

Risultati delle prove di laboratorio

su un tubo preisolato con barriera
alla diffusione dei gas EVOprotect®
dopo nove anni di esercizio



Il fattore invisibile che riduce l'efficienza: l'invecchiamento dell'isolamento in PUR

L'invecchiamento dell'isolamento in PUR è uno dei principali meccanismi che determinano l'aumento delle dispersioni termiche nei tubi preisolati per reti di teleriscaldamento.

Con il passare del tempo, gli agenti espandenti intrappolati nella struttura a celle chiuse della schiuma PUR diffondono gradualmente attraverso il tubo guaina in polietilene ad alta densità PE-HD, mentre gas atmosferici come ossigeno e azoto penetrano verso l'interno. Di

conseguenza, la conducibilità termica dell'isolamento può aumentare di oltre il 30%, in funzione del diametro del tubo, con un incremento diretto delle dispersioni termiche lineari lungo l'intera vita utile della condotta.

Questo fenomeno è un naturale processo di invecchiamento fisico-chimico che si verifica in tutti i sistemi di tubazioni preisolate e rappresenta una delle principali cause del progressivo deterioramento dell'efficienza energetica a lungo termine delle reti di teleriscaldamento.

Riduzione dell'invecchiamento del PUR grazie alla barriera alla diffusione dei gas EVOprotect®

La tecnologia EVOprotect® sviluppata da Radpol Pipes riduce in modo significativo la diffusione dei gas grazie all'integrazione di uno strato polimerico in EVOH, incorporato in modo permanente nel tubo guaina in PE-HD e posizionato tra due strati di polietilene modificato.

Questa soluzione costruttiva si distingue in modo sostanziale dai sistemi nei quali lo strato antidiffusione è collocato tra la schiuma PUR e il tubo guaina esterno. Il posizionamento della barriera all'interno della parete del tubo guaina minimizza il rischio di danneggiamento meccanico durante la posa e l'esercizio. Lo spessore complessivo dei due strati di polietilene, unita-

mente alla barriera integrata, è conforme ai requisiti della norma EN 253+A1:2024-06, di seguito indicata come EN 253.

Un elemento distintivo del sistema EVOprotect® è la possibilità di applicare la barriera alla diffusione in EVOH non solo nei tratti rettilinei di tubazione, ma anche nei raccordi e nei pezzi speciali preisolati. Si tratta di un vantaggio non offerto dalle soluzioni con tubo guaina di tipo CONTI.

I tratti di tubo guaina che incorporano la barriera polimerica in EVOH vengono inoltre utilizzati per la produzione di manicotti termorestringenti e di manicotti termorestringenti reticolati mediante irradiazione. I risultati delle prove ottenuti dal laboratorio di prova accreditato di Veolia Energia Warszawa S.A. - rapporto di prova VWAW/DT/TB/20/0511/MA-DPW/2 del 13.02.2021 - ne confermano l'elevata qualità e le prestazioni.

Le analisi del bilancio delle dispersioni termiche dimostrano che l'omissione della barriera alla diffusione nei raccordi e nei giunti preisolati riduce le prestazioni energetiche complessive del sistema di teleriscaldamento. Ciò conferma la necessità tecnica di applicare la barriera alla diffusione dei gas in modo coerente in tutti i componenti del sistema di tubazioni preisolate.

Funzioni principali della barriera alla diffusione dei gas EVOprotect®

- limitazione dello scambio gassoso tra le celle dell'isolamento in PUR e l'ambiente esterno;
- stabilizzazione a lungo termine della conducibilità termica dell'isolamento;
- protezione della schiuma PUR contro la degradazione fisico-chimica

Progettazione migliorata

– tecnologia della barriera a tre strati

Strato esterno del tubo guaina in PE-HD

Fornisce la protezione meccanica del tubo preisolato.

Strato interno in PE-HD

Protegge la barriera alla diffusione in EVOH. Il processo di trattamento corona aumenta l'adesione tra il tubo guaina in PE-HD e l'isolamento in PUR.

Filo di
allarme.

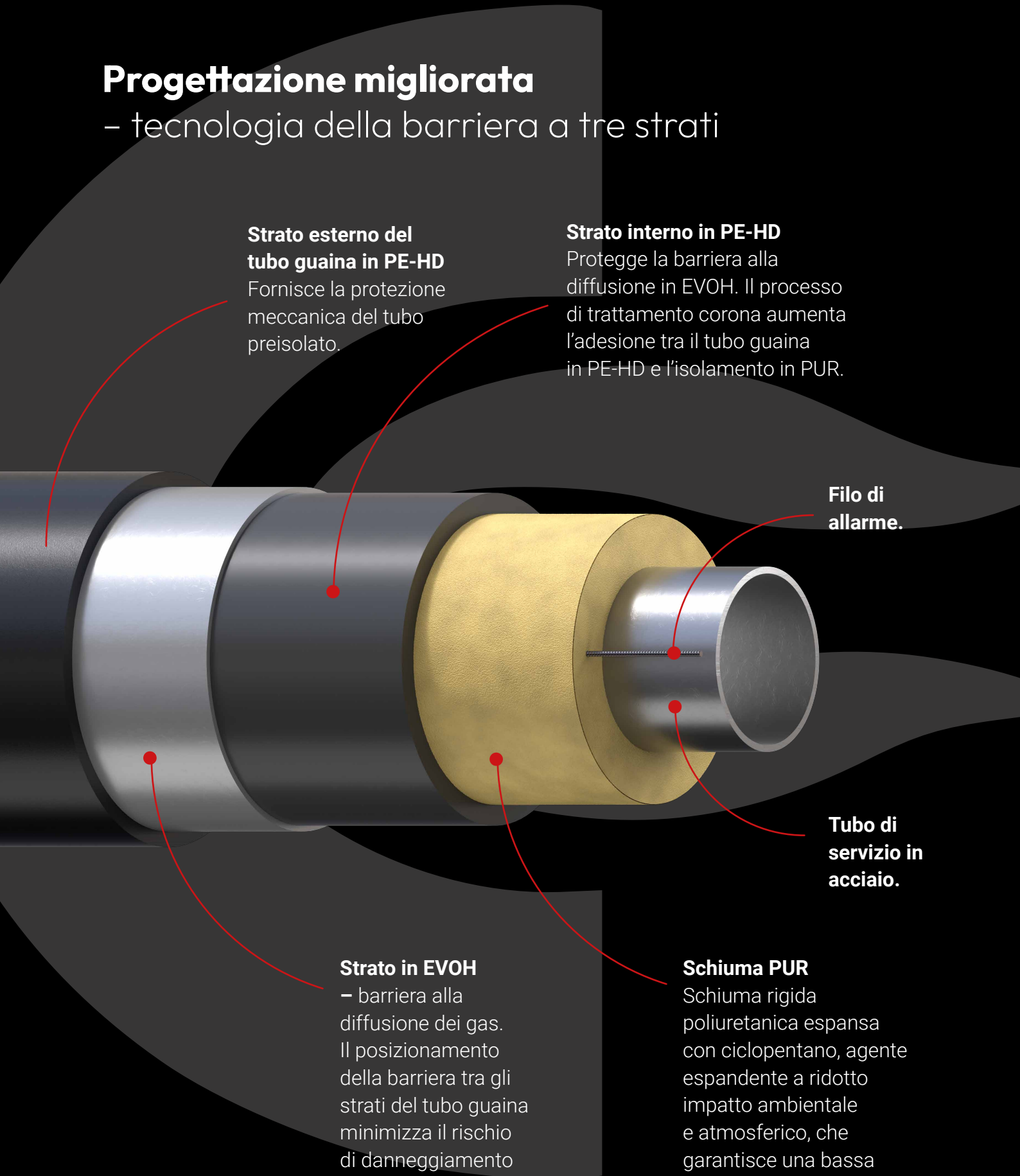
Tubo di
servizio in
acciaio.

Strato in EVOH

– barriera alla diffusione dei gas. Il posizionamento della barriera tra gli strati del tubo guaina minimizza il rischio di danneggiamento meccanico.

Schiuma PUR

Schiuma rigida poliuretanica espansa con ciclopentano, agente espandente a ridotto impatto ambientale e atmosferico, che garantisce una bassa conducibilità termica del nuovo isolamento.



Verifica indipendente dopo nove anni di esercizio



Per verificare la durabilità e le prestazioni a lungo termine delle tubazioni preisolate dotate di barriera alla diffusione dei gas EVOprotect®, è stato rimosso un tratto lungo 2 970 mm, di una tubazione di mandata DN65/140 da un allacciamento a edificio situato in via Daszyńskiego, a Kielce, in Polonia. Il tratto di condotta è in esercizio continuativo da ottobre 2016.

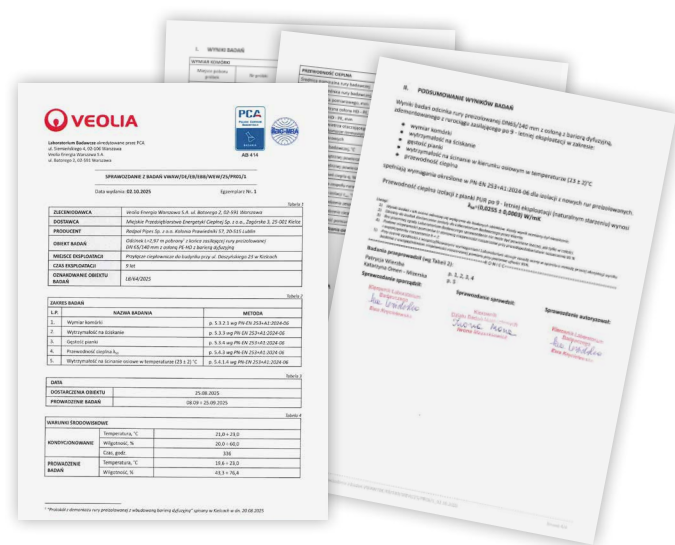
Le prove sono state eseguite dal laboratorio di prova accreditato di Veolia Energia Warszawa S.A. in conformità alla norma EN 253.

I risultati sono stati documentati nel Rapporto di Prova n. VVAW/DE/EB/EBB/WEW/25/PR01/1 del 02.10.2025.

RISULTATI DELLE PROVE DOPO INVECCHIAMENTO NATURALE

La tabella seguente presenta i risultati delle prove ottenuti sul tratto di tubo preisolato Rapdopol Pipes con barriera alla diffusione dei gas EVOprotect® dopo nove anni di esercizio, quindi dopo invecchiamento naturale.

A fini di confronto, i risultati sono stati rapportati ai requisiti specificati nella norma EN 253.



Parametro	Requisito EN 253	Risultati dopo nove anni di esercizio	Valutazione qualitativa
Conducibilità termica dell'isolamento λ_{50} , W/mK	$\leq 0,0290$	0,0255	12% inferiore al valore limite specificato per un nuovo isolamento
Densità della schiuma, kg/m ³	≥ 55	69,6	conforme al requisito specificato nella norma
Resistenza a compressione, MPa	$\geq 0,30$	0,35	conforme al requisito specificato nella norma
Resistenza al taglio assiale a temperatura ambiente, MPa	$\geq 0,12$	0,30	conforme al requisito specificato nella norma
Dimensione delle celle, mm	$\leq 0,5$	0,33	conforme al requisito specificato nella norma

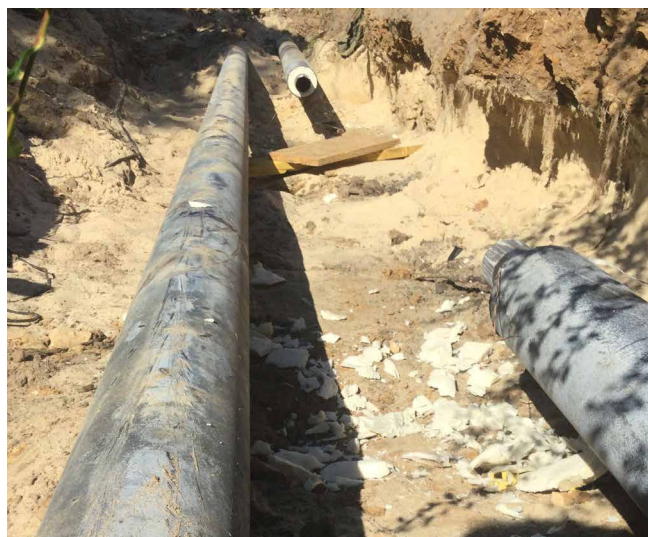
Valutazione delle proprietà termiche

L'efficacia della barriera alla diffusione dei gas EVOprotect® è confermata dal valore misurato della conducibilità termica dell'isolamento dopo invecchiamento naturale: $\lambda_{50} = 0,0255 \text{ W/mK}$

Questo valore è inferiore di oltre il 12% rispetto al valore limite $\lambda_{50} = 0,0290 \text{ W/mK}$ specificato dalla norma EN 253 per l'isolamento dei tubi preisolati di nuova produzione.

Dopo nove anni di esercizio, l'isolamento ha mantenuto parametri di prestazione termica comparabili a quelli di un nuovo tubo preisolato. I risultati delle prove indicano che la barriera EVOprotect® limita efficacemente la diffusione dei gas e contribuisce al mantenimento di proprietà termiche stabili dell'isolamento in PUR.

"Dopo nove anni in condizioni di esercizio, l'isolamento continua a soddisfare i parametri di prestazione specificati dalla norma. Non è stata osservata praticamente alcuna degradazione: la schiuma PUR ha mantenuto la propria struttura cellulare e la conducibilità termica è rimasta stabile. I risultati delle prove confermano l'efficacia della barriera alla diffusione dei gas EVOprotect® e indicano l'affidabilità a lungo termine della soluzione." – Jarosław Żuchowski, Presidente del Consiglio di Amministrazione, Radpol Pipes Sp. z o.o.



La conducibilità termica dell'isolamento in schiuma PUR nel tubo preisolato con tubo guaina EVOprotect® dopo nove anni di esercizio è pari a:

$$\lambda_{50} = 0,0255 \text{ W/mK}$$



Stabilità delle proprietà meccaniche e integrità strutturale

Dopo nove anni di esercizio, il tubo dotato della barriera alla diffusione dei gas EVOprotect® ha mantenuto la piena integrità meccanica.

La resistenza al taglio assiale a temperatura ambiente ha raggiunto $t_{ax} = 0,30 \text{ MPa}$, valore più che doppio rispetto al valore minimo normativo $t_{ax} = 0,12 \text{ MPa}$ specificato per i nuovi tubi preisolati.

Non è stata osservata alcuna perdita di adesione della schiuma PUR né al tubo di servizio in acciaio né al tubo guaina in PE-HD. I risultati confermano che il tubo conserva una struttura monolitica, in grado di resistere ai carichi del terreno durante l'esercizio a lungo termine.

CASE STUDY

Bilancio delle dispersioni termiche in una rete di teleriscaldamento di riferimento

Tutti i calcoli presentati sono stati eseguiti per un tratto di rete di teleriscaldamento di riferimento con una lunghezza di tracciato complessiva pari a 973 m, rappresentativa di una tipica rete di distribuzione residenziale con diametri compresi tra DN32 e DN125. La lunghezza totale delle tubazioni è stata assunta pari al doppio di tale valore, considerando sia la linea di mandata sia la linea di ritorno.

Le dispersioni termiche sono state calcolate secondo la metodologia specificata nella norma EN 13941-1+A1:2022-05

IPOTESI ADOTTATE PER L'ANALISI

- tubazioni preisolate singole posate interrate, con ricoprimento $H = 1$ m;
- temperatura del terreno $T_s = 8^\circ\text{C}$;
- regime termico nella stagione di riscaldamento $T = 78,5/42^\circ\text{C}$, mandata/ritorno;
- regime termico fuori stagione $T = 70/40^\circ\text{C}$, mandata/ritorno;
- 220 giorni di stagione di riscaldamento e 145 giorni fuori dalla stagione di riscaldamento;
- conducibilità termica del terreno $\lambda_c = 1,6$ W/mK;
- conducibilità termica del nuovo isolamento poliuretano nelle tubazioni preisolate, con e senza barriera alla diffusione: $\lambda_{50} = 0,0262$ W/mK - valore di calcolo utilizzato nelle analisi secondo EN 13941-1; a titolo di confronto, il valore misurato sul campione di tubo dopo nove anni di esercizio è stato pari a $\lambda_{50} = 0,0255$ W/mK, confermando la

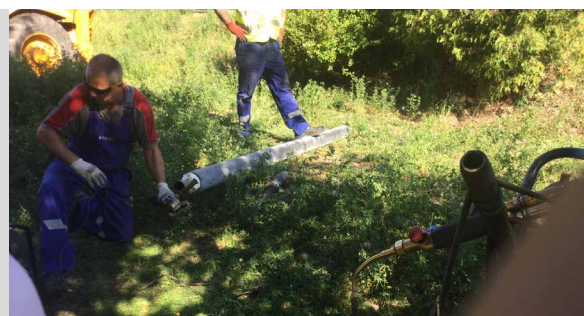
stabilità a lungo termine delle prestazioni isolanti;

- i valori della conducibilità termica dell'isolamento PUR invecchiato, λ_{50} , per tubazioni preisolate con e senza barriera alla diffusione, sono stati adottati sulla base della Tabella 6 della pubblicazione: E. Kręcielewska, A. Starobrat, I. Iwko, Methods for Calculating Heat Losses According to EN 13941-1 in Single and Twin Pre-insulated Pipe Systems. Part 1: Methodology and Assumptions, Magazyn Instal, 2024, n. 9, pp. 14–23;
- serie di isolamento STANDARD sia per la condotta di mandata sia per la condotta di ritorno.

Il modello include sia tratti rettilinei, pari al 77%, sia raccordi, derivazioni e giunti preisolati, pari al 23%, che contribuiscono in modo significativo alle dispersioni termiche totali.

VARIANTI CONFRONTATE

- tubazioni senza barriera alla diffusione dei gas;
- tubazioni EVOprotect® con barriera alla diffusione dei gas continua lungo l'intera condotta, inclusi raccordi e giunti.



CALCOLA I TUOI RISPARMI

I valori riportati di seguito illustrano il potenziale risparmio energetico ottenibile con tubazioni preisolate dotate della barriera alla diffusione dei gas EVOprotect®.

Poiché i costi di produzione del calore variano tra i diversi sistemi di teleriscaldamento, l'impatto economico dovrebbe essere valutato individualmente per ogni progetto.

$$\text{Risparmio [€]} = \text{Energia risparmiata [MWh]} \times \text{Costo marginale di produzione del calore dell'operatore [€/MWh]}$$

SINTESI DEI CALCOLI DELLE DISPERSIONI TERMICHE E DEGLI EFFETTI ECONOMICI PERIODO DI ESERCIZIO DI 30 ANNI

Dimensione del tubo preisolato	Lunghezza del tratto di condotta [m]	Dispersioni termiche senza barriera A [GJ]	Dispersioni termiche con barriera EVOprotect® B [GJ]	Differenza A-B [GJ]	Riduzione 100(A-B)/A [%]
DN32/110 mm	105	2022	1732	290	14,34%
DN40/110 mm	233	5206	4432	774	14,87%
DN50/125 mm	142	3498	3012	486	13,89%
DN65/140 mm	95	2739	2371	368	13,44%
DN80/160 mm	69	2007	1763	244	12,16%
DN100/200 mm	200	5975	5371	604	10,11%
DN125/225 mm	129	4452	4025	427	9,59%
Totale	973,5	25899	22706	3193	≈ 12,3%

BENEFICI QUANTIFICATI

Per la struttura di rete di teleriscaldamento analizzata, l'applicazione della barriera alla diffusione dei gas EVOprotect® si traduce in benefici misurabili

Riduzione delle dispersioni termiche superiore a circa il 12% grazie alla stabilità a lungo termine delle proprietà termiche dell'isolamento PUR nei tubi EVOprotect®.

Per garantire confrontabilità e scalabilità, il risparmio energetico è stato normalizzato per chilometro di rete: $3\,193\text{ GJ} / 0,973\text{ km} = 3\,281\text{ GJ/km} \approx \mathbf{911\text{ MWh/km in 30 anni.}}$

RIDUZIONE DEL COSTO TOTALE DI POSSESSO – TCO

I risultati dell'analisi finanziaria forniscono argomentazioni economiche per investitori e operatori di reti di teleriscaldamento.

Le dispersioni termiche durante il trasporto costituiscono una componente reale dei costi operativi, OPEX, e incidono direttamente sul costo totale di possesso dell'infrastruttura di teleriscaldamento. In funzione delle condizioni tecniche dell'infrastruttura e della qualità dell'isolamento PUR, tali dispersioni possono rappresentare da diversi punti percentuali fino a

diverse decine di punti percentuali dell'energia immessa nel sistema.

Per questo motivo, il mantenimento di parametri isolanti stabili lungo un periodo di esercizio prolungato ha un'importanza economica rilevante.

Un basso valore del coefficiente di conducibilità termica λ_{50} significa minori dispersioni di trasmissione e un minore apporto energetico necessario per compensarle. In pratica, l'operatore necessita di meno calore per coprire le perdite di rete.

La relazione economica è diretta:

minori dispersioni termiche → OPEX inferiore → minore TCO dell'infrastruttura

Scelta senza compromessi

Le prove indipendenti eseguite sul tubo preisolato con barriera alla diffusione dei gas EVOprotect® dopo nove anni di esercizio hanno confermato in modo inequivocabile l'efficacia di questa soluzione.

Nonostante quasi un decennio di esercizio in condizioni operative reali, l'isolamento in PUR continua a soddisfare i requisiti della norma EN 253, mantenendo parametri termici e meccanici tipici dei nuovi tubi.

La stabilità della conducibilità termica e l'elevata resistenza meccanica dimostrano che la tecnologia EVOprotect® supporta l'efficienza energetica a lungo termine e l'affidabilità operativa del sistema. **Per investitori e operatori di reti di teleriscaldamento, si tratta di benefici concreti.**

**TOP
QUALITY
IN EVERY
LAYER.**



 **RADPOL**
PIPES

Contatti

Radpol Pipes Sp. z o.o.

Kolonia Prawiedniki 57

20-515 Lublin, Polonia

Telefono: +48 81 750 01 70

E-mail: info@radpolpipes.eu

Sito web: www.radpolpipes.eu