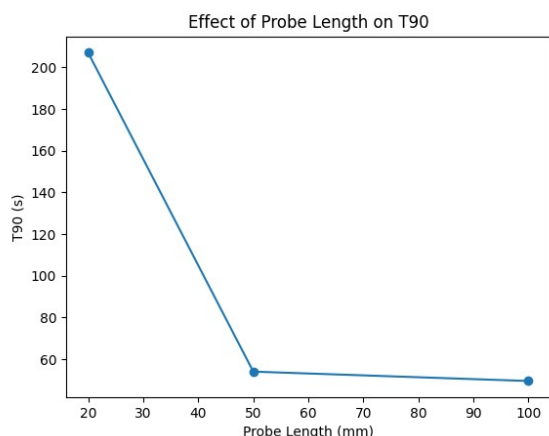
L'unico svantaggio di questa soluzione è una possibile maggiore fragilità della sonda che avendo pareti più sottili in un processo che prevede cadute, urti ed eventi shock potrebbe andare incontro a danni più frequenti come piegature o rotture vere e proprie.

3.2 Influenza della lunghezza

La lunghezza del probe ha un impatto altrettanto rilevante.

Un incremento da 20 mm a 50 mm comporta una riduzione del T90 da oltre 200 s a circa 54 s, mentre ulteriori incrementi fino a 100 mm producono miglioramenti più contenuti.

Ciò suggerisce l'esistenza di una soglia ottimale (≈ 50 mm) oltre la quale i benefici tendono a stabilizzarsi.



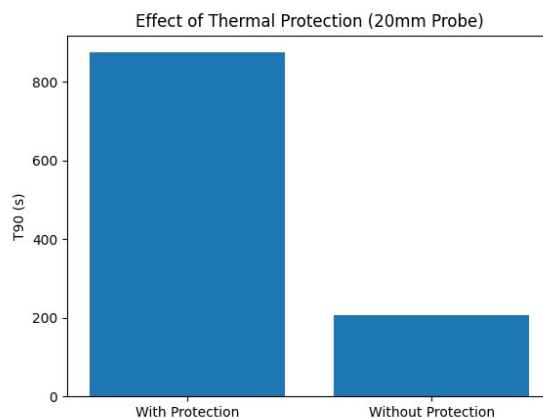
I motivi di questa differenza stanno nel fatto che il corpo del data logger drena calore dal puntale, raffreddandolo e rallentando, quindi, il suo tempo di risposta. Allontanando l'elemento sensibile, che si trova in punta, dal corpo, miglioriamo il tempo di risposta.

3.3 Effetto della protezione termica

La protezione termica introduce una resistenza al trasferimento di calore.

L'effetto è particolarmente marcato nei probe corti:

- incremento drastico del T90 nei sensori da 20 mm
- impatto marginale per lunghezze ≥ 50 mm



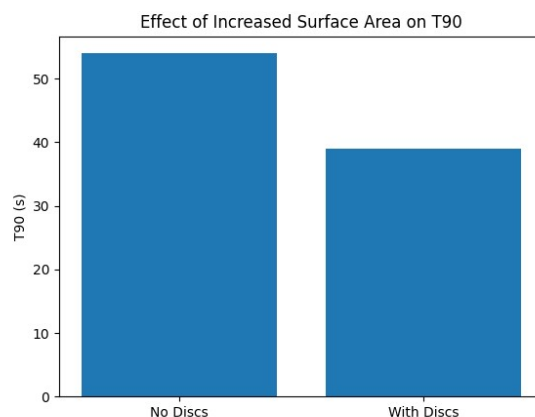
Questo comportamento evidenzia come la protezione possa diventare un fattore critico in applicazioni con geometrie ridotte. Il motivo di questo comportamento, amplificato, è lo stesso descritto per il punto precedente sulla lunghezza dei probe.

3.4 Ruolo della superficie di scambio

L'aumento della superficie di contatto tra probe e ambiente migliora il trasferimento termico.

L'introduzione di elementi aggiuntivi (es. dischi metallici lungo tutta la lunghezza del puntale) consente riduzioni del T90 fino a circa il 28%.

Questo apre la strada a soluzioni progettuali avanzate orientate all'ottimizzazione della geometria.



3.5 Parametri secondari

L'analisi evidenzia che:

- la forma del puntale non influisce in modo significativo
- il diametro esterno ha impatto trascurabile

Questi elementi possono quindi essere ottimizzati per esigenze meccaniche o applicative senza compromettere la dinamica termica.

4. Implicazioni per la progettazione

I risultati sperimentali consentono di definire alcune linee guida progettuali:

- privilegiare pareti sottili per ridurre la massa termica
- adottare lunghezze ≥ 50 mm per garantire tempi di risposta adeguati
- minimizzare o ottimizzare la protezione termica nei sensori compatti
- aumentare la superficie di scambio quando possibile

Ulteriori sviluppi includono:

- utilizzo di materiali ad alta conducibilità (es. rame) ove non vada in conflitto con altre esigenze, ad esempio l'uso di materiali food grade
- soluzioni ibride con rivestimenti compatibili con ambienti alimentari
- configurazioni "naked" per applicazioni specifiche da utilizzare soltanto in ambienti secchi

5. Impatto applicativo

Settore farmaceutico

- maggiore affidabilità nelle validazioni termiche
- miglior controllo dei processi sterilizzanti
- supporto alla conformità normativa (GMP, FDA)

Settore alimentare

- identificazione più accurata dei cold spot
- riduzione del rischio microbiologico
- ottimizzazione dei cicli di processo

Monitoraggio industriale

- maggiore fedeltà nella registrazione dei transitori
- miglior qualità dei dati per analisi e audit

6. Conclusioni

Il tempo di risposta T90 rappresenta un parametro chiave nella qualità della misura termica.

Le evidenze sperimentali dimostrano che:

- spessore e lunghezza del probe sono i fattori predominanti
- la protezione termica deve essere valutata in funzione della geometria
- l'ottimizzazione della superficie offre ulteriori margini di miglioramento

Una progettazione ingegnerizzata del sensore consente riduzioni significative del T90, migliorando l'affidabilità complessiva del sistema di monitoraggio e la sicurezza dei processi.

Un T90 maggiore e, quindi, un tempo di risposta lento, non necessariamente è peggiore di un T90 minore e, quindi, un tempo di risposta veloce. La scelta dipende molto dal processo e dalle esigenze di analisi. In processi in cui le variazioni termiche sono minime e sporadiche, un T90 veloce non serve, così come non serve nei monitoraggi in cui sono da evitare rilevazioni di picchi improvvisi poiché non significativi rispetto alla conservazione della qualità del prodotto monitorato, come ad esempio nel monitoraggio ambientale, di frigoriferi e celle frigo. Infatti, il prodotto monitorato nella maggior parte dei casi ha un tempo di risposta notevolmente più lento rispetto a quello della sonda e sbalzi sporadici ed estremamente limitati nel tempo non influiscono sul suo eventuale degrado. Una sonda troppo veloce genererebbe dei falsi allarmi.

7. Posizionamento delle soluzioni Tecnosoft

Alla luce dei risultati sperimentali, la scelta del sistema di misura non può prescindere dalla configurazione del sensore e dall'architettura del data logger.

Le soluzioni **MicroW** e **BlueWave** rappresentano due approcci complementari, progettati per ottimizzare il compromesso tra **tempo di risposta**, **flessibilità applicativa** e **gestione dei dati**.

7.1 MicroW: ottimizzazione del T90 in applicazioni critiche

La famiglia MicroW è progettata per applicazioni dove il **tempo di risposta è un parametro determinante**, come:

- validazioni termiche (autoclavi, forni, tunnel)
- studi di penetrazione termica (food)
- identificazione dei cold spot

Punti chiave rispetto al T90:

- disponibilità di **probe a parete sottile (0,2 mm)** → riduzione significativa del T90
- possibilità di scegliere **lunghezze ≥ 50 mm** → ottimizzazione della dinamica
- configurazioni con **puntali custom** per adattamento all'applicazione

Posizionamento tecnico:

MicroW è la soluzione ideale quando l'obiettivo è **massimizzare la velocità di risposta e l'accuratezza nei transitori termici**.

7.2 BlueWave: monitoraggio real-time e flessibilità operativa

La serie BlueWave introduce un approccio **wireless e real-time**, mantenendo prestazioni termiche coerenti con le esigenze industriali.

Applicazioni tipiche:

- monitoraggi continui di processo
- studi dinamici con visualizzazione immediata
- ambienti dove la connettività è un fattore critico

Punti chiave rispetto al T90:

- integrazione con **probe sottili e bendable**
- possibilità di osservare in tempo reale l'effetto del T90 sul processo
- maggiore reattività decisionale durante i test

Posizionamento tecnico:

BlueWave è la scelta ideale quando, oltre al T90, è fondamentale **vedere e interpretare il fenomeno termico in tempo reale**.

7.3 Scelta della soluzione in funzione dell'applicazione

Esigenza applicativa	Soluzione consigliata
Massima precisione su transitori	MicroW
Validazioni normative (GMP/FDA)	MicroW, BlueWave
Monitoraggio continuo real-time	BlueWave
Test dinamici con feedback immediato	BlueWave
Ottimizzazione R&D su sensori	MicroW + BlueWave

7.4 Integrazione tra hardware e progettazione del probe

I risultati sperimentali dimostrano che la performance non dipende solo dal tipo di dispositivo ma anche dalla **sonda**.

Tecnosoft consente:

- selezione di **geometrie ottimizzate (spessore/lunghezza)**
- sviluppo di **configurazioni custom**
- integrazione con materiali alternativi (es. rame) per applicazioni avanzate

Questo approccio permette di trasformare il sistema di misura da semplice strumento di acquisizione a **leva ingegneristica per migliorare il processo**.

8. Implicazioni per il cliente

L'adozione di una soluzione correttamente configurata consente:

- riduzione degli errori di misura nei transitori
- maggiore affidabilità nelle validazioni
- ottimizzazione dei cicli termici (tempo/energia)
- riduzione del rischio di non conformità

Contatti

Per ulteriori informazioni o per valutare la configurazione più adatta alla vostra applicazione, è possibile contattare il team tecnico scrivendo a sales@tecnosoft.eu.

Tecnosoft srl

Via Luigi Galvani, 4, Peschiera Borromeo, 20268 (MI) – ITALY
T: +390226922888
tecnosoft.eu