

**PROVE DI TENUTA**  
*IL COLLAUDO INDUSTRIALE*

■ ■ ■ ■  
T E S T

# PROVE DI TENUTA

## Il presente fascicolo contiene :

1.0 Panoramica	Pag:1
2.0 Settori merceologici di applicabilità delle prove di tenuta.	Pag:1
3.0 Tipi di prove di tenuta	Pag:4
4.0 Principi generali della strumentazione di collaudo di tenuta.	Pag:6
4.1 Scelta del tipo di riempimento e della pressione di prova	Pag:7
4.2 Modalità di gestione della fase di riempimento.	Pag:10
4.3 Fase di assestamento.	Pag:12
5.0 Misurazione di perdita tramite misura di portata	Pag:13
6.0 Misurazione tramite calo differenziale con riferimento campione	Pag:17
7.0 Misurazione tramite calo di pressione	Pag:20
8.0 Misura della perdita: unità di misura	Pag:24
9.0 Determinazione del valore di perdita	Pag:26
10.0 Installazione pratica dei parametri nella strumentazione	Pag:29
11.0 Calibrazioni e Verifiche	Pag:30

## 1.0 Panoramica

Il presente documento è inteso a descrivere le attuali conoscenze tecniche in nostro possesso inerenti a procedimenti industriali necessari a verificare e misurare l'ermeticità pneumatica di componenti prodotti.

In particolare il documento si rivolge a tecnici addetti al collaudo di fine linea di prodotti in serie.

## 2.0 Settori merceologici di applicabilità delle prove di tenuta

Storicamente le industrie maggiormente attrezzate in tale fase produttiva sono state quelle produttrici di articoli ad elevata pericolosità intrinseca, o con alto valore tecnologico.

Pertanto possiamo stilare una prima “generazione” di tipologie produttive ove la sensibilità di tale processo è stata sentita fin dall'origine:

- *Aerospaziale*
- *Automotive*
- *Pneumatico*
- *Biomedicale*
- *Marina Militare*
- *Farmaceutico*
- *Trattamento e distribuzione gas / bruciatori*
- *Componenti per carburanti liquidi*

Tra gli anni ottanta e novanta si è cominciata una campagna di estensione di tale prove ad una maggiore gamma di prodotti. Verso tale periodo si è infatti iniziato a comprendere che tale tipo di prova poteva essere estesa con innumerevoli benefici anche a prodotti non pericolosi in caso di perdita.

**Se per esempio piccole perdite di olio in motori o in trasmissioni meccaniche erano considerate accettabili negli anni '70 e '80, dagli anni '90 un piccolo difetto di tale tipo voleva già significare una non conformità da parte del cliente finale.**

**Applicando tale principio di disponibilità tecniche a tempi e costi relativamente contenuti tale metodologia di collaudo si è espansa, e continua ad espandersi .**

**All'oggi i nostri sistemi di collaudo grazie alla elevata flessibilità ed alla diversificazione dei modelli, si possono applicare generalmente a qualsiasi particolare che debba contenere gas o liquidi .**

### 3.0 Tipi di prove di tenuta

Per prova di tenuta si intende un procedimento in grado di verificare la ermeticità pneumatica di un particolare.

Distinguiamo innanzi tutto due tipologie di attrezzature per il collaudo di tenuta:

**A) sistemi di verifica , genericamente presidiati da operatore , con localizzazione del punto di perdita:**

*Verifica in acqua con particolare pressurizzato (controllo visivo)*

*Verifica con sapone con particolare pressurizzato (controllo visivo)*

*Verifica con reagenti pressurizzati e lampade a ultravioletto (controllo visivo)*

*Verifica con gas (Elio) pressurizzato (controllo con spettrometro di massa)*

*Verifica con aria calda (controllo visivo all'infrarosso)*

*Verifica a variazione di dielettrico su particolari in plastica (sistema ionico ad alta tensione)*

**B) sistemi automatici con indicazione di Buono , Scarto e valore di perdita :**

*Misurazione tramite misura di portata del particolare pressurizzato*

*Misurazione tramite calo differenziale di pressione tra particolare in prova e riferimento campione.*

*Misurazione tramite calo di pressione del particolare pressurizzato*

*Misurazione "compliance" di aumento di pressione in campana.*

Se da un lato la prima classe di attrezzature (A) rappresenta una insostituibile area di collaudo a controllo statistico e fuori linea , consentendo di individuare perdite molto piccole e analizzando il

**difetto direttamente in modo visivo , la strumentazione di tipo (B) rappresenta l'effettiva “barriera” o filtro di fine linea per quanto concerne la produzione non conforme.**

**La strumentazione di tipo (B) consente inoltre di monitorare nel tempo eventuali derive di qualità, se applicata in tutta la produzione.**

**Vista l'evidenza dei principi di funzionamento dei sistemi di misurazione di tipo (A), non ci soffermeremo su una dettagliata descrizione tecnica.**

**Si consideri unicamente che i sistemi basati su spettrometri di massa ( “annusatori“ ad elio), per quanto costosi sia in termini di impianto che di gestione si collocano al vertice della sensibilità in termini di fuga determinabile su ogni altro sistema descritto nel presente documento.**

**Viceversa, i sistemi con acqua, sapone o reagenti se da un lato consentono la determinazione di fughe molto piccole a costi di esercizio irrisori, non sono automatizzabili e quindi per forza necessitano di un controllo visivo, e quindi di un giudizio da parte di un operatore.**

**E' altresì intenzione del presente documento approfondire nei dettagli tecnici i principi di funzionamento con relative considerazioni inerenti agli strumenti in pressione di tipo Buono/Scarto.**

## **4.0 Principi generali della strumentazione automatica di collaudo di tenuta**

Ad introduzione di una descrizione dettagliata dei vari tipi di strumenti automatici per prove di tenuta in pressione, è necessario definire alcune caratteristiche in comune ai vari principi di funzionamento.

Ogni sistema descritto ha in comune la necessità di creare uno sbalzo o differenza di pressione tra la zona considerata ermetica e l'esterno di tale corpo.

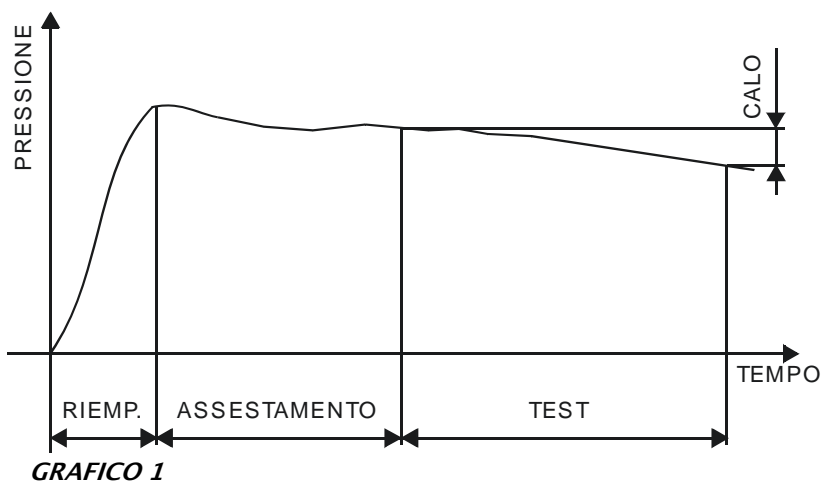
Tale fase è chiamata fase di riempimento.

In linea di principio il riempimento può essere eseguito sia con pressioni positive che negative, sia con pressione (o depressione) applicata dall'interno o dall'esterno del pezzo in prova.

In seguito a tale fase avremo una fase di assestamento, necessaria per stabilizzare i valori di pressione o portata della misura di fuga.

Solo al termine di queste due fasi avremo l'esecuzione della effettiva misurazione della perdita, nelle varie strategie che analizzeremo in dettaglio.

Riportiamo a titolo chiarificativo un grafico con un tipico andamento della pressione nella esecuzione di una prova di tenuta di tipo manometrico (calo di pressione).



#### 4.1 Scelta del tipo di riempimento e della pressione di prova.

La strategia di riempimento , quindi se dall'interno del pezzo (caso più generico) o dall'esterno (campana), il tipo di riempimento e cioè pressione o depressione e il valore di tale pressurizzazione, deve venire scelto caso per caso analizzando il particolare da collaudare.

Per tale scelta il primo parametro da affrontare è il valore di pressione da utilizzare per eseguire il riempimento, quindi la prova.

Considerando l'utilizzo di comune aria compressa industriale tale valore può essere compreso nei casi più comuni tra -1 Bar e 10 Bar, e in caso di prove di tenuta unite a prove di rottura o esplosione tale valore può arrivare anche oltre i 40 Bar.

Contrariamente a quanto si possa supporre intuitivamente, l'utilizzo di alti valori di pressione peggiora le performances

complessive dei test in quanto se da un lato viene proporzionalmente aumentato il valore di perdita misurato, che comunque è proporzionale alla scala delle misure di pressione o portata, l'utilizzo di alte pressioni complica l'andamento della fase di riempimento e delle successive fasi di stabilizzazione o assestamento.

Pertanto, ed in linea di principio sono da prediligere prove e riempimenti eseguiti a bassa pressione (meno di 1 bar).

L'utilizzo di un riempimento in depressione può ad esempio migliorare la tenuta del pezzo durante le fasi di prova. Nel caso di barattoli o di particolari con ampia sezione "aperta", ad esempio "coppe" olio di motori o semigusci di carter, un semplice basamento in gomma morbida è sufficiente a rendere ermetico il particolare, senza necessità di esercitare eccessive forze di contrasto. Il riempimento in depressione può però essere falsante in caso di prove su particolari plastici saldati, poiché la depressione tende a fare collabire e quindi "incollare" la saldatura difettosa.

In tale caso di particolari plastici saldati l'alta pressione aiuta a dilatare l'eventuale difetto, quindi la prova eseguita a pressione tra 3 o 8 bar unisce ad una prova di tenuta un'eventuale prova di robustezza delle saldature.

Particolare attenzione deve essere riposta quando il particolare in collaudo è composto da meccanismi a tenuta "non lineare" quali valvole o battenti a molla e le prove devono essere eseguite o ad una pressione molto inferiore o molto superiore al punto di intervento di tali valvole.

Su particolari meccanici quali carter in ghisa di motori o di mototrasmissioni vi è sempre da considerare la presenza o meno di paraoli o componenti garantiti fino ad una nota pressione.

I capitolati di prove per particolari per gas e cucine indicano le perdite a basse pressioni, genericamente 150 mBar.

**Nota importante è per quei particolari metallici che hanno un comportamento di dilatazione dopo il riempimento in pressione.**

**Tali particolari, quali serpentine, scambiatori di calore, ecc tendono a dilatarsi meccanicamente al termine del riempimento, in modo progressivo alla pressione immessa.**

**Considerando i casi nei quali tali elementi debbono essere necessariamente collaudati a pressioni relativamente alte (4....7 Bar), e dove tale dilatazione non è compensabile dalla fase di assestamento, se non con tempi di lunghezza proibitiva, l'utilizzo di un prierimpimento ad un valore maggiore a quello di prova consente ottimi risultati di dilatazione/rilassamento, contenendo drasticamente il tempo complessivo di prova.**

**In sintesi, la scelta del valore di pressione al quale eseguire le prove deve ricalcare da un lato la pressione di funzionamento reale del componente, considerando di volta in volta benefici e svantaggi dei vari livelli di pressione.**

**La scelta di un riempimento in “campana”, e quindi dall'esterno del pezzo, genericamente in depressione, è discussa in seguito in apposito paragrafo.**

**Comune ad ogni tipo di riempimento è il gas utilizzato, che nella maggioranza dei casi è aria compressa.**

**Tale aria si intende filtrata, ovviamente priva di olio, e il maggiormente possibile deumidificata.**

**Se è usata aria industriale di un circuito ad uso generico l'applicazione di una bombola o vaso di espansione locale allo strumento di collaudo migliora le caratteristiche di varianza di temperatura tra aria e particolare.**

**Alternativamente all'aria possono essere utilizzati gas con atomo di dimensioni più piccole, quali l'elio, poiché maggiorano la fluidità di perdita ed accentuano la sensibilità della prova.**

**E' infine necessario considerare l'utilizzo di gas inerti quali l'azoto, nel caso di prove in componenti già trattati con elementi**

**esplosivi o infiammabili, quali prove su rami benzina di auto o componenti per carburanti in genere.**

## **4.2 Modalità di gestione della fase di riempimento.**

**Fino ad ora abbiamo analizzato tale fase di riempimento senza considerare come questa viene gestita dalla strumentazione.**

**Le strategie note ed applicabili sono sostanzialmente due, e cioè riempimento a livello e riempimento a tempo.**

### **Riempimento a livello**

**Considerato che tale fase consiste essenzialmente nell'immettere il gas tramite valvole comandate elettricamente, il primo metodo consiste nel pilotare tale valvola fino al raggiungimento della pressione desiderata, o ad un valore leggermente maggiore al fine di compensare la riduzione di pressione della fase di assestamento.**

**La seconda strategia consiste nel pilotare tale immissione per un tempo fisso, controllando solo al termine il valore di pressione raggiunto ai fini di verificarne l'accettabilità.**

**Analizzando lo svolgimento tipico di un ciclo completo di collaudo (Grafico1) è necessario comprendere che la ripetibilità complessiva delle prove è in funzione della costanza di ripetibilità delle varie fasi del ciclo di collaudo. Il ciclo deve incominciare sempre da pezzo stabilizzato (sia termicamente e meccanicamente), e quindi da pressione ambiente; il riempimento deve avvenire ad un valore di pressione il più possibile costante nel tempo, e, ovviamente le durate delle fasi di assestamento e prova debbono essere rigorosamente costanti. In particolare si consideri che la fase di prova conterrà un valore di calo spurio genericamente non dovuto alle perdite parassite, ma soprattutto ad una fase di termine di assestamento ancora in corso; pertanto, ed in particolare durante prove al limite dei tempi utili, la**

varianza di durata della fase di assestamento comporta grossi errori di ripetibilità complessiva della prova.

Alla luce di ciò, il riempimento a livello è migliorativo in quanto , oltre a eliminare gli inutili tempi morti, garantisce la partenza del tempo di assestamento da un valore di pressione noto, e cioè quello di pressione di riempimento appena raggiunta.

#### Riempimento a tempo

In alcune condizioni la strategia appena descritta non è utilizzabile .

Nel caso di dover collaudare particolari elastici quali raccordi di gomma, oppure sacche alimentari o medicali il riempimento a livello non è utilizzabile in quanto produce riempimenti errati a causa appunto delle dilatazioni, e quindi relativi crolli di pressione, a fine riempimento.

In tale caso si utilizza la strategia di riempimento “a tempo“ costante, avendo l'avvertenza però di controllare pressione e portata del gas di riempimento, al fine di ridurre gli errori dovuti alle varianze di tempo di assestamento.

A casi analoghi sono riconducibili i riempimenti di particolari complessi (es motori finiti, ingranaggi molto complessi) dove cioè l'aria che entra in un volume primario necessita di un tempo per riempire volumi secondari collegati tramite interstizi aventi una luce di passaggio aria molto inferiore a quella complessiva di riempimento.

Esperienze pratiche hanno dimostrato che particolari gestioni dei riempimenti, basati su regolatori della pressione controllati dal software di gestione degli strumenti, ottimizzano il tempo e la ripetibilità di tali riempimenti. Tali strategie contemplano l'utilizzo di “rampe “ di pressione per il riempimento.

### **4.3 Fase di assestamento.**

Ad esclusione delle prove di tipo “compliance” e di alcuni tipi di prove con riempimento a tempo, tutti i sistemi descritti richiedono una fase di stabilizzazione da eseguirsi alla fine della fase di riempimento.

Tale tempo, rigorosamente costante e ripetitivo, è necessario per ridurre se non eliminare gli effetti di riscaldamento adiabatico e la turbolenza della fase di riempimento, oltre a compensare le dilatazioni meccaniche del componente sottoposto alla forza della pressione e alla varianza di volume causata dal movimento dell'otturatore della valvola di riempimento nel caso di prove su piccoli volumi.

In tale fase la strumentazione non esegue particolari funzioni: i controlli necessari sono quelli inerenti al valore assoluto della pressione immessa, la quale non deve scendere entro limiti di tolleranza rispetto al valore di riempimento.

Una soglia di minima pressione può indicare la presenza di grosse perdite nel particolare, al fine di ridurre i tempi complessivi di collaudo.

Particolari confronti con tabelle di andamento di pressione memorizzate nel corso di prove precedenti, o tabelle predittive di andamento della pressione, possono viceversa migliorare notevolmente tale controllo di massima (grossa perdita) in tale fase.

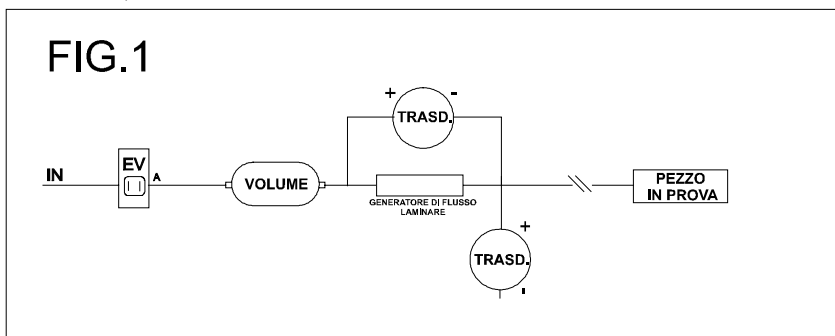
Analogamente a quanto detto per la fase di riempimento , non esiste una regola costante per definire la durata della fase di assestamento, la quale deve essere in pratica determinata per tentativi, considerando anche i casi peggiori di varianza di temperatura e di eventuale diversità

di elasticità del pezzo da controllare durante l'arco di differenti lotti produttivi.

## 5.0 Misurazione di perdita tramite misura di portata del particolare pressurizzato

Tale sistema consente di misurare in modo diretto la portata o flusso di aria generato dalla perdita.

Al termine delle fasi di riempimento ed assestamento il tempo di prova è il tempo necessario per ottenere una misura stabile di tale portata, che genericamente è molto breve (es: 100...300 mSecondi).



Come schematizzato in figura 1 la misura di tale portata è affidata ad un trasduttore differenziale capace di leggere il salto di pressione ai capi di una perdita di carico.

Al fine di ridurre l'andamento quadratico causato dalla turbolenza del moto delle particelle di gas, è utilizzato un elemento laminare capace di linearizzare, in parte, tale funzione (DP/Portata).

Una particolare trattazione delle misure di portata per gas è riportata nel nostro fascicolo

“Le Prove Di Portata di gas nel settore del Collaudo “.

Per maggiori informazioni è possibile anche fare riferimento alla norma CNR-UNI 10023.

In alternativa alla misura di portata eseguita in modo volumetrico (appunto con misura  $D_p$ ), ha preso maggiore rilievo nell'ultimo decennio l'applicazione di misuratori massici, ad esempio i sistemi termici o debimetri (sistemi "a filo caldo"), perché maggiormente precisi, costanti nel tempo, facilmente reperibili in varie scale, e meno sensibili alla varianza termica del gas in misurazione.

Considerato un sistema "storico" delle prove di tenuta, le misure di tenuta eseguite con tale principio si distinguono per i seguenti benefici:

**A) Misura Continua della Perdita:**

Tale aspetto è il reale motivo per cui tale principio è ancora applicato industrialmente.

In modo nativo, e cioè senza artifici, con tale sistema è possibile analizzare per un determinato tempo la perdita, consentendo all'operatore di cercarla e ripararla in tempo reale durante la misura.

**B) Durata della fase di Prova praticamente nullo.**

Come già detto, la misura di portata essendo una misura di tipo continuo, permette l'eliminazione di un reale tempo di prova. Tale concetto vedremo in seguito che è da considerare in modo prettamente teorico, perché se nei sistemi a Calo o  $D_p$  le fasi di assestamento o prova possono essere parzialmente sovrapposte, in tale metodo la misura deve necessariamente avvenire nelle migliori condizioni di assestamento.

**C) Indicazione della fuga in unità volumetriche (CC/tempo ).**

Annoveriamo tale caratteristica tra i benefici, anche se analizzeremo in seguito sistemi capaci di eseguire la stessa misura in modo più preciso e sicuro.

Viceversa, se paragonato ad altri sistemi, tale principio presenta alcuni svantaggi; Il primo, e più evidente, nasce dalla complessità e dall'instabilità della misura di portata.

Inoltre il costo di una doppia misura (pressione e portata) e quindi ad una doppia verifica per ottenere la validazione complessiva della misura, l'elemento laminare che in pratica si presenta quale un capillare è fortemente influente a sporco o deformazioni. Pertanto la misura deve essere costantemente verificata con ugelli di riferimento, che a loro volta presentandosi come microfori su base ceramica o metallica tendono a deteriorarsi, e quindi hanno una durata limitata nel tempo.

Inoltre, con particolare riferimento alla Fig 1, un'eventuale perdita parassita a monte dell'elemento di misura di portata può falsare e mascherare l'eventuale perdita del pezzo in prova.

Pertanto tale circuito pneumatico non può essere considerato pienamente a "sicurezza positiva", e deve essere verificato costantemente.

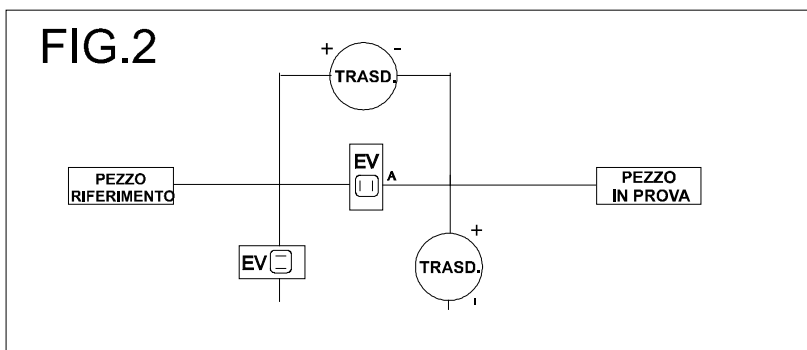
Infine la sensibilità della misura è limitata dalla scala del misuratore di portata, mentre nei sistemi a Calo o a Dp tale limite, pur essendoci, è comunque mediabile tramite l'allungamento del tempo di prova.

## 6.0 Misurazione tramite calo differenziale di pressione

La misurazione di perdite tramite circuito pneumatico differenziale, come da Fig2, rappresentò fino agli anni ottanta l'artificio pneumatico maggiormente ingegnoso in tale settore per ovviare alla scarsa precisione delle sezioni di misura e acquisizione elettroniche fino ad allora disponibili.

Il sistema prevedeva un doppio ramo: da un lato il particolare da provare. Dall'altro un pezzo identico, ma ermetico.

In pratica, analizzando lo schema, le prove si svolgevano con la seguente logica:



La fase di riempimento era eseguita comandando l'apertura di entrambe le valvole;

La fase di assestamento avveniva con valvola B chiusa, e valvola A aperta, al fine di stabilizzare ed uniformare le condizioni di pressione nei due rami.

Terminato l'assestamento, tutte le valvole venivano chiuse.

Immaginando il trasduttore di pressione come una membrana avremo che all'equilibrio la pressione differenziale è nulla.

L'eventuale calo nel pezzo in prova sposta lo zero di tale misura consentendo un'indicazione molto sensibile di tale scostamento.

Su tale principio è possibile eseguire una facile amplificazione elettrica del segnale proveniente dal trasduttore, e visualizzarla su uno strumento ad ago con zero centrale.

Pertanto con tale stratagemma era possibile analizzare un valore di calo tipico pari ad  $1 / 50.000$  (trasduttori permettendo) del valore di pressione di riempimento, mentre l'elettronica di allora, se applicata in un sistema manometrico non consentiva di superare il rapporto di  $1 / 10.000$ .

Risulta evidente che il limite era unicamente quello della misura elettronica in termini di risoluzione e rumore, perché le condizioni di funzionamento del trasduttore di misura avevano comunque i limiti di un sistema monometrico. Tale trasduttore doveva in ogni caso essere dimensionato per la massima pressione di riempimento, in quanto oltre che realmente presente in modo comune, in caso di perdita del pezzo in prova la membrana era sollecitata da tutta la pressione.

La pneumatica così realizzata presentava però diversi svantaggi:

Il primo, e molto evidente, è che la comparazione prende in esame un riferimento ermetico: una perdita di tale riferimento coincide con un "mascheramento" dell'effettiva misura di perdita del pezzo in prova. Tale difetto era però in parte compensabile con una verifica continua del sistema in uso tramite campione "buono" e taratura elettrica dello "Zero" di misura.

Tale primo punto classifica tale pneumatica non a "sicurezza positiva".

Gli altri svantaggi maggiormente evidenti e sentiti furono la difficile taratura della misura del trasduttore differenziale, la quale doveva essere eseguita con una particolare procedura di verifica.

**Ma il vero punto debole di tale sistema nasceva dalla natura stessa dell'impianto:**

**La misura di fuga eseguita risulta essere una misura che non indica l'effettiva perdita del pezzo provato, ma la relativa differenza con il campione.**

**Questo non coincide necessariamente con il concetto che il campione di riferimento possa perdere (che tra l'altro corrisponde alla realtà).**

**Per esempio si consideri che nell'uso pratico di tali sistemi avremo che il pezzo campione è sollecitato meccanicamente ad ogni ciclo di collaudo, mentre il pezzo in prova solo durante la fase del proprio collaudo. In pratica si analizzerà un andamento del calo misurato progressivo con le ore d'utilizzo dell'impianto, indice del progressivo assestamento meccanico del campione di riferimento non coincidente con l'assestamento dei pezzi in prova.**

**Inoltre, se apparentemente potevano esserci benefici in termini di varianza termica appunto dovuti al modo comune, in realtà il volume complessivo in gioco è doppio, e per quanto i due elementi in misura potevano essere disposti vicini tra loro correnti d'aria o raggi solari potevano amplificarne la differenza termica.**

**In sintesi tale principio ha consentito di ottenere ragguardevoli risultati fino agli anni '70 e parte degli '80, ma oggi non trova applicazioni pratiche, in quanto soppiantato dai più facili e precisi sistemi manometrici a calo assoluto.**

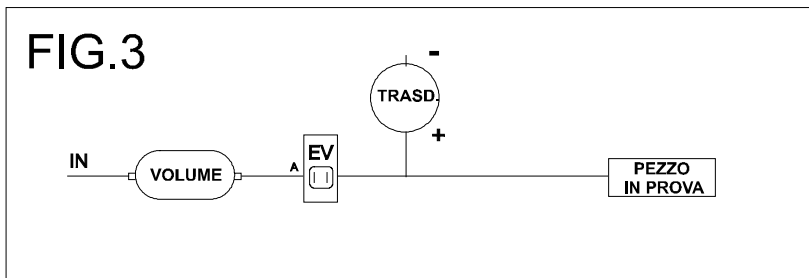
## 7.0 Misurazione tramite calo di pressione del particolare pressurizzato

Il sistema di misura di perdite con il sistema manometrico, prevede, durante la fase di prova la misura del calo di pressione all'interno del pezzo in collaudo.

Come riportato in fig.3, la pneumatica si riduce essenzialmente ad una valvola di riempimento e ad un trasduttore di misura.

Analizzando il bozzetto avremo che qualsiasi difettosità pneumatica è riconducibile ad una perdita, quindi ad un'indicazione di scarto.

Per tale motivo tale sistema è definito a "sicurezza positiva".



L'unico elemento di rischio in tale circuito pneumatico è rappresentato da un eventuale tra filamento della valvola di riempimento. Tale problema, peraltro presente in molti schemi pneumatici discussi, è facilmente scongiurabile grazie ad un particolare gioco di valvole a sostituzione della semplice valvola segnata nello schema, e grazie a particolari diagnostiche software.

Di contro, la precisione complessiva di tale tipi di strumenti è legata essenzialmente alla precisione della sezione di misura (trasduttore) e della sezione elettronica di acquisizione.

In pratica gli elementi che intervengono a limitare la precisione sono il rumore elettrico della circuiteria e quello meccanico del trasduttore, i quali corrispondono alla risoluzione o numero di punti massimo entro i quali il fondo scala di misura è scomposto: un sistema capace di garantire 100.000 punti, su un fondo scala di (ed. es) 1Bar, coincide con il poter garantire una risoluzione di misura di un centesimo di milliBar. Maggiore è tale parametro di risoluzione e minore è il tempo necessario per la misura del calo; ciò coincide da un lato ad una riduzione del tempo - ciclo di collaudo, ma soprattutto ad un contenimento degli errori dovuti alle variazioni termiche del gas immesso nel pezzo.

Le strategie elettroniche per l'ottenimento di tali risultati sono di varia natura: vanno dal pilotaggio del trasduttore con tensioni alternate e l'utilizzo di raffinati convertitori AD all'utilizzo di opportuni circuiti d'inseguimento dello zero e misura in finestre, ma soprattutto un elevato filtraggio sia elettrico che matematico della misura.

Particolare attenzione deve essere riposta nella determinazione del punto di "zero" del calo, e in pratica nella misurazione della pressione al momento iniziale della fase di prova.

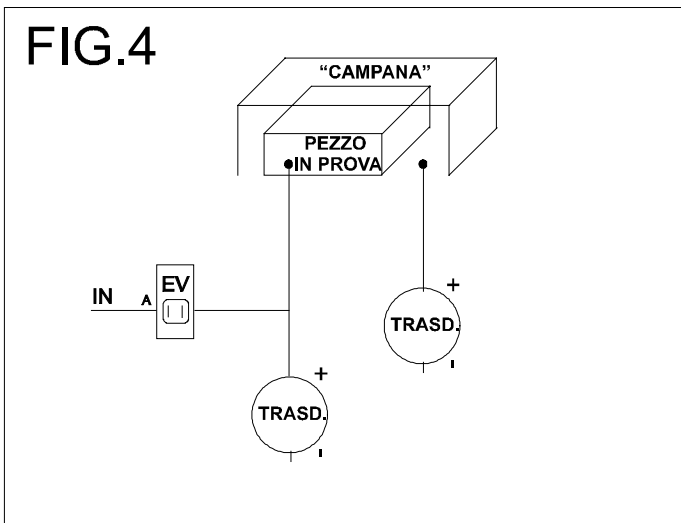
Misurazione "compliance" ad aumento di pressione.

Per sistema di prova di tenuta "Compliance" s'intende un sistema capace di intercettare le fughe nell'ambiente esterno alle camere da collaudare.

L'esempio pratico maggiormente diffuso ed esplicativo è quello della misurazione della perdita dell'otturatore di valvole: s'immette aria da una parte, e s'intercetta la fuga dal lato opposto.

Tale concetto è estendibile a qualsiasi tipologia di componente o pezzo da collaudare considerando la possibilità di racchiudere il particolare in un contenitore ermetico chiamato appunto "campana".

# FIG.4



Il sistema in campana si presta all'applicazione di tipo compliance, quando è possibile pressurizzare dall'interno il pezzo e contemporaneamente richiuderlo dall'esterno.

Quando ciò non è possibile, (pressurizzazione dall'interno del pezzo) l'utilizzo di campane a tenuta è comunque un ottimo stratagemma per migliorare le performances di prove con il convenzionale sistema manometrico su pezzi di grande volume, avendo cura di creare un volume d'intercapedine tra pezzo in prova e campana il più ridotto possibile.

Limitatamente all'esecuzione di prove a massimo 1 Bar, l'utilizzo di un sistema in depressione in campana unisce alla funzione d'auto-chiusura, e quindi tenuta del contenitore, la rigenerazione del caso genericamente reale di pressione positiva dentro il pezzo.

Differentemente da quanto descritto per gli altri metodi, il sistema compliance non necessita né di tempo d'assestamento, né del tempo di prova in quanto sovrapposto alla fase di

riempimento, rendendo il sistema molto veloce. In pratica, la prova parte pressurizzando il lato in prova del componente, e durante lo stesso tempo si analizza l'eventuale aumento di pressione dovuto alle fughe all'altro capo della camera.

Gli strumenti di tale tipo sono generalmente dotati di due trasduttori di misura di pressione: uno per la misura della pressione di riempimento, e uno d'intercettazione della pressione di fuga.

Entrambi i trasduttori devono essere dimensionati per la massima pressione di riempimento, al fine di prevedere la condizione di grossa perdita e quindi di picco di pressione sul lato d'intercettazione della fuga.

L'analisi della perdita è quindi rapporto delle due pressioni e può essere rappresentato come il rapporto percentuale dei due valori (Pressione di Fuga / Pressione di riempimento) o calcolato come la pressione di fuga ad un valore nominale di riempimento, o nei casi più sofisticati, conoscendo il volume esterno o di campana, fornito come indicazione volumetrica (CC/ora).

Da un punto di vista elettronico è importante dimensionare l'acquisizione considerando che le prove durano generalmente pochi secondi o meno e che il computo del rapporto avviene durante l'aumento della pressione di riempimento: pertanto le due misure debbono avvenire in fase tra loro e con una frequenza sufficientemente elevata al fine di non introdurre errori.

## 8.0 Misura della perdita: unità di misura

Il valore della perdita può essere espresso sostanzialmente in due distinte unità di misura, e cioè in modo volumetrico (ad esempio CC/Minuto) avendo noto il valore di pressione alla quale la perdita è riferita, o in modo manometrico (ed esempio mBar/Secondo), avendo noto il valore del volume del pezzo in prova.

Non esiste una reale regola per prediligere una o l'altra scala.

Per comodità, quando i particolari in collaudo sono componenti per aria o gas, esprimere la perdita in forma volumetrica evita ulteriori procedimenti di calcolo rispetto i limiti di perdita fissati da eventuali capitolati o richieste di fornitura.

Ma nella maggior parte dei casi, dove cioè il componente in collaudo è inteso per contenere fluidi non gassosi, l'indicazione volumetrica non rappresenta in modo diretto l'effettiva perdita di fluido.

Si consideri comunque che l'equivalenza tra i due sistemi si ottiene con il seguente calcolo:

$$\text{Calo di Pressione [ Atm/Tempo ]} = \frac{\text{Volume di Perdita [ CC/Tempo ]}}{\text{Volume del Particolare [CC]}}$$

Nella applicazione di tale calcolo è da considerare il volume complessivo dal particolare, comprendendo anche il volume dei tubi e raccordi, e l'eventuale volume "morto" della attrezzatura;

Inoltre, considerando che la portata del volume di perdita è proporzionale alla pressione del gas nel pezzo, la quale decade nel tempo a causa appunto della perdita, è necessario considerare che l'errore introdotto (altrimenti eliminabile tramite calcolo fattoriale) risulta trascurabile per piccoli cali di pressione,

ad esempio inferiori dell'1% del valore della pressione di riempimento.

L'unità di tempo deve essere coerente tra le due caratteristiche (es. secondi o minuti) e il calo così calcolato dovrà essere convertito nella unità di misura scelta dalla misura dello strumento (ad esempio  $1 \text{ Atm} = 1013,25 \text{ milliBar}$ ).

Grazie alla applicazione di logiche a microprocessore, tale calcolo è spesso eseguito dalla strumentazione al fine di fornire un responso di tipo volumetrico.

In tale caso il valore del volume del pezzo in prova è fornito in forma parametrica, oppure, nei casi migliori calcolato da un capacimetro durante la fase di riempimento.

Un sistema diffuso e facilmente applicabile è quello di eseguire il riempimento del pezzo in collaudo tramite un volume noto, monitorando la pressione prima e dopo tale parziale svuotamento.

Come già accennato nella descrizione degli impianti a misura di portata, nella scelta della unità di misura è però necessario prendere in esame anche le problematiche relative alla validazione e taratura di tali misura: Nel caso di misura di calo di pressione un semplice manometro certificato SIT (l'ente Italiano di validazione delle misure fisiche) consente tale verifica.

Viceversa, nell'utilizzo di misure volumetriche di fuga, oltre a tale validazione o taratura di pressione, risulta necessaria una verifica della misura di portata, eseguita nel metodo più tradizionale tramite ugelli di riferimento, i quali essendo elementi passivi, a loro volta dovranno avere un'autonoma validazione.

## **9.0 Determinazione del valore di perdita.**

La definizione della soglia d'intervento dello scarto, e quindi del valore di discriminazione della accettabilità della produzione è un parametro da definire con molta cura.

Il caso ideale è l'applicazione di normative, o capitoli del cliente, che indichino tale limite d'accettabilità. In tale caso si procede a convertire, se necessario, tale valore nella unità di lavoro della strumentazione.

Quando tale dato non è fornito, allora il compromesso migliore è quello di procedere ad analizzare particolari aventi difettosità e tenuti quali archivi delle casistiche di scarto.

Tale procedimento ha però due svantaggi di fondo:

Il primo è che in alcune circostanze, ad esempio particolari in plastica morbida, la perdita si modifica nel tempo, ed in funzione del numero di prove che si eseguono.

Il secondo problema che si incontra nell'applicazione di tale sistema empirico, è che è comunque necessario prima definire i parametri di riempimento ed assestamento su un particolare analogo ma conforme, e solo in seguito analizzare lo scarto.

Un metodo consigliato, che anche se molto empirico e abbastanza impreciso consente di valutare in modo pratico e veloce le perdite, consiste nell'analizzare gli scarti in acqua, partendo unicamente dalla definizione della pressione di riempimento.

Fatto ciò, si ricerca il particolare con il minore valore di perdite, espresso in bolle (ad es.) al minuto. L'avvertenza in tale fase è di disporre il particolare in modo che le bolle che si formano si stacchino dal corpo e siano ben visibili all'operatore.

Pertanto si cerca di determinare il volume complessivo della perdita, dato dalla somma del volume in CC delle bolle d'aria, conteggiate e misurate visivamente al "pelo" dell'acqua. Tale calcolo fornisce un'idea del valore volumetrico (CC/Minuto) ed è da considerare quale dato di partenza per il settaggio della

**strumentazione, oltre che un valore di riprova per controllare in seguito l'eventuale deformazione di tale perdita.**

**Un sistema analogo ma applicabile su piccoli particolari è di racchiudere in una beuta graduata il particolare pressurizzato, disporre la beuta con la parte chiusa verso l'alto ed immergere tutto in acqua, facendo in modo di lasciare dell'aria nella parte alta del recipiente.**

**L'incremento di tale volume d'aria, quantificabile grazie alle tacche stampate sulla beuta, corrisponde alla quantità d'aria persa dal particolare.**

**Se il calcolo delle "bolle" introduce consistenti errori a causa dell'errore (cubico) di misura del raggio della bolla inteso per il calcolo del volume della sfera, nel sistema con la beuta è necessario considerare piccoli incrementi di volume di perdita al fine di mantenere costante la pressione finale all'interno di tale volume d'aria.**

**Il caso più complesso che capita di dovere affrontare è invece quando è definita la perdita, anche in modo volumetrico, ma relativa non a gas o aria compressa ma a fluidi d'utilizzo reale nel componente.**

**Un caso esemplificativo è quello d'ingranaggi o motoriduttori per settore alimentare, lubrificati con olio vegetale, e dove è fornita la massima quantità consentita di perdita nel tempo di tale olio.**

**In tale caso, limite, non è sufficiente affidarsi al rapporto di fluidità teorica tra olio e aria, in quanto nel caso reale di funzionamento vi sono da considerare le varie condizioni fisiche di tale olio, e cioè oltre a temperatura e pressione, anche l'eventuale decadimento nel tempo della fluidità (es morchie). Si può procedere nell'applicare ugelli ad almeno tre particolari di cui si garantisca l'ermeticità, ed eseguire prove pratiche al fine di determinare nel tempo dei valori di perdita di tale olio.**

**Avendo cura di avere utilizzato ugelli pre-tarati in aria, con tre portate tra loro differenti, è possibile dopo tale ciclo di prova**

determinare tramite beute la perdita d'olio. Ripetendo e graficando più volte i valori ottenuti (con l'avvertenza di cambiare volta per volta gli ugelli) si può evidenziare la ripetitività delle misure e concluderne un valore prossimo alla perdita in aria così ricreata.

## **10.0 Installazione pratica dei parametri di collaudo nella strumentazione.**

L'installazione della strumentazione di collaudo di tenuta deve avvenire avendo noto sia il valore di perdita sia la pressione alla quale eseguire le prove.

Dopo aver impostato tali dati il primo passo è quindi quello di impostare un tempo d'assestamento anche eccessivo, al fine di una prima verifica.

Tale verifica, da eseguirsi rigorosamente su un campione buono, è intesa a chiarire se nell'insieme tutto funziona correttamente: tenuta dei tamponi o raccordi di collegamento al pezzo, verifica della staticità della meccanica durante la prova, verifica dell'andamento della varianza termica tra pezzo in prova e gas usato per il riempimento.

Si deve quindi verificare che tale campione buono determini un calo prossimo allo zero o al massimo inferiore ad un terzo di quello programmato. In tale verifica il calo non dovrà mai essere negativo (aumento di pressione).

A tale punto si incomincia a ridurre il tempo d'assestamento, per tentativi.

Nel caso di strumenti con misura in portata, ci si dovrà accontentare di un tempo d'assestamento che consenta nella pratica una misura del pezzo "buono" il più prossima allo zero.

Nel caso di strumenti con misura di pressione differenziale vi sarà da considerare quanto già illustrato nel relativo paragrafo, e

**cioè che su pezzi metallici di medio e grande volume la verifica del tempo d'assestamento dovrà avvenire in più cicli e su tempi lunghi, avendo cura di mantenere il medesimo pezzo campione di riferimento, e cambiare i pezzi "buoni" in prova al fine di analizzare la costanza nel tempo della fase d'assestamento.**

**Nei sistemi manometrici, il tempo di prova può essere parzialmente sovrapposto al tempo d'assestamento.**

**In pratica la riduzione del tempo d'assestamento sarà accettata fino a quando il valore di calo riscontrato è inferiore al 50 % di quello teorico.**

**Al tale punto si può aumentare il valore di perdita programmato ricalcolato come somma tra il precedente valore teorico e il responso di perdita del particolare buono.**

**Il valore di perdita teorico deve essere inteso quale limite di perdita rispetto ad un particolare buono di cui si sia sicuri dell'ermeticità: Il calo parassita non deve, infatti, essere inteso quale una perdita, ma è riconducibile ad una misura del calo d'assestamento.**

**Ripetendo più volte tale operazione, e avendo sempre cura di non superare il 50% del calo su particolari Buoni, si ottiene la taratura pratica dei parametri di prova dello strumento.**

## **11.0 Calibrazioni e Verifiche.**

**Distinguiamo concettualmente la taratura periodica dalle verifiche ordinarie in due distinti processi:**

**Per taratura si intende un procedimento inteso a verificare il funzionamento complessivo dello strumento in termini di corrispondenza ai limiti dichiarati di precisione della misura elettronica e del funzionamento pneumatico.**

**La verifica ordinaria viene eseguita ad intervalli predefiniti ed è intesa a controllare la strumentazione nei limiti del normale utilizzo, e quindi verificarne l'indicazione di Buono e Scarto applicando rispettivamente un campione preposto a tale prova ermetico e uno con una perdita nota.**

**Entrambi i processi debbono essere eseguiti a intervalli di tempo prestabiliti.**

**Analizzando vari capitolati o normative inerenti a tali procedure emerge che non esistono dati universalmente applicabili.**

**L'intervallo tipico per l'operazione di taratura può essere stimato in 6 o 12 mesi.**

**L'intervallo tipico per l'operazione di verifica ordinaria può essere determinato dal numero di pezzi prodotti e orientativamente ad intervalli pari al 25% della produzione giornaliera.**

**Conseguentemente, e con particolare riferimento alle verifiche ordinarie, è necessario definire una prassi di metodi e tempi al fine di validare i campioni per eseguire tali verifiche.**

**Non potendo riportare i contenuti delle procedure a noi fornite, in quanto proprietà di enti privati, ed industrie, viene riportato solo quale nostro giudizio un aspetto, secondo noi, contraddittorio ed in comune a tali protocolli.**

**Tale aspetto è inerente alla esecuzione di un elemento di perdita (ugello) da collegare in derivazione ad un pezzo ermetico, al fine di eseguire la procedura di verifica ordinaria.**

Da numerose ricerche da noi eseguite risulta che alla data di stesura del presente documento, l'ente italiano per la validazione delle misure fisiche (SIT, da noi contattato più volte ai numeri del politecnico di Torino) non ha ancora redatto norme inerenti la validazione delle misure di portata di perdite in aria o gas.

Pertanto, e al fine di non fornire dati fuorvianti o inesatti, limiteremo la trattazione alle nostre esperienze dirette di validazione, tralasciando pertanto gli strumenti con misura in portata e concentrandoci solo sugli strumenti con misura a pressione.

Al fine di orientare il lettore in tali misure di tipo volumetrico, consigliamo di fare riferimento alla normativa UNI EN 161.

I sistemi a calo di pressione sono i più pratici nella esecuzione di tali fasi, in quanto con la semplice messa in scala della misura di pressione tramite manometro campione certificato si ottiene la taratura periodica.

Tale taratura serve essenzialmente a impostare zero e fondo scala della misura assoluta di pressione, e, dove richiesto e comunque solo in termini di verifica, la misura di calo durante una prova.

Discorso pertanto analogo al fine di eseguire un campione avente perdita controllata.

## TABELLA DI CONVERSIONE DELLE UNITA' DI MISURA

	KiloPascals	mm Hg	millibars	Inches H2O	PSI
<b>1 atm</b>	101.325	760.000	1013.25	406.795	14.6960
<b>1 kiloPascal</b>	1.00000	7.50062	10.0000	4.01475	0.145038
<b>1 mm Hg</b>	0.133322	1.00000	1.33322	0.535257	0.0193368
<b>1 millibar</b>	0.100000	0.750062	1.00000	0.401475	0.0145038
<b>1 inch H2O</b>	0.249081	1.86826	2.49081	1.00000	0.0361
<b>1 PSI</b>	6.89473	51.7148	68.9473	27.6807	1.00000
<b>1 hectoPascal</b>	0.100000	0.75006	1.00000	0.401475	0.0145038
<b>1 cm H2O</b>	0.09806	0.7355	9.8 x 10 <sup>7</sup>	0.3937	0.014223

Le informazioni riportate in questo manuale sono ritenute affidabili e precise: tuttavia, For Test non si assume responsabilità per eventuali imprecisioni od omissioni, per l'uso che l'utilizzatore farà delle informazioni e per la violazione di brevetti o di altri diritti di terzi che possa risultare dall'uso delle informazioni. Nessun diritto su brevetti o privative industriali sui prodotti descritti è ceduto a terzi implicitamente. Qualsiasi informazione contenuta nel presente manuale può essere soggetta a variazione senza preavviso.

Tutte le informazioni contenute nel presente documento si intendono di proprietà esclusiva della For Test, la quale si riserva ogni diritto ,pertanto ne è vietata la copia integrale o parziale, e qualsiasi diffusione informatica.