

Introduzione

Nel teleriscaldamento a corto e lungo raggio vengono impiegati numerosi sistemi di tubazioni diversi. Oltre ai classici tubi in acciaio isolati, negli ultimi anni sono entrati sul mercato un gran numero di produttori con tubi in plastica isolati. Soprattutto nel settore dell'isolamento e degli agenti schiumogeni, c'è uno sviluppo storico più lungo, che verrà riassunto qui di seguito. Questa presentazione dovrebbe aiutare a comprendere le premesse per l'ultima generazione di agenti schiumogeni fisici, le idrofluoroolefine (HFO), e ad essere in grado di classificare questa classe di sostanze.

1. Tipi base di tubi isolati per il teleriscaldamento a corto e lungo raggio

I tubi isolati necessari per il trasporto dell'acqua calda possono essere suddivisi grosso modo in sistemi di tubazioni rigide e flessibili. Entrambi hanno i loro vantaggi e svantaggi e dipende dai rispettivi requisiti tecnici quale sistema di tubazioni venga utilizzato nel singolo caso.

I sistemi di tubazioni rigide (tubi con guaina in plastica, KMR) sono costituiti da tubi di servizio in acciaio, da un isolamento termico (materiale isolante) e da una guaina esterna in polietilene (PE), che serve a proteggere l'isolamento. Questi sistemi di tubazioni sono concepiti per alte temperature e pressioni di esercizio e servono come condutture principali nelle reti di teleriscaldamento di grandi dimensioni. Questi tubi vengono forniti in barre e i tubi di servizio devono essere saldati in loco e le giunzioni devono essere isolate ulteriormente con manicotti e schiuma. La norma di base è la EN253.

I sistemi di tubazioni flessibili sono solitamente costituiti da tubi di servizio polimerici, un isolamento termico e una guaina esterna in PE (PMR, tubo di servizio polimerico). Le temperature e le pressioni di esercizio massime sono inferiori a quelle dei KMR. Però hanno il vantaggio che le lunghezze elevate possono essere posate in un unico pezzo, perché questo tipo di tubo può essere prodotto avvolto come un anello e consegnato così in cantiere. Sono frequenti lunghezze di diverse centinaia di metri. In questo modo si riduce notevolmente il costo della tecnologia di giunzione. La norma di base è la EN15632.



CALPEX PUR-KING

Sistema di tubazioni flessibile

PREMANT

Sistema di tubazioni rigido

Materiali isolanti termoplastici e duroplastici

Attualmente nel settore dei sistemi di tubazioni con tubi di servizio in plastica esistono due sistemi per sistemi sul mercato. Quelli che utilizzano come materiale isolante una schiuma di PE e quelli che presentano un materiale isolante reticolato chimicamente, cioè un termoindurente (PUR/PIR).

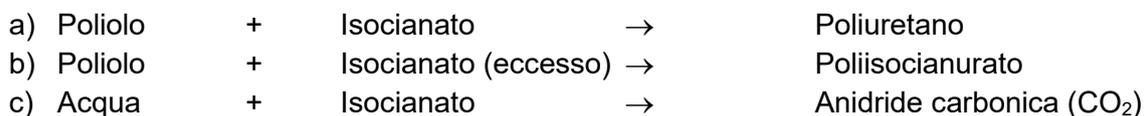
I materiali isolanti in PE sono normalmente prefabbricati e vengono applicati intorno ai tubi di servizio nel processo di produzione dei tubi isolati. Le schiume PE presentano pori relativamente grossolani e le cellule sono relativamente grandi. Inoltre, la densità delle schiume PE è relativamente bassa, motivo per cui il materiale isolante offre poca resistenza alla diffusione dei gas, cioè i gas cellulari possono facilmente raggiungere un equilibrio con l'aria ambiente. In effetti, per questo motivo le cellule contengono azoto e ossigeno. Pertanto non è possibile modificare in modo mirato la composizione dei gas cellulari per ridurre la conducibilità termica. Un'ulteriore caratteristica delle schiume PE è il fatto che non aderiscono o non si attaccano da sole ai tubi di servizio. Pertanto non è presente un collegamento ad accoppiamento di forza (sistema di tubazioni di servizio in plastica non bloccate EN15632-3).

I materiali isolanti termoindurenti sono solitamente schiume di poliuretano (PUR) o poliisocianurato (PIR). Queste schiume sono prodotte da una miscela bicomponente (2K) durante il processo di produzione del tubo isolato. Questi materiali isolanti non sono quindi prefabbricati, ma si formano solo nel corso della produzione attraverso una reazione chimica. Durante la formazione della schiuma, i tubi di servizio vengono ricoperti in modo ottimale da essa, garantendo una solida aderenza e un collegamento ad accoppiamento di forza. Questi materiali isolanti sono a cellule chiuse e hanno anche una densità più elevata rispetto alle schiume in PE. Il tipo e la quantità di gas cellulari possono essere influenzati in modo mirato dal processo di produzione. La diffusione dei gas dell'aria nei pori della schiuma avviene solo molto lentamente, cioè l'isolamento termico può essere notevolmente migliorato attraverso la composizione dei gas cellulari.

Sistemi PUR e PIR termoindurenti

Le schiume a base di PUR e PIR hanno in comune il fatto che si formano quando polioli e isocianati reagiscono tra loro. In questo caso si tratta di termini generici, vale a dire che in pratica esiste un'ampia varietà di polioli e isocianati di diversi fornitori. Ne risulta anche un gran numero di schiume con diversi profili di proprietà, a seconda dei materiali di partenza utilizzati e del loro rapporto.

Le seguenti equazioni di reazione sono importanti per una maggiore comprensione:



A seconda della quantità del componente isocianato utilizzato, si verifica una maggiore formazione di PUR o PIR. Per i sistemi PIR è necessario un quantitativo relativamente maggiore di isocianato (oltre ad altre misure nel controllo della reazione). Il vantaggio dei sistemi PIR è la loro maggiore resistenza alle variazioni di temperatura e la loro ridotta infiammabilità. Tuttavia, la loro produzione in un processo continuo è associata a grandi ostacoli.

Azione di un agente schiumogeno chimico

È sempre presente una piccola quantità di acqua nei polioli utilizzati, in modo che durante la formazione della schiuma PUR o PIR si formi sempre anche CO₂ (vedi l'equazione di reazione in alto). Durante la reazione chimica, si forma simultaneamente la rete molecolare del poliuretano o del poliisocianurato e quanto più questa reazione progredisce, tanto più la schiuma diventa dura. Come gas, la CO₂ formatasi tende per natura a fuoriuscire e quindi la massa non ancora completamente solidificata viene gonfiata. Ecco come si forma la schiuma.

Nel caso di questo tipo di formazione di schiuma causata dalla CO₂ formatasi durante la reazione si parla anche di agente schiumogeno chimico. Spesso si utilizza anche il concetto di un sistema a base di acqua, perché la presenza di acqua nel poliolo è il presupposto fondamentale per la formazione di CO₂.

Azione di un agente schiumogeno fisico

È possibile favorire ulteriormente il processo di schiumatura con i cosiddetti agenti schiumogeni fisici e allo stesso tempo migliorare le proprietà finali della schiuma. A temperatura ambiente, un agente schiumogeno fisico è normalmente presente come liquido e viene miscelato con i componenti schiumogeni. Durante la reazione chimica viene rilasciato calore, causando l'evaporazione dell'agente schiumogeno fisico a bassa ebollizione e il passaggio allo stato gassoso. Questo fa sì che la massa reagente, non ancora completamente indurita, si espanda fino a formare una schiuma.

Il prodotto alla fine del processo di produzione è la schiuma finita. Questa è costituita da molti piccoli pori, che sono anche chiamati cellule. La matrice polimerica costituisce l'ossatura per questo. Le cellule contengono i cosiddetti gas cellulari. Da un lato, questi sono gli agenti schiumogeni fisici aggiunti che sono ora intrappolati nelle cellule. D'altra parte, sono presenti anche la CO₂, che si forma sempre in una certa misura, e in piccola misura i gas che costituiscono la parte principale dell'aria ambiente, l'azoto e l'ossigeno.

Tipi di agenti schiumogeni fisici

Gli agenti schiumogeni fisici per le schiume isolanti sono principalmente gli/i (idro)carburi alogenati o semplici idrocarburi a basso peso molecolare.

(Idro)carburi alogenati

Dopo che l'americano Thomas Midgley aveva inventato il CFC-11, gli/i (idro)carburi alogenati furono usati per la prima volta come refrigeranti nei frigoriferi negli anni '30 del XX secolo ^[1]. Il loro interessante profilo di proprietà ha reso rapidamente i CFC indispensabili per una miriade di applicazioni tecniche. Dagli anni '60, il CFC-11 è stato utilizzato anche per la produzione di schiume PUR ^[2].

Un tipico rappresentante di questa classe di sostanze ha la formula riportata nella Tabella 1, la CFC11, nota anche come Freon11. I clorofluorocarburi sono caratterizzati dal fatto che sono composti solo da cloro (Cl), fluoro (F) e carbonio (C) e presentano solo legami semplici. Ne è derivata l'abbreviazione CFC (il carbonio in inglese è "carbon", da cui la "C" invece della "K" della parola tedesca "Kohlenstoff"). Le molecole di CFC non contengono idrogeno. Pertanto, il termine tedesco FCKW (clorofluorocarburi) in realtà non è corretto, ma comunque si è affermato nel linguaggio comune.

Una pubblicazione del 1974 segnò l'inizio del dibattito scientifico sui pericoli per lo strato di ozono stratosferico rappresentati dai CFC, che fino ad allora erano stati ampiamente utilizzati [5]. Ciò ha portato ad una rivalutazione di questa classe di sostanze. Nella Convenzione di Montreal del 1987 si decise di eliminarne gradualmente l'uso [6]. In seguito sono stati sviluppati e commercializzati numerosi prodotti successivi come alternative.

Substanz- klasse	CFC Chlor Fluor Kohlenstoff	HCFC Hydro Chlor Fluor Kohlenstoff	HFC Hydro Fluor Kohlenstoff	HFO Hydro Fluor Olefin
Typischer Vertreter	CFC-11	HCFC-141b	HFC-245fa	HFO-1336mzz
Struktur- Formel	$\begin{array}{c} \text{Cl} \\ \\ \text{Cl}-\text{C}-\text{F} \\ \\ \text{Cl} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{Cl} \quad \text{H} \\ \quad \\ \text{Cl}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\ \quad \\ \text{F} \quad \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{F} \quad \text{H} \\ \quad \\ \text{F}-\text{C}-\text{C}-\text{F} \\ \quad \\ \text{F} \quad \text{H} \end{array}$	
ODP	1 [3]	0.11 [3]	0 [3]	2 [4]
GWP	3800 [3]	600 [3]	1430 [3]	8.9 [4]
Lebensdauer an der Atmosphäre	45 Jahre [9]	9.2 Jahre [15]	7.4 Jahre [8]	22 Tage [4]

Substanzklasse	Classe di sostanza
Typischer Vertreter	Rappresentante tipico
Strukturformel	Formula di struttura
ODP	ODP
GWP	GWP
Lebensdauer an der Atmosphäre	Durata nell'atmosfera
CFC Chlor Fluor Kohlenstoff	CFC Cloro Fluoro Carburo
HCFC Hydro Chlor Fluor Kohlenstoff	HCFC Idro Cloro Fluoro Carburo
HFC Hydro Fluor Kohlenstoff	HFC Idro Fluoro Carburo
HFO Hydro Fluor Olefin	HFO Idro Fluoro Olefina
45 Jahre	45 anni
9.2 Jahre	9,2 anni
7.4 Jahre	7,4 anni
22 Tage	22 giorni

Tabella 1: Rappresentanti tipici di (idro)carburi alogenati che sono stati utilizzati come agenti schiumogeni.

La capacità di una sostanza di danneggiare lo strato di ozono sotto l'influsso dei raggi UV è chiamata Ozone Depletion Potential (ODP; potenziale di riduzione dell'ozono). Si tratta di una grandezza relativa, con CFC-11 basato su un ODP di 1. Inizialmente lo sviluppo tecnico aveva l'obiettivo di trovare agenti schiumogeni che presentassero un ODP notevolmente inferiore a quello dei CFC.

Gli idroclorofluorocarburi (HCFC) sono stati il primo grande progresso in termini di ODP e hanno mostrato valori ben al di sotto di 1. Per l'HCFC-141b mostrato è indicato ad esempio un valore di 0,11^[3]. Gli HCFC sono composti da idrogeno (in inglese "Hydrogen", da cui la H), cloro, fluoro e carbonio e presentano solo legami semplici.

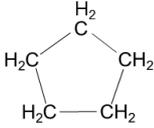
Lo sviluppo è continuato con gli idrofluorocarburi (HFC), che consistono solo di idrogeno, fluoro e carbonio e che presentano, anch'essi, solo legami semplici. Il loro ODP è in realtà pari a zero, il che significa che un grave problema ambientale di questa classe di sostanza è stato risolto in modo durevole.

Tuttavia, le classi di sostanze finora descritte (CFC, HCFC, HFC) hanno un altro svantaggio comune, ovvero il loro effetto come gas serra. Questo valore è noto in italiano come potenziale di riscaldamento globale, di solito abbreviato con l'acronimo GWP (dall'inglese Global Warming Potential)^[7]. Questo valore è indicato in relazione alla CO₂ (GWP = 1) e, per tutti gli (idro)carburi alogenati, è superiore di diversi ordini di grandezza a quelli della CO₂. La cosiddetta Atmospheric Lifetime è un buon indicatore della capacità di una sostanza di agire come gas serra. La durata di una sostanza nell'atmosfera indica il tempo necessario per la decomposizione naturale della sostanza. Qui, i periodi da anni a decenni sono tipici per le classi di sostanza discusse, che presentano solo legami semplici.

Gli idrofluoroolefine (HFO) sono lo sviluppo più recente. Questi contengono ora almeno un doppio legame nella molecola, il che è espresso dal termine olefina. Il doppio legame è indicato nella formula di struttura dalla doppia linea tra i due atomi di carbonio medi. Inoltre, contengono almeno idrogeno, fluoro e carbonio. Questo doppio legame è di grande importanza chimica. Nell'atmosfera, la decomposizione della molecola inizia in questa posizione sotto l'influenza della luce UV. Infine, l'acqua e l'ossigeno attaccano questo doppio legame, riducendo la durata di queste sostanze in queste condizioni (luce UV, umidità) a pochi giorni. Di conseguenza, il trasporto negli strati superiori dell'atmosfera è comunque impedito e il potenziale di riscaldamento globale degli HFO viene ridotto a zero.

Idrocarburi semplici

Una conseguenza diretta dei risultati relativi ai danni allo strato di ozono è stato l'uso di idrocarburi a basso peso molecolare (HC) come agenti schiumogeni a partire dagli anni '80 del XX secolo^[8]. Questi contengono solo carbonio e idrogeno e sono quindi privi di alogeni. Fino ad allora, i vantaggi tecnici di queste sostanze per la produzione di schiuma erano ben noti, ma la loro elevata infiammabilità ne ha impedito a lungo l'uso tecnico in questo settore. Tuttavia, lo sviluppo di impianti adeguati, che hanno permesso il trattamento sicuro dei polioli e degli isocianati in presenza di HC, ha cambiato questa situazione in breve tempo. La tabella 2 mostra i possibili candidati e uno sguardo ai valori di conducibilità termica spiega perché il ciclopentano si è affermato come agente schiumogeno fisico per le schiume PUR e PIR. Una volta effettuati gli investimenti nell'impiantistica e nello stoccaggio dell'agente schiumogeno, è disponibile un agente schiumogeno che ha una bassa conducibilità termica e, inoltre, è economico e poco rilevante dal punto di vista ecologico.

Substanz	Iso-Butan	Iso-Pentan	N-Pentan	Cyclopentan
Struktur-Formel	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{H}_3\text{C} - \text{C} - \text{CH}_3 \\ \\ \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{H}_3\text{C} - \text{C} - \text{CH}_2 - \text{CH}_3 \\ \\ \text{H} \end{array}$	$\text{H}_3\text{C} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_3$	
ODP	0 ^[10]	0 ^[10]	0 ^[10]	0 ^[10]
GWP	11 ^[10]	11 ^[10]	11 ^[10]	11 ^[10]
Lebensdauer an der Atmosphäre	Wenige Tage ^[10]	Wenige Tage ^[10]	Wenige Tage ^[10]	Wenige Tage ^[10]
λ - Wert [W/m*K]	0.016 @ 25 °C ^[10]	0.014 @ 25 °C ^[10]	0.015 @ 25 °C ^[10]	0.013 @ 25 °C ^[10]

Substanz	Sostanza
Strukturformel	Formula di struttura
ODP	ODP
GWP	GWP
Lebensdauer an der Atmosphäre	Durata nell'atmosfera
λ - Wert [W/m*K]	Valore λ [W/m*K]
Iso-Butan	Isobutano
Iso-Pentan	Isopentano
N-Pentan	n-Pentano
Cyclopentan	Ciclopentano
Wenige Tage	Pochi giorni

Tabella 2: Rappresentanti tipici di idrocarburi semplici che vengono utilizzati come agenti schiumogeni.

Confronto degli agenti schiumogeni fisici

Sebbene il ciclopentano sia ancora oggi l'agente schiumogeno standard per i tubi nel teleriscaldamento, la Tabella 3 mostra che gli HFO rappresentano attualmente il miglior compromesso tra disponibilità, conducibilità termica, innocuità ecologica e affidabilità operativa.

Il valore λ molto basso del CFC-11 rimane ineguagliato, ma quello dell'HFO dato come esempio è significativamente inferiore a quello della CO₂ o addirittura del ciclopentano.

Dal punto di vista dei costi, sarebbero preferibili i sistemi a base di acqua, ma i valori di isolamento ottenibili con essi non soddisfano già da anni le esigenze del mercato e gli obiettivi di risparmio energetico (vedi anche il confronto nella prossima sezione).

Zellgas	λ - Wert	ODP	GWP	Kosten	Sonstiges
	[W/m*K]				
CFC11	0.008 @ 25 °C [13]	1 [3]	3800 [3]	Mittel	Nicht mehr zugelassen
HCFC-141b	0.010 @ 25 °C [12]	0.11 [3]	600 [3]	Mittel	Nicht mehr zugelassen
HFC-245fa	0.013 @ 25 °C [11]	0 [3]	1430 [3]	Mittel	Nicht mehr zugelassen
HFO-1336mzz	0.011 @ 25 °C [4]	0 [4]	2.0 [4]	Hoch	Seit Kurzem kommerziell verfügbar
Kohlendioxid (CO ₂)	0.016 @ 25 °C [9]	0 [9]	1 [9]	0	Hohe Wärmeleitfähigkeit
Cyclopentan	0.013 @ 25 °C [10]	0 [10]	5 [10]	Niedrig	Brennbar
Stickstoff (N ₂)	0.026 @ 20 °C [14]	-	-	-	Aus der Umgebungsluft

Zellgas	Gas cellulare
CFC11	CFC11
HCFC-141b	HCFC-141b
HFC-245fa	HFC-245fa
HFO-1336mzz	HFO-1336mzz
Kohlendioxid	Anidride carbonica
Cyclopentan	Ciclopentano
Stickstoff	Azoto
λ - Wert	Valore λ
[W/m*K]	[W/m*K]
ODP	ODP
GWP	GWP
Kosten	Costi
Mittel	Medi
Hoch	Alti
Niedrig	Bassi
Sonstiges	Altro
Nicht mehr zugelassen	Non più ammesso
Seit Kurzem kommerziell verfügbar	Da poco disponibile in commercio
Hohe Wärmeleitfähigkeit	Elevata conducibilità termica
Brennbar	Combustibile
Aus der Umgebungsluft	Dall'aria ambiente

Tabella 3: Confronto tra gli agenti schiumogeni discussi e i gas cellulari, inclusa la loro conducibilità termica.

Requisiti tecnici

I requisiti tecnici per i sistemi di tubi flessibili isolati sono definiti nella famiglia di norme EN15632. Per quanto riguarda le proprietà dei tubi di servizio, la guaina esterna e l'isolamento, esistono requisiti minimi quantificabili che devono essere soddisfatti. Ma per quanto riguarda le prestazioni del materiale isolante, viene descritto solo il metodo di calcolo di base. Tuttavia, non è specificato alcun requisito minimo. Per questo motivo, il potere isolante stesso verrà descritto in breve qui di seguito.

Isolamento termico

La grandezza fisica che descrive quantitativamente un isolamento termico in termini di effetto isolante è la conducibilità termica. È abbreviato con la lettera greca λ (cioè: lambda). L'unità di questa grandezza è W/m^*K (cioè: watt per metro per kelvin). Quanto più basso è questo valore λ , tanto peggiore è il materiale che conduce il calore. Per i tubi isolati questo valore dovrebbe quindi essere il più basso possibile.

La conducibilità termica totale (λ_{tot}) risulta a sua volta dalla somma dei singoli componenti:

$$\lambda_{tot} = \lambda_{kon} + \lambda_{solid} + \lambda_{rad} + \lambda_{gas} / [W/m^*K]$$

Qui di seguito il significato:

λ_{kon} : L'apporto della convezione

λ_{solid} : La conducibilità termica della matrice vera e proprio, cioè del materiale solido che circonda i pori

λ_{rad} : La radiazione termica

λ_{gas} : La conducibilità termica dei gas cellulari

La proporzione di convezione (λ_{kon}) può essere trascurata nei materiali espansi a causa dei piccoli pori.

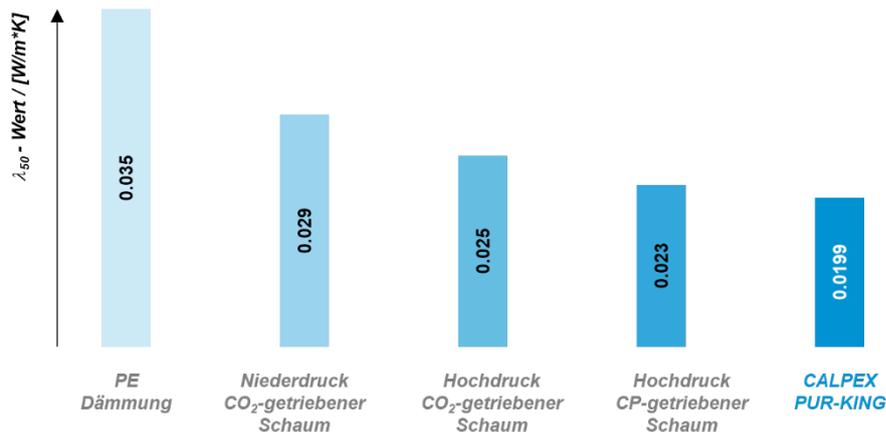
L'apporto della matrice solida (λ_{solid}) può essere ridotto per un dato materiale riducendo la densità della schiuma. Tuttavia, questa misura è soggetta a limiti ristretti perché la densità non può essere ridotta a piacere per ragioni di stabilità complessiva del tubo.

L'apporto della radiazione termica (λ_{rad}) può essere influenzato solo in una certa misura, ma questo ha effetto solo ad alte temperature.

In pratica, la conducibilità termica dei gas cellulari (λ_{gas}) e quindi gli agenti schiumogeni utilizzati rappresentano il modo più efficiente per la riduzione di λ_{tot} . Le conducibilità termiche dei gas cellulari mostrano notevoli differenze. In passato, questo era anche il motivo per cui venissero usati HCFC e HFC alogenati come agenti schiumogeni fisici nelle schiume PUR e PIR fino a quando il loro uso non è stato limitato o proibito da provvedimenti legislativi.

Valori U su tubi isolati

La determinazione dei valori U o dei valori λ viene di solito effettuata su un tubo con diametro nominale DN 50, perché i dispositivi di misura sono predisposti per questo e queste misure sono relativamente complesse. Insieme ai parametri geometrici del tubo, è possibile calcolare la conducibilità termica del materiale isolante. Questo valore di conducibilità termica viene poi utilizzato per calcolare anche i valori U degli altri diametri di tubo. Questo naturalmente presuppone che appartengano alla stessa serie di prodotti, cioè che il materiale isolante sia identico.



λ_{50} - Wert / [W/m*K]	Valore λ_{50} / [W/m*K]
PE Dämmung	Isolamento in PE
Niederdruck CO ₂ -getriebener Schaum	Bassa pressione Schiuma a base di CO ₂
Hochdruck CO ₂ -getriebener Schaum	Alta pressione Schiuma a base di CO ₂
Hochdruck CP-getriebener Schaum	Alta pressione Schiuma a base di CP
CALPEX PUR-KING	CALPEX PUR-KING

Figura 2: Le conducibilità termiche dei diversi materiali isolanti a confronto.

Poiché i valori U e i valori λ dipendono a loro volta dalla temperatura, è essenziale che la temperatura di misurazione sia inclusa nelle loro specifiche. Nell'industria edile normalmente ci si riferisce a una temperatura di 10 °C, nel teleriscaldamento, a 50 °C. Come regola generale, un aumento della temperatura di misurazione di 10 °C comporta un aumento del valore λ di circa 0,001 W/m*K.

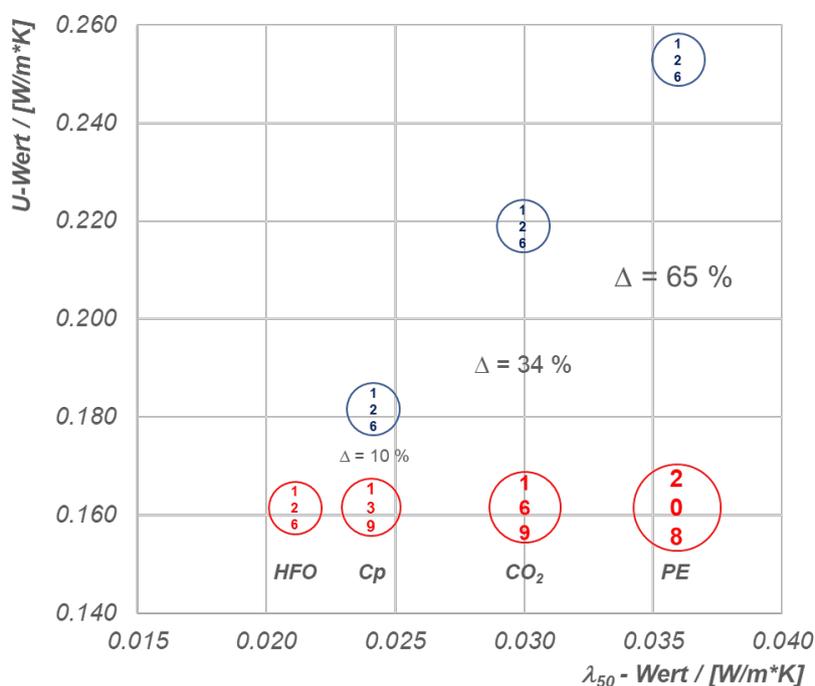
Questo verrà spiegato con il seguente esempio:

- Tubo isolato a parete liscia disposto centralmente con un tubo di servizio
- Diametro esterno del tubo di servizio = 63 mm
- Spessore della parete del tubo di servizio = 5,8 mm
- Spessore della parete della guaina in PE = 2,5 mm
- Conducibilità del tubo di servizio = 0,38 W/m*K @ 50 °C
- Conducibilità della guaina in PE = 0,33 W/m*K @ 50 °C
- Conducibilità della guaina in PE = 0,035 W/m*K @ 50 °C

- h) Conducibilità della schiuma PUR a base di CO₂ (bassa pressione) = 0,029 W/m*K @ 50 °C
- i) Conducibilità della schiuma PUR a base di CO₂ (alta pressione) = 0,029 W/m*K @ 50 °C
- j) Conducibilità della schiuma PUR a base di ciclopentano (Cp) = 0,023 W/m*K @ 50 °C
- k) Conducibilità della schiuma PUR a base di HFO (PUR-KING) = 0,0199 W/m*K @ 50 °C

La conducibilità termica della schiuma PUR a base di HFO è stata ottenuta come valore medio di un totale di dieci misurazioni individuali presso un istituto accreditato.

La figura 1 mostra i valori U calcolati con queste informazioni. In blu sono riportati i valori U per un diametro esterno di 126 mm con il rispettivo materiale isolante. Ora, con qualsiasi materiale isolante, è facilmente possibile ottenere un valore U come il tubo di riferimento, che presenta un isolamento con schiuma HFO-PUR. Tuttavia, questo può essere ottenuto solo aumentando considerevolmente il diametro esterno, cioè lo spessore dello strato isolante. Ad esempio, il diametro del tubo isolato in PE dovrebbe essere aumentato a 208 mm, cioè del 65%.



U-Wert / [W/m²K]	Valore U / [W/m²K]
HFO	HFO
Cp	Cp
PE	PE
λ ₅₀ - Wert / [W/m²K]	Valore λ ₅₀ / [W/m²K]

Figura 1: Valori U per tubi con diversi materiali isolanti e i diametri esterni richiesti per ottenere lo stesso valore U del tubo di riferimento isolato con HFO.

Una conseguenza di questa misura è l'aumento della quantità di materiale necessario per la fabbricazione dei tubi. Il materiale isolante deve infatti riempire un volume maggiore e si deve utilizzare più PE per la guaina esterna.

Un altro effetto svantaggioso dell'aumento del diametro esterno sono le lunghezze più corte delle bobine. Sebbene i tubi possano essere generalmente adattati alle esigenze del cliente in termini di lunghezza, con l'aumentare del diametro esterno aumentano anche i raggi di avvolgimento realizzabili. In definitiva, i diametri esterni delle bobine che ne risultano sono il fattore limitante, perché, per default, le spedizioni con il camion vengono effettuate solo fino a un diametro di xx m.

Con il PUR come tecnologia di isolamento più compatta nel campo del teleriscaldamento, si possono ottenere le lunghezze di consegna più lunghe e i costi di trasporto possono essere notevolmente ridotti (Tabella 4).

Dimensione Ø	Lunghezza della bobina *	Raggi di curvatura	Peso
[mm]	[m]	[m]	[kg]
76	1.000	0,45	900
91	715	0,55	858
111	450	0,60	630
126	291	0,65	698
142	260	0,70	806
162	149	0,90	671
182	86	1,10	620
202	80	1,40	672

Tabella 4: Lunghezze di bobina realizzabili e raggi di curvatura per tubi flessibili in plastica in funzione del diametro esterno del tubo. * Valida per un diametro esterno della bobina di 2,8 m.

Impermeabilità longitudinale all'acqua

Nei sistemi di tubazioni flessibili isolati con tubi di servizio in materiale sintetico, la norma EN15632-1 distingue tra tubi compositi e non compositi.

Nel caso di tubi compositi, il materiale isolante crea un collegamento ad accoppiamento di forza con i tubi di servizio e la guaina esterna. Poiché, durante la produzione dei tubi isolati, il materiale isolante viene formato da una miscela a 2 componenti, si attacca ai tubi di servizio. Il collegamento alla guaina esterna si ottiene grazie al fatto che la pellicola su cui viene trasportata la miscela a 2 componenti si fonde con la guaina esterna non appena questa viene estrusa. Tali tubi isolati normalmente presentano un'impermeabilità longitudinale all'acqua secondo la norma EN15632-2, paragrafo 6.4. L'accoppiamento di forza stesso è inoltre specificato da un valore minimo prestabilito per la resistenza al taglio assiale.

Nel caso di tubi non compositi, l'isolamento è, in un certo senso, solo avvolto sui tubi interni. Non è presente un collegamento ad accoppiamento di forza. Di conseguenza, è difficilmente possibile soddisfare i requisiti di impermeabilità longitudinale all'acqua e non è richiesta nemmeno una resistenza al taglio assiale. Per evitare che l'umidità eventualmente penetrata si diffonda in tutto il sistema di tubazioni, è necessario prevedere componenti speciali nell'area dei raccordi, che possano fermare l'umidità al più tardi in questo punto.

Un ulteriore svantaggio dei tubi non compositi è il fatto che i tubi di servizio sono più o meno liberi di muoversi, cioè possono cambiare improvvisamente posizione.

Riassunto

In termini di prestazioni tecniche, i materiali isolanti a base di schiume PUR sono attualmente la soluzione migliore per il teleriscaldamento a corto e lungo raggio. L'impiego delle tecnologie più recenti consente di ottenere bassi valori di conducibilità termica. Ciò si traduce in bassi valori U con piccoli diametri esterni. Diametri esterni più piccoli significano meno spazio necessario. Da un lato, questo semplifica la posa dei tubi nella fossa. D'altra parte, le bobine avvolte sono più lunghe, il che significa che è possibile trasportare più tubi per unità di volume, riducendo così i costi logistici.

Inoltre, il processo di produzione con un sistema reattivo a 2 componenti garantisce che la schiuma formi un legame solido con i tubi interni. L'uso di agenti schiumogeno della classe di sostanze degli HFO è attualmente lo sviluppo più moderna. Ciò consente di ridurre ulteriormente i valori U mantenendo gli stessi diametri esterni.

Bibliografia

- [1] Brevetto GB357263A.
- [2] Randall, D e Lee, S., *The Huntsman polyurethanes handbook*, John Wiley & Sons, 2002, ISBN 0-470-85041-8, pag. 127.
- [3] Banca dati dell'assicurazione sociale tedesca contro gli infortuni, disponibile all'indirizzo www.gestis.itrust.de
- [4] Scheda tecnica della ditta Chemours, disponibile all'indirizzo: https://www.chemours.com/Formacel/en_US/assets/downloads/opteon-1100-product-information.pdf
- [5] Molina, M. J., Rowland, F. S., *Nature*, 1974 (249), 810.
- [6] Il Protocollo di Montreal nella traduzione tedesca, disponibile all'indirizzo: <https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/19870179/201901010000/0.814.021.pdf>
- [7] https://it.wikipedia.org/wiki/Global_Warming_Potential
- [8] Randall, D e Lee, S., *The Huntsman polyurethanes handbook*, John Wiley & Sons, 2002, ISBN 0-470-85041-8, pag. 133.
- [9] Randall, D e Lee, S., *The Huntsman polyurethanes handbook*, John Wiley & Sons, 2002, ISBN 0-470-85041-8, pag. 131.
- [10] Randall, D e Lee, S., *The Huntsman polyurethanes handbook*, John Wiley & Sons, 2002, ISBN 0-470-85041-8, pag. 134.
- [11] Wang et. al., *J. Chem. Eng. Data*, 2006 (51), 1424.
- [12] Klempner, D. and Sendijarevic, V., *Handbook of Polymeric Foams and Foam Technology*, Hanser, 2004, pag. 545.
- [13] Perkins, R. et. al., *J. Chem. Eng. Data*, 2001 (46), 428.
- [14] Associazione degli ingegneri tedeschi (Ed.), *VDI-Wärmeatlas, Berechnungsblätter für den Wärmeübergang*, ISBN 3-18-401362-6, VDI Verlag, 7a edizione, Düsseldorf 1994, ISBN 3-18-401362-6, pag. Db29.
- [15] Randall, D e Lee, S., *The Huntsman polyurethanes handbook*, John Wiley & Sons, 2002, ISBN 0-470-85041-8, pag. 132.