

Nuovi metodi per il collaudo della tenuta del serbatoio carburante per autovetture

Zaverio LAZZERO
Lazzero Tecnologie S.r.l.

SOMMARIO

Il serbatoio del carburante, come componente deputato al contenimento di un liquido potenzialmente pericoloso, in equilibrio con la sua fase gassosa, è da sempre stato considerato un particolare da collaudare al fine di assicurarne la tenuta.

Le prove tradizionali prevedevano la semplice immersione in acqua del serbatoio pressurizzato con aria e successiva ispezione visiva alla ricerca delle perdite, rappresentate dall'emissione di bolle.

L'introduzione delle nuove normative di sicurezza, che richiedono di garantire la tenuta ai vapori e non solamente il contenimento del liquido, ha evidenziato i limiti di questo semplice collaudo.

La ricerca di un metodo alternativo, più efficiente in termini di sensibilità e più affidabile in termini di oggettività del responso, ha orientato la scelta verso sistemi di misura complessi, incidenti sui costi di processo. L'adozione infine delle macchine di collaudo di nuova generazione a gas tracciante e spettrometria di massa ha permesso di affrontare adeguatamente gli impegni qualitativi richiesti. Queste macchine permettono inoltre elevate cadenze produttive, alte efficienze e cicli di lavoro totalmente automatici, con il ritorno dell'investimento economico in tempi mediamente brevi.

*Zaverio LAZZERO
LAZZERO TECNOLOGIE S.r.l.
Strada Baldissero, 78
10023 CHIERI (TO)
tel. 011 9411840
fax 011 9471640
z.lazzero@lazzero.com*

INTRODUZIONE

Il serbatoio per carburante da autotrazione è realizzato generalmente in lamiera di acciaio o di alluminio, stampato in due o più parti, unite tra loro con saldature; un passaggio fondamentale al termine della costruzione è sicuramente il collaudo di tenuta che deve verificare l'integrità del manufatto ed assicurare che i componenti montati a corredo, quali la pompa di alimentazione, filtri, il livellostato, i sensori vari, assicurino un collegamento esente da perdite.

Nel passato la tenuta richiesta ad un serbatoio per carburante era confinata alla semplice capacità di trattenere il prodotto liquido, permettendo tuttavia la perdita dei vapori. Infatti il serbatoio era provvisto di fori di sfiato e non avrebbe comportato differenze la fuoriuscita di questi vapori dall'uno o dall'altro passaggio.

Con le recenti normative sul controllo delle emissioni in atmosfera, anche la minima fuoriuscita di idrocarburi aromatici deve essere limitata e l'evoluzione delle normative stesse porta a ridurre costantemente tali limiti.

Di conseguenza il controllo di tenuta a cui deve sottostare un serbatoio ed i suoi accessori, deve garantire anche la tenuta dei vapori.

CONSIDERAZIONI SUL METODO DI COLLAUDO APPLICATO

Nei collaudi ad immersione, la procedura di prova prevedeva la pressurizzazione del serbatoio con aria e quindi l'immersione in una vasca d'acqua per la verifica visiva della presenza di perdite.

Per l'immersione di un serbatoio da 80 litri, è necessaria una forza di spinta di almeno 800 N e questa deve essere distribuita su di una superficie estesa per limitare la possibilità di deformazione del manufatto. La mascheratura effettuata dal sistema meccanico per il contenimento e l'immersione del serbatoio nell'acqua, nasconde alla vista dell'operatore la formazione di minuscole bolle che non riescono a distaccarsi o, nel momento del distacco sono deviate nella risalita.

Il limitato valore di pressurizzazione, da un minimo di 10 kPa ad un massimo di 30 kPa (100 ÷ 300 mbar), riduce drasticamente la possibilità di formazione delle bolle. La tensione superficiale del liquido e il battente idraulico (seppur limitato), impediscono la fuoriuscita di aria dai canali di perdita con dimensioni limitate, corrispondenti a fughe inferiori a 10^{-3} mbar.L/s.

Anche la temperatura del liquido costituisce un aspetto importante al fine di favorire l'emissione di bolle e dovrebbe essere mantenuta tra i 40 e i 60 °C ma, considerando vasche contenenti alcuni m³ di acqua e una superficie libera di almeno un paio di m², è facile comprendere perché la temperatura del liquido di prova sia generalmente molto prossimo alla temperatura ambiente, quindi piuttosto bassa.

Altro aspetto importante nella condizione visiva della prova ad emissione di bolle è il grado di illuminazione che viene assicurata con potenti lampade, sopra e sotto il livello del liquido. Per ridurre l'opacimento dell'acqua infine si deve prevedere uno spinto sistema di filtrazione continua.

CONSIDERAZIONI SUI POSSIBILI METODI DI COLLAUDO ALTERNATIVI

Fra i processi di collaudo analizzati, prima di arrivare a consacrare il sistema integrale con gas tracciante, sono stati analizzati e in alcuni casi si è anche tentata l'applicazione pratica, di metodi di prova con **sistemi basati sulla variazione della pressione nel tempo**.

Il particolare in prova può solamente essere pressurizzato; non sopporta infatti una riduzione della pressione interna, in quanto la struttura collaserebbe per l'azione della pressione atmosferica.

Dalla variazione di pressione (Δp) misurata nell'intervallo di tempo (Δt) e noto il volume (V) del prodotto in prova è possibile calcolare il valore del flusso di gas $q = (\Delta p \times V) / \Delta t$.

È chiaro che la sensibilità di misura si otterrà solamente con intervalli di tempo prolungati considerati i volumi in gioco. Ma il protrarsi per un tempo lungo di misura impone il controllo accurato della temperatura; infatti la variazione di temperatura comporta un'alterazione della pressione che si somma o si sottrae all'effettiva variazione di pressione dovuta alla fuga.

Per applicare un esempio numerico:

il volume del serbatoio è di ca. 80 litri e non può essere ridotto in quanto le aperture sono limitate e non permettono l'inserimento di zavorre.

Consideriamo un tempo tecnico accettabile di permanenza in prova, basato sulle richieste produttive, di ca. 5 minuti complessivi.

L'operazione di pressurizzazione dovrà esser condotta con una curva di messa in pressione particolarmente lenta per non provocare eccessive alterazioni termiche al pezzo e limitare quindi la sensibilità successiva nella prova di tenuta.

Quindi il tempo a disposizione per la misura, sottratto il tempo di stabilizzazione della pressione (ca. 1,5 minuti) risulta ridotto a ca. 1 minuto.

Applicando $q_L = (\Delta p \times V) / \Delta t$ e considerando un ΔP accettabile dell'ordine di 2 mbar

$$q_L = (\Delta p \times V) / \Delta t$$

$$V = 80 \text{ L} \quad \Delta P = 2 \text{ mbar} \quad \Delta t = 60 \text{ s}$$

$$q_L = (\Delta p \times V) / \Delta t = 2 \times 80 / 60 = 2,6 \text{ mbar.L/s}$$

considerando la bassa viscosità delle benzine, si deve ritenere ermetico il serbatoio che assicura l'assenza di perdite superiori a 4×10^{-4} mbar.L/s di flusso di fuga (equivalente gassoso) e quindi con 4 ordini di grandezza di differenza.

Questo metodo risulta applicabile solamente per la scrematura di perdite grossolane.

I SISTEMI ANALIZZATI PER IL RILEVAMENTO DELLE FUGHE CON GAS TRACCIANTE.

Considerando le grandezze in gioco già espresse risulta evidente che anche utilizzando sistemi sensibili al rilevamento di gas di traccia, la concentrazione di gas all'interno del serbatoio, sarà particolarmente limitata a causa della ridotta variazione di pressione che si può applicare.

In altre parole, se deve essere riempito un volume con un gas particolare, sono possibili solamente due strade:

- a pressione costante, con l'insufflazione del gas da un orifizio e lo spurgo da un'altra apertura della miscela che si va producendo, fino al raggiungimento di una concentrazione tendente al 100% del nuovo gas;
- a pressione variabile, esercitando dapprima la rimozione del contenuto gassoso con il pompaggio in vuoto, quindi l'introduzione del nuovo gas.

Appaiono da subito evidenti i limiti di entrambe le procedure:

nel metodo per insufflazione si ha un consumo smisurato di gas che non potrà essere recuperato.

Il metodo a pressione variabile è funzionale in teoria su di un oggetto capace di sopportare la pressione atmosferica senza deformazioni quando l'interno viene portato in vuoto. E questo non è il caso del serbatoio in lamiera che è costruito per sopportare un ridotto differenziale di pressione verso l'esterno (qualche centinaio di mbar) ma ancora meno nella direzione opposta.

Quindi, scartando l'insufflazione per evidenti inaccettabili consumi di gas, si accetta la limitazione del rapporto di pressione con conseguente diluizione forzata della percentuale di gas tracciante introducibile.

Fornendo il solito esempio numerico di 80 litri di volume, abbiamo la possibilità di ridurre di 100 mbar la pressione nel serbatoio e quindi

$$P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2 \text{ e cioè } 1000 \text{ mbar} \times 80 \text{ L} = 900 \text{ mbar} \times 72 \text{ L (aria residua)}$$

il riportarlo alla pressione atmosferica introducendo 8 litri di gas, porta ad ottenere una miscela del 10% di gas di traccia.

Nel caso di collaudo o ispezione con sistemi sniffer, si potrà incrementare ulteriormente la pressione fino a 300 mbar di sovrappressione.

Il quantitativo di gas introdotto sarà quindi di ulteriori 24 litri, che realizzano una miscela al 30% .

Un metodo di prova con gas tracciante è stato impiegato nel passato con il tentativo di automatizzare i processi di collaudo: si tratta del **metodo di annusamento con accumulo**, e operato con diversi gas, da quelli scelti per la loro economicità (H₂) a quelli scelti per la somiglianza al prodotto da contenere come peso molecolare (SF₆). Il sistema di misura era un dispositivo ad annusamento:

- nell'applicazione di dispositivi cercafughe portatili ad Idrogeno, con il principio della permeazione di un semiconduttore,
- con spettrofotometri nelle applicazioni con Esafluoruro di Zolfo.

Il principale limite di queste applicazioni risiede nella pratica dell'accumulo; infatti gli oggetti da collaudare sono isolati all'interno di campane realizzate con i più svariati materiali. Una volta predisposta la sovrappressione del serbatoio in prova con il gas di traccia, l'atmosfera circostante viene ricircolata con semplici sistemi per il trasferimento del gas (ventole, pompe a trascinamento assiale o radiale, ecc) ed il flusso convogliato nel transito in prossimità della sonda di misura.

Se in linea di principio il processo è attuabile, il limite di applicabilità risiede nel volume circoscritto di aria che dovrà arricchirsi del gas di traccia. Considerando il volume

contenuto in un serbatoio di 80 litri (per riprendere l'esempio precedente), il volume libero restante nella campana di prova sarà di almeno qualche decina di litri, dovuto alla conformazione irregolare e agli accessori sporgenti. Conseguo che nel tempo a disposizione per la prova, anche di alcuni minuti per esagerare, la quantità di gas fuoriuscito dalla fuga si troverà miscelato nel volume d'aria circostante.

Quindi, un flusso di perdita di $4 \div 5 \times 10^{-4}$ mbar.L/s emetterà in 10 minuti una quantità di ca. $0,3 \text{ cm}^3$ di fuga (a pressione atmosferica); in questo quantitativo, considerato quanto già detto sulla possibilità di miscelazione, il gas di traccia è presente solamente per il 30% (nelle migliori condizioni). Ne consegue che meno di $0,1 \text{ cm}^3$ del tracciante si miscela nel tempo di prova con le decine di litri di aria nella campana con il risultato di ottenere una concentrazione finale nell'ordine di $100 \div 200 \text{ ppm}$ (0,0001%) limitando le possibilità di misura del sistema.

Il sistema di misura basato su spettrometro di massa può essere impiegato sia per la verifica di tenuta e la localizzazione delle fughe con l'impiego di un dispositivo sniffer, sia per un collaudo qualitativo e quantitativo con il metodo integrale in camera da vuoto.



Fig. 1 - Sniffer industriale per prove con He o H₂

Nel processo sniffer con spettrometro di massa, le condizioni di prova sopra esposte permetteranno al sistema di misura la localizzazione di perdite fino nel campo del 10^{-5} mbar.L/s. (fig. 1). Questa sensibilità strumentale che risulta addirittura superiore al richiesto, permette all'operatore una maggiore velocità di ispezione ($15 \div 20 \text{ mm/s}$ anziché i 10 generalmente consigliati) ed una migliore prestazione nel rincorrere i cordoni di saldatura (diversi metri di sviluppo).

Il metodo sniffer è stato individuato particolarmente efficace nel rilevamento e localizzazione delle fughe. Impegna però l'operatore per tutto il tempo della verifica con una considerevole richiesta di attenzione. Il tecnico che conduce queste prove deve inoltre essere istruito ed in possesso dei requisiti di base (livello 1 PnD).

Il metodo integrale offre una somma di vantaggi rispetto alle metodiche di prova fino a qui analizzate.

Con il collaudo in camera è possibile condurre un processo totalmente automatico, o al più lasciando all'operatore il solo compito della sostituzione dei pezzi e il loro collegamento in camera (fig. 2).

Fermo restante il limite del ΔP applicabile, tipico per ogni prodotto, la pressurizzazione può avvenire con una concentrazione del gas di traccia fino al 100%, permettendo elevate velocità di prova e sensibilità.

Lo stesso gas può inoltre essere recuperato al termine della prova, con conseguente risparmio economico di esercizio.

Le macchine di collaudo che applicano il metodo integrale in camera e che sono andate a sostituire i controlli precedenti in acqua (bubble-test), sono per lo più apparecchiature semi-automatiche dove l'operatore è ancora presente per il carico e lo scarico dei pezzi, la loro ermetizzazione e collegamento in camera.

Durante il processo di collaudo, che si sviluppa totalmente in automatico, l'operatore potrà ultimare i montaggi e il confezionamento del prodotto finito.

La macchina di prova si compone di una camera di notevoli dimensioni per poter ospitare il serbatoio e le tubazioni di collegamento (come il raccordo di carico) che spesso completano il manufatto. Per il pompaggio in vuoto della camera di analisi viene impiegato un gruppo ad alta velocità generalmente costituito da uno stadio Roots in serie ad una pompa a palette. La linea di pompaggio è protetta da filtri per evitare di trascinare polveri nelle valvole o eventuali residui.

Il pezzo in prova viene anch'esso processato in vuoto per mezzo di una pompa dedicata, anche questa di notevoli dimensioni. Qui non è presente lo stadio Roots in quanto la pressione finale che ci si aspetta di ottenere all'interno del componente è confinata nel dintorno del millibar assoluto, a differenza del pompaggio nella camera di analisi che deve raggiungere un vuoto finale inferiore di almeno una decade.

Caratteristica particolare di questo tipo di processo, la necessità di operare un controllo continuo durante le varie fasi di lavoro, affinché non venga mai superato il differenziale di pressione tollerabile dall'oggetto nei due sensi di esposizione. Le valvole modulano quindi in continuo la pressione e il vuoto, controllate dalla logica di processo che interroga un sistema di trasmettitori di pressione differenziale dedicati.

Raggiunti i limiti di vuoto impostati, il serbatoio viene pressurizzato fino al valore richiamato dalla ricetta dedicata, mentre la camera di analisi viene collegata al modulo di misura, costituito dallo spettrometro di massa.

L'elio comunemente utilizzato come gas tracciante, fuoriuscito dall'eventuale fuga o dalla porosità di qualche saldatura, diffonde nella camera in vuoto con una elevata velocità (1200 m/s). Lo spettrometro adibito alla misura, lo trasforma in un segnale elettrico proporzionale alla quantità rilevata e, confrontandolo con i limiti impostati (soglia di scarto), produrrà il risultato della prova. Il superamento di questa soglia determinerà la segnalazione di perdita e lo scarto del pezzo.

Al termine della prova la camera di analisi e il pezzo provato vengono riportati alla pressione atmosferica, permettendo l'apertura della camera.



Fig. 2 - Macchina di collaudo per prove in serie

CONCLUSIONI

Nel collaudo di tenuta dei serbatoi, il metodo ad immersione è stato gradatamente abbandonato per i limiti che il sistema presentava in relazione alle mutate richieste qualitative; tuttavia il passaggio al metodo di collaudo integrale, in camera da vuoto con elio, non si è realizzato contestualmente.

In questo periodo intermedio si sono visti numerosi tentativi di automatizzare il processo di collaudo o di oggettivarne il risultato o ancora di migliorarne l'efficacia. Solamente l'intervento di aziende fortemente specializzate nei collaudi con gas traccianti, con esperienze in diversi settori merceologici, ha permesso la realizzazione di macchine di prova tenuta funzionali, affidabili ed economiche che hanno impresso la svolta nel collaudo.

Tuttavia, la diffidenza verso un metodo di misura dove il responso della macchina è difficilmente verificabile con le metodiche visive abituali (ricoprimento di schiume, emissione di bolle, ecc.) ne ha tardato l'applicazione estesa.

Oggi, soprattutto i prodotti destinati ad equipaggiamenti di fascia alta vengono processati con questo metodo riconoscendolo garante delle più restrittive specifiche qualitative; da questo la disponibilità all'investimento, in cambio di un processo innovativo applicato a prodotti con un elevato valore aggiunto.

La vera diffusione delle prove integrali ad elio dei serbatoi per autovetture utilitarie si realizzerà quando le Case Automobilistiche considereranno il vantaggio economico permesso da questo processo oggettivo e totalmente automatizzato, in relazione all'adeguamento alle nuove e sempre più stringenti normative.