




**ASSE VIARIO MARCHE-UMBRIA
E QUADRILATERO DI PENETRAZIONE INTERNA
MAXI LOTTO 2**

LAVORI DI COMPLETAMENTO DELLA DIRETTRICE PERUGIA ANCONA:
SS. 318 DI "VALFABBRICA", TRATTO PIANELLO - VALFABBRICA
SS. 76 "VAL D'ESINO", TRATTI FOSSATO VICO - CANCELLI E ALBACINA - SERRA SAN QUIRICO
"PEDEMONTANA DELLE MARCHE", TRATTO FABRIANO-MUCCIA-SFERCIA.

PERIZIA DI VARIANTE

<p>CONTRAENTE GENERALE:</p> 	<p><i>Il responsabile del Contraente Generale:</i></p>  Ing. Federico Montanari	<p><i>Il responsabile Integrazioni delle Prestazioni Specialistiche:</i></p>  Ing. Salvatore Lieto
--	---	--

PROGETTAZIONE: Associazione Temporanea di Imprese

Mandataria: **PROGETTAZIONE GRANDI INFRASTRUTTURE PROGIN s.p.a.** Mandanti: **LOMBARDI SA INGEGNERI CONSULENTI** **LOMBARDI-REICO INGEGNERIA S.r.l.**



SGAI s.r.l. di E. Forlani & C.
Studio di Ingegneria e Geologia Applicata
Via Marconi, 20 - 47833 Montiano di Romagna (RN) - ITALY
P.IVA 0189420403 - tel/fax +39 0541988277 - e-mail: sga@sgai.com
snc: sga@sgai.com

<p>RESPONSABILE DELLA PROGETTAZIONE PER L'A.T.I. Prof. Ing. Antonio Grimaldi</p> <p>GEOLOGO Dott. Geol. Fabrizio Pontoni</p> <p>COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE Ing. Michele Curiale</p>			
--	---	--	---

<p>IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO Ing. Iginio Farotti</p>	<p>IL COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI ESECUZIONE Ing. Vincenzo Pardo</p>	<p>IL DIRETTORE DEI LAVORI Ing. Peppino Marascio</p>
---	--	--

<p>2.1.2 - PEDEMONTANA DELLE MARCHE Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord - Matelica sud/Castelraimondo nord</p> <p><i>OPERE D'ARTE MINORI</i> <i>Tombini e inalveazione fosso svincolo di Matelica Sud - Muccese - Ferrovia</i> <i>Relazione di calcolo tombini in PEAD</i></p>	<p>SCALA: 1:200</p> <p>DATA: Febbraio 2020</p>
---	--

Codice Unico di Progetto (CUP) **F12C03000050021** (Assegnato CIPE 23-12-2015)

Codice elaborato:

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id. doc.	N. prog.	Rev.
L 0 7 0 3	2 1 2	E	1 7	0 1 4 2 0 0	R E L	0 1	A

REV.	DATA	DESCRIZIONE	Redatto		Controllato	Approvato
A	Febbraio 2020	Emissione	M. Vari	A. Tosiani	S. Lieto	A. Grimaldi

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS O4200	Id. doc. REL	N. progr. 01	REV. A	Pag. di Pag. 2 di 28
----------------	---------------	--------------	-----------	--------------	-----------------	-----------------	-----------	-------------------------

INDICE

1. PREMESSA	3
1.1 UNITÀ DI MISURA.....	3
2. INQUADRAMENTO GEOTECNICO.....	4
2.1 PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO.....	4
3. DESCRIZIONE DELLE OPERE	4
4. RIFERIMENTO, NORMATIVA E SOFTWARE	7
4.1 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	7
4.2 NORMATIVA E STANDARD DI RIFERIMENTO PER IL DIMENSIONAMENTO DEL TUBO IN PEAD7	
4.3 SOFTWARE.....	10
5. MATERIALI.....	11
6. SISMICITÀ.....	11
7. CARATTERISTICHE DIMENSIONALI.....	12
8. RIGIDITÀ ANULARE	14
9. CRITERI DI DIMENSIONAMENTO STATICO.....	17
9.1 MASSIMA DEFORMAZIONE CONSENTITA	17
9.2 DETERMINAZIONE DEL CARICO DEL TERRENO.....	19
9.2.1 Tipologia di scavo.....	19
9.3 DETERMINAZIONE DEL CARICO DEL TERRENO (QT) IN PRESENZA DI TRINCEA STRETTA	
21	
9.4 DETERMINAZIONE DEL CARICO DEL TERRENO (QT) IN PRESENZA DI TRINCEA LARGA O INFINITA.....	22
9.5 DETERMINAZIONE DEL CARICO DOVUTO ALLE SOLLECITAZIONI VERTICALI DI SUPERFICIE (QM)	23
9.6 DETERMINAZIONE DEL CARICO DA ACQUA DI FALDA (QF)	24
10. DIMENSIONAMENTO STATICO.....	25

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS 04200	Id. doc. REL	N. progr. 01	REV. A	Pag. di Pag. 3 di 28
----------------	---------------	--------------	-----------	--------------	-----------------	-----------------	-----------	-------------------------

1. PREMESSA

Nell'ambito dei lavori di completamento della direttrice Perugia – Ancona “Pedemontana delle Marche”: Sub Lotto 2.2 Tratto Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord, è prevista la realizzazione di una deviazione del fosso esistente in corrispondenza dello svincolo di Matelica Sud, tale fosso attraversa la viabilità provinciale “Muccese” ed una viabilità poderali. In corrispondenza di codesti attraversamenti sono stati previsti due tombini in PEAD.

Oggetto della trattazione nel seguito esposta è in particolare:

- il dimensionamento strutturale e geotecnico dei due tombini in PEAD DN 1800 mm da realizzare al km 0+056.11 e al km 0+248.68 della viabilità di accesso allo svincolo di Matelica Sud. I due tombini hanno rispettivamente una lunghezza di 20 m e 16 m.

Nel seguito, dopo una breve descrizione delle opere cui si riferiscono i calcoli sviluppati, si riportano tutti i criteri generali adottati per le analisi e verifiche strutturali, ed a seguire , tutti i risultati ottenuti nei vari casi.

1.1 UNITÀ DI MISURA

Nel seguito si adotteranno le seguenti unità di misura:

- per le lunghezze ⇒ m, cm,
- per i carichi ⇒ kN, kN/m², kN/m³
- per le azioni di calcolo ⇒ kN, kNm
- per le tensioni ⇒ MPa

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS O4200	Id. doc. REL	N. progr. 01	REV. A	Pag. di Pag. 4 di 28
----------------	---------------	--------------	-----------	--------------	-----------------	-----------------	-----------	-------------------------

2. INQUADRAMENTO GEOTECNICO

Per la caratterizzazione geotecnica del terreno interagente con le fondazioni delle opere oggetto di dimensionamento nel presente documento, si è fatto riferimento a quanto dettagliatamente indicato nella Relazione Geotecnica e nel Profilo Geotecnico Generale di Progetto, da cui si evince che le formazioni più superficiali che interagiscono con le fondazioni degli scatolari, sono generalmente costituite dalle unità geotecniche **Pa** di cui nel seguito si riepilogano i parametri fisico-meccanici attribuiti sulla scorta dei risultati delle indagini effettuate:

2.1 PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO

Di seguito si riportano i parametri geotecnici dell'opera in esame:

Da p.c. in poi: Unità Pa – Substrato pelitico areanaceo

$\gamma = 23.0 \div 23.5 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
per coperture comprese tra 0 e 25 m:	
$\varphi' = 20 \div 30^\circ$ ($\varphi'_d = 25^\circ$)	angolo di resistenza al taglio
$c' = 19 \div 49 \text{ kPa}$ ($c'_d = 34 \text{ kPa}$)	coesione drenata
$E' = 50 \div 150 \text{ MPa}$ ($E_d = 100 \text{ MPa}$)	modulo di deformabilità

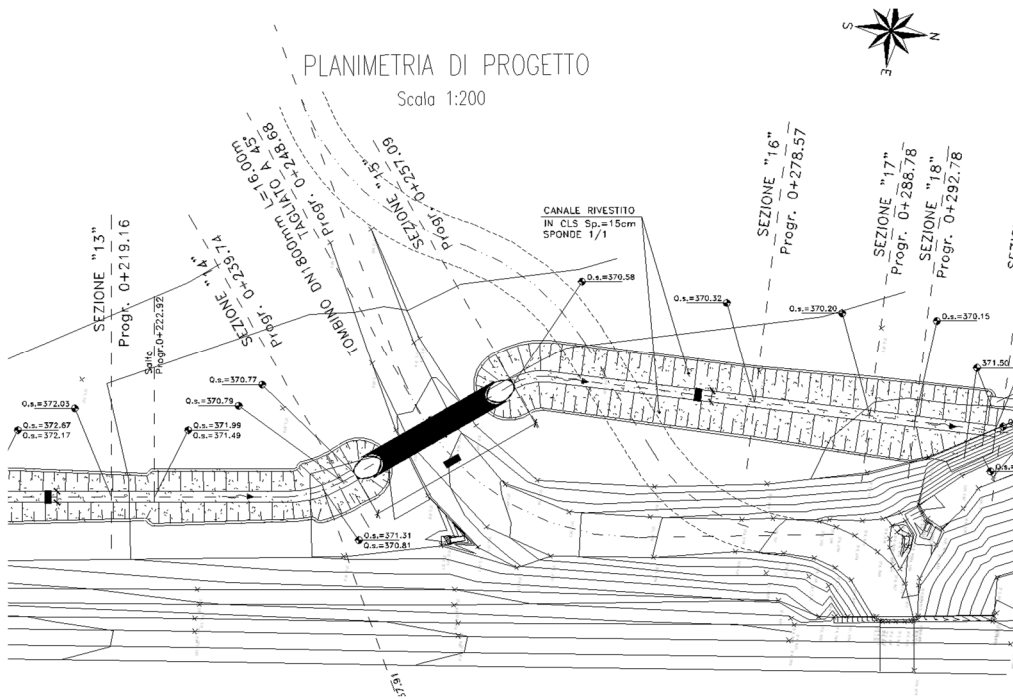
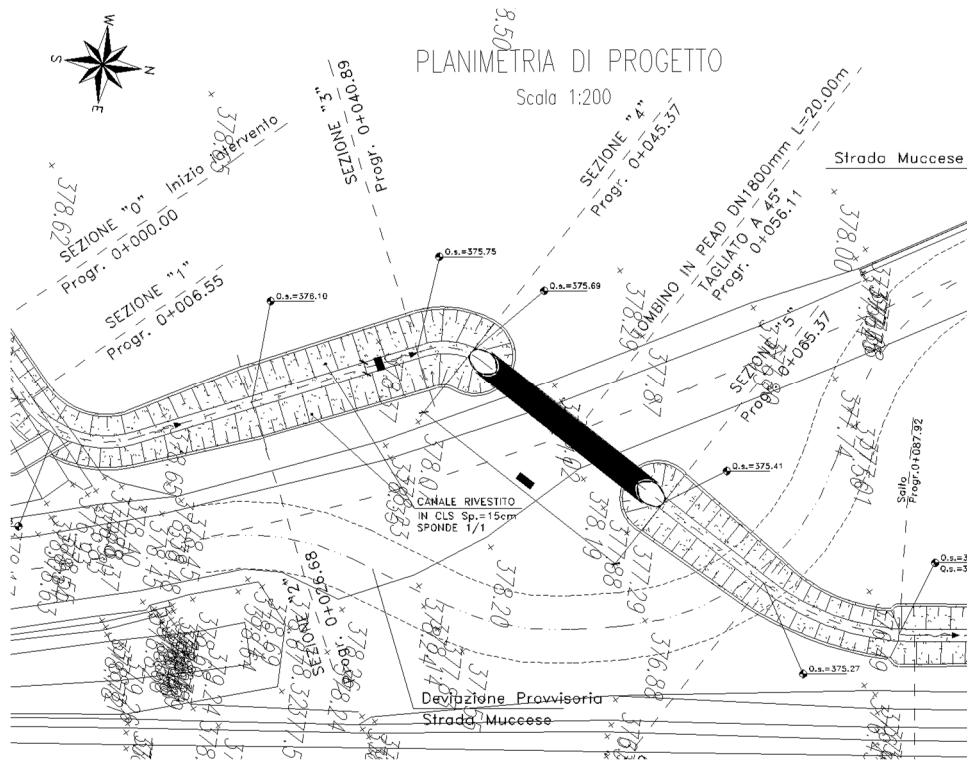
La falda è presente a circa -6.20 m da p.c. nella zona dello svincolo e circa a quota terreno nella zona dei due tombini, pertanto in favore di sicurezza si posiziona la falda a p.c.

3. DESCRIZIONE DELLE OPERE

I calcoli esposti nel presente documento, si riferiscono, come già anticipato in premessa, al tombino in PEAD al km 0+056.11 e al km 0+248.68 di lunghezza rispettivamente pari a 20 m e 16 m con ricoprimento di 50 cm circa.

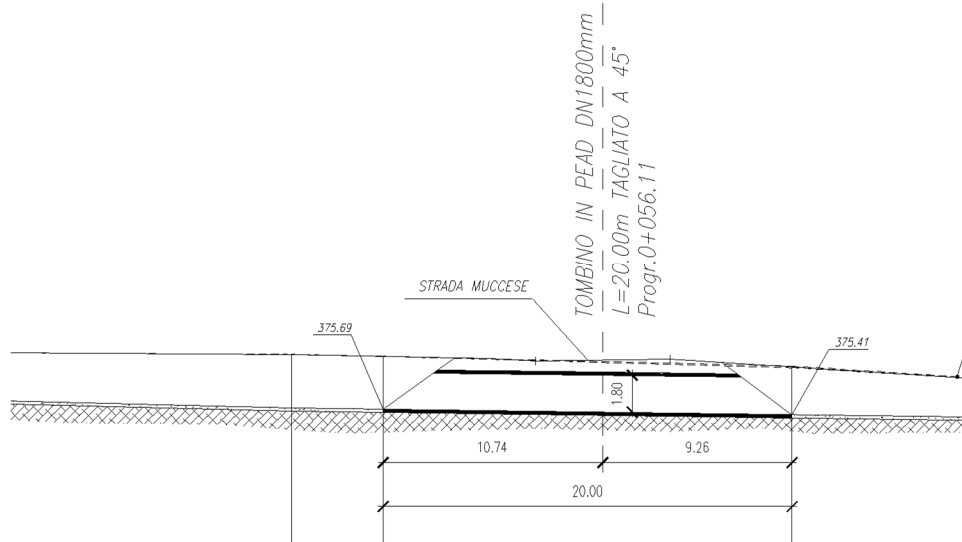
Nel seguito sono riportate la disposizione in pianta e le principali caratteristiche geometriche:

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS O4200	Id.doc. REL	N.prog. 01	REV. A	Pag. di Pag. 5 di 28
----------------	---------------	--------------	-----------	--------------	----------------	---------------	-----------	-------------------------

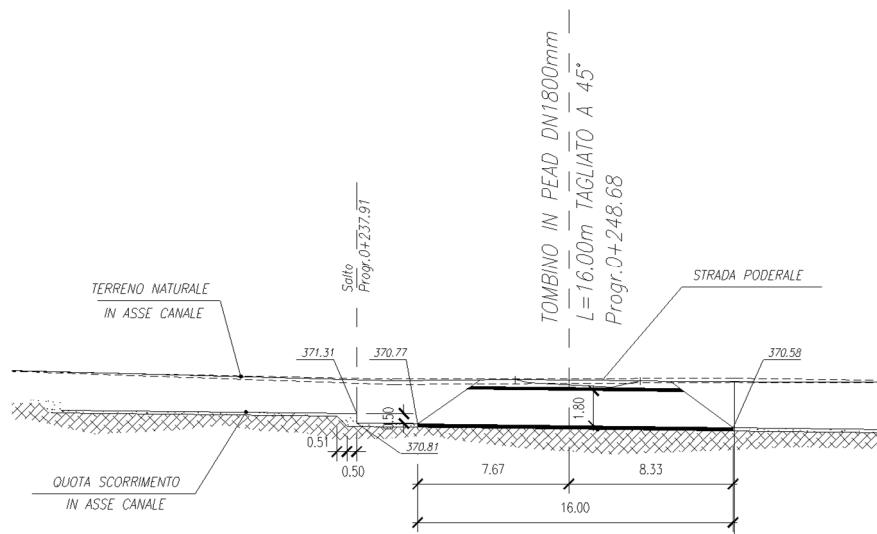


Disposizione planimetrica opere in oggetto

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS 04200	Id. doc. REL	N. progr. 01	REV. A	Pag. di Pag. 6 di 28
----------------	---------------	--------------	-----------	--------------	-----------------	-----------------	-----------	-------------------------



Sezione trasversale tombino al km 0+056.11



Sezione trasversale tombino al km 0+248.68

Per ulteriori dettagli si rimanda agli elaborati grafici specifici.

	2.1.2 – PEDEMONTANA DELLE MARCHE – Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord–Matelica Sud/Castelraimondo Nord OPERE D'ARTE MINORI - Tombini e inalveazione fosso Svincolo di Matelica Sud: Relazione tecnica e di calcolo								
	Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS 04200	Id. doc. REL	N. progr. 01	REV. A	Pag. di Pag. 7 di 28

4. RIFERIMENTO, NORMATIVA E SOFTWARE

4.1 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Ref. 1 Da Deppo, Datei, (2009): Fognature. Edizioni Cortina, Padova
- Ref. 2 Da Deppo, Datei, Fiorotto, Saladini (2003): Acquedotti. Edizioni Cortina, Padova
- Ref. 3 Milano, (1996): Acquedotti. Hoepli, Milano
- Ref. 4 Pavan, Frassine (2006): Tubazioni in polietilene per il trasporto di acqua. Springer, Milano
- Ref. 5 Salvini, Soma (2007): Impianti idrici negli edifici. Hoepli, Milano
- Ref. 6 CSDU (1997): Sistemi di Fognatura. Manuale di Progettazione. Hoepli, Milano
- Ref. 7 Rimoldi (2010): Ingegneria Idraulica Urbana. Maggioli Editore.
- Ref. 8 Becciu, Paoletti (2005), Esercitazioni di costruzioni idrauliche, Edizioni CEDAM, Milano
- Ref. 9 Usai (2008): Manuale di idrologia per la progettazione. Hoepli, Milano
- Ref. 10 Centro Informazione sul PVC (2005): le condotte in PVC.
- Ref. 11 A. P. Moser Steven Folkman, Buried Pipe Design, Utah State University Logan, Utah
- Ref. 12 Spangler (1948), Underground Conduits. An appraisal of modern research ASCE
- Ref. 13 Lancellota (1997), Geotecnica. Zanichelli

4.2 NORMATIVA E STANDARD DI RIFERIMENTO PER IL DIMENSIONAMENTO DEL TUBO IN PEAD

- Ref. 14 UNI EN 1295-1: 1999 Progetto strutturale di tubazioni interrato sottoposte a differenti condizioni di carico – Requisiti generali
- Ref. 15 ASTM D7380 – 08 Standard Test Method for Soil Compaction Determination at Shallow
- Ref. 16 Depths Using 5 lb (2.3 kg) Dynamic Cone Penetrometer

	2.1.2 – PEDEMONTANA DELLE MARCHE – Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord–Matelica Sud/Castelraimondo Nord OPERE D'ARTE MINORI - Tombini e inalveazione fosso Svincolo di Matelica Sud: Relazione tecnica e di calcolo								
	Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS O4200	Id. doc. REL	N. progr. 01	REV. A	Pag. di Pag. 8 di 28

- Ref. 17 UNI EN 1329 : 2000 “Sistemi di tubazioni di materia plastica per scarichi (a bassa ed alta temperatura) all'interno dei fabbricati - Policloruro di vinile non plastificato (PVC-U)”;
- Ref. 18 UNI 7613 : 1976 “Tubi di polietilene ad alta densità per condotte di scarico interrate”;
- Ref. 19 UNI 9032 “Tubi di resine termoindurenti rinforzate con fibre di vetro (PRFV)”.
- Ref. 20 UNI EN 14364: 2009 Sistemi di tubazioni di materia plastica per fognature e scarichi con o senza pressione - Materie plastiche termoindurenti rinforzate con fibre di vetro (PRFV) a base di resina poliestere insatura (UP) - Specifiche per tubi, raccordi e giunzioni
- Ref. 21 UNI EN1401: Tubi e raccordi di PVC rigido per condotte di scarico interrate (tipi, dimensioni e requisiti);
- Ref. 22 PR EN13476 : Tubi strutturali in PVC rigido per condotte di scarico interrate
- Ref. 23 UNI ISO/TR 7473: Tubi e raccordi di PVC rigido - Resistenza chimica nei confronti dei fluidi.
- Ref. 24 ISO/DTR 7073: Raccomandazioni per la posa di condotte interrate di PVC (1983);
- Ref. 25 ISO/TC 138/1062: Tubi in plastica non a pressione. Metodi di calcolo per tubi flessibili interrati.
- Ref. 26 D.M. 22 gennaio 2008, n.° 37 "Regolamento concernente l'attuazione dell'articolo 11- quaterdecies, comma 13, lettera a) della legge n. 248 del 2 dicembre 2005, recante riordino delle disposizioni in materia di attività di installazione degli impianti all'interno degli edifici", art. 5 c.3
- Ref. 27 UNI EN 12056-1 “Sistemi di scarico funzionanti a gravità all'interno degli edifici – Requisiti generali e prestazioni”
- Ref. 28 UNI EN 12056-3 “Sistemi di scarico funzionanti a gravità all'interno degli edifici – Sistemi per l'evacuazione delle acque meteoriche, progettazione e calcolo”

	2.1.2 – PEDEMONTANA DELLE MARCHE – Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord–Matelica Sud/Castelraimondo Nord OPERE D'ARTE MINORI - Tombini e inalveazione fosso Svincolo di Matelica Sud: Relazione tecnica e di calcolo								
	Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS O4200	Id. doc. REL	N. progr. 01	REV. A	Pag. di Pag. 9 di 28

- Ref. 29 UNI EN 612 “Canali di gronda e pluviali di lamiera metallica. Definizioni, classificazioni e requisiti”
- Ref. 30 UNI EN 13476-1:2008 Sistemi di tubazioni di materia plastica per connessioni di scarico e collettori di fognatura interrati non in pressione - Sistemi di tubazioni a parete strutturata di policloruro di vinile non plastificato (PVC-U), polipropilene (PP) e polietilene (PE) - Parte1: Requisiti generali e caratteristiche prestazionali
- Ref. 31 UNI EN 12666-1:2011 Sistemi di tubazioni di materia plastica per fognature e scarichi interrati non in pressione - Polietilene (PE) - Parte 1: Specifiche per i tubi, i raccordi e il sistema
- Ref. 32 UNI EN 1519-1 Sistemi di tubazioni di materia plastica per scarichi all'interno di fabbricati – Polietilene (PE) – specificazioni per i tubi, i raccordi e il sistema
- Ref. 33 UNI En 1453-1:2001 - Sistemi di tubazioni di materia plastica con tubi a parete strutturata per scarichi (a bassa e alta temperatura) all'interno dei fabbricati. Policloruro di vinile non plastificato (PVC-U). Specifiche per i tubi, i raccordi ed il sistema.
- Ref. 34 UNI 10972:2006 - Tubi di policloruro di vinile non plastificato (PVC-U) per ventilazione e
- Ref. 35 trasporto interrato di acqua piovane
- Ref. 36 UNI 10968:2005 “Sistemi di tubazioni di materia plastica per fognature e scarichi interrati non in pressione Sistemi di tubazioni a parete strutturata di policloruro di vinile non plastificato (PVC-U), polipropilene (PP) e polietilene (PE)”
- Ref. 37 prEN 13476 “Plastics piping systems for non-pressure underground drainage and sewerage – Structured wall piping systems of unplasticized poly(vynil chloride) (PVC-U), polypropylene (PP) and polyethylene (PE)”
- Ref. 38 I.I.P. (1984): Installazione delle fognature in PVC – Pubblicazione n.3, novembre
- Ref. 39 ANSI AWWA C950-88 (1988) – AWWA Standard for fiberglass pressure pipes – American Water Works Association, Denver, Colorado

	2.1.2 – PEDEMONTANA DELLE MARCHE – Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord–Matelica Sud/Castelraimondo Nord OPERE D'ARTE MINORI - Tombini e inalveazione fosso Svincolo di Matelica Sud: Relazione tecnica e di calcolo								
	Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS O4200	Id.doc. REL	N.prog. 01	REV. A	Pag. di Pag. 10 di 28

- Ref. 40 Ministero de l'equipment, du logement e des transports (1992) – Ouvrages d'assainissement, Fascicule n. 70 – Gennaio
- Ref. 41 Fiberglass Pipe Design AWWA MANUAL M45 American Water Works Association 1999
- Ref. 42 Decreto Ministeriale del 17/01/2018: “Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni” (GU n.42 del 20-02-2018 - Suppl. Ordinario n. 8);
- Ref. 43 UNI EN 1992-1-1: Eurocodice 2 - Progettazione delle strutture di calcestruzzo - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici;
- Ref. 44 UNI EN 1992-2: Eurocodice 2 - Progettazione delle strutture di calcestruzzo - Parte 2: Ponti di calcestruzzo - Progettazione e dettagli costruttivi;
- Ref. 45 UNI EN 1997-1: Eurocodice 7 - Progettazione Geotecnica - Parte 1: Regole generali;
- Ref. 46 UNI EN 1998-5: Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici;
- Ref. 47 ACI 318R-14: Building Code Requirements for Structural Concrete + Commentary on Building Code Requirements for Structural Concrete;
- Ref. 48 Design Guide for AASHTO Pile Caps: Concrete Reinforcing Steel Institute (CRSI)/Deep Foundations Institute (2018);
- Ref. 49 Design of deep pile caps by strut-and-tie models: Adebar, P., & Zhou, L. (1996). ACI Structural Journal, 93, 437-448;
- Ref. 50 RFI, Manuale di progettazione delle opere civili, Parte II – Sezione 2: Ponti e Strutture (cod. RFI DTC SI PS MA IFS 001 B).

4.3 SOFTWARE

- Ref. 51 Software prodotto dalla PALADERI S.r.l., Villadose (RO).

	2.1.2 – PEDEMONTANA DELLE MARCHE – Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord–Matelica Sud/Castelraimondo Nord OPERE D'ARTE MINORI - Tombini e inalveazione fosso Svincolo di Matelica Sud: Relazione tecnica e di calcolo								
	Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS O4200	Id. doc. REL	N. progr. 01	REV. A	Pag. di Pag. 11 di 28

5. MATERIALI

Per il progetto in oggetto si utilizza un “tubo spiralato in polietilene rinforzato con acciaio per fognature e scarichi interrati non in pressione” denominato PALADEX o tubi di equivalenti caratteristiche.

I tubi in oggetto sono identificati in funzione della loro “Classi di rigidità anulare calcolate secondo la norma EN ISO 9969:2008” e qui di seguito riportata:

Classe A (= 8 kN/m²) corrispondente a **SN8**

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

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

Nel presente progetto è stato utilizzata una Classe di rigidità anulare **SN12 (Classe B)**

6. SISMICITÀ

Visto la tipologia d'opera, il sisma non è stato preso in considerazione dache che la condizione di carico statica risulta quella più sollecitante.

7. CARATTERISTICHE DIMENSIONALI

Nel presente paragrafo si riporta una tabella con le caratteristiche dei tubi, diametro esterno, diametro interno, spessore ecc.:

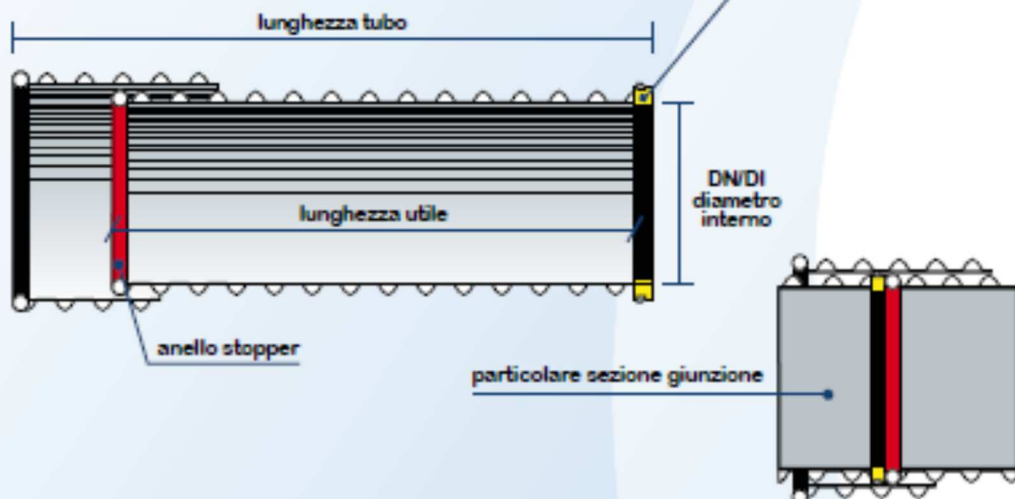
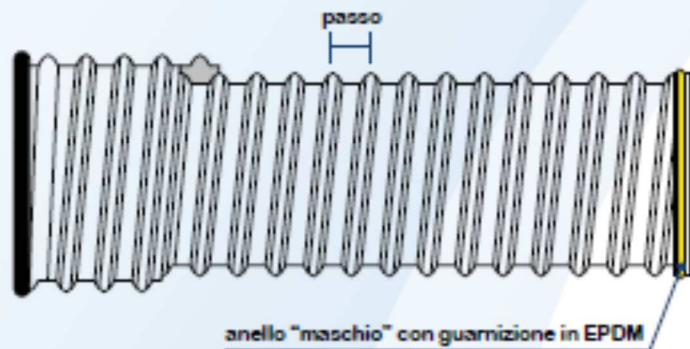
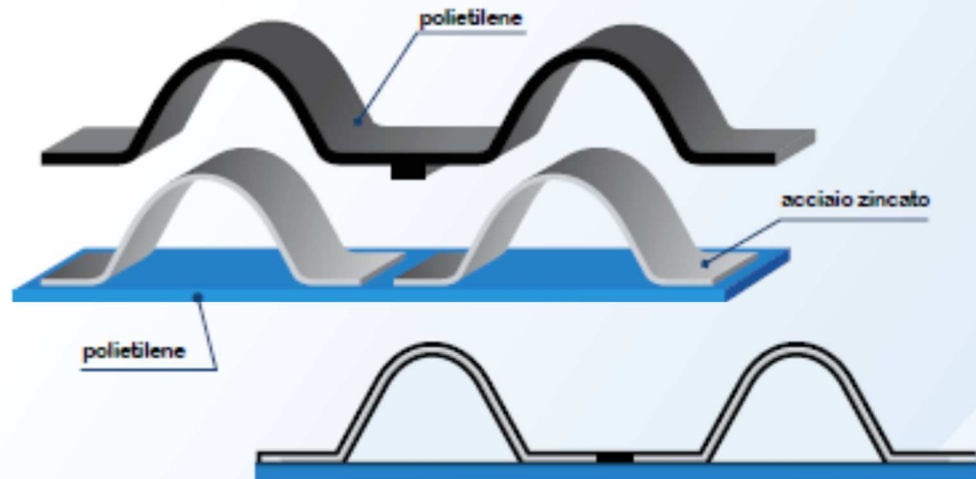
Tabella dimensionale

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	5,0	1750	*
1800	1781	1835	5,0	1955	- *
2000	1979	2039	5,0	2170	- *
2200	2177	2243	5,0	2390	- *
2400	2375	2447	5,0	2605	- *
2600	2574	2652	5,0	2810	- *
2800	2772	2856	5,0	3020	- *
3000	2970	3060	5,0	3240	- *

Le misure sono espresse in millimetri (mm).

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS O4200	Id.doc. REL	N.prog. 01	REV. A	Pag. di Pag. 13 di 28
----------------	---------------	--------------	-----------	--------------	----------------	---------------	-----------	--------------------------

Sezione trasversale



8. RIGIDITÀ ANULARE

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

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

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%;

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS O4200	Id. doc. REL	N. progr. 01	REV. A	Pag. di Pag. 15 di 28
----------------	---------------	--------------	-----------	--------------	-----------------	-----------------	-----------	--------------------------

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

Al fine di convertire tali grandezze nel valore S (Stiffness), normalmente utilizzato nei calcoli statici, è necessario considerare l'equazione:

$$S = 0,0186 \cdot PS$$

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 di seguito riportate:

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)

	2.1.2 – PEDEMONTANA DELLE MARCHE – Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord–Matelica Sud/Castelraimondo Nord OPERE D'ARTE MINORI - Tombini e inalveazione fosso Svincolo di Matelica Sud: Relazione tecnica e di calcolo								
	Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS O4200	Id. doc. REL	N. progr. 01	REV. A	Pag. di Pag. 17 di 28

9. CRITERI DI DIMENSIONAMENTO STATICO

9.1 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;

- 2.0 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 **KX** 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°.

Per quando riguarda il modulo di resistenza del terreno E, esso deriva dalla seguente relazione:

E = ES (modulo di reazione elastica del terreno)

La determinazione del modulo di reazione elastica del terreno **ES** si ottiene correlando il grado di compattazione del terreno con la natura granulometrica dello stesso secondo i valori (espressi in 10⁶ N/m²) riepilogati nella tabella sottostante:

Grado di compattazione del terreno (DENSITA' PROCTOR)	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%	1,4	2,8	0,69			
79% - 80%	1,4	2,8		1,4		
81% - 83%	1,4	2,8	2,8		1,4	6,9
84%	1,4	2,8		6,9		
85%	2,8	6,9	6,9	13,8		
86% - 89%	2,8	6,9	6,9			
90% - 92%	2,8	6,9	6,9		13,8	20,7
93% - 94%	2,8	6,9	6,9	13,8		
95%			13,8			
96%				20,7	20,7	20,7
97%						
98% - 100%					20,7	20,7
	Scaricato alla rinfusa, nessun controllo della densità PROCTOR					
	Classe N (not) : nessuna compattazione ma controllo densità PROCTOR					

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS O4200	Id. doc. REL	N. progr. 01	REV. A	Pag. di Pag. 19 di 28
----------------	---------------	--------------	-----------	--------------	-----------------	-----------------	-----------	--------------------------

	Classe M (moderate): media compattazione
	Classe W (well): buona compattazione

L'equazione di Spangler quindi determina che:

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

9.2 DETERMINAZIONE DEL CARICO DEL TERRENO

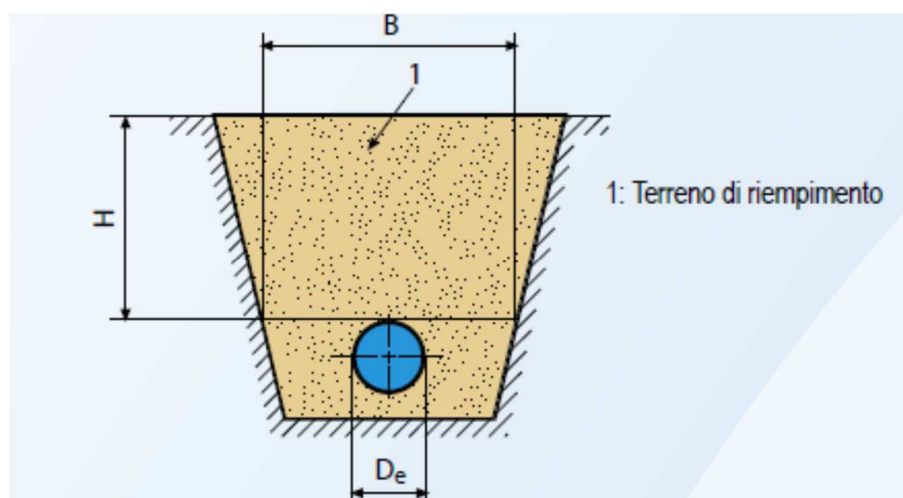
Il carico esercitato dal terreno di ricoprimento sul tubo dipende da più fattori: la tipologia dello scavo, la natura dei materiali usati per il ricoprimento, l'eventuale presenza di acqua di falda e l'altezza complessiva del ricoprimento sopra l'estradosso del tubo.

9.2.1 Tipologia di scavo

La relazione tra le dimensioni geometriche dello scavo (larghezza B ed altezza H) ed il diametro esterno **De** 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:

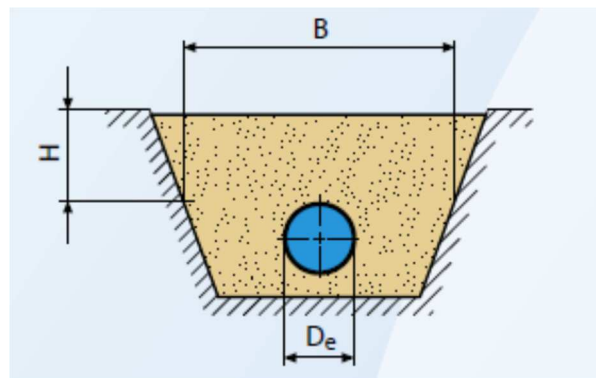
$$B \leq 3De \quad H \geq 2B$$



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:

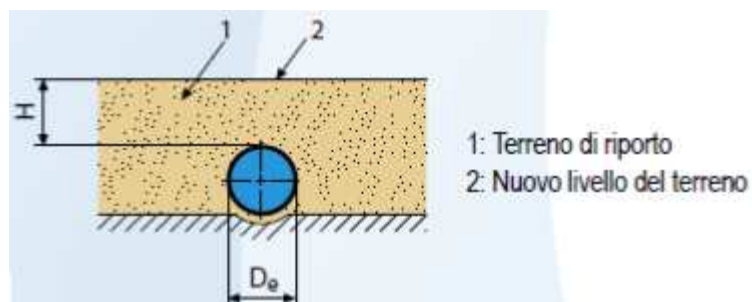
$$3De < B < 10De \quad H \leq 2B$$



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

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



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.

9.3 DETERMINAZIONE DEL CARICO DEL TERRENO (QT) 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:

$$K = (1 - \text{sen } \varnothing) / (1 + \text{sen } \varnothing)$$

In cui:

\varnothing 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 3 - Angolo di attrito interno del materiale di riempimento

Materiale di riempimento	Angolo Ø
Argilla plastica	11° - 12°
Terreno morboso	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°

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°

9.4 DETERMINAZIONE DEL CARICO DEL TERRENO (QT) 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 **qt** è definita dalla seguente relazione:

$$q_t = \gamma_t \cdot D_e \cdot H \quad [N/m]$$

In cui:

qt è il carico del terreno [N/m];

γt 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];

De è il diametro esterno del tubo [m].

	2.1.2 – PEDEMONTANA DELLE MARCHE – Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord–Matelica Sud/Castelraimondo Nord OPERE D'ARTE MINORI - Tombini e inalveazione fosso Svincolo di Matelica Sud: Relazione tecnica e di calcolo								
	Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS O4200	Id. doc. REL	N. progr. 01	REV. A	Pag. di Pag. 23 di 28

9.5 DETERMINAZIONE DEL CARICO DOVUTO ALLE SOLLECITAZIONI VERTICALI DI SUPERFICIE (QM)

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:

$$q_m = \frac{3 \cdot P \cdot D_e}{2 \cdot \pi \cdot H^2} \cdot \varphi \quad [N/m]$$

In cui:

qm 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];

De è il diametro esterno del tubo [m];

φ è il coefficiente correttivo per la tipologia dei carichi.

In particolare:

$\varphi = 1$ per carichi statici

$\varphi = 1 + 0.3/H$ per carichi dinamici stradali

$\varphi = 1 + 0.6/H$ per carichi dinamici ferroviari

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

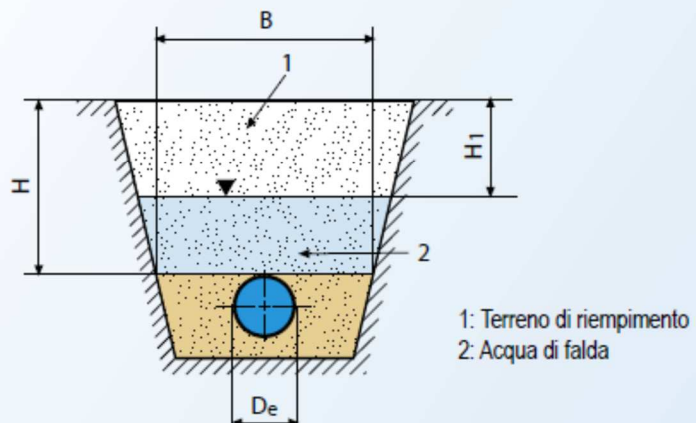
Tabella 4 - Valori del carico stradale in funzione della tipologia di traffico

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

9.6 DETERMINAZIONE DEL CARICO DA ACQUA DI FALDA (QF)

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

$$q_f = \gamma_w \cdot \left(H - H_1 + \frac{D_e}{2} \right) \cdot D_e \quad [\text{N/m}]$$



In cui:

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

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

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 [m].

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS O4200	Id. doc. REL	N. progr. 01	REV. A	Pag. di Pag. 25 di 28
----------------	---------------	--------------	-----------	--------------	-----------------	-----------------	-----------	--------------------------

10. DIMENSIONAMENTO STATICO

Di seguito si riporta la verifica statica del “tubo spiralato in polietilene rinforzato con acciaio” DN 1800.

Tale verifica è stata eseguito con un codice di calcolo messo appunto dalla società PALADERI S.r.l., Villadose (RO).

Dai tabulati di seguito allegati si evince che le verifiche sono tutte soddisfatte:

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS O4200	Id. doc. REL	N. progr. 01	REV. A	Pag. di Pag. 26 di 28
----------------	---------------	--------------	-----------	--------------	-----------------	-----------------	-----------	--------------------------

27/4/2020

Paladeri | Calcolo Portata conoscendo DIAMETRO, PENDENZA e GRADO RIEMPIMENTO CONDOTTA

 **INSERISCI I VALORI**

Diametro Interno - Diametro Esterno Paladex in m *

Diametro Interno: 1,800 m | Diametro Esterno: 1,955 m ▼

Rigidità anulare del tubo in N/m²

Classe B | SN 12 | 12.000 N/mq ▼

Altezza di ricoprimento (misurata dall'estradosso del tubo) in m

0.50

Larghezza scavo in m

2.8

Tipo Terreno *

- Sabbia compattata | Peso Specifico 17200 N ▼

VISUALIZZA TABELLAModulo resistenza del terreno o modulo secante in 10⁶ N/m²

13.8

VISUALIZZA TABELLA

Angolo di appoggio - Costante di fondo *

- 120° | 0,090 ▼

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS O4200	Id. doc. REL	N. progr. 01	REV. A	Pag. di Pag. 27 di 28
----------------	---------------	--------------	-----------	--------------	-----------------	-----------------	-----------	--------------------------

27/4/2020

Paladeri | Calcolo Portata conoscendo DIAMETRO, PENDENZA e GRADO RIEMPIMENTO CONDOTTA

Fattore di autocompattazione *

- 1,5 | Compattazione moderata ▼

Tipo Traffico *

Traffico pesante | Carico Massimo 600000 | Carico Ruota 100000 ▼

Coefficiente correttivo dei carichi *

- Carichi Dinamici Stradali | $1 + 0,3 / H$ ▼

Presenza Falda *

- Si ▼

Altezza terreno di ricoprimento sopra la falda in m

0

CALCOLA

I campi con * sono obbligatori

Le cifre decimali vanno separate dalla virgola e non dal punto

larga0,295

 **RISULTATI**

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS O4200	Id. doc. REL	N. progr. 01	REV. A	Pag. di Pag. 28 di 28
----------------	---------------	--------------	-----------	--------------	-----------------	-----------------	-----------	--------------------------

27/4/2020

Paladeri | Calcolo Portata conoscendo DIAMETRO, PENDENZA e GRADO RIEMPIMENTO CONDOTTA



VERIFICA STATICA

Deformazione diametrale inferiore al 3%

ESITO

Verificata

DEFORMAZIONE DIAMETRALE M

0,0370 m

Deformazione Diametrale %

1,89 %

CARICO DEL TERRENO

1.681.300,00 N/m

CARICO SUPERFICIALE

37,56 N/m

CARICO DI FALDA

975.681,31 N/m

CARICO TOTALE

2.657.018,87 N/m

TIPOLOGIA TRINCEA

LARGA