



IMPIANTO DI TELERISCALDAMENTO ALIMENTATO A BIOMASSE (LEGNO VERGINE) A SERVIZIO DELLA FRAZIONE DI VALLOMBROSA NEL COMUNE DI REGGELLO

Progetto Esecutivo

"Relazioni specialistiche e calcoli delle strutture e degli impianti"

DATA

Settembre 2009

PROGETTISTA



Via Roma, 289 – 50012 Bagno a Ripoli (FI)
Tel. 055 209106 – Fax 055 209106
e-mail: info@studiovangi.com

COMMITTENTE



Via XXV Aprile, 10 - 50068 Rufina (FI)
Tel. 055/839661 - Fax 055/8396634
e-mail saf@cm-montagnaflorentina.fi.it



IMPIANTO DI TELERISCALDAMENTO ALIMENTATO A BIOMASSE (LEGNO VERGINE) A SERVIZIO DELLA FRAZIONE DI VALLOMBROSA NEL COMUNE DI REGGELLO

Progetto Esecutivo

Progetto edificio e impiantistica della centrale termica

DATA

Settembre 2009

PROGETTISTA



Via Roma, 289 – 50012 Bagno a Ripoli (FI)
Tel. 055 209106 – Fax 055 209106
e-mail: info@studiovangi.com

COMMITTENTE



Via XXV Aprile, 10 - 50068 Rufina (FI)
Tel. 055/839661 - Fax 055/8396634
e-mail saf@cm-montagnaflorentina.fi.it

RELAZIONE GENERALE SULL'INTERVENTO

Si tratta della realizzazione di un locale interrato per l'alloggiamento di un impianto di teleriscaldamento.

Strutturalmente si tratta di un manufatto completamente in c.a., suddiviso in due locali: uno a pianta rettangolare a copertura piana interrato e l'altro con copertura sempre piana a pianta circolare.

La fondazione consiste in una platea di spessore 30 cm, posata su strato di magrone.

Le pareti sono di spessore cm 30 a contatto con il terreno verrà posta una guaina impermeabilizzante con adeguato pallinato di protezione.

I solai di copertura saranno realizzati con un solaio in predalles con portata utile accidentale di 1000 kg/mq compreso il sovraccarico della copertura per la terra.

MATERIALI

Calcestruzzo

- per magrone Rck 150
- per fondazioni, pareti interrato, travi e cordoli Rck 250

Acciaio

- in barre ad aderenza migliorata Fe b 44 k c.a. per zone sismiche (DM 9.1.96)
- rete elettrosaldata Fe b 44 k per zone sismiche (DM 9.1.96)

RELAZIONE GEOTECNICA

Il terreno interessato non presenta particolarità rilevanti. Dopo una coltre rimaneggiata si trovano un'unica tipologia consistente in drovandi rocciosi e roccia.

Non risultano evidenti fenomeni di instabilità attivi.

Vista la modesta entità delle opere si ricavano i dati geotecnici dalla letteratura corrente prendendo i piu' cautelativi:

$$\varphi = 30^\circ \quad \gamma = 1900 \text{ Kg/mc} \quad \sigma_{\text{amm}} = 1.1 \text{ kg/cmq} \quad \varepsilon = 1$$

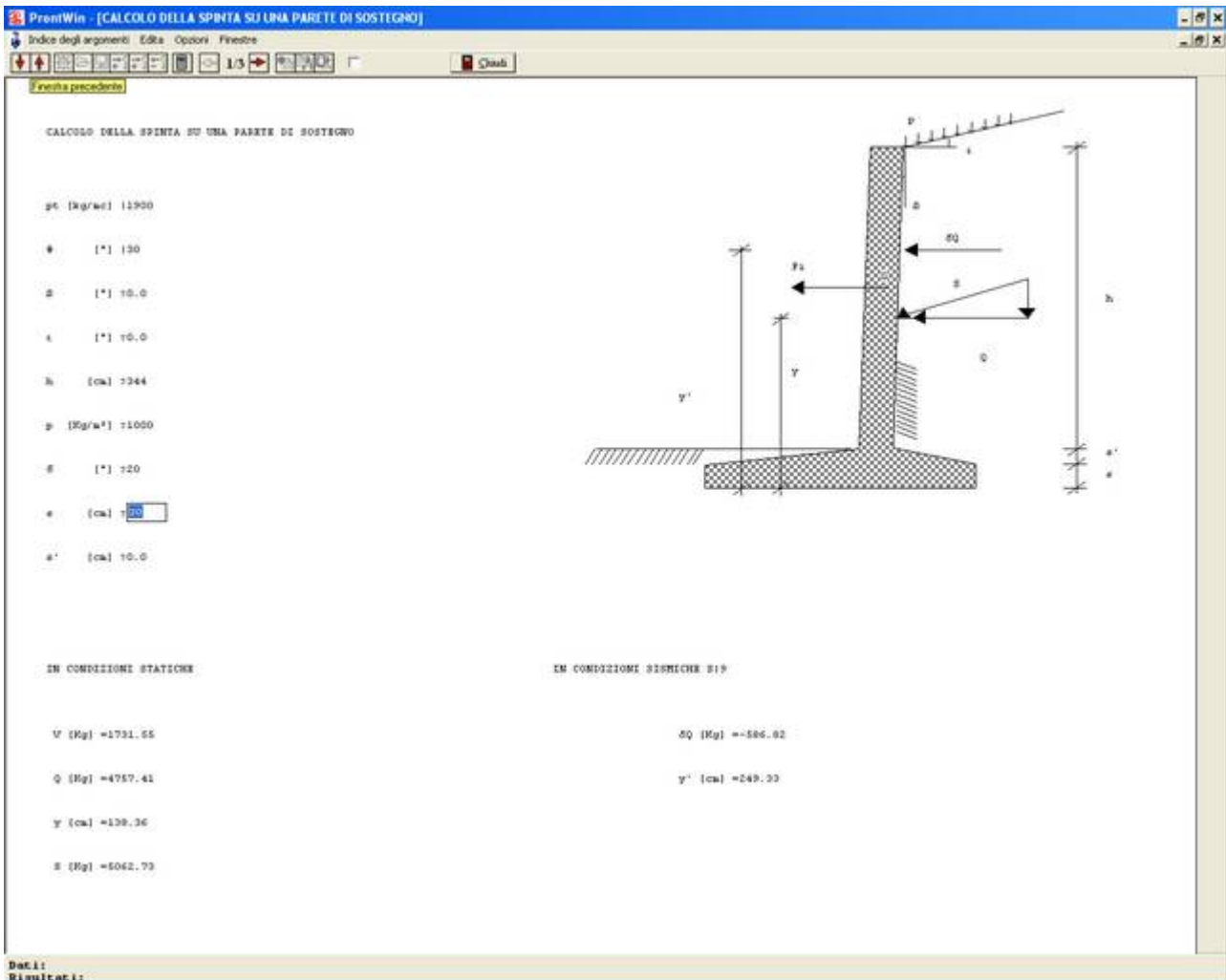
Anche se non risultano falde acquifere nello spessore dell'intervento il manufatto sarà impermeabilizzato con guaina bituminosa. Perimetralmente verrà posto in opera un tubo microfessurato d200 alla base del riempimento in materiale drenante. Le acque raccolte verranno convogliate a valle.

Il tecnico progettista

Si procede alle verifiche degli elementi strutturali

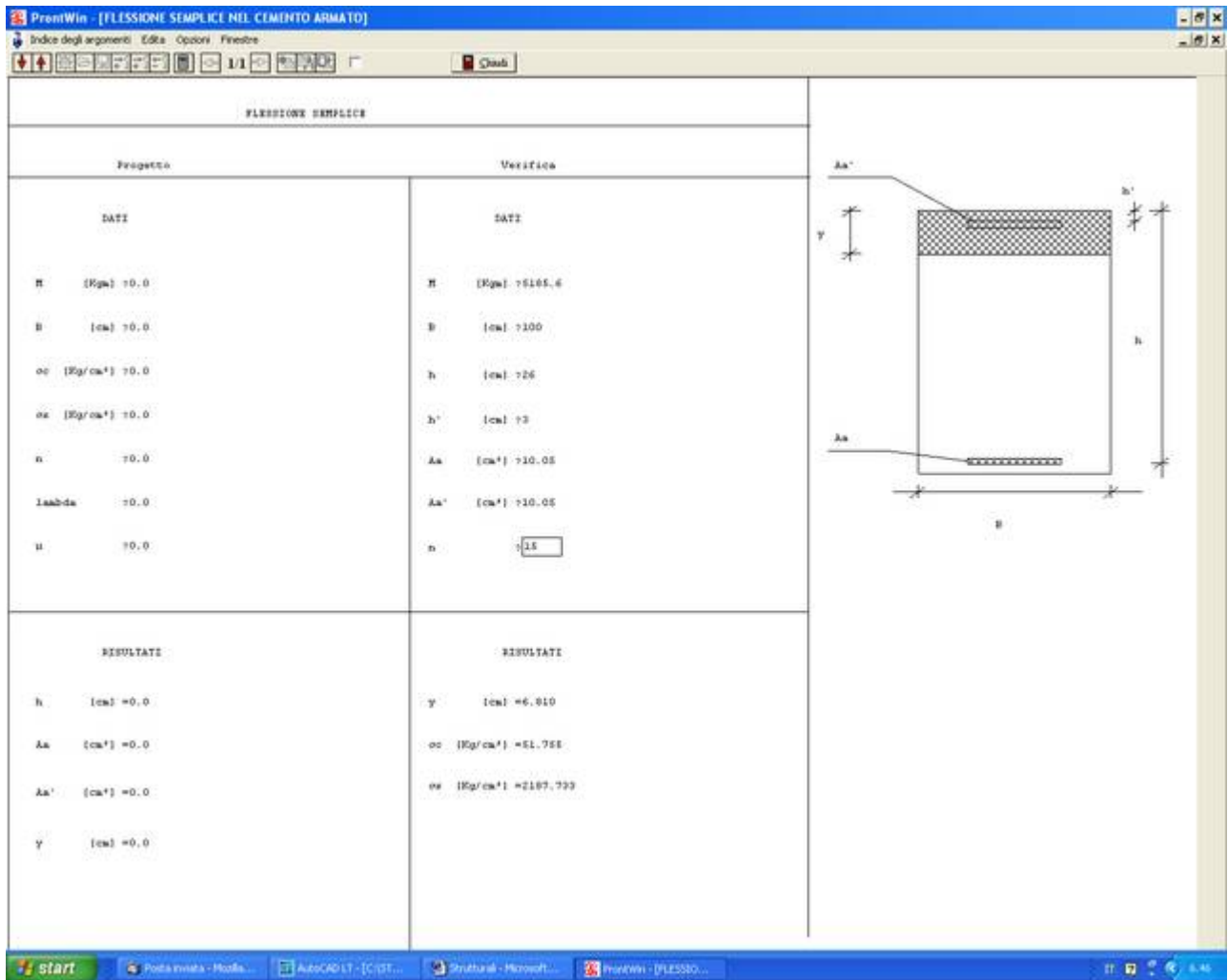
Muro di sostegno esterno, parete contro terra

Si procede con il calcolo della parete nella situazione peggiore nella fase in cui il paramente sostiene il terreno senza il contributo del solaio di copertura. In tale periodo transitorio non si tiene conto del sisma. Tale situazione è quella che massimizza i momenti sollecitanti nella parete



Il momento nella sola fase statica (transitoria) vale $M= 4757,41 \cdot (1,39 - 0,30) \approx 5185,60$ kgm

Verifica della sezione (mensola) di sostegno
 $5+5 \quad D16 \quad A_f = A'_f = 10,05 \text{ cm}^2$



A struttura ultimata la parete controterra del serbatoio cippato è vincolata in sommità, sufficientemente per essere assimilata vincolata con un appoggio fisso. Lo schema statico della parete diviene incastro-appoggio.

Rimanendo fermo il valore delle azioni statiche si determina l'incremento dovuto all'azione sismica (S=9)

$$\delta Q = - 586 \text{ kg}$$

Il momento alla base diminuisce per cui risulta sicuramente verificato.

soffitto in predalles per copertura

- peso proprio.	435 kg/m
- soletta c.a. e tabelloni	100 kg/m
- impermeab., coibente	50 kg/m
- sovracc. Accidentale	1000 kg/m
	$q = 1585 \text{ kg/m}$

Il solaio avrà luce di 8,50 m

La sollecitazione a flessione e':

$$M = ql^2/8 = 14314 \text{ kgm}$$

Solaio RDB 32+8 armatura tipo 2 (VERIFICATO)

Platea di fondazione

La sezione più critica risulta quella all'incastro con la parete in elevazione, nella fase di solo paramento verticale. Il momento della parete è identico a quello che si trasmette alla platea. Pertanto la platea, avendo la stessa dimensione di 30 cm, avrà la medesima armatura, oltre a quella corrente formata da doppia maglia d10 20x20.

Valutazione del carico medio sul terreno

Stima del carico medio

Solaio $9,1 \times 9,1 \times 1585 =$	131253 kg
Pareti $(9,1 + 9,1) \times 3,75 \times 2 \times 0.30$ (medio) $\times 2500$	102375 kg
Carico interno $9,1 \times 9,1 \times 4,3 \times 300$ (tutto pieno)	106825 kg
Fondazione (platea) $9,1 \times 9,1 \times 0.30 \times 2500 =$	<u>62107 kg</u>
	402560 kg

tensione media sul terreno = $402560 / (910 \times 910) = 0.49$ Kg/cm accettabile!!

Il tecnico progettista

Studio Vangio

CALCOLO ESECUTIVO DELL'IMPIANTO MECCANICO

Studio Vangi

1.GENERALITA'

Il presente progetto riguarda la realizzazione di una rete di teleriscaldamento a servizio dell'abitato di Vallombrosa nel comune di Reggello.

Le condizioni di esercizio dei tubi della rete sono :

- Temperatura di esercizio dei tubi di mandata : 80°C con punte di 85°C.
- Temperatura di esercizio del tubo di ritorno: 60°C.

Nella presente relazione di calcolo sono state considerate condizioni di esercizio uniformi per entrambi i tubi (mandata/ritorno) è cioè:

- a) temperatura di esercizio: 80°C
- b) temperatura max di progetto: 85°C
- c) temperatura di picco: 85°C
- d) temperatura minima di progetto: 10°C
- e) temperatura di posa: 20°C

Per quanto riguarda gli altri parametri avremo:

- ⇒ tensione ammissibile dell'acciaio Fe 37 pari a 182 N/mm²
- ⇒ coefficiente di attrito tra sabbia e tubo di protezione in polietilene (PEAD)
 $\mu = 0.35$
- ⇒ K_d = coefficiente di compattamento del terreno = 0.8.
- ⇒ p_e = peso per unità di volume del terreno = 1950 Kg/m³.
- ⇒ PN = pressione nominale = 16bar.

2.TECNICA DI POSA

Le condizioni di esercizio considerate per la rete ($T_{max}=85\text{ °C}$) fanno sì che non ci sia limitazione sulle lunghezze ammissibili per i vari tratti della rete (vedere tabelle al punto 5).

La tecnica di posa adottata è quindi del tubo a compensazione naturale: per l'assorbimento delle dilatazioni dei tubi utilizzeremo materassini soffici in PUR (max 3 materassini da 40 mm per complessivi 120 mm di ingombro), messi in opera nelle zone di cambio direzione.

3.CAMBI DI DIREZIONE

Variazioni di direzione e spigoli vivi rappresentano praticamente le estremità libere della tubazione. Il movimento di dilatazione W_1 della tubazione corrispondente al momento flettente che, rispettivamente, ognuno dei due tratti di tubo, formanti l'angolo di 90° , induce sul tubo ad esso perpendicolare.

Per angoli minori di 90° il movimento trasversale aumenta secondo l'equazione:

$$W_1 = \frac{\Delta l_1}{\text{sen } \alpha} + \frac{\Delta l_2}{\text{tan } \alpha}$$

(α = angolo acuto esterno)

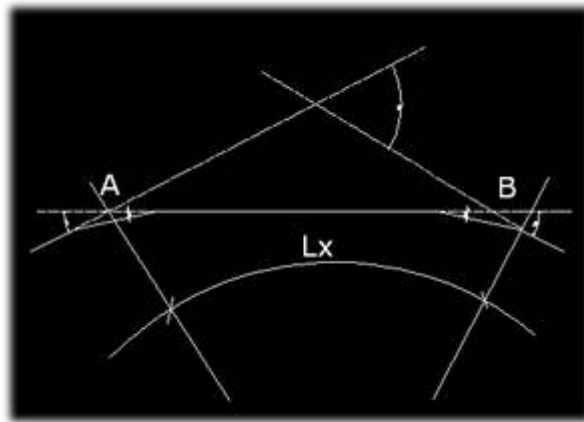
Cambi di direzione a 90° vengono utilizzati per assorbire le dilatazioni con l'ausilio di cuscini in PUR (compensazione naturale).

Con gli angoli inferiori a 45° non è consigliabile assorbire la dilatazione nelle curve per mezzo dei normali cuscini. In questi punti è opportuno costruire un punto fisso in modo che la dilatazione del tubo avvenga all'estremità opposta della tratta, dove si dovrà prevedere una curva a L, a Z, a U o un compensatore per assorbire la dilatazione del tratto $L_{amm}/2$ (L_{amm} è funzione della temperatura di esercizio, del diametro del tubo, del tipo di terreno e della profondità di interrimento: con i nostri valori di temperatura la lunghezza ammissibile è praticamente infinita, come può evincersi dalle tabelle del punto 5.) Il punto fisso impedisce che le tensioni dovute alla dilatazione si scarichino sul punto angoloso.

Questo tipo di soluzione è però sconveniente sia dal punto di vista dei costi che degli ingombri; esiste comunque la possibilità di risolvere il problema in modo più conveniente mediante:

1. trasformazione della curva in una tratta spezzata;
2. flessione elastica della tubazione;
3. ricorso a tubazioni precurvate.

Si è deciso, nel nostro caso, di ricorrere alla soluzione 1, trasformando cioè la curva in una tratta spezzata (con angoli tra i vari segmenti pari a 3°) secondo lo schema:



dove α_{ges} = angolo da realizzare

La trasformazione, effettuata in zona bloccata (dall'attrito), ci consentirà di considerare la tubazione come rettilinea riguardo le sollecitazioni e le dilatazioni; inoltre, come può evincersi dalle tabelle di cui al punto 5, la lunghezza ammissibile di una generica tratta è illimitata per il campo di temperatura considerato ($T_{prog} = 85^\circ C$).

4.PROFILO LONGITUDINALE

Le sollecitazioni che insorgono nei tubi sono proporzionali alla profondità di interramento; il profilo longitudinale della rete è stato quindi disegnato in maniera tale da garantire un ricoprimento delle tubazioni pari a 80 ÷ 90cm.

Tutto questo nell'ottica di una generale riduzione delle sollecitazioni nelle tubazioni ma, soprattutto, di una migliore gestione della rete nel caso di manutenzioni o futuri interventi.

5.CALCOLO DEGLI SPOSTAMENTI E DELLO STATO TENSIONALE DELLA TRATTA IN CASO DI COMPENSAZIONE NATURALE.

Applicando gli algoritmi di calcolo riportati per i diametri di progetto, sono stati calcolati gli spostamenti e lo stato tensionale nei tubi, al variare del ricoprimento del terreno misurato dall'estradosso del tubo al piano finito (h_0).

DN 30

σ_{amm} (N/mm ²)	h_0 (m)	L_{max} (m)	σ (N/mm ²)	δ (mm)	F'_r (N/m)
182		illimitata	175		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		

Dove:

F'_r = sollecitazione per attrito tubo/terreno (N/m)

σ = tensione equivalente nell'acciaio (N/mm²)

δ = spostamento estremità tubo dovuto alla dilatazione (mm)

$\mu = 0.35$

$K_d = 0.8$

$\rho_e = 1950 \text{ Kg/m}^3$

PN 16

$T_{\text{posa}} = 20^\circ\text{C}$

$T_{\text{max}} = 85^\circ\text{C}$.

DN 250

σ_{amm} (N/mm ²)	h_o (m)	L_{max} (m)	σ (N/mm ²)	δ (mm)	F'_r (N/m)
182		illimitata	174		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		

Dove:

F'_r = sollecitazione per attrito tubo/terreno (N/m)

σ = tensione equivalente nell'acciaio (N/mm²)

δ = spostamento estremità tubo dovuto alla dilatazione (mm)

$\mu = 0.35$

$K_d = 0.8$

$\rho_e = 1950 \text{ Kg/m}^3$

PN 16

$T_{\text{posa}} = 20^\circ\text{C}$

$T_{\text{max}} = 85^\circ\text{C}$.

DN 200

σ_{amm} (N/mm ²)	h_o (m)	L_{max} (m)	σ (N/mm ²)	δ (mm)	F'_r (N/m)
182		illimitata	172		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		

Dove:

F'_r = sollecitazione per attrito tubo/terreno (N/m)

σ = tensione equivalente nell'acciaio (N/mm²)

δ = spostamento estremità tubo dovuto alla dilatazione (mm)

$\mu = 0.35$

$K_d = 0.8$

$\rho_e = 1950 \text{ Kg/m}^3$

PN 16

$T_{posa} = 20^\circ\text{C}$

$T_{max} = 85^\circ\text{C}$.

DN 150

σ_{amm} (N/mm ²)	h_o (m)	L_{max} (m)	σ (N/mm ²)	δ (mm)	F'_r (N/m)
182		illimitata	171		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		

Dove:

F'_r = sollecitazione per attrito tubo/terreno (N/m)

σ = tensione equivalente nell'acciaio (N/mm²)

δ = spostamento estremità tubo dovuto alla dilatazione (mm)

$\mu = 0.35$

$K_d = 0.8$

$\rho_e = 1950 \text{ Kg/m}^3$

PN 16

$T_{posa} = 20^\circ\text{C}$

$T_{max} = 85^\circ\text{C}$.

DN 100

σ _{amm} (N/mm ²)	h _o (m)	L _{max} (m)	σ (N/mm ²)	δ (mm)	F' _r (N/m)
182		illimitata	169		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		

Dove:

F'_r = sollecitazione per attrito tubo/terreno (N/m)

σ = tensione equivalente nell'acciaio (N/mm²)

δ = spostamento estremità tubo dovuto alla dilatazione (mm)

μ = 0.35

K_d = 0.8

ρ_e = 1950 Kg/m³

PN 16

T_{posa} = 20°C

T_{max} = 85°C.

DN 80

σ_{amm} (N/mm ²)	h_o (m)	L_{max} (m)	σ (N/mm ²)	δ (mm)	F'_r (N/m)
182		illimitata	168		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		

Dove:

F'_r = sollecitazione per attrito tubo/terreno (N/m)

σ = tensione equivalente nell'acciaio (N/mm²)

δ = spostamento estremità tubo dovuto alla dilatazione (mm)

$\mu = 0.35$

$K_d = 0.8$

$\rho_e = 1950 \text{ Kg/m}^3$

PN 16

$T_{posa} = 20^\circ\text{C}$

$T_{max} = 85^\circ\text{C}$.

DN 65

σ_{amm} (N/mm ²)	h_o (m)	L_{max} (m)	σ (N/mm ²)	δ (mm)	F'_r (N/m)
182		illimitata	167		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		
-		illimitata	-		

Dove:

F'_r = sollecitazione per attrito tubo/terreno (N/m)

σ = tensione equivalente nell'acciaio (N/mm²)

δ = spostamento estremità tubo dovuto alla dilatazione (mm)

$\mu = 0.35$

$K_d = 0.8$

$\rho_e = 1950 \text{ Kg/m}^3$

PN 16

$T_{posa} = 20^\circ\text{C}$

$T_{max} = 85^\circ\text{C}$.

6.SOLLECITAZIONE DI TAGLIO NELLA SCHIUMA DI POLIURETANO RIGIDA.

La resistenza all'attrito della condotta nel terreno produce, in corrispondenza di ogni movimento della stessa, uno sforzo di taglio nella schiuma poliuretanic rigida.

Questa schiuma poliuretanic trasmette al tubo di acciaio la forza di attrito agente sulla superficie esterna del tubo e quindi il massimo sforzo di taglio è localizzato sulla sezione più piccola, cioè sulla superficie di contatto della schiuma rigida con il tubo di acciaio.

Lo sforzo di taglio nella schiuma di poliuretano vale:

$$T_i = \frac{F'_R}{d_s \pi} \quad (\text{N/mm}^2)$$

dove:

F'_R = Forza di attrito per metro di tubo (N/m)

D_s = diametro esterno del tubo di acciaio (mm)

come sforzo massimo, si può ammettere uno sforzo di taglio ammissibile $T_{amm} = 0.04 \text{ N/mm}^2$.

Ne risulta una limitazione alla massima profondità di posa ammissibile:

DN	h_{omax}
20	1.65
25	2.07
32	2.13
40	2.43
50	2.67
65	2.29
80	3.07
100	3.14
125	3.41
150	3.69
175	3.79
200	3.80
225	3.75
250	3.70
300	3.89
350	3.82
400	3.88

7.DEFINIZIONE DELLE QUANTITA' CALCOLATE

Sono state calcolate, per ogni tratta, le seguenti quantità:

$F'_R = [N/m]$ = forza generata dall'attrito tubo esterno/terreno;

$\sigma_{up} [N/mm^2]$ = tensione tangenziale dovuta alla pressione interna;

$\sigma_{lp} [N/mm^2]$ = tensione longitudinale dovuta alla pressione interna;

$l_{ob} [m]$ = lunghezza della tratta in scorrimento al ripetersi del massimo salto termico
(nel nostro caso $85^\circ C \div 10^\circ C$);

$\Delta l_{ob} [mm]$ = deformazione della tratta l_{ob} ;

$l_{ow} [m]$ = lunghezza della zona di scorrimento a T_{max} ;

$\Delta l_{ow} [mm]$ = deformazione della tratta l_{ow} ;

$l_{ok} [m]$ = lunghezza della zona di scorrimento a T_{min} ;

$\Delta l_{ok} [mm]$ = deformazione della tratta l_{ok} ;

$\sigma_{zul} [N/mm^2]$ = tensione ammissibile longitudinale;

$l_{mzul} [m]$ = semi-lunghezza ammissibile della tratta in esame senza pretensionamento;

$l [m]$ = semi-lunghezza della tratta in esame;

$\Delta l_w [mm]$ = deformazione della tratta in esame a T_{max} ;

$\Delta l_b [mm]$ = deformazione massima della tratta al massimo salto termico
($85^\circ C \div 10^\circ C$);

$\Delta l_k [mm]$ = deformazione della tratta a T_{min} ;

$\sigma_{lw} [N/mm^2]$ = tensione longitudinale a T_{max} ;

$\sigma_{lk} [N/mm^2]$ = tensione longitudinale a T_{min} ;

$\sigma_v [N/mm^2]$ = tensione equivalente alla tratta in esame;

$\Delta l_i [mm]$ = massima deformazione della tratta in esame;

DFL [mm] = deformazione in direzione trasversale della tratta in esame.
Ovviamente, per le tratte a compensazione naturale, il Δt sarà pari a 75°C .

ALGORITMI DI RISOLUZIONE

La tensione assiale in un tratto di tubo completamente bloccato vale

$$\sigma_{ax} = \alpha E (T_{max} - T_{min}) \quad [\text{N/mm}^2].$$

La tensione nominale dovuta alla pressione interna sarà

$$\sigma_{up} = 0.5 ((d_s / S_s) - 1) p \quad [\text{N/mm}^2]$$

mentre quella longitudinale sarà pari a :

$$\sigma_{lp} = A_{list} p / A_s \quad [\text{N/mm}^2]$$

dove

$$p = \text{pressione interna} \quad [\text{bar}]$$

$$A_{list} = \text{area interna del tubo di acciaio} = D_{int}^2 \pi / 4 \quad [\text{mm}^2]$$

$$A_s = \text{area dell'acciaio} = (d_e^2 \pi / 4) - A_{list} \quad [\text{mm}^2]$$

$$d_e = \text{diametro esterno del tubo di acciaio} \quad [\text{mm}]$$

$$S_s = \text{spessore del tubo di acciaio} \quad [\text{mm}]$$

La pressione interna genera una dilatazione radiale e una contrazione in senso longitudinale di segno opposto che vale

$$e = (0.5 - n) \sigma_{up} / E$$

$$n = \text{fattore di contrazione trasversale dell'acciaio} = 0.3$$

La lunghezza della zona di scorrimento al ripetersi dei cambi di temperatura è

$$l_{ob} = (\alpha E (T_d - T_{min}) + t) A_s / ((1 + h_{fc}) F'_R \quad [\text{mm}];$$

dove

$$T_d = \text{temperatura di progetto}$$

$$t = \sigma_l - 0.3 \sigma_{up}$$

$$h_{fc} = \text{rapporto caldo /freddo per l'attrito} = 1$$

e

$$F'_R = F'_c + h_o F'_h$$

dove

$$F'_c = \mu g [d_e 2p / 4 K_d \gamma_t + m_v]$$

$$F'_c = \mu g [d_e p. / 2 \gamma_t (1 + K_d)]$$

$$h_o = \text{ricoprimento tubo} \quad [m]$$

$$\gamma_t = \text{peso per unità di volume del terreno} \quad [Kg/m^3]$$

$$\mu = \text{coefficiente di attrito tubo/terreno} = 0.35;$$

$$K_d = \text{coefficiente di compattamento del terreno} = 0.8;$$

$$m_v = \text{peso per metro del tubo} = \\ = A_{list} \gamma_t + A_s \gamma_{st} + A_{pol} \gamma_{pol} + A_m \gamma_m \quad [N/m]$$

$$\gamma_w = \text{peso per unità di volume dell'acqua} \quad [Kg/m^3]$$

$$A_{pol} = \text{area della sezione del poliuretano} \quad [mm^2]$$

$$\gamma_{pol} = \text{peso per unità di volume del poliuretano} \quad [Kg/m^3]$$

$$\gamma_{st} = \text{peso per unità di volume dell' acciaio} \quad [Kg/m^3]$$

$$A_m = \text{area della sezione del tubo esterno in PEAD} \quad [mm^2]$$

$$\gamma_m = \text{peso per unità di volume del tubo in PEAD} \quad [Kg/m^3].$$

La variazione di lunghezza della zona di scorrimento a causa della differenza di temperatura è:

$$\Delta l_{op} = 0.5 (\alpha (T_d - T_{min}) + t / E) l_{ob} \quad [mm].$$

Quando l'espansione è assorbita da una curva in modo naturale, la sollecitazione longitudinale all'estremo libero del tubo è $0.5 \sigma_{up}$, quindi la lunghezza della sezione di scorrimento a T_{max} è:

$$l_{ow} = (\alpha E (T_d - T_{pret}) + t) A_s / F'_R \quad [m]$$

dove

$$T_{pret} = \text{temperatura di pretensionamento} \quad [^\circ C].$$

Il cambio di lunghezza della zona di scorrimento a T_{max} sarà, conseguentemente

$$\Delta l_{low} = 0.5 (\alpha (T_d - T_{pret}) + t / E) l_{ow} \quad [mm].$$

Quando il tubo si raffredda, passando da T_{pret} a T_{min} a pressione atmosferica, la lunghezza a il relativo cambio di lunghezza della sezione di scorrimento valgono rispettivamente:

$$l_{ok} = \alpha E (T_{pret} - T_{min}) A_s / (h_f c F'_R) \quad [m];$$

$$\Delta l_{ok} = -0.5 \alpha (T_{pret} - T_{min}) l_{ok} \quad [\text{mm}].$$

Per le formule che seguiranno è importante considerare l_x , la semi-lunghezza del tratto di tubo considerato (l_1 o l_2 a seconda della sezione considerata) fino al punto fisso naturale; lo scopo è quello di calcolare le quantità:

$$\begin{aligned} \Delta l_w &= \text{cambio di lunghezza a } T_{max} && [\text{mm}]; \\ \Delta l_b &= \text{cambio di lunghezza dovuto alla differenza di temperatura} && [\text{mm}]; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta l_k &= \text{cambio di lunghezza a } T_{min} && [\text{mm}]; \\ \sigma_{lw} &= \text{tensione longitudinale a } T_{max} && [\text{mm}]; \\ \sigma_{lk} &= \text{tensione longitudinale a } T_{min} && [\text{N/mm}^2]; \end{aligned}$$

Ci sono due casi principali e tre sotto-casi possibili:

1. la lunghezza della zona di scorrimento a T_{max} (l_{ow}) è più grande della lunghezza della zona di scorrimento al ripetersi dei cambi di temperatura (l_{ob}):

- a) la semi-lunghezza della sezione (l_x) è più grande di l_{ow} e di l_{ob} :

$$\begin{aligned} \Delta l_b &= \Delta l_{ob}; \\ \Delta l_w &= \Delta l_{ow}; \\ \Delta l_k &= \Delta l_w - \Delta l_b ; \\ \sigma_{lw} &= - (l_{ok} F^2_R / \Delta s - \sigma_{lp}); \\ \sigma_{lk} &= l_{ob} h_{fc} F^2_R / \Delta s; \end{aligned}$$

- a) la semi-lunghezza della sezione (l_x) è più piccola di l_{ow} e di l_{ob} :

$$\begin{aligned} \Delta l_b &= \Delta l_{ob} l_x / l_{ob} (2 - l_x / l_{ob}); \\ \Delta l_w &= \Delta l_{ow} l_x / l_{ow} (2 - l_x / l_{ow}); \\ \Delta l_k &= \Delta l_w - \Delta l_b ; \\ \sigma_{lw} &= - (l_x F^2_R / A_s - \sigma_{lp}); \\ \sigma_{lk} &= l_{ob} h_{fc} F^2_R / A_s; \end{aligned}$$

- b) la semi-lunghezza della sezione (l_x) è più piccola di l_{ow} ma maggiore di l_{ob} :

$$\begin{aligned} \Delta l_b &= \Delta l_{ob}; \\ \Delta l_w &= \Delta l_{ow} - l_x / l_{ow} (2 - l_x / l_{ow}); \\ \Delta l_k &= \Delta l_w - \Delta l_b ; \\ \sigma_{lw} &= - (l_x F^2_R / A_s - \sigma_{lp}); \\ \sigma_{lk} &= l_x h_{fc} F^2_R / A_s; \end{aligned}$$

2. la lunghezza della zona di scorrimento a T_{max} (l_{ow}) è più piccola della lunghezza della zona di scorrimento al ripetersi dei cambi di temperatura (l_{ob}):

a) la semi-lunghezza della sezione (l_x) è più grande di l_{ok} e di l_{ob} :

$$\begin{aligned}\Delta l_b &= \Delta l_{ob}; \\ \Delta l_w &= \Delta l_{ok}; \\ \Delta l_k &= \Delta l_b + \Delta l_k; \\ \sigma_{lw} &= - (l_{ob} F'R / A_s - \sigma_{lp}); \\ \sigma_{lk} &= l_{ok} h_{fc} F'R / A_s;\end{aligned}$$

b) la semi-lunghezza della sezione (l_x) è più piccola di l_{ok} e di l_{ob} :

$$\begin{aligned}\Delta l_b &= \Delta l_{ob} l_x / l_{ob} (2 - l_x / l_{ob}); \\ \Delta l_w &= \Delta l_{ok} l_x / l_{ok} (2 - l_x / l_{ok}); \\ \Delta l_k &= \Delta l_b + \Delta l_k; \\ \sigma_{lw} &= - (l_{ob} F'R / A_s - \sigma_{lp}); \\ \sigma_{lk} &= l_{ok} h_{fc} F'R / A_s;\end{aligned}$$

c) la semi-lunghezza della sezione (l_x) è più piccola di l_{ok} ma maggiore di l_{ob} :

$$\begin{aligned}\Delta l_b &= \Delta l_{ob}; \\ \Delta l_w &= \Delta l_{ok} l_x / l_{ok} (2 - l_x / l_{ok}); \\ \Delta l_k &= \Delta l_b + \Delta l_k; \\ \sigma_{lw} &= - (l_{ob} F'R / A_s - \sigma_{lp}); \\ \sigma_{lk} &= l_x h_{fc} F'R / A_s.\end{aligned}$$

La dilatazione Δl_x della sezione è uguale al valore più grande tra il cambio di lunghezza a T_{max} (Δl_{ow}) e il cambio di lunghezza a T_{min} (Δl_k).

La sollecitazione longitudinale ammissibile è basata su σ_{st} (tensione ammissibile acciaio) e su σ_{up} :

$$\sigma_{lzul} = \sigma_{up} - (\sigma_{st}^2 - 0.75 \sigma_{up}^2)^{1/2}; \quad [N/mm^2];$$

la semi-lunghezza ammissibile senza prepensionamento è invece:

$$l_{lzul} = (\sigma_{lp} - \sigma_{lzul}) A_s / F'R \quad [m];$$

Se l_{lzul} è più grande della lunghezza della zona di scorrimento a T_{max}

(l_{ow}), allora la lunghezza di installazione sarà $2 l_{lzul}$.

La corrispondente tensione equivalente per la sezione è:

$$\sigma_v = (\sigma_{lw}^2 + \sigma_{up}^2 - \sigma_{lw} \sigma_{up})^{1/2}; \quad [N/mm^2];$$

e la massima deflessione per le sezioni, introducendo l'angolo di deflessione d , sarà:

$$W_1 = \Delta l_1 / \sin d + \Delta l_2 / \tan d \quad [mm];$$

$$W_2 = \Delta l_2 / \sin d + \Delta l_1 / \tan d \quad [mm].$$

Per quanto riguarda lo spessore del cuscino, dobbiamo considerare l'angolo di deflessione e l'espansione di entrambe le sezioni:

$$W_d = ((\Delta l_1 / \sin d)^2 + (\Delta l_2 / \tan d)^2)^{1/2}.$$

Lo spessore del cuscino è calcolato come segue:

- se W_1 è più grande di W_d e W_2 , il cuscino è dimensionato secondo W_1 ;
- se W_2 è più grande di W_d e W_1 , il cuscino è dimensionato secondo W_2 ;
- in caso contrario il cuscino è dimensionato secondo W_d .

Il cuscino non può comunque avere spessore superiore a 150mm.

PROGETTO IDRAULICO DELLA RETE DI DISTRIBUZIONE

Studio Vangi

Per il calcolo della rete interna all'abitato si è proceduto al dimensionamento delle condotte e alla successiva verifica idraulica.

E' stata calcolata la potenza termica necessaria in base al Dlgs 192 e successive modifiche.

DIMENSIONAMENTO DELLE CONDOTTE

Nell'allegato 1 è riportato un riepilogo della potenza termica necessaria ad ogni utenza da servire e il calcolo effettuato secondo le procedure sotto riportate.

Possiamo calcolare la portata termica P_i necessaria al ramo *i-simo* della rete come indicato nel foglio di calcolo allegato.

Da P_i possiamo ottenere la portata idraulica:

$$Q_i = P_i / \Delta t \quad (t/h = mc/h)$$

dove $\Delta t = 20^\circ\text{C}$ è il salto termico andata /ritorno e Q_i e' espresso in Mcal/h.

In definitiva

$$Q_i = mc_i \cdot 4.16 \cdot 10^{-7} \quad (mc/s).$$

Nell'allegato 1 sono riportate le portate di progetto per i vari rami della rete.

VERIFICA IDRAULICA

La rete interna all'abitato di Vallombrosa è suddivisa in anelli di trasporto dai quali si staccano la diramazioni a servizio delle utenze.

Ai fini della verifica, le portate effluenti in quest'ultime (portate distribuite lungo il ramo) sono state assunte come erogazioni concentrate nel punto di diramazione.

Sono state effettuate le verifiche per la rete riportate in allegato 1.

METODO DI RISOLUZIONE

Il comportamento di un'area di acquedotto, costituita da N nodi, T lati e M maglie, è governato in condizioni di moto permanente ed in pressione, da un sistema di equazioni che impongono la continuità ai nodi e descrivono il moto nei condotti.

La continuità è imposta dalle N equazioni:

$$(1) \quad f_j(Q) = \sum_i Q_{ij} - q_j = 0, \quad (j = 1, 2, \dots, N)$$

dove Q_{ij} (mc/s) è la portata che fluisce nel lato che connette il nodo i al nodo j (positiva se verso j), q_j (mc/s) la portata erogata al nodo j (negativa se entrante) ed i un indice che percorre l'insieme dei nodi connessi a j .

Il moto nei condotti, assunto uniformemente ed in regime turbolento, è descritto da T equazioni di espressione:

$$(2) \quad f_j(Q, H) = H_i - H_j - \beta_{ij} l_{ij} \frac{Q_{ij}^{ABS}(Q_{ij})}{D_{ij}^5}$$

dove, trascurandosi le perdite di carico concentrate e le variazioni di altezza cinetica, H (m) rappresenta il valore del carico piezometrico ai nodi, β ($m^{-1} s^2$) è il coefficiente di resistenza dimensionale, l (m) la lunghezza del lato e D (m) il diametro del condotto.

Il sistema di equazioni che determina il fenomeno è quindi costituito dalle (1) e dalle (2), che vedono come incognite i vettori Q ed H . In particolare, le (2) non sono lineari nelle portate.

La verifica della rete consiste nel risolvere tale sistema, avendo assegnato il valore delle rimanenti grandezze q , β , l e D .

La risoluzione di tale sistema può ottenersi per via interattiva; noi abbiamo utilizzato un programma di calcolo opportunamente predisposto.

Tale programma ha come principali dati di input :

Le caratteristiche del ramo considerato: nodo di partenza N_p e nodo di arrivo N_a , lunghezza L (m), diametro nominale DN (m), scabrezza eps (m), coefficiente di perdita concentrata csi ;

Le portate ai nodi Q (m³/s);

Il numero dei nodi a carico fisso (nel nostro caso il nodo iniziale);

COMMENTO E VERIFICHE

Dal confronto tra i tabulati dei risultati di nodo relativi alla verifiche si può evincere che la soluzione migliore e' quella riportata nella tabella allegata.

Tali valori garantiscono, anche nell'ipotesi (peggiorativa) di una perdita di carico consistente (4 mca) in centrale, un buon margine per il corretto funzionamento della rete.

Studio Vangi