

# GLI STUDI DI RIPETIBILITA' NEI SISTEMI PER PROVE DI TENUTA : CONSIDERAZIONI TECNICHE E LIMITI DELLA APPLICABILITA'

*Alessandro Tomasini*  
*Società: A.T.E. Elettronica srl*  
*tomasini@4tst.com*

L'intento del presente lavoro vuole essere quello di discutere in modo pratico i limiti, o meglio i "trabocchetti", che si creano nell'applicazione degli *studi di ripetibilità* applicati alle *prove di tenuta* a variazione di pressione.

Pertanto è anzitutto necessario puntualizzare a grandi linee cosa si intenda per SDR (*studio di ripetibilità*) e *prove di tenuta a variazione di pressione*.

## **COSA E' UNO SDR O CAPABILITY DI UNO STRUMENTO DI MISURA**

Lo SDR è un procedimento di analisi che consente di valutare se la capacità di un processo nuovo, o nel lungo periodo, soddisfa le necessità aziendali.

Il senso che hanno dette analisi è quello di valutare, sia in fase di installazione, che nel tempo al fine di scongiurare derive, che l'uso pratico del processo in questione soddisfi le necessità produttive di precisione e di uso in generale.

E' bene premettere che esistono vari procedimenti e vari algoritmi di valutazione, ed è facilmente reperibile ampia documentazione in materia.

Nello specifico caso di processi di *misura*, in linea di principio, gli SDR hanno quale obiettivo lo scopo di valutare se detto *sistema di misura* soddisfi le necessità di precisione se applicato alla contingente necessità.

In tale caso avendo noto un *pezzo campione*, ed avendo nota la misura e la tolleranza richiesta a questa misura ( T ) gli SDR più comuni sono articolati in almeno due livelli:

ACCURATEZZA DI RIPETIBILITA' (A&R): ripetendo 25...50 prove sullo stesso pezzo si analizza la ripetibilità della misura ;

RIPETIBILITA' DI RIPRODUCIBILITA' (R&R): ripetendo la misura di 2...10 pezzi diversi, ma misurati almeno due volte ciascuno rispettando una tolleranza, o ripetendo misure su pezzi diversi e con sistemi di misura diversi.

## **LIMITI INTRINSECI DEGLI STUDI DI RIPETIBILITA' NELLE MISURA "INTRUSIVE"**

Un esempio pratico di SDR di primo livello è quello di misurare un campione di produzione con un calibro per 50 volte e vedere le dispersione della ripetibilità delle misure acquisite (rispettando una tolleranza).

Se quindi, in una produzione industriale, si intende misurare e mantenere controllata la misura di *tondini di acciaio*, avendo nota la tolleranza T massima ammessa dal

committente, lo SDR è lo strumento atto a verificare la rispondenza di capacità di misura del *calibro* in valutazione e analisi.

Molto probabilmente un *calibro* di buona qualità introdurrà un errore di ripetibilità trascurabile se riferito alla tolleranza T consentita.

Ma, sempre come esempio, se in un secondo momento il mio processo prevede la misurazione di tondini in gomma e non più in acciaio, quello che facilmente succede è che un nuovo SDR porterà a non validare il medesimo *calibro*, a causa della deformazione generata dalla forza di schiacciamento del *calibro* e quindi dell'*intrusività* della misura stessa.

Con tale esempio, da un lato abbiamo introdotto il concetto di *misura intrusiva*, mentre dall'altro si comprende appieno il concetto di SDR, il quale, nella propria natura, non si limita a valutare se il dispositivo *calibro* è soddisfacente o meno ma se l'applicazione di detto dispositivo sia complessivamente soddisfacente alla contingente necessità.

## **COS'E' UN IMPIANTO PER PROVE DI TENUTA DI TIPO ARIA/ARIA**

Tipicamente un impianto per prove di tenuta di tipo Aria/Aria è composto da i seguenti elementi :

- ) strumento di misura delle perdite (o dp, o flusso o compliance)
- ) collegamento a tubo
- ) tappaggi e bloccaggi al *pezzo* da misurare
- ) *Pezzo campione* (master in tolleranza con eventuale applicazione di perdita campione per SDR)

Cerchiamo ora di capire punto per punto quanto possa concorrere ogni elemento a limitare le caratteristiche di *ripetibilità* complessive di impianto. Analizziamo anzitutto il cuore del sistema, e cioè le tipologie di strumentazione di misura.

## **QUALI SONO I METODI DI MISURA DELLE TENUTE IN ARIA**

I sistemi noti e normati dalla EN1779 per eseguire prove di tenuta *aria/aria* sono :

- ) Sistema *dp* a calo assoluto di pressione
- ) Sistema *dp* a calo differenziale per comparazione

Queste prime due tipologie di apparecchiature di misura rappresentano in assoluto la maggior parte di applicazioni pratiche, pertanto ci soffermeremo in seguito nel dettaglio del loro funzionamento. Sono noti e definiti in norma anche i metodi:

- ) Sistema *Compliance* ad intercettazione di pressione
- ) Misuratori di perdite in *Portata*

Vista la limitata applicazione industriale pratica di questi due ulteriori tipi di misuratori di perdite per variazione di pressione eviteremo di entrare nei dettagli del loro funzionamento. Si consideri, comunque, che quanto esporremo per i sistemi  $dp$  in riferimento agli SDR vale in linea di principio anche per questi sistemi, trattandosi in ogni caso di misure in pressione e quindi *intrusive*.

## DESCRIZIONE DEI SISTEMI A CALO DI PRESIONE ( $DP$ )

Nell'ambito della misurazione delle perdite per calo di pressione (EN 1779 e EN13184) sono noti e diffusi due principi di misurazione: a “calo assoluto” e a “misura differenziale” della pressione di perdita. Se i sistemi ad un primo approccio sembrano differire nella sola modalità di misura, in realtà alla luce degli SDR hanno comportamenti tra loro fortemente differenti. Comune alle due tipologie vi è il procedimento di prova, articolato nelle seguenti fasi (Figura 1):

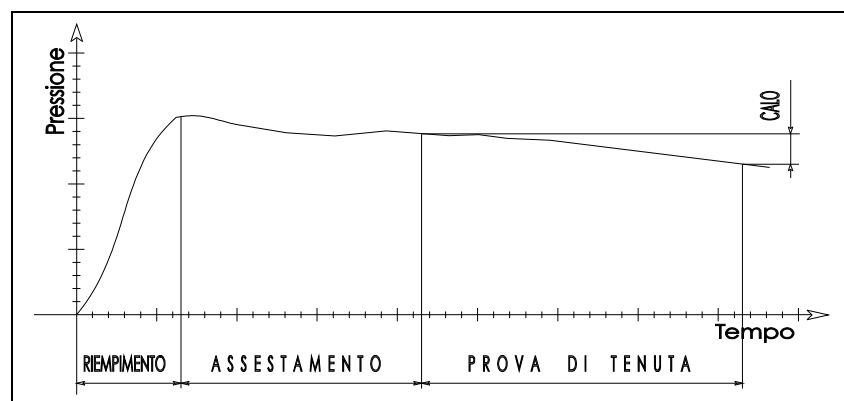


Figura 1 – Fasi principali di una Prova di Tenuta

## SISTEMA $dp$ A CALO ASSOLUTO

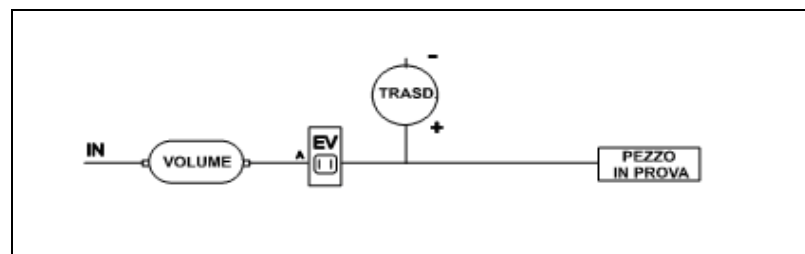


Figura 2 – Schema di un sistema a Calo Assoluto

Come risulta evidente dalla Figura 2, questo è il sistema più pratico e intuitivo per misurare perdite per calo di pressione. In pratica è basato su un gruppo di elettrovalvole in sicurezza e su un misuratore di pressione capace di monitorare, in tutte le fasi, sia la pressione diretta nel *pezzo* in controllo sia il fattore di  $dp$  della perdita. Se quindi da un lato, questo è il sistema più “puro” per la misurazione delle perdite, il limite intrinseco è

da trovarsi nella limitazione in termini di risoluzione di misura durante la fase di acquisizione del  $dp$ , limite soprattutto storico e oggi in gran parte risolto grazie ai nuovi sistemi di acquisizione elettronica e di trasduzione della pressione. Per contro, i pregi di questo sistema vertono essenzialmente sulla affidabilità della semplice pneumatica, sulla *sicurezza intrinseca* della misura e sul fatto che la misura che si effettua è coincidente in modo diretto al calo di pressione interno al *pezzo* in prova.

### SISTEMA $dp$ A CALO DIFFERENZIALE

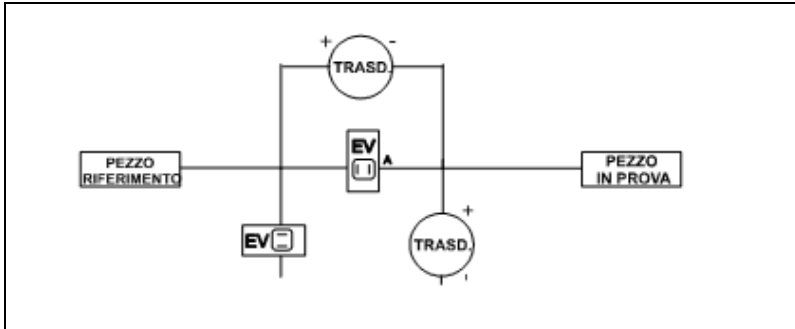


Figura 3 - Schema di un sistema a Calo Differenziale

Il sistema di misura a  $dp$  differenziale, o *comparatore* con pezzo campione (vedi Figura 3), è da considerarsi uno stratagemma atto a superare i limiti (soprattutto del passato) in termini di risoluzione della misura del  $dp$ . In altri termini, il trasduttore di pressione usato da “ponte” tra il *pezzo* in misura e un lato analogo ma ermetico chiamato *riferimento* si limita a misurare il differenziale di modo comune tra i due “lati” di misura senza essere esposto al grande valore di off-set della pressione di riempimento, rendendo l’acquisizione elettronica estremamente meno complessa dei sistemi assoluti.

Inoltre, in particolare applicazioni, consente di migliorare le caratteristiche complessive di misura in termini di tempi di risposta riuscendo a ridurre le curve parassite di assestamento in quanto di modo comune tra i due particolari in misura.

Per contro, nella complessità di realizzazione, criticità della pneumatica, non *sicurezza intrinseca della misura*, nella necessità di più trasduttori, ecc. vi è da trovare la parziale obsolescenza della loro diffusione.

Di fondo, e alla luce degli SDR, si consideri come appare in modo evidente che la misura del  $dp$ , e quindi la funzione di trasferimento complessiva, non corrisponde essere il calo di pressione nel *pezzo* in misura, ma la differenza di cali di pressione tra quest’ultimo e il calo di pressione del ramo di *riferimento*.

### LIMITI DI RIPETIBILITA’ IN COMUNE AI SISTEMI

A tale punto abbiamo definito cosa è uno SDR, cos’è e come è costituito un impianto o sistema per *prove di tenuta*, come in principio sono realizzati gli strumenti più diffusi. Quindi cerchiamo di comprendere cosa limiti o cosa concorra a compromettere principalmente la ripetibilità di detti sistemi.

## A) ERRORE DI RIPETIBILITA' DEGLI STRUMENTI

Limitandoci nella trattazione ai sistemi di misura per calo di pressione possiamo analizzare che la caratteristica complessiva di misura, e quindi di errore, è da intendersi esclusivamente quale acquisizione di pressioni e tempi, cioè l'errore sul livello di generazione e misurazione della pressione di riempimento e l'errore di acquisizione della caratteristica  $dp/dt$ . Complessivamente detti errori sono da considerarsi molto contenuti, considerando una ragionevole e corretta applicazione della scala da misurare e, soprattutto, se paragonati agli errori di ripetibilità complessivi dovuti al resto della *catena* dell'impianto.

Ad ogni modo, esiste anche un errore dovuto alla dilatazione e instabilità termica della pneumatica interna allo strumento anche se, nel tempo e soprattutto nelle scale ad alte pressioni (es 10...30 Bar) è di comune utilizzo da parte delle case costruttrici più famose l'applicazione di distributori o pneumatiche *coassiali* le quali riducono drasticamente detti problemi.

Se quindi ci si limita ad eseguire uno SDR a livello di strumento, in accordo con le specifiche della EN1779 per quanto concerne la scala delle perdite da misurare, ci si accorge che in linea di principio i problemi di ripetibilità non nascono dalla strumentazione di misura.

## B) ERRORE DI RIPETIBILITA' DOVUTO ALL'IMPIANTO.

Se quindi nella stragrande maggioranza dei casi, di fronte a problemi di ripetibilità di misura di un *impianto per prove di tenuta* non si possa ricondurre alla sola strumentazione tale causa, è allora bene analizzare i problemi generati dalle rimanenti sezioni, cioè: tubi di collegamento, tappaggi e pezzo in misura (che nel caso di uno SDR è da considerarsi il pezzo campione).

Sembrerà banale ma ancora oggi troviamo applicazioni di impianti dove il tubo di collegamento è di tipo elastico, mal dimensionato nella lunghezza e nel diametro o addirittura di tipo *spirale*. In tutti questi casi si può facilmente intervenire con tubo appropriato per ridurre sensibilmente problemi di dilatazione oltre all'inutile volume morto.

Spesso, o forse quasi sempre, altra grande causa di errore è dovuta agli elementi di *tappaggio* del sistema, i quali erroneamente sono realizzati da *pistoni* con *tappi* in gomma elastica che generano variazioni di volume causate sia dalla pressione immessa che, più sovente, dalle fluttuazioni della pressione di spinta di chiusura. A tale riguardo è sempre bene ricordarsi di eseguire, ove possibile, detti *tappaggi* in metallo con OR di tenuta e cercare di stabilizzare al meglio la forza di spinta di eventuali *pistoni*.

Se da un lato, avendo noti i problemi, *tubi* e *tappaggi* sono facilmente migliorabili, la dilatazione del pezzo è un limite spesso insormontabile. Nel caso di particolari di laminato di alluminio come ad esempio piccoli serbatoi o scambiatori di calore, la ricerca della pressione di test deve essere un compromesso ideale tra capacità di misurazione della perdita e elasticità del materiale.

L'andamento tipico di un particolare (di materiale come nell'esempio) è quello di una grande dilatazione alla prima misura, di ulteriori dilatazione intermedie nelle seguenti tre / cinque misure, di una condizione di *falsa* ripetibilità in prove successive per il comportamento analogo se lasciato in quiete per almeno un minimo di tre ore.

### C) ERRORE DI RIPETIBILITA' DOVUTO ALLE CONDIZIONI AMBIENTALI.

Spesso questa rappresenta la causa preponderante di limitazione della reale ripetibilità di uso di *impianti per prove di tenuta*, peraltro non contemplata negli SDR comunemente applicati.

Tra le condizioni ambientali annoveriamo ovviamente le variazioni di temperatura ambiente, il livello di illuminazione dovuto ai raggi solari, l'esposizione a correnti d'aria, o per esempio le oscillazioni di pressione dell'aria di alimentazione dei tappaggi.

In base a tali premesse si può facilmente comprendere quanto sia aleatoria l'applicazione di uno SDR di primo livello, concentrando in 25 / 50 misure eseguite in seguito l'una dall'altra sul medesimo *pezzo*. Con tale analisi non si potrà valutare nessun errore di tipo *ambientale*, causa primaria di problemi di ripetibilità pratica.

### **RESTRIZIONI DI RIPETIBILITA' ED ACCENTUAMENTO DEI PROBLEMI IN BASE ALLA TIPOLOGIA DELLA STRUMENTAZIONE DP ( ASSOLUTA O DIFFERENZIALE )**

Se quindi è chiaro quanto precedentemente esposto, mantenendo come *pezzo* di riferimento in uno SDR un piccolo serbatoio in laminato, cerchiamo di analizzare cosa accada nello svolgimento di una campionatura di 25/50 prove su due differenti impianti, e cioè uno a calo assoluto e uno differenziale composto da un elemento ermetico e identico al *pezzo* in prova sul lato di riferimento del misuratore.

Ovviamente il sistema a calo assoluto registrerà in modo fedele l'andamento  $dp/dt$  del calo di pressione dell'elemento in test.

Quindi avremo una grande dispersione dei dati durante le prime tre / cinque misurazioni dovuto alla dilatazione e perdita di elasticità del *pezzo*, portando a risultati inaccettabili nell'analisi dello SDR.

In un sistema *differenziale* accadrà il medesimo andamento, ma "mascherato" dal modo comune dei due *pezzi* (*lato misura* e *lato di riferimento* che dilateranno con medesimo andamento).

Se quindi in questo secondo caso i dati porteranno a buoni risultati nell'analisi dei calcoli dello SDR, in realtà porteranno a errori *reali* di applicazione.

Infatti, se ri analizziamo quanto è accaduto in tale caso, lo SDR porta a scartare il sistema assoluto a causa della dispersione dei primi valori; ma in realtà, nell'uso pratico dell'impianto per *prove di tenuta*, ogni *pezzo* viene misurato una sola volta e quindi il fattore di *dilatazione* è sempre costante.

All'opposto il sistema differenziale, erroneamente accettato dallo SDR, non considererà la deriva causata della dilatazione del *pezzo di riferimento* che, nell'uso pratico dell'impianto (una misura per volta su ogni pezzo), porterà effettivamente una deriva durante le prime ore di funzionamento dell'impianto.

Da tale semplice esempio si nota la diametrale e non veritiera applicabilità di uno SDR di primo livello che porta a escludere il sistema a *dp assoluto* che avrebbe funzionato correttamente e invece ad accettare il sistema a *dp differenziale simmetrico* che in realtà porta ad errori *reali di ripetibilità*.

Questo che portiamo come esempio è nella realtà quanto si incontra con maggiore frequenza nella applicazione degli SDR nelle *prove di tenuta*.

## CONCLUSIONI

I capitoli di SDR a noi noti (ad es: documenti FORD) sono nella loro natura eccellenti strumenti di analisi volutamente astratti e non finalizzati ad un particolare processo.

Ciò li rende per la loro natura applicabili ad ogni tipologia di processo industriale. Tanta flessibilità porta però a zone di inapplicabilità certa o alla necessità di modificare concettualmente detta applicazione, in quanto, come dimostrato, i risultati ottenuti sono opposti ai risultati reali.

Se quindi da un lato detti studi rappresentano l'unica strada per accertare la corretta applicazione di un sistema di misura, da un altro punto di vista, non sono, secondo noi, applicabili così come li troviamo eseguiti nelle *prove di tenuta* effettuate nelle principali catene industriali.

E' nostra opinione, quindi, che sia necessaria una corretta analisi, in quanto, dette analisi sono l'unico possibile e reale strumento di qualifica dei macchinari per prove di tenuta.

In mancanza di *deroghe* o maggiori chiarimenti ufficiali, quanto noi consigliamo ai nostri clienti è così sintetizzabile:

- ) Gli SDR devono essere eseguiti, e ripetuti nel tempo, trovando compromessi tra i capitoli standard e il proprio reale processo produttivo;
- ) Lo SDR di primo livello è inutile se non dannoso quando eseguito su *pezzi* elastici in genere e con apparecchiature di misura differenziali;
- ) Ad ogni modo ripetere "n" prove sul singolo campione non ha nessuna valenza pratica, anzi porta a risultati opposti dalla realtà;
- ) E' sempre da evitare di comparare con immersione in acqua i risultati ottenuti da strumenti ad *aria*. Nel caso fosse necessario, farlo in momenti e stazioni distinti;
- ) I *reali* problemi di ripetibilità nelle *prove di tenuta* sono spesso legati a fattori *ambientali* e quindi è bene acquisire dati in ampi lassi di tempo, come ad esempio eseguire 25 misurazioni con frequenza di una all'ora;

- ) La applicazione diretta degli SDR a noi noti possono essere eseguiti sulla sola strumentazione, se non altro per verificare le caratteristiche di precisione fornite dal costruttore;
- ) A nostra opinione, il migliore SDR in tale settore e finalizzato a scongiurare derive nel tempo si dovrebbe limitare ad acquisire dati a lunghi intervalli di tempo sull'impianto reale e nel reale stato di lavoro.

In conclusione come già avvenuto in precedenza ed in riferimento alla stesura della UNI10903 (dove venivano fissati dei valori di perdita accettabili in campo industriale e dove, sia pure tra mille semplificazioni e in modo per certi versi poco cristallino, ha fissato dei punti certi laddove non c'erano) è nostra opinione sia ora necessario affrontare e sviscerare dette tematiche in quanto tuttora inesplorate.

In altri termini, se da un lato si è giunti a definire come si fanno le prove di tenuta e con quali unità esse si misurano (EN1779), che valore *orientativo* di perdita a seconda della applicazione e del fluido che contiene un determinato componente è accettabile considerare (UNI10903), ora si impone definire in modo pratico ma univoco cosa aspettarsi in termini tecnici da un impianto per prove di tenuta, se non altro per definire dei requisiti minimi per considerare un impianto per *prove di tenuta ad aria* accettabile.