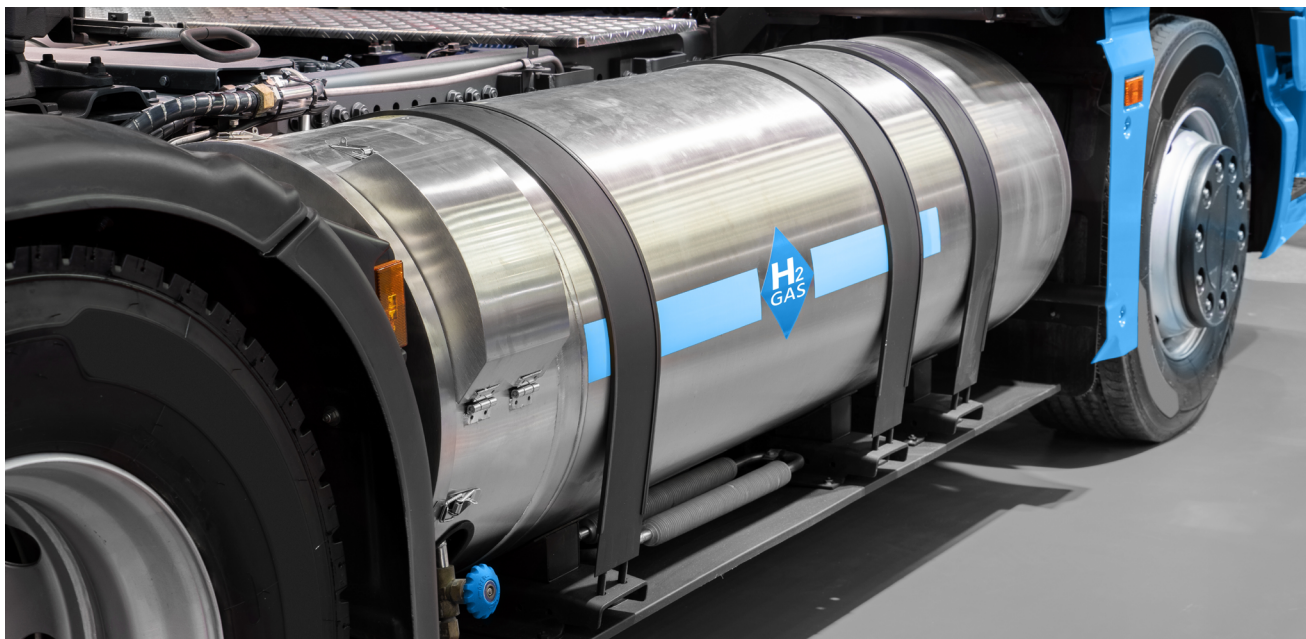


## Quale sensore di pressione è adatto per l'idrogeno?

Con la crescente diffusione dell'idrogeno come vettore energetico, aumenta anche la necessità di sensori di pressione adeguati. Sebbene l'idrogeno sia utilizzato da anni a bassa pressione nelle industrie chimiche e di processo, nuove sfide sorgono nelle applicazioni per la mobilità sostenibile: campi di misura superiori a 1.000 bar, spazio limitato e pressione ad alto costo per le grandi serie richiedono concetti di sensori nuovi e innovativi.



La molecola di idrogeno - essendo la molecola più piccola - ha la proprietà di penetrare nella struttura di molti acciai e altri materiali disponibili in commercio. Può essere immagazzinato in modo permanente nella struttura o può penetrare nella struttura stessa (permeazione) o attraverso una combinazione dei due effetti. L'ingrassamento da idrogeno è ben noto ed è causato dal fatto che l'idrogeno che è penetrato modifica la struttura dell'acciaio. La permeazione, ovvero il processo di assorbimento di idrogeno sulla superficie della membrana attraverso il materiale della membrana e desorbimento sul retro, non è un problema nella maggior parte delle applicazioni, come i serbatoi in pressione, grazie agli spessori delle pareti sufficientemente adeguati. Tuttavia, nel caso di sensori di pressione con lo spessore della parete intrinsecamente sottile dei sensori, la permeazione di idrogeno attraverso la membrana di misura può provocare una reazione con gli elementi del sensore.

A seconda della struttura e del principio fisico di funzionamento del sensore possono entrare in gioco effetti diversi. Nelle sezioni seguenti vengono spiegati gli effetti più importanti per quei sensori che vengono solitamente utilizzati quando l'idrogeno viene impiegato come vettore energetico. Viene inoltre mostrato quali soluzioni tecniche vengono utilizzate per contrastare gli effetti dannosi della permeazione dell'idrogeno e quali vantaggi e svantaggi ne derivano. Infine, vengono mostrati i criteri di selezione più importanti per un sensore di pressione adatto, nonché a cosa prestare attenzione durante la valutazione.

Nelle applicazioni industriali dell'idrogeno, vengono utilizzati quasi

esclusivamente sensori piezoresistivi o sensori a film sottile su acciaio (vedi riquadro con i principi di funzionamento). Altri principi dei sensori sono tecnicamente inadatti (ad es. sensori in ceramica a causa dell'elevata porosità del materiale sinterizzato), troppo costosi o prodotti puramente di nicchia.

### Sensori piezoresistivi

Con i sensori piezoresistivi, lo spessore della parete straordinariamente piccola della membrana di separazione di soli 70 micrometri circa è una sfida importante. La membrana di separazione stessa è realizzata di serie in AISI316L compatibile con l'idrogeno ed è quindi difficilmente a rischio di ingrassamento. Tuttavia, a pressioni più elevate, l'idrogeno può diffondersi attraverso la sottile membrana di separazione nel riempimento dell'olio. L'idrogeno disciolto nell'olio può formare bolle, che causa un improvviso e deciso offset del segnale, che possono scomparire di nuovo spontaneamente a seconda della curva di pressione non appena la bolla si dissolve di nuovo. Come contromisura, la membrana di separazione è provvista di un rivestimento dorato sul lato dell'idrogeno, che funge da barriera di assorbimento. I test di Trafag dimostrano che questo strato d'oro deve avere un certo spessore minimo per poter fungere da protezione. L'effetto protettivo si riduce se è troppo sottile, se è danneggiato da micrograffi o se lo strato d'oro ha un'adesione insufficiente e quindi le bolle più piccole dovute alle impurità nel processo di placcatura.

## Sensori a film sottile su acciaio

I sensori a film sottile su acciaio, invece, hanno una membrana notevolmente più spessa. Tuttavia, sono solitamente costituiti da un materiale inadatto all'idrogeno (17-4PH o 1.4542), ovvero un acciaio martensitico ad alte prestazioni con un contenuto di nichel piuttosto basso. Acciai austenitici con contenuto di nichel superiore a circa il 13 per cento sono considerati compatibili con l'idrogeno. Pertanto, è necessario utilizzare leghe di acciaio alternative. A causa del principio, è necessario un punto di snervamento elevato in modo che la membrana e quindi i ponti di resistenza spruzzati possano allungarsi così tanto da generare un segnale utilizzabile. Sfortunatamente, molti acciai compatibili con H<sub>2</sub>, come l'AISI316L non soddisfano questo requisito. Se vengono utilizzati sensori in acciaio con membrane AISI31L, di solito non sono dotati del ponte di resistenza spruzzato stabile a lungo termine, ma hanno un rivestimento che mostra una maggiore variazione della resistenza a parità di deformazione, ma è spesso più suscettibile alla deriva del segnale.

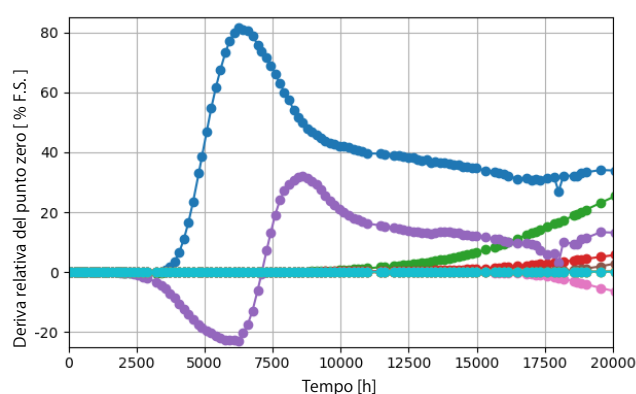
Una sfida importante è trovare leghe di acciaio adatte che siano compatibili con H<sub>2</sub> e allo stesso tempo adatte per la costruzione di sensori a film sottile. Per le celle a film sottile su acciaio con resistori spruzzati, esistono alcune leghe di acciaio austenitico con un alto contenuto di nichel che hanno anche un punto di snervamento sufficiente e sono quindi fondamentalmente adatte. Ma per il produttore di sensori, la difficoltà con questi acciai è ottenerli da un produttore con la qualità del materiale che consente di ricavarne sensori stabili a lungo termine e a bassa deriva. I parametri critici sono solitamente l'omogeneità della struttura, della lega e del trattamento termico. I test di Trafag con i propri sensori realizzati in varie leghe e sensori della concorrenza hanno dimostrato che molte delle soluzioni offerte oggi hanno una deriva a lungo termine significativamente maggiore rispetto ai sensori convenzionali per aria o olio. Grazie a una vasta esperienza, molti anni di ricerca intensiva e innumerevoli test, Trafag è riuscita a sviluppare un sensore a film sottile su acciaio in acciaio compatibile con l'idrogeno, la cui stabilità a lungo termine è significativamente migliore di quella della maggior parte dei suoi concorrenti.

## Prestazioni con stabilità a lungo termine

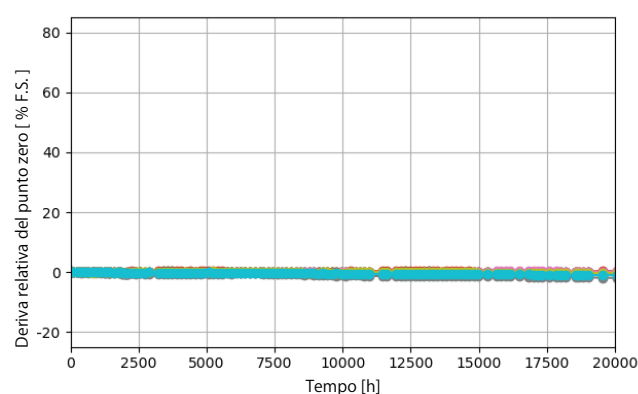
La stabilità a lungo termine dei sensori di pressione a idrogeno è ora il criterio principale nella valutazione dei trasmettitori di pressione. Poiché il design e le dimensioni, l'elettronica e la struttura meccanica sono per lo più presi da collaudati sensori di pressione industriali e quindi soddisfano quasi sempre i requisiti delle applicazioni a idrogeno. La stabilità a lungo termine del sensore, vale a dire che la precisione di misura non cambi o cambi solo leggermente durante il periodo di utilizzo, è fondamentale soprattutto nelle applicazioni con idrogeno. La scarsa stabilità a lungo termine si riflette principalmente nella deriva del punto zero, il che significa che il segnale non mostra più zero in assenza di pressione.

L'infragilimento, che molto spesso viene citato in letteratura come il problema maggiore, non si è verificato con i sensori Trafag nei test effettuati. I test di scoppio dei sensori standard, cioè realizzati in materiale non compatibile con l'idrogeno, non hanno mostrato alcuna riduzione significativa della pressione di scoppio anche dopo un uso prolungato in ambiente a idrogeno, sebbene i segnali mostrassero già una massiccia deriva. Nell'applicazione, tre parametri in particolare hanno una grande influenza sulla stabilità a lungo termine dei sensori di pressione dell'idrogeno:

- **Pressione:** maggiore è la pressione, più forti e veloci saranno gli effetti di diffusione. Cicli di carico alternati possono anche accelerare l'effetto perché il movimento della struttura facilita la mobilità dell'idrogeno che è penetrato.
- **Temperatura:** maggiore è la temperatura, più velocemente si manifesta l'effetto dannoso dell'idrogeno. L'infragilimento diminuisce nuovamente a circa 60°C, ma la diffusione continua ad aumentare.
- **Tempo:** La durata dell'esposizione all'idrogeno è critica. Le deviazioni del segnale diventano evidenti solo dopo un certo tempo e non sono lineari.



Deriva dello zero nei sensori a film sottile standard a 100 bar di idrogeno



Deriva dello zero nei sensori a film sottile in acciaio compatibile con H<sub>2</sub> a 100 bar di idrogeno

Sebbene gli effetti della pressione e della temperatura siano evidenti e siano presi in considerazione nella valutazione nei criteri di prova, la durata dell'esposizione spesso non viene presa sufficientemente in considerazione. I test Trafag hanno dimostrato che i sensori realizzati con membrane in acciaio standard non adatte a volte mostrano i caratteristici effetti di deriva del punto zero solo dopo 10.000 ore di esposizione all'idrogeno e che c'è una grande dispersione su quando inizia effettivamente la deriva del punto zero.

Molti di questi effetti di deriva sono reversibili con i sensori in acciaio: quando il sensore non è più esposto all'idrogeno, la concentrazione di idrogeno diminuisce lentamente, a temperature superiori a circa 80°C anche in tempi relativamente brevi.

## Conseguenze per la valutazione dei sensori di pressione dell'idrogeno

La ricerca di dispositivi adeguati è una sfida importante per l'utilizzatore di sensori di pressione dell'idrogeno. Inoltre, una misurazione errata della pressione può portare a gravi conseguenze, tra cui mettere in pericolo la vita umana. I test significativi devono quindi essere eseguiti nell'arco di diverse migliaia di ore, idealmente in una configurazione di test orientata all'applicazione. Orientato all'applicazione significa che soprattutto il livello di pressione, i cicli di pressione e le condizioni di temperatura rappresentano al meglio le condizioni peggiori nell'applicazione target. Per mantenere ridotta la varietà di dispositivi che devono essere testati in modo così complesso, vale la pena considerare solo fornitori con molta esperienza e know-how, che svolgono anche intensi test di qualificazione interni, sin dalla fase di selezione.

## Sei alla ricerca di sensori di pressione dell'idrogeno affidabili e robusti?

Contattaci. I nostri specialisti saranno lieti di consigliarvi e collaborare con voi per trovare soluzioni adatte alla vostra applicazione.

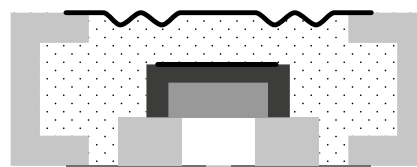
Trafag AG  
 Industriestrasse 11  
 8608 Bubikon (Switzerland)  
 Telefon +41 44 922 32 32  
 trafag@trafag.com | www.trafag.com

## Principio di funzionamento dei vari sensori di pressione



### Sensore piezoresistivo

La pressione del fluido agisce sulla membrana di separazione, che trasferisce la pressione al riempimento dell'olio. Lo strato attivo dell'elemento semiconduttore nell'olio si deforma a causa della pressione. A causa del cambiamento di forma, la resistenza misurata cambia. La membrana di separazione deve essere molto sottile in modo da poter trasferire la pressione all'olio senza distorsioni.

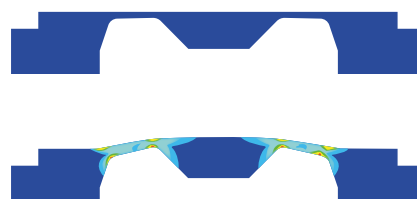


Sezione schematica di un sensore di pressione piezoresistivo con membrana di separazione, riempimento d'olio e strato attivo.



### Sensore a film sottile su acciaio

La pressione del fluido agisce sulla membrana d'acciaio. Questa ha una rigidità definita con precisione e si deforma solo molto localmente a causa della sua forma speciale. Le resistenze sono applicate sul lato opposto al fluido nei punti di massima deformazione. A seconda della posizione, le resistenze vengono compresse o allungate, il che porta ad un aumento o una diminuzione della resistenza. La somma delle variazioni assolute della resistenza viene misurata utilizzando un ponte di Wheatstone.



Sezione trasversale di un sensore in acciaio come modello agli elementi finiti, sopra allo stato depressurizzato e sotto con pressione massima.