

PALADEX

tubi spiralati in polietilene rinforzato con acciaio

a norma UNI 11434

Introduzione	pag.	2
Definizione di capitolato	pag.	3
Normativa - Marcatura	pag.	4
Certificazioni	pag.	5
Sezione trasversale	pag.	6
Tabella dimensionale	pag.	7
Peso del tubo - Rigidità anulare	pag.	8
Prova di creep	pag.	12
Sistema di giunzione	pag.	13
Tenuta idraulica	pag.	15
Caratteristiche fisiche e meccaniche	pag.	16
Resistenza agli agenti chimici	pag.	16
Abrasione - Resistenza ai raggi ultravioletti	pag.	17
Corrosione	pag.	18
Accessori	pag.	19
Movimentazione e stoccaggio	pag.	20
Posa in opera	pag.	21
Dimensionamento idraulico	pag.	26
Dimensionamento statico	pag.	30
Contatti		

AVVERTENZE: Le dimensioni dei prodotti descritte nel presente manuale tecnico sono puramente indicative e soggette comunque alle normali tolleranze.

La Paladeri S.p.A. si riserva il diritto di apportare ai propri prodotti, in qualunque momento e senza alcun preavviso, tutte le modifiche che riterrà a suo insindacabile giudizio convenienti ai fini produttivi o utili per migliorarne le prestazioni e la funzionalità.

Introduzione

Condotte fognarie obsolete ed inadeguate al crescente sviluppo della popolazione urbana, precipitazioni atmosferiche sempre più intense, frequenti dissesti idrogeologici impongono lo studio di soluzioni innovative per lo smaltimento di maggiori quantità di acque meteoriche e liquami, mediante l'installazione di tubi capaci di fornire adeguate risposte a tutte le sollecitazioni interne ed esterne cui il sistema di drenaggio è sottoposto.

La **PALADERI S.p.A.**, produce, nel proprio stabilimento di Villadose (RO), il "tubo spiralato in polietilene rinforzato con acciaio per fognature e scarichi interrati non in pressione" denominato **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 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.

L'abbinamento dei due materiali unitamente alla scelta del profilo ad omega conferiscono al tubo **PALADEX** caratteristiche e performance nettamente superiori ai tubi strutturati in materiale termoplastico ed alle altre condotte presenti sul mercato con le medesime destinazioni d'uso (vetrosina, calcestruzzo, ghisa, gres, etc.).

La presenza dell'acciaio consente di realizzare tubi con valori di resistenza allo schiacciamento (fino a 20 kN/m²) mai raggiunti per condotte in materiale termoplastico di grandi dimensioni, di ridurre il diametro esterno del tubo e quindi la quantità di materia prima impiegata con evidenti benefici in termini di minore impatto ambientale e di facilità di posa, di garantire un miglior comportamento del tubo nel lungo periodo con particolare riferimento alla deformazione sotto carico costante con valori di creep ratio nettamente inferiori ai tubi realizzati esclusivamente in polietilene.

L'ampia gamma di tubi **PALADEX**, dal DN/DI 400 mm al DN/DI 2400 mm, rappresenta la soluzione ottimale alle molteplici esigenze tecniche ed economiche di progettisti, committenti ed imprese di costruzione.

Alla economicità intrinseca del tubo **PALADEX** si aggiungono i notevoli risparmi inerenti il costo di trasporto, movimentazione e posa in opera che favoriscono significative economie nella realizzazione delle infrastrutture.

Il tubo **PALADEX**, realizzato da azienda certificata ISO 9001:2008, ha ottenuto, nel giugno 2012, il marchio IIP (Istituto Italiano dei Plastici) in conformità alla normativa Italiana UNI 11434.



Definizione di capitolato



Tubi spiralati in polietilene rinforzato con acciaio idonei per fognature, scarichi interrati non in pressione, acque piovane e condotte di ventilazione, con marcatura U, prodotti secondo la norma UNI 11434, da azienda certificata ISO 9001, corredati di certificazione di conformità emessa da istituto accreditato in ambito EA secondo la norma UNI CEI EN ISO/IEC 17065:2012.

Profilo di parete strutturato del tipo a spirale, ottenuto mediante avvolgimento ad elica, liscio internamente con costolature esterne rinforzate da una lamina sagomata ad omega di acciaio zincato classe DX51D + ZF/Z così come previsto dalla norma UNI EN 10346, completamente incorporata nella parete del tubo.

Giunzione realizzata 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 secondo i parametri sanciti dalla norma UNI EN 1277. Elementi "maschio" e "femmina" realizzati entrambi con le stesse peculiarità costruttive dei tubi per garantire, anche nella giunzione, la costanza del diametro interno utile ed aumentare la rigidità circonferenziale.

Classi di rigidità anulare calcolate secondo la norma EN ISO 9969:2008:

Classe A (= 8 kN/m²) corrispondente a SN 8

Classe B (= 12 kN/m²) corrispondente a SN12

Classe C (= 16 kN/m²) corrispondente a SN16

Normativa UNI 11434

La UNI (Ente Nazionale di Unificazione) ha emesso nel gennaio 2012 la norma UNI 11434 che si applica ai tubi spiralati in polietilene rinforzato con un componente in acciaio completamente incorporato nella parete del tubo, a superficie interna liscia con diametri (DN/ID) da 400 mm a 2500 mm utilizzati nel campo delle fognature, acque meteoriche e condotte di ventilazione con marcatura U.

L'Italia pertanto è il primo paese in Europa a dotarsi di una specifica normativa tecnica inerente i tubi in polietilene rinforzato con acciaio, la quale rappresenta un riferimento per l'eventuale costituzione, in sede CEN (Comitato Europeo di Normazione), di un gruppo di studio finalizzato all'emissione di un documento a livello europeo.

In presenza di un manufatto dalle caratteristiche innovative, il gruppo di lavoro SC8, cui l'Uniplast ha conferito l'incarico della stesura della nuova norma, ha utilizzato, quali riferimenti tecnici necessari per l'elaborazione del testo definitivo, 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 e la normativa europea EN 13476. Per la determinazione delle metodologie di prova, invece, sono state utilizzate le normative europee già emesse dal CEN come norme EN o recepite da norme internazionali esistenti come norme EN ISO. Particolare attenzione è stata riservata al calcolo del valore della rigidità anulare per il quale si è fatto riferimento alla norma EN ISO 9969.

Marcatura

I tubi devono essere marcati permanentemente ed in maniera leggibile ad intervalli non maggiori di 2 metri ed almeno una volta per tubo in conformità alla normativa **UNI 11434** paragrafo 9.

La marcatura deve comprendere almeno le seguenti indicazioni:

Norma di riferimento	UNI 11434
Area di applicazione	U
Nome del fabbricante	PALADERI
Dimensione nominale	Es. DN/ID 1200
Classe di tubo	Es. A (= SN8)
Materiale	PE/Fe
Data di produzione	gg/mm/aaaa
Ente di certificazione	IIP

Certificazioni

L'analitico controllo dei sistemi di gestione aziendale e la rigorosa osservanza delle vigenti normative hanno favorito il conseguimento della certificazione ISO 9001:2008 rilasciata dall'ente terzo svizzero SQS.

La **PALADERI** è stata la prima azienda italiana ad ottenere l'autorizzazione ad utilizzare la marcatura IIP (Istituto Italiano dei Plastici) per la produzione di tubi spirali in polietilene rinforzato con acciaio in conformità alla normativa **UNI 11434**.

I tubi spirali in polietilene rinforzato con acciaio sono diffusamente impiegati per svariate applicazioni, da oltre un decennio, in USA, Israele, Giappone, Cina e Francia.

Il tubo **PALADEX** è prodotto in conformità alle prescrizioni tecniche contenute nelle seguenti normative specifiche: ASTM F 2435-07 (USA), IS 5302 (Israele), CSTB 17/07-190 (Francia).



Certificato **IIP**
n. 676/2012 - Rev.1



Certificato BUREAU VERITAS
n. 771/001

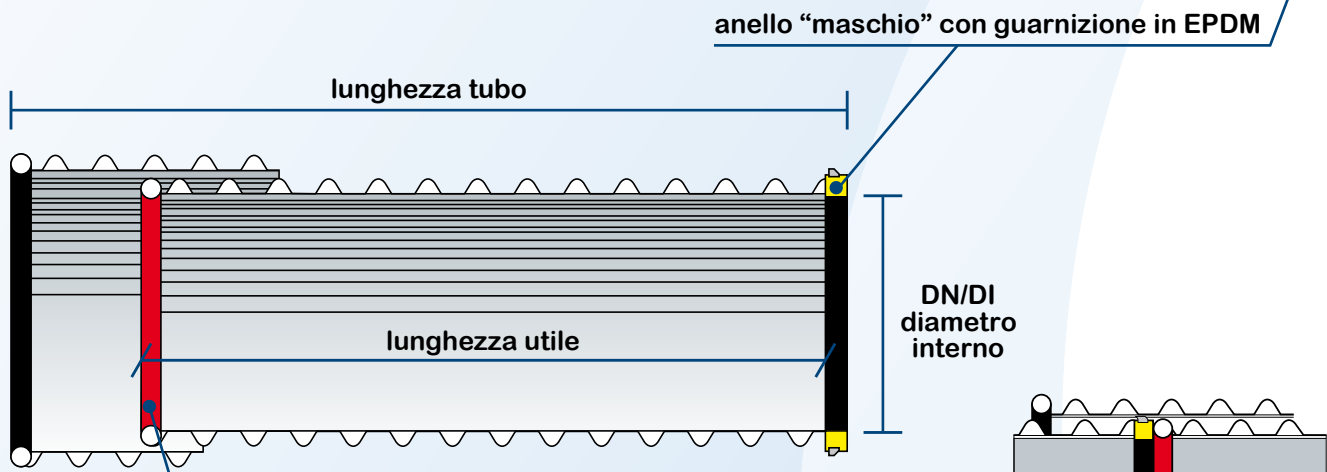
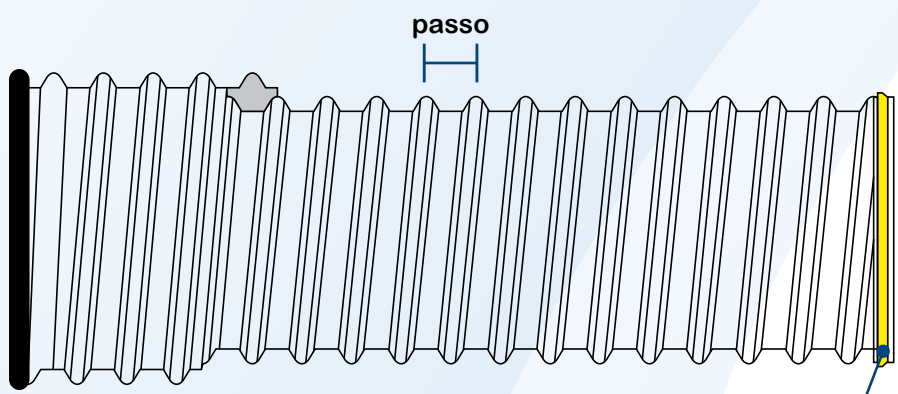
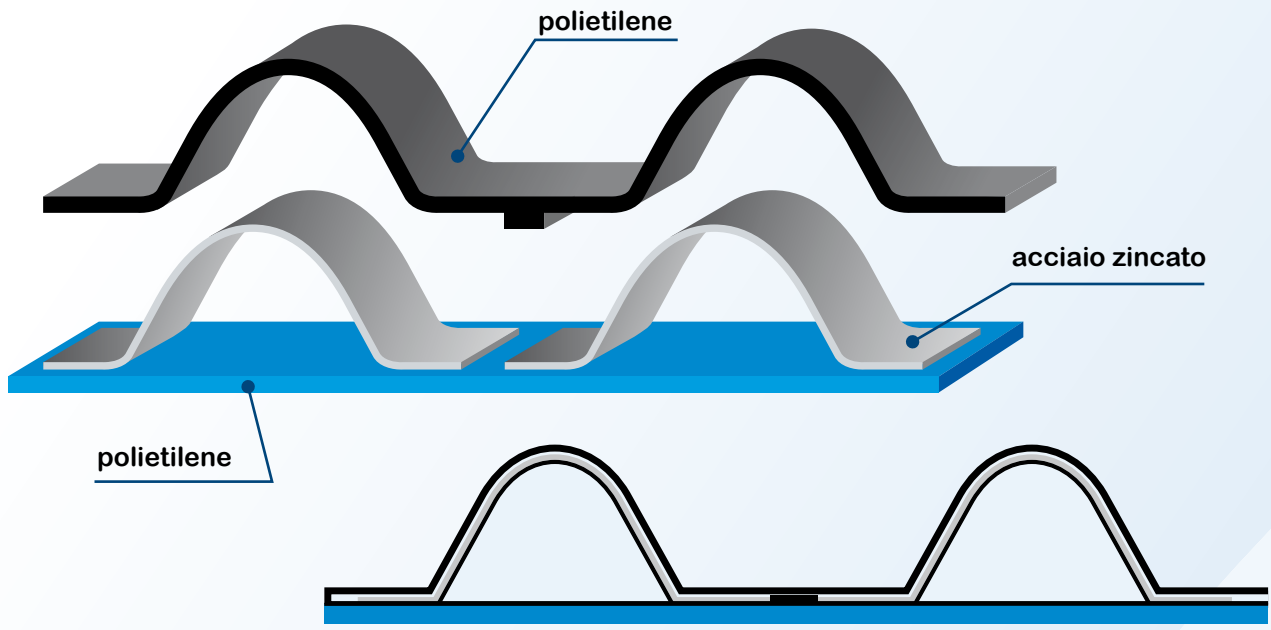


Certificato **SQS** ISO 9001:2008



Certificato ICECON n. 0419.1/2014

Sezione trasversale



particolare sezione giunzione

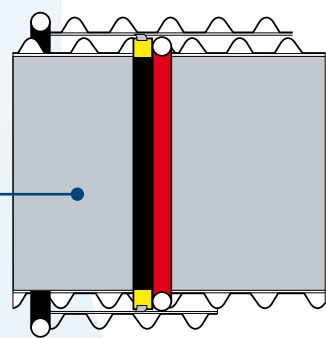


Tabella dimensionale

Diametro Nominale Interno DN/DI	Diametro Interno Medio Minimo	Diametro Interno Medio Massimo	Spessore Parete Interna Minimo S ₁ min	Diametro Esterno Medio Indicativo DE	Diametro Esterno Medio Indicativo Bicchiere
400	396	408	2,5	437	474
500	495	510	3,0	544	588
600	594	612	3,5	650	700
700	693	714	4,0	760	810
800	792	816	4,5	870	940
900	891	918	4,8	970	1045
1000	990	1020	5,0	1080	1160
1100	1090	1123	5,0	1180	1270
1200	1188	1224	5,0	1300	1400
1300	1287	1326	5,0	1411	1524
1400	1386	1428	5,0	1523	1661
1500	1485	1530	5,0	1633	1773
1640	1625	1671	5,5	1750	1880
1800*	1781	1835	6,0	1955	2111
2000*	1979	2039	7,0	2170	2344
2200*	2177	2243	7,0	2390	2582
2400*	2375	2447	7,0	2605	2813

Le misure sono espresse in millimetri (mm).

Su richiesta del cliente e salvo parere favorevole del nostro ufficio tecnico, si forniscono tubi in lunghezze variabili da metri 1,0 a metri 13,40.

* In fase di progettazione.



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

Rigidità anulare

La rigidità anulare dei tubi a parete piena, calcolata secondo la norma **EN 476 (1997)**, è la resistenza di un tubo alla deformazione verticale a seguito di un carico esterno lungo un piano diametrale. La formula è la seguente:

$$S = \frac{E}{\cdot I}$$

In cui:

S è la rigidità anulare della tubazione [kN/m²];

E è il modulo di elasticità a flessione trasversale [kN/m²];

I è il momento di inerzia dell'area della parete della tubazione in senso longitudinale per unità di lunghezza [m⁴/m]; il valore è definito anche dalla seguente relazione $I = s^3/12$ dove s corrisponde allo spessore del tubo;

D è il diametro dell'asse neutro della parete della tubazione [m].

L'entità della deformazione verticale dipende strettamente dalla qualità del terreno di riempimento circostante che sostiene lateralmente il tubo ed ostacola la tendenza dello stesso ad ovalizzarsi.

La rigidità anulare delle tubazioni a parete strutturata è calcolata utilizzando il metodo indicato nella norma **EN ISO 9969 (2007)** con riferimento specifico ai capitoli 5, 6, 7 ed 8 relativi rispettivamente all'apparato, alla campionatura, alla condizionatura dei campioni ed alla procedura di prova.

La formula per il calcolo della rigidità anulare **S** (Stiffness) dei tubi a parete strutturata in materiale termoplastico, mediante il metodo della prova di compressione con due piani paralleli, è la seguente:

$$S = \left(0,0186 + 0,025 \cdot \frac{y}{D_i} \right) \cdot \frac{F}{L \cdot y} \cdot 10^6$$

In cui:

- y** è la deflessione, espressa in millimetri, corrispondente al 3% del diametro interno del tubo ovvero $y/D_i = 0,03$;
- D_i** è il diametro interno del tubo espresso in millimetri;
- F** è la forza, in kilonewton, che corrisponde alla deflessione del 3%;
- L** è la lunghezza, espressa in millimetri, del campione di prova.

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 **S_{R24}**.

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 (**E₀**) 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 (**E₂₄**).

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:

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

Riepilogando, la Norma DIN 16961 pone **S_{R24} = E · I / r³**, mentre la Norma EN 13476 pone **SN = E · I / D³**. 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: $SN = k1 \cdot k2 \cdot S_{R24}$

In cui:

k1 è il fattore di correzione raggio/diametro;

k2 è il fattore di correzione Modulo Elastico/durata prova.

Considerato che $D = 2r$, il primo coefficiente correttivo $k1 = 1^3/2^3 = 1/8$

Il Modulo Elastico del polietilene E_0 equivale a 800 N/mm^2 , che a seguito dell'applicazione di una forza per la durata di 24 ore si riduce all'incirca della metà per cui $E_0 = 800 \text{ N/mm}^2$, mentre $E_{24} = 380 \text{ N/mm}^2$; esemplificando il secondo coefficiente correttivo $k2 = 800/380 = 2$.

Dunque l'equivalenza diventa:

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

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 EN 13476:2007.

La medesima Appendice specifica che, con una deflessione del diametro interno corrispondente al 3%, 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:

F è la forza, in kilonewton, che corrisponde alla deflessione del 3%;

L è la lunghezza, espressa in millimetri, del campione di prova;

y è la deflessione, espressa in millimetri, corrispondente al 3% del diametro interno del tubo.

I tubi spiralati in polietilene rinforzati con acciaio sono identificati, per quanto concerne la determinazione della rigidità anulare, con le classi A - B - C. Il Prospetto 4 della norma UNI 11434 riepiloga i valori di **PS** (Pipe Stiffness), con deflessione del diametro interno = 3%, per ciascuna classe:

Classe A PS \geq 415 kPa

Classe B PS \geq 620 kPa

Classe C PS \geq 830 kPa

Al fine di convertire tali grandezze nel valore **S** (Stiffness), normalmente utilizzato nei calcoli statici, è necessario considerare l'equazione **S = 0,0186 • PS** tale che:

CLASSE A S8

CLASSE B S12

CLASSE C S16

La nota al Prospetto 4 della norma UNI 11434 chiarisce che il valore di rigidità anulare **S** (Stiffness), al 3% di deformazione diametrale, delle classi A - B - C corrisponde a quella dei tubi strutturati in materiale termoplastico con rigidità anulare **SN** (Nominal Stiffness) rispettivamente 8 - 12 - 16 secondo la norma EN ISO 9969.

È possibile pertanto creare la seguente tabella di equivalenza fra i valori di rigidità anulari definiti dalle tre norme:

UNI 11434	EN 13476	DIN 16961
CLASSE (S)	SN	SERIE (S _{R24})
	SN 2 (= 2 kN/m ²)	SERIE 3 S _{R24} 8 (= 8 kN/m ² / 4)
	SN 4 (= 4 kN/m ²)	SERIE 4 S _{R24} 16 (= 16 kN/m ² / 4)
CLASSE A S8 (= 8 kN/m ²)	SN 8 (= 8 kN/m ²)	SERIE 5 S _{R24} 31,5 (= 31,5 kN/m ² 4)
CLASSE B S12 (= 12 kN/m ²)		
CLASSE C S16 (= 16 kN/m ²)	SN 16 (= 16 kN/m ²)	SERIE 6 S _{R24} 63 (= 63 kN/m ² / 4)

Ad esempio, un tubo spiralato in polietilene rinforzato con acciaio **CLASSE A (= 8 kN/m²)** conforme alla normativa UNI 11434 ha una rigidità anulare equivalente ad un tubo strutturato interamente in polietilene **SN8** conforme alla norma EN 13476:2007 e ad un tubo strutturato interamente in polietilene **SERIE 5 S_{R24} 32** conforme alla normativa DIN 16961.

La gamma produttiva del tubo **PALADEX** prevede inoltre rigidità anulari superiori rispetto a quanto indicato nella norma UNI 11434.

Prova di CREEP

L'effetto di deformazione progressiva che si manifesta nelle tubazioni a causa di un carico costante applicato in direzione radiale si definisce **CREEP**.

Il calcolo della rigidità anulare minima rappresenta solo il primo requisito per la scelta del tubo adeguato al progetto in esame. È altrettanto importante prevedere l'incidenza del **CREEP** per valutare le prestazioni del tubo nel lungo periodo. La spirale metallica presagomata ed inglobata all'interno dei due strati di polietilene conferisce al tubo **PALADERI** una maggiore rigidità a parità di geometria esterna.

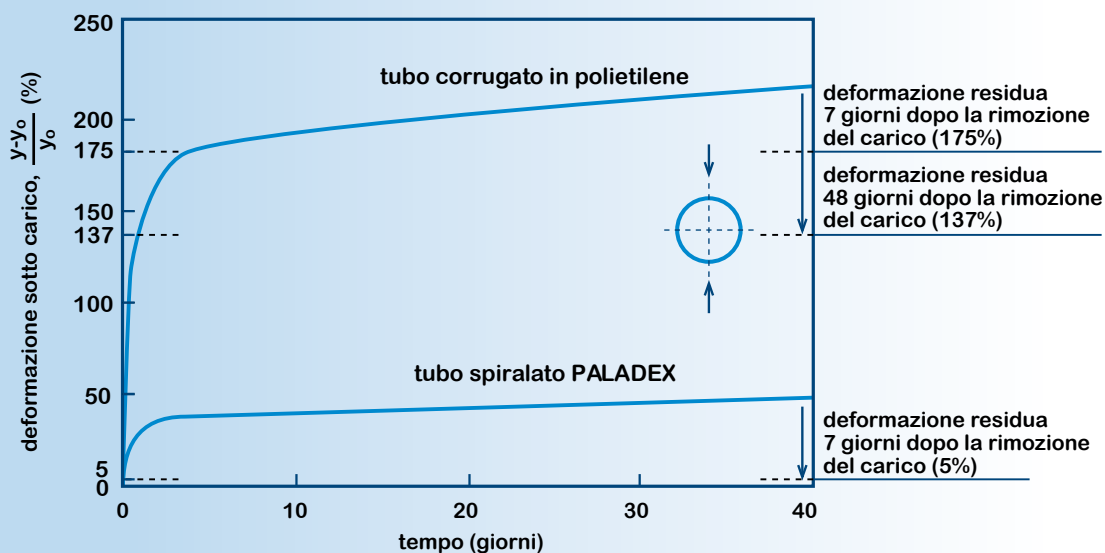
La collaborazione tra i diversi tipi di materiale - PEAD ed acciaio - determina un effetto di rinforzo del materiale polimerico che ne modifica le caratteristiche meccaniche e le condizioni di impiego.

La presenza dell'acciaio, in particolar modo, riduce esponenzialmente l'effetto del **CREEP**.

Nella seguente tabella sono evidenziati i dati relativi a prove di deformazione sotto carico eseguite su tubi 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 **PALADERI** conforme alla norma UNI 11434 ed un campione di tubo corrugato in polietilene conforme alla norma EN 13476.

VARIAZIONE PERCENTUALE DELLA DEFORMAZIONE DOVUTA ALL'APPLICAZIONE DI UN CARICO COSTANTE NEL TEMPO E RECUPERO DELLA STESSA DOPO RIMOZIONE DEL CARICO PER I DUE TIPI DI TUBAZIONE ESAMINATI



Si osserva che il fenomeno del **CREEP** è presente in entrambi i casi, ma per il tubo **PALADERI** 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, mentre il tubo **PALADERI** recupera completamente la forma iniziale già dopo 7 giorni.

Il tubo **PALADERI**, 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.

Questa maggiore stabilità di forma rappresenta un vantaggio evidente nelle operazioni di trasporto, stoccaggio e posa in opera.

Sistema di 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 con elevato diametro interno (es. DN > 1000 mm) 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 proposto dal produttore possa garantire un'efficienza ed un rendimento elevato e costante nel tempo.

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 fino ad 1 bar in pressione e 0,3 bar in depressione secondo le modalità di prova indicate dalla norma UNI EN 1277.**



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.

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.



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

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.

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.

L'elemento "maschio", ove specificamente richiesto dalla committenza, può essere dotato di doppia guarnizione per aumentare la sicurezza della tenuta idraulica.

È possibile, su specifica richiesta dell'impresa, procedere alla giunzione dei tubi **PALADEX** mediante l'utilizzo di una fascia in materiale plastico termoretraibile posizionata sullo strato esterno dei tubi e successiva saldatura delle superfici interne con un comune estrusore manuale.



Tenuta idraulica

Il sistema di giunzione del tubo **PALADEX** descritto nel paragrafo precedente garantisce **la tenuta idraulica fino ad 1 bar in pressione e 0,3 bar in depressione secondo le modalità di prova indicate dalla norma UNI EN 1277.**

Tali performance sono possibili in virtù di alcuni fattori imprescindibili quali la rigidità degli elementi “maschio” e “femmina”, realizzati entrambi con le stesse peculiarità costruttive dei tubi, e l'utilizzo di particolari guarnizioni in EPDM.

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 $P_3 = 3,3\%$ a seguito dell'applicazione di una pressione di aria negativa (vuoto parziale), per la durata di 60 minuti, $P_3 = 0,8 \text{ bar} \pm 5\%$ con deflessione angolare di 1°.

esito: 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 P_3 : 3,3%

Caratteristiche fisiche e meccaniche dei materiali

Il tubo **PALADEX** unisce le caratteristiche fisiche e meccaniche del polietilene - resistenza all'abrasione, leggerezza, coefficiente di attrito e di scabrezza minimi, inerzia alle sostanze chimiche, versatilità e saldabilità - e quelle dell'acciaio - resistenza a trazione, modulo elastico 200 volte più elevato del polietilene - combinando i vantaggi di entrambi i materiali.

Materiale	Proprietà	Norma di riferimento	Parametri di prova	Valori
Polietilene	Densità	EN ISO 1183-1 EN ISO 1183-2		> 0,930 g/cm ³
Polietilene	MFR = Melt Mass-Flow Rate (Indice di fluidità)	EN ISO 1133	Temperatura 190°C Massa del carico 5 kg	≤ 1,6 g/10 min
Polietilene	Sforzo di snervamento, σ_y			22 MPa
Polietilene	Allungamento a rottura	ISO 6259-3		≥ 500 %
Polietilene	Modulo elastico		Breve termine E_s Lungo termine E_l	900 MPa 150 MPa
Polietilene	Stabilità termica OIT = Oxidation Induction Time	UNI EN 728:1998	Temperatura 200°C	≥ 20 minuti
Polietilene	Resistenza alla pressione interna	UNI EN ISO 1167	80°C; 4MPa	
Polietilene	Coefficiente di dilatazione termica lineare, α	UNI EN ISO 1167		0,22 mm/m • °C
Polietilene	Conduttività termica			0,4 W/m • °C
Polietilene	Contenuto Carbon Black	ISO 6964		2 - 2,5 %
Acciaio	Resistenza a trazione	UNI EN 10346		≥ 270 MPa
Acciaio	Modulo elastico			2,1 x 10 ⁶ MPa

Proprietà di resistenza agli agenti chimici

L'utilizzo del polietilene negli strati esterni ed interni del tubo **PALADEX** garantisce le medesime proprietà di resistenza agli agenti chimici di un tradizionale tubo in polietilene secondo quanto riportato dalla ISO TR 10358.

Sostanza	Concentrazione	Temperatura 20°C	Temperatura 60°C
Acetone		=	-
Acido cloridrico	10%	+	+
Acido cloridrico	35%	+	+
Acido fluoridrico	75%	+	=
Acido formico	40%	+	+
Acido fosforico	30%	+	+
Acido nitrico	10%	+	+
Acido nitrico	95%	-	-
Acido solforico	10%	+	+
Anilina		+	-
Benzene		-	-
Benzina		=	-
Cloruro di calcio		+	+
Glicerina		+	+
Idrossido di ammonio		+	+
Ipclorito di sodio		+	+
Metanolo		+	=
Perossido di idrogeno	30%	+	+
Sodio idrossido	30%	+	+
Tetracloruro di carbonio		-	-

+ Resistente = Leggermente corrosivo, necessita di pre-trattamento - Non resistente

Nota: Nel caso siano presenti leggere quantità di sostanze corrosive, consultate i nostri tecnici in merito al pre-trattamento necessario.

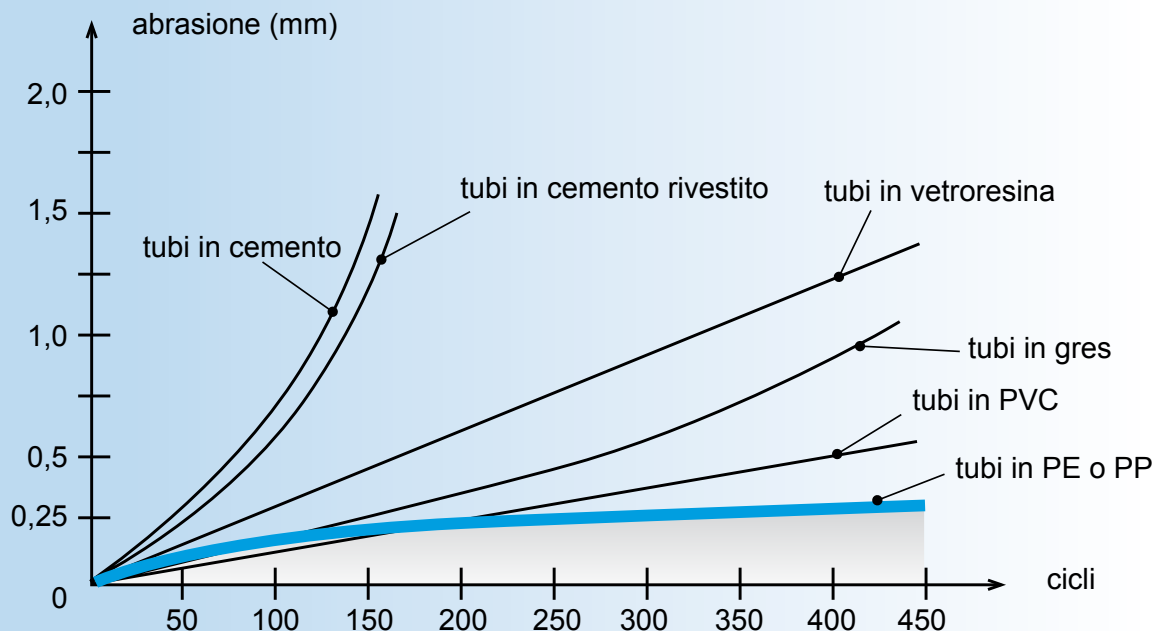
Abrasione

La superficie interna del tubo **PALADEX**, realizzata in polietilene, garantisce un'elevata resistenza all'abrasione.

I tubi, pertanto, possono essere utilizzati anche in condotte a forte pendenza, con velocità massima sino a 10 m/s senza manifestare segni notevoli di abrasione sulla superficie interna.

Il diagramma evidenzia come i tubi in polietilene presentano una resistenza all'abrasione superiore rispetto ai tubi prodotti con altri materiali (calcestruzzo, anche rivestito con vernici epossidiche, vetroresina, gres, PVC, etc.).

VALORI MEDI DI ABRASIONE DI TUBI IN DIVERSI MATERIALI SECONDO LA PROCEDURA DELL'UNIVERSITÀ DI DARMSTADT



Resistenza ai raggi ultravioletti UV

La parete esterna nera in polietilene del tubo **PALADEX** è resistente al degrado atmosferico ed alle radiazioni UV in funzione dell'additivazione uniforme di nerofumo disperso nella matrice polimerica.

I tubi **PALADEX** possono quindi essere stoccati alle intemperie.

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.

Ogni singolo lotto di 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.

Accessori

La **PALADERI SpA** può fornire, su specifica richiesta del cliente, per ogni diametro e classe di rigidità, una gamma completa di pezzi speciali tra i quali a titolo esemplificativo ma non esaustivo: **curve, tee, convogliatori, pozzetti, innesti, etc.**

Tutti i pezzi speciali realizzati con tubo **PALADEX**, possono essere dotati di parte “femmina” e “maschio” per la giunzione ad altri tubi dello stesso tipo ovvero possono essere predisposti per la giunzione con differenti tipologie di tubi (es. tubi corrugati in PEAD, tubi lisci in PEAD, tubi in PVC, etc.).

Innesto



Convogliatore



Tee



Curva



Pozzetto



Movimentazione e stoccaggio

La movimentazione dei tubi **PALADEX** deve essere effettuata con le modalità e secondo le prescrizioni normalmente in uso per i tubi tradizionali.

I tubi **PALADEX** possono essere appoggiati direttamente gli uni sopra gli altri senza inconvenienti in virtù della relativa leggerezza e della notevole rigidità anulare.

Il carico, il trasporto, lo scarico nonché tutte le manovre connesse devono essere categoricamente eseguite con la maggiore cura possibile, adoperando mezzi idonei a seconda del tipo e del diametro dei tubi ed adottando tutti gli accorgimenti necessari al fine di evitare rotture, incrinature, lesioni o danneggiamenti in genere.

In particolare, nei cantieri, la movimentazione a regola d'arte dei tubi **PALADEX** prevede l'utilizzo di idonei carrelli elevatori specificamente attrezzati oppure di braghe adeguate all'uso, il cui tiro centrale deve essere equidistante dagli altri due a loro volta disposti in posizione intermedia rispetto al centro della barra ed alla singola estremità di riferimento.



Lo stoccaggio deve essere eseguito disponendo i tubi su un'area piana, stabile e protetta.

Il primo strato di tubi che poggia sul terreno deve essere sistemato in modo da evitare possibili danni alla superficie esterna del tubo, flessioni e deformazioni.

I tubi accatastati devono essere bloccati con cunei onde evitare improvvisi rotolamenti.

L'altezza deve essere contenuta entro i limiti adeguati ai diametri, per evitare deformazioni nelle tubazioni alla base e per consentire un'agevole movimentazione.

L'accatastamento dei tubi **PALADEX** con bicchiere deve essere effettuato, inoltre, alternando le estremità "maschio" e "femmina" e disponendo il bicchiere all'esterno della catasta.

Posa in opera

Il corretto funzionamento e l'affidabilità nel tempo di una tubazione dipendono, oltre che dalle caratteristiche prestazionali del prodotto, anche dalla accuratezza e dalla precisione con cui si eseguono l'installazione e la posa in opera.

L'impiego di personale inesperto oppure di materiali di riempimento inadeguati o non sottoposti ad appropriata compattazione meccanica, infatti, possono compromettere le proprietà meccaniche ed idrauliche dei tubi. Le raccomandazioni presenti in questo paragrafo individuano i principali aspetti che occorre tenere in considerazione per una corretta posa in opera, ma vanno necessariamente integrate da tutti gli accorgimenti previsti dal capitolato dell'opera, nonché dalla "buona pratica costruttiva" del settore.

I principali riferimenti normativi che sono stati considerati nella stesura delle indicazioni del presente paragrafo sono i seguenti:

- Norme tecniche relative alle tubazioni presenti nel Decreto del Ministero dei LL.PP. del 12 Dicembre 1985;
- Circolare del Ministero dei LL.PP. n° 27291 del 20 Marzo 1986;
- Norma Europea UNI EN 1610 (Costruzioni e collaudo di connessioni di scarico e collettori di fognatura) del Novembre 1999.

Il tubo **PALADEX**, in particolare, possiede caratteristiche costruttive tali da assicurare una posa in opera più agevole ed economica, in grado inoltre di compensare eventuali negligenze che dovessero manifestarsi in fase di installazione e posa. Il combinato di leggerezza ed elevata resistenza, le contenute dimensioni del diametro esterno, unitamente ad un sistema di giunzione con bicchiere estremamente semplice ed affidabile, infatti, garantiscono tempi di posa più rapidi e modalità di installazione più sicure.

Scavi

La normativa europea stabilisce che la configurazione degli scavi per l'alloggiamento di fognature deve rispettare precise prescrizioni. La norma UNI EN 1610, in particolare, dispone l'utilizzo della trincea stretta, di larghezza pari a 2-3 volte il diametro esterno della condotta. La larghezza della trincea, così determinata, va mantenuta per un'area di altezza non inferiore ad un metro oltre la generatrice superiore del tubo. In tale area le pareti devono essere il più possibile verticali ed eventualmente stabilizzate con sbadacchiature o palancole per la protezione del personale che lavora nello scavo. Le palancole devono essere spostate subito dopo il rinterro parziale e prima delle operazioni di costipamento. In caso di terrapieno o trincea larga, invece, occorre predisporre una zona di contrasto al materiale di copertura tale da uniformarsi il più possibile alle condizioni prescritte nella situazione di trincea stretta. Per quanto riguarda le dimensioni della trincea, la norma UNI EN 1610 stabilisce che la larghezza minima debba essere pari al valore superiore fra quelli indicati nelle tabelle che seguono, dove OD rappresenta il diametro esterno della tubazione espressa in metri.

Tabella 1 - Larghezza minima della trincea in relazione alle dimensioni nominali dei tubi

DN	Larghezza minima della trincea (OD + x) in m		
	Trincea supportata	Trincea non supportata	
		$\beta > 60^\circ$	$\beta \leq 60^\circ$
$400 \leq DN \leq 700$	OD + 0,70	OD + 0,70	OD + 0,40
$700 < DN \leq 1200$	OD + 0,85	OD + 0,85	OD + 0,40
DN > 1200	OD + 1,00	OD + 1,00	OD + 0,40

Tabella 2 - Larghezza minima della trincea in relazione alla profondità della trincea

Profondità della trincea in m	Larghezza minima della trincea in m
< 1,00	non richiesta
$1,00 \leq p \leq 1,75$	0,80
$1,75 < p \leq 4,00$	0,90
> 4,00	1,00

Nel caso siano previste due o più tubazioni, la normativa stabilisce che è necessario rispettare una distanza orizzontale minima tra le due tubazioni pari a:

- 0,35 metri per tubi fino al DN 700 mm compreso;
- 0,50 metri per tubi oltre il DN 700 mm.



Letto di posa

Durante la fase di installazione, la creazione del letto di posa rappresenta un'operazione di fondamentale importanza, che contribuisce a determinare la giusta pendenza della linea per un corretto scorrimento del liquido trasportato.

In primo luogo occorre verificare che il letto sia spianato e livellato, eliminando ogni asperità che possa danneggiare i tubi.

Per la realizzazione del letto di posa si consiglia l'utilizzo preferibilmente di sabbia, evitando l'impiego di materiali con spigoli vivi tali da ledere la condotta. Il piano di posa, in ogni caso, deve garantire un'assoluta continuità d'appoggio. Qualora nell'operazione di posa i tubi avessero subito danni, dovranno essere riparati, se possibile, o meglio sostituiti secondo la gravità del danneggiamento.

La norma UNI EN 1610 prescrive che lo spessore del letto di posa non sia inferiore a:

- 100 mm in condizioni di terreno normale;
- 150 mm in condizioni di terreno duro o in presenza di roccia.

Una volta verificato che il letto di posa si presenti omogeneo, è opportuno procedere a misurazioni accurate per la verifica della corretta messa in pendenza della tubazione.

In presenza di acqua di falda, infine, occorre installare adeguati sistemi di pompaggio, tali da poter lavorare in condizioni di scavo asciutto.

Il riempimento deve essere tale da impedire fenomeni di galleggiamento o di collasso delle pareti.

L'eventuale migrazione della sabbia può essere prevenuta con l'adozione di idonei materiali in geotessile.

Posa della tubazione

Verificata la corretta esecuzione del letto di posa e delle quote, è possibile procedere alla posa della tubazione che deve avvenire al centro dello scavo.

La giunzione delle tubazioni va eseguita verificando sempre il perfetto allineamento dei tubi, il corretto posizionamento della guarnizione e l'assenza di detriti e materiale estraneo all'interno del tubo e del bicchiere.

Anche per il collegamento a pozzetti o vasche occorre provvedere al corretto allineamento ed evitare che si generino sui tubi e sulle relative giunzioni sollecitazioni anomale.

Una volta controllato il corretto posizionamento altimetrico e planimetrico della condotta, è necessario bloccare i tubi e le giunzioni con sabbia, evitando l'uso di cunei.

Rinterro e compattazione del terreno

La fase di rinterro e compattazione del terreno costituisce un'operazione delicata e di notevole rilevanza ai fini di una corretta e duratura installazione.

Il riempimento dello scavo senza un'adeguata compattazione del terreno può influire negativamente sulle prestazioni meccaniche della condotta.

In primo luogo occorre selezionare il corretto materiale di riempimento, preferibilmente sabbia ed in ogni caso materiale a bassa granulometria, privo di detriti e sassi con spigoli vivi. Tale riempimento va utilizzato nell'area a contatto col tubo fino ad almeno 20 cm al di sopra dell'estradosso della condotta.

È opportuno adoperare terreno selezionato in base a caratteristiche uniformi e compatibili a quanto considerato in sede di verifica statica per il rinterro della parte rimanente dello scavo.

Successivamente al riempimento è necessario effettuare una compattazione molto accurata, con particolare attenzione al materiale posizionato lungo i fianchi della tubazione. Il processo di costipazione va eseguito a strati successivi di circa 30 cm di spessore fino al raggiungimento di un indice di Proctor del 90%.

I mezzi per la compattazione del terreno devono essere differenziati, avendo cura di non compattare il terreno in modo discontinuo, al fine di prevenire disassamenti che comportino sforzi anomali sui giunti.

Per i materiali di rinfianco al tubo occorre prediligere metodi di costipamento manuali ed in particolare il primo strato di rinfianco deve superare il semidiametro del tubo per evitare sollevamenti dello stesso.

La compattazione va eseguita con mezzi leggeri fino ad un metro sopra l'estradosso del tubo.

Oltre questa quota si possono utilizzare i normali mezzi di costipamento.

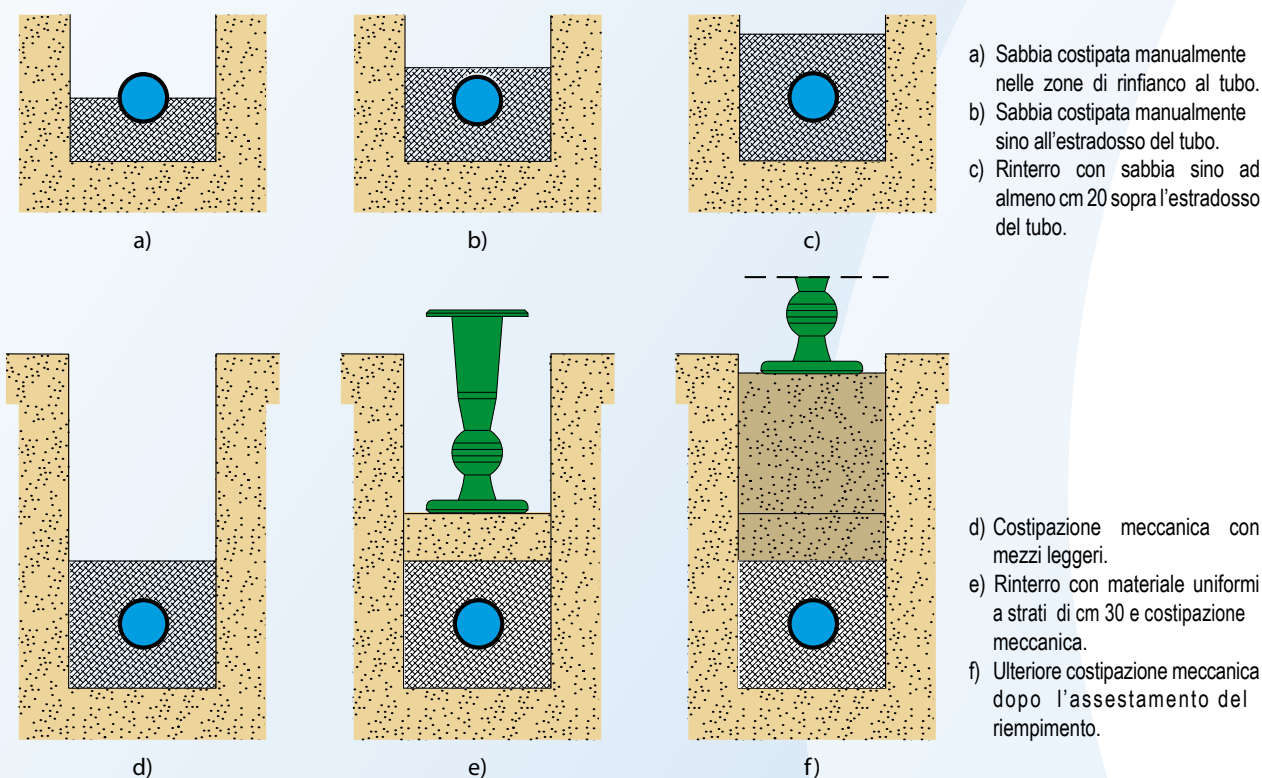
La tabella che segue, tratta dalla norma UNI EN 1046, riepiloga lo spessore raccomandato degli strati di terreno ed il numero di passaggi necessari per ottenere le varie classi di compattazione, in base all'attrezzatura utilizzata ed ai materiali di riempimento.

Sono inoltre indicati i minimi spessori di copertura raccomandati prima che i corrispondenti tipi di attrezzatura possano eseguire la compattazione del terreno.

Tabella 1 - Metodo di costipamento secondo la norma UNI EN 1046

Metodo di costipamento	Numero di passaggi per le varie classi di compattazione			Spessore dopo la compattazione per le varie classi di terreno [m]				Spessore minimo prima della compattazione [m]
	B (buona)	M (media)	N (senza)	gruppo 1	gruppo 2	gruppo 3	gruppo 4	
A piedi o mazza a mano								
15 kg minimo	3	1	0	0.15	0.10	0.10	0.10	0.20
Mazza vibrante								
70 kg minimo	3	1	0	0.30	0.25	0.20	0.15	0.35
Vibratore piatto								
50 kg minimo	4	1	0	0.10	-	-	-	0.15
100 kg minimo	4	1	0	0.15	0.10	-	-	0.20
200 kg minimo	4	1	0	0.20	0.15	0.10	-	0.25
400 kg minimo	4	1	0	0.30	0.20	0.15	0.10	0.35
600 kg minimo	4	1	0	0.40	0.30	0.20	0.15	0.50
Rullo vibrante								
15 kW/m minimo	6	2	0	0.35	0.25	0.20	-	0.60
30 kW/m minimo	6	2	0	0.60	0.50	0.30	-	1.20
45 kW/m minimo	6	2	0	1.00	0.75	0.40	-	1.80
65 kW/m minimo	6	2	0	1.50	1.10	0.60	-	2.40
Rullo doppio vibrante								
5 kW/m minimo	6	2	0	0.15	0.10	-	-	0.20
10 kW/m minimo	6	2	0	0.25	0.20	0.15	-	0.45
20 kW/m minimo	6	2	0	0.35	0.30	0.20	-	0.60
30 kW/m minimo	6	2	0	0.50	0.40	0.30	-	0.85
Rullo triplo pesante senza vibrazione								
50 kW/m minimo	6	2	0	0.25	0.20	0.20	-	1.00

Tabella 2 - Processo di rinterro e costipazione



- a) Sabbia costipata manualmente nelle zone di rinfiaccio al tubo.
- b) Sabbia costipata manualmente sino all'estradosso del tubo.
- c) Rinterro con sabbia sino ad almeno cm 20 sopra l'estradosso del tubo.

- d) Costipazione meccanica con mezzi leggeri.
- e) Rinterro con materiale uniformi a strati di cm 30 e costipazione meccanica.
- f) Ulteriore costipazione meccanica dopo l'assestamento del riempimento.

Dilatazione

La dilatazione termica del tubo **PALADEX**, pur essendo ridotta rispetto alle tubazioni in polietilene, va tenuta in considerazione in tutte le situazioni di impiego che comportano variazioni di temperatura durante l'esercizio.

Nelle normali applicazioni, ovvero con tubo interrato, l'interazione con il terreno circostante e la capacità isolante dello stesso annullano qualsiasi dilatazione, rendendone superfluo il calcolo.

Inoltre è consigliabile calcolare l'entità della variazione di lunghezza dovuta a dilatazione ogni qualvolta si riveli necessario procedere al taglio di uno spezzone di tubo con lunghezza fissata.

Di seguito la formula per il calcolo della dilatazione termica: $\Delta L = \alpha \cdot \Delta T \cdot L_0$ [mm]

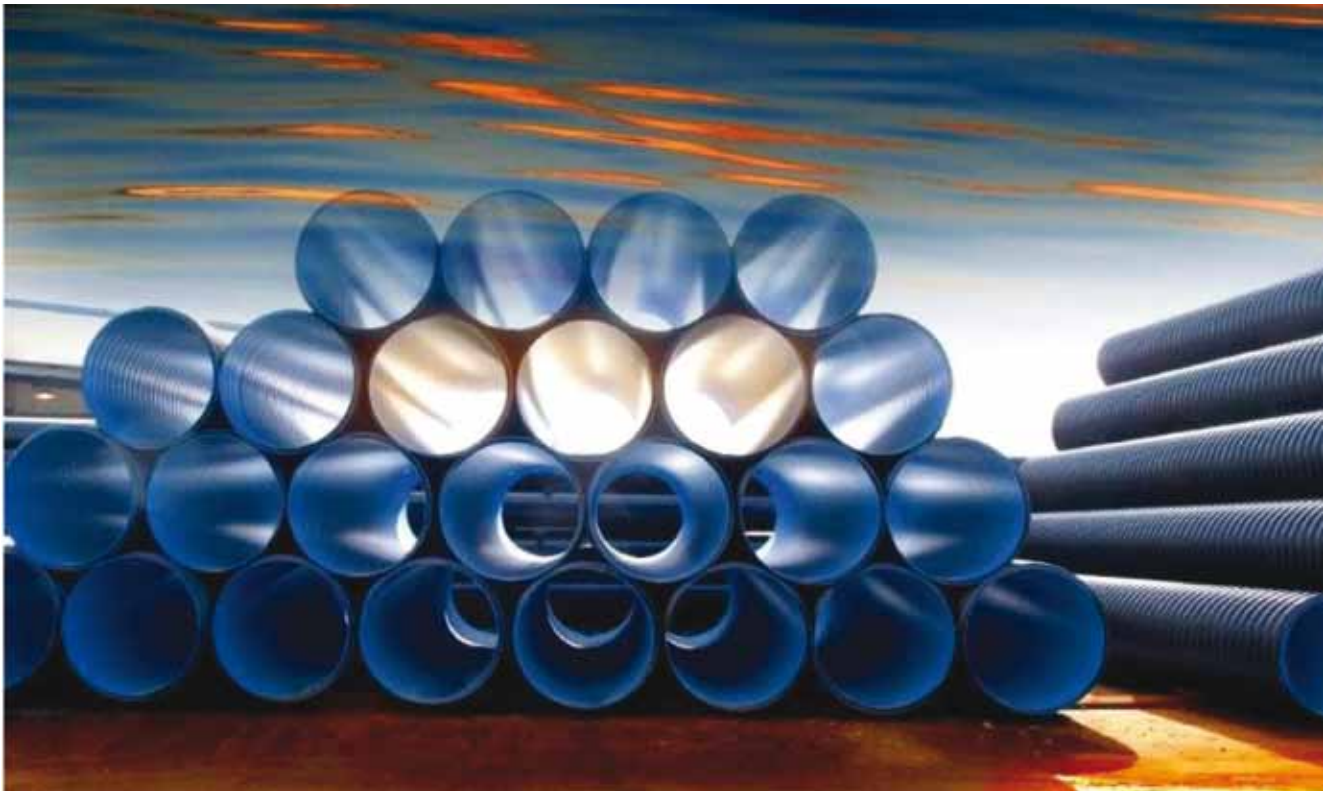
In cui:

ΔL è la variazione di lunghezza;

α è il coefficiente di dilatazione lineare pari a $1,7 \cdot 10^{-4}$ [$1/^\circ\text{C}$];

ΔT è la variazione di temperatura [$^\circ\text{C}$];

L_0 è la lunghezza del tratto considerato [mm].



Dimensionamento idraulico

Il tubo **PALADEX**, grazie alle superfici lisce delle pareti interne in polietilene, è caratterizzato da un coefficiente di resistenza idraulica molto basso rispetto agli altri tubi con le medesime destinazioni d'uso presenti sul mercato (calcestruzzo, ghisa, acciaio, vetroresina, gres etc.).

L'elevata scorrevolezza idraulica della superficie interna consente la progettazione di linee di scarico che raggiungono alte velocità di flusso pur con limitate pendenze longitudinali.

La ridotta scabrezza della parete interna in polietilene inibisce l'insorgere di depositi all'interno delle tubazioni, eliminando la necessità di periodiche pulizie.

Il diametro nominale del tubo **PALADEX** è normalizzato sul diametro interno favorendo il dimensionamento idraulico. Il calcolo della portata del tubo, nota la pendenza ed il grado di riempimento, è basato sulla formula di Gauckler-Strickler:

$$Q = K_S \cdot R_H^{\frac{2}{3}} \cdot i^{\frac{1}{2}} \cdot A$$

In cui:

Q è la portata [m³/s];

A è la sezione trasversale del flusso [m²];

R_H è il raggio idraulico [m], definito come il rapporto tra la sezione idraulica del flusso ed il contorno dello stesso che tocca il canale;

i è la pendenza longitudinale della condotta;

K_S è il coefficiente di scabrezza secondo Gauckler - Strickler, che, nel caso di condotte fognarie in polietilene presenta un valore di 80 m^{1/3} s⁻¹.

La velocità del fluido in condotta si ricava dalla seguente relazione: **v = Q/A**

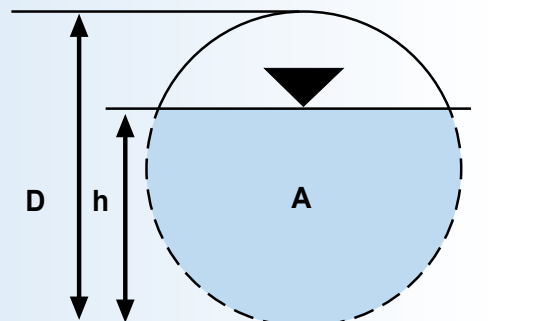
In cui:

v è la velocità di flusso nel tubo [m/s];

Q è la portata [m³/s];

A è la sezione trasversale del flusso [m²].

I valori **A** e **R_H** della formula si possono calcolare conoscendo il grado di riempimento **h/D** della condotta, dove **h** rappresenta l'altezza del riempimento e **D** il diametro interno del tubo, come si evince dal seguente grafico:



La tabella sottostante riepiloga i valori della sezione trasversale della condotta **A** e del raggio idraulico **R_H** calcolati in funzione del grado di riempimento della condotta **h/D**:

h/D	A/D ²	R _H /D
0,30	0,1982	0,1709
0,40	0,2934	0,2142
0,50	0,3927	0,2500
0,60	0,4920	0,2776
0,70	0,5872	0,2962
0,75	0,6319	0,3017
0,80	0,6736	0,3042
0,90	0,7115	0,2980
1,00	0,7854	0,2500

Ad esempio, in una condotta dimensionata con grado di riempimento $h/D = 0,50$ (ovvero riempita a metà) l'area della sezione trasversale del flusso **A** sarà pari a $0,3927 \cdot D^2$ ed il raggio idraulico **R_H** sarà pari a $0,25 \cdot D$

Nel calcolo del dimensionamento idraulico di condotte fognarie è opportuno anche verificare che gli sforzi tangenziali (**Tau**), espressi in Pa, che la corrente può sviluppare sul fondo della condotta siano in grado di evitare eccessiva sedimentazione di materiale solido.

La suddetta verifica è soddisfatta dalla seguente formula:

$$\tau = \gamma R_H \cdot i \geq$$

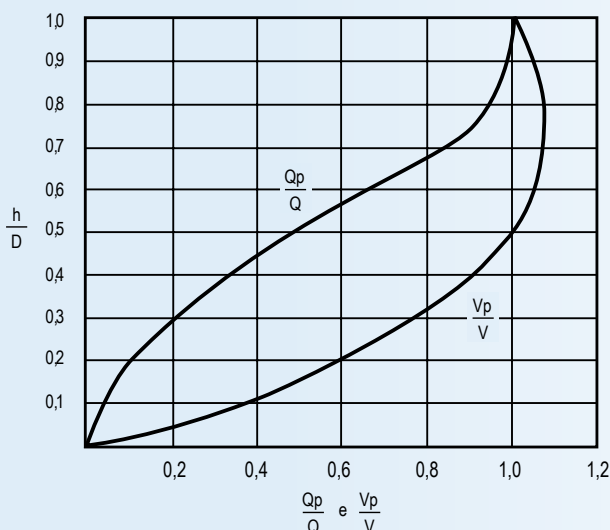
In cui:

γ è il peso specifico dell'acqua [N/m³];

R_H è il raggio idraulico [m];

i è la pendenza longitudinale della condotta.

Il seguente diagramma di flusso consente di calcolare la sezione idraulica adeguata a soddisfare le esigenze di progetto:



In cui:

V_p è la velocità di flusso relativa a riempimento parziale [m/s]

V è la velocità di flusso relativa a riempimento totale [m/s]

Q_p è la portata relativa a riempimento parziale [m³/s]

Q è la portata relativa a riempimento totale [m³/s]

h/D è il grado di riempimento della condotta

Tabella dei valori di portata (m³/s) dei tubi Paladex in funzione della pendenza

D (mm)	300		400		500		600		700		800	
A (m ²)	0,071		0,126		0,196		0,283		0,385		0,503	
i (%)	velocità di flusso (m/s)	portata (m ³ /s)	velocità di flusso (m/s)	portata (m ³ /s)	velocità di flusso (m/s)	portata (m ³ /s)	velocità di flusso (m/s)	portata (m ³ /s)	velocità di flusso (m/s)	portata (m ³ /s)	velocità di flusso (m/s)	portata (m ³ /s)
0,1	0,450	0,032	0,545	0,068	0,632	0,124	0,714	0,202	0,791	0,305	0,865	0,435
0,2	0,636	0,045	0,771	0,097	0,894	0,176	1,010	0,286	1,119	0,431	1,224	0,615
0,3	0,779	0,055	0,944	0,119	1,095	0,215	1,237	0,350	1,371	0,528	1,499	0,753
0,4	0,900	0,064	1,090	0,137	1,265	0,248	1,428	0,404	1,583	0,609	1,730	0,870
0,5	1,006	0,071	1,219	0,153	1,414	0,278	1,597	0,452	1,770	0,681	1,935	0,972
0,6	1,102	0,078	1,335	0,168	1,549	0,304	1,749	0,495	1,939	0,746	2,119	1,065
0,7	1,190	0,084	1,442	0,181	1,673	0,329	1,890	0,534	2,094	0,806	2,289	1,151
0,8	1,273	0,090	1,542	0,194	1,789	0,351	2,020	0,571	2,239	0,862	2,447	1,230
0,9	1,350	0,095	1,635	0,205	1,897	0,373	2,143	0,606	2,374	0,914	2,596	1,305
1	1,423	0,101	1,724	0,217	2,000	0,393	2,258	0,639	2,503	0,963	2,736	1,375
1,5	1,743	0,123	2,111	0,265	2,449	0,481	2,766	0,782	3,065	1,180	3,351	1,684
2	2,012	0,142	2,437	0,306	2,828	0,555	3,194	0,903	3,540	1,362	3,869	1,945
2,5	2,250	0,159	2,725	0,342	3,162	0,621	3,571	1,010	3,957	1,523	4,326	2,174
3	2,464	0,174	2,985	0,375	3,464	0,680	3,912	1,106	4,335	1,668	4,739	2,382
3,5	2,662	0,188	3,224	0,405	3,742	0,735	4,225	1,195	4,683	1,802	5,119	2,573

D (mm)	900		1000		1100		1200		1300		1400	
A (m ²)	0,636		0,785		0,950		1,131		1,327		1,539	
i (%)	velocità di flusso (m/s)	portata (m ³ /s)	velocità di flusso (m/s)	portata (m ³ /s)	velocità di flusso (m/s)	portata (m ³ /s)	velocità di flusso (m/s)	portata (m ³ /s)	velocità di flusso (m/s)	portata (m ³ /s)	velocità di flusso (m/s)	portata (m ³ /s)
0,1	0,936	0,595	1,004	0,789	1,070	1,017	1,134	1,282	1,196	1,587	1,256	1,934
0,2	1,324	0,842	1,420	1,115	1,513	1,438	1,603	1,813	1,691	2,245	1,777	2,735
0,3	1,621	1,031	1,739	1,366	1,853	1,761	1,964	2,221	2,071	2,749	2,176	3,350
0,4	1,872	1,191	2,008	1,577	2,140	2,033	2,267	2,564	2,392	3,175	2,513	3,868
0,5	2,093	1,331	2,245	1,763	2,392	2,273	2,535	2,867	2,674	3,549	2,809	4,325
0,6	2,292	1,458	2,459	1,931	2,621	2,490	2,777	3,141	2,929	3,888	3,078	4,738
0,7	2,476	1,575	2,656	2,086	2,830	2,690	3,000	3,392	3,164	4,200	3,324	5,117
0,8	2,647	1,684	2,840	2,230	3,026	2,876	3,207	3,627	3,382	4,490	3,554	5,470
0,9	2,808	1,786	3,012	2,366	3,209	3,050	3,401	3,847	3,588	4,762	3,769	5,802
1	2,959	1,883	3,175	2,493	3,383	3,215	3,585	4,055	3,782	5,019	3,973	6,116
1,5	3,625	2,306	3,888	3,054	4,143	3,938	4,391	4,966	4,632	6,148	4,866	7,491
2	4,185	2,663	4,490	3,526	4,784	4,547	5,070	5,734	5,348	7,099	5,619	8,650
2,5	4,679	2,977	5,020	3,943	5,349	5,083	5,669	6,411	5,979	7,936	6,282	9,671
3	5,126	3,261	5,499	4,319	5,860	5,569	6,210	7,023	6,550	8,694	6,882	10,594
3,5	5,537	3,522	5,940	4,665	6,329	6,015	6,707	7,586	7,075	9,391	7,433	11,442

Tabella dei valori di portata (m³/s) dei tubi Paladex in funzione della pendenza

D (mm)	1500		1600		1700		1800		1900	
A (m ²)	1,767		2,011		2,270		2,545		2,835	
i (%)	velocità di flusso (m/s)	portata (m ³ /s)	velocità di flusso (m/s)	portata (m ³ /s)	velocità di flusso (m/s)	portata (m ³ /s)	velocità di flusso (m/s)	portata (m ³ /s)	velocità di flusso (m/s)	portata (m ³ /s)
0,1	1,316	2,325	1,373	2,761	1,430	3,246	1,486	3,780	1,540	4,367
0,2	1,860	3,288	1,942	3,905	2,022	4,590	2,101	5,346	2,178	6,175
0,3	2,279	4,027	2,379	4,783	2,477	5,622	2,573	6,548	2,668	7,563
0,4	2,631	4,650	2,747	5,523	2,860	6,492	2,971	7,561	3,080	8,733
0,5	2,942	5,198	3,071	6,175	3,198	7,258	3,322	8,453	3,444	9,764
0,6	3,222	5,695	3,364	6,764	3,503	7,951	3,639	9,260	3,772	10,696
0,7	3,481	6,151	3,634	7,306	3,784	8,588	3,930	10,002	4,075	11,553
0,8	3,721	6,575	3,885	7,810	4,045	9,181	4,202	10,692	4,356	12,351
0,9	3,947	6,974	4,120	8,284	4,290	9,738	4,457	11,341	4,620	13,100
1	4,160	7,352	4,343	8,732	4,522	10,264	4,698	11,955	4,870	13,809
1,5	5,095	9,004	5,319	10,695	5,539	12,571	5,754	14,641	5,965	16,912
2	5,883	10,397	6,142	12,349	6,395	14,516	6,644	16,906	6,888	19,528
2,5	6,578	11,624	6,867	13,807	7,150	16,230	7,428	18,902	7,701	21,833
3	7,206	12,733	7,522	15,125	7,833	17,779	8,137	20,706	8,436	23,917
3,5	7,783	13,754	8,125	16,337	8,460	19,203	8,789	22,365	9,111	25,834

D (mm)	2000		2100		2200		2300		2400	
A (m ²)	3,142		3,464		3,801		4,155		4,524	
i (%)	velocità di flusso (m/s)	portata (m ³ /s)	velocità di flusso (m/s)	portata (m ³ /s)	velocità di flusso (m/s)	portata (m ³ /s)	velocità di flusso (m/s)	portata (m ³ /s)	velocità di flusso (m/s)	portata (m ³ /s)
0,1	1,594	5,007	1,646	5,702	1,698	6,456	1,749	7,268	1,800	8,141
0,2	2,254	7,081	2,328	8,064	2,402	9,130	2,474	10,278	2,545	11,514
0,3	2,760	8,672	2,852	9,877	2,941	11,181	3,030	12,589	3,117	14,101
0,4	3,187	10,013	3,293	11,405	3,396	12,911	3,499	14,536	3,599	16,283
0,5	3,564	11,195	3,681	12,751	3,797	14,435	3,912	16,252	4,024	18,205
0,6	3,904	12,264	4,033	13,968	4,160	15,813	4,285	17,803	4,408	19,942
0,7	4,217	13,247	4,356	15,087	4,493	17,080	4,628	19,229	4,761	21,540
0,8	4,508	14,161	4,657	16,129	4,803	18,259	4,948	20,557	5,090	23,028
0,9	4,781	15,020	4,939	17,107	5,095	19,367	5,248	21,804	5,399	24,424
1	5,040	15,833	5,206	18,033	5,370	20,414	5,532	22,983	5,691	25,746
1,5	6,172	19,391	6,376	22,085	6,577	25,002	6,775	28,149	6,970	31,532
2	7,127	22,391	7,363	25,502	7,595	28,870	7,823	32,503	8,048	36,410
2,5	7,968	25,034	8,232	28,512	8,491	32,278	8,747	36,340	8,998	40,707
3	8,729	27,423	9,018	31,233	9,302	35,359	9,581	39,808	9,857	44,593
3,5	9,428	29,620	9,740	33,736	10,047	38,192	10,349	42,998	10,647	48,166

Dimensionamento statico

Massima deformazione consentita

Il tubo **PALADEX** rientra nella categoria dei tubi cosiddetti “flessibili”, per i quali, a differenza dei tubi definiti “rigidi” (calcestruzzo, ghisa, gres, etc.), l’entità della deformazione verticale dipende strettamente dalla qualità del terreno di riempimento circostante che sostiene lateralmente il tubo e ne ostacola la tendenza ad ovalizzarsi. Le normative internazionali inerenti la posa ed il collaudo delle condotte in polietilene prescrivono che i metodi per il calcolo dei carichi e delle deformazioni per i tubi flessibili siano basati sulla massima deformazione perpendicolare consentita quale risultato dei carichi applicati dal terreno di ricoprimento, dai mezzi stradali e dall’eventuale presenza di acqua di falda.

Per garantire un corretto dimensionamento statico è dunque necessario fissare accuratamente le caratteristiche granulometriche e di compattazione che deve avere il terreno di riempimento utilizzato nella fase di posa in opera.

La metodologia di analisi utilizzata in questa sede fa riferimento all’equazione di Spangler (così come modificata dagli studi di Barnard) rappresentata dalla seguente formula:

$$\Delta_v = \frac{[(d_1 \cdot q_t) + q_m + q_f] \cdot K_x}{8 \cdot SN + 0,061 \cdot E} \quad [m]$$

In cui:

Δ_v è la deformazione [m];

d_1 è il fattore di autocompattazione;

q_t è il carico esercitato dal terreno [N/m];

q_m è il carico dovuto alle sollecitazioni verticali di superficie (traffico dei mezzi stradali, peso dell’asfalto, etc.) [N/m];

q_f è il carico dovuto all’eventuale presenza di acqua di falda [N/m];

K_x è la costante di fondo dipendente dall’angolo di sostegno (o di supporto);

SN è la rigidità anulare [N/m²];

E è il modulo di resistenza del terreno (o modulo secante) [N/m²].

Il valore del fattore di autocompattazione **d_1** è pari a 1,5 nel caso di compattazioni moderate e 2 per compattazioni medie.

I valori della costante **K_x** , funzione dell’angolo di sostegno, sono riepilogati nella seguente tabella:

Angolo di sostegno	0°	90°	120°	180°
K_x	0,110	0,096	0,090	0,083

Aumentando l’angolo di sostegno diminuisce il valore della costante **K_x** e quindi della deformazione.

Nel caso dei tubi flessibili è consigliabile creare un letto di posa che consenta un angolo di sostegno compreso tra 90° e 120°.

Il modulo di resistenza del terreno E deriva dalla seguente relazione:

$$E = E_S \text{ (modulo di reazione elastica del terreno)} \cdot r \text{ (raggio del tubo)}$$

La determinazione del modulo di reazione elastica del terreno E_S si ottiene correlando il grado di compattazione del terreno con la natura granulometrica dello stesso secondo i valori (espressi in 10^6 N/m^2) riepilogati nella tabella sottostante:

Materiale di riempimento

	Suolo a grana fine: gruppo 4 con meno del 25% di particelle a grana grossolana	Suolo a grana fine: gruppo 4 con più del 25% di particelle a grana grossolana	Suolo a grana grossolana: gruppo 3 con più del 12% di particelle a grana fine	Suolo a grana grossolana: gruppo 2 con meno del 12% di particelle a grana fine	Suolo a grana grossolana: gruppo 1 con meno del 12% di particelle a grana fine	Roccia frantumata: gruppo 1
	0.34	0.69				
75% - 78%	1.40	2.80	0.69			
79% - 80%				1.4		
81% - 83%	1.40	2.80	2.80		1.4	6.9
84%				6.90		
85%			6.90			
86% - 89%	2.80	6.90		13.80		
90% - 92%			6.90			
93% - 94%	2.80	6.90		13.80	13.80	20.70
95%			13.80			
96%				20.70	20.70	20.70
97%						
96% - 100%					20.70	20.70

- Scaricato alla rinfusa, nessun controllo della densità Proctor
- Classe N: nessuna compattazione ma controllo densità Proctor
- Classe M: media compattazione
- Classe B: buona compattazione



L'equazione di Spangler quindi determina che:

Deformazione massima = carico esercitato sul tubo / rigidità del tubo + rigidità del terreno.

Determinazione del carico del terreno

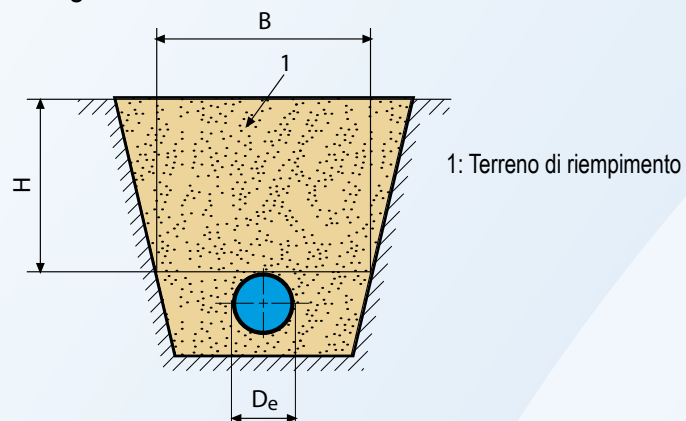
Il carico esercitato dal terreno di ricoprimento sul tubo dipende da più fattori: la tipologia dello scavo, la natura dei materiali usati per il ricoprimento, l'eventuale presenza di acqua di falda e l'altezza complessiva del ricoprimento sopra l'estradosso del tubo.

Tipologia di scavo

La relazione tra le dimensioni geometriche dello scavo (larghezza B ed altezza H) ed il diametro esterno D_e della tubazione identificano tre diverse tipologie di trincea. Il diametro esterno del tubo **PALADEX**, a parità di sezione idraulica utile e rigidità anulare, presenta dimensioni inferiori rispetto ai tradizionali tubi corrugati; tale caratteristica consente una riduzione della larghezza dello scavo.

Trincea stretta:

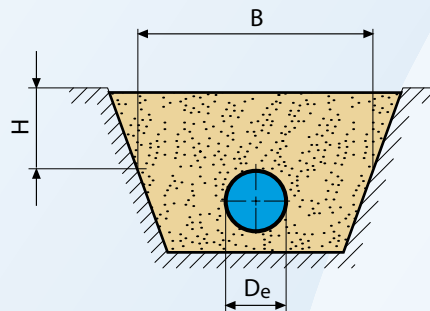
$$B \leq 3D_e \quad H \geq 2B$$



Si definisce trincea stretta uno scavo la cui larghezza è inferiore o uguale al triplo del diametro esterno del tubo e la cui altezza è superiore o uguale al doppio della larghezza.

Trincea larga:

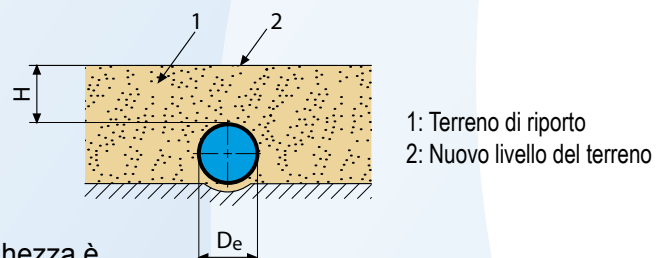
$$3D_e < B < 10D_e \quad H \leq 2B$$



Si definisce trincea larga uno scavo la cui larghezza ha un valore compreso tra tre volte e dieci volte il diametro esterno del tubo e la cui altezza è inferiore o uguale al doppio della larghezza.

Trincea infinita o terrapieno

$$B \geq 10D_e \quad H \leq 2B$$



Si definisce trincea infinita uno scavo la cui larghezza è superiore a dieci volte il diametro esterno del tubo e la cui altezza è inferiore o uguale al doppio della larghezza.

Determinazione del carico del terreno (q_t) in presenza di trincea stretta

In presenza di trincea stretta, il peso del terreno di ricoprimento non grava completamente sul tubo, ma viene in parte supportato dall'attrito che si genera con il terreno indisturbato delle pareti laterali.

Pertanto la determinazione del carico del terreno q_t è definita dalla seguente relazione:

$$q_t = C \cdot \gamma_t \cdot D_e \cdot B \quad [\text{N/m}]$$

In cui:

q_t è il carico del terreno [N/m];

C è il coefficiente di carico del terreno;

γ_t è il peso specifico del materiale di riempimento [N/m³] come indicato nella tabella n. 1;

D_e è il diametro esterno del tubo [m];

B è la larghezza dello scavo [m].

Il coefficiente di carico del terreno a sua volta è espresso dalla seguente formula:

$$C = \frac{1 - e \left(\frac{-2 \cdot K \cdot \tan\theta \cdot H}{B} \right)}{2 \cdot K \cdot \tan\theta}$$

In cui:

θ è l'angolo di attrito tra il materiale di riempimento e le pareti laterali dello scavo come indicato nella tabella n. 2;

H è l'altezza di ricoprimento del tubo misurata dall'estradosso [m];

B è la larghezza dello scavo [m].

K è il coefficiente adimensionale di Rankine espresso dalla seguente relazione: $K = \frac{1 - \sin\phi}{1 + \sin\phi}$

In cui:

ϕ è l'angolo di attrito interno del materiale di riempimento come indicato nella tabella n. 3.

Tabella 1 - Peso specifico del materiale di riempimento

Tipo di terreno	Peso specifico [n/m ³]
Terreno granulare, senza coesione	17.000
Sabbia e ghiaia	19.000
Terreno agrario saturo, argilloso	20.000
Argilla compatta ordinaria	21.000
Argilla satura	22.000

Tabella 2 - Angolo di attrito tra il materiale di riempimento ed il terreno originario delle pareti laterali dello scavo

Terreno originario	Materiale di riempimento	
	Sabbia	Ghiaia
Rocce lisce	25°	30°
Marna	30°	35°
Rocce scistose	35°	40°

Tabella 3 - Angolo di attrito interno del materiale di riempimento

Materiale di riempimento	Angolo ϕ
Argilla plastica	11° - 12°
Terreno morbido	12°
Argilla normale	14°
Loess cretaceo	18°
Marna sabbiosa	20°
Marna bianca	22°
Marna molto compatta	24°
Marna verde	26°
Sabbia bagnata	30°
Sabbia fine non pressata	31°
Sabbia e ghiaia	33°
Ghiaia e ciottoli	37°
Ciottoli grossi	44°

Determinazione del carico del terreno (q_t) in presenza di trincea larga o infinita

In presenza di trincea larga o infinita, il peso del terreno di ricoprimento grava completamente sul tubo.

Pertanto la determinazione del carico del terreno q_t è definita dalla seguente relazione:

$$q_t = \gamma_t \cdot D_e \cdot H$$

In cui:

q_t è il carico del terreno [N/m];

γ_t è il peso specifico del materiale di riempimento [N/m³] come indicato nella tabella n. 1;

H è l'altezza di ricoprimento del tubo misurata dall'estradosso [m];

D_e è il diametro esterno del tubo [m].

Determinazione del carico dovuto alle sollecitazioni verticali di superficie (q_m)

I sovraccarichi verticali sono rappresentati da tutte le sollecitazioni superficiali, mobili e fisse, cui è sottoposto il terreno di ricoprimento.

I sovraccarichi possono essere di tipo puntuale (es. il carico della ruota di un automezzo) o di tipo distribuito (es. il peso del manto asfaltato di una strada).

In questa sede, l'argomento verrà trattato in maniera semplificata considerando la sollecitazione derivante da un carico puntuale al di sopra della tubazione nell'ipotesi di trincea infinita.

La formula di riferimento è la seguente:

$$q_m = \frac{3}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{P}{\left(H + \frac{D_e}{2000} \right)} \cdot \varphi \quad [\text{N/m}]$$

In cui:

q_m è il carico dovuto alle sollecitazioni verticali di superficie [N/m];

P è il carico superficiale [N];

H è l'altezza di ricoprimento del tubo misurata dall'estradosso [m];

D_e è il diametro esterno del tubo [m];

φ è il coefficiente correttivo per la tipologia dei carichi.

In particolare:

$\varphi = 1$ per carichi statici

$\varphi = 1 + \frac{0,3}{H}$ per carichi dinamici stradali

$\varphi = 1 + \frac{0,6}{H}$ per carichi dinamici ferroviari

Le sollecitazioni dovute al traffico stradale sono riepilogate nella seguente tabella:

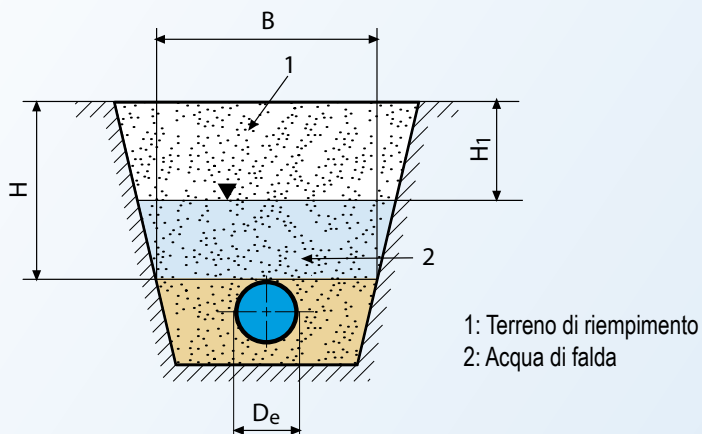
Tabella 4 - Valori del carico stradale in funzione della tipologia di traffico

Tipo di traffico	Carico totale (N)	Carico massimo per ruota (N)
Pesante	600.000	100.000
Medio	450.000 300.000	75.000 50.000
Leggero	120.000 60.000	20.000 ant. 40.000 post. 20.000
Auto	30.000	10.000

Determinazione del carico da acqua di falda (q_f)

L'eventuale presenza di acqua di falda crea un ulteriore carico sulla tubazione q_f definibile dalla seguente formula:

$$q_f = \gamma_w \cdot \left(H - H_1 + \frac{D_e}{2000} \right) \text{ [N/m]}$$



In cui:

q_f è il carico dell'acqua di falda [N/m];

γ_w è il peso specifico dell'acqua;

H è l'altezza di ricoprimento del tubo misurata dall'estradosso [m];

H_1 è l'altezza del ricoprimento al di sopra della falda [m];

D_e è il diametro esterno della tubazione.



Sede ed uffici:

Paladeri S.p.A.
 Via San Leonardo, 2 - 45010 Villadose (Rovigo) - IT
 Tel. +39 0425 409604 - Fax +39 0425 405451
 P.IVA 01363400290

Indirizzi di post@ electronic@:

info@paladeri.it
 commerciale@paladeri.it (uff. commerciale)
 foreign@paladeri.it (uff. estero)
 amministrazione@paladeri.it (uff. amministrativo)
 rs@paladeri.it (uff. tecnico)

Web Site: www.paladeri.it

