Anello di portata gas FIC-101 — Principi di funzionamento

Indice

1. La misura di portata con diaframma **2**
1.1 Perché la portata non si misura direttamente . . . 2
1.2 Il percorso del segnale . . . 2
1.3 Perché la radice quadrata, e che cosa costa . . . 2
1.4 Perché la compensazione P/T/Z . . . 3
1.5 I ritardi della catena, e perché non sono un difetto . . . 3
1.6 Soglie legate alla misura . . . 3
1.7 Nota per lo studente — cosa il modello semplifica . . . 4

2. L'organo finale: la valvola di regolazione FV-101 **4**
2.1 Perché una valvola di regolazione non è un rubinetto . . . 4
2.2 Kv, e perché il gas non si calcola come un liquido . . . 4
2.3 Il soffocamento: oltre un certo salto, spingere non serve . . . 5
2.4 La caratteristica intrinseca: tre valvole diverse nella stessa carcassa . . . 5
2.5 Tempo di corsa e attrito . . . 5
2.6 Nota per lo studente — cosa il modello semplifica . . . 6

3. Il regolatore PID **6**
3.1 Perché serve un regolatore . . . 6
3.2 Azione inversa o diretta . . . 6
3.3 Le tre azioni . . . 6
3.4 La derivata si prende sulla misura, non sull'errore . . . 7
3.5 Automatico, manuale e il trasferimento senza scossoni . . . 7
3.6 L'anti-windup . . . 7
3.7 Nota per lo studente — cosa il modello semplifica . . . 7

4. Identificazione e taratura **7**
4.1 Perché non si tara a tentativi . . . 7
4.2 La curva di reazione . . . 8
4.3 Due tarature dalla stessa curva . . . 8
4.4 Il guadagno d'anello . . . 8
4.5 Come si giudica una taratura . . . 9
4.6 Nota per lo studente — cosa il modello semplifica . . . 9

5. Le protezioni: allarmi, blocco e valvola di sicurezza **9**
5.1 Tre strati, in ordine . . . 9
5.2 Gli allarmi: una condizione, non un messaggio . . . 9
5.3 UZV-101, il blocco . . . 10
5.4 PSV-101, la protezione meccanica . . . 10
5.5 Tutte le soglie . . . 10
5.6 Nota per lo studente — cosa il modello semplifica . . . 11

6. Il gas, le pressioni e i disturbi **11**
6.1 Perché un gas non si tratta come un liquido . . . 11
6.2 Il fattore di comprimibilità Z . . . 11

6.3 Pressione di rete e contropressione dell'utenza 12
6.4 La temperatura e l'effetto Joule-Thomson 12
6.5 Nota per lo studente — cosa il modello semplifica 12

Documento per chi usa il simulatore in addestramento. Non descrive la pagina web (pulsanti, schede, cursori): spiega perché il processo si comporta come si comporta e su quali logiche di controllo è costruito il modello, in modo che chi si esercita capisca il fenomeno fisico e la strategia di regolazione, non solo la sequenza di comandi da premere.

Un capitolo per sottosistema. Si parte dalla misura, perché un anello di regolazione non può essere migliore della misura su cui si chiude: tutto quello che viene dopo — valvola, regolatore, taratura — lavora sul numero che il trasmettitore consegna, giusto o sbagliato che sia.

---

1. La misura di portata con diaframma

Strumenti: FE-101, FT-101, PT-101, TT-101

1.1 Perché la portata non si misura direttamente

Non esiste uno strumento che conti le molecole che passano. Un misuratore a pressione differenziale fa una cosa diversa: crea di proposito un ostacolo noto — il diaframma FE-101, un disco forato inserito fra due flange — e misura la differenza di pressione che il fluido genera attraversandolo. Quella differenza è legata alla portata da una relazione nota, e la portata si ricava all'indietro.

È un metodo indiretto, e questo spiega quasi tutti i comportamenti che l'allievo vede sul pannello: la radice quadrata, il campo di misura limitato, la compensazione, la sensibilità alla densità. Nessuno di questi è un capriccio dello strumento: sono conseguenze del fatto che si misura una pressione e si calcola una portata.

1.2 Il percorso del segnale

Il riquadro *Catena di misura* del sinottico mostra il percorso completo, nello stesso ordine in cui il calcolatore lo esegue:

ΔP alle prese → estrazione della radice → portata a condizioni di linea → compensazione P/T/Z → portata normalizzata in Sm³/h

Ogni passaggio è calcolato a ogni scansione del simulatore, non impostato a mano: se cambia la pressione di rete, se il gas si scalda o se la valvola si muove, l'effetto si propaga lungo tutta la catena con i propri tempi di risposta.

Il ΔP che il trasmettitore legge non è la perdita di carico permanente del diaframma. Le prese sono flangiate, a monte e a valle del disco, e leggono il salto di pressione nel punto di massima contrazione della vena fluida. La perdita permanente — quella che l'impianto paga davvero — è una frazione di quel ΔP, circa il 57 % con il rapporto di diametri usato qui. È il motivo per cui un diaframma "costa" pressione: la misura si ottiene sacrificando una parte del salto disponibile.

1.3 Perché la radice quadrata, e che cosa costa

Il ΔP non è proporzionale alla portata, ma al suo **quadrato**: raddoppiando la portata il ΔP quadruplica. Il calcolatore deve quindi estrarre la radice quadrata del segnale per tornare a una grandezza proporzionale alla portata.

La conseguenza pratica è che la precisione della misura **non è uniforme sul campo scala**. A portata piena il ΔP è grande e un errore di qualche millibar conta poco; a un quarto della portata il ΔP è sedici volte più piccolo, e lo stesso errore in millibar pesa molto di più in percentuale della lettura. È per questo che il campo utile di un diaframma si considera di circa 3:1, non di 10:1 come per un misuratore massico.

Da qui anche il **taglio di bassa portata**: sotto una frazione minima del fondo scala il calcolatore forza la lettura a zero invece di amplificare rumore. Senza quel taglio, a valvola quasi chiusa il pannello mostrerebbe una portata ballerina generata soltanto dal rumore del trasmettitore.

1.4 Perché la compensazione P/T/Z

La relazione fra ΔP e portata contiene la **densità** del gas. Il calcolatore non può ignorarla, perché la densità di un gas non è una costante: dipende da pressione, temperatura e dal fattore di comprimibilità Z.

Con la compensazione **inserita**, il calcolatore legge pressione e temperatura di linea dai trasmettitori PT-101 e TT-101, calcola la densità reale e ottiene la portata vera. Con la compensazione **esclusa** usa una densità fissa, quella delle condizioni di progetto, e sbaglia ogni volta che le condizioni reali se ne allontanano:

Condizione reale	Densità reale	Lettura senza compensazione
Pressione più alta del progetto	maggiore	**in difetto** (legge meno del vero)
Pressione più bassa del progetto	minore	in eccesso
Gas più caldo del progetto	minore	**in eccesso** (legge più del vero)
Gas più freddo del progetto	maggiore	in difetto

L'errore non è piccolo: portando la rete da 8 a 10,5 bar g con la compensazione esclusa la misura scende di circa il 12 % rispetto alla portata reale, e il pannello scrive quanto sta sbagliando sotto il comando della compensazione.

È il difetto più insidioso di tutti, perché **l'anello continua a funzionare benissimo**: il regolatore porta la misura sul set-point e la tiene lì, stabile. Semplicemente sta regolando un numero sbagliato, e all'utenza arriva un'altra portata. Il registro allarmi segnala l'esclusione con una marcatura a parte proprio per questo: una protezione o una correzione disinserita è invisibile a chi guarda solo i valori.

1.5 I ritardi della catena, e perché non sono un difetto

Fra la portata che passa davvero nel tubo e il numero mostrato a pannello ci sono tre ritardi, tutti reali e tutti presenti nel modello:

- il **ritardo di trasporto**, il tempo che il segnale di pressione impiega ad arrivare al trasmettitore attraverso le linee di impulso;
- lo **smorzamento del trasmettitore**, un filtro deliberato che l'attrezzista imposta per rendere la lettura leggibile invece che ballerina;
- la **capacità della linea**, cioè il volume di gas che deve svuotarsi o riempirsi prima che la portata cambi davvero a valle.

Sono la ragione per cui un anello si può destabilizzare. Un processo senza ritardo sopporterebbe qualunque guadagno: si potrebbe alzare K quanto si vuole e la regolazione diventerebbe solo più rapida. È il ritardo a mettere un limite — la correzione arriva quando la situazione è già cambiata — ed è per questo che tararli è un mestiere e non un calcolo banale.

Su questo simulatore quei tre parametri sono **fissi e dichiarati**, non regolabili: rumore 0,6 % del fondo scala, smorzamento 2 s, ritardo di trasporto 0,8 s. Su un impianto vero l'allievo quei numeri li subisce, non li sposta.

1.6 Soglie legate alla misura

Tag	Significato	Soglia	Effetto
FAL-101	Portata bassa	400 Sm³/h	allarme
FAH-101	Portata alta	4600 Sm³/h	allarme
FDEV-101	Scostamento persistente fra set-point e misura	8 % per 25 s	allarme, solo in automatico
PDAH-101	ΔP del diaframma oltre il fondo scala del trasmettitore	fondo scala	allarme
FY-101	Compensazione P/T/Z esclusa	—	segnalazione marcata come esclusione

L'allarme di scostamento è inibito con il regolatore in manuale: in manuale è l'operatore a decidere l'uscita, e uno scarto dal set-point non è un'anomalia ma una scelta. È pratica di sala controllo, non una scorciatoia del simulatore.

1.7 Nota per lo studente — cosa il modello semplifica

- Le misure di pressione e temperatura usate dalla compensazione sono considerate immediate e prive di rumore: nel modello solo il trasmettitore di ΔP ha rumore, ritardo e smorzamento. Su impianto anche PT-101 e TT-101 hanno le proprie incertezze, che si sommano a quella del ΔP.
- Il fattore di comprimibilità Z è calcolato con un'equazione viriale troncata al secondo coefficiente, valida sotto i 20 bar per il metano. Un calcolatore fiscale userebbe correlazioni più complete.
- Il guasto "presa di pressione otturata" fa scendere la lettura in modo progressivo, come farebbe un'otturazione parziale che si aggrava. Non è rappresentata l'otturazione secca e immediata di una sola presa, che darebbe un salto istantaneo.

---

2. L'organo finale: la valvola di regolazione FV-101

2.1 Perché una valvola di regolazione non è un rubinetto

Una valvola di intercettazione ha due posizioni utili, aperta e chiusa; una valvola di regolazione lavora **in continuo** in tutte le posizioni intermedie, e il suo pregio non è quanto passa a valvola tutta aperta, ma quanto **regolarmente** la portata segue la corsa dell'otturatore.

Questa differenza spiega perché sulla linea ci sono due valvole con ruoli non intercambiabili: UZV-101 è di blocco e sta tutta aperta o tutta chiusa, FV-101 è di regolazione e si muove di continuo. Una valvola di blocco usata per regolare lavorerebbe male e si consumerebbe in fretta; una valvola di regolazione usata per intercettare non garantisce la tenuta.

2.2 Kv, e perché il gas non si calcola come un liquido

La capacità di una valvola si esprime con il **Kv**: la portata d'acqua in m³/h che passa con un bar di salto di pressione. Per un liquido la formula è semplice e la portata cresce con la radice del ΔP.

Per un gas la faccenda cambia, perché il gas **si espande** attraversando la valvola: la densità in uscita è minore di quella in ingresso e la formula deve tenerne conto con un fattore di espansione. Il simulatore usa la formulazione della norma IEC 60534-2-1, la stessa dei fogli di calcolo di dimensionamento:

$$W = 31{,}6 \cdot K_v \cdot Y \cdot \sqrt{x \cdot p_1 \cdot \rho_1}$$

dove W è la portata in massa, x il rapporto fra salto di pressione e pressione di monte, Y il fattore di espansione e ρ_1 la densità a monte.

2.3 Il soffocamento: oltre un certo salto, spingere non serve

Quando il rapporto x supera un valore critico, la velocità del gas nella sezione ristretta raggiunge quella del suono e **la portata non aumenta più**, per quanto si abbassi la pressione a valle. La valvola è *soffocata*.

È un comportamento che sorprende chi viene dai liquidi e che sul simulatore si tocca con mano: abbassando la contropressione dell'utenza sotto una certa soglia, la portata smette di rispondere. Il regolatore, che continua a vedere un errore, apre ulteriormente la valvola senza ottenere niente — e quella è una delle situazioni in cui l'uscita satura e l'integrale comincia ad accumulare.

2.4 La caratteristica intrinseca: tre valvole diverse nella stessa carcassa

La **caratteristica intrinseca** è la relazione fra corsa dell'otturatore e Kv. Il simulatore permette di cambiarla, e non è un dettaglio estetico: cambia il guadagno che il regolatore vede.

Caratteristica	Relazione corsa → Kv	Guadagno di processo al 35 % → 85 % di apertura
Equipercentuale	esponenziale	0,58 → 3,67 %/% — **cresce di sei volte**
Lineare	proporzionale	1,64 → 1,37 %/% — sostanzialmente costante
Apertura rapida	a radice	1,25 → 0,71 %/% — cala con il carico

La conseguenza è la lezione più importante di tutto il simulatore: **una taratura buona in un punto di lavoro non è buona dappertutto**. Con la caratteristica equipercentuale, un regolatore tarato a bassa portata diventa troppo aggressivo ad alta portata, e lo stesso valore di K che teneva l'anello stabile lo fa oscillare.

Va detto che su questo impianto il salto di pressione sulla valvola varia poco al variare della portata: è la ragione per cui qui è la caratteristica **lineare** a dare guadagno costante. Su impianti dove il ΔP della valvola crolla al crescere della portata — una pompa contro una lunga tubazione, per esempio — è l'equipercentuale a compensare quel crollo e a linearizzare l'anello. La scelta della caratteristica dipende dall'impianto, non da una regola universale.

2.5 Tempo di corsa e attrito

La valvola non si sposta istantaneamente: il tempo di corsa a pieno campo è di 6 s, e il regolatore deve convivere con questo ritardo come con gli altri.

L'**attrito statico** è un guasto a parte e vale la pena capirlo bene, perché è il difetto più frequente sugli anelli reali e il più frainteso. L'otturatore resta incollato finché il comando non supera una banda di aderenza; superata quella, si stacca di scatto e **oltrepassa** il bersaglio. Il regolatore vede l'errore invertirsi, corregge nell'altro senso, la valvola si incolla di nuovo, e così via: nasce un **ciclo limite**, un'oscillazione permanente di ampiezza quasi costante.

Il punto pedagogico è che quel ciclo **non si elimina tarando il PID**. Si può rallentarlo allungando il tempo integrale, ma resta: la causa è meccanica, e la cura è la valvola, non il regolatore. Riconoscere un ciclo da attrito e smettere di dare la colpa alla taratura è una delle competenze che questo simulatore vuole allenare.

2.6 Nota per lo studente — cosa il modello semplifica

- Il modello di attrito ha una banda di aderenza e un salto allo stacco fissi; su valvola reale variano con la posizione, con la pressione differenziale e con lo stato del premistoppa.
- Il posizionatore non è rappresentato come anello a sé: la valvola insegue il comando con un tempo di corsa e un limite di velocità, senza il suo anello di posizione interno.
- Il guasto “valvola bloccata” congela la posizione dov’era: non rappresenta una valvola che va in sicurezza aprendosi o chiudendosi per mancanza d’aria.

---

3. Il regolatore PID

FIC-101, forma ISA

3.1 Perché serve un regolatore

Senza regolatore l’operatore imposta un’apertura di valvola e la portata è quella che ne consegue. Finché nulla cambia funziona; ma la pressione di rete oscilla, la temperatura del gas cambia, l’utenza varia la propria contropressione — e la portata se ne va, senza che nessuno la riporti a posto.

Un regolatore chiude l’anello: misura, confronta con il set-point, e muove la valvola nel senso che riduce lo scarto. Non è più l’apertura a essere imposta: è la portata.

3.2 Azione inversa o diretta

È la prima cosa da impostare e la più facile da sbagliare. Su questo anello, alzando l’uscita si apre la valvola e la portata **sale**. Se la misura è sopra il set-point, bisogna quindi **abbassare** l’uscita: azione **inversa**.

Sbagliare l’azione non lascia un errore permanente, che si potrebbe correggere: fa scappare l’anello. Il regolatore corregge nella direzione sbagliata, l’errore cresce, la correzione cresce con lui, e l’uscita finisce a fondo scala da una parte o dall’altra. È un difetto che si riconosce in pochi secondi, e vale la pena provarlo sul simulatore per riconoscerlo in campo.

3.3 Le tre azioni

Azione	Parametro	Che cosa fa	Che cosa succede esagerando
Proporzionale	K	Corregge in proporzione all’errore presente	Oscillazione crescente
Integrale	T_i (s)	Accumula l’errore nel tempo e azzera lo scostamento permanente	Pendolamento lento, sovraelongazione
Derivativa	T_d (s)	Anticipa in base alla velocità con cui la misura si muove	Amplifica il rumore, fa ballare la valvola

Il **solo proporzionale non chiude mai l’errore**: per tenere la valvola in una posizione diversa da quella di riposo, un regolatore proporzionale ha bisogno di un errore che glielo comandi. Dopo un disturbo la portata si assesta a un valore vicino al set-point ma non uguale, e quello scostamento resta finché non interviene l’azione integrale. È esattamente lo scenario 4 del modulo formativo.

Il **tempo integrale** si legge così: è il tempo che l'azione integrale impiega a ripetere da sola quanto ha già fatto l'azione proporzionale. Un T_i corto significa azione integrale aggressiva; lungo, lenta. Portato al massimo equivale a spegnerla.

3.4 La derivata si prende sulla misura, non sull'errore

Nel simulatore l'azione derivativa agisce sulla **misura filtrata**, non sull'errore. La differenza si vede quando l'operatore muove il set-point: l'errore cambia a gradino, e una derivata calcolata su di esso darebbe un calcio istantaneo all'uscita, con uno strappo sulla valvola che non serve a niente. Prendendo la derivata sulla misura, che a gradino non può cambiare, quel calcio sparisce e l'azione derivativa continua a fare il suo mestiere sui transitori veri.

Detto questo, su un anello di **portata** la derivata si usa raramente: la misura è intrinsecamente rumorosa e veloce, e la derivata trasforma quel rumore in movimento continuo dell'otturatore, consumandolo. Su portata e livello si lavora quasi sempre in PI.

3.5 Automatico, manuale e il trasferimento senza scossoni

In **manuale** è l'operatore a imporre l'uscita; il regolatore però non sta fermo: **insegue**, cioè ricalcola di continuo il proprio termine integrale in modo che il suo conto torni esattamente all'uscita che l'operatore ha impostato. Quando si passa in automatico, il regolatore riparte da lì e la valvola non si muove di un millimetro: è il **trasferimento senza scossoni**.

Senza inseguimento, il passaggio in automatico farebbe saltare l'uscita al valore che il regolatore aveva in memoria — un colpo sulla valvola e un transitorio inutile. È una funzione che su impianto nessuno nota finché non manca.

3.6 L'anti-windup

Quando l'uscita è già a fondo scala e l'errore persiste — set-point irraggiungibile, valvola tutta aperta, pressione di rete insufficiente — l'azione integrale continua ad accumulare senza che serva a niente: la valvola non può aprirsi oltre. Questo accumulo si chiama **windup**.

Il guaio arriva al rientro. Se l'integrale è cresciuto a centinaia di punti percentuali, quando il set-point torna raggiungibile l'uscita resta incollata al 100 % finché quell'accumulo non si è scaricato, e la portata sfonda ampiamente il nuovo set-point prima di rientrare.

L'**anti-windup** impedisce l'accumulo: appena l'uscita satura, il termine integrale viene ricalcolato all'indietro in modo da restare coerente con l'uscita reale. Sul simulatore la differenza è misurata: con anti-windup il rientro dopo una saturazione richiede circa 10 s, senza ne richiede più di 100.

3.7 Nota per lo studente — cosa il modello semplifica

- Il regolatore non ha banda morta né limite di velocità sull'uscita: due funzioni comuni sui regolatori industriali, qui omesse per non aggiungere parametri.
- Il filtro sulla derivata è fisso a 1 s e non è esposto come comando.
- La saturazione dell'uscita è fissa a 0-100 %: non sono rappresentati limiti di uscita impostabili dall'operatore.

---

4. Identificazione e taratura

4.1 Perché non si tara a tentativi

Si può tarare un anello girando i parametri e guardando che cosa succede, e a volte funziona. Ma senza sapere **com'è fatto il processo** non si sa nemmeno in che direzione andare, e un anello lento e uno instabile richiedono correzioni opposte che a occhio si confondono.

L'alternativa è misurare il processo prima di tarare. La misura si fa con una **prova a gradino**, che è vecchia come la regolazione e ancora la più usata in campo.

4.2 La curva di reazione

Si porta il regolatore in **manuale**, si aspetta che tutto sia fermo, si dà un gradino noto all'uscita e si registra come risponde la misura. Dalla curva si leggono tre numeri:

Simbolo	Nome	Che cosa dice
K_p	Guadagno di processo	Di quanto cambia la misura, in % del campo, per ogni % di uscita
τ	Costante di tempo	Quanto è "lento" il processo a rispondere una volta partito
θ	Ritardo puro	Quanto tempo passa prima che la misura si muova affatto

Il rapporto **θ/τ** dice quanto un anello è difficile: più ritardo puro c'è rispetto alla costante di tempo, meno guadagno si può usare. Su questo simulatore la prova restituisce valori attorno a τ ≈ 2,0 s e θ ≈ 1,4 s — un anello di portata veloce e con ritardo non trascurabile.

4.3 Due tarature dalla stessa curva

Dagli stessi tre numeri si ricavano tarature diverse, a seconda di che cosa si vuole ottenere. Il simulatore ne propone due, affiancate:

Metodo	Guadagno K	Tempo integrale T_i	Comportamento atteso
Ziegler-Nichols, curva di reazione	$0{,}9\,\tau/(K_p\,\theta)$	$3{,}33\,\theta$	Risposta rapida, sovraelongazione attorno al 20 %
λ (IMC)	$\tau/(K_p(\lambda+\theta))$	τ	Più lenta, senza sovraelongazione

Ziegler-Nichols nasce per rispondere in fretta a un disturbo e accetta di oltrepassare il bersaglio; la taratura λ nasce per non oltrepassarlo mai e accetta di metterci di più. Non è che una sia giusta e l'altra sbagliata: **dipende da che cosa costa di più** sull'impianto, l'oscillazione o la lentezza.

I due pulsanti del simulatore servono a fare quel confronto, non a dare la risposta: la taratura trovata a mano va messa accanto a queste due e giudicata sugli stessi indici.

4.4 Il guadagno d'anello

Quello che conta per la stabilità non è K da solo, ma il **guadagno d'anello**: il prodotto fra il guadagno del regolatore e quello del processo. Se il processo triplica il proprio guadagno — ed è quello che fa una valvola equipercentuale passando dal 35 % all'85 % di apertura, cap. 2.4 — il guadagno d'anello triplica con lui, e un anello che era stabile comincia a pendolare senza che nessuno abbia toccato il regolatore.

È la ragione per cui una taratura va verificata **nel punto di lavoro in cui l'impianto starà davvero**, e perché su anelli con grandi escursioni di carico si usano caratteristiche di valvola scelte apposta per tenere quel prodotto costante.

4.5 Come si giudica una taratura

A occhio si giudica male. Il simulatore misura quattro indici, tre continui e uno per transitorio:

Indice	Che cosa misura	Che cosa dice
IAE su 60 s	Integrale del valore assoluto dell'errore	Quanto errore si è accumulato: più basso, meglio
Escursione su 20 s	Differenza fra massimo e minimo della misura	Se c'è oscillazione residua
Tempo in banda ±2 %	Frazione di tempo dentro la banda	Quanto l'anello sta dove deve
Sovraelongazione	Quanto la misura oltrepassa il set-point, in % del gradino	Se la taratura è troppo aggressiva

Insieme a questi, per ogni transitorio il pannello riporta tempo di salita 10-90 % e tempo di assestamento entro ±2 %. Una taratura si giudica confrontando questi numeri fra due prove, non ricordando l'aspetto della curva.

4.6 Nota per lo studente — cosa il modello semplifica

- La prova a gradino del simulatore usa un solo gradino in una sola direzione. In campo si fa normalmente andata e ritorno, per accorgersi di eventuali isteresi della valvola.
- L'identificazione assume un modello del primo ordine con ritardo. È il modello che si usa in pratica, ma è un'approssimazione: l'anello reale ha più costanti di tempo in serie.
- Gli indici di prestazione sono calcolati sulla misura compensata, cioè su quello che il regolatore vede: se la compensazione è esclusa, gli indici dicono che l'anello lavora bene anche quando la portata vera è sbagliata.

---

5. Le protezioni: allarmi, blocco e valvola di sicurezza

5.1 Tre strati, in ordine

Le protezioni di questa linea sono organizzate su tre livelli, che intervengono uno dopo l'altro al crescere della gravità:

1. **L'allarme** avvisa l'operatore e gli lascia il tempo di intervenire. Non fa niente da solo.
2. **Il blocco** agisce quando l'operatore non è intervenuto o non ha potuto: PAHH-102 fa chiudere la valvola di intercettazione UZV-101 e la linea si ferma.
3. **La valvola di sicurezza** PSV-101 è l'ultima difesa, puramente meccanica: scarica al vent quando tutto il resto non è bastato.

L'ordine non è casuale ed è una delle cose che questo simulatore vuole far entrare in testa: se in esercitazione interviene la PSV, vuol dire che i due strati precedenti non hanno funzionato o non sono stati usati. **Per questo l'intervento della PSV toglie il superamento a qualunque scenario**, anche se tutti gli altri criteri sono soddisfatti.

5.2 Gli allarmi: una condizione, non un messaggio

Il registro segue la ISA-18.2. Ogni allarme è una **condizione valutata a ogni scansione**, non un messaggio scritto una volta: da qui i tre stati.

Stato	Significato
ATT	La condizione è presente e l'allarme non è stato tacitato
TAC	La condizione è ancora presente ma l'operatore l'ha presa in carico
RIT	La condizione è rientrata ma l'allarme non è ancora stato tacitato

Due marcature aggiuntive contano quanto gli stati:

- **First-out** segna la *prima* causa che ha fatto scattare il blocco. Quando un blocco ne trascina altri a cascata, il registro riempie di allarmi e senza questa marcatura non si capisce più da dove è partito.
- **Esclusione** segna le funzioni disinserite — compensazione P/T/Z esclusa, anti-windup escluso. Un'esclusione invisibile è una protezione che non c'è: chi guarda solo i valori di processo non ha modo di accorgersene.

5.3 UZV-101, il blocco

UZV-101 è una valvola di intercettazione: tutta aperta o tutta chiusa, mai a metà. Chiude su comando dell'operatore (pulsante di emergenza) oppure automaticamente quando la pressione a valle supera la soglia PAHH-102.

Il reset **non riapre** finché la causa persiste: premendolo con la pressione ancora alta non succede niente. È il comportamento corretto di un sistema di blocco e non una scortesia dell'interfaccia — un reset che riapre su una causa ancora presente è il modo migliore per ottenere un secondo scatto immediato.

5.4 PSV-101, la protezione meccanica

PSV-101 protegge il tratto di misura dalle escursioni di pressione della rete, scaricando al vent di sicurezza. Non passa dal sistema di controllo: è una molla tarata in officina e sigillata.

Grandezza	Valore	Significato
Taratura	11,0 bar g	Pressione a cui la valvola comincia ad aprire
Ricaduta	7 %	Quanto deve scendere la pressione prima che richiuda
Sovrapressione	entro il 10 %	Quanto la pressione può salire oltre la taratura mentre scarica

La **ricaduta** merita una riga in più: se la valvola richiudesse esattamente alla taratura, appena richiusa la pressione risalirebbe e riaprirebbe, in un martellamento che distrugge la sede in poche ore. La ricaduta è il margine che impedisce quel ripicchiamento.

La taratura di PSV-101 compare nella tabella delle soglie del simulatore **ma non si può modificare**, a differenza di tutte le altre. Non è una limitazione del pannello: è la rappresentazione fedele del fatto che quello è l'unico strato di protezione che l'operatore non può spostare. Vederlo fisso accanto a quelli spostabili è metà della lezione.

5.5 Tutte le soglie

Tag	Variabile	Allarme	Blocco	Azione
FAL / FAH-101	Portata compensata	400 / 4600 Sm³/h	—	segnalazione
FDEV-101	Scostamento SP − PV	8 % per 25 s	—	segnalazione, solo in automatico
PDAH-101	ΔP diaframma	fondo scala	—	segnalazione
PAL-100	Pressione di rete bassa	5,0 bar g	—	segnalazione
PAH / PAHH-102	Pressione a valle	6,0 bar g	7,0 bar g	chiusura UZV-101
PSV-101	Pressione tratto di misura	—	11,0 bar g	scarico al vent, non modificabile
YS-101	Uscita in saturazione	oltre 30 s	—	segnalazione

Tutte le soglie della tabella, tranne quella della PSV, sono modificabili in linea dal pannello, e la coppia allarme/blocco si riallinea da sola: spostando l'allarme oltre il blocco, il blocco si sposta per mantenere il margine.

5.6 Nota per lo studente — cosa il modello semplifica

- Il sistema di blocco è rappresentato come canale singolo. Un sistema di sicurezza reale su questo servizio userebbe trasmettitori ridondati con voto, e potrebbe avere un guasto di canale singolo senza perdere la protezione.
- Il tempo di chiusura di UZV-101 non è modellato: la valvola è aperta o chiusa nella stessa scansione.
- La PSV è modellata con apertura netta e portata di scarico calcolata con la stessa norma della valvola di regolazione. Non è rappresentata l'apertura progressiva di una valvola pilotata, né la contropressione sul collettore di vent.

---

6. Il gas, le pressioni e i disturbi

6.1 Perché un gas non si tratta come un liquido

Un liquido è praticamente incomprimibile: un metro cubo resta un metro cubo lungo tutta la linea. Un gas no. La stessa massa di metano occupa volumi molto diversi a pressioni diverse, e questo ha due conseguenze che si vedono su tutto il pannello.

La prima: **dire "portata" senza dire a quali condizioni non significa niente**. Per questo la portata dei gas si esprime in metri cubi **normali** — Sm³/h, il volume che quella massa occuperebbe a 0 °C e 1013,25 mbar — che è un modo indiretto di parlare di massa usando un'unità di volume. Il riquadro della catena di misura mostra entrambi i numeri: la portata a condizioni di linea e quella normalizzata.

La seconda: la densità entra in tutte le formule, dalla misura al diaframma al dimensionamento della valvola. Cambiare pressione o temperatura non è un dettaglio: cambia il processo.

6.2 Il fattore di comprimibilità Z

Il gas perfetto è un'approssimazione. Alle pressioni di questa linea il metano se ne discosta di circa il 2 %, e il fattore Z misura proprio quello scostamento: Z = 1 sarebbe gas perfetto, qui vale circa 0,98. Il pannello lo mostra in chiaro nel riquadro del gas perché entra nel calcolo della densità e quindi nella misura.

Grandezza	Valore per il metano
Massa molare	16,04 g/mol
Esponente isentropico k	1,31
Densità in condizioni normali	0,7175 kg/m³
Coefficiente Joule-Thomson	0,45 K/bar

6.3 Pressione di rete e contropressione dell'utenza

Sono i due disturbi principali, e agiscono in modo diverso:

- La **pressione di rete** (PT-100) è quello che la linea ha a disposizione. Se cala, a parità di apertura passa meno gas: il regolatore deve aprire di più per mantenere il set-point, e se la rete cala troppo il set-point diventa irraggiungibile e l'uscita satura.
- La **contropressione dell'utenza** (PT-102) è quello che la linea deve vincere. Se sale, il salto disponibile sulla valvola si riduce e succede la stessa cosa. Se scende molto, la valvola va in soffocamento (cap. 2.3) e la portata smette di rispondere.

Entrambi sono disturbi di **carico**: non toccano il set-point, toccano la relazione fra apertura e portata. Un anello ben tarato li assorbe senza che l'operatore se ne accorga; è esattamente quello che si prova negli scenari 4 e 5.

6.4 La temperatura e l'effetto Joule-Thomson

La temperatura del gas entra nella densità, quindi nella misura, ed è uno dei tre ingressi della compensazione.

C'è però anche un effetto che il gas produce da sé: attraversando una strozzatura e perdendo pressione, il metano **si raffredda**. È l'effetto Joule-Thomson, circa 0,45 gradi per bar di salto. Sul pannello si vede confrontando TT-101, a monte della valvola, con TT-102 a valle: la differenza non è un errore di misura, è fisica. Su impianti con salti di pressione grandi è la ragione per cui si preriscalda il gas prima di ridurlo.

6.5 Nota per lo studente — cosa il modello semplifica

- Il gas è metano puro. Un gas di rete reale è una miscela, con densità e potere calorifico che cambiano nel tempo: un calcolatore fiscale ne tiene conto con un'analisi cromatografica o una misura di densità in continuo.
- La pressione di rete è trattata come una sorgente imposta: il modello non rappresenta la caduta di pressione della rete a monte al crescere del prelievo.
- L'effetto Joule-Thomson è applicato con un coefficiente costante. Nella realtà dipende da pressione e temperatura, e per alcuni gas cambia perfino di segno.
- Le temperature di monte e di valle si rilassano verso l'ambiente con tempi fissi: non è rappresentato uno scambio termico con la tubazione calcolato sulla geometria reale.