

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

CONFRONTO

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

VS

TUBI CORRUGATI IN POLIPROPILENE (PP)

SOMMARIO

SOMMARIO	2
INTRODUZIONE	3
CARATTERISTICHE GENERALI DELLE TUBAZIONI IN ESAME.....	4
La struttura dei prodotti.....	5
CONFRONTO TRA LE NORME UNI11434 e UNI EN 13476	7
La norma UNI 11434 per tubi spiralati rinforzati con acciaio.....	7
La norma UNI EN 13476-3.....	7
IL TUBO PALADEX e IL CORRUGATO IN PP	13
ANALISI COMPARATIVA DELLE CARATTERISTICHE IDRAULICHE	16
Gamma dei diametri disponibili.....	16
Resistenza all'abrasione.....	17
Tenuta idraulica della giunzione	18
ANALISI COMPARATIVA DEL COMPORTAMENTO MECCANICO	21
Resistenza a creep	21
Rigidità anulare	24
Le giunzioni	25
ANALISI COMPARATIVA DELLE CARATTERISTICHE CHIMICHE	26
Corrosione.....	26
PESO DEL TUBO	28
CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	29

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;
- Tubo in Polipropilene (PP) corrugato.

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 Polipropilene, di seguito PP) 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 e alla facilità ed economicità della 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, questo fenomeno è comunemente denominato "creep".

Per limitare le conseguenze di questo fenomeno, la PALADERI S.p.a. ha realizzato il tubo PALADEX - tubazione spiralata 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 in PP.

La struttura dei prodotti

Il tubo PALADEX in HDPE rinforzato con una spirale in acciaio, presenta un profilo di corrugazione spiralato, a differenza dei normali tubi corrugati, 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 nel tubo corrugato tradizionale.

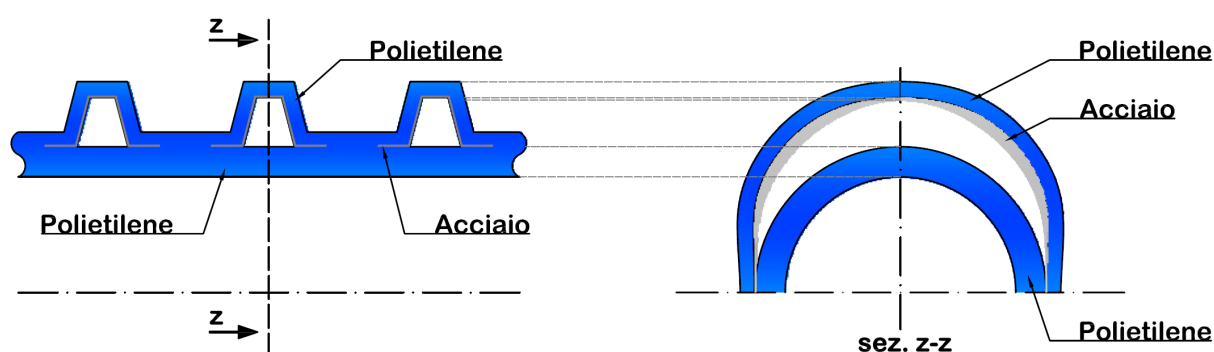


Figura 1. Sezione del tubo PALADEX spiralato rinforzato con acciaio.

Le tubazioni corrugate a doppia parete strutturate sono costituite da due strati di materiale coestruso, che vengono opportunamente sagomati all'uscita della testa di estrusione per assumere la configurazione geometrica mostrata schematicamente in figura.

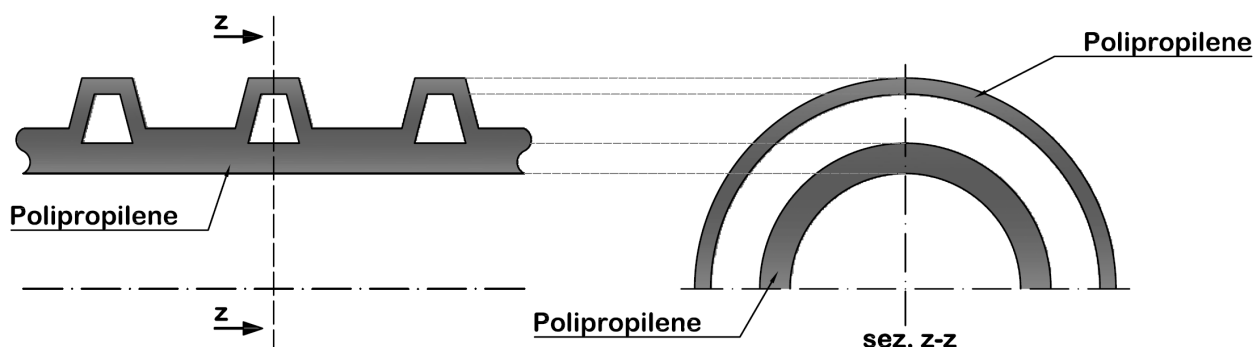


Figura 2. Sezione di una tubazione corrugata a doppia parete (tipo B secondo EN 13476-3:2008).

Nella seguente vista laterale inoltre si può apprezzare la differenza tra le due tipologie di corrugazione. Il tubo PALADEX a causa della disposizione elicoidale della bandella in acciaio, non presenta più una simmetria rotazionale nel piano trasversale all'asse del tubo.

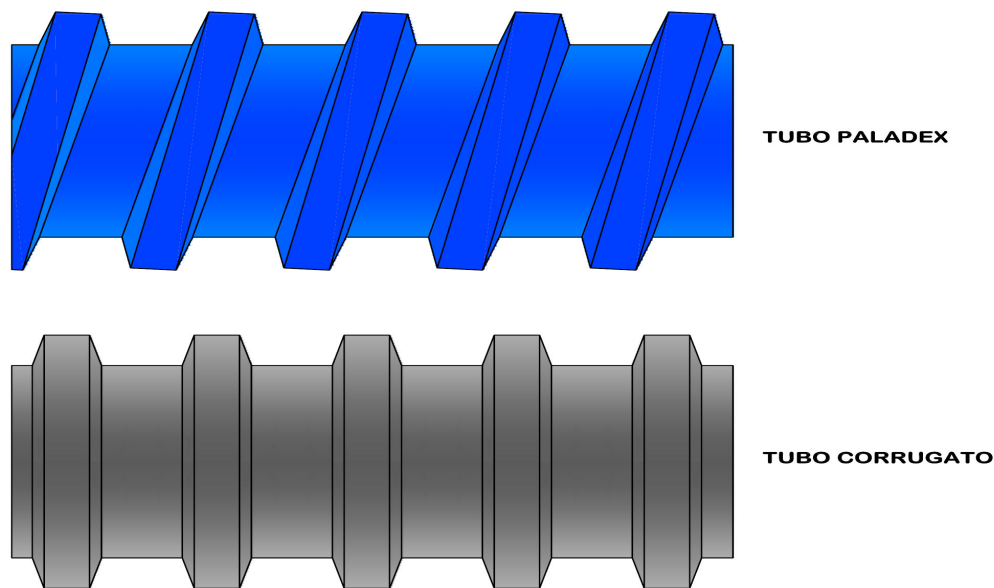


Figura 3. Vista laterale dei due tipi di tubazione esaminati.

In entrambe le tubazioni, sia lo strato interno che lo strato esterno svolgono funzioni importanti.

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 e all'abrasione dovuta al particolato trasportato.

Lo strato esterno, nel caso delle tubazioni corrugate, impartisce alla struttura la necessaria resistenza ai carichi applicati. Nel caso delle tubazioni spiralate, le qualità dell'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 spirali di polietilene rinforzato con acciaio sono riportate nella norma UNI 11434:2012.

Mentre per le tubazioni corrugate in PP la norma di prodotto è la UNI EN 13476.

CONFRONTO TRA LE NORME UNI11434 e UNI EN 13476

La norma UNI 11434 per tubi spirali rinforzati con acciaio

Nel gennaio 2012 l'Ente Nazionale di Unificazione ha emesso la norma UNI 11434 specifica per le tubazioni spirali 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 UNI EN 13476-3

Per quanto riguarda le tubazioni corrugate in PP la norma di riferimento è la UNI EN 13476-3 applicabile a tubi e raccordi con superficie interna liscia ed esterna profilata, designata come "tipo B", con diametri **DN/ID da 100 mm a 1200 mm**, da utilizzare nel campo delle fognature e scarichi interrati non in pressione.

Entrambe le normative 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 corrugato in PP (UNI EN 13476-3), e le normative a cui esse fanno riferimento.

CONFRONTO NORMATIVE DI PRODOTTO				
CARATTERISTICHE		PALADEx UNI 11434	CORRUGATO PP UNI EN 13476	
Requisiti del prodotto finito	Gamma DN/ID	Da 400 a 2500 mm.	Da 100 a 1200 mm.	
	Rigidità anulare	UNI 11434 – Appendice A (UNI EN ISO 9969-2008)	UNI EN ISO 9969-2008	
	Rapporto di scorrimento plastico (creep)	UNI EN ISO 9967	UNI EN ISO 9967	
	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		

**Tabella 1. Confronto delle normative di prodotto tra
Tubi Spiralati in PE rinforzato con acciaio e Tubi Corrugati in PP**

Dalla

Tabella 1 risulta evidente che la norma UNI 11434, relativa alle tubazioni spiralate, risulta proiettata per normare tubazioni rivolte ad una gamma di grandi diametri. 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 e la conduzione del test, 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.

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

Entrando nel dettaglio della precedente tabella, sono stati estrapolati i requisiti minimi dei materiali costituenti le tubazioni, i parametri di prova e 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 UNI EN 13476 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 165h 80°C; 2.8 MPa; Durata 1000h	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
PP	Resistenza alla pressione interna	Senza rotture durante il periodo di prova	80°C; 4.2 MPa; Durata 140h 80°C; 2.5 MPa; Durata 1000h	UNI EN ISO 1167-1 UNI EN ISO 1167-2
	Stabilità termica OIT	≥ 8 min	Temperatura 200°C	UNI EN 728
	Indice di fluidità in massa (MFR)	MFR ≤ 1,5 g/10 min	Temperatura 230°C Massa del carico 2.16 kg	UNI EN ISO 1133:2005 Condizione M

Tabella 4. Caratteristiche minime dei materiali costituenti i tubi corrugati in PP secondo la norma UNI EN 13476.

Tali requisiti sono riferiti ad un campione estruso di tubo a parete piena rispettivamente in polietilene ad alta densità ed in polipropilene.

Le caratteristiche minime del HDPE per le tubazioni spiralate risultano conformi alla tabella 2 della norma UNI EN 13476.

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%	Deflessione del diametro esterno > 10%	UNI EN ISO 13968
	Nessuna separazione tra i differenti strati della parete		
	Nessuna fessurazione o rottura		
Resistenza al collasso	Sforzo di ovalizzazione > 75% del picco raggiunto nella prova di flessibilità anulare fino ad una deflessione del 20%	Deflessione del diametro medio > 20%	UNI EN ISO 13968
	Nessuna separazione tra i differenti strati della parete		
	Nessuna fessurazione o rottura		
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 2m	UNI EN 744
Resistenza della giunzione allo schiacciamento	Nessuna separazione tra le saldature	Lunghezza dello spezzone di tubo: 600 mm ± 50 mm	
	Nessuna fessurazione o rottura	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	SN > di quello di classificazione	Conforme alla norma UNI EN ISO 9969:2008	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 ≤ 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

Tabella 6. Caratteristiche fisico meccaniche minime per i tubi corrugati in PP (UNI EN 13476).

Dalle tabelle precedenti si evince, oltre alla differente classificazione della rigidità anulare della tubazione, la cui equivalenza è riportata in

Tabella 1, la differenza del valore del rapporto di scorrimento plastico “creep” che per le tubazioni corrugate in PP e PE, normate dalla UNI 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 e IL CORRUGATO IN PP

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.

Il tubo **PALADEX** è realizzato mediante un processo di avvolgimento continuo ad elica del polietilene e dell'acciaio opportunamente sagomato con profilo ad omega. Pertanto la sezione del tubo risulta essere composta da uno strato interno in polietilene, da una parete esterna strutturata in polietilene e da un'anima di acciaio zincato ricoperta completamente da un primer a base polietilenica che garantisce la perfetta omogeneità e saldabilità con le due pareti.

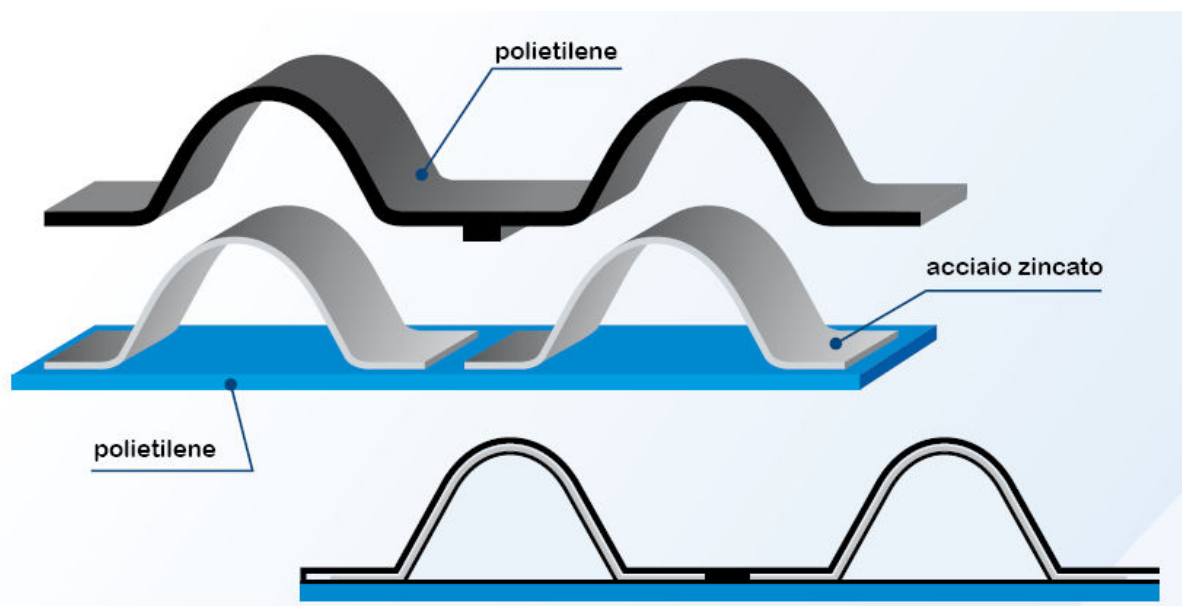


Figura 4. Sezione trasversale del tubo PALADEX.

Il tubo PALADEX risulta composto da:

- uno strato interno in HDPE, a diretto contatto con il fluido trasportato;
- un profilo ad “Ω” in acciaio zincato classe DX51D + ZF/Z così come previsto dalla norma UNI EN 10346, completamente incorporato nella parete del tubo, realizzato mediante avvolgimento ad elica;
- uno strato esterno in HDPE a protezione dell’anima in acciaio.

La PALADERI S.p.a., produce, nel proprio stabilimento di Villadose (RO), il tubo PALADEX con i seguenti materiali, in conformità alla norma UNI 11434:2012.

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/10min
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	Conducibilità 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.

Le tubazioni in PP corrugate a doppia parete strutturate sono costituite da due strati di materiale coestruso, che vengono opportunamente sagomati all'uscita della testa di estrusione.

Pertanto tali tubazioni, realizzate interamente in PP, sono costituite da:

- uno strato interno in PP, che oltre ad essere a contatto con il fluido trasportato, deve assolvere anche alla funzione strutturale;
- uno strato esterno, sempre in PP, sagomato secondo il profilo classico di corrugazione, che ha funzione strutturale irrigidente.

Il PP rispetto al HDPE presenta le seguenti caratteristiche:

- densità e peso specifico inferiore;
- comportamento leggermente migliore alle alte temperature e leggermente peggiore alle basse temperature;
- analogo comportamento nei confronti dei fenomeni di abrasione e di resistenza alle sostanze chimiche;
- modulo elastico tipico leggermente superiore.

Il modulo elastico del materiale influenza direttamente la rigidità della tubazione e quindi la resistenza ai carichi verticali. Di conseguenza, a parità di spessori, un materiale con modulo elastico superiore presenta una migliore resistenza ai carichi.

Di seguito di riporta una tabella dalla norma UNI EN 13476-1 (allegato A) che evidenzia le caratteristiche fisiche del Polietilene e del Polipropilene utilizzati per le tubazioni di scarico a gravità.

CARATTERISTICHE	PE	PP
Modulo di elasticità istantaneo	≥ 800 MPa	≥ 1250 MPa
Densità media	≈ 940 kg/m ³	≈ 900 kg/m ³
Coefficiente medio di dilatazione lineare termica	$\approx 17 \times 10^{-5}$ K ⁻¹	$\approx 14 \times 10^{-5}$ K ⁻¹
Conduttività termica	$\approx 0.36 \div 0.50$ W/K m	≈ 0.2 W/K m
Capacità termica specifica	$\approx 2300 \div 2900$ J Kg K	≈ 2000 J Kg K
Resistenza superficiale	$> 10^{13}$ Ω	$> 10^{12}$ Ω
Coefficiente di Poisson	0.45	0.42

Tabella 8. Confronto tra le caratteristiche dei materiali HDPE e PP secondo la norma UNI EN 13476

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 UNI EN 13476 per le tubazioni Corrugate in PP. 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 Corrugati in PP.

PALADEX			Hydro		Ecopal		Stabil Twin Eco	
DN/ID mm	Diametro interno medio minimo mm	Diametro esterno medio massimo mm	DN/DE mm	DI mm	DN/DE mm	DI mm	DN/DE mm	DI mm
-	-	-	200	172	-	-	-	-
-	-	-	250	218	250	216	225	200
-	-	-	315	272	315	271	282	250
-	-	-	350	300	350	300	339	300
-	-	-	400	347	400	343	-	-
400	396	408	468	400	465	400	451	400
-	-	-	500	433	500	427	-	-
500	495	510	565	500	580	500	563	500
-	-	-	630	535	630	535	-	-
600	594	612	701	600	700	600	677	600
700	693	714	800	678	800	690	-	-
800	792	816	935	800	930	800	928	800
900	891	918	1000	852	1000	853	-	-
1000	990	1020	1200	1030	1200	1025	1168	1000
1100	1090	1123	-	-	-	-	-	-
1200	1188	1224	-	-	-	-	-	-
1300	1287	1326	-	-	-	-	-	-
1400	1386	1428	-	-	-	-	-	-
1500	1485	1530	-	-	-	-	-	-
1640	1625	1671	-	-	-	-	-	-
1800	1781	1835	-	-	-	-	-	-
2000	1979	2039	-	-	-	-	-	-
2200	2177	2243	-	-	-	-	-	-
2400	2375	2447	-	-	-	-	-	-

Tabella 9. 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.

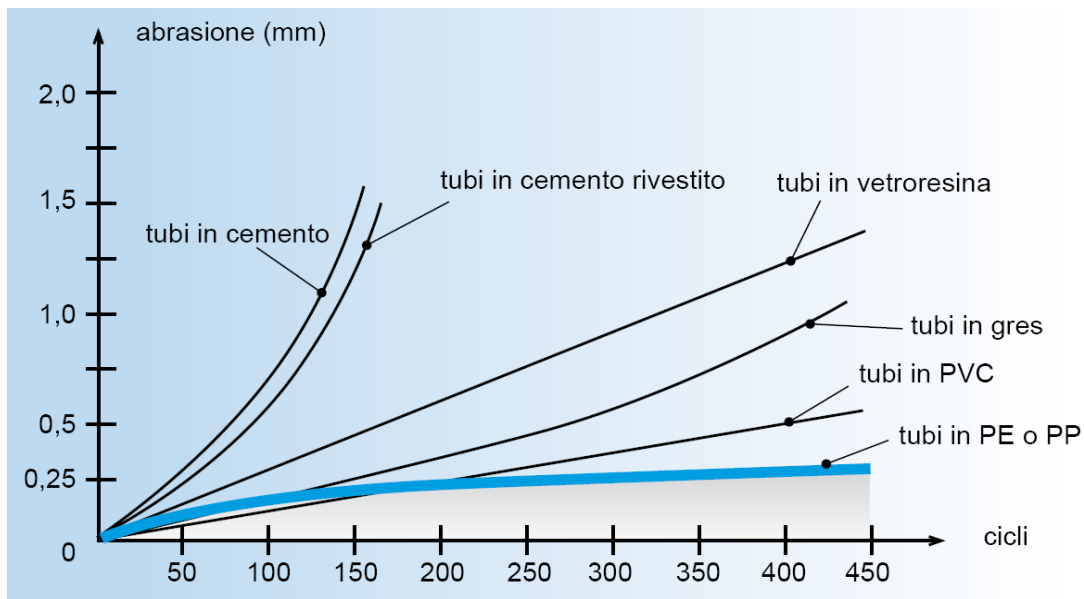


Figura 5. Valori medi di abrasione per tubi di materiali diversi secondo la procedura dell'Università di Darmstadt.

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 (UNI 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 10. 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°.

VERIFICA DELLA TENUTA DEI GIUNTI AD ANELLO ELASTOMERICO DI TUBAZIONE DI SCARICO INTERIATO NON IN PRESSIONE (CONDIZIONE C)

Pressione alla prova	Pressione alla fine della prova	Perdita
P3: 1,5 bar	1,467 bar	0,033 bar
P3: 1,2 bar	1,187 bar	0,013 bar
P3: 1,0 bar	0,967 bar	0,033 bar
P3: 0,8 bar	0,787 bar	0,013 bar
P3: 0,6 bar	0,587 bar	0,013 bar
P3: 0,4 bar	0,387 bar	0,013 bar
P3: 0,2 bar	0,187 bar	0,013 bar
P3: 0,1 bar	0,087 bar	0,013 bar
P3: 0,05 bar	0,037 bar	0,013 bar

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%

Nel caso di tubazioni corrugate, la giunzione tra le tubazioni è 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. Corrugato in PP - Sistemi di giunzione con bicchiere "TIPO A – TIPO B – TIPO B1 – TIPO C".

Entrambi i sistemi di giunzione, sia per il tubo PALADEX che per le tubazioni corrugate in PP, 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 alla tubazione, mentre per il corrugato in PP, 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.

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 in tali applicazioni, 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 corrugato in PP, 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 ampliare la gamma dei diametri (DN/ID max 2500 – UNI 11434);
- Riduzione del peso della tubazione a parità di caratteristiche prestazionali.

Entrambe le normative di prodotto relative a tubazioni spiralmate rinforzate con acciaio (UNI 11434) ed a tubazioni corrugate in PP (UNI 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 EN 13476 CORRUGATE IN PP
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

Tabella 11. Confronto tra i valori limite del rapporto di scorrimento plastico “creep” definiti dalle norme UNI 11434 e 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 corrugata in polipropilene certificata secondo la norma UNI EN ISO13476.



Figura 8. 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.

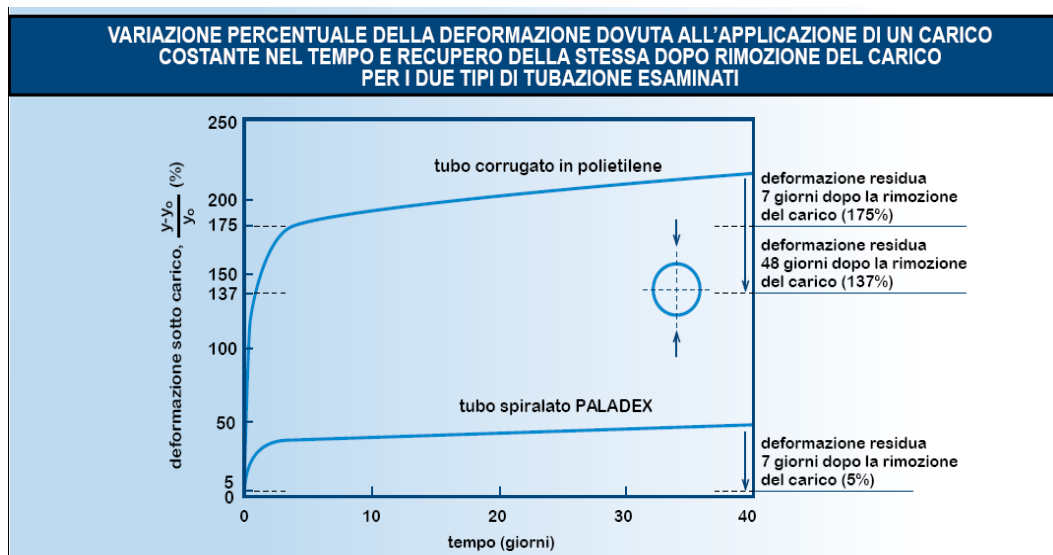


Figura 9. Risultato comparativo della prova di deformazione a carico costante.

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

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 12. Equivalenza dei valori di rigidità anulare tra la UNI 11434 e la UNI EN 13476

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 premetterne 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.

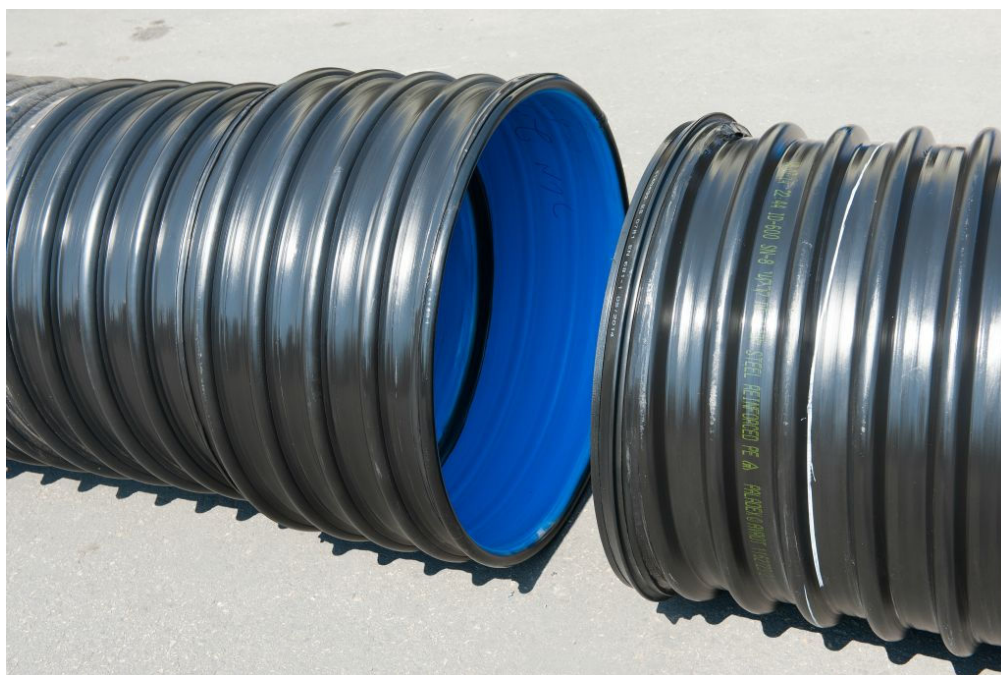


Figura 10. Tubo PALADEX - Giunzione di tipo “a bicchiere”.

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** garantisce 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.

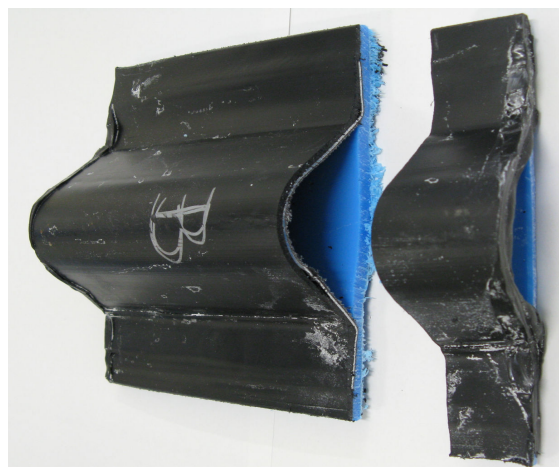
La **PALADERI S.p.A.** ha commissionato al C.T.R. (Centro Triveneto per la Ricerca e prove sui materiali) di Limena (PD) una prova di corrosione accelerata in nebbia salina neutra, al fine di studiare il fenomeno di corrosione in ambiente marino sul tubo spiralato **PALADEX**.

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/ID 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 corrugati in PP, 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 polipropilene, 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	800	8	28	- 26,3
Corrugato PP	852	8	38	
PALADEX	1000	8	40	- 24,5
Corrugato PP	1030	8	53	

Tabella 13. Confronto pesi tubi PALADEX e Corrugati in PP.

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 esercizio.

CARATTERISTICHE	PALADEX	Corrugato in PP
Gamma diametri	dal DN/ID 400 al DN/ID 2400	dal DN/OD 200 al DN/OD 1200 (PP Hydro)
Classe di resistenza	A = SN 8 – B = SN 12 – C = SN 16 - SN 20 (su richiesta)	SN 4 - SN 8 - SN 16 (solo PP Hydro)

CARATTERISTICHE	Valutazione PALADEX	Valutazione Corrugato in PP
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	OTTIMA
Semplicità di manutenzione	OTTIMA	OTTIMA
Impatto ambientale	OTTIMA	OTTIMA

Tabella 14. Riepilogo dell'esame comparativo tra il tubo PALADEX ed il tubo corrugato in PP.