

# SIGILLARACCORDI HYDROGEN READY E PREVENZIONE DELLE PERDITE

**SIMONE ZANETTI**, Application Engineering, Henkel Italia

**MIKE FEENEY**, Application Engineering, Henkel Canada

**DAVID CONDRON**, Product Development, Henkel Irlanda

• WHITE PAPER

# INDICE

**02**    **SINTESI**    >

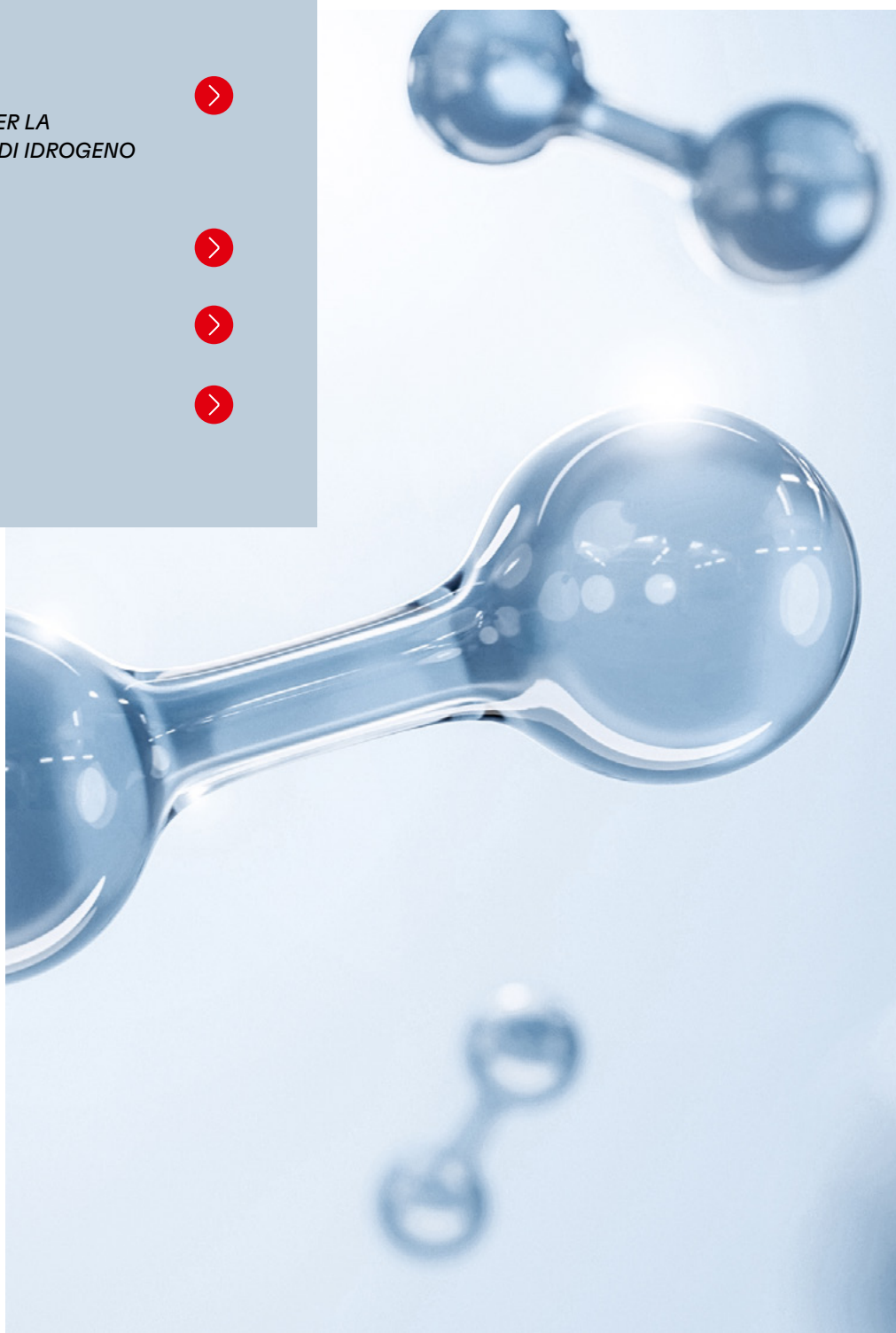
**03**    **INTRODUZIONE**  
IDROGENO: UNA SOLUZIONE  
ENERGETICA PROMETTENTE    >

**07**    **METODO DI TEST**  
TEST DEI SIGILLARACCORDI PER LA  
PREVENZIONE DELLE PERDITE DI IDROGENO    >

**08**    **RISULTATI**    >

**10**    **CONCLUSIONI**    >

**11**    **REFERENZE**    >



# SINTESI

**In un'era caratterizzata da una crescente enfasi sulla sostenibilità e sulla ricerca di alternative energetiche pulite, l'idrogeno verde spicca come soluzione particolarmente interessante. Su tutto il suo ciclo di vita – dalla produzione alla distribuzione – grava la necessità di ridurre al minimo o eliminare le perdite, una sfida che implica oneri economici oltre a potenziali rischi per la sicurezza.**

Superare le sfide rappresentate dalle minuscole dimensioni delle molecole di idrogeno, creando collegamenti efficaci e garantendo al contempo la sigillatura, può rivelarsi un compito arduo. I raccordi filettati vengono spesso evitati nei sistemi a idrogeno. Gli ingegneri preferiscono ricorrere a costosi processi di assemblaggio, come la saldatura, o a metodi di collegamento più onerosi. In questo studio, dimostreremo l'efficacia dei sigillaraccordi anaerobici e del filo sigillaraccordi, due prodotti eccezionali per la prevenzione delle perdite nei raccordi filettati, in grado di offrire un contributo cruciale per l'integrazione dell'idrogeno verde nella nostra ricerca di soluzioni energetiche sostenibili.



# INTRODUZIONE

## IDROGENO: UNA SOLUZIONE ENERGETICA PROMETTENTE

**L'idrogeno fornisce un mezzo ideale per lo stoccaggio e il trasporto di energia. Nella sua forma molecolare pura (H<sub>2</sub>) è raro sul nostro pianeta e di conseguenza deve essere prodotto, o dall'acqua per elettrolisi, o dal gas naturale e dal carbone. In determinate condizioni che dipendono dal modo in cui viene prodotto, l'idrogeno può essere una soluzione energetica sostenibile e sostituire o rimpiazzare fonti energetiche con un maggiore impatto sull'ambiente.**

Secondo il report RSE "Hydrogen. An Energy Carrier for Decarbonization", l'idrogeno verde è tra le principali opzioni per la decarbonizzazione completa del sistema energetico entro il 2050. La Commissione europea prevede che l'uso di idrogeno verde crescerà fino a costituire il 13-14% dell'economia energetica di qui al 2050; secondo l'International Energy Agency, i veicoli a idrogeno a livello globale ammonteranno a circa 2,5 milioni prima della fine del 2030.

**Lo sviluppo di questo settore è indubbiamente favorito da alcune caratteristiche intrinseche dell'idrogeno che possono essere riassunte come segue:**

- › È l'elemento più abbondante in natura (oltre il 90% della materia nell'universo è costituito da idrogeno) e la terra ne è molto ricca; basti pensare al fatto che ogni molecola d'acqua contiene due atomi di idrogeno.
- › È un gas altamente infiammabile che non rilascia CO<sub>2</sub> e i cui prodotti della combustione sono acqua e calore.
- › Ha un'elevata densità energetica (120 MJ/kg, a fronte dei 55,6 MJ/kg del metano, i 47,3 MJ/kg della benzina e i 44,8 MJ/kg del diesel).
- › È possibile stoccarlo in grandi quantità e per periodi di tempo prolungati.

L'idrogeno ha un enorme potenziale in termini di applicazio-



ne: dal suo uso tradizionale come reagente nelle industrie pesanti (fonderie, acciaierie, industrie siderurgiche, chimiche e petrolchimiche, fertilizzanti e compagnie aurifere), al suo impiego per la generazione di calore industriale nei processi produttivi “hard-to-abate” (come quello tessile o della carta), la generazione e lo stoccaggio di elettricità e l’alimentazione del trasporto pesante. Il report RSE menzionato sopra prevede che, da qui al 2050, l’idrogeno verrà sempre più utilizzato per scopi non tradizionali.

Stando ai dati dell’International Energy Agency, ogni anno vengono prodotti 70 milioni di tonnellate di idrogeno:

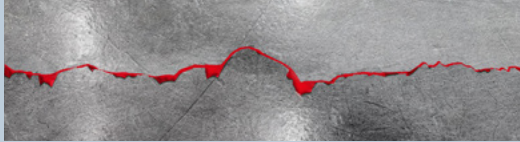
il 76% proviene da gas naturale, il 22% da carbone e il 2% da elettrolisi dell’acqua da fonti rinnovabili (IEA, 2019). Di conseguenza non tutto l’idrogeno è uguale; a seconda di come viene prodotto, assume convenzionalmente un colore diverso. Si parla così di idrogeno grigio se viene prodotto dalla combustione di fonti fossili e rilascia di conseguenza anidride carbonica; di idrogeno blu se viene prodotto da fonti fossili ma con sistemi di cattura del carbonio, ed è quindi in grado di ridurre le emissioni di gas serra degli stabilimenti inquinanti o di rimuoverle direttamente dall’atmosfera; di idrogeno verde se viene prodotto da energia rinnovabile (ad es. solare ed eolica) e di idrogeno viola o rosa se viene prodotto dall’energia nucleare. Ne consegue che non si può parlare genericamente di idrogeno, ma occorre studiarne e tracciarne la catena di produzione.

Nella Strategia europea per l’idrogeno, la priorità per il conseguimento degli obiettivi di carbon-neutrality entro il 2050 consiste nello sviluppo di idrogeno verde nel lungo periodo, promuovendo un sistema energetico integrato, e

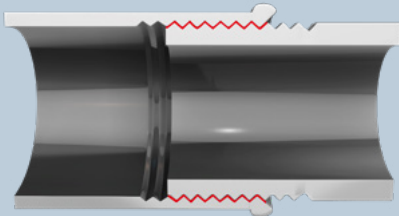
di idrogeno blu nella fase di transizione a breve e medio termine, in grado di ridurre rapidamente le emissioni derivanti dalla produzione di idrogeno e perseguire lo sviluppo di un mercato sostenibile su scala significativa. Chiaramente l’integrazione di fonti rinnovabili nella produzione di idrogeno gioca un ruolo importante in questo processo. Le energie rinnovabili, in particolare quella eolica e quella solare, non sono né prevedibili né programmabili: i pannelli solari, ad esempio, funzionano in modo efficiente solo di giorno e durante il periodo estivo e le pale eoliche solo in presenza di vento. Pertanto in assenza di determinate condizioni meteorologiche, il sistema si ferma e non produce energia. Ci sono inoltre occasioni in cui si verifica un eccesso di produzione di energia ed è spesso necessario limitare quest’ultima a causa di mancanza di capacità di stoccaggio energetico. Di conseguenza l’idrogeno potrebbe essere il complemento perfetto per la generazione di energia rinnovabile, fornendo un mezzo per stoccare l’energia in eccesso per un uso successivo.

**Per risolvere il problema dello stoccaggio stagionale, la soluzione più pulita e più efficiente consiste nell’utilizzare l’energia proveniente da fonti rinnovabili per la produzione di elettricità, che può quindi essere utilizzata in un elettrolizzatore per convertire l’acqua in idrogeno e ossigeno. L’idrogeno generato può quindi essere distribuito immediatamente attraverso reti di gas naturale o stoccato in serbatoi e riconvertito quindi in elettricità, ma anche in energia termica quando necessario. Si tratta di un circolo chiuso che si autoalimenta e può essere applicato a livello industriale e persino a livello di “smart city”.**

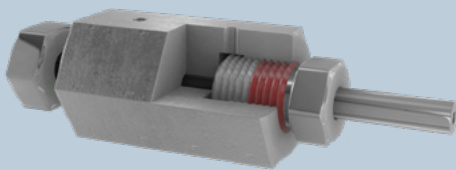




Anche se finemente lavorati, tutti i materiali presentano rugosità superficiale. Di conseguenza, anche in assemblaggi precisi come quelli a interferenza saranno presenti punti di contatto e vuoti tra le parti. Questo può creare percorsi di fuga, in particolare nel caso di molecole piccole come quelle di idrogeno. Una volta applicati, gli adesivi anaerobici si distribuiscono in modo uniforme, riempiendo tutti gli spazi e creando un contatto completo tra le parti, garantendo così una tenuta completa e affidabile.



Nei raccordi in metallo non si verifica mai un contatto completo tra le parti, altrimenti sarebbe impossibile assemblarli. Per questo motivo è essenziale applicare in modo uniforme prodotti che possano riempire gli spazi vuoti e creare una tenuta completa, prevenendo le perdite. I prodotti anaerobici, come pure LOCTITE 55, offrono una soluzione affidabile e durevole per sigillare persino le molecole più piccole come quelle dell'idrogeno.



Una volta applicato un adesivo anaerobico a un raccordo filettato, questo si distribuisce in modo uniforme durante l'assemblaggio, creando un'area di contatto completa e omogenea, così da assicurare una tenuta sicura e affidabile.

Insieme alle sfide associate allo stoccaggio dell'idrogeno, anche il trasporto costituisce una delle criticità nella transizione all'idrogeno, principalmente perché è necessario garantire la sua sostenibilità. Al giorno d'oggi, l'idrogeno viene trasportato sotto forma di gas compresso in bombole, in forma liquida in serbatoi criogenici e tramite idrogenodotti. Il trasporto in condotte dedicate o in miscela con il gas naturale sembra essere, almeno sulla carta, l'opzione più ragionevole.

Le perdite di idrogeno costituiscono una grave sfida per le condotte di gas naturale. Dal momento che l'idrogeno può fuoriuscire anche più facilmente del metano attraverso i fori più piccoli, le crepe e i cordoli di saldatura, il trasporto e lo stoccaggio di questo gas costituiscono un grosso ostacolo alla sua più ampia adozione come combustibile e materia prima. La permeazione e l'infragilimento da idrogeno aggravano ulteriormente il problema.

Il tasso di perdita del gas naturale è già più elevato di quello stimato dall'Environmental Protection Agency. Stando a una ricerca pubblicata sull'American Journal of Science, le perdite nella catena di fornitura del metano negli Stati Uniti nel 2015 ammontavano al 2,3% della produzione lorda, circa il 60% in più rispetto alla stima dell'inventario EPA (Alvarez et al., 2018). Il white paper "Atmospheric implications of increased hydrogen use" (aprile 2022) commissionato dal governo britannico e redatto da scienziati delle Università di Cambridge e Reading afferma che i tassi di perdita per l'idrogeno sono probabilmente più alti a causa delle dimensioni minori delle molecole di  $H_2$  rispetto a quelle di  $CH_4$ .

# SOLUZIONI SIGILLANTI CONVENIENTI PER I RACCORDI FILETTATI NELLE CONDOTTE DI IDROGENO

Per questi motivi spesso si consiglia di saldare o evitare del tutto i raccordi filettati. Questo implica costi significativi per un sistema a causa del ricorso a componenti più costosi, come alternative ai raccordi filettati, o della manodopera specializzata necessaria per realizzare la saldatura. Tali costi possono essere evitati o ridotti se si utilizza un sigillante appropriato per la realizzazione di una sigillatura affidabile con raccordi filettati prontamente disponibili. Le linee guida fornite dal codice dell'American Society of Mechanical Engineers (ASME) per le condotte di idrogeno e gli idrogenodotti (B31.12-2023) prendono in considerazione l'uso di raccordi filettati. È possibile utilizzare giunti filettati conici (NPT conformemente ad ASME B1.20.1) su sistemi con pressioni di progetto inferiori a 20.670 kPa (3.000 psig) e fino a 48.280 kPa (7.000 psig) quando specificato dal progetto ingegneristico (ASME, 2023).

Gli adesivi e i sigillanti anaerobici sono perfetti per offrire una soluzione di sigillatura per l'idrogeno. Si tratta di adesivi reattivi che polimerizzano rapidamente formando una plastica termoindurente quando sono a contatto con superfici metalliche in assenza di aria.

Le filettature metalliche a stretto contatto creano condizioni di polimerizzazione quasi perfette; di conseguenza questi materiali sono ideali come sigillaraccordi, superando molti dei limiti dei metodi di sigillatura tradizionali. Se applicati alle filettature allo stato liquido, sono in grado di riempire qualsiasi vuoto o imperfezione tra gli accoppiamenti. Se confinati tra le filettature metalliche, l'ossigeno è insufficiente per mantenere il materiale stabile nel suo stato liquido – la polimerizzazione rapida crea quindi una plastica termoindurente che offre un legame meccanicamente resistente tra i due componenti. Dal momento che le prestazioni di sigillatura non dipendono dalla compressione tra le filettature, l'assemblaggio può inizialmente essere allineato secondo un orientamento qualsiasi ed eventuale materiale in eccesso che fuoriesce dal giunto può essere rimosso facilmente. Questo significa che il giunto ha un aspetto pulito ed è in grado di resistere all'allentamento causato dalle vibrazioni, a temperature oltre 200 °C e a pressioni fino alla pressione di scoppio nominale della maggior parte dei sistemi. Un'ulteriore analisi sui sigillaraccordi anaerobici e sulla loro capacità di fornire una soluzione di sigillatura per gas e liquidi è contenuta nel white paper di McGurk et al. [7].



# **METODO DI TEST**

# **TEST DEI SIGILLARACCORDI**

# **PER LA PREVENZIONE DELLE**

# **PERDITE DI IDROGENO**

Per dimostrare la compatibilità e l'efficacia dei suoi sigillanti, Henkel ha progettato un esperimento e ha quindi incaricato un laboratorio esterno di eseguire un test delle perdite di idrogeno a media pressione su tre diversi tipi di sigillaraccordi, utilizzando il metodo della caduta di pressione. Inoltre i sigillanti sono stati utilizzati su assemblaggi che utilizzano sia la filettatura NPT (American National Standard Taper Pipe) che quella BSPT (British Standard Pipe Taper), ovvero i tipi di filettatura per tubi più diffusi a livello globale. Tutti gli assemblaggi erano costituiti da componenti in acciaio inossidabile 304 visto che le leghe della serie 300 sono le più utilizzate nei sistemi di tubazioni per il trasporto di gas (European Industrial Gases Association, 2014).

Poiché non esistono standard di riferimento relativi ai test per sigillanti dell'idrogeno, abbiamo creato una configurazione di test basata sugli standard disponibili, come ASTM D6396 (Standard Test Method for Testing of Pipe Thread Sealants on Pipe Tees), ASTM D1599 (Standard Test Method for Resistance to Short-Time Hydraulic Pressure of Plastic Pipe, Tubing, and Fittings), LOCTITE STM 772 (basata sui due standard ASTM precedenti) e EN 751-1 (Sealing materials for metallic threaded joints in contact with 1st, 2nd and 3rd family gases and hot water – Part 1: Anaerobic jointing compounds).

Sulla base di questi standard abbiamo creato uno strumento e definito i parametri per il test.

Per il test sono stati selezionati due tipi di sigillaraccordi anaerobici (LOCTITE 577 e LOCTITE 567) e un filo sigillaraccordi che non richiede polimerizzazione (LOCTITE 55). LOCTITE 577 è il sigillante anaerobico più comune per i raccordi BSPT o altri raccordi da filettatura parallela a conica, mentre LOCTITE 567 è il sigillante anaerobico più utilizzato per raccordi filettati NPT da conico a conico.

LOCTITE 55 è il filo sigillaraccordi che non richiede polimerizzazione e viene spesso utilizzato in applicazioni che richiedono piccole regolazioni prima dell'uso. Tutti questi sigillanti sono già certificati conformemente ad almeno un'approvazione regionale per il gas naturale. Poiché l'idrogeno è studiato per essere miscelato con il gas naturale nell'infrastruttura di gas naturale esistente, questa è stata una considerazione importante.

Il test prevedeva due livelli di pressione diversi. Nello specifico, per LOCTITE 55, la pressione testata era di 9 bar (131 psi) con un incremento a 10,3 bar (150 psi), mentre per LOCTITE 567 e 577 la pressione testata era di 20 bar (300 psi) con un incremento a 31 bar (450 psi).

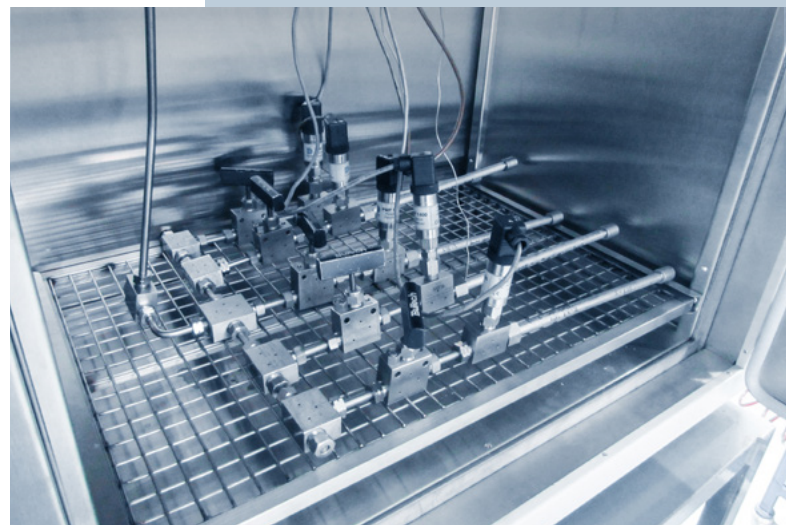


FIGURA 1: Test

# RISULTATI

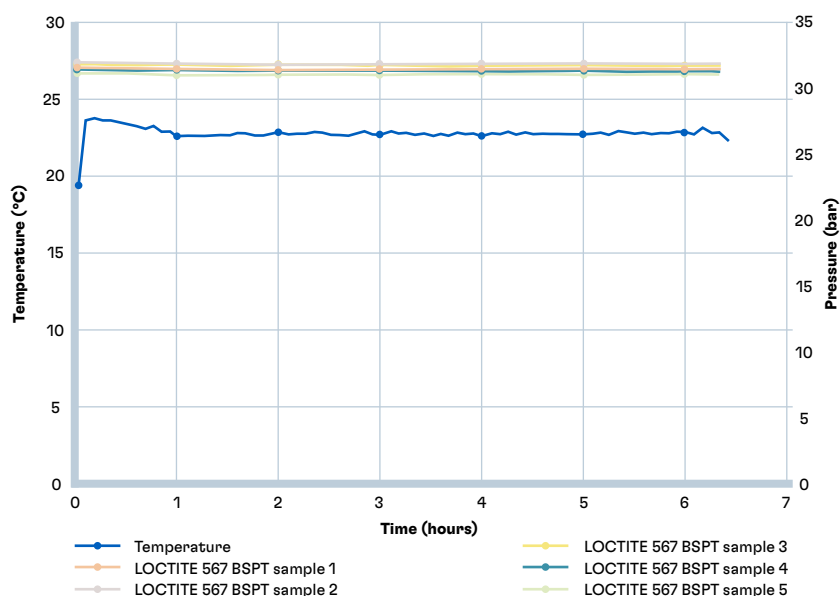
Per tutto lo svolgimento dei test sono state registrate la temperatura e la pressione. Sono stati tracciati punti per identificare eventuali perdite per ciascuno dei sigillaraccordi. Il volume di gas nel sistema era molto piccolo per cui qualsiasi caduta di pressione non sarebbe passata inosservata.



## LOCTITE 567

Nella Figura 2 vengono riassunti i risultati ottenuti per LOCTITE 567 in una delle condizioni del test di pressione. Nello specifico, il grafico mostra la pressione e la temperatura rispetto al test delle perdite di idrogeno a 31 bar, per i campioni con raccordo BSPT. Non è stata osservata alcuna diminuzione della pressione; di conseguenza non erano presenti perdite.

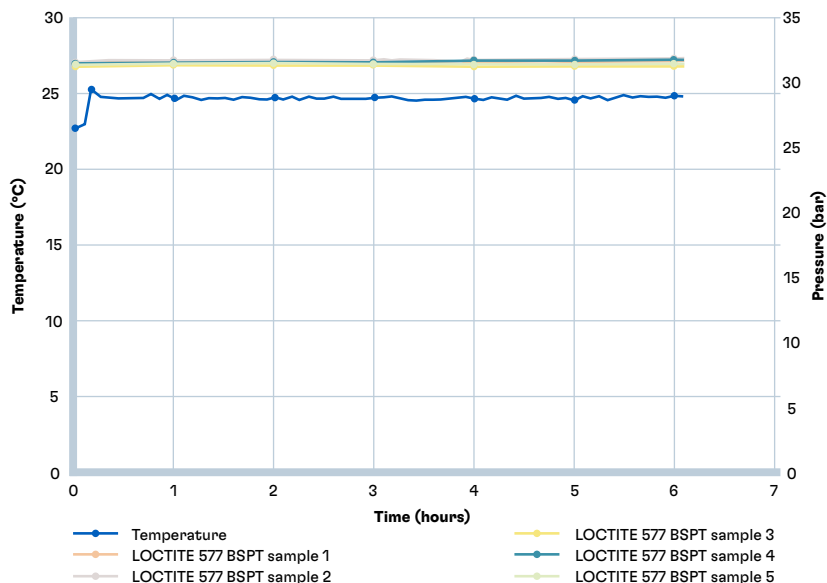
FIGURA 2: Grafico temperatura e pressione per raccordo BSPT con LOCTITE 567 a pressione 31 bar



## LOCTITE 577

Nella Figura 3 vengono riassunti i risultati ottenuti per LOCTITE 577, in una delle condizioni del test di pressione. Nello specifico, il grafico mostra la pressione e la temperatura rispetto al test delle perdite di idrogeno a 31 bar per i campioni con raccordo BSPT. Non è stata osservata alcuna diminuzione della pressione; di conseguenza non erano presenti perdite.

FIGURA 3: Grafico temperatura e pressione per raccordo BSPT con LOCTITE 577 a pressione di 31 bar

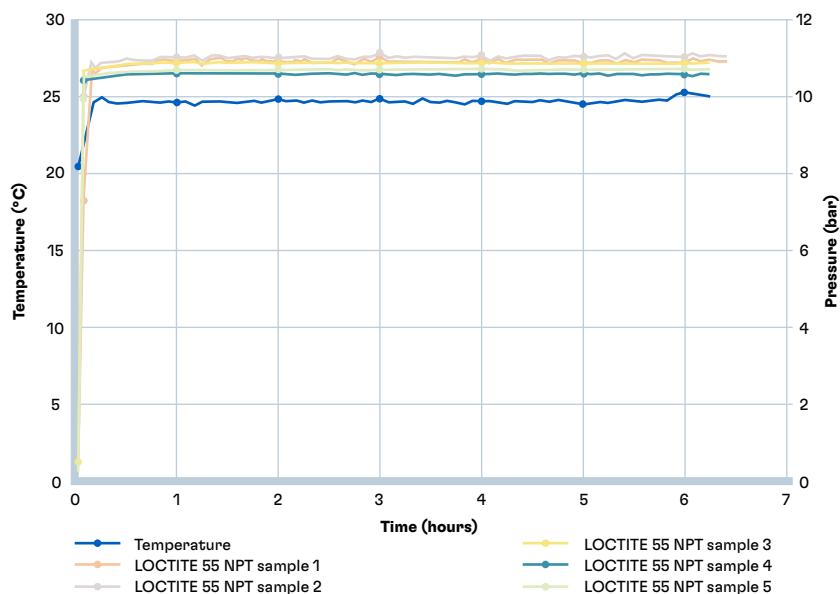




### LOCTITE 55

Nella Figura 4 vengono riassunti i risultati ottenuti per LOCTITE 55, in una delle condizioni del test di pressione. Nello specifico, il grafico mostra la temperatura e la pressione nella seconda condizione di test della pressione di 10,3 bar per il raccordo NPT. Non c'è stata un'apparente riduzione della pressione, per cui si può concludere che non erano presenti perdite.

FIGURA 4: Grafico temperatura e pressione per raccordo NPT con LOCTITE 55 a pressione di 10,3 bar



## TABELLA RIEPILOGATIVA

Nella Figura 5 vengono illustrati tutti i risultati ottenuti dai test a pressioni diverse e per i diversi tipi di raccordi NPT e BSPT:

Assemblaggio testato	Sigillante	Pressione (fase 1)	Risultato	Pressione (fase 2)	Risultato	Gas testato
<b>Acciaio inossidabile 304 NTP ¼"</b> • Tubo filettato (10") • Connettore • Tappo	LOCTITE 55	131 psi (9 bar)	✓	150 psi (10,3 bar)	✓	<b>Idrogeno</b>
	LOCTITE 567	300 psi (20 bar)	✓	450 psi (31 bar)	✓	
	LOCTITE 577	300 psi (20 bar)	✓	450 psi (31 bar)	✓	
<b>Acciaio inossidabile 304 BSPT ¼"</b> • Tubo filettato (12") • Connettore • Tappo (acciaio inossidabile 316)	LOCTITE 55	131 psi (9 bar)	✓	150 psi (10,3 bar)	✓	
	LOCTITE 567	300 psi (20 bar)	✓	450 psi (31 bar)	✓	
	LOCTITE 577	300 psi (20 bar)	✓	450 psi (31 bar)	✓	

FIGURA 5: Tabella riepilogativa dei risultati dei test

# CONCLUSIONI

- › I test di sigillatura descritti in questo documento sono stati effettuati per dimostrare come i sigillaraccordi anaerobici e il filo sigillaraccordi LOCTITE 55 forniscano una soluzione di sigillatura efficace per la prevenzione delle perdite di idrogeno nei raccordi filettati.
- › Per misurare la pressione sono stati utilizzati trasduttori di pressione con un'uscita elettrica tarata in modo da fornire una lettura della pressione con un intervallo di accuratezza compreso tra 0,05 e 0,1 bar.
- › Tutti i campioni sono stati testati con successo. Non si sono verificate cadute di pressione significative in nessuno dei campioni testati a nessuna delle pressioni prese in considerazione.
- › Si può concludere che il filo sigillaraccordi che non richiede polimerizzazione LOCTITE 55 offre una soluzione per la sigillatura dell'idrogeno a basse pressioni fino a 10 bar (150 psi) su raccordi NPT e BSPT.
- › I sigillaraccordi anaerobici che richiedono polimerizzazione hanno sigillato con successo l'idrogeno fino a una pressione di 31 bar (450 psi) su raccordi NPT e BSPT. Dal momento che questi prodotti polimerizzano per formare un polimero termoindurente, ci si aspetta che possano sigillare a pressioni persino più alte, sebbene non sia stato possibile dimostrarlo utilizzando le attrezzature di test disponibili.
- › Tutti i prodotti testati qui, insieme a LOCTITE 638, sono stati anche testati e certificati da Kiwa per applicazioni di sigillatura dell'idrogeno conformemente allo standard AR 214. Kiwa NV è un ente europeo attivo nel settore dei test, delle certificazioni e delle ispezioni.
- › I sigillanti valutati in questo report costituiscono un metodo pratico, affidabile e conveniente per la sigillatura di raccordi filettati per l'uso con l'idrogeno. I sigillaraccordi offrono inoltre un livello extra di sicurezza per la sigillatura di raccordi filettati, prevenendo l'autoallentamento, un aspetto importante visti i rischi di infiammabilità associati all'idrogeno.
- › I sigillaraccordi anaerobici sono inoltre stati utilizzati in applicazioni di idrogeno ad alta pressione. Sappiamo, inoltre, che alcuni clienti utilizzano i nostri sigillanti anaerobici a pressioni fino a 1.000 bar nelle loro applicazioni di sigillatura di raccordi per idrogeno. Al momento della redazione di questo documento, Henkel sta effettuando test di laboratorio in condizioni simili per convalidare l'applicabilità complessiva di questi prodotti per l'uso in ambienti

di idrogeno ad alta pressione. Nel caso di interesse per i risultati di questi test o di approfondimenti su questi prodotti per un'applicazione specifica, è possibile contattare gli autori del documento o il Tecnico Commerciale Henkel.



# REFERENZE

- [1] Report RSE “Hydrogen. An Energy Carrier for Decarbonization”, gennaio 2021
- [2] International Energy Agency (IEA) “The Future of Hydrogen”, giugno 2019
- [3] Ramón A. Alvarez, Daniel Zavala-Araiza, David R. Lyon, David T. Allen, Zachary R. Barkley, Adam R. Brandt, Kenneth J. Davis, Scott C. Herndon, Daniel J. Jacob, Anna Karion, Eric A. Kort, Brian K. Lamb, Thomas Lauvaux, Joannes D. Maasackers, Anthony J. Marchese, Mark Omara, Stephen W. Pacala, Jeff Peischl, Allen L. Robinson, Paul B. Shepson, Colm Sweeney, Amy Townsend-Small, Steven C. Wofsy e Steven P. Hamburg, “Assessment of methane emissions from the U.S. oil and gas supply chain”, American Journal of Science, giugno 2018
- [4] Nicola Warwick, Paul Griffiths, James Keeble, Alexander Archibald, John Pyle, Università di Cambridge e NCAS e Keith Shine, Università di Reading, “Atmospheric Implications of increased hydrogen use”, Governo del Regno Unito, aprile 2022
- [5] European Industrial Gases Association (EIGA), “Hydrogen Pipeline Systems”, doc. IGC 121/14, 2014
- [6] American Society of Mechanical Engineers, “Hydrogen Piping and Pipelines”, B31.12-2023
- [7] Ged McGurk, Mike Feeney, Siva Ayadurai, Oliver Droste, white paper “High pressure leak prevention – improved performance and reliability from anaerobic thread sealing compounds”, marzo 2016



## CONTATTI

### Henkel AG & Co. KGaA

Henkelstraße 67  
D-40589 Düsseldorf  
Tel.: (+49) 211 797 0  
Fax: (+49) 211 798 4008

[www.henkel-adhesives.de](http://www.henkel-adhesives.de)  
[www.henkel.de](http://www.henkel.de)

### Henkel Italia S.r.l.

Via C. Amoretti, 78  
20157 Milano  
Tel.: (+39) 02 35792963  
Assistenza Tecnica  
Numero Verde: 800694255

[www.henkel-adhesives.it](http://www.henkel-adhesives.it)  
[www.henkel.it](http://www.henkel.it)

Se non diversamente indicato, tutti i marchi utilizzati nel presente documento sono marchi e/o marchi registrati di Henkel e/o delle sue affiliate negli Stati Uniti, in Germania o altrove.

© 2024 Henkel AG & Co. KGaA. Tutti i diritti riservati

