Forno F01 — Principi di funzionamento

Documento per l'allievo · sistema di gestione bruciatori

DOCUMENTO	Principi di funzionamento del forno e del sistema di gestione bruciatori
REVISIONE	01 — prima emissione
DESTINAZIONE	Addestramento di tecnici di strumentazione e conduzione

Come si legge questo documento

Il simulatore riproduce un **forno di processo a dieci bruciatori** e il sistema che ne governa l'accensione e la sicurezza: due soffianti condivise con il forno adiacente, quattro serrande di aspirazione, due serrande sul camino, dieci piloti con la propria valvola e il proprio rivelatore di fiamma, dieci bruciatori, e quattro passaggi di processo che attraversano la camera di combustione.

Ogni numero che il pannello mostra esce da un modello risolto dieci volte al secondo. Non ci sono animazioni finte: se si chiude una serranda, il flusso d'aria si ferma davvero; se si perde la fiamma di un pilota, il bruciatore corrispondente non può restare acceso. Questo documento spiega **perché** ogni sistema esiste e **come** reagisce, così che quello che si vede a pannello si possa prevedere invece che subire.

I **tag strumentali** (UZV-140-3, HV-109-7, BXD-140, PIT-126…) non sono tradotti in nessuna lingua: sono identificativi, non parole. L'ultimo capitolo dichiara che cosa il modello semplifica, perché sapere dove il simulatore finisce fa parte dell'addestramento.

1. Il forno F01: dieci bruciatori e tiraggio naturale

1.1 Che cosa scalda

In camera di combustione passano **quattro linee di processo separate**, ciascuna con il proprio misuratore di portata: FIT-138, FIT-139, FIT-140, FIT-141. Sono quattro passaggi indipendenti, non quattro rami di uno stesso circuito: è un dettaglio che conta, perché significa che il calore va distribuito lungo tutta la camera e non concentrato su una zona. È la ragione per cui i bruciatori sono dieci e non uno grande, e perché la perdita di fiamma su bruciatori **adiacenti** è trattata in modo diverso dalla perdita su bruciatori sparsi (capitolo 6).

Il **regime di fuoco** mostrato in testata è semplicemente la frazione di bruciatori accesi sui dieci disponibili, filtrata con una costante di tempo di 6 secondi per rappresentare l'inerzia termica della camera.

1.2 Perché le soffianti servono solo alla purge

Questa è la cosa che più sorprende chi guarda il pannello per la prima volta: **si accendono i piloti e le soffianti si fermano**. Non è un guasto, è il comportamento corretto.

Il forno lavora in **tiraggio naturale**: l'aria di combustione entra dalla cassa d'aria per effetto del camino, non perché qualcuno la spinga. Le due soffianti K102A e K102B esistono per un solo scopo — **spazzare la camera prima dell'accensione** — e una volta finita la purge non hanno più ragione di funzionare. Di più: soffiare aria in camera con i piloti aperti è esattamente quello che l'interlock cablato del capitolo 3 serve a impedire.

Sul sinottico, quando una soffiante è comandata in marcia ma trattenuta dall'interlock, compare l'indicatore ambra **ITL** accanto al simbolo. Serve a distinguere una macchina *trattenuta* da una semplicemente *ferma*: sono due diagnosi diverse.

1.3 Segnali del capitolo

TAG	DESCRIZIONE	DOVE SI LEGGE
FIT-138 / 139 / 140 / 141	Portata delle quattro linee di processo	Sinottico e valori analogici
PIT-126	Pressione del gas combustibile al collettore	Valori analogici e sinottico
K102A / K102B	Soffianti di purge condivise con il forno F02	Sinottico, colonna comandi

2. La purge: perché si fa e perché dura tanto

2.1 Il problema che risolve

Prima di presentare una scintilla in camera bisogna essere certi che in camera non ci sia una miscela infiammabile. Una perdita di gas accumulata a forno fermo, anche piccola, produce un'accensione violenta al primo tentativo di scintilla: non una fiamma, una deflagrazione.

La purge è il ricambio d'aria che elimina quella possibilità. Non è una formalità e non è accorciabile: è l'unica barriera fra una perdita non rilevata e un'esplosione in camera.

2.2 I cinque permissivi

La purge può partire solo se **tutte** queste condizioni sono vere insieme:

1. **tutte le valvole pilota chiuse** — XL-PILOTS-RDY;
2. **tutte le valvole bruciatore chiuse** — XL-BURNERS-RDY;
3. **entrambe le serrande camino aperte**, HV-105 e HV-106 — XL-RDY-DMPR: senza via d'uscita l'aria non attraversa la camera, gira e basta;
4. **nessun blocco attivo e nessun comando di blocco presente**, né dai pulsanti locali né dall'ESD;
5. **almeno un percorso d'aria valido** (paragrafo seguente).

Quando tutte e cinque sono soddisfatte si accende **XL-RDY-PURGE** e il pulsante HS-PURGE diventa premibile. Finché non lo è, il pannello non spiega il motivo con un messaggio: lo spiegano le lampade, una per permissivo. È un modo di progettare l'interfaccia che l'allievo deve imparare a usare — si guarda quale lampada manca, non si cerca un testo.

2.3 Un percorso d'aria valido, e perché 25 o 55 minuti

Un percorso è valido quando valgono tutte e tre:

- la **serranda di aspirazione del forno F01** su quel lato è aperta (103A oppure 103B);
- la **serranda del forno adiacente F02** sullo stesso lato è chiusa (104A oppure 104B), altrimenti l'aria si divide fra i due forni;
- la **soffiante di quel lato è realmente in marcia**, non solo comandata.

Con **entrambi** i percorsi attivi la purge dura **25 minuti**; con **uno solo**, **55 minuti**. Il rapporto non è casuale: a parità di volume di camera da ricambiare, metà portata richiede più del doppio del tempo, perché il ricambio non è un pistone ma una diluizione.

2.4 La memoria di purge: 12 ore, tre tentativi, un blocco totale

A purge completata il sistema registra una **memoria di purge valida**, e il conto alla rovescia parte: il pannello mostra quanto manca alla scadenza. La memoria decade in tre modi.

- **Dopo 12 ore.** Una camera spazzata ieri non è una camera spazzata: nel frattempo una valvola può aver trafilato.
- **Dopo tre accensioni pilota fallite.** Ogni tentativo fallito ha immesso gas in camera senza accenderlo. Tre tentativi sono il limite oltre il quale quel gas va spazzato via prima di riprovare.
- **Con un blocco totale.** Il blocco totale chiude piloti e bruciatori e invalida la memoria: non basta resettare e riaccendere, va rifatta la purge.

Finché la memoria è valida si possono accendere i piloti; quando decade, no.

2.5 Purge fallita

Se durante il ciclo si perde anche uno solo dei permissivi — qualcuno chiude una serranda camino, l'interlock ferma la soffiante, arriva un comando di blocco — la purge **non si mette in pausa: fallisce**. Compare l'allarme XA-PURGE-F01 e il ciclo va rifatto da capo.

È severo di proposito. Una purge interrotta a metà e poi ripresa non dà nessuna garanzia sul numero di ricambi d'aria effettivamente avvenuti, che è l'unica cosa che conta.

2.6 Tempi del capitolo

CONDIZIONE	DURATA	NOTA
Due percorsi d'aria attivi	25 min	Entrambe le soffianti in marcia, serrande F02 chiuse
Un solo percorso attivo	55 min	Più del doppio: il ricambio è una diluizione
Validità della memoria	12 h	Conto alla rovescia visibile sul pannello
Accensioni pilota fallite tollerate	3	Alla terza la memoria decade

3. L'interlock cablato delle soffianti condivise

3.1 Due soffianti per due forni

K102A e K102B non appartengono a questo forno: sono **condivise** con il forno adiacente F02. Ogni soffiante serve un lato — A o B — e su ciascun lato ci sono due serrande di aspirazione: una verso F01 (103A, 103B) e una verso F02 (104A, 104B).

Da qui nasce una possibilità pericolosa: **mandare aria in un forno che sta bruciando**. Se la soffiante A è in marcia e la serranda 103A è aperta mentre i piloti di F01 sono accesi, si sta soffiando aria su fiamme pilota che hanno una potenza minima. Il risultato è lo spegnimento, e uno spegnimento con le valvole gas ancora aperte è gas incombusto in camera.

3.2 La regola

Una soffiante è **abilitata a funzionare** solo se, per il suo lato, valgono entrambe:

- la serranda verso F01 è **chiusa**, **oppure** tutte le valvole pilota di F01 sono chiuse;
- la serranda verso F02 è **chiusa**, **oppure** tutte le valvole pilota di F02 sono chiuse.

Detto in positivo: *una soffiante può girare solo verso un forno che non ha piloti aperti*.

3.3 Perché è cablata e perché è un permissivo continuo

L'interlock **non passa dal PLC**: è logica cablata. È una scelta di architettura, non di comodità. Una protezione che impedisce un'immissione d'aria pericolosa non deve dipendere dal ciclo di scansione di un programma, né dal fatto che il programma sia quello giusto: deve valere anche a PLC guasto.

È inoltre un **permissivo continuo**, non un semplice consenso all'avviamento: viene valutato a ogni istante, anche a soffiante già in marcia. Per questo, nel momento in cui si aprono le valvole pilota, la soffiante **si ferma**. Non è una sequenza che qualcuno ha scritto: è l'interlock che ritira il consenso. E va bene così, perché a quel punto la purge è finita e il forno prosegue in tiraggio naturale.

4. Accensione: prima i piloti, poi i bruciatori

4.1 Perché un pilota

Un bruciatore principale non si accende con una scintilla. La portata di gas è troppo alta e la velocità di efflusso troppo elevata: la scintilla non riesce a stabilizzare un fronte di fiamma, e intanto il gas continua a entrare. Il **pilota** è un bruciatore piccolo, a portata ridotta, che si accende con la scintilla e resta acceso: è lui a dare al bruciatore principale una sorgente di accensione **continua e già verificata**.

Da qui la regola di fondo: **nessun bruciatore può aprire la propria valvola se il pilota della stessa posizione non ha la fiamma confermata**. Il pulsante del bruciatore resta disabilitato finché quella condizione non è vera.

4.2 La sequenza del pilota

PASSO	DURATA	CHE COSA SUCCEDE
Apertura	5 s	La valvola UZV-140-n viene comandata aperta
Verifica ZSC	istantanea	Si verifica che il finecorsa di chiusura **non** sia più attivo
Scintilla	10 s	Il trasformatore di accensione IGN-140 lavora
Verifica fiamma	istantanea	Il rivelatore BXD-140 deve confermare la fiamma

Se la verifica ZSC fallisce, o se alla fine della scintilla il rivelatore non vede fiamma, la posizione va in **guasto**: la valvola si richiude, l'allarme di quella posizione si alza e il contatore delle accensioni fallite avanza.

4.3 La sequenza del bruciatore

PASSO	DURATA	CHE COSA SUCCEDE
Apertura	5 s	La valvola HV-109-n viene comandata aperta
Verifica ZSO	istantanea	Si verifica il finecorsa di apertura
Verifica fiamma	10 s	Lo scanner UV XA-111 deve confermare la fiamma

Il tempo di verifica è la parte che non va fraintesa: non è un'attesa di cortesia. È il tempo massimo entro cui, se la fiamma non si è stabilita, la valvola deve richiudersi — perché per tutta la sua durata sta entrando gas.

4.4 La discordanza di posizione valvola

Il finecorsa di chiusura ZSC che torna attivo **mentre la valvola è comandata aperta** è una **discordanza**: o la valvola non si è mossa, o il finecorsa mente. In entrambi i casi non si sa dove sia la valvola, e non

sapere dove sia una valvola di intercettazione del gas è inaccettabile.

Il simulatore la tratta come **condizione permanente**, non come un controllo che si fa una volta sola: interviene a pilota in marcia, in accensione e in verifica. Un guasto di campo non scompare perché il controllo è già passato.

La conseguenza pratica è che quella posizione **non si recupera dal pannello**: il guasto si leva sul campo. Quello che si può fare dal pannello è escluderla con il bypass MOS e tenere il forno in servizio sulle altre nove (capitolo 5.4).

4.5 Il permissivo di accensione dei piloti

Un pilota può aprire se vale **una** delle due:

- la **memoria di purge è valida**, oppure
- **almeno un pilota è già acceso**.

La seconda sembra una scorciatoia, non lo è. Se c'è già una fiamma stabile in camera, non esiste l'accumulo di miscela che la purge serve a prevenire: accendere un secondo pilota è un'operazione diversa dall'accendere il primo. È anche la ragione per cui, se si spengono **tutti** i piloti, per riaccenderne uno serve una nuova purge.

---

5. Lo stato ON del forno

5.1 Perché bisogna definirlo

Due delle protezioni automatiche sono armate **solo a forno in servizio**. Il motivo è ovvio quando lo si guarda dal verso giusto: «perdita di fiamma su tre bruciatori adiacenti» è una condizione anomala solo se quei bruciatori dovevano essere accesi. Su un forno in avviamento, con sei posizioni ancora spente, la stessa misura è lo stato normale.

Serve quindi una definizione precisa di che cosa significhi «forno in servizio», e deve essere una definizione che il sistema possa valutare da solo.

5.2 La definizione adottata

Il forno è in **stato ON** quando, per **ogni** posizione da 1 a 10, vale almeno una di queste:

- pilota **e** bruciatore hanno la fiamma confermata, **oppure**
- la posizione è **esclusa dal bypass MOS**;

e inoltre **almeno una posizione è realmente accesa**.

L'ultima condizione è la guardia che impedisce l'assurdo: senza di essa, escludendo tutte e dieci le posizioni con i MOS si otterrebbe un forno formalmente «in servizio» pur essendo completamente spento, e con le protezioni armate su niente.

Lo stato è segnalato dalla lampada **XS-F01-ON**.

5.3 Perché è una memoria e non un calcolo istantaneo

La condizione è **posata** quando diventa vera e **tolta** quando tutti i piloti sono spenti. Non viene ricalcolata a ogni scansione perché, se lo fosse, si creerebbe una corsa: nell'istante in cui tre bruciatori perdono la fiamma, la condizione «tutte le posizioni accese» diventa falsa **nello stesso istante** in cui la protezione dovrebbe intervenire — e la protezione si disarmerebbe da sola proprio quando serve. La memoria rompe quella corsa.

5.4 Il bypass MOS

Ogni posizione ha un **MOS** — un bypass di manutenzione che esclude insieme pilota e bruciatore di quella posizione. Serve a tenere il forno in servizio quando una posizione è guasta e non si può riparare subito.

Ha però un limite dichiarato: **dieci MOS attivi insieme sono causa di blocco parziale**. Un forno con tutte le posizioni escluse non è un forno protetto, è un forno con le protezioni disinserite, e il sistema si rifiuta di restare in quello stato. Il bypass è uno strumento per una posizione, non per il forno.

6. Blocco parziale e blocco totale

6.1 Due livelli, due logiche

	BLOCCO PARZIALE	BLOCCO TOTALE
Che cosa chiude	**Solo i bruciatori**	Bruciatori **e** piloti
Memoria di purge	Resta valida	**Invalidata**
Che cosa serve per ripartire	Reset e riaccensione bruciatori	Reset, **nuova purge**, riaccensione completa

La differenza non è di gravità, è di natura. Il blocco parziale toglie la potenza lasciando in camera le sorgenti di accensione verificate: si può tornare in servizio in pochi minuti. Il blocco totale toglie anche quelle, e con esse la certezza sullo stato della camera: da lì si riparte solo passando di nuovo dalla purge.

6.2 Le cause

CAUSA	LIVELLO
Pulsante di trip parziale sul quadro locale	Parziale
Comando di blocco parziale dall'ESD	Parziale
Dieci MOS attivi contemporaneamente	Parziale
Perdita di **tutte** le fiamme bruciatore a forno in stato ON	Parziale
Pulsante di emergenza sul quadro locale	**Totale**
Comando di blocco totale dall'ESD	**Totale**
Perdita fiamma su **tre bruciatori adiacenti e relativi piloti**, a forno in stato ON	**Totale**

6.3 Perché «adiacenti», e perché anche i piloti

Tre bruciatori spenti **sparsi** lungo la camera sono una perdita di potenza: fastidiosa, non pericolosa. Tre bruciatori spenti **vicini** sono una zona fredda estesa, e una zona fredda in una camera in pressione di gas è il posto dove il gas incombusto si raccoglie.

Che la condizione richieda anche la perdita dei **piloti corrispondenti** è altrettanto significativo: se i piloti di quelle tre posizioni sono ancora accesi, in quella zona esiste ancora una sorgente di accensione continua, e il gas che eventualmente arriva brucia invece di accumularsi. È la perdita simultanea di entrambi i livelli che costituisce il pericolo.

6.4 Perdita di tutte le fiamme, e come si distingue da un arresto

«Perdita di tutte le fiamme bruciatore» non deve scattare quando è l'operatore a fermare i bruciatori dal pulsante. Il simulatore distingue i due casi confrontando lo stato con la **scansione precedente** — c'erano fiamme ed erano comandate, ora non ci sono più — invece di appoggiarsi a una memoria. Fermando i bruciatori dal pannello non scatta alcun blocco, ed è proprio quello che si verifica nelle prove.

6.5 First-out

Quando un forno si ferma, in pochi secondi arrivano molti allarmi: cadono le fiamme, si chiudono le valvole, intervengono le segnalazioni derivate. Sapere **quale causa è arrivata per prima** è la differenza fra capire il guasto e fare ipotesi.

Il registro marca la prima causa critica con l'etichetta **First-out** e la riporta in chiaro accanto all'allarme — non un codice, la frase. La marcatura resta finché non si esegue il reset.

---

7. Gli allarmi ISA-18.2

7.1 I tre stati

STATO	SIGNIFICATO
ATT	Attivo: la condizione è presente e l'allarme non è stato tacitato
TAC	Tacitato: l'operatore lo ha preso in carico, la condizione è ancora presente
RIT	Rientrato: la condizione è cessata, ma l'allarme non è ancora stato tacitato

La distinzione fra TAC e RIT è quella che si dimentica più spesso. Un allarme **rientrato** resta in elenco proprio perché l'operatore possa accorgersi che qualcosa è successo mentre guardava altrove: sparisce solo con la tacitazione.

7.2 Il lampeggio

Nella matrice piloti e bruciatori, una posizione in guasto **lampeggia in rosso finché l'allarme non è tacitato**, poi resta rossa fissa. È la stessa convenzione del banner e della lampada di allarme comune: *lampeggiante significa non ancora preso in carico*, non significa «più grave». Un guasto rosso fisso è un guasto che qualcuno ha visto.

7.3 La prova lampade

Il pulsante di prova lampade accende **tutte** le lampade del pannello, i cinquanta LED della matrice, il faro e il ronzatore, per tutto il tempo in cui resta premuto. È a uomo presente di proposito: una prova lampade che si avvia e va avanti da sola lascia il quadro illuminato senza nessuno che lo guardi, e per quella durata nessun allarme vero sarebbe distinguibile.

8. I valori analogici

PIT-126 — pressione del gas combustibile. Il collettore sotto i bruciatori parte da circa 4,2 bar a forno fermo e **cala di circa 0,11 bar per ogni bruciatore acceso**: a dieci bruciatori si assesta intorno a 3,1 bar. È il comportamento di una rete che eroga: più utenze aperte, meno pressione al collettore. Serve a riconoscere un'anomalia di alimentazione gas prima che diventi una perdita di fiamma.

FIT-138 … FIT-141 — portate di processo. Le quattro linee oscillano lentamente attorno a 62 m³/h con un'escursione di ±14 m³/h e fasi diverse fra loro, per rappresentare un carico di processo che varia. Non sono regolate dal sistema bruciatori: sono il **disturbo** rispetto al quale il forno lavora.

Regime di fuoco. Frazione di bruciatori accesi, filtrata a 6 secondi.

9. La scala dei tempi

La simulazione gira a **scansione fissa di 100 ms** di tempo di processo. In testata si sceglie un acceleratore **×1 / ×10 / ×60** che moltiplica il tempo di processo, non quello dell'orologio: serve a non aspettare 25 o 55 minuti reali per una purge.

Nel modulo di esercitazione la distinzione è esplicita: l'acceleratore accorcia l'attesa dei processi, ma il **cronometro dell'esercizio e la permanenza in condizione richiesta dai criteri sono misurati in tempo reale**. Accelerare non fa superare una prova prima.

10. Che cosa il modello semplifica

Sapere dove il simulatore finisce fa parte dell'addestramento. Le semplificazioni dichiarate:

- **Il forno adiacente F02 non è simulato.** Compare solo attraverso le sue due serrande di aspirazione, che contendono le soffianti. Serve a rendere reale l'interlock, non a riprodurre le sequenze di quel forno.
- **La combustione non è modellata chimicamente.** Non ci sono eccesso d'aria, tenore di ossigeno nei fumi, temperatura di camera né rendimento: la fiamma è presente o assente.
- **Il tiraggio è implicito.** Le serrande camino sono un permissivo di purge e una via di uscita per il flusso, ma non esiste una depressione di camera calcolata né un suo controllo.
- **Le dieci posizioni sono identiche.** Nessuna differenza di taratura, usura o posizione rispetto ai passaggi di processo.
- **Le portate di processo sono un disturbo imposto**, non il risultato di un bilancio termico: non reagiscono alla potenza sviluppata dai bruciatori.
- **La pressione del gas è una relazione algebrica** fra numero di bruciatori accesi e pressione di collettore, non un modello di rete con perdite di carico.
- **I rivelatori di fiamma sono ideali.** Non esistono letture marginali, sporcamento delle ottiche né falsi segnali: la fiamma è vista o non è vista.

Nessuna di queste semplificazioni tocca quello che il pannello serve ad addestrare: capire a che cosa serve una purge e perché non si accorcia, riconoscere un interlock cablato da un guasto, condurre un'accensione per gradi, sapere quando le protezioni sono armate e quando no, distinguere un blocco parziale da uno totale e ricostruire una causa dal first-out.