



FIERA DEL LEVANTE

AREA TECNICA SVILUPPO IMMOBILIARE

REALIZZAZIONE NUOVA RETE IDRICA DEL QUARTIERE FIERA DEL LEVANTE

CUP J95E18000020002 - CIG Z8823F41CE

PROGETTO ESECUTIVO

IL COMMITTENTE:

ENTE AUTONOMO FIERA DEL LEVANTE

Dott.ssa Antonella BISCEGLIA

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:

Geom. Vincenzo ROMANO

PROGETTO:

Studio Romanazzi-Boscia e Associati s.r.l.

via Amendola 172/c. 70100 Bari - tel.: 080.548.21.87 - Fax: 080.548.22.87

Prof. Ing. Eligio ROMANAZZI

Dott. Ing. Giovanni F. BOSCIA

Dott. Ing. Sebanino GIOTTA

Dott. Ing. Fabio PACCAPELO



ALLEGATO

R.2

R - ELABORATI DESCRITTIVI


RELAZIONE DI CALCOLO IDRAULICO

SCALA:

...


DATA: OTTOBRE 2018

AGGIORNAMENTO	DATA	DESCRIZIONE

	<p align="center"> PROGETTO ESECUTIVO REALIZZAZIONE NUOVA RETE IDRICA DEL QUARTIERE FIERA DEL LEVANTE Relazione di calcolo idraulico </p>	OTTOBRE 2018
		Pagina 1 di 34

INDICE

1	PREMESSA	2
2	STATO DEI LUOGHI.....	3
2.1	CONSISTENZA DELLA RETE IDRICA.....	3
2.2	RETE ANTINCENDIO	3
2.3	RISERVA IDRICA E GRUPPO DI SOLLEVAMENTO	3
3	CRITICITÀ DELLA RETE ESISTENTE E DEFINIZIONE DEGLI INTERVENTI DI PROGETTO	4
3.1	INTERVENTI SULA RETE IDRICA	4
3.2	INTERVENTI SULLA RETE ANTINCENDIO	5
4	PROGETTO E VERIFICA DELLA RETE IDRICA	6
4.1	DEFINIZIONE DELLE PORTATE DI PROGETTO	6
4.1.1	<i>Consumo ordinario (Fiera chiusa).....</i>	<i>6</i>
4.1.2	<i>Massimo consumo (Fiera aperta)</i>	<i>7</i>
5	VERIFICA DELLE RETI IDRICHE.....	9
5.1	VERIFICA DELLA RETE DI ADDUZIONE IDRICA	9
5.1.1	<i>Il modello matematico della rete (EPANET).....</i>	<i>9</i>
5.1.2	<i>Le perdite di carico e le portate nodali</i>	<i>9</i>
5.1.3	<i>I risultati delle simulazioni su modello matematico</i>	<i>13</i>
5.2	VERIFICA DELLA RETE ANTINCENDIO	13
6	VERIFICA STATICA DELLE TUBAZIONI.....	16
6.1	DETERMINAZIONE DEI CARICHI AGENTI SULLA TUBAZIONE	17
6.1.1	<i>Modalità di posa</i>	<i>17</i>
6.1.2	<i>Calcolo dei carichi dovuti al rinterro.....</i>	<i>17</i>
6.1.3	<i>Azione dei sovraccarichi dinamici veicolari.....</i>	<i>19</i>
6.1.4	<i>Azione del peso del fluido.....</i>	<i>20</i>
6.1.5	<i>Carico idrostatico dovuto alla falda</i>	<i>20</i>
6.2	VERIFICA ALLA DEFORMAZIONE.....	21
6.2.1	<i>Moduli di elasticità del terreno di rinfilanco.....</i>	<i>22</i>
6.2.2	<i>Coefficiente di sottofondo.....</i>	<i>22</i>
6.3	VERIFICA DELL'INSTABILITÀ ALL'EQUILIBRIO ELASTICO.....	22
6.4	VERIFICA DELLE SOLLECITAZIONI	24
6.5	VERIFICA TUBAZIONI IN PE100	25
7	ALLEGATI	30
7.1	RETE IDRICA DI PROGETTO: DIAMETRI	30
7.2	RETE IDRICA DI PROGETTO: FUNZIONAMENTO ORDINARIO ("FIERA CHIUSA").....	31
7.3	RETE IDRICA DI PROGETTO: FUNZIONAMENTO STRAORDINARIO ("FIERA APERTA")	32
7.4	RETE ANTINCENDIO: VERIFICA RETE EX UNI 10779:2014.....	33

	PROGETTO ESECUTIVO REALIZZAZIONE NUOVA RETE IDRICA DEL QUARTIERE FIERA DEL LEVANTE Relazione di calcolo idraulico	OTTOBRE 2018
		Pagina 2 di 34

1 PREMESSA


L'intervento oggetto del presente progetto definitivo consiste negli interventi di rifacimento della rete idrica del quartiere fieristico della Fiera del Levante.

La rete idrica esistente (vedi elaborato G.1) risale all'epoca della realizzazione del quartiere fieristico ed ha quindi ormai superato la vita utile per la quale è stata progettata. L'elevata vetustà della rete è misurabile con il non più accettabile grado di perdita: le numerose riparazioni effettuate non sono riuscite a ridurre sensibilmente il valore delle perdite e tale circostanza porta inevitabilmente a ritenere che l'unico intervento possibile è la sostituzione della rete con condotte nuove.

Per quanto concerne l'impianto di pressurizzazione, ubicato in prossimità dell'ingresso di piazzale Vittorio Triggiani, attualmente le elettropompe presenti sono poste a servizio sia della rete idrica che di quella antincendio.

Nell'ambito della progettazione degli interventi è necessario tenere conto che la rete dovrà alimentare sia i saloni espositivi che i padiglioni ceduti in locazione. Sarà pertanto necessario prevedere l'installazione di apparecchiature che consentano la misura della distribuzione delle portate. Più in generale è poi necessario prevedere idonee apparecchiature per il monitoraggio dei consumi e la definizione dei bilanci idrici. In merito all'impianto di pressurizzazione, si rende necessario un intervento di revamping finalizzato a rendere indipendenti la rete idrica e quella dedicata all'antincendio, ottimizzando il dimensionamento delle apparecchiature elettromeccaniche.

Per quanto concerne, poi, l'antincendio, attualmente sussiste una commistione tra la rete specificatamente destinata ad antincendio e la rete idrica che, in molti casi, alimenta i presidi antincendio dei padiglioni. Tale situazione ha portato a rivedere le previsioni del progetto preliminare e a prevedere l'estensione dell'attuale rete antincendio, così da raggiungere tutti i presidi dei vari padiglioni, consentendo la completa dismissione della esistente rete idrica e la totale eliminazione delle cospicue perdite a questa associate.

	PROGETTO ESECUTIVO REALIZZAZIONE NUOVA RETE IDRICA DEL QUARTIERE FIERA DEL LEVANTE Relazione di calcolo idraulico	OTTOBRE 2018
		Pagina 3 di 34

2 STATO DEI LUOGHI

2.1 CONSISTENZA DELLA RETE IDRICA

Come detto, la rete idrica esistente risale a oltre 80 anni fa e l'Ente fiera da molto tempo registra consumi idrici non compatibili con l'effettivo carico insediativo del quartiere, segno inequivocabile di presenza diffusa di perdite in rete, peraltro accentuate dalla tipologia di alimentazione: la rete infatti è connessa al medesimo gruppo di pressurizzazione posto a servizio dell'antincendio, le cui prevalenze sono evidentemente sovradimensionate rispetto alle esigenze della distribuzione idrico-potabile, aggravando il fenomeno delle perdite.

La rete è costituita da tubazioni in acciaio di diametro compreso tra 175 mm e 60 mm, si estende lungo sostanzialmente quasi tutta la viabilità del quartiere e, come detto, alimenta parte dei presidi antincendio dei padiglioni.


I contatori sono per la maggior parte alloggiati in pozzetto, con le problematiche igienico sanitarie che ne conseguono. Considerato che è certamente auspicabile realizzare un sistema di telelettura, al fine di salvaguardare le apparecchiature di trasmissione dati sarà necessario prevedere l'alloggiamento dei contatori in idonee nicchie. Nell'allegato G.1.2 sono stati ripresi i vari pozzetti di alloggiamento dei contatori e delle saracinesche di derivazione

2.2 RETE ANTINCENDIO

La rete antincendio esistente è costituita da una dorsale posta lungo Viale Italo Orientale e Viale Tirreno. La tubazione è in polietilene ed il diametro è pari a 150 mm. Tale rete alimenta i presidi antincendio del nuovo padiglione e di parte di quelli presenti lungo il suo sviluppo. I restanti, come riferito, sono alimentati direttamente dalla rete idrica.

2.3 RISERVA IDRICA E GRUPPO DI SOLLEVAMENTO

La riserva idrica, posta a servizio sia della rete antincendio che della idrica, è pari complessivamente a 900 mc distribuiti su n. 3 serbatoi da 300 mc cadauno. Il gruppo di sollevamento è costituito da n.5 elettropompe da 20 cavalli ciascuna, in grado di alimentare la rete con portate consone alle varie condizioni di utilizzo e con prevalenze variabili da 60 a 90 m.

	PROGETTO ESECUTIVO REALIZZAZIONE NUOVA RETE IDRICA DEL QUARTIERE FIERA DEL LEVANTE Relazione di calcolo idraulico	OTTOBRE 2018
		Pagina 4 di 34

3 CRITICITÀ DELLA RETE ESISTENTE E DEFINIZIONE DEGLI INTERVENTI DI PROGETTO

Come detto in precedenza, il problema principale della rete idrica esistente è dato dalle cospicue perdite che la caratterizzano. Tali perdite sono riconducibili principalmente a:

- vetustà della rete;
- elevato stress di funzionamento della rete stessa, dato dalle elevate pressioni immesse dal gruppo di pressurizzazione della rete antincendio. Infatti, pressioni così elevate provocano un più veloce logorio dei sistemi di tenuta delle giunzioni con maggior effetto per condotte realizzate con materiali e tecnologie obsolete;
- non tutti i padiglioni sono dotati di contatori idrici. Ciò porta alla non immediata definizione delle perdite reali della rete.

Al fine di ridurre sensibilmente le perdite sulla rete esistente si è previsto di:


1. separare fisicamente la rete di adduzione idrica dalla rete antincendio, prevedendo (per la rete idrica) un nuovo gruppo di pressurizzazione caratterizzato da prevalenze compatibili con le utenze da alimentare;
2. definire interventi integrativi sulla rete antincendio in modo da dismettere l'attuale rete a funzionamento promiscuo.

3.1 INTERVENTI SULA RETE IDRICA

Gli interventi prevedono la completa sostituzione della rete esterna di adduzione idrica, dal nuovo gruppo di pressurizzazione sino ai contatori idrici posti in corrispondenza degli attuali punti di alimentazione dei padiglioni esistenti.

In particolare, l'intervento prevede:

- Installazione di un nuovo gruppo di pressurizzazione ad esclusivo utilizzo della rete idrica. Tale gruppo è dimensionato per alimentare tutte le utenze sia nei periodi di consumo ordinario (fiera chiusa), sia nei periodi di massimo consumo (fiera aperta);
- Sostituzione integrale di tutta la rete idrica sino ai punti di consegna dati dai contatori. Per la realizzazione della rete si è optato per condotte in Polietilene ad Alta Densità PE100 PN16 con giunti saldati;
- Realizzazione dei nuovi punti di consegna mediante nuovi allacci costituiti da condotte PE100 del De70 mm. Tale diametro permetterà l'installazione di contatori di differente diametro, in base alla portata di progetto definita nel seguito;
- Installazione, ad ogni punto di consegna, di un contatore idrico (di diametro compatibile con la portata di progetto transitante);
- Installazione sulla condotta di mandata del gruppo di pressurizzazione di un ulteriore contatore. Grazie alla lettura contestuale di tale contatore e dei contatori "divisionali" di ciascun padiglione sarà possibile individuare differenze e, quindi, monitorare lo stato della rete;
- Installazione su ciascun contatore di un sistema radio di tele lettura con unico concentratore di segnale. In tal modo è possibile monitorare il consumo idrico in qualsiasi momento.

	PROGETTO ESECUTIVO REALIZZAZIONE NUOVA RETE IDRICA DEL QUARTIERE FIERA DEL LEVANTE Relazione di calcolo idraulico	OTTOBRE 2018
		Pagina 5 di 34

Nella parte che segue, il funzionamento della rete idrica di progetto è stato verificato sia in condizione di consumo ordinari (ovvero il periodo durante il quale sono utilizzati esclusivamente i padiglioni della fiera dati in locazione a terzi), che in condizioni di massimo consumo (ovvero il periodo durante il quale, oltre all'utilizzo dei padiglioni dati in locazione, sono funzionanti anche i saloni espositivi destinati alle attività fieristiche).

3.2 INTERVENTI SULLA RETE ANTINCENDIO

I soli interventi sulla rete idrica di cui al precedente paragrafo non garantirebbero, a breve termine, la riduzione delle perdite idriche in quanto la rete esistente continuerebbe ad essere in esercizio alimentando gli idranti antincendio della rete esterna e delle reti interne di protezione incendio.

Ciò comporterebbe, addirittura, un aggravio delle condizioni di esercizio in quanto la rete esistente sarebbe sempre in esercizio con le massime prevalenze.

Al fine di ridurre le perdite idriche e nel contempo mantenere funzionale la rete antincendio, si è previsto di intervenire sull'esistente rete antincendio realizzando una nuova condotta in PE100 PN16 del De180 che chiuda ad anello la rete esistente.

Inoltre, al fine di limitare le spese e, allo stesso tempo, limitare le perdite, si è optato di riutilizzare parte della rete idrica esistente (attualmente ad uso promiscuo idrica – antincendio) destinandola al solo uso antincendio di alimentazione degli idranti (soprassuolo o sottosuolo esistenti) e dei gruppi di consegna / attacco autopompa delle reti interne di protezione.

Per la connessione della rete antincendio (esistente o di integrazione) agli idranti esistenti si è previsto di inserire giunti di derivazione con DN80 in modo da garantire a breve termine l'allaccio sia degli idranti UNI70 che degli idranti UNI45 e, a lungo termine, la possibilità di sostituire (se ne sarà ritenuto il caso) gli esistenti idranti sottosuolo UNI 45 con idranti UNI 70.

Benché gli interventi sulla rete antincendio non costituiscono modifiche sostanziali alla rete antincendio esistente (in particolare viene solamente sostituita la condotta di alimentazione degli idranti senza modificare il numero complessivo e la posizione degli idranti, e senza sostituire il gruppo di pressurizzazione) nella parte che segue, si è proceduto col verificare la rete antincendio in differenti condizioni di incendio, prevedendo quindi il funzionamento di differenti gruppi di idranti ai sensi della norma UNI 10779 – 2014.

4 PROGETTO E VERIFICA DELLA RETE IDRICA

Valutando le attività che verranno effettivamente svolte durante l'anno si nota un duplice funzionamento della rete:

- Funzionamento ordinario, durante il quale sono utilizzati esclusivamente i padiglioni della fiera dati in locazione a terzi
- Funzionamento straordinario, durante il quale, oltre all'utilizzo dei padiglioni dati in locazione, sono funzionanti anche i saloni espositivi destinati alle attività fieristiche

Considerato che l'utilizzo dei saloni espositivi è solo occasionale, la verifica della rete idrica verrà effettuata con la portata massima per la definizione dei carichi idraulici ottimali e con riferimento alla portata minima, verificando che le velocità siano adeguate (velocità troppo basse si trasformano in tempi di permanenza in rete troppo elevati che determinano ripercussioni negative sulla qualità della risorsa)

4.1 DEFINIZIONE DELLE PORTATE DI PROGETTO

La definizione delle portate di progetto è stata effettuata prevedendo i seguenti dati:

Padiglioni in locazione:

Affollamento	15	mq/addetto
Dotazione idrica procapite	50	l/ ab g
Tempo apertura uffici	10	h
Coefficiente di punta	2,5	

Saloni espositivi:

n. visitatori nel giorno di punta	50.000	visitatori
Dotazione idrica procapite	20	l/ ab g
Consumo giornaliero	1.000	mc/g
Tempo apertura fiera	10	h
Consumo specifico	28	l/sec
Coefficiente di punta	2	
Portata di punta	56	l/sec

In base alla dimensione dei padiglioni in locazione (quindi alla loro massima affluenza), alla dimensione e alle caratteristiche dei saloni espositivi, sono state definite le portate di progetto (ovvero di punta) di ciascun padiglione.

4.1.1 Consumo ordinario (Fiera chiusa)

Come detto, in condizioni di funzionamento ordinario, la rete idrica della fiera del Levante servirà esclusivamente i padiglioni posti in locazione.

Per definire la portata di progetto sono stati utilizzati i parametri innanzi definiti:

Affollamento	15	mq/addetto
Dotazione idrica procapite	50	l/ ab g
Tempo apertura uffici	10	h



Coefficiente di punta 2,5

In particolare, analizzando la superficie di tutti i padiglioni che verranno dati in locazione si è giunti alla definizione della seguente tabella riassuntiva:

Padiglioni	Superficie [mq]	n. Addetti [cad]	Portata [l/giorno]	Portata [l/sec]	Portata punta [l/sec]
Centro direzionale	1.538	103	5.150	0,14	0,36
1	230	16	800	0,02	0,06
118	230	16	800	0,02	0,06
Hall 117	620	42	2.100	0,06	0,15
115-116 (1° P)	5.146	344	17.200	0,48	1,19
101	420	28	1.400	0,04	0,10
102 (pt centro congressi)	1.667	112	5.600	0,16	0,39
104 (pt centro congressi)	1.100	74	3.700	0,10	0,26
106 (pt centro congressi)	1.600	107	5.350	0,15	0,37
103 (1° p)	1.100	74	3.700	0,10	0,26
105 (1° P)	1.000	67	3.350	0,09	0,23
107 (1°p)	1.100	74	3.700	0,10	0,26
110	1.234	83	4.150	0,12	0,29
161	127	9	450	0,01	0,03
164	301	21	1.050	0,03	0,07
162-163-165	327	22	1.100	0,03	0,08
169	204	14	700	0,02	0,05
170	370	25	1.250	0,03	0,09
172	1.065	71	3.550	0,10	0,25
173	260	18	900	0,03	0,06
177	203	14	700	0,02	0,05
180	1.172	79	3.950	0,11	0,27
181	250	17	850	0,02	0,06
120	233	16	800	0,02	0,06
124	42	3	150	0,00	0,01
126	334	23	1.150	0,03	0,08
128	331	23	1.150	0,03	0,08
129	1.800	120	6.000	0,17	0,42
137	160	11	550	0,02	0,04
138	1.180	79	3.950	0,11	0,27
139	660	44	2.200	0,06	0,15
141-140	185	13	650	0,02	0,05
147	257	18	900	0,03	0,06
148	200	14	700	0,02	0,05
149	1.010	68	3.400	0,09	0,24
150	820	55	2.750	0,08	0,19
152	550	37	1.850	0,05	0,13
154	292	20	1.000	0,03	0,07
155-156-158	681	46	2.300	0,06	0,16
157	226	16	800	0,02	0,06
Totale	30.225 mq	2.036	101.800 l/g	2,83 l/sec	7,07 l/sec

In condizioni di consumo ordinario la portata complessiva di progetto è pari a 7,07 l/sec.

4.1.2 Massimo consumo (Fiera aperta)

In concomitanza dell'apertura al pubblico dei saloni espositivi, alla portata di punta appena definita dovrà essere sommata la portata idrica necessaria ad alimentare i saloni espositivi.

In particolare, definito il numero di visitatori nel giorno di punta (circa 50.000 visitatori) ed attribuita una dotazione procapite di 20 l/ab g, risulta un consumo giornaliero di 1.000 mc.

Considerando che la fiera sia aperta per 10 ore al giorno, ne deriva una portata al secondo di 28 l/sec che, moltiplicata per il coefficiente di punta 2 (definito in precedenza), corrisponde ad una portata di picco di 56 l/sec.

La distribuzione della portata complessiva tra i vari saloni fieristici è stata effettuata in maniera ponderata utilizzando come peso sia la superficie complessiva di ciascun padiglione espositivo, sia un fattore correttivo che tiene conto dell'afflusso di visitatori alle utenze idriche (servizi igienici).


In particolare, in base all'importanza del padiglione (riferita sia al numero di visitatori medi che alla fruibilità dei servizi igienici), è stato attribuito ad ogni salone espositivo un "peso" che va da 1 per il padiglione col più alto numero di visitatori giorno, a 0,2 per i padiglioni col minimo consumo idrico (vedi piazzali 86 – 87 – 89 e 47 ovest).

Per quanto riguarda il Centro Diurno ed il padiglione 200, si è utilizzato un peso alto in base al loro attuale e futuro utilizzo.

Di seguito si riporta una tabella riassuntiva delle portate di progetto valutate per ciascun padiglione espositivo.

Padiglioni	Superficie [mq]	Peso	Incidenza [%]	Portata [l/sec]
Diurno (95)	378	0,70	0,67%	0,38
200	154	0,70	0,27%	0,15
Nuovo Padiglione	18.662	1,00	49,71%	27,84
18-19-20	14.693	0,50	18,26%	10,23
7-9-10-11	11.309	0,50	14,06%	7,87
90-94-205	3.868	0,30	2,75%	1,54
92	663	0,30	0,47%	0,26
96	913	0,30	0,65%	0,36
207	255	0,30	0,18%	0,10
71	10.000	0,20	5,33%	2,98
86-87-89	3.794	0,20	2,02%	1,13
47 Ovest	10.577	0,20	5,63%	3,16
Totale	75.266 mq		100,00%	56,00 l/sec

In condizioni di massimo consumo la portata complessiva di progetto è pari a 63,07 l/sec (56 l/sec + 7,07 l/sec).

	PROGETTO ESECUTIVO REALIZZAZIONE NUOVA RETE IDRICA DEL QUARTIERE FIERA DEL LEVANTE Relazione di calcolo idraulico	OTTOBRE 2018
		Pagina 9 di 34

5 VERIFICA DELLE RETI IDRICHE

5.1 VERIFICA DELLA RETE DI ADDUZIONE IDRICA

5.1.1 Il modello matematico della rete (EPANET)

Per la verifica della rete e l'ottimizzazione dei diametri delle condotte di progetto, ottenuta per successive simulazioni, si è utilizzato uno specifico programma di calcolo realizzato dall'Agenzia per la Protezione dell'Ambiente (EPA) degli Stati Uniti d'America, denominato EPANET.

La versione utilizzata, sviluppata dalla Divisione *Water Supply and Water Resources* del *National Risk Management Research Laboratory di Cincinnati-Ohio*, lavora in ambiente Windows ed è liberamente scaricabile dal sito internet dell'EPA. Inoltre, la scelta di far uso di EPANET per la modellazione delle reti sia in configurazione attuale, sia in quella di progetto, deriva dal fatto che lo stesso programma trova facile interattività con l'ambiente Cad

Il software permette di effettuare simulazioni di reti idrauliche in pressione relativamente a fenomeni idraulici e qualità dell'acqua. Le basi dell'analisi effettuata con EPANET consistono in:

- schematizzazione dello stato di progetto rete;
- utilizzo della formula di *Hazen-Williams* per il calcolo delle perdite di carico indotte dalle resistenze al moto;
- richieste d'acqua ai nodi distribuite a partire dai valori ottenuti con l'analisi della domanda.

Brevemente, il modello di simulazione idraulica di EPANET computa i carichi ai nodi e le portate nei tratti risolvendo simultaneamente l'equazione di continuità della portata in ogni nodo e le relazioni caratteristiche delle perdite di carico in ogni tratto della rete.

Questo processo, definito come bilancio idraulico, richiede una tecnica iterativa per risolvere le equazioni non lineari coinvolte.

In allegato si riporta lo schema della rete idrica con l'indicazione dei diametri di progetto.

5.1.2 Le perdite di carico e le portate nodali

La formula utilizzata, dal modello di calcolo, per la **valutazione delle perdite di carico** in ciascun tronco della rete è:

$$J = k \cdot Q^{\alpha} \cdot D^{-n}$$

dove:

J = perdita di carico per unità di lunghezza

Q = portata;


D = diametro della condotta;

α ed n = esponenti di flusso

Nel caso in esame, la perdita di carico per unità di lunghezza è valutata con Hazen - Williams:

$$J = \frac{10.675 \cdot Q^{1.852}}{C^{1.852} \cdot D^{4.8704}}$$

Dove:

	PROGETTO ESECUTIVO REALIZZAZIONE NUOVA RETE IDRICA DEL QUARTIERE FIERA DEL LEVANTE Relazione di calcolo idraulico	OTTOBRE 2018
		Pagina 10 di 34

C = coefficiente di scabrezza di Hazen – Williams che si è assunto pari a 150 per tubi PE

Q = portata di progetto

D = diametro della tubazione

La perdita di carico sarà pari a

$$\Delta H = J \cdot L = \frac{10.675 \cdot Q^{1.852}}{C^{1.852} \cdot D^{4.8704}} L$$

Con L = Lunghezza della condotta

Il modello matematico della rete è stato redatto implementando i nodi principali di vertice della rete stessa, con ulteriori nodi posti in corrispondenza dei punti di connessione della rete idrica con le reti interne dei vari padiglioni.

In particolare, note le portate complessive per ciascun padiglione e noti i punti di connessione alla rete idrica di ciascun padiglione (vedi G.1.1 e G.1.2), è stato possibile attribuire ad ogni nodo del modello matematico il valore di portata nodale a seconda del tipo di funzionamento (funzionamento ordinario con “fiera chiusa” e funzionamento straordinario con “fiera aperta”).

Di seguito si riporta la tabella riassuntiva delle portate dei singoli padiglioni suddivisa per punto di connessione

Padiglioni in locazione

Padiglioni	Superficie [mq]	n. Addetti [cad]	Portata punta [l/sec]	n. punti di presa [cad]	Portata per punto [l/sec]
Centro direzionale	1.538	103	0,36	2	0,18
1	230	16	0,06	1	0,06
118	230	16	0,06	1	0,06
Hall 117	620	42	0,15	1	0,15
115-116 (1° P)	5.146	344	1,19	1	1,19
101	420	28	0,10	1	0,10
102 (pt centro congressi)	1.667	112	0,39	2	0,19
104 (pt centro congressi)	1.100	74	0,26	1	0,26
106 (pt centro congressi)	1.600	107	0,37	2	0,19
103 (1° p)	1.100	74	0,26	1	0,26
105 (1° P)	1.000	67	0,23	1	0,23
107 (1°p)	1.100	74	0,26	1	0,26
110	1.234	83	0,29	1	0,29
161	127	9	0,03	1	0,03
164	301	21	0,07	1	0,07
162-163-165	327	22	0,08	1	0,08
169	204	14	0,05	1	0,05
170	370	25	0,09	1	0,09
172	1.065	71	0,25	1	0,25
173	260	18	0,06	1	0,06
177	203	14	0,05	1	0,05
180	1.172	79	0,27	1	0,27
181	250	17	0,06	1	0,06
120	233	16	0,06	1	0,06
124	42	3	0,01	1	0,01
126	334	23	0,08	1	0,08
128	331	23	0,08	1	0,08
129	1.800	120	0,42	1	0,42
137	160	11	0,04	1	0,04



Padiglioni	Superficie [mq]	n. Addetti [cad]	Portata punta [l/sec]	n. punti di presa [cad]	Portata per punto [l/sec]
138	1.180	79	0,27	1	0,27
139	660	44	0,15	1	0,15
141-140	185	13	0,05	1	0,05
147	257	18	0,06	1	0,06
148	200	14	0,05	1	0,05
149	1.010	68	0,24	1	0,24
150	820	55	0,19	1	0,19
152	550	37	0,13	1	0,13
154	292	20	0,07	1	0,07
155-156-158	681	46	0,16	1	0,16
157	226	16	0,06	1	0,06

Padiglioni espositivi

Padiglioni	Superficie [mq]	Portata [l/sec]	n. punti di presa [cad]	Portata per punto [l/sec]
Diurno (95)	378	0,38	2	0,19
200	154	0,15	1	0,15
Nuovo Padiglione	18.662	27,84	2	13,92
18-19-20	14.693	10,23	2	5,11
7-9-10-11	11.309	7,87	5	1,57
90-94-205	3.868	1,54	3	0,51
92	663	0,26	1	0,26
96	913	0,36	1	0,36
207	255	0,10	1	0,10
71	10.000	2,98	3	0,99
86-87-89	3.794	1,13	1	1,13
47 Ovest	10.577	3,16	2	1,58

Di seguito si riporta una tabella riassuntiva delle portate nodali da attribuire nelle due configurazioni di funzionamento.

Nodi EPANET	Padiglioni serviti	Portata in uscita Fiera Aperta	Portata in uscita Fiera Chiusa
n.1	-	-	-
n.2	-	-	-
n.3	-	-	-
n.4	-	-	-
n.5	-	-	-
n.6	71	0,99	-
n.7	71	0,99	-
n.8	71	0,99	-
n.9	-	-	-
n.10	-	-	-
n.11	90-89	1,64	-
n.12	92-96- Centro Direzionale	0,81	0,18
n.13	94	0,51	-
n.14	94	0,51	-



Nodi EPANET	Padiglioni serviti	Portata in uscita Fiera Aperta	Portata in uscita Fiera Chiusa
n.15	Centro Direzionale	0,18	0,18
n.16	-	-	-
n.17	-	-	-
n.18	101-161	0,13	0,13
n.19	102-103-104	0,71	0,71
n.20	-	-	-
n.21	107-200-207	0,44	0,19
n.22	fine tronco	-	-
n.23	Nuovo Padiglione	13,92	-
n.24	-	-	-
n.25	164	0,07	0,07
n.26	-	-	0,08
n.27	102-105	0,43	0,43
n.28	110	0,29	0,29
n.29	106-107	0,44	0,44
n.30	173	0,06	0,06
n.31	-	-	-
n.32	115	1,19	1,19
n.33	117	0,15	0,15
n.34	180-181	0,33	0,33
n.35	118	0,06	0,06
n.36	1	0,06	0,06
n.37	177-120-126	0,18	0,18
n.38	-	-	-
n.39	157-155-156-158	0,22	0,22
n.40	Nuovo Padiglione	13,92	-
n.41	-	-	-
n.42	149	0,24	0,24
n.43	148	0,05	0,05
n.44	147	0,06	0,06
n.45	18-19-11	11,80	-
n.46	140-141	0,05	0,05
n.47	11-139	1,73	0,15
n.48	11	1,57	-
n.49	-	-	-
n.50	11	1,57	-
n.51	129	0,42	0,42
n.52	7	1,57	-
n.53	-	-	-
n.54	-	-	-
n.55	124	0,01	0,01
n.56	128	0,08	0,08
n.57	-	-	-
n.58	47 ovest	3,16	-
n.59	-	-	-
n.60	-	-	-
n.61	-	-	-
n.62	-	-	-
n.63	-	-	-
n.64	-	-	-
n.65	Centro Diurno	0,19	-
n.66	Centro Diurno	0,19	-
n.67	154	0,07	0,07
n.68	150-152	0,32	0,32
n.69	172-170	-	0,33

Nodi EPANET	Padiglioni serviti	Portata in uscita Fiera Aperta	Portata in uscita Fiera Chiusa
n.70	162-163-165-169-170-172	0,46	0,05
n.71	137-138	0,31	0,31
TOT		63,07 l/sec	7,07 l/sec

5.1.3 I risultati delle simulazioni su modello matematico

Le simulazioni condotte con il modello matematico della rete hanno consentito di ottimizzare i diametri.

Le simulazioni sono state condotte con il duplice obiettivo di:

- ottenere un cielo piezometrico il più possibile costante (con un dislivello limitato e graduale fra il gruppo di pressurizzazione ed i punti idraulicamente più svantaggiati) e limitate oscillazioni di pressione nel passaggio dalla situazione di funzionamento ordinario a quella con funzionamento straordinario;
- ottenere, durante il funzionamento ordinario, valori di velocità compatibili col mantenimento delle qualità dell'acqua.

5.1.3.1 Consumo ordinario (Fiera chiusa)

La modellazione ha evidenziato come, utilizzando un gruppo di pressurizzazione che garantisce un carico iniziale di 35 m e le portate di progetto di cui alla quarta colonna della tabella precedente, lo schema idraulico garantisce velocità minime tali da non pregiudicare la qualità dell'acqua.

Infatti, come si evince dall'allegato *“Rete idrica: funzionamento ordinario”*, la rete mostra velocità pari a zero solo nei tronchi che alimentano esclusivamente capannoni espositivi

5.1.3.2 Massimo consumo (Fiera aperta)

La modellazione ha evidenziato come, utilizzando un gruppo di pressurizzazione che garantisce un carico iniziale di 35 m e le portate di progetto di cui alla terza colonna della tabella precedente, lo schema idraulico garantisce una pressione residuale nel punto più svantaggiato ottimale.

Infatti, come si evince dall'allegato *“Rete idrica: funzionamento straordinario”*, la rete una pressione in corrispondenza delle torri (altezza torri pari a circa 20 m) pari a circa 24,90 m.

5.2 VERIFICA DELLA RETE ANTINCENDIO

Come detto, benché gli interventi sulla rete antincendio non costituiscono modifiche sostanziali alla rete antincendio esistente (in particolare viene solamente sostituita la condotta di alimentazione degli idranti senza modificare il numero complessivo e la posizione degli idranti, e senza sostituire il gruppo di pressurizzazione), si è proceduto col verificare la rete antincendio in differenti condizioni di incendio, prevedendo quindi il funzionamento di differenti gruppi di idranti ai sensi della norma UNI 10779:2014.

In particolare, la norma UNI 10779:2014 prevede, in base al livello di rischio, le seguenti verifiche della rete



Livello di pericolosità	Apparecchi considerati contemporaneamente operativi		
	Protezione interna ^{3) 4)}	Protezione esterna ⁴⁾	Durata
1	2 idranti a muro ¹⁾ con 120 l/min cadauno e pressione residua non minore di 0,2 MPa oppure 4 naspi ¹⁾ con 35 l/min cadauno e pressione residua non minore di 0,2 MPa	Generalmente non prevista	≥30 min
2	3 idranti a muro ¹⁾ con 120 l/min cadauno e pressione residua non minore di 0,2 MPa oppure 4 naspi ¹⁾ con 60 l/min cadauno e pressione residua non minore di 0,3 MPa	4 attacchi di uscita ¹⁾ DN 70 con 300 l/min cadauno e pressione residua non minore di 0,3 MPa	≥60 min
3	4 idranti a muro ¹⁾ con 120 l/min cadauno e pressione residua non minore di 0,2 MPa oppure 6 naspi ¹⁾ con 60 l/min cadauno e pressione residua non minore di 0,3 MPa	6 attacchi di uscita ^{1) 2)} DN 70 con 300 l/min cadauno e pressione residua non minore di 0,4 MPa	≥120 min
1)	Oppure tutti gli apparecchi installati nel compartimento, o gli attacchi previsti per la protezione esterna, se minori al numero indicato.		
2)	In presenza di impianti automatici di spegnimento il numero di bocche DN 70 può essere limitato a 4 e la durata a 90 min.		
3)	Negli edifici a più piani, per compartimenti maggiori di 4 000 m ² ed in assenza di protezione esterna, il numero di idranti o naspi contemporaneamente operativi deve essere doppio rispetto a quello indicato.		
4)	Le prestazioni idrauliche richieste si riferiscono a ciascun apparecchio in funzionamento contemporaneo con il numero di apparecchi previsti nel prospetto. Si deve considerare il contemporaneo funzionamento solo di una tipologia di protezione (interna o esterna).		

Prospetto B.1 – Norma UNI 10779

Per quanto concerne la definizione del livello di rischio sono state effettuate le seguenti considerazioni:

- i **padiglioni in locazione** sono stati assimilati ad uffici. Stando alla norma UNI 12485 gli uffici sono classificati con Pericolo ordinario - OH, gruppo 1 (**OH1**)
- i **padiglioni espositivi** sono stati assimilati a centri commerciali. Stando alla norma UNI 12485 gli uffici sono classificati con Pericolo ordinario - OH, gruppo 3 (**OH3**)

Di seguito si riporta uno stralcio del prospetto A2 della norma UNI 12485



PROGETTO ESECUTIVO
REALIZZAZIONE NUOVA RETE IDRICA DEL QUARTIERE FIERA DEL
LEVANTE
Relazione di calcolo idraulico

OTTOBRE
2018

Pagina 15 di 34

Settore	Gruppo di Pericolo Ordinario			
	OH1	OH2	OH3	OH4
Negozi e uffici	Uffici di elaborazione dati (stanze computer, tranne locali di archivio nastri)		Grandi magazzini Centri commerciali	Sale di esposizione
Tessile e abbigliamento		Industrie prodotti in cuoio	Fabbriche di tappeti (esclusi quelli in gomma e plastica espansa) Industrie tessili e dell'abbigliamento Industria di passamanerie e simili Calzaturifici Calzifici Maglifici Linifici Industrie per materassi (esclusi quelli in plastica espansa) Industria per il confezionamento Tessiture Tessiture di lana e lana pettinata	Tessiture di cotone Impianti di preparazione di lino e canapa
Legname e legno			Industrie per la lavorazione del legno Mobilifici (esclusa la plastica espansa) Esposizioni di mobili Industrie di tappezzeria (escluse le plastiche espansive)	Segherie Industrie di truciolo Industrie del legno compensato
Nota Dove, in attività a pericolo OH1 o OH2 vi sono aree di verniciatura o aree di pericolo elevato simile, esse dovrebbero essere trattate come pericolo OH3.				

Il livello di pericolosità assunto per la verifica della rete di idranti è pari al “**livello di pericolosità 2**” (UNI 10779), livello paragonabile al pericolo OH3, pericolo ordinario di gruppo 3 (considerando quindi tutta la fiera con pericolosità OH3).


In base al prospetto B.1 della Norma UNI 10779, la rete è stata verificata al funzionamento de:

- rete esterna - 4 idranti UNI70 con 300 l/min cadauno e pressione residua non minore di 0,30 MPa (30 m)
- rete interna - 6 idranti a muro con 120 l/min cadauno e pressione residua non minore di 0,20 MPa (20 m).

Per quanto concerne il carico iniziale, considerando che l'attuale gruppo di pressurizzazione ha una variabilità di carico da 60 a 85 m (in base alla portata immessa), si è ipotizzato, a vantaggio di sicurezza, un carico iniziale di soli 50 m.

Come mostrato nei grafici in allegato, sono state effettuate diverse tipologie di funzionamento, ipotizzando di volta in volta l'utilizzo della rete antincendio a servizio di un dato padiglione.

Le varie simulazioni hanno mostrato che gli interventi previsti soddisfano le verifiche richieste dalla norma UNI 10779:2014

	PROGETTO ESECUTIVO REALIZZAZIONE NUOVA RETE IDRICA DEL QUARTIERE FIERA DEL LEVANTE Relazione di calcolo idraulico	OTTOBRE 2018
		Pagina 16 di 34

6 VERIFICA STATICA DELLE TUBAZIONI

Il progetto prevede l'utilizzo delle seguenti tubazioni:

- Tubazioni PE100 RC SDR 11 De = 90,0 mm
- Tubazioni PE100 RC SDR 11 De = 125,0 mm
- Tubazioni PE100 RC SDR 11 De = 180,0 mm
- Tubazioni PE100 RC SDR 11 De = 225,0 mm

poste con la quota di scorrimento a 1,20 m dal piano campagna.

Nel seguito si espongono le modalità con cui sono state eseguite le verifiche statiche di ogni singolo tipo di tubazione con riferimento alle condizioni di posa più estreme, con ricoprimenti massimi e minimi

La verifica statica di una tubazione consiste nell'accertare che i carichi agenti sulla struttura provochino tensioni e deformazioni ammissibili.

Le sollecitazioni su un tubo interrato dipendono dall'interazione tubo-terreno, fortemente legata alla deformabilità relativa dei due elementi: se il tubo si deforma di più del terreno che lo circonda, sarà sollecitato in modo minore poiché deformandosi sensibilmente coinvolge il terreno di rinfianco a collaborare alla resistenza.

Dalla deformabilità relativa tubo-terreno dipende il comportamento statico della condotta.

Emerge, quindi, la convenienza a classificare le tubazioni in base all'elasticità in sito.

Si definisce **coefficiente di elasticità in sito N** di una tubazione di diametro esterno D , di raggio medio R ($D-S/2$), di spessore S e modulo elastico E_t , posata in un terreno di modulo elastico E_s , il numero adimensionale

$$N = \frac{E_s}{E_t} \left(\frac{R}{S} \right)^3$$

La tubazione interrata è flessibile (o deformabile) se risulta:

$$N \geq 1$$

In questa ottica, le tubazioni per il trasporto di fluidi si suddividono in tre categorie:

- tubazioni rigide (cemento armato, gres, fibrocemento);
- tubazioni semiflessibili (acciaio, ghisa sferoidale), quelle che in relazione alle caratteristiche del terreno, a seconda dei casi, possono avere comportamento rigido o flessibile;
- tubazioni flessibili (PE, PVC, PP, PRFV)


Le tubazioni rigide sotto l'azione dei carichi esterni si fessurano senza che la deformazione della sezione possa assumere caratteri significativi.

Viceversa, le tubazioni flessibili si deformano senza il raggiungimento di uno stato limite di fessurazione.

Ciò comporta che la verifica di stabilità sia eseguita in maniera del tutto diversa a seconda che si tratti di tubazioni rigide (verifica di stabilità allo stato limite ultimo di rottura) o di tubazioni flessibili.

Per le tubazioni flessibili le verifiche di stabilità riguardano:

1. calcolo e verifica della deformazione diametrale (ovalizzazione) a lungo termine

	<p style="text-align: center;">PROGETTO ESECUTIVO REALIZZAZIONE NUOVA RETE IDRICA DEL QUARTIERE FIERA DEL LEVANTE Relazione di calcolo idraulico</p>	<p style="text-align: center;">OTTOBRE 2018</p>
		<p style="text-align: center;">Pagina 17 di 34</p>

2. calcolo e verifica di stabilità all'equilibrio elastico

3. calcolo e verifica degli sforzi massimi di trazione e compressione nella sezione

6.1 DETERMINAZIONE DEI CARICHI AGENTI SULLA TUBAZIONE

La verifica statica di una tubazione interrata viene effettuata calcolando:

- i carichi permanenti che gravano sulla tubazione;
- i carichi accidentali che gravano sulla tubazione;
- il carico idraulico indotto dalla presenza della falda;
- le reazioni laterali del terreno.

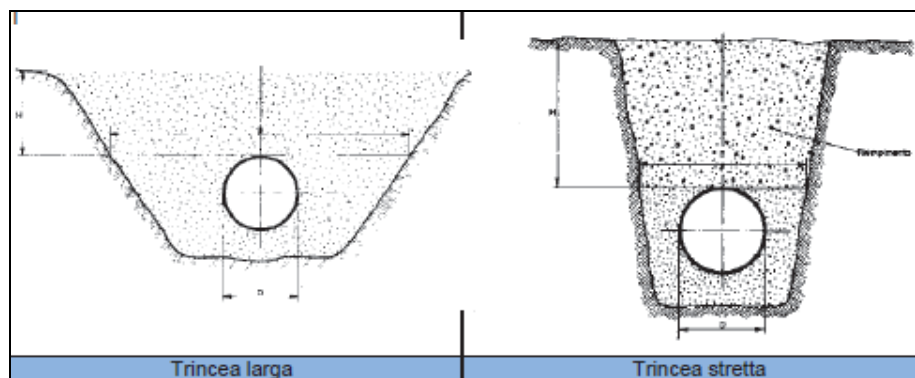
I carichi permanenti cui è sottoposta una tubazione interrata dipendono per lo più dall'azione del rinterro mentre i carichi accidentali sono da attribuirsi alla presenza di traffico.

6.1.1 Modalità di posa

In conformità a quanto proposto dalla normativa UNI 7517 occorre distinguere fra:

- posa in trincea stretta;
- posa in trincea larga.

Nella figura successiva se ne mostra una rappresentazione schematica.




6.1.2 Calcolo dei carichi dovuti al rinterro

Nella determinazione del carico permanente che sollecita una condotta interrata un ruolo importante è dato dall'azione del rinterro. Tra le diverse metodologie utilizzate nella comune prassi ingegneristica si è scelto di utilizzare il metodo di Marston Spangler – Iowa State College Engineering Experiment Station [Da Deppo, 2009 Fognature]

6.1.2.1 Posa in trincea stretta

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

1. $B \leq 2D$ con $H \geq 1.5B$
2. $2D \leq B \leq 3D$ con $H \geq 3.5B$

	PROGETTO ESECUTIVO REALIZZAZIONE NUOVA RETE IDRICA DEL QUARTIERE FIERA DEL LEVANTE Relazione di calcolo idraulico	OTTOBRE 2018
		Pagina 18 di 34

In cui B e H indicano la larghezza e l'altezza dall'estradosso della tubazione come riportato nella precedente figura.

Nella posa in trincea stretta, il peso del rinterro che grava sull'estradosso della tubazione Q_{st} è minore del peso del relativo volume, per effetto dell'attrito presente tra il terreno indisturbato posto ai lati della trincea ed il terreno di rinterro. Tale azione è funzione del peso specifico, dell'angolo di attrito del terreno indisturbato e del coefficiente d'attrito con il rinterro.

Il valore di carico Q_{st} del rinterro è calcolabile mediante la relazione:

$$Q_{st} = C_t \gamma_t BDN$$

in cui:

- Q_{st} indica il carico dovuto al rinterro [kN/m];
- B indica la larghezza della trincea [m];
- DN il diametro esterno della tubazione fognaria [m];
- γ_t indica il peso specifico del terreno di rinterro [kN/m³];
- C_t indica il coefficiente di Marston [-].

Il coefficiente di Marston si valuta mediante la relazione:

$$C_t = \frac{1 - \exp\left(-2k_a \mu \frac{H}{B}\right)}{2k_a f}$$

in cui:

- C_t coefficiente adimensionale di Marston [-];
- $k_a = \tan^2\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right)$ coefficiente di spinta attiva con φ angolo d'attrito del terreno di rinterro [°];
- f coefficiente di attrito tra terreno indisturbato e rinterro pari a $\tan\varphi$ [°];
- H altezza del terreno di rinterro valutata dall'estradosso della tubazione [m];
- B larghezza della trincea [m].

Nel caso di trincea stretta, al carico Q_{st} corrisponde una pressione verticale q_{st} valutabile con la relazione:

$$q_{st} = \frac{2Q_{st}}{\sqrt{2}DN}$$

in cui:

- q_{st} pressione verticale agente sulla parte superiore del tubo per una lunghezza pari alla corda compresa in un angolo al centro di 90°;
- DN il diametro esterno della tubazione [m];
- Q_{st} indica il sovraccarico indotto dal rinterro [kN/m]

6.1.2.2 Posa in trincea larga

Nel caso in cui le condizioni elencate nel precedente paragrafo non siano rispettate la posa si definisce in trincea larga.

In questo caso il carico Q_{st} generato dal peso del terreno sovrastante l'estradosso della tubazione è pari a:



$$Q_{st} = \gamma_t D N H$$

in cui:

- Q_{st} indica il sovraccarico indotto dal rinterro [kN/m];
- DN il diametro esterno della tubazione [m];
- H altezza del terreno di rinterro valutata dall'estradosso della tubazione [m].

6.1.2.3 Caratteristiche dei terreni

Nella successiva tabella sono elencate le caratteristiche geotecniche dei terreni da assumere per la definizione del carico indotto dal rinterro:

Tipo di terreno	Peso specifico γ_t [kN/m ³]	Peso immerso γ' [kN/m ³]	Angolo di attrito interno φ [°]
Argilla fangosa	20	16.9	20
Argilla sabbiosa	18	15.9	14
Argilla umida comune	20	16.4	12
Fango con polvere di roccia	18	16.9	25
Loess	21	15.9	18
Marna	21	16.9	22
Misto di cava di ghiaia e ciottoli	20	16.8	37
Misto di cava di sabbia e ghiaia	20	16.5	33
Sabbia argillosa	18	15.9	15
Sabbia secca	15	15.9	31
Sabbia umida	17	16.4	34
Terra secca	17	15.5	14
Terra umida	20	16.0	25
Terreno misto compatto	20	16.4	33
Terreno misto sciolto	18	15.9	15
Terreno paludoso	17	9.9	12
Terreno sabbioso	19	15.8	30

6.1.3 Azione dei sovraccarichi dinamici veicolari

Sul terreno sovrastante la tubazione interrata oltre al rinterro possono agire altri carichi.

Questi si suddividono in dinamici, relativi al traffico stradale e/o ferroviario, e statici, associati a corpi posti sul terreno che grava sul tubo.

Per il calcolo del carico veicolare si fa riferimento a quanto espresso dalla normativa DIN 1072 secondo cui il traffico veicolare può essere suddiviso nelle seguenti classi di carico:

- **HT** autocarro pesante;
- **LT** autocarro leggero

I valori di carico per ruota dei veicoli per classe DIN sono riassunti nella successiva tabella:

Classe	Carico per ruota P (KN)	Tipologia
HT60	100	Traffico pesante
HT45	75	
HT38	62.5	
HT30	50	
HT26	35	
LT12	20	Traffico leggero
LT6	10	
LT3	5	

La pressione dinamica σ_z esercitata dal traffico sul tubo viene valutata adottando le seguenti relazioni:

- $\sigma_z = 0.5281 \frac{P}{H^{1.0461}} \varphi$ o stradale pesante (convoglio classe HT);
- $\sigma_z = 0.8743 \frac{P}{H^{1.5194}} \varphi$ o stradale leggero (convoglio classe LT)¹;

in cui:

- σ_z pressione dinamica [kN/m²];
- **P** carico per ruota [kN];
- **H** altezza del terreno valutata dall'estradosso del tubo [m];
- φ coefficiente di incremento valutato con la relazione $\varphi = 1 + 0,3/H$.

Nota la pressione dinamica è possibile calcolare il carico dinamico che grava su una condotta di diametro esterno **DN** applicando la relazione:

$$Q_{dv} = \sigma_z DN$$

In cui:

- σ_z indica la pressione dinamica [kN/m²];
- **DN** indica il diametro esterno del tubo [m];

6.1.4 Azione del peso del fluido

Si considera come carico aggiuntivo sul tubo anche il peso dell'acqua contenuta al suo interno. Il carico, nell'ipotesi di tubo pieno, si calcola con la relazione:

$$Q_a = 7.70 D_i^2$$

in cui **D_i** indica il diametro interno della tubazione [m].

6.1.5 Carico idrostatico dovuto alla falda

Se nel terreno in cui è posata la tubazione si è in presenza di falda si deve tenere conto della pressione idrostatica che la falda esercita sulla condotta mediante la relazione:

$$Q_{idr} = \gamma_w \left(h + \frac{DN}{2} \right) DN$$

in cui:

- **Q_{idr}** indica il carico indotto dalla falda [kN/m]
- **DN** il diametro esterno della condotta [m]

¹ si è ipotizzato un traffico stradale pesante HT 45



- γ_w indica il peso specifico dell'acqua [kN/m³];
- h indica l'altezza della falda valutata rispetto l'estradosso della tubazione [m];

La pressione esercitata dalla falda q_{idr} è pari a:

$$q_{idr} = \gamma_w \left(h + \frac{DN}{2} \right) = \frac{Q_{idr}}{DN}$$

Nel caso di presenza di falda il carico del rinterro, per la quota parte interessata dalla falda, deve essere calcolato adottando il relativo peso specifico immerso γ_t tabulato nella precedente tabella.

6.2 VERIFICA ALLA DEFORMAZIONE

La deformazione viene calcolata adottando lo schema statico proposto da Spangler secondo cui lo stato di sollecitazione che si produce in una tubazione sottoposta ai carichi indicati nella figura successiva è caratterizzato da una distribuzione parabolica della spinta passiva simmetrica rispetto al diametro orizzontale e applicata a partire dall'angolo a pari a 40° per un'ampiezza di 100 mentre la reazione sul fondo della trincea interessa varie ampiezze [Da Deppo – Fognature 2009].

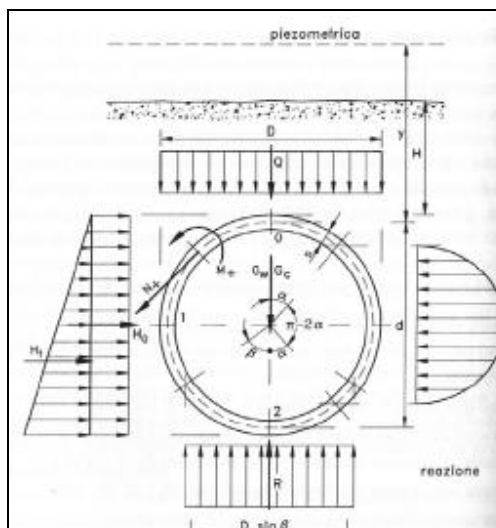


Figura 1 - Schema statico per tubazione interrata [Da Deppo – Fognature 2009]

La deformazione del diametro orizzontale secondo Spangler è data dalla relazione:

$$\Delta d = \frac{QKF}{8SN + 0.061E_t}$$

in cui:

- Δd deformazione assoluta diametrale del tubo in senso orizzontale [mm];
- Q il carico totale gravante sul tubo dato dalla somma del carico dovuto al rinterro, al carico indotto dalla falda, dal carico dell'acqua contenuta nella tubazione e dai carichi veicolari e statici [kN/m];
- K coefficiente di sottofondo, parametro che dipende dalla tipologia di appoggio del tubo sul fondo della trincea; si rimanda a quanto contenuto nella successiva tabella;
- F coefficiente di deformazione differita. Esso tiene conto dell'incremento di deformazione che la condotta subisce nel tempo.
- SN rigidezza anulare della tubazione [kN/m²];
- E_t modulo di elasticità del terreno di rinfiacco secondo Winkler [kN/m²]

Nota la deformazione assoluta si calcola la deformazione relativa δ come rapporto tra Δd ed il diametro esterno DN . La verifica è superata se la deformazione δ è minore della deformazione diametrale limite δ_{LIM} :

$$\delta < \delta_{LIM}$$

6.2.1 Moduli di elasticità del terreno di rinfiando

Nella tabella seguente si riportano alcuni moduli di elasticità E_t per alcuni tipi di terreno (rinfiando) in funzione di vari gradi di compattazione (con LL si indica il limite di liquidità).

Tipo di terreno	Materiale alla rinfusa	Compattazione		
		Leggera	Moderata	Alta
	Indice Proctor	<85%	85-94%	>95%
	Densità relativa	<40%	40-70%	>70%
Terreno coesivo LL > 50% Argilla e limo ad alta plasticità	0	0	0	350
Terreno coesivo LL < 50% Argilla e limo a media e bassa plasticità con meno del 25% di particelle di fango	350	1400	2800	7000
Terreno granulare coesivo Ghiaia con particelle fini con bassa o media plasticità Sabbia con particelle fini con bassa o media plasticità	700	2800	7000	14000
Terreno senza coesione Ghiaia con curva granulometrica ben assortita o non ben assortita	700	7000	14000	21000
Rocce macinate	7000	21000	21000	21000

6.2.2 Coefficiente di sottofondo

Nella seguente tabella si riportano i valori del coefficiente di sottofondo K in funzione di diversi angoli di appoggio della tubazione sul fondo della trincea.

Angolo appoggio 2α [°]	Coefficiente sottofondo K
0	0.121
60	0.103
90	0.096
120	0.09
180	0.083

6.3 VERIFICA DELL'INSTABILITÀ ALL'EQUILIBRIO ELASTICO


Una tubazione sollecitata da forze radiali uniformemente distribuite e dirette verso il centro di curvatura, dapprima rimane circolare, poi, all'aumentare delle forze si inflette ovalizzandosi (deformata a due lobi) e progressivamente si ha deformazione a tre lobi ecc. [Papiri, 2008].

Il carico critico q_a può essere quindi valutato secondo la nota formula di Eulero:

$$q_a = \frac{E}{(1-\nu^2)} \left(\frac{s}{DN-s} \right)^3$$

in cui:

- q_a il carico critico di imbozzamento (buckling) [kN/m²]

	<p style="text-align: center;">PROGETTO ESECUTIVO REALIZZAZIONE NUOVA RETE IDRICA DEL QUARTIERE FIERA DEL LEVANTE Relazione di calcolo idraulico</p>	OTTOBRE 2018
		Pagina 23 di 34

- **E** indica il modulo elastico del materiale [kN/m²];
- **ν** il coefficiente di Poisson del materiale costituente il tubo [-];
- **s** rappresenta lo spessore del tubo [m];

In una tubazione interrata, la pressione di buckling dipende però non solamente dall'indice di rigidezza della tubazione, ma anche dal modulo elastico del suolo che circonda la tubazione in quanto il sistema tubo-suolo si comporta come un'unica entità [Papiri, 2008].

La Norma ANSI-AWWA C950/88 fornisce la seguente espressione per la stima della pressione ammissibile di buckling, **q_a**:

$$q_a = \frac{1}{F_s} \left(32 R_w B' E_t \frac{E_m I}{DN^3} \right)^{\frac{1}{2}}$$

in cui:

- **q_a** pressione ammissibile di buckling in N/m²;
- **F_s** fattore di progettazione posto pari a 2,5;
- **R_w** fattore di spinta idrostatica della falda dato dalla relazione $R_w = 1 - 0.33 \frac{H_w}{H}$ con **H** altezza del rinterro in cm ed **H_w** è altezza della superficie libera della falda sulla sommità della tubazione in cm;
- **B'** coefficiente empirico di supporto elastico (adimensionale), dato dalla relazione con **H** espresso in m $B' = \frac{1}{1 + 4e^{-0.213H}}$
- **DN** diametro esterno della tubazione;
- **E_t** modulo elastico del terreno di rinterro;
- **E_m** modulo elastico del materiale che costituisce il tubo;
- **I** momento d'inerzia del tubo.

L'espressione precedente mostra chiaramente come la pressione ammissibile di buckling sia condizionata in egual misura dall'indice di rigidezza della tubazione e dal modulo elastico del materiale di sottofondo e rinfianco della tubazione.

La verifica all'instabilità elastica si esegue confrontando la pressione ammissibile di buckling **q_a** con la risultante della pressione dovuta ai carichi esterni applicati valutata mediante la relazione:

$$\gamma_w h + \frac{R_w Q_{st}}{DN} + \frac{(P + Q_{dist})}{DN}$$

in cui:

- **γ_w** è il peso specifico dell'acqua;
- **h** indica l'altezza della falda valutata rispetto l'estradosso della tubazione [m];
- **Q_{st}** il carico dovuto alla presenza del rinterro;
- **P** il carico verticale gravante sul tubo dovuto a carichi statici posti sulla superficie;
- **Q_{dist}** il carico verticale accidentale associato al traffico veicolare;

La verifica è positiva se risulta:



$$\gamma_w h + \frac{R_w Q_a}{DN} + \frac{(P + Q_{din})}{DN} \leq q_a$$

6.4 VERIFICA DELLE SOLLECITAZIONI

Al fine di verificare che le tensioni nelle sezioni maggiormente sollecitate della tubazione siano minori delle tensioni massime ammissibili del materiale occorre calcolare le tensioni specifiche che si manifestano nelle tre sezioni più significative: al vertice (chiave), sul fianco e al fondo.

La metodologia ipotizza che il comportamento statico della condotta sia riconducibile a quello di un anello elastico sottile e che la sezione sia completamente reagente.

Il calcolo dei momenti **M** e degli sforzi normali **N** è condotto nell'ipotesi che l'azione sui fianchi della condotta fosse distribuita secondo il classico trapezio di spinta.

I valori dei parametri **M** (momento) ed **N** (sforzo normale) sono calcolati per le sezioni in chiave, sul fianco e sul fondo in funzione di varie aperture angolari dell'appoggio o sella d'appoggio ($2\alpha = 180^\circ, 120^\circ$ e 90°) mediante le relazioni riportate in tabella [Da Deppo – Fognature 2009].

Parametri di sollecitazione per unità di lunghezza in una tubazione interrata per diverse ampiezze d'appoggio							
CARICHI	Angolo appoggio [°]	Sforzo Normale N			Momento Flettente M		
		Sezione chiave	Sezione sul fianco	Sezione sul fondo	Sezione chiave	Sezione sul fianco	Sezione sul fondo
Peso proprio G_c	180°	-0.027 G_c	+0.250 G_c	+0.027 G_c	+0.028 $G_c d$	-0.031 $G_c d$	+0.035 $G_c d$
	120°	-0.040 G_c	+0.250 G_c	+0.040 G_c	+0.030 $G_c d$	-0.035 $G_c d$	+0.042 $G_c d$
	90°	-0.053 G_c	+0.250 G_c	+0.053 G_c	+0.033 $G_c d$	-0.039 $G_c d$	-0.051 $G_c d$
Peso dell'acqua Q_a	180°	-0.186 Q_a	-0.068 Q_a	-0.451 Q_a	+0.028 $Q_a d$	-0.031 $Q_a d$	+0.035 $Q_a d$
	120°	-0.199 Q_a	-0.068 Q_a	-0.438 Q_a	+0.030 $Q_a d$	-0.035 $Q_a d$	+0.042 $Q_a d$
	90°	-0.212 Q_a	-0.068 Q_a	-0.424 Q_a	+0.033 $Q_a d$	-0.039 $Q_a d$	+0.051 $Q_a d$
Carico verticale uniforme Q	180°	0	+0.50 Q	0	+0.063 $Q d$	-0.063 $Q d$	+0.063 $Q d$
	120°	-0.013 Q	+0.50 Q	+0.013 Q	+0.066 $Q d$	-0.066 $Q d$	+0.069 $Q d$
	90°	-0.027 Q	+0.50 Q	+0.027 Q	+0.069 $Q d$	-0.070 $Q d$	+0.078 $Q d$
Spinta H_o	-	+0.5 H_o	0	+0.5 H_o	-0.063 $H_o d$	+0.063 $H_o d$	-0.063 $H_o d$
Spinta H_i	-	+0.313 H_i	0	+0.687 H_i	-0.052 $H_i d$	+0.063 $H_i d$	-0.073 $H_i d$

in cui:

- G_c indica il peso proprio del tubo;
- Q_a [kN/m] indica il peso dell'acqua contenuto all'interno del tubo nell'ipotesi di completo riempimento;
- Q indica il carico totale verticale dato dalla somma del carico associato al rinterro e dei carichi accidentali (veicoli + carichi statici distribuiti + carico idrostatico). Si rimanda a quanto contenuto in precedenza [kN/m];
- H_o [kN/m] indica la reazione uniformemente distribuita data da $H_o = \gamma \times H \times DN \times k_a$, in cui k_a è il coefficiente di spinta attiva; DN il diametro esterno del tubo; H l'altezza del terreno di rinterro valutata dall'estradosso della tubazione [m]; γ il peso specifico del terreno di rinterro.
- H_i indica la spinta orizzontale distribuita linearmente pari a $H_i = \gamma D^3 K_a / 2$

Noti i valori degli sforzi normali N e del momento flettente M per le tre sezioni indicate in precedenza, si procede al calcolo delle tensioni all'estradosso e all'intradosso della tubazione rispettivamente indicati con σ_e e σ_i mediante le relazioni:

$$\sigma_i = \frac{N}{s} - 6 \frac{M}{s^3} \quad \text{con } s \text{ che indica lo spessore della tubazione}$$

$$\sigma_e = \frac{N}{s} + 6 \frac{M}{s^3}$$

6.5 VERIFICA TUBAZIONI IN PE100

La verifica statica è stata condotta secondo i criteri innanzi esposti con riferimento alle condizioni di ricoprimento minimo e massimo, riportate nella tabella che segue in cui sono contenute anche le altre condizioni (larghezza trincea, altezza della falda, carico stradale, angolo di appoggio della tubazione) utilizzate per la verifica.

In particolare, per quanto attiene le condizioni di verifica:

- i terreni di posa sono pressoché uguali dappertutto terreni sciolti a matrice sabbiosa.
- la falda è assente;
- tutti i tronchi sono ubicati al disotto delle strade per le quali si è ipotizzato un traffico stradale pesante HT 45;
- non è stato considerato alcun sovraccarico statico;
- per le condotte in pressione si è considerato un carico piezometrico di 35 mca, corrispondente al carico idrostatico generato sulla rete idrica dal gruppo di pressurizzazione
- per le tubazioni in PE 100 il “*Disciplinare tecnico per la fornitura e posa in opera di tubazioni e pezzi speciali in polietilene PE100*”, edizione AQP - luglio 2014, prevede i seguenti valori massimi per l'ovalizzazione

De90	1,8 mm (2,0%)
De125	2,5 mm (2,0%)
De180	3,6 mm (2,0%)
DN 225	4,5 mm (2,0%)

Nel seguito si riportano i tabulati di verifica relativi alle tubazioni di progetto in tutte le condizioni di carico.



Tubazione PE100 SDR11 De90

Larghezza della trincea in corrispondenza dell'estradosso della tubazione $B = 0,60$ m

Altezza sull'estradosso tubazione $H = 1,11$ m

Terreno di rinterro sabbioso con grado di compattazione moderata

Tipologia di traffico: pesante - HT 45

CARATTERISTICHE TUBAZIONE		
Materiale tubazione		7 - PE 100 UNI 12201
Diametro tubazione ϕ	mm	90
Spessore parete s	mm	8,18
Diametro interno tubazione D_i	mm	73,6
Modulo di elasticità E_n	kN/m ²	1,2E+06
Rapporto diametro esterno/spessore SDR	-	11,0
Rigidezza circonferenziale SN	kN/m ²	99,93
CARATTERISTICHE DELLA TRINCEA E DEL RINTERRO		
Larghezza della trincea in corrispondenza dell'estradosso della tubazione B	m	0,60
Altezza sull'estradosso tubazione H	m	1,11
Terreno di rinterro	Terreno sabbioso non stabilizzato	
Caratteristiche di coesione del terreno di rinterro all'intorno del tubo	4 - Terreno senza coesione - Ghiaia con curva granulometrica ben assortita o non ben assortita	
Grado di compattazione del rinterro all'intorno del tubo	Proctor < 95° - Compattazione moderata	
Modulo di elasticità del rinterro E_t	kN/m ²	14.000
Peso specifico rinterro γ_t	kN/m ³	19,0
Peso specifico rinterro immerso $\gamma_t^{(I)}$	kN/m ³	15,8
Angolo di attrito interno terreno rinterro ϕ	°	30
Coefficiente attrito rinterro/pareti μ	-	0,577
Coefficiente di rigidezza relativo	-	1,459
Tipo di tubazione	Flessibile	
Tipo di trincea (UNI 7517)	Larga	
CARICO STATICO DEL RINTERRO		
Coefficiente di spinta attiva K_a	-	0,333
Coefficiente di Marston C_t	-	-
Pressione verticale q_{st}	kN/m ²	24,812
Carico statico del rinterro Q_{st}	kN/m	1,9
SOVRACCARICO DINAMICO		
Tipologia traffico	Pesante - HT 45	
Carico per ruota P	kN	75
Pressione dinamica s_z	kN/m ²	45,11
Carico dinamico Q_{dn}	kN/m	4,060
SOVRACCARICO STATICO		
Carico statico agente P_n	kN	0
Larghezza impronta u_1	m	1,0
Larghezza impronta u_2	m	1,0
Pressione statica q_s	kN/m ²	0,00
Coefficiente di diffusione β	-	0,88
Sovraccarico statico P_s	kN/m	0,00
SOVRACCARICO IDROSTATICO		
Altezza della falda su estradosso tubazione h	m	1,11
Pressione da falda q_{idr}	kN/m ²	11,33
Carico idrostatico Q_{idr}	kN/m	1,02
CARICO DEL FLUIDO TRASPORTATO		
Carico del fluido trasportato Q_a	kN/m	0,04
CARICO TOTALE SULLA TUBAZIONE		
Carico statico dovuto al rinterro	kN/m	1,9
Sovraccarico dinamico stradale	kN/m	4,06
Sovraccarico statico	kN/m	0,00
Sovraccarico idrostatico	kN/m	1,02
Carico del fluido trasportato	kN/m	0,04
CARICO TOTALE SULLA TUBAZIONE	kN/m	7,02

VERIFICA DELLA DEFORMAZIONE		
Angolo di appoggio	°	120
Coefficiente di sottofondo K	-	0,09
Deformazione diametrale del tubo Δd	mm	0,38
Deformazione percentuale δ	%	0,42%
Deformazione massima ammissibile δ_{lim}		2,00%
Verifica positiva		
VERIFICA DI INSTABILITA' ALL'EQUILIBRIO ELASTICO		
Fattore di progettazione F_s	-	2,5
Coefficiente di deformazione differita	-	1
Fattore di spinta idrostatica R_w	-	0,67
Coefficiente empirico supporto elastico B'	-	0,240
Pressione risultante dovuta ai carichi esterni P_{est}	kN/m ²	25,48
VERIFICA A BREVE TERMINE		
Pressione ammissibile di buckling (ANSI AWWA) - Breve termine Q_a	kN/m ²	930,87
Verifica positiva		
VERIFICA A LUNGO TERMINE		
Pressione ammissibile di buckling (ANSI AWWA) - Lungo termine Q_a	kN/m ²	930,87
Verifica positiva		
CALCOLO DEL MASSIMO SFORZO DI TRAZIONE		
Carico piezometrico di esercizio sulla tubazione	mca	50
Peso proprio tubazione	kN/m	0,0898
Calcolo delle tensioni		
Sezione in chiave - estradosso	Mpa	2,89
Sezione sul fianco - estradosso	Mpa	-2,92
Sezione sul fondo - estradosso	Mpa	3,07
Sezione in chiave - intradosso	Mpa	-3,32
Sezione sul fianco - intradosso	Mpa	3,29
Sezione sul fondo - intradosso	Mpa	-3,46
Tensione massima compressione	Mpa	3,29
Tensione massima di trazione	Mpa	-3,46
Tensione massima ammissibile	Mpa	10,00
Verifica positiva		
CALCOLO DELLA REAZIONE LATERALE DEL TERRENO		



Tubazione PE100 SDR11 De125

Larghezza della trincea in corrispondenza dell'estradosso della tubazione $B = 0,70$ m

Altezza sull'estradosso tubazione $H = 1,08$ m

Terreno di rinterro sabbioso con grado di compattazione moderata

Tipologia di traffico: pesante - HT 45

CARATTERISTICHE TUBAZIONE		
Materiale tubazione		7 - PE 100 UNI 12201
Diametro tubazione ϕ	mm	125
Spessore parete s	mm	11,36
Diametro interno tubazione D_i	mm	102,3
Modulo di elasticità E_n	kN/m ²	1,2E+06
Rapporto diametro esterno/spessore SDR	-	11,0
Rigidezza circonferenziale SN	kN/m ²	99,89
CARATTERISTICHE DELLA TRINCEA E DEL RINTERRO		
Larghezza della trincea in corrispondenza dell'estradosso della tubazione B	m	0,70
Altezza sull'estradosso tubazione H	m	1,08
Terreno di rinterro	Terreno sabbioso non stabilizzato	
Caratteristiche di coesione del terreno di rinterro all'intorno del tubo	4 - Terreno senza coesione - Ghiaia con curva granulometrica ben assortita o non ben assortita	
Grado di compattazione del rinterro all'intorno del tubo	Proctor < 95° - Compattazione moderata	
Modulo di elasticità del rinterro E_t	kN/m ²	14.000
Peso specifico rinterro γ_t	kN/m ³	19,0
Peso specifico rinterro immerso $\gamma_t^{(I)}$	kN/m ³	15,8
Angolo di attrito interno terreno rinterro ϕ	°	30
Coefficiente attrito rinterro/pareti μ	-	0,577
Coefficiente di rigidezza relativo	-	1,460
Tipo di tubazione	Flessibile	
Tipo di trincea (UNI 7517)	Larga	
CARICO STATICO DEL RINTERRO		
Coefficiente di spinta attiva K_a	-	0,333
Coefficiente di Marston C_t	-	-
Pressione verticale q_{st}	kN/m ²	24,141
Carico statico del rinterro Q_{st}	kN/m	2,6
SOVRACCARICO DINAMICO		
Tipologia traffico	Pesante - HT 45	
Carico per ruota P	kN	75
Pressione dinamica s_z	kN/m ²	46,69
Carico dinamico Q_{dn}	kN/m	5,837
SOVRACCARICO STATICO		
Carico statico agente P_n	kN	0
Larghezza impronta u_1	m	1,0
Larghezza impronta u_2	m	1,0
Pressione statica q_s	kN/m ²	0,00
Coefficiente di diffusione β	-	0,88
Sovraccarico statico P_s	kN/m	0,00
SOVRACCARICO IDROSTATICO		
Altezza della falda su estradosso tubazione h	m	1,08
Pressione da falda q_{idr}	kN/m ²	11,21
Carico idrostatico Q_{idr}	kN/m	1,40
CARICO DEL FLUIDO TRASPORTATO		
Carico del fluido trasportato Q_a	kN/m	0,08
CARICO TOTALE SULLA TUBAZIONE		
Carico statico dovuto al rinterro	kN/m	2,6
Sovraccarico dinamico stradale	kN/m	5,84
Sovraccarico statico	kN/m	0,00
Sovraccarico idrostatico	kN/m	1,40
Carico del fluido trasportato	kN/m	0,08
CARICO TOTALE SULLA TUBAZIONE	kN/m	9,88

VERIFICA DELLA DEFORMAZIONE		
Angolo di appoggio	°	120
Coefficiente di sottofondo K	-	0,09
Deformazione diametrale del tubo Δd	mm	0,54
Deformazione percentuale δ	%	0,43%
Deformazione massima ammissibile δ_{lim}		2,00%
Verifica positiva		
VERIFICA DI INSTABILITA' ALL'EQUILIBRIO ELASTICO		
Fattore di progettazione F_s	-	2,5
Coefficiente di deformazione differita	-	1
Fattore di spinta idrostatica R_w	-	0,67
Coefficiente empirico supporto elastico B'	-	0,239
Pressione risultante dovuta ai carichi esterni P_{est}	kN/m ²	24,99
VERIFICA A BREVE TERMINE		
Pressione ammissibile di buckling (ANSI AWWA) - Breve termine Q_a	kN/m ²	928,49
Verifica positiva		
VERIFICA A LUNGO TERMINE		
Pressione ammissibile di buckling (ANSI AWWA) - Lungo termine Q_a	kN/m ²	928,49
Verifica positiva		
CALCOLO DEL MASSIMO SFORZO DI TRAZIONE		
Carico piezometrico di esercizio sulla tubazione	mca	50
Peso proprio tubazione	kN/m	0,0898
Calcolo delle tensioni		
Sezione in chiave - estradosso	Mpa	2,93
Sezione sul fianco - estradosso	Mpa	-2,96
Sezione sul fondo - estradosso	Mpa	3,11
Sezione in chiave - intradosso	Mpa	-3,37
Sezione sul fianco - intradosso	Mpa	3,34
Sezione sul fondo - intradosso	Mpa	-3,50
Tensione massima compressione	Mpa	3,34
Tensione massima di trazione	Mpa	-3,50
Tensione massima ammissibile	Mpa	10,00
Verifica positiva		
CALCOLO DELLA REAZIONE LATERALE DEL TERRENO		



Tubazione PE100 SDR11 De180

Larghezza della trincea in corrispondenza dell'estradosso della tubazione $B = 0,80$ m

Altezza sull'estradosso tubazione $H = 1,02$ m

Terreno di rinterro sabbioso con grado di compattazione moderata

Tipologia di traffico: pesante - HT 45

CARATTERISTICHE TUBAZIONE		
Materiale tubazione		7 - PE 100 UNI 12201
Diametro tubazione Φ	mm	180
Spessore parete s	mm	16,36
Diametro interno tubazione D_i	mm	147,3
Modulo di elasticità E_n	kN/m ²	1,2E+06
Rapporto diametro esterno/spessore SDR	-	11,0
Rigidezza circonferenziale SN	kN/m ²	99,93
CARATTERISTICHE DELLA TRINCEA E DEL RINTERRO		
Larghezza della trincea in corrispondenza dell'estradosso della tubazione B	m	0,80
Altezza sull'estradosso tubazione H	m	1,02
Terreno di rinterro	Terreno sabbioso non stabilizzato	
Caratteristiche di coesione del terreno di rinterro all'intorno del tubo	4 - Terreno senza coesione - Ghiaia con curva granulometrica ben assortita o non ben assortita	
Grado di compattazione del rinterro all'intorno del tubo	Proctor < 95° - Compattazione moderata	
Modulo di elasticità del rinterro E_t	kN/m ²	14.000
Peso specifico rinterro γ_t	kN/m ³	19,0
Peso specifico rinterro immerso $\gamma_t^{(u)}$	kN/m ³	15,8
Angolo di attrito interno terreno rinterro ϕ	°	30
Coefficiente attrito rinterro/pareti μ	-	0,577
Coefficiente di rigidezza relativo	-	1,459
Tipo di tubazione	Flessibile	
Tipo di trincea (UNI 7517)	Larga	
CARICO STATICO DEL RINTERRO		
Coefficiente di spinta attiva K_a	-	0,333
Coefficiente di Marston C_t	-	-
Pressione verticale q_{st}	kN/m ²	22,800
Carico statico del rinterro Q_{st}	kN/m	3,5
SOVRACCARICO DINAMICO		
Tipologia traffico	Pesante - HT 45	
Carico per ruota P	kN	75
Pressione dinamica s_z	kN/m ²	50,21
Carico dinamico Q_{dn}	kN/m	9,037
SOVRACCARICO STATICO		
Carico statico agente P_n	kN	0
Larghezza impronta u_1	m	1,0
Lurghezza impronta u_2	m	1,0
Pressione statica q_s	kN/m ²	0,00
Coefficiente di diffusione β	-	0,88
Sovraccarico statico P_s	kN/m	0,00
SOVRACCARICO IDROSTATICO		
Altezza della falda su estradosso tubazione h	m	1,02
Pressione da falda q_{idr}	kN/m ²	10,89
Carico idrostatico Q_{idr}	kN/m	1,96
CARICO DEL FLUIDO TRASPORTATO		
Carico del fluido trasportato Q_a	kN/m	0,17
CARICO TOTALE SULLA TUBAZIONE		
Carico statico dovuto al rinterro	kN/m	3,5
Sovraccarico dinamico stradale	kN/m	9,04
Sovraccarico statico	kN/m	0,00
Sovraccarico idrostatico	kN/m	1,96
Carico del fluido trasportato	kN/m	0,17
CARICO TOTALE SULLA TUBAZIONE	kN/m	14,65

VERIFICA DELLA DEFORMAZIONE		
Angolo di appoggio	°	120
Coefficiente di sottofondo K	-	0,09
Deformazione diametrale del tubo Δd	mm	0,80
Deformazione percentuale δ	%	0,44%
Deformazione massima ammissibile δ_{lim}		2,00%
Verifica positiva		
VERIFICA DI INSTABILITA' ALL'EQUILIBRIO ELASTICO		
Fattore di progettazione F_s	-	2,5
Coefficiente di deformazione differita	-	1
Fattore di spinta idrostatica R_w	-	0,67
Coefficiente empirico supporto elastico B'	-	0,237
Pressione risultante dovuta ai carichi esterni P_{est}	kN/m ²	23,92
VERIFICA A BREVE TERMINE		
Pressione ammissibile di buckling (ANSI AWWA) - Breve termine Q_a	kN/m ²	924,13
Verifica positiva		
VERIFICA A LUNGO TERMINE		
Pressione ammissibile di buckling (ANSI AWWA) - Lungo termine Q_a	kN/m ²	924,13
Verifica positiva		
CALCOLO DEL MASSIMO SFORZO DI TRAZIONE		
Carico piezometrico di esercizio sulla tubazione	mca	50
Peso proprio tubazione	kN/m	0,0898
Calcolo delle tensioni		
Sezione in chiave - estradosso	Mpa	3,03
Sezione sul fianco - estradosso	Mpa	-3,05
Sezione sul fondo - estradosso	Mpa	3,21
Sezione in chiave - intradosso	Mpa	-3,47
Sezione sul fianco - intradosso	Mpa	3,45
Sezione sul fondo - intradosso	Mpa	-3,61
Tensione massima compressione	Mpa	3,45
Tensione massima di trazione	Mpa	-3,61
Tensione massima ammissibile	Mpa	10,00
Verifica positiva		
CALCOLO DELLA REAZIONE LATERALE DEL TERRENO		



Tubazione PE100 SDR11 De225

Larghezza della trincea in corrispondenza dell'estradosso della tubazione $B = 0,85$ m

Altezza sull'estradosso tubazione $H = 0,97$ m

Terreno di rinterro sabbioso con grado di compattazione moderata

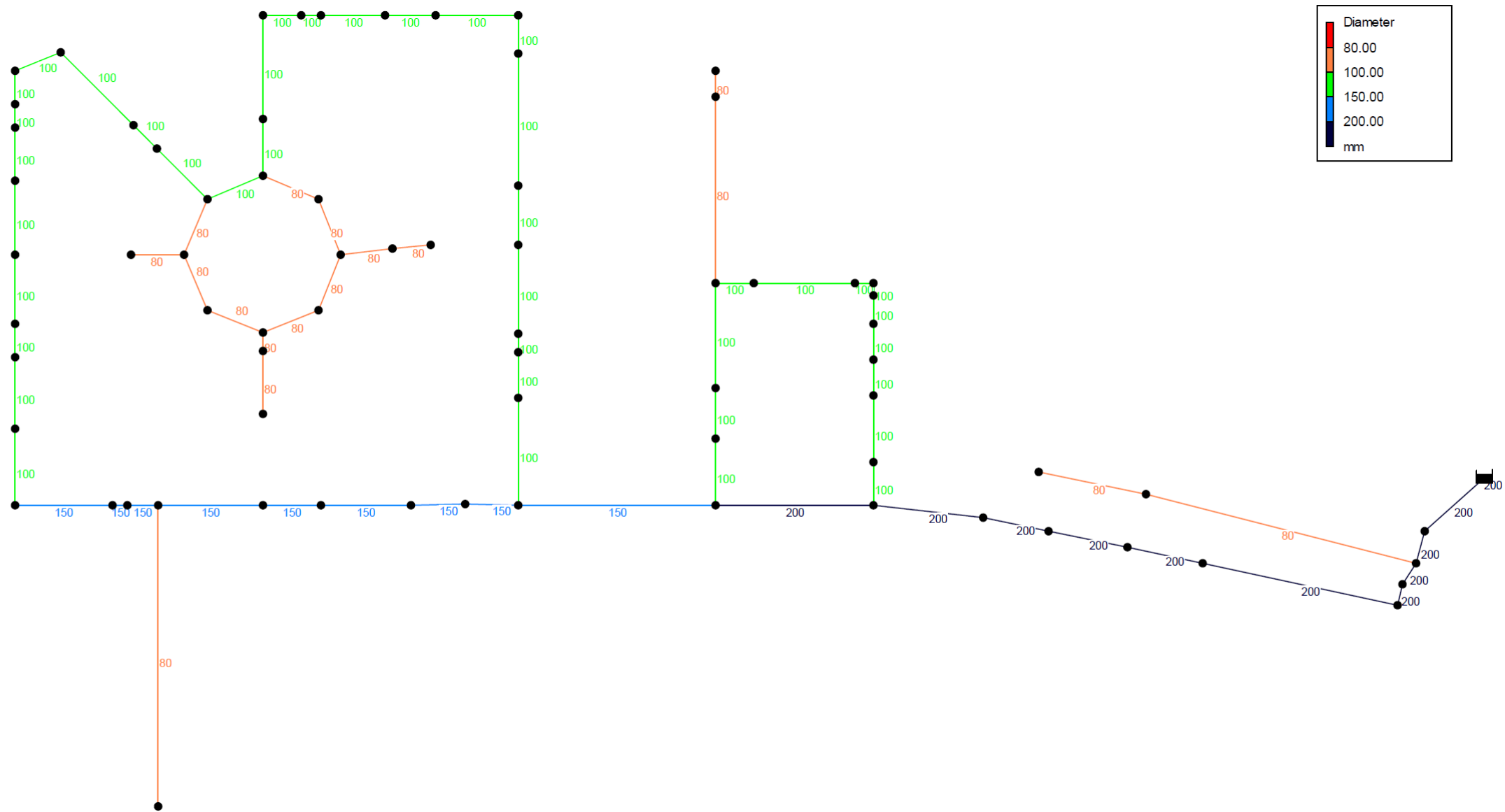
Tipologia di traffico: pesante - HT 45

CARATTERISTICHE TUBAZIONE		
Materiale tubazione		7 - PE 100 UNI 12201
Diametro tubazione ϕ	mm	225
Spessore parete s	mm	20,45
Diametro interno tubazione D_i	mm	184,1
Modulo di elasticità E_n	kN/m ²	1,2E+06
Rapporto diametro esterno/spessore SDR	-	11,0
Rigidezza circonferenziale SN	kN/m ²	99,93
CARATTERISTICHE DELLA TRINCEA E DEL RINTERRO		
Larghezza della trincea in corrispondenza dell'estradosso della tubazione B	m	0,85
Altezza sull'estradosso tubazione H	m	0,97
Terreno di rinterro	Terreno sabbioso non stabilizzato	
Caratteristiche di coesione del terreno di rinterro all'intorno del tubo	4 - Terreno senza coesione - Ghiaia con curva granulometrica ben assortita o non ben assortita	
Grado di compattazione del rinterro all'intorno del tubo	Proctor < 95° - Compattazione moderata	
Modulo di elasticità del rinterro E_t	kN/m ²	14.000
Peso specifico rinterro γ_t	kN/m ³	19,0
Peso specifico rinterro immerso $\gamma_t^{(u)}$	kN/m ³	15,8
Angolo di attrito interno terreno rinterro ϕ	°	30
Coefficiente attrito rinterro/pareti μ	-	0,577
Coefficiente di rigidezza relativo	-	1,459
Tipo di tubazione	Flessibile	
Tipo di trincea (UNI 7517)	Larga	
CARICO STATICO DEL RINTERRO		
Coefficiente di spinta attiva K_a	-	0,333
Coefficiente di Marston C_t	-	-
Pressione verticale q_{st}	kN/m ²	21,682
Carico statico del rinterro Q_{st}	kN/m	4,1
SOVRACCARICO DINAMICO		
Tipologia traffico	Pesante - HT 45	
Carico per ruota P	kN	75
Pressione dinamica s_z	kN/m ²	53,54
Carico dinamico Q_{dn}	kN/m	12,046
SOVRACCARICO STATICO		
Carico statico agente P_n	kN	0
Larghezza impronta u_1	m	1,0
Larghezza impronta u_2	m	1,0
Pressione statica q_s	kN/m ²	0,00
Coefficiente di diffusione β	-	0,88
Sovraccarico statico P_s	kN/m	0,00
SOVRACCARICO IDROSTATICO		
Altezza della falda su estradosso tubazione h	m	0,97
Pressione da falda q_{idr}	kN/m ²	10,62
Carico idrostatico Q_{idr}	kN/m	2,39
CARICO DEL FLUIDO TRASPORTATO		
Carico del fluido trasportato Q_a	kN/m	0,26
CARICO TOTALE SULLA TUBAZIONE		
Carico statico dovuto al rinterro	kN/m	4,1
Sovraccarico dinamico stradale	kN/m	12,05
Sovraccarico statico	kN/m	0,00
Sovraccarico idrostatico	kN/m	2,39
Carico del fluido trasportato	kN/m	0,26
CARICO TOTALE SULLA TUBAZIONE	kN/m	18,84

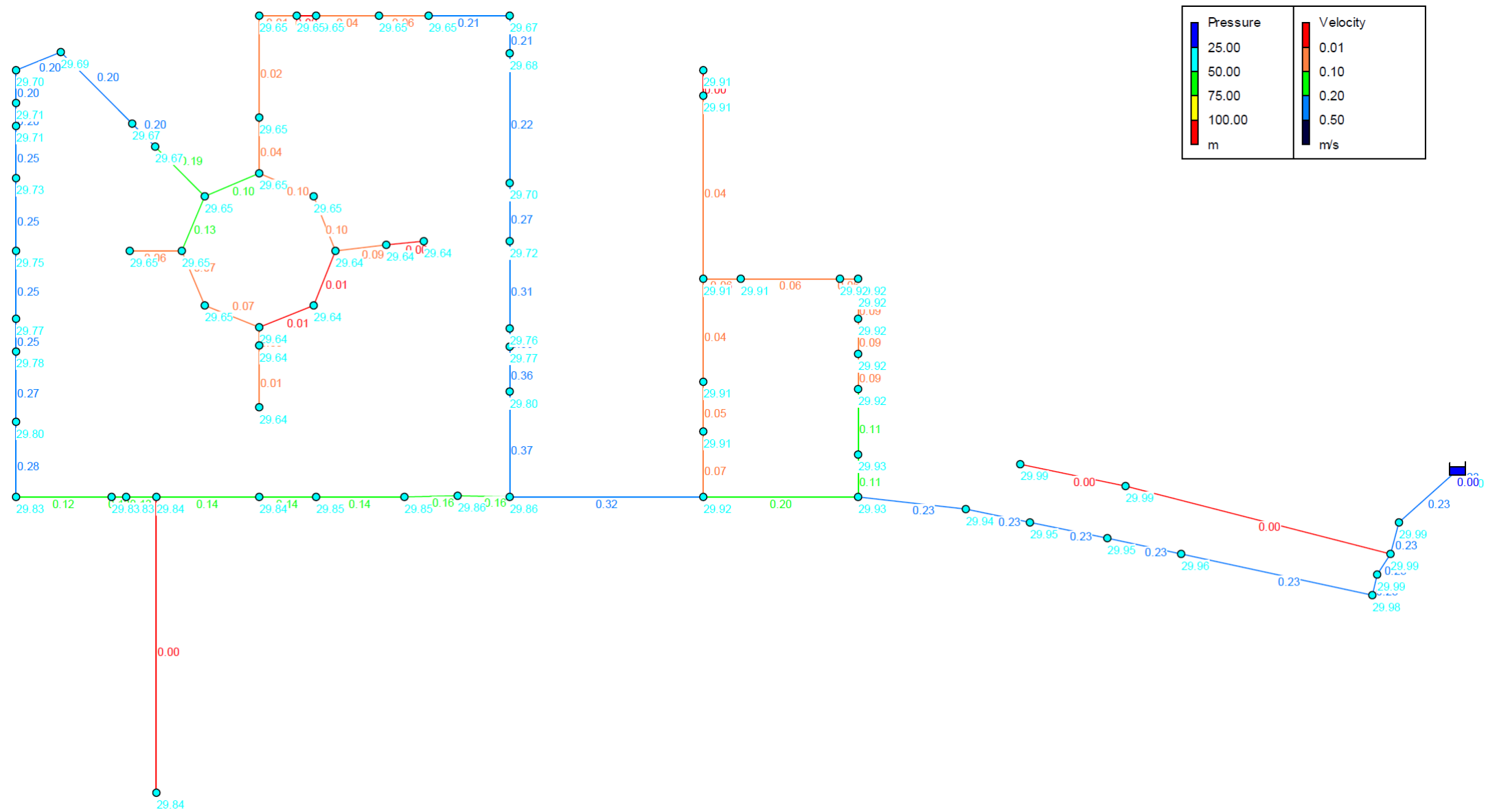
VERIFICA DELLA DEFORMAZIONE		
Angolo di appoggio	°	120
Coefficiente di sottofondo K	-	0,09
Deformazione diametrale del tubo Δd	mm	1,03
Deformazione percentuale δ	%	0,46%
Deformazione massima ammissibile δ_{lim}		2,00%
Verifica positiva		
VERIFICA DI INSTABILITA' ALL'EQUILIBRIO ELASTICO		
Fattore di progettazione F_s	-	2,5
Coefficiente di deformazione differita	-	1
Fattore di spinta idrostatica R_w	-	0,67
Coefficiente empirico supporto elastico B'	-	0,235
Pressione risultante dovuta ai carichi esterni P_{est}	kN/m ²	23,02
VERIFICA A BREVE TERMINE		
Pressione ammissibile di buckling (ANSI AWWA) - Breve termine Q_a	kN/m ²	920,40
Verifica positiva		
VERIFICA A LUNGO TERMINE		
Pressione ammissibile di buckling (ANSI AWWA) - Lungo termine Q_a	kN/m ²	920,40
Verifica positiva		
CALCOLO DEL MASSIMO SFORZO DI TRAZIONE		
Carico piezometrico di esercizio sulla tubazione	mca	50
Peso proprio tubazione	kN/m	0,0898
Calcolo delle tensioni		
Sezione in chiave - estradosso	Mpa	3,13
Sezione sul fianco - estradosso	Mpa	-3,14
Sezione sul fondo - estradosso	Mpa	3,32
Sezione in chiave - intradosso	Mpa	-3,57
Sezione sul fianco - intradosso	Mpa	3,56
Sezione sul fondo - intradosso	Mpa	-3,72
Tensione massima compressione	Mpa	3,56
Tensione massima di trazione	Mpa	-3,72
Tensione massima ammissibile	Mpa	10,00
Verifica positiva		
CALCOLO DELLA REAZIONE LATERALE DEL TERRENO		

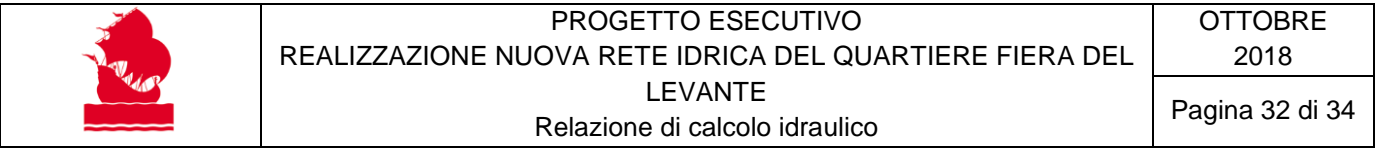
7 ALLEGATI

7.1 RETE IDRICA DI PROGETTO: DIAMETRI

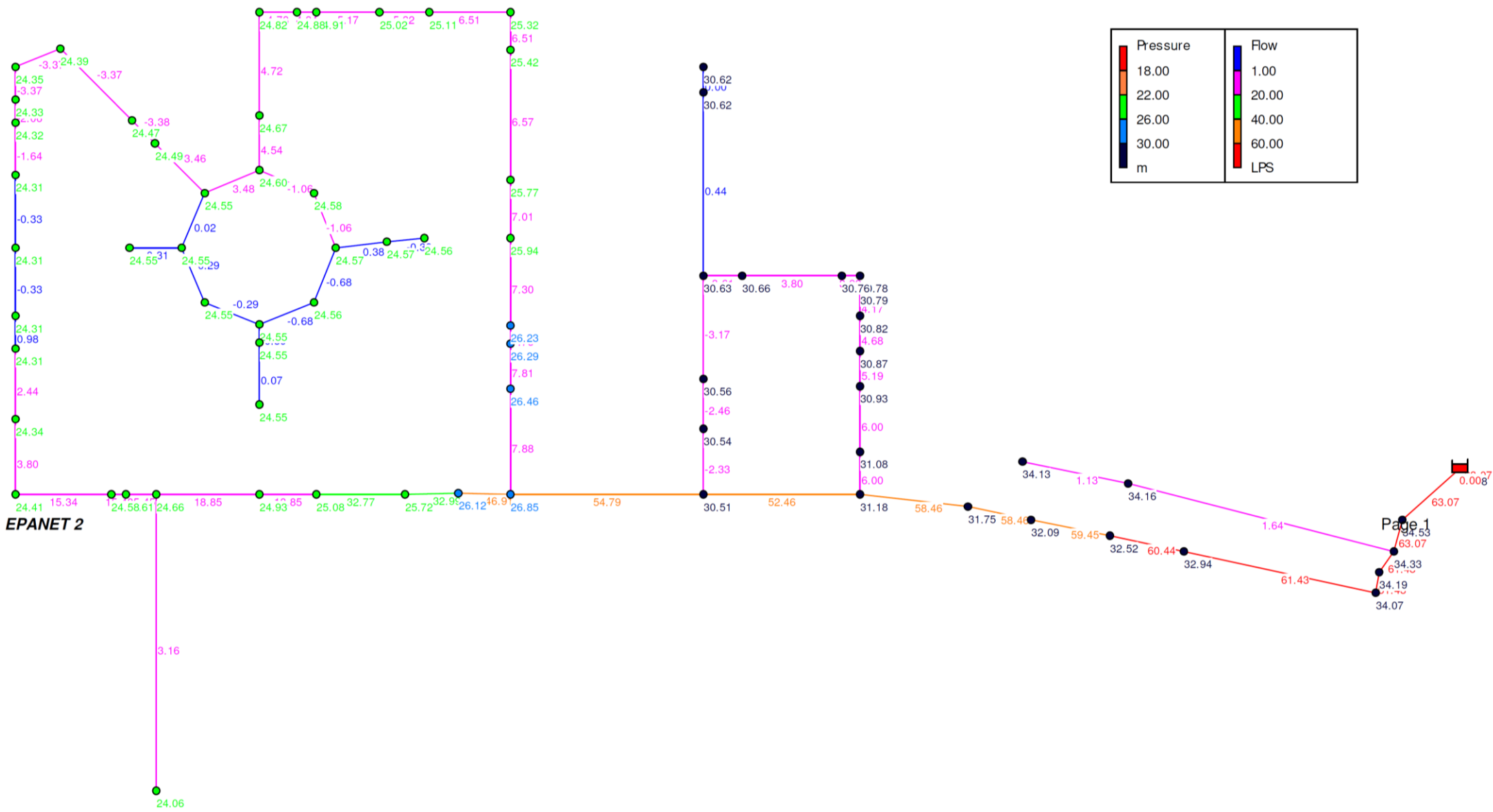


7.2 RETE IDRICA DI PROGETTO: FUNZIONAMENTO ORDINARIO (“FIERA CHIUSA”)



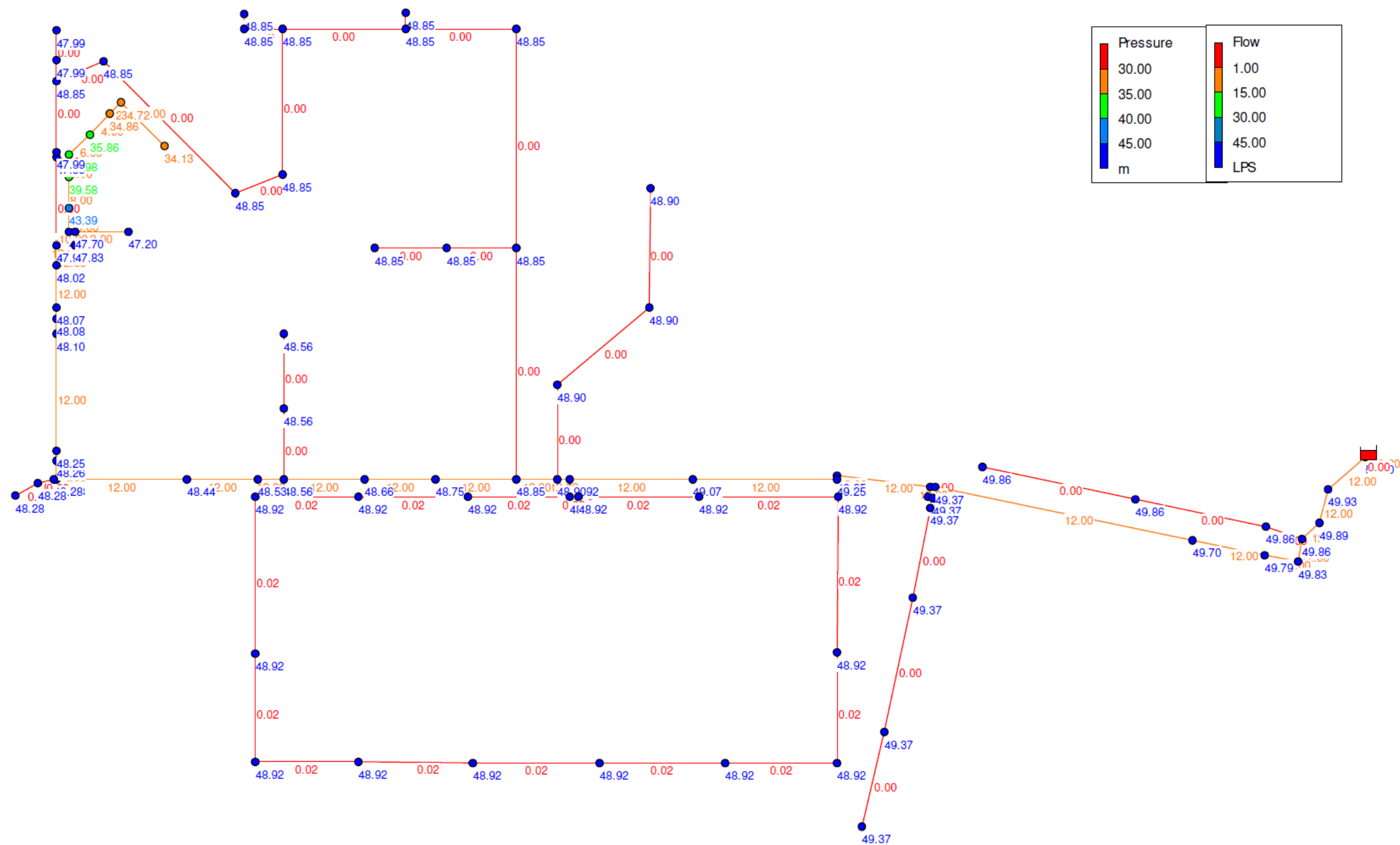


7.3 RETE IDRICA DI PROGETTO: FUNZIONAMENTO STRAORDINARIO (“FIERA APERTA”)

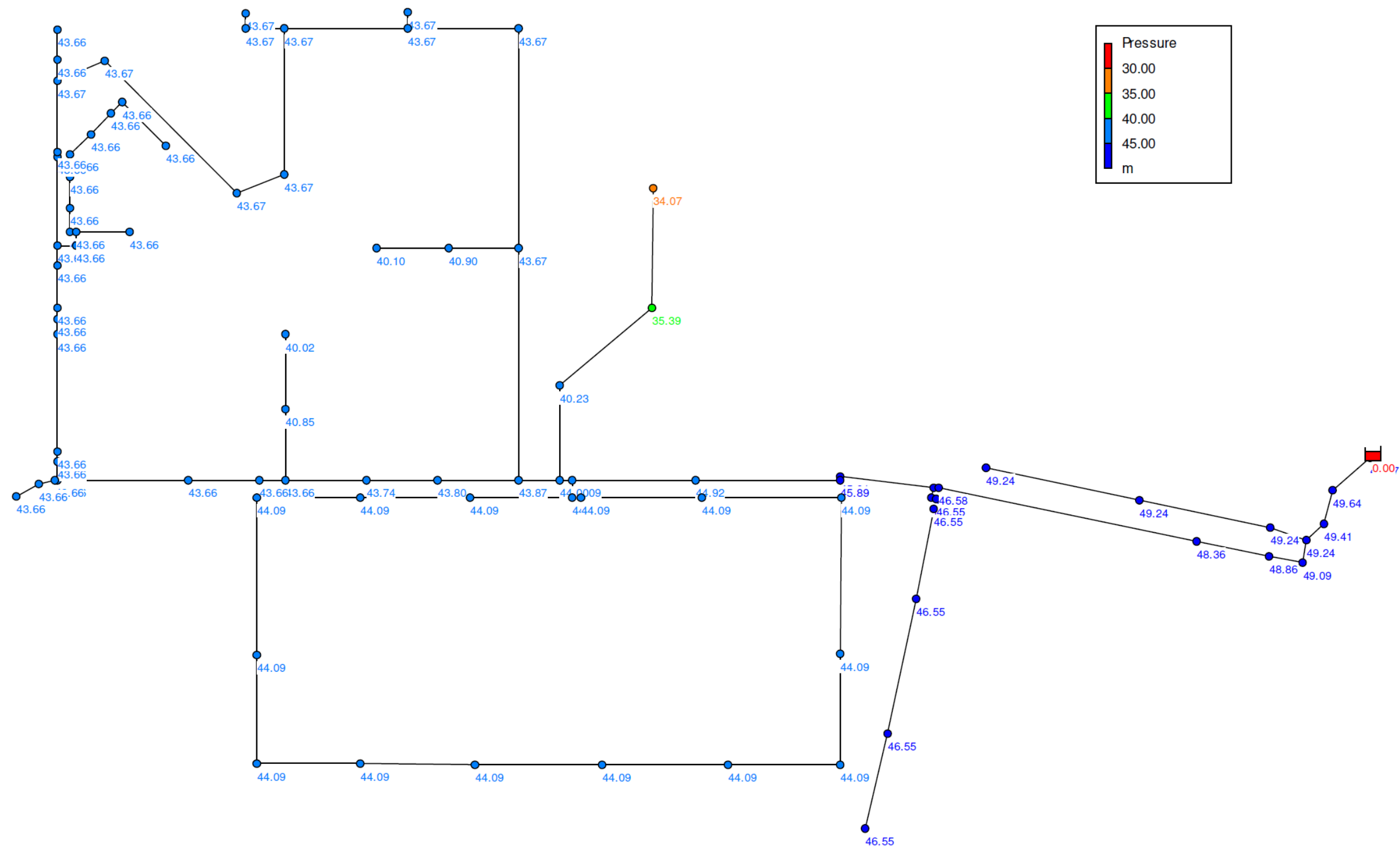




7.4 RETE ANTINCENDIO: VERIFICA RETE EX UNI 10779:2014



Verifica funzionamento contemporaneo n.6 idranti UNI 45 (Incendio zona HUB)



Verifica funzionamento contemporaneo n.6 idranti UNI 70 (Incendio zona Centro Direzionale)