



COMUNE DI BARLETTA

Medaglia d'oro al merito civile e militare
Citta' della Disfida

AREA TECNICA - SETTORE LAVORI PUBBLICI REALIZZAZIONE DI URBANIZZAZIONI PRIMARIE NEL PIANO DI ZONA DELLA NUOVA 167, 2° E 3° TRIENNIO.

In parziale variante alla viabilità approvata con il P.E.E.P

Responsabile Unico del Procedimento

Dott. Ing. Sebastiano LONGANO



PROGETTO ESECUTIVO Relazione Tecnica Verifica di stabilità delle tubazioni

CODICE ELABORATO:

E 000 ID00 IDR RE 06

REV.
B

SCALA:

NOME FILE: E000ID00IDRRE06B.doc

CONSORZIO AGGIUDICATARIO:

Research Consorzio Stabile Scarl
Il Rappresentante Legale



IMPRESA AFFIDATARIA

COBAR s.p.a.
L'AMMINISTRATORE
Vito Matteo BAROZZI



Via Selva 101, 70022 - Altamura (Ba)

ATTIVITA' DI PROGETTAZIONE

VAMS Ingegneria
Via Nizza 154, 00198 - ROMA

RESPONSABILE DI PROGETTO:
Dott. Ing. Niccolo' Saraca



Responsabili di settore:

| | |
|----------------------------|----------------------------|
| Viabilità e corpo stradale | Dott. Ing. F. Ferraro |
| Idrologia ed Idraulica | Dott. Ing. A. Ademollo |
| Impianti | Dott. Ing. F. Di Benedetto |
| Strutture | Dott. Ing. G. Filosa |
| Geotecnica | Dott. Ing. E. Capanna |
| Sicurezza | Dott. Ing. F. Ferraro |
| Ambiente | Dott. G. Politi |
| Opere a verde | Arch. M. Rosati |
| Cantierizzazione | Dott. Ing. E. Capanna |
| Computi e Misure | Dott. Ing. M. Colombatti |
| Geologia | Dott. Geol. B. Colonnelli |
| Architettura ed Urb. | Dott. Arch. M. Tataranni |

| REV. | DESCRIZIONE | DATA | DISEGNATO | VERIFICATO | APPROVATO |
|------|---------------------------------|-------------|--------------|------------|-----------|
| A | EMISSIONE PER APPROVAZIONE | Giugno 2015 | M. Villanova | F. Ferraro | N. Saraca |
| B | REVISIONE A SEGUITO ISTRUTTORIA | Luglio 2015 | M. Villanova | F. Ferraro | N. Saraca |



COMUNE DI BARLETTA

Realizzazione di urbanizzazioni primarie nel piano di
zona della nuova 167, 2° e 3° triennio.

Relazione tecnica – Verifica di stabilità delle tubazioni

Progetto Esecutivo

INDICE

| | | |
|---|--|----|
| 1 | 1. PREMESSE..... | 2 |
| 2 | GENERALITÀ | 4 |
| 3 | VERIFICA SECONDO LA NORMA ATV 127-88 | 6 |
| 4 | METODO DI VERIFICA SECONDO MARSTON-SPANGLER..... | 19 |
| 5 | VERIFICHE..... | 22 |

IMPRESA ESECUTRICE:



PROGETTAZIONE:

VAMS Ingegneria

~ 1 ~



COMUNE DI BARLETTA

Realizzazione di urbanizzazioni primarie nel piano di
zona della nuova 167, 2° e 3° triennio.

Relazione tecnica – Verifica di stabilità delle tubazioni

Progetto Esecutivo

1. PREMESSE

Con la presente relazione si provvede alla verifica statica delle tubazioni impiegate per la realizzazione della nuova fogna pluviale al servizio della zona 167 di Barletta.

Il progetto prevede la realizzazione di tratti di tubazione in cemento vibro compresso, e la fornitura di tubazioni in materiale plastico da interrare per costituire gli accumuli degli impianti A e B, ampiamente descritti, che potranno essere successivamente utilizzati dall'Amministrazione per futuri interventi di ampliamento completamento della rete. Le tubazioni previste, secondo le voci di capitolato, sono :

- tubo prefabbricato per acque reflue non in pressione in calcestruzzo a sezione circolare, realizzato, con compressione radiale o vibro-compreso, secondo le norme UNI EN 1916:2004, provvisto di marcatura CE e completo di guarnizione, conforme alle norme UNI EN 681- 1:2004, con giunto ad incastro e guarnizione incorporata in elastomero per la tenuta idraulica, compreso il trattamento interno con resina epossidica antisolfati, Classe di resistenza 90 KN/m² - DN massimo 1400 mm – armato;
- tubazione in PP (polipropilene) di tipo corrugato a doppia parete per condotte di scarico interrate non in pressione, conformi alla norma UNI EN 13476, posato su terreno preventivamente sbancato e senza esecuzione di giunti, compresi lo scudo di chiusura in PEMD con segmento circolare superiore in rete di acciaio INOX maglia 50x50 mm, esclusi il materiale di rinfiacco, la formazione del letto di posa e le opere provvisionali. Classe di rigidità SN16 - Diametro esterno massimo mm 1200
- tubazione in PE-AD (polietilene alta densità) di tipo Spiralato a doppia parete per condotte di scarico interrate non in pressione, conformi alla norma UNI EN 13476, posato su terreno preventivamente sbancato e senza esecuzione di giunti, compresi lo scudo di chiusura in PEMD con segmento circolare superiore in rete di acciaio INOX maglia 50x50 mm, esclusi il materiale di rinfiacco, la formazione del letto di posa e le opere provvisionali. Classe di rigidità SN4 - Diametro esterno mm 1.500.

IMPRESA ESECUTRICE:



PROGETTAZIONE:



~ 2 ~



COMUNE DI BARLETTA

Realizzazione di urbanizzazioni primarie nel piano di
zona della nuova 167, 2° e 3° triennio.

Relazione tecnica – Verifica di stabilità delle tubazioni

Progetto Esecutivo

Nel progetto di una fognatura dovrebbe porsi la stessa attenzione sia all'aspetto idraulico che a quello statico, anche se sembra consolidata una maggiore propensione per il primo.

La stabilità strutturale dell'opera, infatti, viene spesso relegata a ruolo secondario trascurando il fatto che un buon comportamento idraulico di una condotta presuppone la sua integrità strutturale; in poche parole con la rottura di un tubo o con la sua eccessiva deformazione verrebbero meno le ipotesi sulle quali si basano gli stessi calcoli idraulici.

L'instabilità del tubo può causare inoltre, la perdita di caratteristiche altrettanto importanti come la impermeabilità del condotto o la stabilità in generale del sistema tubo-terreno (cedimenti frane smottamenti)[1]. Queste brevi considerazioni evidenziano dunque l'importanza dell'aspetto statico nella progettazione di un sistema fognario, ancor di più se si considera che uno dei suoi principali compiti è quello di raccogliere e trasportare liquami senza disperderli durante il proprio tragitto evitando di danneggiare altre strutture o l'ambiente circostante. Così come per la progettazione di condotte la definizione dei parametri idraulici e idrologici richiede attenzione soprattutto nella previsione dell'evoluzione che gli stessi potranno avere nel tempo, anche nella fase del dimensionamento statico del condotto interrato, è necessario porre l'opportuna cautela nella definizione delle caratteristiche geotecniche del terreno in cui viene posto il condotto e nell'individuazione delle forze agenti sul tubo.

IMPRESA ESECUTRICE:



PROGETTAZIONE:

VAMS Ingegneria

~ 3 ~



COMUNE DI BARLETTA

Realizzazione di urbanizzazioni primarie nel piano di
zona della nuova 167, 2° e 3° triennio.

Relazione tecnica – Verifica di stabilità delle tubazioni

Progetto Esecutivo

1 GENERALITÀ

Il dimensionamento statico viene eseguito generalmente attraverso una metodologia distinta in ragione delle caratteristiche meccaniche del tubo da verificare. Infatti, a seconda che si intenda usare un tubo “flessibile” o uno “rigido” si imposta il metodo di calcolo arrivando alle conclusioni finali. Si può affermare, infatti [2], che il carico di terreno nella trincea, superiormente alla tubazione, ed il sovraccarico uniformemente distribuito superiormente alla stessa trincea, vengono ripartiti fra il terreno e la tubazione in funzione dei rispettivi moduli di elasticità. Tanto maggiore è il modulo di elasticità della tubazione rispetto a quello del terreno più questa assume una maggiore aliquota del carico verticale gravante e si comporta quindi da tubazione “rigida”. A parità di caratteristiche meccaniche della tubazione (modulo di elasticità E) pur essendo “rigida” rispetto al terreno, la tubazione assume degli spostamenti laterali maggiori in assoluto, poiché per una tubazione “flessibile” (rispetto al terreno) il carico verticale viene ripartito maggiormente tra questa e il terreno laterale, che, in questo caso maggiormente compattato, collabora in misura maggiore, riducendo le deformazioni.

Dunque il comportamento di una tubazione è “rigido” o “flessibile” in funzione della costipazione del terreno e sarebbe opportuno compattare lo stesso al fine di far traslare il comportamento di questa da “rigido” a “flessibile” al fine di ottenere minori deformazioni collegate tra l’altro ad una maggiore collaborazione laterale del terreno. Ritornando alla classica suddivisione dei materiali in relazione alla natura degli stessi, nel caso di tubazione a comportamento “flessibile” si ammette che la rottura sopraggiunga quando le deformazioni hanno raggiunto livelli inaccettabili, rendendo vane le ipotesi idrauliche e creando discontinuità sui giunti; pertanto le deformazioni vengono normalmente valutate con l’equazione di

Marston-Spangler:

$$\Delta x = \frac{Q \cdot K \cdot F}{\frac{EI}{r^3} + 0.061 \cdot E_t}$$

dove Δx è la deformazione diametrale nel senso orizzontale (che per l’ineestensibilità delle fibre del materiale costituente il tubo è anche quella verticale), E è il modulo elastico del materiale mentre E_t è il modulo elastico del terreno; I ed r sono rispettivamente momento d’inerzia della parete del tubo

IMPRESA ESECUTRICE:



PROGETTAZIONE:

VAMS Ingegneria

~ 4 ~



COMUNE DI BARLETTA

Realizzazione di urbanizzazioni primarie nel piano di
zona della nuova 167, 2° e 3° triennio.

Relazione tecnica – Verifica di stabilità delle tubazioni

Progetto Esecutivo

per unità di lunghezza e raggio medio del tubo, mentre K è un coefficiente che dipende dal tipo di appoggio della tubazione (sella di CIs, sabbia costipata ecc.) ed F è un coefficiente che considera la deformazione differita nel tempo. La deformazione così calcolata dovrà essere minore della massima ammissibile che normalmente è il 5% del diametro medio. Nel caso di tubo a comportamento “rigido”, quindi con un modulo di elasticità E decisamente maggiore rispetto a quello del terreno circostante, assumendo che il tubo assorba tutta la sollecitazione derivante dai carichi esterni, si confrontano le tensioni agenti sul tubo con la resistenza di questo, assicurandosi, con un opportuno coefficiente di sicurezza, che non si raggiunga lo stato limite ultimo di esercizio. L'equazione di verifica è:

$$\eta = \frac{Q_{tot} \cdot E_z}{Q_{ult}}$$

dove Q_{tot} è il carico totale sul tubo, E_z è il coefficiente di posa e Q_n è il carico resistente del tubo.

Poiché il carico ultimo di rottura del tubo è l'unica grandezza che contrasta le forze esterne, occorre che questo sia certo e ben definito, e quindi il progettista deve assicurarsi delle qualità del materiale, sia intrinseche che costruttive. La corretta valutazione delle caratteristiche geotecniche e meccaniche del terreno è una fase importante nella conoscenza dei dati del problema di verifica statica; altrettanto importante è verificare che le modalità di posa della tubazione e di costipazione del terreno circostante siano aderenti a quelle considerate in fase progettuale.

Per questo un metodo di verifica molto analitico sembrerebbe meglio sposare tutti questi presupposti; tuttavia, come sottolinea anche la UNI EN 1295-1:1999 [7], normativa di riferimento per il progetto strutturale delle tubazioni interrato, “...Dal momento che, nella pratica, non è sempre possibile disporre di dettagli precisi sul tipo di terreno, e sulle condizioni di posa in opera durante la fase di calcolo, la scelta dei presupposti di calcolo è lasciata al progettista...”. A tal proposito si illustrano di seguito due metodi di calcolo per tubazioni in PEAD, notoriamente a comportamento flessibile; tali tubazioni hanno la caratteristica di avere la propria parete strutturata (corrugata o spiralata) secondo le tipologie dettate dalle Normative Europee CEN [3]. Nello specifico il primo è tratto dalla normativa tecnica tedesca ATV 127-88, l'altro deriva dal metodo di Marston-Spangler con alcuni adeguamenti relativi al materiale e alle normative.



COMUNE DI BARLETTA

Realizzazione di urbanizzazioni primarie nel piano di zona della nuova 167, 2° e 3° triennio.

Relazione tecnica – Verifica di stabilità delle tubazioni

Progetto Esecutivo

2 VERIFICA SECONDO LA NORMA ATV 127-88

Tale metodologia di calcolo [6] procede in maniera sistematica per tutti i materiali; essa stabilisce un codice di calcolo più dettagliato che fornisce al progettista la possibilità di scegliere tra situazioni di posa e caratteristiche dei materiali già definite e rispondenti alla maggior parte delle situazioni progettuali correnti, lasciando così solo ai casi estremi e fuori della norma il ricorso a valutazioni meno raffinate. Il metodo determina dapprima le sollecitazioni al livello della quota del tubo, poi in base al rapporto tra le rigidità degli elementi presenti (tubo, rinfiacco, rinterro) determina la concentrazione degli sforzi sulla condotta e solo successivamente, in relazione al materiale costitutivo della tubazione esegue la verifica.

2.1 Analisi dei carichi

I carichi che possono causare sollecitazioni su un condotto interrato vengono suddivisi in cinque categorie.

a) Carichi ripartiti sulla superficie.

Possono essere costituiti da terrapieni o riporti di materiale, basamenti per infrastrutture, serbatoi.

b) Carichi concentrati sulla superficie.

Sono carichi puntiformi o con superfici di appoggio di dimensioni decisamente inferiori alle larghezze di scavo della trincea di posa.

c) Carichi mobili sulla superficie.

Possono essere di origine stradale o ferroviaria e devono essere valutati nella loro intensità anche in considerazione del carattere dinamico che essi possono avere.

Tabella I: Carichi dinamici per convogli standard

| Veicolo standard | Carico Totale (kN) | Carico per ruota (kN) | Impronta del pneumatico | |
|------------------|--------------------|-----------------------|-------------------------|---------------|
| | | | Larghezza (m) | Lunghezza (m) |
| HLC 60 | 600 | 100 | 0.60 | 0.20 |
| HLC 30 | 300 | 50 | 0.40 | 0.20 |
| HGV 12 | 120 | Post. 40 | 0.30 | 0.20 |
| | | Anr. 20 | 0.20 | 0.20 |



COMUNE DI BARLETTA

Realizzazione di urbanizzazioni primarie nel piano di zona della nuova 167, 2° e 3° triennio.

Relazione tecnica – Verifica di stabilità delle tubazioni

Progetto Esecutivo

d) Carichi per il terreno di rinterro.

I terreni che vengono posti sul tubo e di fianco ad esso esercitano delle pressioni verticali ed orizzontali che concorrono allo stato di sollecitazione della condotta.

e) Carichi dall'acqua di falda.

L'acqua della falda esercita una spinta di tipo idrostatico che spesso compromette la stabilità dell'opera per effetto del cosiddetto "buckling". Non interviene nel nostro caso.

2.2 Tipi di terreni

La norma riassume le varie tipologie di terreni in quattro tipi di terreni, caratterizzati con le seguenti sigle in ragione delle proprie caratteristiche geotecniche:

G1 Terreni non coesivi;

G2 Terreni leggermente coesivi;

G3 Terreni misti (sabbia, ghiaia, misto di cava);

G4 Terreni coesivi.

Tabella II: classificazione dei terreni

| Tipi di suolo | Peso specifico γ_t (kN/m ³) | Angolo di attrito interno φ (gradi) | Modulo di elasticità E in N/mm ² con grado di compattazione D_{pr} in % | | | | | |
|---------------|--|---|--|-----|----|----|----|-----|
| | | | $D_{pr} = 85$ | 90 | 92 | 95 | 97 | 100 |
| G1 | 20 | 35 | 2 | 6 | 9 | 16 | 23 | 40 |
| G2 | 20 | 30 | 1.2 | 3 | 4 | 8 | 11 | 20 |
| G3 | 20 | 25 | 0.8 | 2 | 3 | 5 | 8 | 13 |
| G4 | 20 | 20 | 0.6 | 1.5 | 2 | 4 | 6 | 10 |

Essa inoltre dispone una prova di "pressione piana" per determinare il modulo secante del terreno ("plate pressure test" DIN 18134).



COMUNE DI BARLETTA

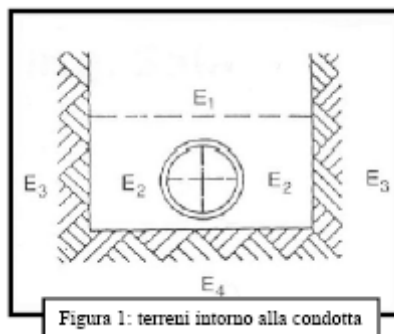
Realizzazione di urbanizzazioni primarie nel piano di zona della nuova 167, 2° e 3° triennio.

Relazione tecnica – Verifica di stabilità delle tubazioni

Progetto Esecutivo

2.1.2 Condizioni di rinfianco

Tale metodo divide il semispazio attorno al tubo in zone,



ognuna delle quali è caratterizzata dai propri moduli di elasticità. Allo scopo di definire precisamente le condizioni di posa in relazione alle caratteristiche geotecniche del terreno, la ATV 127 distingue quattro tipi di terreni, individuando anche le condizioni di posa di queste terre con le relative caratteristiche geotecniche ottenibili in cantiere. Vengono quindi considerati i moduli secanti differenziati:

E1 rinterro E3 suolo esistente di parete; E2 rinfianco E4 suolo esistente di fondo



COMUNE DI BARLETTA

Realizzazione di urbanizzazioni primarie nel piano di
zona della nuova 167, 2° e 3° triennio.

Relazione tecnica – Verifica di stabilità delle tubazioni

Progetto Esecutivo

Tabella III: modalità di rinterro e rinfianco

| Condizioni di rinterro A | A1 (G1, G2, G3 $D_{pr} \leq 95$) (G4 $D_{pr} < 90$) | A2 (G1, G2, G3, G4) ($D_{pr} \leq 90$) | A3 (G1, G2, G3, G4) ($D_{pr} \leq 90$) | A4 (G1, G2 $D_{pr} \leq 97$) (G3 $D_{pr} \leq 95$) |
|---|---|--|--|---|
| B Condizioni Di rinfianco | | | | |
| B1 (G1, G2, G3 $D_{pr} \leq 95$) (G4 $D_{pr} < 90$) | Riempimento del fosso costipato a strati contro le spalle della trincea | | | |
| B2 (G1, G2, G3, G4) ($D_{pr} \leq 90$) | | Scavo protetto con armature ritirate gradualmente durante il riempimento del fosso | | |
| B3 (G1, G2, G3, G4) ($D_{pr} \leq 90$) | | | Scavo protetto da armature ritirate solo dopo il riempimento del fosso | |
| B4 (G1, G2 $D_{pr} \leq 97$) (G3 $D_{pr} \leq 95$) | | | | Riempimento del fosso costipato a strati con la determinazione del grado di compattazione |

In relazione sia alle modalità di rinterro e di rinfianco, che alla costipazioni realizzate, si identifica una combinazione di Ai-Bi che consente di identificare, con l'aiuto della tabella / i moduli di elasticità dei terreni attorno al tubo.

In presenza di falda va considerato un fattore di subsidenza f riduttivo per E2:

$$: f = \frac{D_{pr} - 75}{20} \leq 1$$

Se il suolo scavato è utilizzato come rinterro, si pone $E3=E1$, a meno che E3 non abbia un elevato grado di compattazione. In trincea larga $E1=E2=E3$.

Per E4 (tab. I) si pone generalmente $E4=10 \cdot E1$, in quanto si ammette che il fondo sia molto più rigido del resto.

2.3 Determinazione delle sollecitazioni

a) Carichi di tipo 1 e 4



COMUNE DI BARLETTA

Realizzazione di urbanizzazioni primarie nel piano di zona della nuova 167, 2° e 3° triennio.

Relazione tecnica – Verifica di stabilità delle tubazioni

Progetto Esecutivo

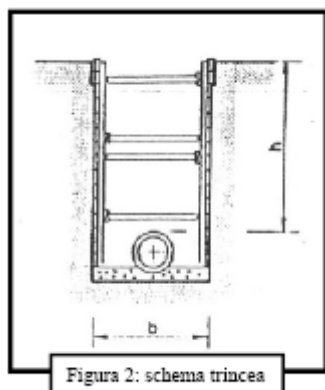


Figura 2: schema trincea

Le sollecitazioni derivanti dai carichi ripartiti in superficie e dal terreno di riporto vengono valutate considerando che le forze d'attrito tra le pareti della trincea (anche a lungo termine) e il riempimento contribuiscono a ridurre la tensione che grava sulla tubazione (effetto silo); la tensione media verticale per carichi del terreno è, in una sezione orizzontale a distanza H dalla superficie:

$$P_s = \chi \cdot \gamma \cdot H \quad [KN/m^2]$$

Con carichi distribuiti q [KN/m²]:

$$P_s = \chi_0 \cdot q$$

I fattori di riduzione sono maggiormente validi se

$$E1 \square \square E3 \text{ per } \square$$

$$E1 < E3 \text{ per } \square 0$$

Se la larghezza della trincea b aumenta si ha che $\square \square$ e $\square 0$ tendono a 1 e l'effetto silo scompare.

Nello specifico si ha:

$$\chi = \frac{1 - e^{(-2 \cdot K_1 \cdot \frac{H}{B} \cdot \tan \delta)}}{2 \cdot K_1 \cdot \frac{H}{B} \cdot \tan \delta}$$

$$\chi_0 = e^{(-2 \cdot \frac{H}{B} \cdot K_1 \cdot \tan \delta)}$$

ove $\square \square$ è l'angolo d'attrito tra pareti della trincea e terreno di riempimento

e $K1$ il coefficiente di spinta attiva.

IMPRESA ESECUTRICE:



PROGETTAZIONE:

VAMS Ingegneria



COMUNE DI BARLETTA

Realizzazione di urbanizzazioni primarie nel piano di zona della nuova 167, 2° e 3° triennio.

Relazione tecnica – Verifica di stabilità delle tubazioni

Progetto Esecutivo

Tabella IV: coefficienti di spinta attiva K_1

| Condizioni di rinterro | K_1 | δ |
|------------------------|-------|--------------|
| A1 | 0.5 | $2/3\varphi$ |
| A2 | 0.5 | $1/3\varphi$ |
| A3 | 0.5 | 0 |
| A4 | 0.5 | φ |

b) Carichi di tipo 2 e 3

Le sollecitazioni vengono calcolate secondo la teoria di Boussinesq nell'ipotesi di un semispazio elastico isotropo e omogeneo. Nel caso di sovraccarichi derivanti da veicoli stradali si introducono dei fattori correttivi che tengono conto della forma di applicazione del carico e dell'azione dinamica.

In funzione della profondità della generatrice superiore del tubo, del suo diametro e del tipo di traffico si ha:

$$P_{din} = \phi \cdot a_f \cdot p_f$$

$$p_f = \frac{F_a}{r_a^2 \cdot \pi} \left[1 - \left(\frac{1}{1 + \left(\frac{r_a}{h} \right)^2} \right)^{3/2} \right] + \frac{3 \cdot F_e}{2\pi \cdot h^2} \cdot \left(\frac{1}{1 + \left(\frac{r_e}{h} \right)^2} \right)^{5/2}$$

ove F_a , F_e , r_a , r_e sono carichi e raggi ausiliari che tengono conto della posizione del tubo rispetto alla tubazione, mentre p_f deriva dalla teoria di Boussinesq per carichi distribuiti in superficie.

Tabella V: Carichi, raggi ausiliari e coefficienti d'impatto per convogli tipo

| Categoria di veicolo | F_a KN | F_e KN | r_a M | r_e m | ϕ |
|----------------------|-------------|-------------|------------|------------|--------|
| HLC 60 | 100 | 500 | 0.25 | 1.82 | 1.2 |
| HLC 30 | 50 | 250 | 0.18 | 1.82 | 1.4 |
| HGV 12 | 40 | 80 | 0.15 | 2.26 | 1.5 |

Il termine a_f



COMUNE DI BARLETTA

Realizzazione di urbanizzazioni primarie nel piano di zona della nuova 167, 2° e 3° triennio.

Relazione tecnica – Verifica di stabilità delle tubazioni

Progetto Esecutivo

$$a_f = 1 - \frac{0.9}{0.9 + \frac{4h^2 + h^6}{1.1 \cdot d_m^{2/3}}}$$

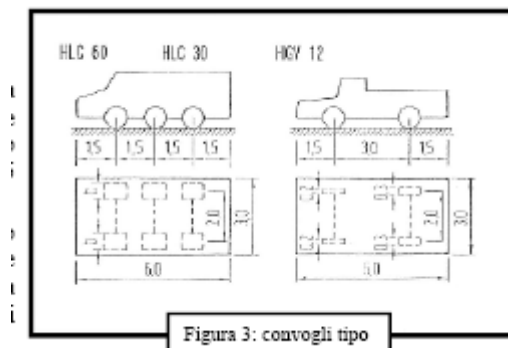


Figura 3: convogli tipo

è un fattore di correzione che tiene conto della pressione nella sezione trasversale e longitudinale del tubo, ove dm è il diametro medio (è valida per h [m] $\square\square 0.5m$ e per dm $\square\square 5$ m). Il fattore $\square\square$ è detto coefficiente d'impatto. A vantaggio di sicurezza queste tensioni vanno calcolate assumendo una copertura addizionale di 0.3 m, che considera l'esistenza, per una strada, di una sovrastruttura capace di distribuire bene i carichi.

c) Carichi di tipo 5

La sollecitazione di tipo idrostatico per l'acqua di falda, considerata sull'asse della tubazione, è determinata dalla relazione:

$$P_{id} = \gamma_w \cdot (h + d_m/2)$$

Con h altezza d'acqua sulla generatrice superiore del tubo. Essa verrà considerata nella fase finale di verifica dei coefficienti di sicurezza.

2.4 Caratteristiche delle tubazioni e rapporto di rigidità

Le caratteristiche di rigidità del tubo vengono introdotte calcolando il rapporto di rigidità V_s .

Questo è indicativo della interazione tubo - terreno nelle condizioni di posa previste e dipende dalla rigidezza del tubo S_p , dai coefficienti di deformazione del diametro verticale Cv^* e $Cv1$ e dalla rigidezza verticale del rinfiacco S_{bv} . Occorre sottolineare come a causa della natura composta delle pareti dei tubi strutturati in oggetto è sembrato più opportuno adottare come rigidezza del tubo il valore



COMUNE DI BARLETTA

Realizzazione di urbanizzazioni primarie nel piano di zona della nuova 167, 2° e 3° triennio.

Relazione tecnica – Verifica di stabilità delle tubazioni

Progetto Esecutivo

dato da $8SN$, dove SN è la rigidezza circonferenziale introdotta dalla EN-ISO 9969 [5].

$$V_s = \frac{S_p}{|C_v^*| \cdot S_{bv}}$$

Con spinte di reazione orizzontale del rinfiaccio

$$V_s = \frac{S_p}{|C_{v1}| \cdot S_{bv}}$$

Senza spinte di reazione orizzontale del rinfiaccio

La rigidezza del tubo è:

$$S_p = \frac{E_m \cdot I}{r_m^3} = 8 \cdot SN \quad \left\{ \begin{array}{l} E_m \text{ modulo di elasticità del materiale;} \\ I \text{ momento d'inerzia della parete (per unità di lunghezza)} \\ r_m \text{ raggio medio} \end{array} \right.$$

Rigidezza verticale del rinfiaccio: $S_{bv} = \frac{E_2}{i}$

Coeff. di deformazione diametrale $C_v^* = C_{v1} + C_{v2} \cdot K^*$

Coeff. di pressione della reazione: $K^* = \frac{C_{m1}}{V_{rb} - C_{m2}}$

Tabella VI: coefficienti di deformazione diametrale

| Angolo di supporto | C_{v1} | C_{v2} | C_{m1} | C_{m2} |
|--------------------|----------|----------|----------|----------|
| 60° | -0.1053 | 0.0640 | 0.1026 | -0.0658 |
| 90° | -0.0966 | 0.0640 | 0.0956 | -0.0658 |
| 120° | -0.0893 | 0.0640 | 0.0891 | -0.0658 |
| 180° | -0.0833 | 0.0640 | 0.0833 | -0.0658 |

Rigidezza del sistema (tiene conto della spinta orizzontale del rinfiaccio):

$$V_{rb} = \frac{S_p}{S_{bh}}$$

Rigidezza orizzontale del rinfiaccio: $S_{bh} = 0.6 \cdot \zeta \cdot E_2$

ove il fattore di correzione (tiene conto dei diversi moduli secanti): $\zeta = \frac{1.44}{\Delta f + (1.44 - \Delta f) \cdot \frac{E_2}{E_3}}$

con $\Delta f = \frac{\frac{B}{d_s} - 1}{1.154 + 0.444 \cdot \left(\frac{B}{d_s} - 1\right)} \leq 1.44$



COMUNE DI BARLETTA

Realizzazione di urbanizzazioni primarie nel piano di zona della nuova 167, 2° e 3° triennio.

Relazione tecnica – Verifica di stabilità delle tubazioni

Progetto Esecutivo

2.5.1 Coefficienti di concentrazione delle sollecitazioni

Dopo aver definito i vari moduli elastici del terreno nelle diverse zone intorno al tubo e i rapporti di rigidità, le norme definiscono il fattore massimo di concentrazione delle sollecitazioni mettendolo in relazione alla geometria del sistema (diametro della condotta, altezza di ricopertura) e ai moduli E1, E2, E4:

$$\lambda_{\max} = \frac{H/d_e}{\frac{3.5}{i'} + \frac{2.2}{\frac{E_4}{E_1} \cdot (i' - 0.25)} + \left[\frac{0.62}{i'} + \frac{1.6}{\frac{E_4}{E_1} \cdot (i' - 0.25)} \right] \frac{H}{d_e}} + 1$$

per un tubo infinitamente rigido su suolo elastico (Winkler) in un riempimento ampio (trincea indefinita); inoltre il coefficiente i' è espresso come:

$$i' = i \cdot \frac{E_1}{E_2} > 0.25$$

(se $i' < 0.251$ poniamo $i' = 0.251$)

2.5.2 Fattore di concentrazione p

Esprime il fattore moltiplicativo della tensione di rinterro direttamente sul tubo e dipende da

□ λ_{\max} e dal rapporto di rigidità V_s :

$$\lambda_p = \frac{\lambda_{\max} \cdot V_s + i' \cdot \frac{4K_2}{3} \cdot \frac{\lambda_{\max} - 1}{i' - 0.25}}{V_s + i' \cdot \frac{3 + K_2}{3} \cdot \frac{\lambda_{\max} - 1}{i' - 0.25}} \leq 4$$

per tubazioni molto rigide poniamo □ p □ □ □ λ_{\max}

Tabella VII: coefficienti di spinta attiva K_2

| Tipi di terreno | K_2 | |
|-----------------------------|----------------|-------------------|
| | $V_{IB} > 0.1$ | $V_{IB} \leq 0.1$ |
| G1 | 0.5 | 0.4 |
| G2 | 0.5 | 0.3 |
| G3 | 0.5 | 0.2 |
| G4 | 0.5 | 0.1 |
| Pressione reattiva laterale | $Q_{a,*} = 0$ | $Q_{a,*} > 0$ |



COMUNE DI BARLETTA

Realizzazione di urbanizzazioni primarie nel piano di
zona della nuova 167, 2° e 3° triennio.

Relazione tecnica – Verifica di stabilità delle tubazioni

Progetto Esecutivo

2.5.3 Fattore di concentrazione b

Esprime il fattore moltiplicativo della tensione di rinterro sul terreno di rinfianco; da considerazioni di equilibrio si esprime:

$$\lambda_b = \frac{4 - \lambda_p}{3} \geq 0$$

2.5.4 Fattore di concentrazione globale pg

Alla fine di tutto questo iter, finalizzato ad esprimere il fatto che la distribuzione di tensione sulla tubazione dipende dalla forma del supporto, nella zona di rinterro e dal comportamento deformativo del tubo, in relazione alle ipotesi fatte sulla distribuzione delle tensioni, estese ad un'ampiezza nella sezione trasversale di $4dm$; il fattore di concentrazione globale sarà:

$$\left\{ \begin{array}{ll} 1 \leq \frac{B}{d_m} \leq 4 & \lambda_{pg} = \frac{\lambda_p - 1}{3} \cdot \frac{B}{d_s} + \lambda_b \\ 4 < \frac{B}{d_m} < \infty & \lambda_{pg} = \lambda_p = \cos t. \end{array} \right.$$

2.6 Determinazione dei carichi verticali totali

Le azioni agenti sul tubo nelle due direzioni principali vengono determinate sotto forma di pressioni in maniera tale da poter essere utilizzate per calcolare tutti gli stati tensionali da verificare, dagli sforzi di taglio ai momenti e alle deformazioni. Nel caso presente, si considera solo il fattore di concentrazione globale per il sistema tubo-trincea, per cui la tensione verticale sulla generatrice superiore del tubo è:



COMUNE DI BARLETTA

Realizzazione di urbanizzazioni primarie nel piano di zona della nuova 167, 2° e 3° triennio.

$$Q_v = \lambda_{pg} \cdot (\chi \cdot \gamma_t \cdot H + \chi_0 \cdot q) + P_{atm}$$

2.6.1 Tipi di supporto

La norma prevede, per i tubi flessibili da verificare alla deformazione il tipo di supporto:

Caso III: supporto con terra di rinfiacco, con reazioni verticali distribuite uniformemente.

2.6.2 Pressioni laterali

In conseguenza del carico verticale agente sul rinfiacco, questo esercita un'azione di sostegno laterale (vedi § 1) valutabile in due componenti di pressione:

$$Q_h = K_2 \cdot \left(\lambda_b \cdot P_{at} + \gamma \cdot \frac{d_s}{2} \right) \quad \text{con} \quad P_{at} = \chi \cdot \gamma_t \cdot H + \chi_0 \cdot P_s$$

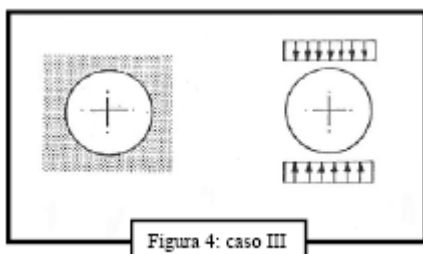


Figura 4: caso III

uniforme sui lati della tubazione, e: $Q_h^* = (Q_v - Q_h) \cdot K^*$

con distribuzione parabolica ed angolo di apertura di 120°

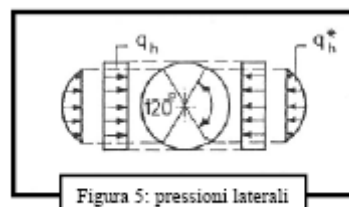


Figura 5: pressioni laterali

In definitiva tali componenti vengono sommate per ottenere la componente di pressione laterale in corrispondenza del



COMUNE DI BARLETTA

Realizzazione di urbanizzazioni primarie nel piano di zona della nuova 167, 2° e 3° triennio.

diametro orizzontale.

Per carichi di copertura piccoli in relazione al diametro, la pressione laterale può essere considerata crescente con la profondità (diagramma trapezio).

2.7 Le verifiche ed il dimensionamento

Una volta raccolti tutti i dati e le considerazioni volte a determinare l'interazione tubo – terreno, vanno verificate le tubazioni specifiche inserite nel contesto analizzato in maniera asettica dalle ATV. In particolare per le tubazioni in PE ad occorre verificare che la deformazione non superi valori tali da mettere in crisi più che il comportamento statico la tenuta idraulica dei giunti. Inoltre va studiata la stabilità del sistema in rapporto al tipo di supporto, soprattutto in presenza di falda.

2.7.1 Verifica di deformazione

In relazione alla distribuzione di pressione sulla condotta secondo il caso III, la variazione del diametro verticale Δd a causa dei carichi esterni è:

$$\Delta d = C_{v,s} \frac{Q_v - (Q_h + Q_{v*})}{8SN} \cdot 2r_m$$

Questa fornisce valori medi di Δd , per cui, volendo conoscere il suo valore massimo nei calcoli andrà declassato E2 di 1/3 rispetto ai valori sinora considerati.

Infine la deformazione relativa sarà data da

$$\frac{\Delta d}{d_m} \leq 6\%$$

dove il valore di sicurezza della deformazione si riferisce al lungo termine.

2.7.2 Verifica di stabilità

Tale verifica serve a determinare l'intervallo di sicurezza tra il carico critico e il carico agente. Ciò avviene considerando l'influenza dei carichi verticali totali (rinterro e traffico) e della pressione



COMUNE DI BARLETTA

Realizzazione di urbanizzazioni primarie nel piano di
zona della nuova 167, 2° e 3° triennio.

Relazione tecnica – Verifica di stabilità delle tubazioni

Progetto Esecutivo

idrostatica dovuta alla presenza di un'eventuale falda, in condizioni di rinfiacco omogeneo.

a) Carichi verticali

Il carico critico per questo tipo di sollecitazioni è dato da:

$$Q_{vc} = 2 \cdot \sqrt{8SN \cdot S_{th}}$$

b) Pressione esterna dell'acqua

Il carico critico per la presenza di falda freatica è dato da:

$$Q_{bc} = \alpha_D \cdot 8SN$$

dove α_D è il coefficiente di penetrazione, funzione di VRB e di rm/s , con s spessore minimo che la tubazione, corrugata o spiralata, può opporre alla pressione idrostatica.

In definitiva il coefficiente di sicurezza per il buckling, in condizioni asciutte è:

$$y = \frac{Q_{vc}}{Q_v}$$

mentre in presenza di falda freatica risulta essere:

$$y = \frac{1}{\frac{Q_v}{Q_{vc}} + \frac{P_{idv}}{Q_{bc}}}$$

2.8 Coefficienti di sicurezza

Vengono calcolati sulla base della legge probabilistica, tenendo conto delle dispersioni dei valori delle variabili considerate in relazione alla capacità di resistenza del tubo e ai carichi agenti. In relazione alle possibili combinazioni tra queste variabili, vengono ricavati diversi coefficienti di sicurezza per identiche probabilità di rottura di differenti materiali.

I coefficienti sono nella tabella seguente.



COMUNE DI BARLETTA

Realizzazione di urbanizzazioni primarie nel piano di zona della nuova 167, 2° e 3° triennio.

Relazione tecnica – Verifica di stabilità delle tubazioni

Progetto Esecutivo

Tabella VIII: coefficienti di sicurezza

| Materiale | γ | |
|----------------------------------|---|---|
| | Classe di sicurezza A (caso normale) | Classe di sicurezza B (caso particolare) |
| Acciaio | 2.5 | 2.0 |
| GHISA | | |
| PEAD | | |
| PVC | | |
| Poliestere insaturo, vetroresina | | |

Ognuna delle classi di rottura considerate (A e B) vengono associate a diverse probabilità di rottura pf . La norma, inoltre, considera, nella determinazione di pf , la sicurezza alla deformazione e la verifica per carico statico non predominante ($h = 1.5$ m, con una maggiorazione di 0.3 m).

3 METODO DI VERIFICA SECONDO MARSTON-SPANGLER

Tale metodologia esegue la verifica statica di una tubazione interrata determinando i carichi permanenti e accidentali che gravano su di essa, il carico idraulico e le reazioni del terreno, valutando conseguentemente le tensioni gravanti sulla generatrice superiore della stessa e verificando che non venga raggiunto, con un opportuno coefficiente di sicurezza, lo stato limite di deformazione. Nella versione proposta [4] vengono aggiunte nuove considerazioni sui carichi dinamici, in riferimento alla normativa tedesca in materia (DIN 1072).

3.1 Determinazione dei carichi dovuti al rinterro

Nella determinazione del carico permanente che sollecita una condotta interrata un ruolo importante è riservato all'azione del rinterro. Lo studio di questa azione è stato oggetto di molte notevoli ricerche teoriche e sperimentali già a partire dei primi decenni del secolo, a opera specialmente di A. Marston della *Engineering Experiments Station* presso lo *Iowa State College* in Ames; studi ripresi e ulteriormente sviluppati da M.G. Spangler dello stesso Istituto e successivamente anche da altri autori.

L'analisi dello stato del terreno, rimosso e riportato, nel rapporto con le possibili forme della trincea e con i cedimenti legati al terreno stesso e a quelli che la condotta può subire come corpo rigido,



COMUNE DI BARLETTA

Realizzazione di urbanizzazioni primarie nel piano di zona della nuova 167, 2° e 3° triennio.

Relazione tecnica – Verifica di stabilità delle tubazioni

Progetto Esecutivo

porta a diverse configurazioni di carico, che sono state valutate partendo dalla Norma UNI 7517.

3.1.1 Posa in trincea stretta

La norma UNI considera che una condotta posata in trincea stretta quando sia soddisfatta una delle seguenti condizioni:

1^ condizione $B \leq 2DN$ con $H \geq 1,5B$

2^ condizione $2DN \leq B \leq 3DN$ con $H \geq 3,5B$

In questo caso il peso del rinterro Q gravante sul cielo della tubazione è diminuito, rispetto a quello corrispondente al suo volume, per l'azione che l'attrito svolge nel contatto tra il terreno indisturbato e il rinterro: tale azione viene riassunta nel coefficiente χ

$$\chi = \frac{1 - e^{(-2 \cdot K_a \cdot \frac{H}{B} \cdot \tan \delta)}}{2 \cdot K_a \cdot \frac{H}{B} \cdot \tan \delta}$$

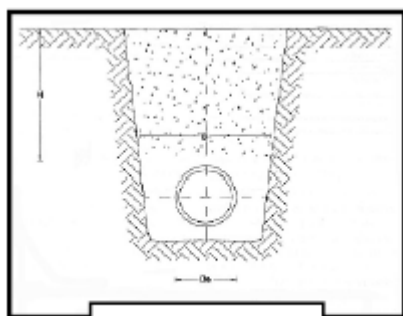


Figura 6: schema trincea

dove le grandezze sono nominalmente le stesse utilizzate per il metodo ATV, ma vengono valutate con maggiore rigore geotecnico in virtù dei valori riportati in tabella XI. In particolare il coefficiente di spinta attiva del rinfianco è $K_a = \tan^2(45^\circ - \phi/2)$. In definitiva, il carico alla quota della generatrice superiore della condotta è:



COMUNE DI BARLETTA

Realizzazione di urbanizzazioni primarie nel piano di
zona della nuova 167, 2° e 3° triennio.

Relazione tecnica – Verifica di stabilità delle tubazioni

Progetto Esecutivo

$$Q_{st} = \chi \cdot \gamma_t \cdot B \cdot DN$$

Occorre osservare una differenza con il metodo ATV, in quanto tale formula introduce sin d'ora l'informazione relativa alla natura della tubazione analizzata, flessibile in questo caso, mentre la norma ATV prescinde da essa in questa fase.

3.1.2 Posa in trincea larga

Una trincea si considera larga quando non è soddisfatta nessuna delle condizioni indicate nel paragrafo precedente. In essa viene meno la collaborazione attrittiva delle pareti della trincea, che ora sono notevolmente distanti dal prisma di terreno direttamente gravante sul cielo della tubazione. Per semplicità, in virtù di tale osservazione si considera in tal caso come carico da rinterro la quantità derivante dalla seguente:

$$Q_{st} = \gamma_t \cdot DN \cdot H$$

3.2 Azione dei sovraccarichi verticali

Le modalità di diffusione del carico superficiale, principalmente per la necessità di determinare quale sia l'estensione di condotta esposta alla sua azione, sono legate oltre che alla profondità, al tipo di carico, alla distribuzione dei carichi concentrati, all'interasse delle ruote, per un carico mobile, e all'estensione del carico se distribuito.

Il processo di diffusione di un carico statico verticale in un mezzo continuo isotropo fu trattato da J. Boussinesq, e ripreso successivamente da altri autori per riproporre i risultati in forma di tabella in funzione delle grandezze geometriche che individuano la trincea (d_e , B , H , I , L), ove I è la lunghezza della condotta interessata dal carico esterno, mentre L è quella dell'orma del carico esterno, assumendo come parametri fondamentali $d_e/2H$ o $B/2H$ e $L/2H$ oppure $I/2H$.

IMPRESA ESECUTRICE:



PROGETTAZIONE:

VAMS Ingegneria

~ 21 ~



COMUNE DI BARLETTA

Realizzazione di urbanizzazioni primarie nel piano di zona della nuova 167, 2° e 3° triennio.

Relazione tecnica – Verifica di stabilità delle tubazioni

Progetto Esecutivo

4 VERIFICHE

Nelle tabelle allegate vengono riportate le verifiche secondo Marston e Spangler. La verifica viene condotta per la tubazione in PEAD Spiralato con DN 1.500, che ha il diametro maggiore e la minore rigidità anulare. Si trascurano le tubazioni in calcestruzzo, in quanto estremamente rigide. La tubazione DN 1.500 fornita si prevede che l'Amministrazione possa utilizzarla per la realizzazione della condotta di collegamento con il collettore di via Andria. Si considera la sezione più vulnerabile (profilo asse 31 al picchetto K8c) dove il ricoprimento è minimo e la strada sottoposta a traffico. In questa sezione risulta un ricoprimento di m.2,40.

| Verifica secondo Marston-Spangler | | | | |
|--|--|-------------------------------|---------------|-------------------|
| Dati dimensionali del Tubo | | | | |
| Diametro | | DN = | 1500 | mm |
| Rigidezza circonferenziale (EN ISO 9969) | | SN = | 2 | kN/m ² |
| Modulo di elasticità | | E _m = | 150000 | kN/m ² |
| Tipo di parete | | Spiralato | | |
| Dati dello scavo | | | | |
| Larghezza | | B = | 2,500 | m |
| Altezza sull'estradosso | | H = | 2,40 | m |
| Tipologia del terreno indisturbato | | Terreno misto compatto | | |
| Tipologia del terreno di rinfiacco | | Sabbia secca | | |
| Peso specifico rinterro | | γ _t = | 15 | kN/m ³ |
| Angolo di attrito interno | | φ = | 30 | ° |
| Coeff. di attrito rinterro/pareti | | μ = | 0,58 | |
| Angolo di supporto | | 2α = | 0 | ° |
| Tipo di compattazione | | Moderata | | |
| Modulo di elasticità terreno | | E _t = | 7000 | kN/m ² |
| Altezza della falda sulla tubazione | | h = | 0 | m |
| Peso specifico sommerso del riempimento | | γ' = | 15,9 | |
| Verifica tipo di trincea (UNI 7517) | | | | |
| Determinazione carico statico | | | | |
| Coeff. di spinta attiva | | K _a = | 0,333 | |
| Coeff. di carico statico | | χ = | 0,803 | |
| Carico idrostatico | | Q _{idr} = | 0,000 | kN/m |
| Carico statico | | Q_{st} = | 45,147 | kN/m |
| Determinazione carico dinamico | | | | |
| Tipologia di traffico (DIN 1072) | | | | |
| HT60 | | | | |
| Carico per ruota | | P = | 100 | kN/ruota |
| Coeff. dinamico | | ω = | 1,125 | |
| Tensione dinamica | | σ _z = | 21,134 | kN/m ² |
| Carico dinamico | | Q_d = | 35,663 | kN/m |
| Carico totale | | Q = | 80,810 | kN/m |
| Coeff. di sottofondo | | K = | 0,121 | |
| Coeff. di deformazione differita | | F = | 1,5 | |
| Deformazione assoluta | | Δd = | 33,11 | mm |



COMUNE DI BARLETTA

Realizzazione di urbanizzazioni primarie nel piano di
zona della nuova 167, 2° e 3° triennio.

Relazione tecnica – Verifica di stabilità delle tubazioni

Progetto Esecutivo

| | | | | |
|-------------------------|--|------------|----------------------|---|
| Deformazione relativa % | | $\delta =$ | 2,207 | % |
| | | | Tubazione verificata | |

| Verifica secondo la ATV 127/88 | | | | |
|--|--|--------------------------------------|--------|---------|
| Tubazione | | | | |
| Diametro medio | | DN = | 1500 | [mm] |
| Rigidezza circonferenziale (EN ISO 9969) | | SN = | 2 | |
| Tipologia | | SPIRALATO | | |
| Suolo | | | | |
| Terreno naturale | | G3 | | |
| Compattazione | | Bassa E ₃ /E ₄ | | |
| Angolo di attrito interno | | $\varphi =$ | 25,00 | |
| Rinfianco | | G3 | | |
| Compattazione | | Bassa E ₂ | | |
| Angolo di attrito interno | | $\varphi =$ | 25,00 | |
| Rinterro | | G3 | | |
| Compattazione | | Bassa E ₁ | | |
| Angolo di attrito interno | | $\varphi =$ | 25,00 | |
| Condizioni di rinterro | | A2 | | |
| Condizioni di rinfianco | | B2 | | |
| Peso specifico del terreno | | $\gamma_t =$ | 20,00 | [kN/mc] |
| Coeff. di spinta orizzontale | | $K_1 =$ | 0,50 | |
| Angolo di attrito efficace | | $\delta =$ | 8,33 | ° |
| Carico ripartito in superficie | | $q =$ | 0,00 | [kN/mq] |
| Sollecitazioni | | | | |
| Altezza di ricopertura | | H = | 1,00 | [m] |
| Larghezza trincea | | B = | 2,00 | [m] |
| Tensione statica totale | | $P_{st} =$ | 19,285 | [kN/mq] |
| Traffico | | | | |
| Tipo di traffico | | HLC60 | | |
| Tensione dinamica totale | | $P_{din} =$ | 48,071 | [kN/mq] |
| Idrostatica | | | | |
| Altezza della falda sulla tubazione | | h = | 0,00 | [m] |
| Tensione idrostatica | | $P_{idr} =$ | 0,000 | [kN/mq] |
| Interazione tubo-terreno | | | | |
| Modulo di elasticità PEAD | | $E_m =$ | 150000 | [kN/mq] |
| Angolo di supporto | | $2\alpha =$ | 60 | ° |
| Fattore di concentrazione del sistema | | $\lambda_{pq} =$ | 0,98 | |
| | | <input type="checkbox"/> | | |
| | | <input type="checkbox"/> | | |
| | | <input type="checkbox"/> | | |
| Verifica di stabilità | | | | |
| Tensione verticale | | $Q_v =$ | 66,93 | [kN/mq] |
| Coeff. di sicurezza | | $\gamma =$ | 2,50 | |
| Verifica di stabilità | | $\eta =$ | 4,14 | |
| Tubazione verificata | | | | |
| Verifica di deformazione | | | | |



COMUNE DI BARLETTA

Realizzazione di urbanizzazioni primarie nel piano di
zona della nuova 167, 2° e 3° triennio.

Relazione tecnica – Verifica di stabilità delle tubazioni

Progetto Esecutivo

| | | | |
|---------------------------------|--------------|-----------------------------|---|
| <i>Deformazione percentuale</i> | $\delta_v =$ | 2,47 | % |
| | | Tubazione verificata | |