

**TUBAZIONI PER FOGNATURE E SCARICHI
INTERRATI NON IN PRESSIONE**

CONFRONTO

**TUBI SPIRALATI IN POLIETILENE RINFORZATO CON
ACCIAIO *PALADEX***

VS

**TUBI A PARETE STRUTTURATA IN POLIETILENE (PE)
CONFORMI ALLA NORMA DIN 16961**

SOMMARIO

SOMMARIO	2
INTRODUZIONE	3
CARATTERISTICHE GENERALI DELLE TUBAZIONI IN ESAME.....	4
LA STRUTTURA DEI PRODOTTI	5
CONFRONTO TRA LE NORME UNI 11434 e DIN 16961	8
La norma UNI 11434 per tubi spiralati rinforzati con acciaio.....	8
La norma DIN 16961	8
IL TUBO PALADEX	16
ANALISI COMPARATIVA DELLE CARATTERISTICHE IDRAULICHE	18
Gamma dei diametri disponibili.....	18
Resistenza all'abrasione.....	19
Tenuta idraulica della giunzione	20
ANALISI COMPARATIVA DEL COMPORTAMENTO MECCANICO	25
Resistenza a creep	25
Rigidità anulare - Tubo PALADEX conforme alla norma UNI 11434	28
Rigidità anulare - Tubi conformi alla norma DIN 16961	29
Le giunzioni	32
ANALISI COMPARATIVA DELLE CARATTERISTICHE CHIMICHE	33
Corrosione.....	33
PESO DEL TUBO	35
CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	36

INTRODUZIONE

Oggetto del presente studio è l'esame comparativo tra tubazioni per fognature e scarichi interrati non in pressione:

- Tubo in Polietilene (HDPE) spiralato con rinforzo in acciaio – PALADEX conforme alla norma UNI 11434;
- Tubo a parete strutturata in Polietilene (PE) conforme alla norma DIN 16961.

L'esame comparativo sarà affrontato, in prima analisi, descrivendo le caratteristiche generali dei prodotti e le loro principali differenze, mentre successivamente saranno analizzati i requisiti specifici, sia per i singoli materiali che per i prodotti finiti, dettati dalle corrispondenti normative.

Infine saranno analizzate le principali differenze tra i prodotti in termini di comportamento meccanico, di prestazioni idrauliche e di resistenza alle aggressioni chimiche ed elettrochimiche.

Pertanto lo scopo della presente relazione è quello di evidenziare, attraverso un esame comparativo, le principali differenze tra i due prodotti e dare indicazioni per la scelta in funzione dello specifico campo di applicazione.

E' utile evidenziare, in questa fase, le principali caratteristiche che committenti progettisti ed imprese ricercano per le tubazioni utilizzate per fognature e scarichi interrati non in pressione:

- caratteristiche idrauliche costanti nel tempo a breve e lungo termine;
- perfetta tenuta bidirezionale delle giunzioni a breve e lungo termine;
- ottima resistenza ai carichi esterni;
- resistenza alle aggressioni chimiche ed elettrochimiche;
- adeguata resistenza alla pressione e temporanea sovrappressione interna;
- ridotta aderenza delle incrostazioni;
- facilità di pulizia con le moderne tecniche;
- facilità e rapidità di assemblaggio e di posa;
- ridotto costo di posa e manutenzione.

CARATTERISTICHE GENERALI DELLE TUBAZIONI IN ESAME

Le tubazioni in materiale plastico (Polietilene ad alta densità, di seguito HDPE e Polietilene, di seguito PE) sono largamente impiegate da molti decenni per la realizzazione di condotte di scarico non in pressione, grazie alla resistenza del materiale anche in ambienti particolarmente aggressivi ed alla facilità ed economicità di posa in opera.

Uno dei limiti principali che si è evidenziato in queste applicazioni è la maggiore deformabilità del tubo rispetto ad altri tipi di materiale (tubazioni rigide e semi-rigide), che rende necessaria l'azione di supporto del terreno circostante per limitare le deformazioni e prevenire lo schiacciamento del tubo sotto i carichi esterni applicati.

Questo fenomeno è in qualche misura aggravato dal fatto che i materiali plastici hanno un comportamento meccanico di tipo visco-elastico e quindi mostrano sotto carico costante una deformazione progressivamente crescente nel tempo, fenomeno comunemente denominato "creep".

Per limitare le conseguenze del creep, la PALADERI S.p.a. ha realizzato il tubo PALADEX - spiralato in HDPE rinforzato con acciaio zincato.

La presenza dell'acciaio all'interno della struttura del tubo limita notevolmente gli effetti di creep. Inoltre, la disposizione a spirale attenua l'effetto di singolarità geometrica dovuto alla presenza della corrugazione, in particolare per quanto riguarda l'azione di sollecitazione flessionale.

Il tubo PALADEX pertanto, pur essendo classificabile, per la sua struttura visibile, alle tubazioni in materiale plastico, presenta caratteristiche significativamente diverse rispetto ad un tubo corrugato e/o a parete strutturata in PE.

LA STRUTTURA DEI PRODOTTI

Il tubo PALADEX in HDPE rinforzato con una spirale in acciaio, presenta un profilo di corrugazione spiralato ed una struttura costituita da due strati di HDPE ai quali si interpone la spirale d'acciaio, come meglio mostrato in figura.

Lo strato esterno, al quale compete la funzione di impartire rigidità alla struttura, risulta quindi "rinforzato" dall'elemento in acciaio che è assente nei tubi a parete strutturata conformi alla norma DIN 16961.

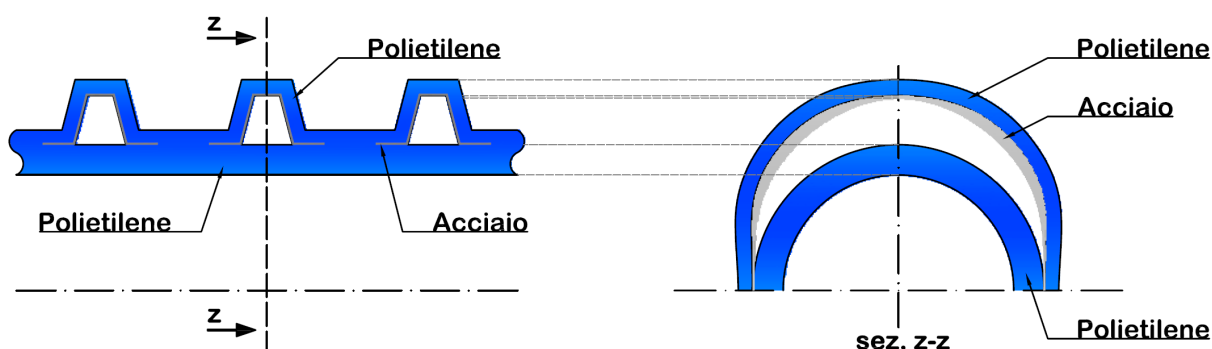


Figura 1. Sezione del tubo PALADEX spiralato rinforzato con acciaio.

Le tubazioni a parete strutturata conformi alla norma DIN 16961, sono costituite da un unico materiale plastico (PE, PP, PVC) con tipologie di profilo di parete come riportato dalle norme EN 13476-2 e EN 13476-3 sia di tipo A che di tipo B.

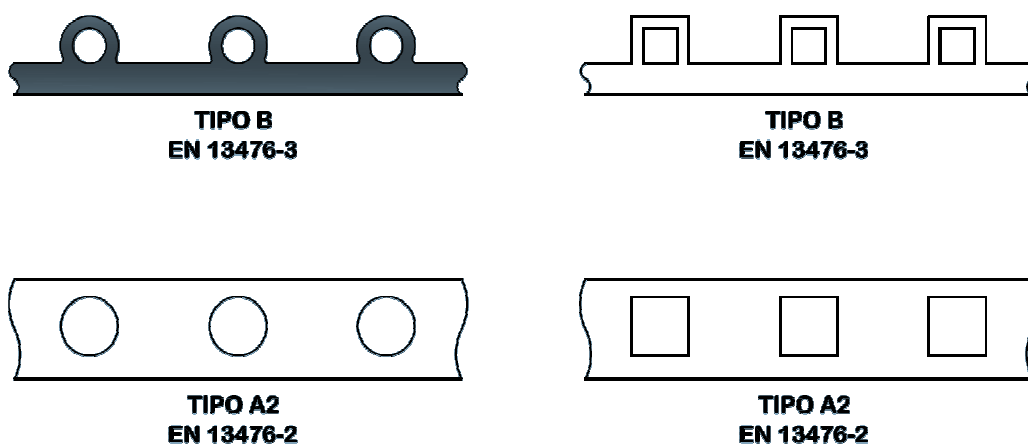


Figura 2. Profili di parete dei tubi conformi alla norma DIN 16961 ed alla norma EN 13476.

Nella figura precedente è evidenziato il profilo tipico di tubazioni a parete strutturata conformi alla norma DIN 16961 impiegate per fognature e scarichi interrati non in pressione (tipo B norma EN 13476-3).

Nella seguente vista laterale inoltre si può apprezzare per entrambe le tubazioni in esame la disposizione a spirale del profilo di corrugazione. Pertanto entrambe le tipologie di tubazioni, risultano spiralate e non presentano una simmetria rotazionale nel piano trasversale all'asse del tubo, tipica delle tubazioni corrugate conformi esclusivamente alla norma EN 13476.

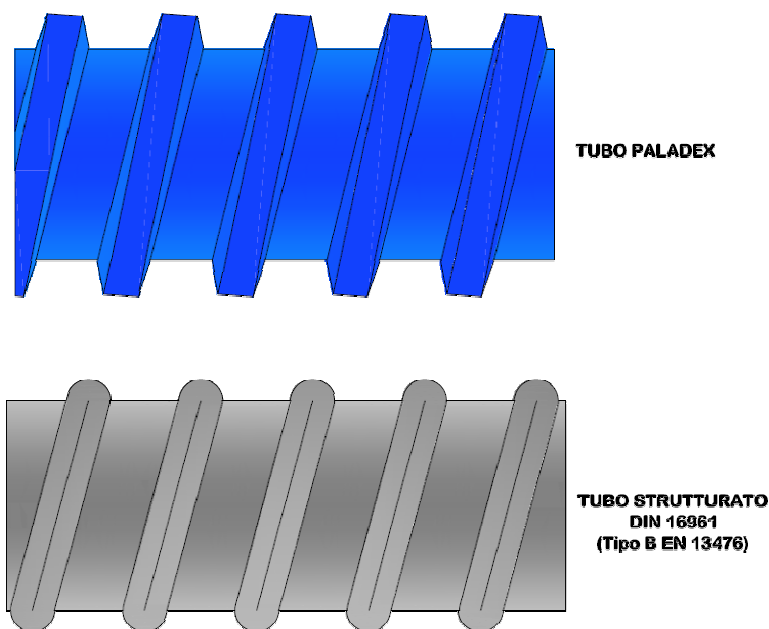


Figura 3. Vista laterale dei due tipi di tubazione esaminati.

In entrambe le tubazioni, sia lo strato interno che lo strato esterno svolgono funzioni di fondamentale importanza.

Lo strato interno, infatti, è a diretto contatto con il fluido trasportato e deve quindi possedere adeguata resistenza chimica e meccanica, ad esempio agli urti ed all'abrasione dovuta al particolato trasportato.

Lo strato esterno, nel caso delle tubazioni strutturate (profilo tipo B), impartisce alla struttura la necessaria resistenza ai carichi applicati. Nel caso del tubo PALADEX, le qualità del HDPE devono garantire, oltre alle adeguate caratteristiche chimiche e meccaniche, anche una buona adesione con la spirale metallica; tale adesione viene ottenuta attraverso l'applicazione di uno strato di "primer" sulla superficie del rinforzo metallico.

Pertanto l'accoppiamento dell'anima in acciaio alle pareti in polietilene è ottenuto mediante fissaggio chimico continuo lungo tutta la parete in grado di assicurare la solidarietà polietilene-acciaio e la loro perfetta ed ininterrotta adesione.

Altre tecnologie di tubazioni spiralate PE-acciaio utilizzano un sistema di fissaggio di tipo meccanico, puntuale e non continuo, tramite penetrazione del HDPE, preriscaldato, in fori predisposti sulla bandella di acciaio.

Tale tecnologia, a differenza del PALADEX che utilizza un sistema di fissaggio chimico continuo ed ininterrotto mediante un primer a base poliolefinica, presenta molteplici problematiche per quanto attiene alla perfetta e duratura adesione dei differenti strati in HDPE ed acciaio, alla resistenza del sistema composito alle sollecitazioni esterne ed al rischio di corrosione dell'acciaio, non protetto dal primer, in caso di esposizione accidentale all'ambiente esterno.

Le specifiche di prodotto per le tubazioni PALADEX spiralate in polietilene rinforzato con acciaio sono riportate nella norma UNI 11434:2012.

Mentre per le tubazioni strutturate interamente in polietilene la norma di prodotto è la DIN 16961, che nella versione 2010 riporta espliciti riferimenti sia per caratteristiche dei materiali che per prestazioni del prodotto finito alla norma europea EN 13476.

CONFRONTO TRA LE NORME UNI 11434 e DIN 16961

La norma UNI 11434 per tubi spiralati rinforzati con acciaio

Nel gennaio 2012 l'Ente Nazionale di Unificazione ha emesso la norma UNI 11434 specifica per le tubazioni spiralate in polietilene rinforzato con un componente in acciaio completamente incorporato nella parete (tubo **PALADEX**), a superficie interna liscia con diametri **(DN/ID) da 400 mm a 2500 mm** da applicare nel campo delle fognature, acque meteoriche e condotte di ventilazione con marcatura U.

Essa definisce inoltre le caratteristiche dei materiali (polietilene, acciaio e guarnizioni), le caratteristiche geometriche (inclusi i profili di parete ed alcuni esempi di giunzione quali manicotto, sistemi codolo-bicchiere, saldatura) e le caratteristiche fisico-meccaniche che i tubi devono avere per l'applicazione cui essi sono destinati.

I riferimenti tecnici utilizzati per l'elaborazione della norma sono stati:

- la normativa americana ASTM (American Standard Testing Materials) F 2435-07;
- la normativa israeliana IS 5302;
- la specifica tecnica IIP (Istituto Italiano dei Plastici) RP 1.1/CO del 2008;
- la specifica tecnica francese 17/07-190;
- la normativa tedesca DIN 16961;
- la normativa europea UNI EN 13476.

La norma DIN 16961

La normativa tedesca DIN 16961 è applicabile a tubi e raccordi strutturati realizzati in materiale plastico (PE – PP – PVC) con parete interna liscia, per diametri DN/ID da 100 mm a 3000 mm, da utilizzare per fognatura e scarichi interrati non in pressione.

Tale norma ha subito diverse modifiche nel corso degli anni, dalla prima stesura del 1989 dove si faceva riferimento principalmente a normative di carattere nazionale (norme DIN e DVN), fino alla revisione del marzo 2010, dove il principale riferimento normativo è rappresentato dalla norma europea EN 13476 applicabile a tubi e raccordi con superficie interna liscia ed esterna profilata, con diametri DN/IN da 100 mm a 1200 mm per fognature e scarichi interrati non in pressione.

Pertanto la norma DIN 16961 rappresenta una estensione della norma europea EN 13476 per diametri superiori al DN/ID 1200, recependo quindi le specifiche dettate dalla norma stessa e dai principali riferimenti normativi in essa contenuti.

Entrambe le norme, la UNI 11434 per il tubo PALADEX e la DIN 16961 (come estensione della norma EN 13476) per i tubi strutturati a parete interna liscia, definiscono rispettivamente i requisiti minimi, sia dei materiali costituenti le tubazioni, sia dei prodotti finiti, richiamando specifiche modalità di prova da norme esistenti emesse dal Comitato Europeo di Normazione (CEN) o recepite da norme internazionali EN ISO.

Di seguito si riporta una tabella riepilogativa di confronto tra le due normative di prodotto, rispettivamente per il tubo PALADEX (UNI 11434) e per il tubo strutturato in PE (DIN 16961 e EN 13476), con l'indicazione delle normative a cui i requisiti fanno riferimento.

CONFRONTO NORMATIVE DI PRODOTTO			
		PALADEX UNI 11434	STRUTTURATI IN PE DIN 16961
Requisiti del prodotto finito	CARATTERISTICHE		
	Gamma DN/ID	Da 400 a 2500 mm.	Da 100 a 3000 mm.
	Rigidità anulare	UNI 11434 – Appendice A (UNI EN ISO 9969-2008)	DIN 16961 (UNI EN ISO 9969-2008)
	Rapporto di scorrimento plastico (creep)	UNI EN ISO 9967	-
	Prova di flessione dei provini in materiale plastico per la determinazione del modulo elastico	-	EN ISO 899-1 e 2
	Flessibilità anulare	UNI EN ISO 13968	UNI EN 1446*
	Resistenza al collasso	UNI EN ISO 13968	-
	Resistenza agli urti	UNI EN 744	UNI EN 744*
	Tenuta idraulica della giunzione	UNI EN 1277 UNI EN 681	UNI EN 1277* UNI EN 681*
	Resistenza alla trazione della giunzione	UNI EN 1979	UNI EN 1979*
Requisiti del materiale del tubo	Resistenza alla pressione interna	UNI EN ISO 1167-1 e 2	UNI EN ISO 1167-1 e 2*
	Stabilità termica	EN 728	EN 728*
	Indice di fluidità	UNI EN ISO 1133	UNI EN ISO 1133
	Acciaio	Resistenza alla trazione	UNI EN 10346
Allungamento			

*In grigio i riferimenti normativi della norma EN 13476 a cui fa riferimento la DIN 16961

Tabella 1. Confronto delle normative di prodotto tra tubi spiralati in PE rinforzato con acciaio conformi alla norma UNI 11434 e tubi strutturati in PE conformi alla norma DIN 16961.

Per quanto riguarda le caratteristiche dei singoli materiali e dei prodotti finiti per le due tubazioni in esame, le norme che definiscono le modalità di prova sono sostanzialmente le medesime.

Particolare attenzione, invece, va posta nella determinazione della **Rigidità anulare** e quindi nella classificazione delle tubazioni.

Le tubazioni spiralate in HDPE rinforzate con acciaio (PALADEX) sono classificate, secondo l'Appendice "A" della norma UNI 11434 con le classi A, B o C in funzione del valore di rigidità al 3, 5 e 8% di deflessione del diametro interno.

La prova viene effettuata in accordo all'Appendice "A" della norma, che richiama la norma UNI EN ISO 9969, per l'apparecchiatura, il campionamento, il condizionamento dei provini, la conduzione del test e per la determinazione del valore "PS".

$$PS = \frac{F \cdot 10^6}{L \cdot y}$$

In cui:

PS è la rigidità anulare espressa in KPa;

F è la forza, in KN, corrispondente alla percentuale di deflessione del tubo;

L è la lunghezza, in millimetri, del campione;

y è la deflessione, in millimetri, corrispondente alla percentuale di deflessione del tubo.

La rigidità anulare **S** "stiffness" è data dalla seguente relazione

$$S = 0.0186 \cdot PS$$

Come definito nella nota al prospetto 4 della norma UNI 11434, il valore di rigidità anulare (stiffness) "S" al 3% di deformazione delle classi A, B e C è uguale a quella dei tubi con rigidità anulare (nominal stiffness) "SN" rispettivamente 8, 12 e 16 secondo la norma UNI EN ISO 9969.

Al fine di consentire un'analisi approfondita della rigidità anulare del tubo PALADEX, calcolata secondo la nuova normativa italiana UNI 11434, è opportuno evidenziare le relazioni tra le preesistenti normative inerenti i tubi strutturati in materiale termoplastico: la normativa tedesca DIN 16961 e la normativa europea EN 13476.

Tali norme prevedono una classificazione della resistenza a schiacciamento misurata secondo diverse metodologie, quindi risulta indispensabile fissare un'equivalenza per eseguire un confronto.

Entrambe le norme misurano la rigidità anulare attraverso una prova di schiacciamento eseguita su una sezione di tubo.

La prova eseguita secondo la norma DIN 16961 prevede l'applicazione, secondo specifici parametri, di un carico costante al fine di misurare la deformazione dopo 24 ore; il valore di rigidità anulare, calcolato sul raggio del tubo, è definito SR24.

La norma EN 13476 misura la rigidità anulare mediante una prova a velocità di deformazione costante in conformità alla normativa EN ISO 9969; il valore di rigidità anulare, calcolato sul diametro del tubo, è definito SN (Nominal Stiffness).

La modalità di prova prevista dalla normativa EN 13476 offre una serie di vantaggi, sia di tipo pratico che tecnico.

In primo luogo ha una durata complessiva di pochi minuti contro le 24 ore richieste dalla normativa DIN 16961.

In secondo luogo prevede l'applicazione istantanea del carico che favorisce la misurazione del Modulo Elastico (E) del tubo, che, per una poliolefina (PE oppure PP), presenta un comportamento di tipo visco-elastico, dipendente cioè dalla velocità di deformazione e dal tempo.

Il valore del Modulo Elastico istantaneo (E_0) è facilmente misurabile in laboratorio con i mezzi ordinari, attraverso una semplice prova di trazione di pochi minuti con una velocità di deformazione fissata dalla norma; non è altrettanto facile invece verificare il valore del Modulo Elastico dopo 24 ore (E_{24}).

Le prove di laboratorio eseguite secondo le suddette normative sul medesimo tubo nonché l'equivalenza tra le formule teoriche di calcolo evidenziano l'esistenza della seguente relazione:

$$SN = \frac{S_{R24}}{4}$$

La norma DIN 16961 pone:

$$S_{R24} = \frac{E \cdot I}{r^3}$$

mentre la Norma EN 13476 pone:

$$SN = \frac{E \cdot I}{D^3}$$

La relazione tra le due grandezze S_{R24} ed SN necessita di due coefficienti di correzione che riguardano rispettivamente la relazione tra i valori di raggio e diametro ed il diverso comportamento del modulo Elastico del polietilene in funzione della durata della prova.

L'equivalenza tra S_{R24} ed SN può essere quindi resa dalla seguente formula:

$$SN = K_1 \cdot K_2 \cdot S_{R24}$$

In cui:

k_1 è il fattore di correzione raggio/diametro;

k_2 è il fattore di correzione Modulo Elastico/durata prova.

Considerato che $D = 2r$, il primo coefficiente correttivo risulta $k_1 = 1^3/2^3 = 1/8$

Il modulo elastico del polietilene E_0 equivale a $8 \times 10^5 \text{ KN/m}^2$, che a seguito dell'applicazione di una forza per la durata di 24 ore si riduce all'incirca della metà, per cui risulta:

$$E_0 = 8 \cdot 10^5 \text{ KN/m}^2 \qquad E_{24} = 3.9 \cdot 10^5 \text{ KN/m}^2$$

esemplificando il secondo coefficiente correttivo $k_2 = 8 \times 10^5 / 3.9 \times 10^5 \approx 2$.

Dunque l'equivalenza diventa:

$$SN = 1/8 \cdot 2 \cdot S_{R24} = S_{R24}/4$$

E' possibile pertanto sintetizzare quanto analizzato nella seguente tabella

UNI 11434	EN 13476	DIN 16961
CLASSE (S)	SN	SERIE (S_{R24})
-	SN 2	SERIE 3 $S_{R24} = 8$ (= $8 \text{ KN/m}^2 / 4$)
-	SN 4	SERIE 4 $S_{R24} = 16$ (= $16 \text{ KN/m}^2 / 4$)
CLASSE A (SN 8)	SN 8	SERIE 5 $S_{R24} = 31.5$ (= $31.5 \text{ KN/m}^2 / 4$)
CLASSE B (SN 12)	-	-
CLASSE C (SN 16)	-	SERIE 6 $S_{R24} = 63$ (= $63 \text{ KN/m}^2 / 4$)

Tabella 2. Equivalenza dei valori di rigidità anulare tra le norme UNI 11434, EN 13476 e DIN 16961.

Entrando nel dettaglio della Tabella 1, sono stati estrapolati i requisiti minimi dei materiali costituenti le tubazioni, i parametri di prova ed il metodo di prova riferito alla singola norma.

Di seguito, pertanto, si riportano i requisiti minimi dei materiali costituenti i prodotti, come definiti dalle norme UNI 11434 e DIN 16961 per le tubazioni in esame.

	CARATTERISTICHE	REQUISITI	PARAMETRI DI PROVA	METODO DI PROVA
HDPE	Resistenza alla pressione interna	Senza rotture durante il periodo di prova	80°C; 4 MPa; Durata 165 h 80°C; 2.8 MPa; Durata 1000 h	UNI EN ISO 1167-1 UNI EN ISO 1167-2
	Stabilità termica OIT	≥ 20 min	Temperatura 200°C	UNI EN 728
	Indice di fluidità in massa (MFR)	MFR ≤ 1,6 g/10 min	Temperatura 190°C Massa del carico 5 kg	UNI EN ISO 1133:2005 Condizione T
	Densità	≥ 930 kg/mc		UNI EN ISO 1183-1
ACCIAIO	Resistenza a trazione	≥ 270 MPa		UNI EN 10346
	Allungamento	≥ 20 %		

Tabella 3. Caratteristiche minime dei materiali costituenti i tubi spiralati in HDPE-Acciaio secondo la norma UNI 11434.

	CARATTERISTICHE	REQUISITI	PARAMETRI DI PROVA	METODO DI PROVA
	Prova di flessione dei provini in materiale plastico per la determinazione del modulo elastico	Tabella 3 DIN 16961 Determinazione del modulo elastico	Sollecitazione di flessione a 2 MPa	EN ISO 899-1 e 2
PE	Resistenza alla pressione interna	Senza rotture durante il periodo di prova	80°C; 4 MPa; Durata 165 h 80°C; 2.8 MPa; Durata 1000 h	UNI EN ISO 1167-1 UNI EN ISO 1167-2
	Stabilità termica OIT	≥ 20 min	Temperatura 200°C	UNI EN 728
	Indice di fluidità in massa (MFR)	0,2 ≤ MFR ≤ 1,7 g/10 min	Temperatura 190°C Massa del carico 5 kg	UNI EN ISO 1133:2005 Condizione T
	Densità	≥ 930 kg/mc		UNI EN ISO 1183-1

*In grigio i riferimenti normativi della norma EN 13476 a cui fa riferimento la norma DIN 16961

Tabella 4. Caratteristiche minime dei materiali costituenti i tubi strutturati in PE secondo la norma DIN 16961.

Tali requisiti sono riferiti, in entrambi i casi, ad un campione estruso di tubo a parete piena in polietilene, ad eccezione della prova di flessione effettuata su provini in PE per quanto riguarda i tubi strutturati conformi alla norma DIN 16961. Per i dettagli su quest'ultima si rimanda al paragrafo sul confronto del comportamento meccanico.

Come fatto in precedenza, sono riportati nelle tabelle seguenti i requisiti minimi dei prodotti finali per le singole caratteristiche, in funzione dei parametri di prova e dei metodi di prova riferiti alla specifica normativa.

CARATTERISTICHE	REQUISITI	PARAMETRI DI PROVA	METODO DI PROVA
Rigidità anulare	PS > 415 KPa per CLASSE A PS > 620 KPa per CLASSE B PS > 830 KPa per CLASSE C	Deflessione del diametro interno = 3%	UNI 11434 – Appendice A (UNI EN ISO 9969-2008)
	PS > 325 KPa per CLASSE A PS > 485 KPa per CLASSE B PS > 645 KPa per CLASSE C	Deflessione del diametro interno = 5%	
	PS > 215 KPa per CLASSE A PS > 325 KPa per CLASSE B PS > 430 KPa per CLASSE C	Deflessione del diametro interno = 8%	
Flessibilità anulare	Sforzo di ovalizzazione durante la prova sempre crescente fino ad una deflessione del 10% Nessuna separazione tra i differenti strati della parete Nessuna fessurazione o rottura	Deflessione del diametro esterno > 10%	UNI EN ISO 13968
Resistenza la collasso	Sforzo di ovalizzazione > 75% del picco raggiunto nella prova di flessibilità anulare fino ad una deflessione del 20% Nessuna separazione tra i differenti strati della parete Nessuna fessurazione o rottura	Deflessione del diametro medio > 20%	UNI EN ISO 13968
Rapporto di scorrimento plastico (creep)	< 2.5 a due anni di estrapolazione	Temperatura: 23°C	UNI EN ISO 9967
Resistenza all'urto (metodo della percussione su generatrici diverse)	TIR ≤ 10%	Temperatura: 23°C Percussione: d 90 Massa 3.2 kg da altezza di 2 m	UNI EN 744
Resistenza della giunzione allo schiacciamento	Nessuna separazione tra le saldature Nessuna fessurazione o rottura	Lunghezza dello spezzone di tubo: 600 mm ± 50 mm Deflessione del diametro interno medio = 20%	
Resistenza a trazione della linea di giunzione tra due spire adiacenti	Nessuna rottura della giunzione	Velocità di trazione: 22 mm/min Sforzo di trazione minimo: da DN400 a DN500: 510 N da DN600 a DN 800: 760 N DN > 800: 1020 N	UNI EN 1979
Tenuta idraulica della giunzione	Per DN ≤ 1000 Nessuna perdita Nessuna perdita ≤ 0.27 bar	Temperatura: 23°C Flessione del codolo: 5% Flessione del bicchiere :0% Differenza: 5% Pressione dell'acqua 0.05 bar Pressione dell'acqua 0.5 bar -0.3 bar	UNI EN 1277 Condizione B
	Per tutti i diametri Nessuna perdita Nessuna perdita ≤ 0.27 bar	Temperatura 23°C PER DN ≤ 600: 1.5° Per DN>600: 1° Pressione dell'acqua 0.05 bar Pressione dell'acqua 0.5 bar -0.3 bar	UNI EN 1277 Condizione C

Tabella 5. Caratteristiche fisico meccaniche minime per i tubi spiralati in polietilene rinforzato con acciaio (UNI 11434).

CARATTERISTICHE	REQUISITI	PARAMETRI DI PROVA	METODO DI PROVA
Rigidità anulare	$S_{R24} >$ di quello di classificazione	Conforme alla norma DIN 16961 (durata della prova 24 ore)	DIN 16961 (UNI EN ISO 9969-2008)
Flessibilità anulare	Sforzo di ovalizzazione durante la prova crescente assenza di screpolature in qualsiasi parte della struttura Nessuna separazione tra i differenti strati della parete Non deve verificarsi deformazione permanente	Deflessione 30 % del diametro esterno medio Lunghezza del tubo: almeno 5 nervature di rinforzo Posizione del tubo: a 0°, 45° 90° dalla piastra superiore	EN 1446
Rapporto di scorrimento plastico (creep)	≤ 4.0 a due anni di estrapolazione	Conforme alla norma UNI EN ISO 9967	UNI EN ISO 9967
Resistenza all'urto (metodo della percussione su generatrici diverse)	TIR $\leq 10\%$	0°C Percussione d 90 Massa 3.2 kg da altezza di 2 m	UNI EN 744
Resistenza a trazione della linea di giunzione tra due spire adiacenti	Senza rottura della giunzione	Velocità di trazione 15 mm/min Sforzo di trazione minimo per da DN < 400: 380 N da DN400 a DN 600: 510 N da DN600 a DN 800: 760 N DN > 800: 1020 N Lunghezza del provino di almeno due ondulazioni	UNI EN 1979
Tenuta idraulica della giunzione	Nessuna perdita Nessuna perdita ≤ 0.27 bar	Temperatura: 23°C Flessione del codolo: 10% Flessione del bicchiere: 5% Differenza: 5% Pressione dell'acqua 0.05 bar Pressione dell'acqua 0.5 bar -0.3 bar	UNI EN 1277 Condizione B
	Per tutti i diametri Nessuna perdita Nessuna perdita ≤ 0.27 bar	Temperatura: 23°C Per De ≤ 315 : 2° Da De 315 a 630: 1,5° Per De > 630: 1° Pressione dell'acqua 0.05 bar Pressione dell'acqua 0.5 bar -0.3 bar	UNI EN 1277 Condizione C

*In grigio i riferimenti normativi della norma EN 13476 a cui fa riferimento la DIN 16961

Tabella 6. Caratteristiche fisico meccaniche minime per i tubi spiralati in PE (DIN 16961) e per i tubi corrugati in PE (EN 13476).

Dalle tabelle precedenti si evince, oltre alla differente classificazione della rigidità anulare della tubazione, la cui equivalenza è riportata in Tabella 2, anche la differenza del valore del rapporto di scorrimento plastico “creep” che per le tubazioni corrugate in PP e PE, normate dalla DIN 16961 e dalla EN 13476, risulta pari come limite massimo a 4.0, mentre per le tubazioni spiralate in polietilene rinforzato con acciaio normate dalla UNI 11434, tale valore deve essere inferiore a 2.5. In sostanza tale valore rappresenta il rapporto tra la deformazione, sotto carico costante, con estrapolazione a 2 anni e la deformazione iniziale imposta. Pertanto tale parametro è rappresentativo del comportamento visco-plastico della tubazione nel medio-lungo periodo.

IL TUBO PALADEX

La tecnologia **PALADEX**, sviluppata in Giappone negli anni novanta e largamente diffusa negli Stati Uniti, consente di realizzare tubi di grandi dimensioni, caratterizzati da una resistenza meccanica estremamente elevata e da pesi contenuti.

L'idea innovativa alla base di tale produzione consiste nell'abbinare le caratteristiche tipiche del polietilene (resistenza all'abrasione, leggerezza, coefficiente di scabrezza minimo, inerzia alle sostanze chimiche, versatilità e facilità di posa) alle caratteristiche dell'acciaio che presenta un modulo elastico oltre 200 volte più elevato del polietilene.

Le caratteristiche dei materiali utilizzati per la realizzazione del tubo **PALADEX**, conforme alla norma UNI 11434:2012 sono riportate nella seguente tabella.

MATERIALE	PROPRIETA'	NORMA DI RIFERIMENTO	PARAMETRI DI PROVA	VALORI
Polietilene	Densità	EN ISO 1183-1 EN ISO 1183-2		≥ 930 kg/m ³
Polietilene	Indice di fluidità (MFR)	EN ISO 1133	Temperatura 190°C Massa del carico 5 kg	≤ 1.6 g/10 min
Polietilene	Sforzo di snervamento, σ_y			15 MPa
Polietilene	Allungamento a rottura	ISO 6259-3		≥ 350 %
Polietilene	Modulo elastico tipico			900 ÷ 1000 MPa
Polietilene	Stabilità termica	UNI EN 728:1998	Temperatura 200°C	> 20 min
Polietilene	Resistenza alla pressione interna	UNI EN ISO 1167	80°C; 4 MPa	
Polietilene	Coefficiente di dilatazione termica lineare	UNI EN ISO 1167		0.18 - 0.22 mm/m °C
Polietilene	Conduttività termica			0.4 W/m °C
Polietilene	Contenuto di Carbon Black	ISO 6964		2 - 2.5 %
Acciaio	Resistenza a trazione	UNI EN 10346		≥ 270 MPa
Acciaio	Modulo elastico			2.1 x 10 ⁵ MPa

Tabella 7. Caratteristiche dei materiali utilizzati per la realizzazione del tubo PALADEX.

Per la realizzazione del tubo **PALADEX**, la **PALADERI** rivolge grande attenzione al componente rappresentato dall'anima in acciaio, che conferisce alla tubazione un miglioramento delle caratteristiche meccaniche, avendo compreso, altresì, quanto sia necessario proteggere ulteriormente l'elemento d'acciaio da possibili fenomeni di corrosione. Pertanto ha deciso di proporre sul mercato una tubazione affidabile e durevole, le cui caratteristiche meccaniche travalicano i valori della norma, aggiungendo alcuni requisiti che la norma non prescrive esplicitamente.

Il tubo **PALADEX**, prodotto dalla **PALADERI S.p.a.** nel proprio stabilimento di Villadose (RO), realizzato in conformità alla norma 11434:2012, è costituito da:

- uno strato interno in HDPE, a diretto contatto con il fluido trasportato, con elevate caratteristiche idrauliche, di resistenza all'abrasione ed inerte alle sostanze chimiche;
- una bandella, sagomata ad "Ω", in acciaio zincato (classe DX51D + ZF/Z) conforme alla norma UNI EN 10346 allo scopo di proteggere ulteriormente l'anima del tubo ed assicurare una resistenza adeguata per tutto il ciclo di vita utile della tubazione.
- un fissaggio tra l'anima in acciaio e gli strati in HDPE con un primer a base polietilenica, al fine di garantire un ancoraggio chimico e continuativo su tutta la superficie.

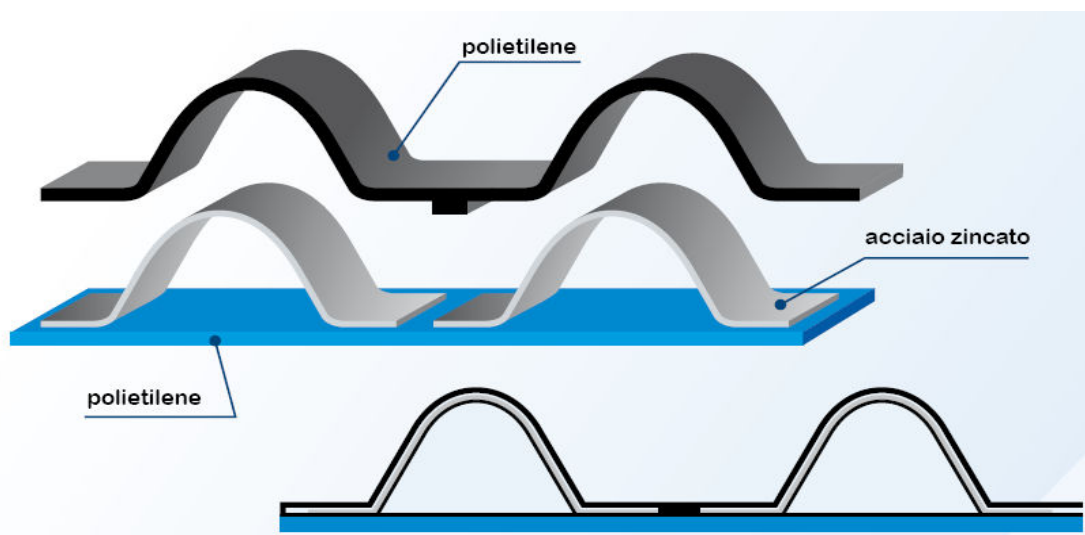


Figura 4. Sezione trasversale del tubo PALADEX.

ANALISI COMPARATIVA DELLE CARATTERISTICHE IDRAULICHE

Le tubazioni in materiale plastico (PE e PP) presentano ottime caratteristiche idrauliche, sia in termini di scabrezza delle pareti a contatto con i fluidi, che in termini di resistenza all'abrasione delle pareti stesse, permettendo la durevolezza delle tubazioni stesse ed il mantenimento dei valori di portata idraulica per cui sono state progettate.

Gamma dei diametri disponibili

Le due tubazioni in esame, come già analizzato in precedenza, sono realizzate in conformità alla norma UNI 11434, per il tubo PALADEX, ed alla norma DIN 16961, come estensione della norma EN 13476 per le tubazioni a parete strutturata in PE. Tali norme definiscono in primo luogo la gamma dei prodotti. Di seguito si riporta una tabella comparativa dei diametri disponibili del tubo PALADEX e dei tubi a parete strutturata in PE.

PALADEX			SGK
DN/ID mm	Diametro interno medio minimo mm	Diametro esterno medio massimo mm	DN/ID mm
400	396	408	-
500	495	510	-
600	594	612	-
700	693	714	-
800	792	816	-
900	891	918	-
1000	990	1020	1000
1100	1090	1123	-
1200	1188	1224	1200
1300	1287	1326	-
1400	1386	1428	1400
1500	1485	1530	1500
1640	1625	1671	1600
-	-	-	1700
1800	1781	1835	1800
2000	1979	2039	-
2200	2177	2243	-
2400	2375	2447	-
-	-	-	2500

Tabella 8. Confronto gamma di diametri disponibili.

Il tubo PALADEX è normalizzato sui diametri interni. L'uso convenzionale del diametro interno per identificare il prodotto evita pericolosi equivoci nella valutazione e nell'utilizzo appropriato dello stesso, facilitando il calcolo della portata idraulica ed il conseguente dimensionamento della fognatura, senza subire l'indeterminatezza dell'altezza della corrugazione o degli spessori del tubo.

Resistenza all'abrasione

Il diagramma seguente evidenzia come i tubi in polietilene e in polipropilene a parete interna liscia presentano una resistenza all'abrasione superiore rispetto ai tubi prodotti con altri materiali.

Tale diagramma è stato basato su prove specifiche, condotte presso l'Istituto per le Materie Plastiche di Darmstadt in Germania, in conformità alla norma tedesca DIN 19566-2.

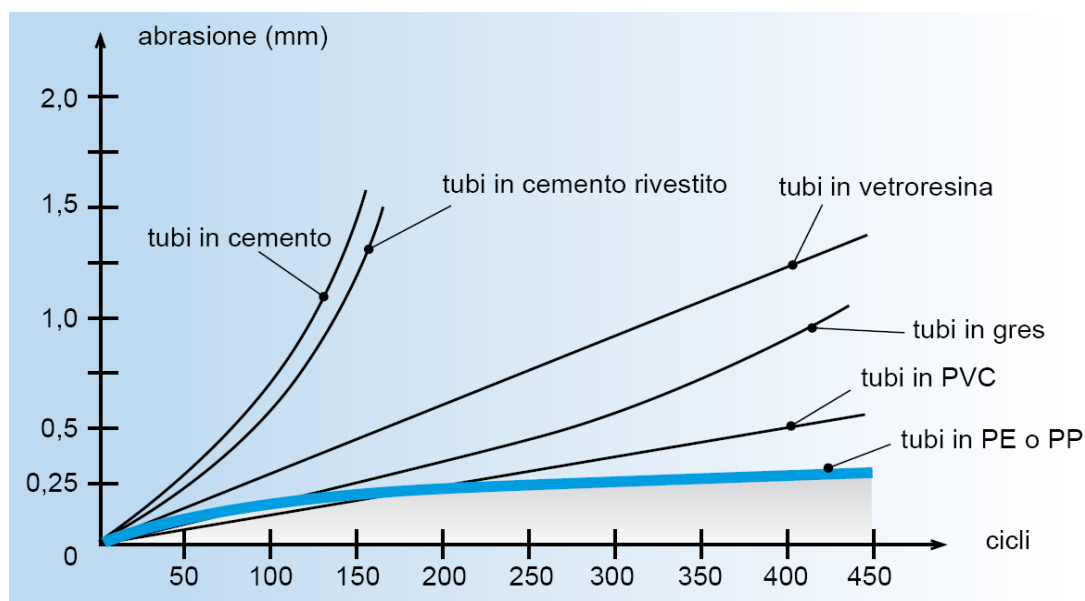


Figura 5. Valori medi di abrasione per tubi di materiali diversi secondo la procedura dell'Università di Darmstadt.

Il campione è costituito da una metà longitudinale di tubo della lunghezza pari a 1000 mm, chiuso frontalmente con piastre e riempito con una miscela di acqua, sabbia e graniglia. Infine il campione è ulteriormente coperto con un'altra piastra. Il semi tubo viene inclinato alternativamente in direzione longitudinale di $\pm 22,5^\circ$ in modo tale che il movimento del materiale di controllo produca l'effetto di abrasione.

Al termine dei cicli predeterminati, si misura lo spessore abraso rispetto alla misura di partenza. Lo spessore della linea di fondo deve essere misurato dopo 25-50-75-100.000 cicli. Per determinare l'inclinazione della curva d'abrasione, a_m deve essere misurato fino a 400.000 cicli.

NOTA: La stessa normativa (EN 13476-1) specifica che "tubi e pezzi speciali conformi a tale normativa sono resistenti all'abrasione".

Tenuta idraulica della giunzione

Uno degli elementi più significativi per determinare la qualità di una condotta è costituito dalla capacità di convogliare i fluidi evitando dannose perdite nel sistema di raccordo. La giunzione tra i tubi rappresenta quindi una criticità soprattutto in quei progetti che prevedono l'impiego di condotte posate in terreni interessati, anche solo periodicamente, dalle oscillazioni di falda.

Sebbene trattasi prevalentemente di condotte fognarie e scarichi non in pressione, è assolutamente necessario che il sistema di giunzione possa garantire un'efficienza ed un rendimento elevato e costante nel tempo.

La prova di tenuta (UNI EN 1277), che intende simulare le reali condizioni di installazione e di esercizio, consiste nel verificare la tenuta della giunzione del tubo sottoposta sia a sollecitazioni meccaniche (deformazione diametrale e deflessione angolare) che di pressione/depressione come risulta dalla tabella seguente.

PROVA DI TENUTA			
CARATTERISTICHE	REQUISITI	PARAMETRI DI PROVA	METODO DI PROVA
Tenuta idraulica della giunzione	Per DN ≤ 1000 Nessuna perdita Nessuna perdita ≤ - 0.27 bar	Temperatura 23°C Differenza flessione tubo – flessione bicchiere: 5% Pressione dell'acqua 0.05 bar Pressione dell'acqua 0.5 bar - 0.3 bar	UNI EN 1277 Condizione B
	Per tutti i diametri Nessuna perdita Nessuna perdita ≤ - 0.27 bar	Temperatura 23°C Per DN ≤ 600: 1.5° Per DN > 600: 1° Pressione dell'acqua 0.05 bar Pressione dell'acqua 0.5 bar - 0.3 bar	UNI EN 1277 Condizione C

Tabella 9. Dettaglio dei requisiti e dei parametri per la prova di tenuta della giunzione (UNI EN 1277).

Il sistema di giunzione del tubo **PALADEX** è realizzato con bicchiere “femmina” presaldato in stabilimento su ciascuna canna, nel cui interno si innesta l'elemento “maschio” munito di guarnizione in EPDM, conforme alla norma UNI EN 681, allocata in apposita gola, idonea a garantire la tenuta idraulica del sistema di giunzione secondo le modalità di prova indicate dalla norma UNI EN 1277.

Il sistema di giunzione del tubo PALADEX descritto garantisce la tenuta idraulica fino ad 1 bar in pressione, pari al 200% del limite della prova e 0,3 bar in depressione secondo le modalità di prova indicate dalla norma UNI EN 1277.



Figura 6. Particolare giunto a bicchiere del tubo PALADEX.

A titolo esemplificativo si riepilogano i risultati di alcuni test di tenuta idraulica, eseguiti esclusivamente presso il laboratorio prove dell'IIP (Istituto Italiano dei Plastici), su campioni di tubo PALADEX in conformità alla normativa UNI EN 1277:2005.

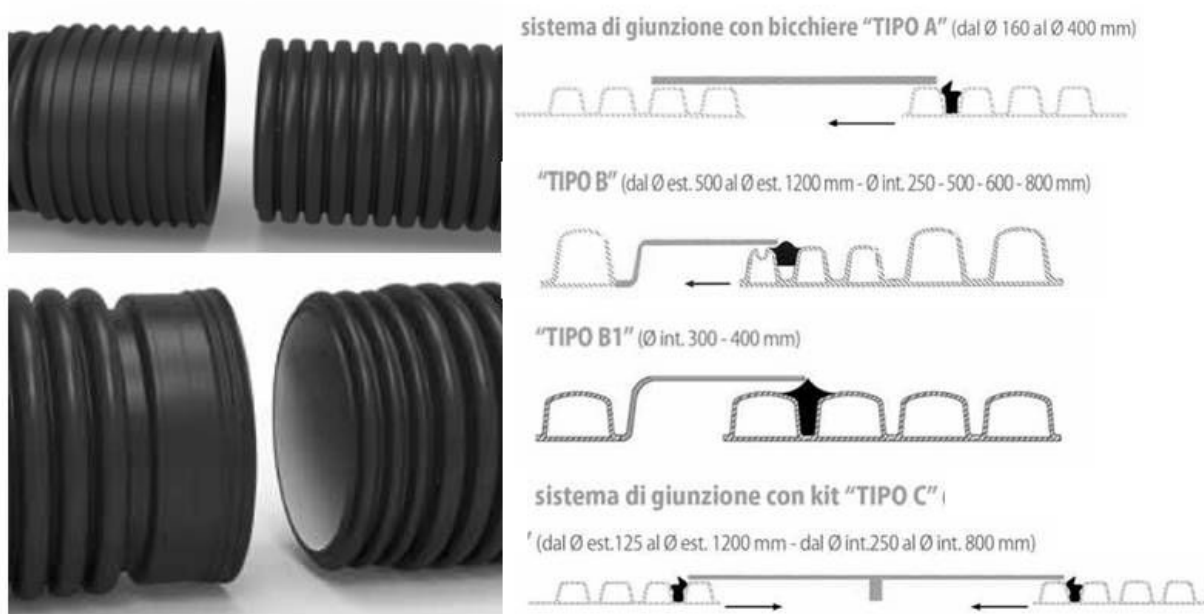
- Il rapporto di prova n° 986/2011 certifica la tenuta del sistema di giunzione del tubo PALADEX ad una pressione incrementale fino a 1,5 bar.
- Il rapporto di prova n° 1917/2011 certifica la tenuta del sistema di giunzione del tubo PALADEX ad una pressione di 1 bar per 30 minuti con deflessione angolare di 1°.
- Il rapporto di prova n° 1973/2011 certifica la tenuta del sistema di giunzione del tubo PALADEX con doppia guarnizione in EPDM ad una pressione di 1 bar per 7 ore con deflessione angolare di 1°.
- Il rapporto di prova n° 1981/2011 certifica una perdita di pressione di soli 0,03 bar, corrispondente ad una percentuale P3 = 3,3% a seguito dell'applicazione di una pressione di aria negativa (vuoto parziale), per la durata di 60 minuti, P3 = 0,8 bar +/- 5% con deflessione angolare di 1°.

NESSUNA PERDITA

Pressione all'inizio della prova: - 0,80 bar
 Pressione al termine della prova: - 0,77 bar
 Perdita a fine prova: - 0,03 bar
 Perdita percentuale P3: 3,3%

Per le tubazioni strutturate, la norma DIN 16961 non riporta esplicitamente sistemi di giunzione tipici, pertanto si ritiene valida la conformità alla norma EN 13476. La giunzione tra le tubazioni è quindi effettuata a mezzo di bicchiere o manicotto di giunzione, corredati di apposita guarnizione in EPDM.

Il bicchiere può essere ottenuto sia per termoformatura di una delle due estremità direttamente in linea di estrusione o per saldatura di un bicchiere preformato, di solito ottenuto per stampaggio ad iniezione. In entrambi i casi, la deformabilità e la resistenza alla fessurazione della zona di giunzione possono essere diverse da quella della tubazione rettilinea.



**Figura 7. Sistemi di giunzione con bicchiere EN 13476
"TIPO A – TIPO B – TIPO B1 – TIPO C".**

Entrambi i sistemi di giunzione, sia per il tubo PALADEX che per le tubazioni conformi alla norma DIN 16961, sono di tipo a bicchiere con guarnizione in EPDM.

La differenza sostanziale consiste nella diversa rigidità della giunzione rispetto al resto della tubazione. Infatti nel tubo PALADEX si ha la sovrapposizione tra gli elementi "maschio" e "femmina" entrambi spiralati, conferendo un aumento di rigidità anulare rispetto al resto della tubazione, mentre per tubi interamente in PE, il giunto non comporta un significativo irrigidimento (vedi "TIPO B").

Pertanto la giunzione del tubo PALADEX risulta sicuramente più rigida del tubo e quindi meno soggetta a deformazione circonferenziale, che potrebbe causare problemi di tenuta.

Un'altra tipologia di giunzione utilizzata per tubi conformi alla norma DIN 16961 è del tipo “a bicchiere integrato”, con bicchiere elettrosaldabile.

Il sistema di giunzione per elettrosaldatura consente collegamenti fra tubo e tubo mediante l’inserimento di un elemento con resistenza elettrica incorporato nel codolo del tubo stesso. L’esecuzione delle saldature deve essere eseguita in conformità alla norma UNI 10521.

Tale sistema di giunzione risulta efficace solo se eseguito in un luogo pulito e asciutto, al riparo da agenti atmosferici sfavorevoli (pioggia, vento e umidità) ed a temperature ambiente comprese fra - 5°C e + 40°C.

Per la corretta esecuzione delle operazioni di saldatura è indispensabile rispettare rigorosamente le istruzioni riepilogate di seguito, riportate sui manuali tecnici dei produttori di tubi che prevedono il sistema di giunzione per elettrofusione:

- *predisporre le estremità interessate all’elettrofusione;*
- *rimuovere le eventuali protezioni dei fogli di plastica;*
- *correggere le eventuali ovalizzazioni dei tubi superiori all’1,5%, mediante appositi congegni arrotondatori e/o allineatori, onde riportare le dimensioni entro i valori tollerati;*
- *pulire manualmente con apposita sostanza liquida le estremità di contatto eliminando tracce di fango e polvere;*
- *inserire il “maschio” dentro al bicchiere ed aggiustarlo;*
- *verificare il corretto inserimento degli elementi da saldare e la loro perfetta coassialità;*
- *inserire un anello di supporto all’interno della condotta in corrispondenza del punto di saldatura del maschio, avvolgendo una fascia metallica e tirandola dall’esterno sul bicchiere;*
- *avvitare un adattatore sui terminali della spirale di saldatura;*
- *collegare la macchina elettrosaldatrice;*
- *nel caso sia presente sulle tubazioni un codice a barre che contiene tutte le informazioni necessarie all’esecuzione della saldatura, utilizzare un lettore del codice a barre per far acquisire alla macchina le informazioni opportune;*
- *terminata la saldatura rispettare un determinato tempo di raffreddamento, che dipende da vari fattori, lasciando bloccate le parti saldate fino a raffreddamento avvenuto, evitando tutte le possibili sollecitazioni esterne;*
- *solo al termine periodo di raffreddamento rimuovere l’anello di supporto interno e la fascia di tiro esterna al bicchiere*

Appare evidente che tale sistema di giunzione per elettrosaldatura risulti difficilmente applicabile soprattutto considerando che le tubazioni in esame sono di diametro elevato e pertanto le lavorazioni sono generalmente effettuate all'interno dello scavo, spesso in corrispondenza o in prossimità di falda.



Figura 8. Tipico esempio di cantiere per la posa di condotte di grande diametro.

La tipologia di giunzione a bicchiere con anello elastomerico utilizzato dal **PALADEX**, rispetto alle tipologie descritte in precedenza presenta alcuni oggettivi vantaggi:

- una maggiore rigidità anulare in virtù della sovrapposizione di due pareti spiralate realizzate con le medesime peculiarità costruttive dei tubi, che consente di ottenere deformazioni largamente inferiori in corrispondenza di un punto delicato come la giunzione;
- utilizzo di attrezzature semplici per la posa in opera della tubazione e per la realizzazione della giunzione;
- tempi di posa notevolmente contenuti, in quanto l'assemblaggio non richiede alcuna fase di preparazione e/o di completamento.
- garanzia di tenuta idraulica della giunzione superiore a quanto richiesto dalla norma (1 bar contro 0,5 bar prescritti dalla norma UNI 11434)

ANALISI COMPARATIVA DEL COMPORTAMENTO MECCANICO

Resistenza a creep

I tubi in materiale plastico (PE, PP, PVC) hanno un comportamento meccanico di tipo visco-elastico e quindi mostrano sotto carico costante una deformazione progressivamente crescente nel tempo.

Questo fenomeno è comunemente denominato “creep”.

Tale comportamento dei materiali plastici rappresenta uno dei limiti principali dei tubi flessibili, in quanto rende fondamentale l'azione di supporto del terreno circostante per limitare le deformazioni e prevenire lo schiacciamento del tubo sotto i carichi esterni applicati.

Il tubo **PALADEX**, pur essendo classificabile, per la sua struttura visibile, tra le tubazioni in materiale plastico, presenta caratteristiche significativamente diverse rispetto ad un tubo strutturato in PE, in quanto la presenza dell'acciaio all'interno della struttura del tubo limita notevolmente gli effetti del creep.

La presenza della spirale d'acciaio impartisce al tubo PALADEX una maggiore rigidità a parità di geometria esterna. Pertanto attraverso la collaborazione tra i diversi tipi di materiale si ottiene un effetto di rinforzo del materiale polimerico, che ne modifica le caratteristiche meccaniche e le condizioni d'impiego.

L'incremento di prestazioni meccaniche si traduce nei seguenti vantaggi:

- Possibilità di grandi diametri con rigidità anulare elevata;
- Riduzione del peso della tubazione a parità di caratteristiche prestazionali.

Entrambe le normative di prodotto relative a tubazioni spiralate rinforzate con acciaio UNI 11434 ed a tubazioni a parete strutturata DIN 16961 (con riferimento alla EN 13476), definiscono un valore limite dello scorrimento plastico (creep) differente, utilizzando il medesimo metodo di prova, definito dalla norma UNI EN ISO 9967.

CARATTERISTICHE	METODO DI PROVA E PARAMETRI DI PROVA	TUBAZIONI SPIRALATE RINFORZATE CON ACCIAIO (UNI 11434) PALADEX	TUBAZIONI CONFORMI ALLA UNI DIN 16961
Rapporto di scorrimento plastico (creep)	UNI EN ISO 9967 Temperatura 23°C	< 2.5 a due anni di estrapolazione	≤ 4.0 a due anni di estrapolazione

*In grigio i riferimenti normativi della norma EN 13476 a cui fa riferimento la DIN 16961

Tabella 10. Confronto tra i valori limite del rapporto di scorrimento plastico “creep” definiti dalle norme UNI 11434 e DIN 16961 (UNI EN 13476).

La norma UNI EN ISO 9967 definisce le modalità di prova e il metodo per determinare il rapporto di scorrimento plastico a due anni di estrapolazione.

La prova consiste nel sottoporre il campione di tubo ad una forza costante per 1008 ore (42 giorni). La deflessione del tubo viene registrata a specifici intervalli temporali.

La deflessione a 2 anni, viene estrapolata mediante una regressione lineare dell'equazione della retta:

$$Y_t = B + M \log t$$

Il valore del rapporto di scorrimento rappresenta pertanto la deflessione a 2 anni di estrapolazione, normalizzata alla deflessione iniziale ed è così determinato:

$$\gamma_A = \frac{Y_{2A} \left(0,0186 + 0,025 \frac{y_{0A}}{d_i} \right)}{y_{0A} \left(0,0186 + 0,025 \frac{Y_{2A}}{d_i} \right)}$$

- y_A è il rapporto di scorrimento;
- y_{0A} è la deflessione iniziale;
- y_{2A} è la deflessione a 2 anni;
- d_i è il diametro interno del provino.

Risulta pertanto evidente che la norma UNI 11434 impone come requisito una riduzione del fenomeno di "creep", mediante la differente determinazione del rapporto di scorrimento, pari a circa il 40% rispetto ad una tubazione strutturata in polietilene certificata secondo la norma DIN 16961 e/o EN 13476.



Figura 9. Tubo PALADEX durante la prova di deformazione.

Nella seguente figura sono evidenziati i dati relativi a prove di deformazione sotto carico costante eseguite sul tubo PALADEX e su un tubo corrugato, a parità di diametro (DN/ID 800) e di rigidità anulare (classe A = SN8).

In queste prove è stato applicato un carico tale da imporre una deformazione iniziale Y_0 pari al 3% del diametro nominale. A titolo puramente esemplificativo sono stati esaminati un campione di tubo PALADEX conforme alla norma UNI 11434 ed un campione di tubo corrugato conforme alla norma EN 13476.

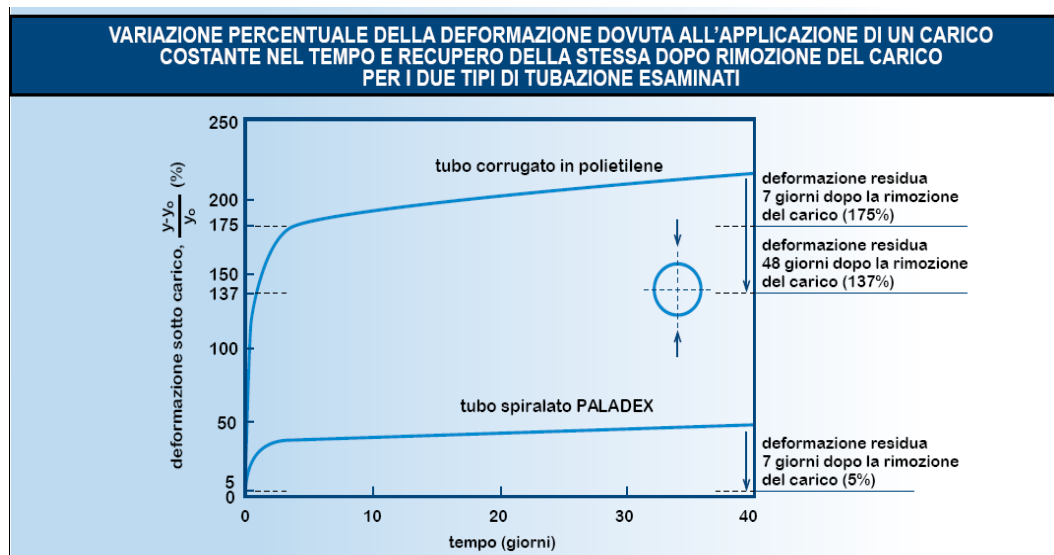


Figura 10. Risultato comparativo della prova di deformazione a carico costante.

Si osserva che il fenomeno del creep è presente in entrambi i casi, ma per il tubo PALADEX il valore di deformazione dopo 40 giorni di applicazione del carico è circa 4 volte inferiore.

Entrambi i tubi recuperano parte della deformazione subito una volta rimosso il carico:

- il tubo corrugato dopo 48 giorni recupera circa un terzo della deformazione totale
- il tubo PALADEX recupera completamente la forma iniziale già dopo 7 giorni

Il tubo PALADEX, pertanto, pur essendo considerato deformabile, cioè meno rigido del terreno circostante, risulta estremamente più resistente all'ovalizzazione rispetto ad un normale tubo strutturato in materiale termoplastico.

Rigidità anulare - Tubo PALADEX conforme alla norma UNI 11434

Il tubo spiralato PALADEX è prodotto in conformità alla norma Italiana UNI 11434 emessa nel Gennaio 2012. Tale norma, nella sua Appendice “A”, identifica i parametri per il calcolo della rigidità anulare confermando l’utilizzo delle apparecchiature, dei metodi di campionamento e di condizionamento dei provini, e della procedura di prova indicata nella norma EN ISO 9969 cui fa riferimento anche la norma UNI EN 13476.

La medesima Appendice specifica che, con una deflessione del diametro interno corrispondente al 3, 5 e 8 %, la resistenza allo schiacciamento PS (Pipe Stiffness), espressa in kPa, può essere calcolata utilizzando la seguente equazione:

$$PS = \frac{F \cdot 10^6}{L \cdot y}$$

In cui:

PS è la rigidità anulare espressa in KPa;

F è la forza, in KN, corrispondente alla percentuale di deflessione del tubo;

L è la lunghezza, in millimetri del campione;

y è la deflessione, in millimetri, corrispondente alla percentuale di deflessione del tubo.

La rigidità anulare S “stiffness” è data dalla seguente relazione

$$S = 0.0186 \cdot PS$$

Come definito nella nota al prospetto 4 della norma UNI 11434, il valore di rigidità anulare (stiffness) “S” al 3% di deformazione delle classi A, B e C è uguale a quella dei tubi con rigidità anulare (nominal stiffness) SN rispettivamente 8, 12 e 16 secondo la norma UNI EN ISO 9969.

UNI 11434	UNI EN 13476
CLASSE (S)	SN
-	SN 2
-	SN 4
CLASSE A (SN 8)	SN 8
CLASSE B (SN 12)	-
CLASSE C (SN 16)	SN 16

Tabella 11. Equivalenza dei valori di rigidità anulare tra la norma UNI 11434 e la norma EN 13476

Rigidità anulare - Tubi conformi alla norma DIN 16961

Per tali tubazioni strutturate la norma DIN 16961 prevede una classificazione diversa della rigidità anulare rispetto alla classica definizione della norma ISO 9969 (SN = Normal Stiffness).

In Tabella 2 (pag. 12) della presente relazione è riportato un confronto tra le classi di rigidità anulare per le varie norme in esame.

La prova eseguita secondo la norma DIN 16961 prevede l'applicazione, di un carico costante, preventivamente calcolato, al fine di misurare la deformazione dopo 24 ore; il valore di rigidità anulare, calcolato sul raggio del tubo, è definito S_{R24} .

Tale valore di rigidità anulare è determinato secondo la formula seguente

$$S_{R24} = \frac{E_{c24} \cdot I}{r^3}$$

dove

E_{c24} è il modulo elastico determinato dalla prova di flessione sul materiale in conformità alla norma ISO EN 899-2;

I è il momento di inerzia della sezione della parete del tubo;

r è il raggio all'asse neutro della sezione del tubo;

La norma stabilisce valori limite del modulo elastico del materiale (PE, PP, PVC) in funzione del tempo. Di seguito è riportata un estratto della tabella della norma DIN 16961, con riferimento al polietilene.

PE-HD	DURATA DEL CARICO		MODULO ELASTICO [KN/m ²]
	1 min	E_{ck}	8.0×10^5
	24 ore	E_{c24}	3.9×10^5
	2000 ore	E_{c2000}	2.5×10^5
	2 anni	E_{c2}	2.0×10^5
	50 anni	E_{c50}	1.5×10^5

Tabella 12. Tabella relativa ai valori limite del modulo elastico del PE-HD secondo la norma DIN 16961

Inoltre, a differenza della norma UNI 11434, la DIN 16961 definisce sia il modulo elastico del materiale del tubo che il momento di inerzia della sezione; tale definizione normativa risulta possibile in quanto la norma tratta tubazioni costituite da un unico materiale omogeneo.

Il valore S_{R24} così calcolato risulta un valore teorico della rigidezza anulare del tubo, pertanto per il calcolo e la verifica della rigidezza di uno specifico tubo risulta necessaria una prova su tre campioni a carico costante della durata di 24 ore, secondo i parametri definiti dalla medesima norma DIN 16961.

Il valore della forza da applicare per effettuare la prova deve essere calcolato con la seguente relazione:

$$F = SR_{24(th)} \cdot \Delta d_{iv} \cdot L / \xi$$

dove

F è l'azione da applicare ai campioni di tubo

$S_{R24(th)}$ è la rigidezza anulare teorica (calcolata in precedenza)

Δd_{iv} è la deformazione massima consentita pari al 3% del diametro interno;

L è la lunghezza del campione;

ξ è un coefficiente tabellato funzione della percentuale di deformazione (es. 3% => 0.1548)

Deformazione %	Coefficiente di deformazione
0	0.148 8
1	0.150 8
2	0.152 8
3	0.154 8
4	0.156 8
5	0.158 8
6	0.160 8
7	0.162 8
8	0.164 8
9	0.166 8
10	0.168 8
11	0.170 8
12	0.172 8
13	0.174 8
14	0.176 8
15	0.178 8

Tabella 13. Coefficienti di deformazione in funzione della percentuale di deformazione del diametro interno (DIN 16961).

La prova di deformazione a carico costante prevede la lettura della deformazione interna del diametro dopo 1h, 4h, 6h e 24h. Quindi la lettura della percentuale di deformazione dopo le 24h di prova permette di ricavare ulteriormente il coefficiente di deformazione ξ per interpolazione lineare dalla precedente tabella.

Pertanto il valore di prova della rigidità anulare del tubo sottoposta al test è ricavato dalla seguente formula:

$$S_{R24} = \frac{F \cdot \xi}{\Delta d_{ivm} \cdot L}$$

dove

S_{R24} è la rigidità anulare del tubo (KN/m²)

F è l'azione costante applicata per 24 h sul campione di tubo;

ξ è un coefficiente di deformazione calcolato per interpolazione dalla tabella precedente

Δd_{ivm} è la deformazione del diametro interno dopo 24 h di test

L è la lunghezza del campione;

Il valore S_{R24} così calcolato definisce la classe del tubo secondo la norma DIN 16961.

EN 13476	DIN 16961
SN	SERIE (S_{R24})
SN 2	SERIE 3 $S_{R24} = 8$ (= 8 KN/m ² / 4)
SN 4	SERIE 4 $S_{R24} = 16$ (= 16 KN/m ² / 4)
SN 8	SERIE 5 $S_{R24} = 31.5$ (= 31.5 KN/m ² / 4)
SN 16	SERIE 6 $S_{R24} = 63$ (= 63 KN/m ² / 4)

Tabella 14. Equivalenza dei valori di rigidità anulare tra la norma EN 13476 e la norma DIN 16961.

Le giunzioni

Il comportamento meccanico delle giunzioni può presentare una particolare criticità per le tubazioni interrate, in quanto costituisce una singolarità geometrica. Nel caso più frequente, le giunzioni delle tubazioni di scarico non in pressione sono del tipo “a bicchiere”, nelle quali ad una delle due estremità del tubo il diametro interno è incrementato ad un valore superiore a quello del diametro esterno medio della tubazione, in modo da consentirne l’inserimento.

Il maggiore ingombro radiale dato dal bicchiere necessita di opportuni accorgimenti in fase di posa in opera per mantenere la linearità delle tubazione.

Nel caso di tubazioni corrugate, quest’ultimo può essere ottenuto sia per termoformatura di una delle due estremità direttamente in linea di estrusione o per saldatura di un bicchiere preformato, di solito ottenuto per stampaggio ad iniezione. In entrambi i casi, la deformabilità e la resistenza alla fessurazione della zona di giunzione possono essere diverse da quella della tubazione rettilinea e quindi devono essere valutate attentamente.

Il tubo PALADEX prevede, viceversa, un sistema di giunzione di tipo “a bicchiere”, ottenuto saldando un pezzo preformato ad una delle due estremità del tubo stesso. Entrambi gli elementi “maschio” e “femmina” hanno un profilo di parete strutturato di tipo spiralato, realizzato mediante avvolgimento ad elica, liscio internamente con costolature esterne rinforzate da una lamina sagomata ad omega di acciaio zincato classe DX51D + ZF/Z, conforme ai requisiti della norma UNI EN 10346 completamente incorporata nella parete del tubo.



Figura 11. Tubo PALADEX - Giunzione di tipo “a bicchiere”.

Tali specifiche peculiarità costruttive garantiscono, anche e soprattutto nella giunzione, punto critico per tutte le tipologie di condotte, una maggiore rigidità anulare rispetto al tubo medesimo con conseguente costanza ed indeformabilità del diametro interno.

Gli elementi “maschio” e “femmina” sono realizzati in modo tale da favorire l’allineamento dei tubi ed il loro assemblaggio mediante l’utilizzo di semplici attrezzature comunemente presenti in cantiere.

I tempi di posa risultano conseguentemente contenuti, in quanto l’assemblaggio non richiede alcuna fase di preparazione e/o di completamento.

Il sistema di giunzione del tubo **PALADEX** garantisce all’impresa esecutrice evidenti vantaggi in termini di rapidità di posa, sicurezza ed economicità.

La rigidità degli elementi è tale da compensare anche eventuali imprecisioni delle maestranze nella fase di posa, limitando il rischio di danneggiamenti alla condotta.

L’inserimento della parte “maschio” nella parte “femmina” è favorito dal lubrificante che viene fornito in dotazione e da uno “stopper” che indica il limite massimo di introduzione nel bicchiere.

ANALISI COMPARATIVA DELLE CARATTERISTICHE CHIMICHE

Corrosione

I materiali polimerici non richiedono alcuna protezione nei riguardi dei fenomeni di corrosione elettrochimica o per accoppiamento galvanico, in quanto non sono elettricamente conduttivi.

L’acciaio può essere soggetto a tali fenomeni qualora dovesse venire in contatto diretto con i fluidi trasportati o presenti all’esterno della tubazione.

L’anima in acciaio zincato, di classe **DX51D + ZF/Z** in conformità ai requisiti dettati dalla norma **UNI EN 10346**, utilizzata nel tubo **PALADEX**, è interamente ricoperta da un primer a base polietilenica che garantisce la perfetta omogeneità e saldabilità con le due pareti, interna ed esterna, in polietilene.

L’acciaio utilizzato per la produzione del tubo **PALADEX** viene preventivamente sottoposto al peeling test, con il quale si misura la forza di adesività del primer polietilenico all’acciaio e dunque si garantisce il totale isolamento del medesimo dagli agenti interni ed esterni.

La particolare tecnologia costruttiva impiegata per il tubo **PALADEX** assicura la perfetta adesione tra l’acciaio ed il polietilene, evita il contatto con l’acqua ed il trasporto delle specie ioniche e pertanto inibisce qualunque processo di corrosione.

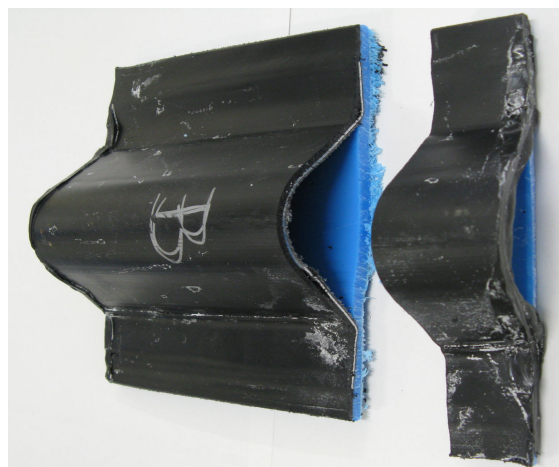
La **PALADERI S.p.A.** ha commissionato al C.T.R. (Centro Triveneto per la Ricerca e prove sui materiali) di Limena (PD) una prova di corrosione accelerata in nebbia salina neutra, al fine di studiare il fenomeno di corrosione in ambiente marino sul tubo spiralato **PALADEX**.

I provini impiegati nel test, ricavati dalla sezione dell'omega del tubo **PALADEX**, sono stati immersi in una soluzione salina basica con concentrazioni di NaCl e Na₂SO₄ superiori a quanto disposto dalla norma UNI 11130 per 8 ore al giorno e lasciati esposti all'aria per le restanti 16 ore.

Al termine dei 30 giorni di prova, l'esame visivo del campione ha evidenziato l'assenza di delaminazione del polietilene dall'acciaio e di infiltrazioni della soluzione al di sotto del polietilene di rivestimento della bandella.

Nell'eventualità in cui l'acciaio non sia ricoperto dagli strati protettivi, per eventi accidentali ovvero quando il tubo deve essere tagliato per l'ingresso in un pozzetto, l'estremità scoperta del profilo in acciaio deve essere trattata in maniera analoga a qualsiasi superficie metallica con materiale adeguato a tale scopo.

Il ripristino della protezione dell'acciaio si basa sull'utilizzo di resine epossidiche bi-componenti ad alta resistenza e deriva direttamente dalle esperienze maturate nel settore delle condotte in acciaio rivestite in polietilene per il trasporto dei prodotti petroliferi.



PESO DEL TUBO

La particolare ed innovativa struttura costituita da un profilo di parete strutturato di tipo spiralato, liscio internamente, con costolature esterne rinforzate da una lamina sagomata ad omega di acciaio zincato interamente inglobata in due strati di polietilene, conferisce al tubo PALADEX, a parità di rigidità anulare, un peso inferiore rispetto ai tubi con le medesime destinazioni d'uso presenti sul mercato.

Il peso medio di un tubo spiralato PALADEX DN/DI 1200 SN8 è pari a 70 kg/m, quello di un tubo spiralato classico in polietilene è pari a 120 kg/m e quello di un tubo in cemento armato è superiore a 1900 kg/m.

La leggerezza del tubo PALADEX non inficia la rigidità anulare e garantisce al progettista, al committente ed all'utilizzatore finale i seguenti oggettivi vantaggi:

- Economicità del tubo;
- Tempi e costi di posa in opera contenuti;
- Possibilità di realizzare barre di lunghezza fino a metri 13,40 senza saldature;
- Possibilità di infilaggio con minore incidenza del costo di trasporto;
- Economicità dei mezzi da utilizzare in cantiere per la movimentazione.

Per quanto attiene allo specifico confronto con i tubi spiralati in PE conformi alla norma DIN 16961, sebbene anche questi ultimi vengano annoverati tra le tipologie più leggere presenti sul mercato, i tubi PALADEX, dotati di una struttura di rinforzo in acciaio, risultano avere un peso ancor più contenuto di quelli costituiti interamente in polietilene, in grado, pertanto, di incrementare le caratteristiche di semplicità e rapidità di movimentazione e posa in opera riconosciute ai tubi plastici

TUBO	DN/ID [mm.]	SN	PESO [kg/m]	DIFFERENZA [%]
PALADEX (norma UNI 11434)	1600	8	96	- 42,5
Spiralato in PE (norma DIN 16961)	1600	8	167	

Tabella 15. Confronto pesi tubi PALADEX e tubi strutturati in PE conformi alla norma DIN 16961.

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Il tubo PALADEX in HDPE rinforzato con una spirale in acciaio presenta una serie di caratteristiche che comportano notevoli vantaggi in termini di utilizzo.

In primo luogo la possibilità di disporre di tubazioni di grande diametro con classe di resistenza fino ad SN16, con una ridotta tendenza all'ovalizzazione sotto carichi costanti (fenomeno del "creep").

Tali benefici sono dovuti essenzialmente alla presenza della spirale d'acciaio inglobata nella parete del tubo, che permette inoltre, grazie al suo modulo elastico elevato, il recupero totale della forma.

La maggiore leggerezza del tubo PALADEX, la considerevole riduzione della tendenza all'ovalizzazione per applicazione di carichi costanti - "creep", dovuta alla presenza della spirale d'acciaio, come pure la geometria delle giunzioni bicchierate semplificano le operazioni di posa e offrono migliori prestazioni in fase di esercizio.

CARATTERISTICHE	PALADEX	Tubo Spiralato in PE
Gamma diametri	dal DN/ID 400 al DN/ID 2400	dal DN/OD 100 al DN/OD 3000
Classe di resistenza	A = SN 8 - B = SN 12 - C = SN 16 - SN 20 (su richiesta)	SN 2 - SN 4 - SN 8

CARATTERISTICHE	Valutazione PALADEX	Valutazione Tubo Spiralato in PE
Durabilità delle caratteristiche meccaniche	OTTIMA	MEDIA
Resistenza al creep	OTTIMA	MEDIA
Recupero della forma	BUONA	SCARSA
Resistenza agli urti	OTTIMA	OTTIMA
Scabrezza	OTTIMA	OTTIMA
Durabilità delle caratteristiche idrauliche	OTTIMA	OTTIMA
Tenuta idraulica della giunzione	OTTIMA	BUONA
Resistenza all'abrasione	OTTIMA	OTTIMA
Resistenza alla corrosione	OTTIMA	OTTIMA
Leggerezza	OTTIMA	BUONA
Facilità e velocità di posa	OTTIMA	BUONA
Semplicità di manutenzione	OTTIMA	OTTIMA
Impatto ambientale	OTTIMA	OTTIMA

Tabella 16. Riepilogo dell'esame comparativo tra il tubo PALADEX ed il tubo spiralato in PE.