Taratura trasmettitore PT-101 — Principi di funzionamento

Documento per l’allievo · banco di prova, trasmettitore di pressione 4–20 mA e ingresso PLC

Indice

Come si legge questo documento 2

1. Il banco di pressione 2
- 1.1 Perché serve un banco . . . 2
- 1.2 La pompa e l’aria . . . 2
- 1.3 Perché la pressione cala dopo aver pompato . . . 3
- 1.4 Sfiato HV-101 e regolatore fine . . . 3
- 1.5 Il manometro campione PI-100 . . . 3
- 1.6 Parametri del capitolo . . . 3

2. Il trasmettitore PT-101: dalla pressione alla corrente 3
- 2.1 La catena di misura, passo per passo . . . 3
- 2.2 Perché i due trim sono due cose diverse . . . 4
- 2.3 Saturazione e livelli di allarme . . . 4
- 2.4 Parametri del capitolo . . . 4

3. L’anello 4–20 mA, il multimetro e il PLC 5
- 3.1 Perché una corrente . . . 5
- 3.2 L’anello a due fili . . . 5
- 3.3 Il multimetro in serie . . . 5
- 3.4 L’ingresso analogico AI-101 del PLC . . . 5
- 3.5 Parametri del capitolo . . . 5

4. L’interfaccia locale (LOI) a due tasti 6
- 4.1 Perché solo due tasti . . . 6
- 4.2 La visualizzazione normale . . . 6
- 4.3 L’inserimento dei numeri . . . 6
- 4.4 Le voci del menu . . . 6
- 4.5 Messaggi . . . 6

5. I trim: come si corregge il sensore e l’uscita 7
- 5.1 ZERO TRIM . . . 7
- 5.2 LOWER TRIM e UPPER TRIM . . . 7
- 5.3 ANALOG TRIM . . . 7
- 5.4 FACTORY RECALL . . . 7
- 5.5 Quale trim per quale sintomo . . . 7

6. La scheda di taratura e la configurazione 7

7. Manutenzione: le azioni fisiche sul trasmettitore 8
- 7.1 Sostituire il modulo: l’ultima risorsa . . . 8
- 7.2 Presa otturata e raccordi . . . 8

8. Il verbale: prima e dopo la calibrazione 9

8.1 Perché due colonne . . . 9
8.2 I cinque punti . . . 9
8.3 Che cosa si registra e come si giudica . . . 9
8.4 Come condurre la verifica . . . 9

9. Guasti inseribili **9**
9.1 Perdita e raffreddamento: due cose da non confondere . . . 10

10. Soglie di diagnostica del canale e allarmi del PLC **10**
10.1 Perché il PLC ha le sue soglie . . . 10
10.2 La regola che il pannello fa rispettare . . . 10
10.3 Gli allarmi . . . 10

11. L’esercitazione e la sessione d’esame **11**
11.1 Come funziona uno scenario . . . 11
11.2 La sessione d’esame . . . 11

12. L’andamento a 60 secondi **11**

13. Che cosa il modello semplifica **12**

Come si legge questo documento

Il simulatore riproduce un banco di taratura: una pompa a mano che genera pressione, un manometro campione, un trasmettitore di pressione PT-101 con la sua interfaccia locale a due tasti, un multimetro in serie, l’ingresso analogico di un PLC e l’alimentatore a 24 V dell’anello. Lo scopo è imparare a **verificare** uno strumento, a **correggerlo** e a **documentare** quello che si è fatto.

Ogni numero mostrato esce da un modello risolto dieci volte al secondo: se si pompa l’aria si scalda davvero, se si apre un raccordo con la linea in pressione la manovra viene rifiutata, se si sbaglia l’ordine dei trim lo strumento resta fuori tolleranza. Questo documento spiega **perché** ogni parte esiste e **come** reagisce, così che quello che si vede sul pannello si possa prevedere invece di subirlo.

I **tag strumentali** (PT-101, PI-100, HV-101, AI-101…) non sono tradotti in nessuna lingua: sono identificativi, non parole. Le voci del menu dello strumento (ZERO TRIM, RERANGE, LOOP TEST…) restano in inglese, come sul display. Ogni capitolo corrisponde a una finestra del pannello, ed è lo stesso testo che si apre con il pulsante **?** della finestra. L’ultimo capitolo dichiara che cosa il modello semplifica: sapere dove il simulatore finisce fa parte dell’addestramento.

---

1. Il banco di pressione

1.1 Perché serve un banco

Per sapere se un trasmettitore misura bene bisogna dargli una pressione **nota** e confrontare quello che dice con quello che dovrebbe dire. Il banco produce la pressione (la pompa), la rende regolabile (sfiato e regolatore fine) e la misura con uno strumento di riferimento più preciso (il manometro campione PI-100). Il trasmettitore sotto prova non è mai il riferimento: è l’oggetto della prova.

1.2 La pompa e l’aria

La pompa è pneumatica: a ogni colpo di leva manda nella linea un volume d’aria di 25 cm³, alla pressione atmosferica, dentro un volume di circa 60 cm³. Il primo colpo porta quindi la linea a circa 0,4 bar; man mano che la pressione sale, la pompa spinge contro una contropressione maggiore e il guadagno per colpo diminuisce, fino ad annullarsi a **40 bar** (limite della pompa). Sul modello, per arrivare a 1 bar servono 3 colpi, per 5 bar circa 13, per 10 bar circa 27: una pressione alta si guadagna con pazienza.

Si pompa **tenendo premuta la leva**: un colpo ogni 0,45 s circa. La pressione compare sul display a sette segmenti rossi della pompa e nel sinottico.

1.3 Perché la pressione cala dopo aver pompato

Comprimere l'aria la scalda. Con la linea ferma, l'aria cede il calore alla linea e si raffredda con una costante di tempo di circa 8 s: la pressione, di conseguenza, **cala per qualche secondo dopo l'ultimo colpo** prima di fermarsi. Sul modello, dopo aver portato la linea a 10 bar la pressione perde circa 0,12 bar e si stabilizza dopo circa 8 s.

È la ragione per cui il verbale (capitolo 8) accetta un punto soltanto a pressione **ferma**: registrare mentre l'aria si sta ancora raffreddando significa confrontare lo strumento con un valore che sta cambiando.

1.4 Sfiato HV-101 e regolatore fine

HV-101 è una valvola di sfiato a spillo: aprendola l'aria esce in atmosfera con una velocità che cresce con il **quadrato** dell'apertura. Tutta aperta scarica la linea da 10 bar in meno di tre secondi; appena aperta, scarica lentamente — ed è questo che permette di scendere con calma su un punto di verifica.

Il **regolatore fine** (vernier) è una vite che varia il volume della linea di circa ±5 %: a pressione costante di massa d'aria, meno volume significa più pressione. Serve per l'ultimo ritocco: a 10 bar g muove la pressione di circa ±0,5 bar, in modo continuo, senza dover pompare o sfiatare.

Le due manopole si governano trascinandole in verticale, con la rotella del mouse, con le frecce della tastiera o con i cursori sotto il disegno.

1.5 Il manometro campione PI-100

PI-100 è il riferimento del banco: ha fondo scala 20 bar g, un rumore di lettura minimo (0,2 mbar) e viene confrontato con la PV del trasmettitore a ogni punto del verbale. Se la pressione supera il 102 % del suo fondo scala compare l'allarme **PI-100** (*proteggere il campione*): un campione portato fuori scala perde la taratura, e un banco con un campione incerto non serve a niente.

1.6 Parametri del capitolo

Grandezza	Valore	Note
Volume del banco	circa 60 cm³	regolatore fine ±5 %
Volume per colpo	25 cm³	all'atmosferica; cala con la pressione
Pressione massima pompa	40 bar g	colpi inefficaci oltre
Cadenza con leva premuta	0,45 s	
Raffreddamento dell'aria	$\tau \approx 8$ s	origine del calo dopo il pompaggio
Scarico con HV-101 tutta aperta	$\tau \approx 0{,}35$ s	quadratico nell'apertura
Fondo scala PI-100	20 bar g	allarme sopra il 102 %

---

2. Il trasmettitore PT-101: dalla pressione alla corrente

2.1 La catena di misura, passo per passo

Quello che il PLC legge è il risultato di sette passaggi in cascata. Conoscerli è la differenza fra correggere uno strumento e provare a caso.

1. **Sensore.** Misura la pressione e aggiunge i propri errori: uno **zero** (offset) e uno **span** (errore di pendenza), più un rumore di circa 0,5 mbar. Un sensore nuovo o deteriorato sbaglia qui.

2. **Trim del sensore.** Una correzione lineare, `PV = a·misura + b`, che si regola con ZERO TRIM, LOWER TRIM e UPPER TRIM (capitolo 5). Corregge il sensore, non il resto.
3. **Smorzamento.** Un filtro del primo ordine, regolabile da 0 a 60 s (0,4 s nella scheda di taratura). Un valore alto rende la misura stabile ma lenta: con 32 s lo strumento *non segue* più la pressione e chi lo verifica pensa a un guasto.
4. **Percentuale del campo.** `% = (PV − LRV)/(URV − LRV)`, con LRV e URV gli estremi del campo di taratura (4 e 20 mA). Con 0–10 bar, 5 bar valgono il 50 %.
5. **Funzione di trasferimento.** Lineare, oppure a **radice quadrata** (per misure di portata da pressione differenziale). Con la radice, sotto il 4 % del campo l'uscita è forzata a zero (taglio di basso flusso), e si riprende solo sopra il 5 %.
6. **Saturazione e allarme.** La corrente `4 + 16·%` mA viene limitata ai livelli di saturazione (capitolo 2.3); se il sensore è guasto, l'uscita va al livello di allarme.
7. **Convertitore D/A.** Trasforma il valore numerico in corrente reale. Ha i suoi errori di guadagno e di offset, correggibili con l'**ANALOG TRIM**: errori che il display dello strumento non vede, perché nascono *dopo* il calcolo della PV.

2.2 Perché i due trim sono due cose diverse

Il **trim del sensore** (passo 2) e il **trim analogico** (passo 7) correggono parti diverse della catena. Il primo allinea la PV alla pressione vera: si fa confrontando il display dello strumento con il campione. Il secondo allinea la corrente alla PV: si fa confrontando il multimetro con quello che lo strumento dichiara di emettere. Se il display è giusto e il PLC no, il sensore non c'entra: il difetto sta nel D/A, e ritoccare il sensore sposterebbe l'errore invece di toglierlo.

2.3 Saturazione e livelli di allarme

Quando la pressione esce dal campo, la corrente non cresce all'infinito: si ferma a un livello di **saturazione**, che il PLC riconosce come "misura fuori campo ma valida". Quando lo strumento rileva un guasto interno, la corrente va invece a un livello di **allarme**, fuori dalla zona di saturazione, così che il PLC distingua un fuori campo da un guasto.

Livelli	Saturazione bassa	Saturazione alta	Allarme basso	Allarme alto
Standard	3,90 mA	20,80 mA	3,75 mA	21,75 mA
NAMUR NE 43	3,80 mA	20,50 mA	3,60 mA	22,50 mA

Quale dei due allarmi scatta lo decide un **interruttore sulla scheda elettronica** (HI / LO): non è nel menu e si sposta solo con lo strumento **non alimentato**. La scheda di taratura prescrive NAMUR e allarme alto: una configurazione diversa va riportata a quella.

2.4 Parametri del capitolo

Grandezza	Valore
Limiti del sensore	−1 ÷ 55,2 bar g
Campo di taratura	0 ÷ 10 bar g (4–20 mA)
Campo minimo ammesso (RERANGE)	circa 0,37 bar
Smorzamento	0 ÷ 60 s
Taglio radice quadrata	sotto 4 %, ripresa sopra 5 %
Uscita limitata a	3,5 ÷ 23,2 mA

3. L’anello 4–20 mA, il multimetro e il PLC

3.1 Perché una corrente

Un segnale in corrente non dipende dalla lunghezza e dalla resistenza dei cavi: la stessa corrente attraversa tutto l’anello. Il limite inferiore a **4 mA**, e non a zero, serve a distinguere “pressione zero” da “anello interrotto”: a 0 mA c’è un guasto, a 4 mA c’è una misura di zero.

3.2 L’anello a due fili

Il trasmettitore è alimentato **dallo stesso anello** che trasporta il segnale: l’alimentatore da 24 V, il multimetro in serie, l’ingresso del PLC e lo strumento formano un unico circuito. Nel sinottico l’interruttore dell’alimentatore, accanto al riquadro 24 V, apre e chiude questo circuito.

Con l’anello **spento** lo strumento non ha alimentazione: il display si spegne, la corrente è zero e il PLC vede un filo interrotto. L’interruttore si usa anche per mettere lo strumento in sicurezza: il modulo sensore e l’interruttore di allarme si toccano **solo senza alimentazione**. Spegnere l’anello annulla anche un menu aperto, una prova di anello e un trim analogico in corso.

3.3 Il multimetro in serie

Misura la corrente reale che arriva al PLC, con un rumore di circa 0,6 µA. È lo strumento dell’**ANALOG TRIM** e della prova d’anello: è l’unico modo per sapere se la corrente che l’*elettronica dichiara* di emettere è quella che *esce davvero*. Il riquadro mostra anche la corrente come percentuale del campo (4 mA = 0 %, 20 mA = 100 %).

3.4 L’ingresso analogico AI-101 del PLC

Il PLC converte la corrente in punti con una scala fissa:

```
4 mA = 0 punti = 0 bar g      20 mA = 27648 punti = 10 bar g
```

La scala accetta valori un poco fuori campo (da −4864 a 32511 punti) e filtra il segnale con una costante di 0,2 s. Il riquadro mostra la misura in bar g, i punti grezzi, la corrente letta e lo **stato del canale**:

Stato	Condizione
VALIDO	corrente fra saturazione bassa e alta
SATURAZIONE BASSA / ALTA	oltre la soglia di saturazione, entro quella di guasto
GUASTO BASSO / ALTO	oltre la soglia di guasto: misura non valida
FILO INTERROTTO	sotto circa 1,2 mA

Le soglie sono quelle del capitolo 10 e si modificano in linea.

3.5 Parametri del capitolo

Grandezza	Valore
Alimentazione anello	24 V
Scala PLC	4 mA = 0, 20 mA = 27648 punti
Filtro d’ingresso PLC	0,2 s
Filo interrotto	sotto 1,185 mA

4. L’interfaccia locale (LOI) a due tasti

4.1 Perché solo due tasti

Lo strumento si configura **soltanto** dai due tasti della sua interfaccia locale: è come funziona in campo, dove non c’è un terminale a portata di mano. Per questo la logica dei menu è ripetitiva e va imparata a memoria.

- **SCROLL** scorre le voci di un menu, oppure cambia la cifra su cui ci si trova.
- **ENTER** conferma la voce e scende di un livello, oppure accetta la cifra e passa alla successiva.

Premendo un tasto qualsiasi dalla visualizzazione normale si entra nel menu principale. In fondo a ogni elenco ci sono sempre **BACK TO MENU** (un livello su) ed **EXIT MENU** (esce del tutto).

4.2 La visualizzazione normale

Il display ha una riga grande e una piccola e **ruota ogni 2,5 s** fra le grandezze attivate nel menu DISPLAY: pressione nell’unità scelta, percentuale del campo, corrente in mA. In condizioni particolari compaiono altre schermate: `ANALOG SAT` (corrente saturata), `ANLOG FIXED` (prova d’anello in corso), `PRES OUT LIMITS` (pressione oltre i limiti del sensore) e, con il sensore guasto, `ALARM / SENSOR FAIL`. Il display è il primo posto in cui guardare quando la corrente non torna.

4.3 L’inserimento dei numeri

Un numero si scrive a **otto posizioni**, una cifra alla volta: SCROLL cambia la cifra (0–9, punto decimale, segno meno in prima posizione, freccia indietro), ENTER la accetta e passa alla successiva. Dopo l’ottava compare la scelta **SAVE / CANCEL**: SCROLL alterna, ENTER conferma. Il punto decimale azzera tutto quello che sta alla sua destra: un valore come 0,4 si costruisce partendo dal punto.

4.4 Le voci del menu

Voce	Che cosa fa
VIEW CONFIG	Mostra, in sola lettura: TAG, UNITS, LRV, URV, TRANSFER FUNCT, DAMPING, ALARM DIR, ALARM SAT VAL, HART REV
ZERO TRIM	Azzera la PV con la linea a pressione zero (capitolo 5)
UNITS	BAR, MBAR, PSI, KPA, MPA, KG/CM2
RERANGE	ENTER VALUES (scrive LRV e URV) o APPLY VALUES (SET 4MA / SET 20MA con la pressione presente)
LOOP TEST	Fissa la corrente a 4 mA, 20 mA o a un valore a scelta (3,6 ÷ 23 mA); END LOOP TEST per uscire
DISPLAY	Sceglie le grandezze visualizzate (almeno una resta sempre attiva)
EXTENDED MENU	CALIBRAT, DAMPING, TRANSFER FUNCT, SCALED VARIAB, ASSIGN PV, TAG, ALARM SAT VALUES, PASSWORD, SIMULATE, HART REV

4.5 Messaggi

Dopo ogni azione compare per circa 1,6 s un messaggio: **SAVED** (fatto), **INVALID** (valore rifiutato) o **TRIM FAIL** (la correzione richiesta supera il limite del trim). Un TRIM FAIL non è un guasto: significa che la pressione applicata non è quella che si sta dichiarando, o che il punto scelto non è adatto.

5. I trim: come si corregge il sensore e l'uscita

5.1 ZERO TRIM

Con la linea **scaricata** (0 bar g, HV-101 aperta), ZERO TRIM porta la PV a zero correggendo solo l'offset. Si rifiuta (**TRIM FAIL**) se lo strumento legge oltre il 3 % del suo limite superiore — circa 1,66 bar — perché uno scarto così grande non è un offset ma un altro guasto. È la correzione giusta quando l'errore è lo stesso su tutti i punti: la curva è solo spostata.

5.2 LOWER TRIM e UPPER TRIM

Sono i due punti di una correzione **lineare a due punti**, e vanno fatti **in quest'ordine**:

1. con la pressione sul punto basso, **LOWER TRIM** e si inserisce il valore **del campione** (non quello che mostra lo strumento);
2. con la pressione sul punto alto, **UPPER TRIM** e si inserisce di nuovo il valore del campione.

Il trim inferiore fissa l'offset; il superiore calcola la pendenza usando il punto basso già memorizzato. Se si fa il superiore per primo, la pendenza viene calcolata su un punto basso che non esiste e il risultato è sbagliato. Limiti: la correzione del trim inferiore non può superare circa 2,76 bar, la pendenza non può cambiare più del ±10 %, e i due punti devono distare almeno l'1 % del limite superiore (circa 0,55 bar).

5.3 ANALOG TRIM

Corregge il D/A. Lo strumento **forza l'uscita a 4 mA**, e si inserisce quello che il **multimetro** legge; poi la forza a **20 mA**, e si inserisce di nuovo la lettura. Da due coppie (dichiarato, letto) lo strumento ricava guadagno e offset del D/A. Si rifiuta se la correzione supera il 5 % di guadagno o 0,5 mA di offset. Non cambia la PV: cambia solo la corrente che esce a parità di PV.

5.4 FACTORY RECALL

Riporta ai valori di fabbrica, separatamente, il **trim del sensore** e il **trim analogico**. È la via di uscita quando si è sbagliato un trim e non si sa più da dove si era partiti.

5.5 Quale trim per quale sintomo

Sintomo	Causa probabile	Correzione
Stesso errore su tutti i punti, PLC e display concordano	Zero del sensore	ZERO TRIM (o LOWER TRIM)
Errore che cresce salendo, giusto in basso	Span del sensore	LOWER TRIM poi UPPER TRIM
Display giusto, PLC sbagliato	D/A	ANALOG TRIM con il multimetro
Display giusto, PLC giusto, ma configurazione diversa	Configurazione	Menu, secondo la scheda
PV non segue la pressione, si muove lenta o ferma	Smorzamento alto, presa otturata	Controllare DAMPING, poi la presa

---

6. La scheda di taratura e la configurazione

La scheda di taratura è il **documento di riferimento** dello strumento: dice come deve essere configurato per l'impianto. Un trasmettitore preso dal magazzino non ha la configurazione dell'impianto: va controllato voce per voce.

Voce	Valore prescritto
Tag	PT-101
Campo di taratura	0 – 10 bar g
Unità a display	BAR
Funzione di trasferimento	Lineare
Smorzamento	0,4 s
Livelli di saturazione e allarme	NAMUR NE 43
Direzione di allarme	Alta (HI)
Tolleranza ammessa	± 0,25 % dello span
Punti di verifica	0 – 25 – 50 – 75 – 100 %

Il menu **VIEW CONFIG** mostra quasi tutto in sola lettura: si confronta voce per voce con la scheda. Una delle voci, la **direzione di allarme**, non sta nel menu ma sul **commutatore della scheda elettronica**: si legge in VIEW CONFIG, ma si cambia solo fisicamente, a strumento spento (capitolo 7).

La tolleranza di ±0,25 % dello span vale **su due grandezze separate**: la PV (±0,025 bar su un campo di 10 bar) e la corrente (±0,04 mA su 16 mA). Uno strumento con il display giusto e la corrente sbagliata è fuori tolleranza.

---

7. Manutenzione: le azioni fisiche sul trasmettitore

La finestra mostra lo strumento disegnato e permette di intervenire sui suoi componenti, come farebbe il tecnico. Ogni azione ha una **precondizione**, e il simulatore la fa rispettare: è esattamente quello che separa un intervento corretto da un incidente.

Azione	Precondizione	Effetto
Interruttore di allarme HI / LO	anello **spento**	Cambia la direzione di allarme
Sostituire il modulo sensore	anello **spento** e linea **scaricata**	Sostituisce il sensore (vedi 7.1)
Smontare e pulire la presa	linea **scaricata**	Elimina l’otturazione
Ripassare i raccordi	linea **scaricata**	Elimina la perdita sul banco

Se la precondizione manca, l’azione è rifiutata e il pezzo si accende in rosso; se va a buon fine, in verde, con una nota che dice che cosa è stato fatto.

7.1 Sostituire il modulo: l’ultima risorsa

Il modulo sensore nuovo non è “perfetto”: ha i propri errori di zero (circa 0,045 bar) e di span (circa −0,4 %), e riparte dal **trim di fabbrica**. Dopo la sostituzione lo strumento è quasi sempre **fuori tolleranza** e va ricalibrato. La configurazione resta invece nell’elettronica.

Sostituire un modulo che non era guasto è un intervento **non necessario**: viene registrato e un criterio degli scenari lo penalizza. Un buon tecnico individua prima il guasto, e sostituisce solo quando la diagnosi lo richiede (sensore in allarme).

7.2 Presa otturata e raccordi

Una **presa d’impulso otturata** isola il sensore dalla linea: la pressione può salire e scendere, ma il trasmettitore resta fermo o si muove lentissimo. Una **perdita** su un raccordo fa calare la pressione in modo continuo. Sono due difetti con sintomi diversi, e distinguerli è parte della diagnosi (capitolo 9).

---

8. Il verbale: prima e dopo la calibrazione

8.1 Perché due colonne

Un verbale di taratura documenta due cose distinte:

- **Prima della calibrazione** (*as found*): com'era lo strumento **come è arrivato**, prima che qualcuno lo toccasse. È una prova della sua deriva nel tempo, e serve per decidere se i prodotti fatti con quello strumento fino ad oggi vanno rivalutati.
- **Dopo la calibrazione** (*as left*): com'è stato **restituito**. È la prova che ora è in tolleranza.

Per questo la colonna "prima" si registra **prima di qualsiasi intervento**: appena si tocca qualcosa (un trim, un'unità, l'interruttore, il modulo…) la registrazione "prima" non è più possibile. E, all'opposto, **ogni modifica successiva** alla registrazione "dopo" la **azzera**: non si certifica uno strumento che poi è stato ritoccato.

8.2 I cinque punti

0 – 25 – 50 – 75 – 100 % del campo, cioè 0 – 2,5 – 5 – 7,5 – 10 bar g, **salendo** con la pressione. Per ogni punto si pompa fino al valore, si lascia stabilizzare, si porta il campione entro ±0,10 bar dal punto (rifinendo con il regolatore fine) e si preme **Registra punto**. Il simulatore rifiuta la registrazione se:

- la pressione non è ferma (stabilità **dp/dt** sopra 3 mbar/s);
- il campione non è abbastanza vicino a uno dei cinque punti;
- l'anello è spento;
- si tenta di registrare la colonna "prima" a strumento già modificato.

8.3 Che cosa si registra e come si giudica

Per ogni punto il verbale riporta: il valore del campione, la PV dello strumento con il suo **errore** (`(PV − campione)/span`), la corrente letta dal multimetro con il suo errore (`(mA − ideale)/16`, dove l'ideale è `4 + 16·campione/10`) e il valore letto dal PLC. Un punto è **entro** tolleranza solo se **entrambi** gli errori restano entro ±0,25 %.

8.4 Come condurre la verifica

1. Linea a 0 bar, anello alimentato. Registrare il punto 0 %.
2. Salire a 2,5 bar, attendere la stabilità, registrare. Ripetere per 5, 7,5 e 10 bar.
3. Se uno o più punti sono fuori, **guardare la forma** dell'errore: costante (zero), crescente (span), diverso fra display e multimetro (D/A). Solo allora scegliere il trim (capitolo 5.5).
4. Correggere, poi ripetere i cinque punti nella colonna "dopo".
5. Restituire lo strumento in servizio: menu chiuso, nessuna corrente fissa, linea scaricata.

---

9. Guasti inseribili

I guasti si inseriscono dalla finestra *Inserimento guasti*, **solo in prova libera**: durante uno scenario li decide lo scenario, e le pastiglie restano spente per non svelare la causa.

Guasto	Che cosa fa	Come si riconosce	Come si rimedia
Deriva di zero	Offset di circa +0,12 bar, uguale su tutti i punti	Errore costante; PLC legge pressione anche a linea scarica	ZERO TRIM
Errore di span	Offset di circa +0,02 bar e errore di pendenza di circa +1,2 %	Giusto in basso, sbagliato in alto	LOWER TRIM e UPPER TRIM

Guasto	Che cosa fa	Come si riconosce	Come si rimedia
Errore D/A	Guadagno −0,6 %, offset +0,09 mA sull'uscita	Display e campione concordano, PLC e multimetro no	ANALOG TRIM
Presa otturata	Costante di tempo praticamente infinita sulla presa	La PV non si muove (o quasi) mentre il campione sì	Smontare e pulire la presa, a linea scarica
Perdita sul banco	La pressione cala a ogni istante (circa 0,7 bar al minuto a 10 bar)	dp/dt non si azzera mai; la perdita termica invece sì	Ripassare i raccordi, a linea scarica
Guasto sensore	L'uscita va al livello di allarme (HI o LO secondo l'interruttore)	LOI: `ALARM / SENSOR FAIL`; PLC in guasto	Sostituire il modulo sensore, poi ricalibrare

9.1 Perdita e raffreddamento: due cose da non confondere

Dopo aver pompato la pressione cala per il raffreddamento dell'aria, e il calo si esaurisce in pochi secondi (capitolo 1.3). Una perdita invece **non si esaurisce**: la stabilità dp/dt resta sopra soglia per quanto si aspetti. È la differenza che l'allievo deve imparare a leggere prima di accusare il banco di perdere.

---

10. Soglie di diagnostica del canale e allarmi del PLC

10.1 Perché il PLC ha le sue soglie

Il PLC non sa se lo strumento è in saturazione o in guasto: **vede solo una corrente**. Le soglie di diagnostica gli dicono come interpretarla, ed è per questo che devono stare **fra** i livelli dello strumento: la saturazione e l'allarme devono cadere in zone diverse.

Variabile	Tag	Valore di partenza	Significato
Corrente bassa — saturazione	IAL-101	3,80 mA	Segnalazione di saturazione bassa
Corrente bassa — guasto	IALL-101	3,55 mA	**Misura non valida**
Corrente alta — saturazione	IAH-101	20,50 mA	Segnalazione di saturazione alta
Corrente alta — guasto	IAHH-101	21,00 mA	**Misura non valida**

Valori di partenza compatibili con i livelli NAMUR: l'allarme basso (3,60 mA) sta **sotto** la soglia di saturazione e sopra quella di guasto del PLC, e l'allarme alto (22,5 mA) sta sopra la soglia di guasto. Con i livelli *standard* e allarme basso, 3,75 mA cade fra le due soglie e il PLC lo legge come **saturazione**, non come guasto: la soglia va allora spostata, ed è lo scopo per cui è modificabile.

10.2 La regola che il pannello fa rispettare

La soglia di **guasto** resta sempre oltre quella di **saturazione**, con almeno 0,05 mA di margine: se si sposta una oltre l'altra, la seconda si riallinea da sola e una nota lo dichiara. Un guasto che scatta prima della propria saturazione non avrebbe senso: toglierebbe alla saturazione la sua funzione di avviso.

10.3 Gli allarmi

Gli allarmi del PLC seguono lo schema **ISA-18.2** con tre stati — **ATT** (attivo), **TAC** (tacitato), **RIT** (rientrato) — e tre priorità. Sono quattro, più il campione:

Tag	Descrizione	Priorità
IALL-101	Corrente sotto la soglia di guasto: misura non valida	Critica
IAHH-101	Corrente sopra la soglia di guasto: misura non valida	Critica
IAL-101	Segnale in saturazione bassa	Bassa
IAH-101	Segnale in saturazione alta	Bassa
PI-100	Campione fuori scala	Alta

11. L’esercitazione e la sessione d’esame

11.1 Come funziona uno scenario

Ogni scenario porta il banco a uno stato iniziale **identico**, introduce un guasto o una configurazione sbagliata e dà un **obiettivo**. I criteri sono valutati a ogni scansione e devono restare soddisfatti in modo **continuativo** per 5 s: chi li soddisfa un istante e poi li perde non ha concluso. Il *suggerimento* indica come ragionare, non cosa premere.

I criteri comuni a ogni scenario sono: registrazione “prima” fatta, “dopo” completa e in tolleranza, configurazione conforme alla scheda di taratura, strumento restituito in servizio (menu chiuso, nessuna corrente fissa, linea scaricata) e nessuna sostituzione inutile.

N.	Scenario	Livello	Che cosa si addestra
1	Lo zero non torna	Base	Verifica a cinque punti e correzione dello zero
2	Errore sul fondo scala	Intermedio	Trim inferiore e superiore, nell’ordine
3	La corrente non corrisponde	Intermedio	Trim dell’uscita analogica con il multimetro
4	Strumento configurato male	Intermedio	Configurazione contro la scheda di taratura
5	Lo strumento non segue	Avanzato	Diagnosi di una presa d’impulso otturata
6	La pressione non sta ferma	Avanzato	Diagnosi di una perdita sul banco
7	Uscita in allarme	Avanzato	Sensore guasto, sostituzione e nuova taratura

11.2 La sessione d’esame

Le sette prove in sequenza, **quindici minuti reali al massimo** per ciascuna, con una pausa di 4 secondi fra una e l’altra. Alla fine il **rapporto** mostra, per ogni prova, esito e tempo di risoluzione, con spazio per la firma dell’istruttore e dell’allievo. Il rapporto è **solo a video**: per una copia cartacea si usa la stampa del proprio browser.

12. L’andamento a 60 secondi

Il grafico mostra tre curve sugli ultimi 60 s: il **campione** (azzurro chiaro), la **PV** dello strumento (ciano) e la **corrente** (ambra, scala 0 ÷ 24 mA). È lo strumento per vedere ciò che il display non mostra:

- il **calo termico** dopo il pompaggio (una curva che scende e si appiattisce);
- una **perdita** (una curva che non si appiattisce mai);
- una **presa otturata** (il campione si muove, la PV no);
- uno **smorzamento alto** (la PV segue il campione, ma con un ritardo evidente);
- un **gradino di corrente** durante una prova d'anello.

---

13. Che cosa il modello semplifica

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

- **L'aria si comporta come un gas ideale con scambio termico semplice**: un solo volume e una sola costante di tempo (8 s). Nel banco vero il raffreddamento dipende da materiali, raccordi e temperatura ambiente.
- **La pompa ha una curva di rendimento lineare** con la pressione, fino a 40 bar.
- **Il trasmettitore ha un solo sensore** con zero e span. Non c'è dipendenza dalla temperatura né dalla pressione statica, e non c'è deriva nel tempo oltre ai guasti inseribili.
- **Il trim del sensore è lineare a due punti**; la linearità del sensore è supposta ideale.
- **I menu riproducono la struttura di un'interfaccia locale reale**, ma non tutte le sue voci: SCALED VARIAB, ASSIGN PV, PASSWORD e SIMULATE sono mostrati senza funzione.
- **L'interfaccia HART non è simulata**: si lavora solo da LOI. La revisione si legge ma non si cambia.
- **Il multimetro e il PLC non hanno errori propri** oltre al rumore: si assume che il multimetro sia il riferimento esatto di corrente e che la scala del PLC sia ideale.
- **Il PLC filtra con una costante fissa** e non ha gestione di qualità del segnale oltre alle soglie del capitolo 10.

Nessuna di queste semplificazioni tocca quello che il banco serve ad addestrare: pressurizzare senza farsi ingannare dal calo termico, leggere la forma di un errore prima di scegliere il trim, rispettare l'ordine dei trim e le precondizioni di sicurezza, e documentare lo strumento prima e dopo l'intervento.