CONTRIVE



SERIE Q2: OLTRE LA FIAMMA

Gestione del bruciatore in modalità Hi-Temp e Flameless

1. Introduzione

Quando la temperatura di un forno industriale supera la soglia di autoaccensione del combustibile, le condizioni operative cambiano rispetto al funzionamento convenzionale: la logica di supervisione della fiamma può essere adattata al nuovo regime, e diventa possibile operare in modalità flameless.

2. Autoaccensione

Al crescere della temperatura in un forno industriale, si raggiunge la soglia di autoaccensione del combustibile. Oltre questo limite:

- **Accensione Spontanea:** Il combustibile reagisce al contatto con i gas caldi e le pareti refrattarie senza necessità di dispositivi di accensione.
- **Definizione di HTM:** Questa condizione fisica identifica il regime di Alta Temperatura (High Temperature Mode).

Sicurezza e Rilevanza Logica
In regime HTM, la sorveglianza della fiamma cambia radicalmente natura:

- **Perdita di Rilevanza dei Sensori:** Sebbene i sensori UV o di ionizzazione possano ancora rilevare segnale, la loro funzione logica decade. Eventuali interruzioni momentanee del segnale non costituiscono un pericolo, poiché la reignizione è garantita dalla temperatura della camera.
- **Conformità Normativa:** La norma UNI EN ISO 13577 recepisce questo principio.
- **Vincolo Obbligatorio:** Il bypass è ammesso solo se il sistema dispone di una misura certificata della temperatura del forno che confermi costantemente il superamento della soglia di sicurezza.

3. Combustione flameless

La combustione flameless è un processo di ossidazione avanzato basato sulla miscelazione dei reagenti con i gas combusti ricircolati prima della reazione.

- **Diluizione:** riduce la concentrazione locale di ossigeno e uniforma la temperatura.
- **Assenza di fiamma:** non esiste un fronte di fiamma, la combustione è distribuita in tutta la camera.
- **Requisiti:** temperatura del forno sopra la soglia di autoaccensione e iniezione ad alta velocità per garantire il trascinamento dei fumi.

Vantaggi Operativi
L'adozione di questa tecnologia porta benefici tangibili su più fronti:

- **Ambientali:** drastica riduzione delle emissioni di NOx.
- **Qualitativi:** maggiore uniformità termica, che migliora il prodotto finale e preserva i materiali refrattari.
- **Acustici:** sensibile riduzione del rumore di combustione.

Supervisione e Sicurezza
Un aspetto critico per la gestione dell'impianto riguarda i sistemi di controllo:

- **Inutilità dei sensori standard:** in regime flameless, i sensori non rilevano segnale di fiamma.
- **Bypass giustificato:** è la temperatura a garantire l'ossidazione costante.

3.1. BRUCIATORI RIGENERATIVI

Il regime flameless diventa indispensabile nei sistemi rigenerativi ad alta efficienza per i seguenti motivi:

- **Efficienza vs Emissioni:** i bruciatori rigenerativi raggiungono rendimenti elevati preriscaldando l'aria con il calore dei fumi. Tuttavia, in modalità convenzionale, l'aria calda causerebbe picchi di temperatura adiabatica con una produzione eccessiva di NOx.
- **La Soluzione:** il regime flameless abbatte questi picchi termici grazie alla diluizione dei reagenti, rendendo compatibili l'alto risparmio energetico e il rispetto dei limiti ambientali.

4. SUPERVISIONE DELLA FIAMMA

Le norme EN 298 e UNI EN ISO 13577-2 impongono la sorveglianza continua della fiamma per garantire la sicurezza operativa dei bruciatori:

- **Bassa Temperatura:** la sicurezza è affidata ai sensori fisici (elettrodi di ionizzazione o cellule UV). In questa fase, l'assenza di segnale provoca il blocco immediato per evitare accumuli di combustibile incombusto.
- **Alta Temperatura:** una volta che la camera supera la temperatura di autoaccensione del combustibile, la sicurezza non dipende più dal sensore, ma dalla condizione termica stessa.

4.1. VANTAGGI OPERATIVI IN HTM

Il passaggio alla modalità HTM (High Temperature Mode) permette di ottimizzare la continuità di servizio:

- **Continuità di Processo:** Si evitano spegnimenti intempestivi o blocchi causati da instabilità momentanee del segnale dei sensori.
- **Reignizione Spontanea:** La presenza di una temperatura superiore al limite di autoaccensione garantisce l’ossidazione del combustibile, rendendo superflua la rilevazione diretta della fiamma.

4.2. REQUISITI NORMATIVI

La gestione della modalità ad alta temperatura coinvolge un insieme articolato di normative di sicurezza:

EN 298	Sistemi automatici di comando e controllo del bruciatore per bruciatori e apparecchi a gas o combustibili liquidi.
UNI EN ISO 13577-2	Forni industriali e attrezzature associate - Sicurezza Parte 2: Sistemi di combustione e movimentazione del combustibile.
UNI EN ISO 13577-4	Forni industriali e attrezzature associate - Sicurezza Parte 4: Sistemi di protezione.
EN 13611	Dispositivi di sicurezza e controllo per bruciatori ed apparecchi a gas e/o combustibili liquidi - Requisiti generali.
EN 14597	Dispositivi di regolazione e limitazione della temperatura per sistemi generatori di calore.
IEC 61508	Sicurezza funzionale dei sistemi elettrici, elettronici ed elettronici programmabili correlati alla sicurezza.

5. Q2

Q2 è un dispositivo che gestisce l'intero ciclo del bruciatore e si adatta a diverse modalità operative senza modifiche hardware, semplicemente modificando la configurazione:

- **Versatilità:** gestisce bruciatori a gas (monostadio, multistadio, modulanti), olio, idrogeno.
- **Alta Temperatura:** integra nativamente la modalità HTM.
- **Funzionamento permanente:** può restare acceso a tempo indefinito, eliminando le interruzioni cicliche che causano perdite produttive, sia in modalità bassa temperatura che HTM/flameless.
- **Autodiagnostica avanzata:** la certificazione garantisce che l'elettronica esegua i controlli di sicurezza in tempo reale, senza necessità di arresti periodici di regolazione.

5.1. HIGH TEMPERATURE MODE

Q2 attiva la modalità HTM quando riceve un segnale di sicurezza (STL esterno) che conferma il superamento della soglia di autoaccensione.

- **Cosa cambia:** nessun blocco per perdita fiamma, non è necessaria la scintilla d'accensione.
- **Raffreddamento:** quando la temperatura scende sotto la soglia è possibile selezionare il comportamento:
  - Passaggio ad uno dei 3 stadi di bassa temperatura, ripristinando la sorveglianza.
  - Arresto del bruciatore.
- **Doppia Sicurezza:** per maggiore sicurezza contro possibili guasti, può essere abilitata la conferma del segnale fisico proveniente dal regolatore (STL) con consenso via bus di campo (PLC).

Importante: Q2 non effettua misure dirette della temperatura del forno. La responsabilità della correttezza e affidabilità del segnale di abilitazione HTM ricade interamente sul loop di sicurezza esterno certificato (STL + cablaggio + sensore).

5.2. FLAMELESS

Il regime flameless è un'estensione dell'HTM che richiede funzioni dedicate:

- **Iniezione Staged**: I modelli Q26 e Q28 gestiscono fino a 4 valvole gas consentendo di definire il funzionamento di ogni valvola per ottimizzare la ricircolazione interna necessaria al regime senza fiamma.
- **Transizione Automatica:** Q22, Q26 e Q28 gestiscono l'avvio standard in bassa temperatura, passaggio a flameless, rientro in bassa temperatura.

5.3. BRUCIATORI RIGENERATIVI

- **Operatività:** Una coppia di Q2 gestisce il ciclo rigenerativo in modo nativo.
- **Ruolo del Supervisore:** Il sistema esterno (PLC/DCS) deve occuparsi esclusivamente della commutazione tra i due bruciatori, definendo i tempi di marcia e pausa.
- **Connettività:** Il controllo può essere implementato sia tramite cablaggio elettrico tradizionale (utilizzando il modulo QIO) sia attraverso bus di campo.

5.4. ABILITAZIONE HTM

L'abilitazione HTM (High Temperature Mode) è una funzione di sicurezza critica. L'attivazione errata in assenza di condizioni di autoaccensione comporta un rischio immediato di esplosione. Per questo motivo, le analisi del rischio (HAZOP/LOPA) impongono solitamente un livello di affidabilità SIL 2 (secondo IEC 61508).

Requisiti per il raggiungimento del SIL 2
Per garantire la conformità al livello SIL 2, l'architettura di misura deve soddisfare i seguenti requisiti minimi di performance:

- **Probabilità di Guasto:** Una PFH_D (Probability of dangerous Failure per Hour) compresa tra 10^{-7} e 10^{-6} applicabile in modalità High Demand, coerente con la natura continuativa della funzione HTM.
- **Frazione di Guasto Sicuro:** SFF (Safe Failure Fraction) ≥ 90%.
- **Tolleranza ai Guasti:** HFT ≥ 1 (Hardware Fault Tolerance), doppio canale con diagnostica incrociata.
- **Ciclo di Vita:** Sviluppo hardware e firmware certificato da enti terzi.

Analisi del "Metodo A" secondo UNI EN ISO 13577-4
La norma UNI EN ISO 13577-4 descrive il Metodo A come un approccio basato su componenti conformi ai rispettivi standard di prodotto senza l'obbligo di calcolo SIL/PL globale. Tuttavia, la sua applicazione alla funzione HTM in ambito industriale presenta limiti tecnici rilevanti, in particolare nelle applicazioni in modalità **High Demand** (dove la funzione di sicurezza è **sollecitata frequentemente o opera in modo continuo**):

1. **Inadeguatezza in High Demand**: Il Metodo A non prevede il calcolo della PFH_D (probabilità di guasto pericoloso all'ora), che è la metrica fondamentale per funzioni come l'HTM operanti in modalità continuativa, dove il bypass della sorveglianza di fiamma è attivo in modo permanente.
2. **Assenza di garanzie su SFF e HFT**: l'approccio si limita alla conformità del singolo componente e non impone requisiti sull'architettura di sistema. Ciò impedisce di dimostrare il raggiungimento di una SFF ≥ 90% e di una tolleranza al guasto HFT ≥ 1, parametri invece essenziali per la sicurezza della funzione HTM.
3. **Incongruenza con l'Analisi del Rischio**: se l'analisi del rischio richiede un livello di integrità SIL 2 per l'abilitazione dell'HTM, il Metodo A non offre gli strumenti analitici necessari per validare la funzione di sicurezza, rendendola non verificabile rispetto ai requisiti imposti dal progetto.

Principio di Architettura e Separazione
Per garantire l'integrità della funzione, la misura di grandezze fisiche (temperatura, pressione, portata) deve seguire il principio di separazione:

- **Unità di Misura Esterna:** Deve essere un dispositivo dedicato, certificato SIL per il valore di PFH_D richiesto, che elabora e valida il segnale.
- **BMS (Burner Management System):** Agisce esclusivamente su segnali digitali già validati provenienti dal dispositivo esterno certificato per l'impiego come STL.

5.5. CONFORMITÀ NORMATIVA

Analizzando Q2 rispetto alle norme citate in precedenza:

EN 298	Normativa di prodotto: conforme e certificato.
UNI EN ISO 13577-2	Requisiti di sicurezza dell'impianto: conforme.
UNI EN ISO 13577-4	Requisiti di sicurezza dell'impianto: conforme.
EN 13611	Requisiti costruttivi: conforme (richiamata da EN 298).
EN 14597	Normativa di prodotto: riguarda il dispositivo STL esterno.
IEC 61508	Certificato SIL3 per funzioni di sicurezza inclusa la sorveglianza indiretta HT.

6. FAQ

HTM e flameless sono la stessa cosa?

No, si tratta di concetti distinti. L'HTM (High Temperature Mode) è una condizione di sicurezza legata esclusivamente alla temperatura del forno: quando questa supera la soglia di autoaccensione, il sistema permette di bypassare la sorveglianza di fiamma (UV/ionizzazione).
Flameless è invece un regime di combustione specifico (ossidazione distribuita senza fronte di fiamma) che può avvenire solo in HTM, ma non è l'unico modo di operare in tale stato.

Si può passare in HTM senza operare in modalità Flameless?

Sì. Un bruciatore può operare in modalità alta temperatura mantenendo una fiamma convenzionale "attaccata" alla testa del bruciatore e rilevabile dai sensori. In questo caso, sebbene la sorveglianza diretta sia tecnicamente in bypass grazie all'HTM, il regime di combustione non è flameless.

Come avviene la sequenza di avviamento del bruciatore?

Q2 gestisce due sequenze di avviamento distinte in base a seconda delle condizioni del forno al momento dell'accensione.
Se il forno è freddo — ovvero lo STL non ha ancora fornito il consenso — Q2 esegue la sequenza di avviamento convenzionale con attivazione dell'accenditore e verifica del segnale di fiamma tramite sensore UV o elettrodo di ionizzazione. Se la fiamma non viene rilevata entro il tempo di sicurezza configurato, si avrà blocco o tentativo di riaccensione secondo le impostazioni di configurazione.
Se invece il consenso STL è già presente al momento dell'avviamento — caso tipico di un riavvio a forno caldo — dopo l'eventuale prelavaggio Q2 entra direttamente in modalità HTM: la fase di preaccensione con scintilla viene soppressa, poiché la temperatura del forno garantisce l'autoaccensione del combustibile, e la logica di verifica del segnale di fiamma non viene applicata.

Come avviene la transizione tra bassa temperatura e regime flameless?

La commutazione in modalità HTM avviene in modo automatico non appena lo strumento di sicurezza esterno rileva il superamento della soglia di autoaccensione, può essere necessario un consenso aggiuntivo del supervisore (PLC/DCS) tramite fieldbus se tale opzione è abilitata.
Poiché il passaggio diretto dalla fiamma convenzionale al regime flameless non è fisicamente praticabile, il sistema Q2 offre due opzioni.
La prima opzione utilizza lo stadio 5 come fase intermedia di transizione, durante la quale tutte le valvole del gas vengono chiuse per un intervallo predefinito così da estinguere la fiamma; successivamente, il sistema passa allo stadio 6 riaprendo esclusivamente le valvole configurate per il regime flameless, evitando così un arresto completo del bruciatore
La seconda opzione, più conservativa, prevede lo spegnimento totale del bruciatore con l'esecuzione delle sequenze complete di arresto e ripartenza, inclusi gli eventuali test di tenuta e le fasi di ventilazione. Al riavvio il consenso dello STL è già attivo e quindi il sistema entra direttamente in HTM senza attivare l'accenditore.
Il rientro dal regime di alta temperatura è sempre gestito automaticamente dal sistema Q2 che, al venire meno del segnale di sicurezza, adotta immediatamente il comportamento configurato, passando a uno stadio di bassa temperatura con il ripristino della sorveglianza di fiamma, oppure procedendo all'arresto controllato.

Q2 è compatibile con qualsiasi STL sul mercato?

Sì, Q2 garantisce la piena compatibilità con qualsiasi dispositivo di sicurezza esterno, indipendentemente dal produttore, purché questo generi un segnale digitale in logica fail-safe conforme allo standard EN 14597. La scelta specifica dello strumento (che si tratti di JUMO, WIKA, Honeywell, ABB o altri marchi) resta una libera decisione del progettista dell'impianto, il quale deve però assicurarsi che l'intero loop di sicurezza — comprendente sensore, STL e cablaggio — soddisfi il livello SIL2 richiesto per la funzione di abilitazione HTM secondo la norma IEC 61508. Qualora venga attivata anche l'abilitazione opzionale tramite fieldbus, il sistema richiederà un'ulteriore conferma dal supervisore esterno per autorizzare il funzionamento in alta temperatura.

È necessario un sistema di supervisione esterno (PLC/SCADA) per utilizzare Q2 in modalità HTM?

No. Q2 è progettato per gestire la modalità ad alta temperatura basandosi sul segnale digitale proveniente dallo strumento di sicurezza esterno (STL). Il consenso via fieldbus dal supervisore rappresenta una funzione puramente opzionale che il progettista può decidere di attivare per incrementare la robustezza del sistema.

Cosa succede se lo STL esterno si guasta?

Lo STL certificato EN 14597 è progettato in logica fail-safe: in caso di guasto del sensore (rottura della termocoppia, corto circuito, perdita di segnale) il consenso viene meno e Q2 ritorna in modalità bassa temperatura adottando il comportamento configurato dal progettista: transizione a uno stadio di bassa temperatura con riattivazione della sorveglianza UV/ionizzazione, oppure arresto controllato del bruciatore.

In un impianto con più bruciatori, ogni Q2 richiede il proprio STL?

Dipende dalla geometria del forno. Se la temperatura è uniforme in tutto il volume, più Q2 possono condividere lo stesso segnale STL. Se esistono zone termicamente disomogenee, ogni zona deve disporre di una misura indipendente. La scelta architetturale è responsabilità del progettista dell'impianto.

La certificazione SIL3 di Q2 copre anche la funzione HTM?

Sì. La certificazione SIL3 di Q2 include la gestione della modalità HTM come funzione di sicurezza, tra cui la sorveglianza indiretta della fiamma attivata dal segnale dello STL esterno (PFH_D 2,59 × 10^{-9} 1/h, SFF 98,97%). Q2 esegue correttamente questa funzione con il livello di affidabilità certificato, a condizione che il segnale di abilitazione provenga da un loop esterno adeguato.

Il punto essenziale è che la certificazione SIL3 di Q2 riguarda ciò che Q2 fa con il segnale ricevuto — non la qualità del segnale stesso. La funzione di misura della temperatura, che produce quel segnale rientra nel campo di applicazione dello STL.

Ha senso integrare misure analogiche di sicurezza direttamente in un BMS?

Sebbene l'integrazione di misure analogiche di sicurezza in un BMS sia esplicitamente ammessa dalla norma UNI EN ISO 13577-4 (Metodo A) senza obbligo di certificazione SIL specifica, tale scelta risulta spesso tecnicamente ed economicamente svantaggiosa rispetto alle alternative dedicate.

Una corretta implementazione impone infatti requisiti hardware rigorosi per ogni ingresso analogico vincolato a funzioni di sicurezza, richiedendo obbligatoriamente isolamento galvanico dal resto del circuito, alimentazione indipendente dei due ingressi da sensore e sistemi di diagnostica periodica per garantire il comportamento fail-safe.

Questa complessità genera costi elevati senza eguagliare l'affidabilità di uno strumento di sicurezza (STL) esterno certificato SIL 2, progettato secondo rigorose analisi del rischio HAZOP/LOPA. Inoltre, l'utilizzo di uno STL esterno permette di monitorare zone termiche omogenee servendo simultaneamente più bruciatori, semplificando drasticamente l'architettura dell'impianto e garantendo una netta separazione delle responsabilità funzionali.

In sintesi, l'integrazione di ingressi analogici legati a funzioni rilevanti per la sicurezza, anche se correttamente realizzata, garantisce prestazioni inferiori rispetto a una soluzione esterna dedicata.

Qui puoi trovare maggiori informazioni su Q2:
www.burner-control.com

CONTRIVE S.r.l. I-24040 SUISIO (Bergamo) via Enrico Fermi 18

LE ILLUSTRAZIONI, FOTOGRAFIE O ESEMPI UTILIZZATI IN QUESTO MANUALE SONO FORNITI SOLO COME ESEMPI E POTREBBERO NON APPLICARSI A TUTTI I PRODOTTI A CUI QUESTO MANUALE È APPLICABILE. I PRODOTTI E LE SPECIFICHE DESCRITTI IN QUESTO MANUALE O IL CONTENUTO E LA PRESENTAZIONE DEL MANUALE POSSONO ESSERE MODIFICATI SENZA PREAVVISO PER MIGLIORARE IL PRODOTTO E/O IL MANUALE.

PRODUCT NAMES, CORPORATE NAMES, OR TITLES USED WITHIN THIS DOCUMENT MAY BE TRADEMARKS OR REGISTERED TRADEMARKS OF OTHER COMPANIES, AND ARE MENTIONED ONLY IN AN EXPLANATORY MANNER TO THE READERS' BENEFIT, AND WITHOUT INTENTION TO INFRINGE.

SEBBENE SIA STATO FATTO OGNI SFORZO PER GARANTIRE CHE LE INFORMAZIONI IN QUESTO DOCUMENTO SIANO CORRETTE, CONTRIVE NON PUÒ ESSERE RITENUTA RESPONSABILE PER EVENTUALI DANNI DERIVANTI DALLA PERDITA RELATIVA A QUESTO DOCUMENTO.

© COPYRIGHT 2026 CONTRIVE SRL ITALY. TUTTI I DIRITTI RISERVATI.