				◯
				◯
				◯
Prima emissione	A.L.	E.G.	15 dicembre 2011	0
DESCRIZIONE	REDATTO	APPROVATO	DATA	REV.

COMUNI DI DAONE, PRASO e BERSONE
Provincia di Trento

PROGETTO

PROGETTO ESECUTIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO DI TELERISCALDAMENTO A SERVIZIO DEGLI EDIFICI PUBBLICI DEI COMUNI DI PRASO, DAONE E BERSONE - STRALCIO 1

OGGETTO

IMPIANTO DI TELERISCALDAMENTO

TITOLO DELL'ELABORATO

RELAZIONE DI CALCOLO DEGLI IMPIANTI E DELLA RETE

UBICAZIONE

COMUNI DI PRASO, BERSONE E DAONE

COMMITTENTE:

E.S.CO. BIM E COMUNI DEL CHIESE
Via Oreste Baratieri, 11 - 31038 Condino (TN)
Telefono 0465 621048 - Fax 0465 621720
bimchiese@bimchiese.it
ecomuseo@bimchiese.it

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO DI PROFESSIONISTI:

ING. EMANUELE GHELARDI
Via S. D'Acquisto, 40/y
56025 - Pontedera (PI)
tel: 058759229 fax: 058754513
e-mail: info@primetecsrl.it

ING. ALESSANDRO LEONCINI
ING. PAOLO MANNELLI
ING. MARCO GINANNI
P.I. RENZO ANDREINI
ARCH. FABRIZIO CERRAI
GEOM. MAURIZIO MARIOTTI
ING. VITTORIO BARDINI
ING. GIANLUCA BONINI

SCALA: -

FORMATO: A4

NOME FILE: E423/Relazione tecnica di calcolo.doc

Elab. 1-02-E

Sommario

1 PREMESSA 2
2 CRITERI DI PROGETTO 2
3 CALCOLO DEL FABBISOGNO TERMICO 3
4 DIMENSIONAMENTO DEI SILOS DEL CIPPATO 8
5 RETE DI TELERISCALDAMENTO 9
Configurazione della rete 9
Schematizzazione della rete 9
Calcolo delle portate 10
Definizione dei diametri 10
Determinazione delle perdite di carico 16
Pressione massima di esercizio e pressione differenziale 18
Lunghezza e volumetria 19
Verifica dispersioni termiche 25
6 CALCOLO E VERIFICA STRESS MECCANICI E TERMICI 35
Note introduttive 35
Analisi delle tensioni presenti nelle tubazioni preisolate 36
Forza d'attrito fra la tubazione ed il terreno 36
Stato di sforzo nelle tubazioni 37
Lunghezza di scorrimento 39
Calcolo delle dilatazioni nelle curve 41
Tensione risultante 42
Tecnica di posa delle tubazioni 43
Tecnica di progettazione utilizzata 44
Stress analisys 45
APPENDICE A: Elenco dei simboli utilizzati 47
APPENDICE B: Calcolo delle lunghezza massime di posa 48

1 PREMESSA

La presente relazione intende illustrare le modalità di progetto e calcolo per la realizzazione dell'impianto di teleriscaldamento nei comuni di Praso, Daone e Bersone con produzione di calore da cippato.

Le soluzioni tecniche, descritte nella relazione generale di progetto, sono state individuate sulla base dei fabbisogni di calore ricostruiti in riferimento alle volumetrie ed ai dati dei consumi energetici, forniti dai tre Comuni, delle proprie utenze dotate di riscaldamento centralizzato.

Di seguito sono riportate le modalità di progetto e di calcolo del fabbisogno termico, del dimensionamento idraulico e meccanico della rete di teleriscaldamento e del dimensionamento delle sottocentrali di utenza.

2 CRITERI DI PROGETTO

I criteri di base su cui è stato elaborato il presente progetto sono i seguenti:

- Utenza termica allacciabile costituita dagli impianti termici degli edifici pubblici dei comuni di Praso, Daone e Bersone oltre all'allaccio della casa di riposo "Padre Nicolini" nel comune di Pieve di Bono che sarà realizzato in un secondo lotto.
- Potenza termica dell'utenza prevista basata sulle attuali potenze installate, sui dati climatici della località e sulle volumetrie riscaldate;
- Fabbisogno medio di calore calcolato sulla base dei consumi storici di gas e delle relative volumetrie (progetto preliminare)
- Disponibilità della fornitura di energia termica per 365 gg/anno, comprendendo quindi anche la fornitura di calore per produzione di acqua igienico sanitaria nel periodo estivo.

e) Dimensionamento idraulico della rete di teleriscaldamento, considerando:

- Temperatura di mandata su collettore principale = 95°C;
- Temperatura di ritorno su collettore principale= 75°C;
- salto termico mandata/ritorno = 20°C ;
- Temperatura di mandata su rami secondari = 85°C;
- Temperatura di ritorno su rami secondari= 70°C;
- salto termico mandata/ritorno = 15°C ;
- Pressione nominale impianto = 25 bar;

- Salto termico mandata/ritorno su sottocentrale di utenza = 15°C
- Pressione differenziale minima sottocentrale di utenza = 15 m c.a.

3 CALCOLO DEL FABBISOGNO TERMICO

Il calcolo della potenza da installare in centrale parte dalla stima della quantità di calore da fornire alle utenze. Nelle seguenti tabelle vengono riportate le utenze pubbliche da allacciare alle rete di teleriscaldamento, indicate dalle Amministrazioni Comunali, con l'indicazione della potenza attualmente installata nelle rispettive centrali termiche, il metodo di produzione di acqua calda sanitaria e del combustibile attualmente utilizzato.

RIF.	UTENZA	POTENZA INSTALLATA [kW]	PRODUZIONE ACS	COMBUSTIBILE UTILIZZATO
D1	Municipio - via Lunga, 13	210	acc. 200 litri	gasolio
D2	Appartamenti (ex casa poveri) - via S.Bartolomeo	47	istantanea	gasolio
D3	Appartamenti - via Dante	35	istantanea	gasolio
D4	Scuola materna + VV.FF. - via Dante	90	acc. 300 litri	gasolio
D5	Ambulatorio, uffico postale - via Orti	82	no	gasolio
D6	Cooperativa - via Orti	20	no	gasolio
D7	Appartamenti - via Orti	20	istantanea	gasolio
D8	Centro Parco Adamello Brenta - via Praso	88	no	GPL
D9	Associazione teatrale	100	no	gasolio
	TOTALE DAONE	**692**		

Tabella - Utenze di Daone

RIF.	UTENZA	POTENZA INSTALLATA [kW]	PRODUZIONE ACS	COMBUSTIBILE UTILIZZATO
P1	Municipio - piazza S.Pietro, 2	105	acc. 200 lt	gasolio
P2	Impianto sportivo - via maia	35	acc. 800 lt	GPL
P3	Casa Itea - via Roma	40	acc. 200 lt	gasolio
P4	Caserma VV.FF - via G.Prati	63	acc. 200 lt	gasolio
P5	Ex scuola materna - via G.Prati	116	acc. 200 lt	gasolio
P6	Bar - via G.Prati	41	istantanea	GPL

	TOTALE PRASO	**400**

Tabella - Utenze di Praso

RIF.	UTENZA	POTENZA INSTALLATA [kW]	PRODUZIONE ACS	COMBUSTIBILE UTILIZZATO
B1	Municipio - via della Chiesa, 13	105	acc. 200 lt	gasolio
B2	Appartamenti - via Ravizzoli	28	istantanea	gasolio
B3	Casa sociale (1) - via della Chiesa, 4	63	acc. 200 lt	gasolio
B4	Casa sociale (2) - via della Chiesa, 4	63	-	gasolio
B5	Cooperativa - via Trento, 53	24	istantanea	GPL
B6	Appartamenti - via Trento, 53	35	istantanea	GPL
B7	Casa di riposo*	920	acc. 2000 lt	metano
	TOTALE BERSONE	**1.238**		

Tabella - Utenze di Bersone e casa di riposo "Padre Odone Nicolini"

* la casa di riposo non è ubicata nel comune di Bersone, è stata inserita tra queste utenze esclusivamente ai fini del dimensionamento dell'impianto.

Nelle Tabelle seguenti invece è riportato il calcolo della potenza termica da fornire sulla base della volumetria riscaldata (nel seguito P_{vol}), limitatamente alle utenze per cui tale dato è disponibile.

RIF.	UTENZA	VOLUME RISCALDATO [mc]	POTENZA VOLUMETRICA [kW]
D1	Municipio - via Lunga, 13	2725	95,4
D2	Appartamenti (ex casa poveri) - via S.Bartolomeo	1060	37,1
D3	Appartamenti - via Dante	805	28,2
D4	Scuola materna + VV.FF. - via Dante	3410	119,4
D5	Ambulatorio, uffico postale - via Orti	nd	nd
D6	Cooperativa - via Orti	1330	46,6
D7	Appartamenti - via Orti	nd	nd
D8	Centro Parco Adamello Brenta - via Praso	3419	119,7
D9	Associazione teatrale	nd	nd
	TOTALE DAONE		

RIF.	UTENZA	VOLUME RISCALDATO [mc]	POTENZA VOLUMETRICA [kW]
P1	Municipio - piazza S.Pietro, 2	2282	79,9
P2	Impianto sportivo - via maia	300	10,5
P3	Casa Itea - via Roma	1565	54,8
P4	Caserma VV.FF - via G.Prati	nd	nd
P5	Ex scuola materna - via G.Prati	2999	105,0
P6	Bar - via G.Prati	nd	nd
	TOTALE PRASO		

RIF.	UTENZA	VOLUME RISCALDATO [mc]	POTENZA VOLUMETRICA [kW]
B1	Municipio - via della Chiesa, 13	2674	93,6
B2	Appartamenti - via Ravizzoli	688	24,1
B3	Casa sociale (1) - via della Chiesa, 4	1500	52,5
B4	Casa sociale (2) - via della Chiesa, 4	1500	52,5
B5	Cooperativa - via Trento, 53	658	23,0
B6	Appartamenti - via Trento, 53	nd	nd
B7	Casa di riposo	nd	nd
	TOTALE BERSONE		

I fabbisogni delle utenze sono stati pertanto stimati confrontando tra loro:

- la potenza installata (nel seguito P_{inst});
- la potenza termica da fornire sulla base della volumetria riscaldata (nel seguito P_{vol})

In particolare i due valori sono stati confrontati per stabilire la potenza di progetto con il seguente criterio:

- se $P_{inst} > P_{vol}$ o P_{vol} non è disponibile, come valore di potenza di progetto si è considerato l'80% di P_{inst};
- se $P_{inst} < P_{vol}$ si è preso il valor medio tra P_{inst} e P_{vol} come valore di potenza di progetto.

RIF.	UTENZA	POTENZA INSTALLATA [kW]	POTENZA VOLUMETRICA [kW]	POTENZA DI PROGETTO [kW]
D1	Municipio - via Lunga, 13	210	95,4	168
D2	Appartamenti (ex casa poveri) - via S.Bartolomeo	47	37,1	38
D3	Appartamenti - via Dante	35	28,2	28
D4	Scuola materna + VV.FF. - via Dante	90	119,4	105
D5	Ambulatorio, uffico postale - via Orti	82		66
D6	Cooperativa - via Orti	20	46,6	33
D7	Appartamenti - via Orti	20		16
D8	Centro Parco Adamello Brenta - via Praso	88	119,7	104
D9	Associazione teatrale	100		80
	TOTALE DAONE	**692**		**637**

RIF.	UTENZA	POTENZA INSTALLATA [kW]	POTENZA VOLUMETRICA [kW]	POTENZA DI PROGETTO [kW]
P1	Municipio - piazza S.Pietro, 2	105	79,9	84
P2	Impianto sportivo - via maia	35	10,5	28
P3	Casa Itea - via Roma	40	54,8	47
P4	Caserma VV.FF - via G.Prati	63		50
P5	Ex scuola materna - via G.Prati	116	105,0	93
P6	Bar - via G.Prati	41		33
	TOTALE PRASO	**400**		**335**

RIF.	UTENZA	POTENZA INSTALLATA [kW]	POTENZA VOLUMETRICA [kW]	POTENZA DI PROGETTO [kW]
B1	Municipio - via della Chiesa, 13	105	93,6	84
B2	Appartamenti - via Ravizzoli	28	24,1	22
B3	Casa sociale (1) - via della Chiesa, 4	63	52,5	50
B4	Casa sociale (2) - via della Chiesa, 4	63	52,5	50
B5	Cooperativa - via Trento, 53	24	23,0	19
B6	Appartamenti - via Trento, 53	35		28
B7	Casa di riposo	920		736
	TOTALE BERSONE	**1.238**		**990**

TOTALE GENERALE	**2.330**	**1.963**

Il fabbisogno termico di progetto e la potenza attualmente installata sono riassunti nella seguente Tabella, suddivisi per comune:

	n° utenze	fabbisogno termico di progetto [kW]	potenza attualmente installata [kW]
DAONE	9	637	692
PRASO	6	335	400
BERSONE	6	254	318
CASA DI RIPOSO	1	736	920
TOTALE	**22**	**1.963**	**2.330**

Tabella – Fabbisogno termico di progetto e potenza attualmente installata

Per calcolare la potenzialità da installare in centrale termica, e scegliere di conseguenza la taglia delle caldaie è stato necessario tener conto di alcuni ulteriori fattori:

1) La potenza richiesta per la produzione di acs non è direttamente calcolabile sulla base delle potenze e dei bollitori attualmenti installati nelle centrali termiche delle utenze, perché dipende dalle contemporaneità di utilizzo. Tuttavia date le caratteristiche delle utenze e sulla base di considerazioni statistiche desunte da impianti simili si può stimare un aumento del fabbisogno termico di progetto per la produzione di acs pari al 10% pari a circa **200 kW**.

2) Le perdite di calore che inevitabilmente si hanno nelle tubazioni adibite al trasporto del fluido caldo. Tali perdite sono funzione del diametro del tubo, della temperatura del terreno e delle temperature di mandata e ritorno. Tali perdite ammontano complessivamente a circa **250 kW,** per il calcolo analitico delle perdite di calore è riportato dettagliatamente in un successivo capitolo della presente relazione.

3) il coefficiente di contemporaneità, un parametro mediante il quale si tiene conto della non simultaneità degli utilizzi del servizio: infatti, la potenza richiesta non è mai quella corrispondente alla somma algebrica dei singoli fabbisogni termici di ciascuna utenza, ma è una frazione di tale valore. Per il numero di utenze che saranno allacciate ed il loro utilizzo è cautelativo considerare un fattore di contemporaneità pari al **100%**.

4) E' necessario infine considerare una certa potenza di riserva per l'eventuale allaccio futuro di ulteriori utenze pubbliche. Si ritiene cautelativo considerare un coefficiente maggiorativo del fabbisogno termico di progetto del **5%** .

Tenendo in considerazione i fattori di cui sopra la potenzialità da installare in centrale termica è stata assunta pari a **2.550 kW.**

4 DIMENSIONAMENTO DEI SILOS DEL CIPPATO

Il volume utile del silo deve contenere il combustibile necessario per il funzionamento per il periodo che intercorre fra una fornitura e quella successiva. Tale volume deve essere determinato in funzione del consumo durante tale periodo di tempo, calcolato nelle condizioni di massimo carico termico medio effettivo secondo la formula:

$$V = (E * N * a) / (Hv * \eta)$$

I parametri di progettazione per il dimensionamento del volume dei silos ed i risultati ottenuti sono riportati nella tabella seguente:

DIMENSIONAMENTO DEI SILOS CIPPATO		
	Caldaia da 1700 kW	Caldaia da 850 kW
E = energia utile giornaliera massima [kWh/giorno]	18.700	9.350
η = rendimento utile medio del periodo	1	1

N = numero di giorni intercorrenti fra due rifornimenti [giorni]	10	10
Hv = potere calorifico riferito al volume del combustibile [kWh/m3]	896	896
V = volume minimo del silo [m3]	246	123

5 RETE DI TELERISCALDAMENTO

Configurazione della rete

La rete di distribuzione è costituita da tubi in acciaio preisolati con schiuma poliuretanica e rivestimento in PEAD, per trasporto di fluidi per la distribuzione dell'energia termica, realizzati secondo la normativa UNI EN 253, ed è stata calcolata secondo la normativa UNI EN 13941.
Per la specifica e le caratteristiche tecniche delle tubazioni impiegate si rimanda al capitolato speciale d'appalto. Occorre evidenziare, che, su richiesta del Committente, l'intera rete di distribuzione del calore è stata dimensionata in modo da poter distribuire una potenza termica massima di circa 3,5 MW, mantenendo la rete ad un dimensionamento di pressione PN25. Tale dimensionamento permetterà di coprire eventuali aumenti dei fabbisogni termici derivanti da un possibile ampliamento futuro dell'impianto. II tracciato delle tubazioni è riportato nella planimetria e tavole allegate.
La verifica fluidodinamica della rete per il trasporto e la distribuzione del calore nella configurazione di saturazione dell'utenza è stata appunto effettuata per le condizioni di esercizio invernali di punta, nel rispetto delle seguenti ipotesi di progetto:
- assicurare alla rete una capacità di trasporto e distribuzione del calore tale da soddisfare il massimo carico termico di dimensionamento pari a 3.500 kW con un coefficiente di contemporaneità cautelativo pari ad 1;
- contenere la pressione massima in rete entro valori compatibili con l'impiego di componenti in esecuzione PN25.

Schematizzazione della rete

Ai fini della verifica idraulica, la rete di distribuzione è stata schematizzata in nodi e tronchi di

rete con i relativi diametri tramite la suddivisione della rete in tronchi e nodi.
Ogni utente assorbe una portata d'acqua dipendente dalla potenza termica richiesta dalla propria sottostazione d'utenza.

Calcolo delle portate

Il calcolo delle portate d'acqua, immesse in rete dalla centrale di produzione ed erogate ai singoli nodi, è stata effettuata con riferimento alla seguente ipotesi :
Per il collettore principale di trasporto dalla centrale termica alla centrale di rilancio:

- temperatura di mandata alle utenze : 95 °C
- temperatura di ritorno dalle utenze : 75 °C

Per i rami di distribuzione di Bersone e Daone:

- temperatura di mandata alle utenze : 85 °C
- temperatura di ritorno dalle utenze : 70 °C

L'assegnazione a ciascuno stacco d'utenza della portata d'acqua erogata è stata effettuata tenendo presente la singola potenza, il salto di temperatura ed il calore ed il volume specifici dell'acqua secondo la formula:

$$Q = \frac{P}{c_s \cdot \Delta T} \cdot V_s$$

In cui:

- P = potenza termica assorbita dall'utenza in kW
- Cs = calore specifico dell'acqua assunto costante e pari a 4,187 [kJ/kg°C]
- ΔT = salto termico fra mandata e ritorno [°C]
- V_s = volume specifico dell'acqua assunto costante e pari a 1,035 [lt/kg] a 85°C

Definizione dei diametri

Per la definizione dei diametri delle tubazioni si è imposta una velocità massima del fluido pari a 1,3 m/s, cui corrispondono delle cadenti piezometriche non superiori a 10 m c.a./km (almeno nei diametri delle condotte principali).

Questi valori vengono normalmente adottati per il dimensionamento di reti di teleriscaldamento per l'ottimizzazione economica tra il costo della rete ed il costo dell'energia elettrica per il pompaggio.
Nelle pagine seguenti sono riportati i risultati del dimensionamento idraulico di tutta la rete, compresi gli allacciamenti.

Collettore principale da centrale CT-1 a nodo D

Potenza	3.010.000	kCal/h	=	3.500	kW
Temperatura mandata	95	°C			
Temperatura ritorno	75	°C			
Salto termico	20	°C			
Portata	150,5	mc/h	=	0,042	mc/s
velocità del fluido	1,3	m/s			
Diametro tubazione	**202**	**mm**	=	**200**	**DN**

Stacco impianto sportivo Praso - da nodo A a utenza P2

Potenza	30.100	kCal/h	=	35	kW
Temperatura mandata	95	°C			
Temperatura ritorno	75	°C			
Salto termico	20	°C			
Portata	1,505	mc/h	=	0,000	mc/s
velocità del fluido	1,3	m/s			
Diametro tubazione	**20**	**mm**	=	**32**	**DN**

Stacco caserma VV.FF - da nodo B a utenze P4, P5, P6

Potenza	189.200	kCal/h	=	220	kW
Temperatura mandata	95	°C			
Temperatura ritorno	75	°C			
Salto termico	20	°C			
Portata	9,46	mc/h	=	0,003	mc/s
velocità del fluido	1,3	m/s			
Diametro tubazione	**51**	**mm**	=	**50**	**DN**

Stacco municipio di Praso - da nodo C a utenza P1

Potenza	90.300	kCal/h	=	105	kW
Temperatura mandata	95	°C			
Temperatura ritorno	75	°C			
Salto termico	20	°C			
Portata	4,5	mc/h	=	0,001	mc/s
velocità del fluido	1,3	m/s			

Diametro tubazione	**35**	**mm**	=	**40**	**DN**
Stacco casa Itea - da nodo D a utenza P3					
Potenza	34.400	kCal/h	=	40	kW
Temperatura mandata	95	°C			
Temperatura ritorno	75	°C			
Salto termico	20	°C			
Portata	1,7	mc/h	=	0,000	mc/s
velocità del fluido	1,3	m/s			
Diametro tubazione	**22**	**mm**	=	**32**	**DN**
Collettore principale da nodo D a centrale CT-2					
Potenza	2.408.000	kCal/h	=	2.800	kW
Temperatura mandata	95	°C			
Temperatura ritorno	75	°C			
Salto termico	20	°C			
Portata	120,4	mc/h	=	0,033	mc/s
velocità del fluido	1,3	m/s			
Diametro tubazione	**181**	**mm**	=	**200**	**DN**
Tubazione da centrale CT-2 a nodo H					
Potenza	1.290.000	kCal/h	=	1.500	kW
Temperatura mandata	85	°C			
Temperatura ritorno	70	°C			
Salto termico	15	°C			
Portata	86	mc/h	=	0,024	mc/s
velocità del fluido	1,3	m/s			
Diametro tubazione	**153**	**mm**	=	**150**	**DN**
Stacco municipo Bersone - da nodo E a utenza B1					
Potenza	90.300	kCal/h	=	105	kW
Temperatura mandata	85	°C			
Temperatura ritorno	70	°C			
Salto termico	15	°C			
Portata	6,02	mc/h	=	0,002	mc/s
velocità del fluido	1,3	m/s			
Diametro tubazione	**40**	**mm**	=	**40**	**DN**
Stacco casa sociale - da nodo F a utenze B3 e B4					
Potenza	111.800	kCal/h	=	130	kW
Temperatura mandata	85	°C			

Temperatura ritorno	70	°C			
Salto termico	15	°C			
Portata	7,5	mc/h	=	0,002	mc/s
velocità del fluido	1,3	m/s			
Diametro tubazione	**45**	**mm**	=	**40**	**DN**

Stacco cooperativa - da nodo G a utenze B5 e B6

Potenza	51.600	kCal/h	=	60	kW
Temperatura mandata	85	°C			
Temperatura ritorno	70	°C			
Salto termico	15	°C			
Portata	3,44	mc/h	=	0,001	mc/s
velocità del fluido	1,3	m/s			
Diametro tubazione	**31**	**mm**	=	**32**	**DN**

Tubazione da nodo H a casa di riposo (utenza B7)

Potenza	860.000	kCal/h	=	1.000	kW
Temperatura mandata	85	°C			
Temperatura ritorno	70	°C			
Salto termico	15	°C			
Portata	57,3	mc/h	=	0,016	mc/s
velocità del fluido	1,3	m/s			
Diametro tubazione	**125**	**mm**	=	**125**	**DN**

Tubazione da centrale CT-2 a nodo L

Potenza	1.118.000	kCal/h	=	1.300	kW
Temperatura mandata	85	°C			
Temperatura ritorno	70	°C			
Salto termico	15	°C			
Portata	74,5	mc/h	=	0,021	mc/s
velocità del fluido	1,3	m/s			
Diametro tubazione	**142**	**mm**	=	**150**	**DN**

Stacco appartamenti via Ravizzoli - da nodo I a utenza B2

Potenza	25.800	kCal/h	=	30	kW
Temperatura mandata	85	°C			
Temperatura ritorno	70	°C			
Salto termico	15	°C			
Portata	1,72	mc/h	=	0,000	mc/s
velocità del fluido	1,3	m/s			
Diametro tubazione	**22**	**mm**	=	**32**	**DN**

Tubazione da nodo L a nodo M

Potenza	559.000	kCal/h	=	650	kW
Temperatura mandata	85	°C			
Temperatura ritorno	70	°C			
Salto termico	15	°C			
Portata	37,3	mc/h	=	0,010	mc/s
velocità del fluido	1,3	m/s			
Diametro tubazione	**101**	**mm**	=	**100**	**DN**

Stacco associazione teatrale - da nodo N a utenza D9

Potenza	86.000	kCal/h	=	100	kW
Temperatura mandata	85	°C			
Temperatura ritorno	70	°C			
Salto termico	15	°C			
Portata	5,7	mc/h	=	0,002	mc/s
velocità del fluido	1,3	m/s			
Diametro tubazione	**40**	**mm**	=	**40**	**DN**

Stacco cooperativa via Orti - da nodo M a utenze D5 e D6

Potenza	86.000	kCal/h	=	100	kW
Temperatura mandata	85	°C			
Temperatura ritorno	70	°C			
Salto termico	15	°C			
Portata	5,7	mc/h	=	0,002	mc/s
velocità del fluido	1,3	m/s			
Diametro tubazione	**40**	**mm**	=	**40**	**DN**

Tubazione da nodo L a nodo O

Potenza	559.000	kCal/h	=	650	kW
Temperatura mandata	85	°C			
Temperatura ritorno	70	°C			
Salto termico	15	°C			
Portata	37,3	mc/h	=	0,010	mc/s
velocità del fluido	1,3	m/s			
Diametro tubazione	**101**	**mm**	=	**100**	**DN**

Stacco centro Parco Adamello Brenta - da nodo P a utenza D8

Potenza	77.400	kCal/h	=	90	kW
Temperatura mandata	85	°C			
Temperatura ritorno	70	°C			

Salto termico	15	°C			
Portata	5,2	mc/h	=	0,001	mc/s
velocità del fluido	1,3	m/s			
Diametro tubazione	**37**	**mm**	=	**40**	**DN**

Stacco Municipio Daone - da nodo Q a utenza D1

Potenza	176.300	kCal/h	=	205	kW
Temperatura mandata	85	°C			
Temperatura ritorno	70	°C			
Salto termico	15	°C			
Portata	11,8	mc/h	=	0,003	mc/s
velocità del fluido	1,3	m/s			
Diametro tubazione	**57**	**mm**	=	**50**	**DN**

Stacco appartamenti via San Bartolomeo - da nodo R a utenza D2

Potenza	176.300	kCal/h	=	50	kW
Temperatura mandata	85	°C			
Temperatura ritorno	70	°C			
Salto termico	15	°C			
Portata	2,9	mc/h	=	0,001	mc/s
velocità del fluido	1,3	m/s			
Diametro tubazione	**28**	**mm**	=	**32**	**DN**

Stacco scuola materna e VV.FF. - da nodo S a utenza D4

Potenza	77.400	kCal/h	=	90	kW
Temperatura mandata	85	°C			
Temperatura ritorno	70	°C			
Salto termico	15	°C			
Portata	5,2	mc/h	=	0,001	mc/s
velocità del fluido	1,3	m/s			
Diametro tubazione	**37**	**mm**	=	**40**	**DN**

Stacco appartamenti via Dante - da nodo O a utenza D3

Potenza	25.800	kCal/h	=	30	kW
Temperatura mandata	85	°C			
Temperatura ritorno	70	°C			
Salto termico	15	°C			
Portata	1,7	mc/h	=	0,000	mc/s
velocità del fluido	1,3	m/s			
Diametro tubazione	**22**	**mm**	=	**32**	**DN**

Determinazione delle perdite di carico

Per calcolare la perdite di carico lineari, è stata usata la formula del moto uniforme dell'acqua nelle condotte circolari:

$$\frac{\Delta h}{l} = i = \beta_r \cdot \frac{Q^2}{di^5}$$

In cui:

- i = perdita di carico lineare [m c.a.]
- β_r = parametro funzione del coefficiente di scabrezza della tubazione [$m^{-1} \cdot s^2$]
- Q = portata [mc/sec]
- di = diamentro interno tubazione in acciaio [mm]

Per determinare β_r è stata usata la formula di Gauckler-Strickler:

$$\beta_r = \frac{10{,}3}{C^2 \cdot di^{1/3}} \quad [m^{-1} \cdot s^2]$$

In cui:

C = 120 $m^{0.33} / s^{-1}$

Per tenere conto, in fase di progetto, delle perdite di carico localizzate (curve, riduzioni, tee, ecc.) e dell'usura delle tubazioni, la caduta di pressione sopra calcolata è stata maggiorata, con un coefficiente peggiorativo, del 30%.
La lunghezza dei tratti è stata misurata su base cartografica, aumentata del 5% per tenere conto dei cambi di direzione e della pendenza.
Dato che le perdite di carico localizzate sono date prevalentemente dal numero di curve che saranno realizzate lungo la rete, la fase di realizzazione della rete sarà controllata in modo da non superare la suddetta previsione.

Nelle pagine successive sono riportati i risultati del calcolo delle perdite di carico nel collettore principale e nei rami sfavoriti dei due circuiti di distribuzione di Bersone e Daone.

Collettore principale da centrale CT-1 a nodo D

Portata	150,5	mc/h
Diametro nominale	200	
Diametro interno	210,1	mm
velocità del fluido	1,2	m/s
perdite di carico unitarie	55	Pa/m
lunghezza tubazione a/r	1890	m
perdite di carico	103950	Pa

Collettore principale da nodo D a centrale CT-2

Portata	120,4	mc/h
Diametro nominale	200	
Diametro interno	210,1	mm
velocità del fluido	1,0	
perdite di carico unitarie	40	Pa/m
lunghezza tubazione a/r	2330	m
perdite di carico	93200	Pa

Perdita di carico totale da CT-1 a CT-2	**197150**	**Pa**	**=**	**19,5**	**m**

Tubazione da centrale CT-2 a nodo H

Portata	86	mc/h
Diametro nominale	150	
Diametro interno	160,3	mm
velocità del fluido	1,2	
perdite di carico unitarie	75	Pa/m
lunghezza tubazione a/r	1398	m
perdite di carico	104850	Pa

Tubazione da nodo H a casa di riposo (utenza B7)

Portata	57,33333	mc/h
Diametro nominale	125	
Diametro interno	132,5	mm
velocità del fluido	1,2	
perdite di carico unitarie	95	Pa/m
lunghezza tubazione a/r	2297	m
perdite di carico	218215	Pa

Perdita di carico totale da CT-2 a utenza B7	**323065**	**Pa**	**=**	**31,9**	**m**

Tubazione da centrale CT-2 a nodo L

Portata	74,5	mc/h
Diametro nominale	150	
Diametro interno	160,3	mm
velocità del fluido	1,0	
perdite di carico unitarie	55	Pa/m
lunghezza tubazione a/r	3125	m
perdite di carico	171875	Pa

Tubazione da nodo L a nodo S

Portata	37,3	mc/h
Diametro nominale	100	
Diametro interno	107,1	mm
velocità del fluido	1,1	
perdite di carico unitarie	110	Pa/m
lunghezza tubazione a/r	825	m
perdite di carico	90750	Pa

Stacco scuola materna e VV.FF. - da nodo S a utenza D4

Portata	5,2	mc/h
Diametro nominale	40	
Diametro interno	43,1	mm
velocità del fluido	1,0	
perdite di carico unitarie	300	Pa/m
lunghezza tubazione a/r	142	m
perdite di carico	42600	Pa

Perdita di carico totale da CT-2 a utenza D4	**305225**	**Pa**	**=**	**30,1**	**m**

Pressione massima di esercizio e pressione differenziale

La pressione che si instaura in un punto generico di un impianto di riscaldamento a circuito chiuso dipende:

- dal posizionamento del gruppo di pompaggio e del vaso di espansione;

- dall'altezza geodetica rispetto al punto più basso del circuito;
- dalla pressione di carica del vaso di espansione;
- dalle perdite di carico;
- dalla pressione differenziale da garantire allo stacco d'utenza idraulicamente più sfavorito.

Ai fini del calcolo delle pressioni disponibili ai nodi sulla mandata della rete, i parametri indicati al punto precedente sono stati così considerati :

- posizionamento pompe e vaso di espansione: le pompe sono state posizionate sulla mandata dei rispettivi circuiti mentre i vasi d'espansione sul ritorno;
- perdite di carico: per quanto concerne la rete, queste sono state calcolate come precedentemente descritto.
- pressione differenziale: allo stacco d'utenza idraulicamente più sfavorito, al fine di garantire un adeguato esercizio delle sottocentrali di scambio termico, è stata attribuita una pressione differenziale cautelativa di 15 m di colonna d'acqua.

Dal calcolo fluidodinamico si ricavano i seguenti risultati per le pressioni differenziali massime richieste in centrale termica ed in centrale di rilancio, dalle dorsali di distribuzione, dagli allacciamenti e sottocentrali d'utenza, in condizioni di punta con contemporaneità pari ad 1.

- Collettore principale di trasporto: 50 m c.a.
- Ramo di distribuzione di Bersone: 60 m c.a.
- Ramo di distribuzione di Daone: 60 m c.a.

Tali valori permettono di mantenere con opportuno margine di sicurezza la pressione massima assoluta al di sotto del dimensionamento PN25.

Lunghezza e volumetria

La lunghezza totale della rete (doppia tubazione) risulta pari a circa 12,6 km, allacciamenti compresi, per una volumetria complessiva della rete di circa 252 m^3. Nelle pagine seguenti sono riportati i valori di lunghezza e volume di tutti i tratti della rete.

Collettore principale da centrale CT-1 a nodo D

Diametro nominale	200				
contenuto d'acqua	35	l/m			
lunghezza tubazione a/r	1.644	m			
Volume	**57.540**	**l**	**=**	**57,54**	**mc**

Stacco impianto sportivo Praso - da nodo A a utenza P2

Diametro nominale	32				
contenuto d'acqua	1,1	mc			
lunghezza tubazione a/r	390	m			
Volume	**429**	**l**	**=**	**0,43**	**mc**

Stacco caserma VV.FF - da nodo B a utenze P4, P5, P6

Diametro nominale	50				
contenuto d'acqua	2,3	mc			
lunghezza tubazione a/r	218	m			
Volume	**501**	**l**	**=**	**0,50**	**mc**

Stacco municipio di Praso - da nodo C a utenza P1

Diametro nominale	40				
contenuto d'acqua	1,5	mc			
lunghezza tubazione a/r	20	m			
Volume	**30**	**l**	**=**	**0,03**	**mc**

Stacco casa Itea - da nodo D a utenza P3

Diametro nominale	32				
contenuto d'acqua	1,1	mc			
lunghezza tubazione a/r	20	m			
Volume	**22**	**l**	**=**	**0,02**	**mc**

Collettore principale da nodo D a centrale CT-2

Diametro nominale	200				
contenuto d'acqua	35	mc			
lunghezza tubazione a/r	1.995	m			
Volume	**69.825**	**l**	**=**	**69,83**	**mc**

Lunghezza totale collettore principale	**4.287**	**m**	**(doppia tubazione)**		
Volume totale collettore principale	**128.347**	**l**	**=**	**128,35**	**mc**

Tubazione da centrale CT-2 a nodo H

Diametro nominale	150				
contenuto d'acqua	20	mc			
lunghezza tubazione a/r	1.306	m			
Volume	**26.120**	**l**	**=**	**26,12**	**mc**

Stacco municipo Bersone - da nodo E a utenza B1

Diametro nominale	40				
contenuto d'acqua	1,5	mc			
lunghezza tubazione a/r	20	m			
Volume	**30**	**l**	**=**	**0,03**	**mc**

Stacco casa sociale - da nodo F a utenze B3 e B4

Diametro nominale	40				
contenuto d'acqua	1,5	mc			
lunghezza tubazione a/r	202	m			
Volume	**303**	**l**	**=**	**0,30**	**mc**

Stacco cooperativa - da nodo G a utenze B5 e B6

Diametro nominale	32				
contenuto d'acqua	1,1	mc			
lunghezza tubazione a/r	20	m			
Volume	**22**	**l**	**=**	**0,02**	**mc**

Tubazione da nodo H a casa di riposo (utenza B7)

Diametro nominale	125				
contenuto d'acqua	14	mc			
lunghezza tubazione a/r	2.242	m			
Volume	**31.388**	**l**	**=**	**31,39**	**mc**

Lunghezza totale ramo Bersone	**3.790**	**m**	**(doppia tubazione)**		
Volume totale su ramo Bersone	**57.863**	**mc**	**=**	**57,86**	**mc**

Tubazione da centrale CT-2 a nodo L

Diametro nominale	150				
contenuto d'acqua	20	mc			
lunghezza tubazione a/r	2.702	m			
Volume	**54.040**	**l**	**=**	**54,04**	**mc**

Stacco appartamenti via Ravizzoli - da nodo I a utenza B2

Diametro nominale	32				
contenuto d'acqua	1,1	mc			
lunghezza tubazione a/r	108	m			
Volume	**119**	**l**	**=**	**0,12**	**mc**

Tubazione da nodo L a nodo M

Diametro nominale	100

contenuto d'acqua	9	mc			
lunghezza tubazione a/r	460	m			
Volume	**4.140**	**l**	**=**	**4,14**	**mc**

Stacco associazione teatrale - da nodo N a utenza D9

Diametro nominale	40				
contenuto d'acqua	1,5	mc			
lunghezza tubazione a/r	20	m			
Volume	**30**	**l**	**=**	**0,03**	**mc**

Stacco cooperativa via Orti - da nodo M a utenze D5 e D6

Diametro nominale	40				
contenuto d'acqua	1,5	mc			
lunghezza tubazione a/r	248	m			
Volume	**372**	**l**	**=**	**0,37**	**mc**

Tubazione da nodo L a nodo O

Diametro nominale	100				
contenuto d'acqua	9	mc			
lunghezza tubazione a/r	750	m			
Volume	**6.750**	**l**	**=**	**6,75**	**mc**

Stacco villa de Blasi - da nodo P a utenza D8

Diametro nominale	40				
contenuto d'acqua	1,5	mc			
lunghezza tubazione a/r	136	m			
Volume	**204**	**l**	**=**	**0,20**	**mc**

Stacco Municipio Daone - da nodo Q a utenza D1

Diametro nominale	50				
contenuto d'acqua	2,3	mc			
lunghezza tubazione a/r	42	m			
Volume	**97**	**l**	**=**	**0,10**	**mc**

Stacco appartamenti via San Bartolomeo - da nodo R a utenza D2

Diametro nominale	50				
contenuto d'acqua	2,3	mc			
lunghezza tubazione a/r	20	m			
Volume	**46**	**l**	**=**	**0,05**	**mc**

Stacco scuola materna e VV.FF. - da nodo S a utenza D4

Diametro nominale	40				
contenuto d'acqua	1,5	mc			
lunghezza tubazione a/r	130	m			
Volume	**195**	**l**	**=**	**0,20**	**mc**

Stacco appartamenti via Dante - da nodo O a utenza D3

Diametro nominale	32				
contenuto d'acqua	1,1	mc			
lunghezza tubazione a/r	60	m			
Volume	**66**	**l**	**=**	**0,07**	**mc**

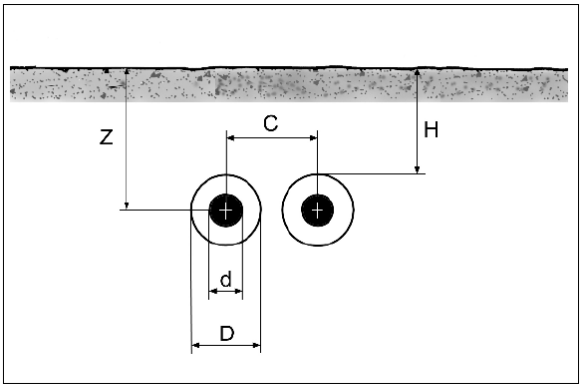
Lunghezza totale ramo di Daone	**4.568**	**m**	**(doppia tubazione)**		
Volume totale ramo di Daone	**66.058**	**mc**	**=**	**66,06**	**mc**

Lunghezza totale rete	**12.645**	**m**

Volume totale rete	**252.269**	**mc**	**=**	**252,27**	**mc**

Verifica dispersioni termiche

La perdita di calore per una coppia di tubazioni (mandata e ritorno) dipende dalla profondità di posa alla quale i tubi vengono installati, dalla distanza fra le due tubazioni, dalle temperature di mandata e di ritorno e dalle caratteristiche isolanti dei materiali componenti il sistema (tubo di servizio, materiale isolante, tubo guaina di rivestimento e terreno).



La perdita di calore unitaria per coppia di tubazioni si calcola con la seguente espressione:

$$\Phi = U(T_m - T_t) + U(T_r - T_t)$$

$$\Phi = U[(T_m + T_r) - 2T_t]$$

Φ = perdita di calore unitaria per coppia di tubazioni (W/m)
U = coefficiente di trasmissione termica (W/m °C)
T_m = temperatura di mandata (°C)
T_t = temperatura del terreno (°C)
T_r = temperatura di ritorno (°C)

L'espressione del coefficiente di trasmissione termica dipende dalle resistenze termiche.

Il coefficiente di trasmissione U, si calcola con la seguente espressione:

$$U = \frac{1}{(R_{Tts} + R_{Ti} + R_{Ttg} + R_{Tt} + R_{Ts})}$$

R_{Tts} = resistenza termica del tubo di servizio (m°C/W)
R_{Ti} = resistenza termica dell'isolamento (m°C/W)
R_{Ttg} = resistenza termica del tubo guaina(m°C/W)
R_{Tt} = resistenza termica del terreno (m°C/W)
R_{Ts} = resistenza termica di scambio tra le due tubazioni (m°C/W)

R Tts = resistenza termica del tubo di servizio (m°C/W)

$$R_{Tts} = \frac{1}{2\pi\lambda_{ts}} \ln\left[\frac{d}{d_i}\right]$$

λ_{ts} = conduttività termica del tubo di servizio (W/m°C)
d_i = diametro interno del tubo di servizio (m)
d = diametro esterno del tubo di servizio (m)

R Ti = resistenza termica dell'isolamento (m°C/W)

$$R_{Ti} = \frac{1}{2\pi\lambda_{i}} \ln\left[\frac{D_i}{d}\right]$$

λ_i = conduttività termica dell'isolamento (W/m°C)
D_i = diametro interno del tubo guaina (m)
d = diametro esterno del tubo di servizio (m)

R Ttg = resistenza termica del tubo guaina (m°C/W)

$$R_{Ttg} = \frac{1}{2\pi\lambda_{tg}} \ln\left[\frac{D}{D_i}\right]$$

λ_{tg} = conduttività termica del tubo guaina (W/m°C)
D_i = diametro interno del tubo guaina (m)
D = diametro esterno del tubo guaina (m)

R Tt = resistenza termica del terreno (m°C/W)

$$R_{Tt} = \frac{1}{2\pi\lambda_t} \ln\left[\frac{4Z_c}{D}\right]$$

λ_t = conduttività termica del terreno (W/m°C)
D = diametro esterno del tubo guaina (m)

$$Z_c = Z + R_0 \cdot \lambda_t$$

Z = profondità effettiva di posa asse tubazione (m)
R_0 = resistenza di transizione superficiale (m^2°C/W)
Z_c = profondità virtuale di posa (m)

Il valore di R_0 è pari a 0.0685 (m^2°C/W)

R Ts = resistenza termica di scambio tra le tubazioni di mandata e ritorno (m°C/W)

$$R_{Ts} = \frac{1}{4\pi\lambda_t} \ln\left[1 + \left(\frac{2Z_c}{C}\right)^2\right]$$

λ_t = conduttività termica del terreno (W/m°C)
C = distanza fra gli assi delle due tubazioni

$$Z_c = Z + R_0 \cdot \lambda_t$$

Z = profondità effettiva di posa asse tubazione (m)
R_0 = resistenza di transizione superficiale (m^2°C/W)
Z_c = profondità virtuale di posa (m)

Il valore di R_0 è pari a 0.0685 (m^2°C/W)

I coefficienti di trasmissione termica U, utilizzati nel calcolo delle perdite di calore delle tubazioni preisolate, di seguito riportati, sono stati ricavati in base all'ipotesi di calcolo di seguito riportate, indicati per la serie di isolamento utilizzata (serie 1).

Serie 1

DN	**D** (mm)	**s**(mm)	**U** (W/m °C)
15	90	3.0	0.130
20	90	3.0	0.156
25	90	3.0	0.191
32	110	3.0	0.195
40	110	3.0	0.226
50	125	3.0	0.253
65	140	3.0	0.300
80	160	3.0	0.310
100	200	3.2	0.324
125	225	3.5	0.378
150	250	3.9	0.453
200	315	4.9	0.497
250	400	6.3	0.478
300	450	7.0	0.555
350	500	7.8	0.538
400	560	8.8	0.574
450	630	9.8	0.576
500	710	11.1	0.555
600	800	12.5	0.687
700	900	12.9	0.785
800	1000	13.3	0.889

Ipotesi di calcolo:

Isolamento tubazioni preisolate: secondo serie 1
Conduttività termica dell'isolamento in poliuretano: □ = 0,030 W/mK
Conduttività termica del guaina esterna in PEHD: □ = 0,350 W/mK
Conduttività termica del del tubo di servizio in acciaio: □ = 55 W/mK
Conduttività termica del terreno: □ = 1,500 W/mK
Profondità di posa tubazioni (estradosso): H = 1,00 m
Temperatura media del terreno: t = 0°C

In relazione alla verifica termica, i risultati evidenziano il fatto con le temperature di mandata e ritorno di progetto, le perdite di calore complessive nella rete in condizioni invernali sono pari a circa **250 kW**. Nelle pagine successive sono riportati i risultati delle perdite di calore su ciascun tratto della rete.

Collettore principale da centrale CT-1 a nodo D

Diametro nominale	200				
Perdite di calore unitarie	0,478	W/m°C			
Differenza temp. acqua-terreno (media a/r)	75	°C			
lunghezza tubazione a/r	1644	m			
Dispersione	**58,9**	**kW**	**=**	**50.686**	**kCal/h**

Stacco impianto sportivo Praso - da nodo A a utenza P2

Diametro nominale	32				
Perdite di calore unitarie	0,195	W/m°C			
Differenza temp. acqua-terreno (media a/r)	75	°C			
lunghezza tubazione a/r	390	m			
Dispersione	**5,7**	**kW**	**=**	**4.905**	**kCal/h**

Stacco caserma VV.FF - da nodo B a utenze P4, P5, P6

Diametro nominale	50				
Perdite di calore unitarie	0,253	W/m°C			
Differenza temp. acqua-terreno (media a/r)	75	°C			
lunghezza tubazione a/r	218	m			
Dispersione	**4,1**	**kW**	**=**	**3.557**	**kCal/h**

Stacco municipio di Praso - da nodo C a utenza P1

Diametro nominale	40				
Perdite di calore unitarie	0,226	W/m°C			
Differenza temp. acqua-terreno (media a/r)	75	°C			
lunghezza tubazione a/r	20	m			
Dispersione	**0,3**	**kW**	**=**	**292**	**kCal/h**

Stacco casa Itea - da nodo D a utenza P3

Diametro nominale	32	
Perdite di calore unitarie	0,195	W/m°C

Differenza temp. acqua-terreno (media a/r)	75	°C			
lunghezza tubazione a/r	20	m			
Dispersione	**0,3**	**kW**	**=**	**252**	**kCal/h**

Collettore principale da nodo D a centrale CT-2

Diametro nominale	200				
Perdite di calore unitarie	0,478	W/m°C			
Differenza temp. acqua-terreno (media a/r)	75	°C			
lunghezza tubazione a/r	1995	m			
Dispersione	**71,5**	**kW**	**=**	**61.508**	**kCal/h**

Dispersione totale su collettore principale	**140,9**	**kW**	**=**	**121.200**	**kCal/h**

Tubazione da centrale CT-2 a nodo H

Diametro nominale	150				
Perdite di calore unitarie	0,453	W/m°C			
Differenza temp. acqua-terreno (media a/r)	67,5	°C			
lunghezza tubazione a/r	1306	m			
Dispersione	**39,9**	**kW**	**=**	**34.343**	**kCal/h**

Stacco municipo Bersone - da nodo E a utenza B1

Diametro nominale	40				
Perdite di calore unitarie	0,226	W/m°C			
Differenza temp. acqua-terreno (media a/r)	67,5	°C			
lunghezza tubazione a/r	20	m			
Dispersione	**0,3**	**kW**	**=**	**262**	**kCal/h**

Stacco casa sociale - da nodo F a utenze B3 e B4

Diametro nominale	40				
Perdite di calore unitarie	0,226	W/m°C			
Differenza temp. acqua-terreno (media a/r)	67,5	°C			
lunghezza tubazione a/r	202	m			
Dispersione	**3,1**	**kW**	**=**	**2.650**	**kCal/h**

Stacco cooperativa - da nodo G a utenze B5 e B6

Diametro nominale	32				
Perdite di calore unitarie	0,195	W/m°C			
Differenza temp. acqua-terreno (media a/r)	67,5	°C			
lunghezza tubazione a/r	20	m			
Dispersione	**0,3**	**kW**	**=**	**226**	**kCal/h**

Tubazione da nodo H a casa di riposo (utenza B7)

Diametro nominale	125				
Perdite di calore unitarie	0,378	W/m°C			
Differenza temp. acqua-terreno (media a/r)	67,5	°C			
lunghezza tubazione a/r	2242	m			
Dispersione	**57,2**	**kW**	**=**	**49.196**	**kCal/h**

Dispersione totale su ramo Bersone	**100,8**	**kW**	**=**	**86.678**	**kCal/h**

Tubazione da centrale CT-2 a nodo L

Diametro nominale	150				
Perdite di calore unitarie	0,453	W/m°C			
Differenza temp. acqua-terreno (media a/r)	67,5	°C			
lunghezza tubazione a/r	2702	m			
Dispersione	**82,6**	**kW**	**=**	**71.054**	**kCal/h**

Stacco appartamenti via Ravizzoli - da nodo I a utenza B2

Diametro nominale	32				
Perdite di calore unitarie	0,195	W/m°C			
Differenza temp. acqua-terreno (media a/r)	67,5	°C			
lunghezza tubazione a/r	108	m			
Dispersione	**1,4**	**kW**	**=**	**1.223**	**kCal/h**

Tubazione da nodo L a nodo M

Diametro nominale	100	
Perdite di calore unitarie	0,324	W/m°C
Differenza temp. acqua-terreno (media a/r)	67,5	°C

lunghezza tubazione a/r	460	m			
Dispersione	**10,1**	**kW**	**=**	**8.652**	**kCal/h**

Stacco associazione teatrale - da nodo N a utenza D9

Diametro nominale	40				
Perdite di calore unitarie	0,226	W/m°C			
Differenza temp. acqua-terreno (media a/r)	67,5	°C			
lunghezza tubazione a/r	20	m			
Dispersione	**0,3**	**kW**	**=**	**262**	**kCal/h**

Stacco cooperativa via Orti - da nodo M a utenze D5 e D6

Diametro nominale	40				
Perdite di calore unitarie	0,226	W/m°C			
Differenza temp. acqua-terreno (media a/r)	67,5	°C			
lunghezza tubazione a/r	248	m			
Dispersione	**3,8**	**kW**	**=**	**3.254**	**kCal/h**

Tubazione da nodo L a nodo O

Diametro nominale	100				
Perdite di calore unitarie	0,324	W/m°C			
Differenza temp. acqua-terreno (media a/r)	67,5	°C			
lunghezza tubazione a/r	750	m			
Dispersione	**16,4**	**kW**	**=**	**14.106**	**kCal/h**

Stacco villa de Blasi - da nodo P a utenza D8

Diametro nominale	40				
Perdite di calore unitarie	0,226	W/m°C			
Differenza temp. acqua-terreno (media a/r)	67,5	°C			
lunghezza tubazione a/r	136	m			
Dispersione	**2,1**	**kW**	**=**	**1.784**	**kCal/h**

Stacco Municipio Daone - da nodo Q a utenza D1

Diametro nominale	50				
Perdite di calore unitarie	0,253	W/m°C			
Differenza temp. acqua-terreno (media a/r)	67,5	°C			
lunghezza tubazione a/r	42	m			
Dispersione	**0,7**	**kW**	**=**	**617**	**kCal/h**

Stacco appartamenti via San Bartolomeo - da nodo R a utenza D2

Diametro nominale	50				
Perdite di calore unitarie	0,253	W/m°C			
Differenza temp. acqua-terreno (media a/r)	67,5	°C			
lunghezza tubazione a/r	20	m			
Dispersione	**0,3**	**kW**	**=**	**294**	**kCal/h**

Stacco scuola materna e VV.FF. - da nodo S a utenza D4

Diametro nominale	40				
Perdite di calore unitarie	0,226	W/m°C			
Differenza temp. acqua-terreno (media a/r)	67,5	°C			
lunghezza tubazione a/r	130	m			
Dispersione	**2,0**	**kW**	**=**	**1.706**	**kCal/h**

Stacco appartamenti via Dante - da nodo O a utenza D3

Diametro nominale	32				
Perdite di calore unitarie	0,195	W/m°C			
Differenza temp. acqua-terreno (media a/r)	67,5	°C			
lunghezza tubazione a/r	60	m			
Dispersione	**0,8**	**kW**	**=**	**679**	**kCal/h**

Dispersione totale su ramo Daone	**110,4**	**kW**	**=**	**94.978**	**kCal/h**

Dispersione totale sulla rete	**251,4**	**kW**	**=**	**216.177**	**kCal/h**

6 CALCOLO E VERIFICA STRESS MECCANICI E TERMICI

Note introduttive

La progettazione dell'impianto in oggetto, i criteri di posa ed i calcoli di dimensionamento meccanico della linea sono effettuati in accordo alla norma EN13941 – 2009 (Design and installation of preinsulated bonded systems for district heating).

In particolare:

a) Il sistema di compensazione degli sforzi e delle dilatazioni si basa sul metodo denominato a 'compensazione naturale'. Le deformazioni (conseguenti ai gradienti di temperatura ed ai salti termici cui la rete viene sottoposta in esercizio) vengono convogliate nelle curve già previste del tracciato: queste diventano punti di libera espansione per le tubazioni.

b) Le deformazioni vengono convogliate nelle curve del tracciato: queste diventano punti di libera espansione per le tubazioni, espansione che viene assorbita tramite dispositivi atti allo scopo (materassini).

c) Nei tratti interessati da un notevole cambio di quota sono state aggiunti una serie di spostamenti e "tratti a zeta". Lo scopo è quello di inserire delle discontinuità nel tracciato che possa funzionare come degli "ancoraggi" nel terreno e limitare l'effetto della dilatazione conseguente al peso dell'acqua e delle tubazioni stesse.

Analisi delle tensioni presenti nelle tubazioni preisolate

Riportiamo di seguito le equazioni utilizzate per il calcolo delle tensioni presenti nelle tubazioni preisolate in un impianto interrato. Per il significato dei simboli, il valore dei parametri coinvolti e le relative unità di misura, rimandiamo all'Appendice A della presente relazione.

Forza d'attrito fra la tubazione ed il terreno

Le tubazioni vengono installate in un letto di sabbia. La forza di attrito che si viene a determinare fra la tubazione preisolata, che si dilata per effetto della temperatura, ed il terreno circostante è legata ad una serie di fattori: coefficiente di attrito radente tra sabbia e polietilene, diametro esterno del tubo, densità del terreno, peso delle tubazioni piene d'acqua, profondità d'interramento.
La sua espressione per unità di lunghezza è la seguente (cfr. EN 13941 – par. B.3.2):

$$F_a = \mu\left(\frac{1+K_o}{2}\sigma_v' \mu \pi D + G - \rho g\left(\frac{D}{2}\right)^2\right)$$

dove:

D = diametro esterno della tubazione in PE
K_o = coefficiente di compattamento del suolo (pari ≅ 0.5 per la sabbia)
μ = coefficiente d'attrito
ρ = densità del terreno
G = peso tubazioni piene d'acqua
σ_v' = stress nel terreno a livello dell'asse centrale del tubo)

Si è considerata l'ipotesi (quasi sempre verificata negli impianti di teleriscaldamento considerate le ridotte profondità d'installazione) che le tubazioni si trovino al di sopra del livello di falda nel terreno. In questo caso:

$$\sigma_v' = \rho \cdot g \cdot \left(h_0 + \frac{D}{2} \right)$$

dove:

h_o = profondità d'installazione dell'estradosso superiore della tubazione

Stato di sforzo nelle tubazioni

Le sollecitazioni a cui è sottoposta la tubazione preisolata percorsa da un liquido caldo e sotto pressione sono dovute a due tipi di cause: una meccanica ed una termica. Le prima è essenzialmente legata alla pressione dell'acqua nella tubazione, mentre la seconda all'impedita dilatazione susseguente al salto termico fra la temperatura dei tubi al momento dell'installazione e quella di esercizio dell'impianto. Queste sollecitazioni si traducono in uno stato di sforzo all'interno delle tubazioni che analizziamo secondo due direzioni principali: longitudinale, cioè parallelamente all'asse della tubazione, e tangenziale (o di anello), cioè perpendicolarmente alla direzione radiale della sezione delle tubazioni. La tensione tangenziale σè dovuta esclusivamente al contributo 'meccanico', cioè alla pressione dell'acqua nelle tubazioni: se si indica con P la pressione di esercizio, essa vale:

$$\sigma_\vartheta = \frac{d_i \cdot P}{2t} = \left(\frac{d_o}{t} - 2 \right) \cdot \frac{P}{2}$$

La tensione longitudinale σ_z è invece dovuta ad entrambi i contributi, 'meccanico' e 'termico'.

La tensione longitudinale conseguente alla pressione interna σ_p vale:

$$\sigma_p = \frac{\sigma_\vartheta}{2}$$

Il segno di σ_p è sempre positivo poiché si tratta di una trazione.

Per quanto riguarda invece il secondo contributo, è necessario fare alcune considerazioni. Innanzitutto si può dire che lo stress dovuto all'impedita dilatazione termica è direttamente proporzionale a ΔT, cioè alla differenza fra temperature di esercizio e di installazione:

$\sigma_t = \alpha E \Delta T$

dove:

α = coefficiente di dilatazione termica;

E = modulo di elasticità dell'acciaio;

Il segno di σ_t è può essere negativo (compressione) in fase di riscaldamento della linea oppure positivo (trazione) in fase di raffreddamento.

Sotto l'azione del salto termico tra temperatura d'installazione e temperatura(e) d'esercizio, le tubazioni tendono ad allungarsi (o a restringersi): questo movimento genera una forza d'attrito fra tubazione e terreno circostante (vedi par. 2.1) che si oppone al movimento stesso del tubo. In caso di riscaldamento, la forza d'attrito genera una forza interna di compressione nel tubo, crescente con la distanza dell'estremità libera. La forza di compressione, per effetto dell'elasticità dell'acciaio, provoca un accorciamento della tubazione stessa che si oppone all'allungamento termico. Ad una certa distanza dall'estremità libera (vedi par. 2.3) la forza di compressione assiale è tale per cui l'accorciamento da essa provocato equilibra l'allungamento dovuto alla dilatazione termica. Da tale punto in avanti si parla di sezione bloccata, il tubo non subisce più alcun movimento e la forza di compressione si stabilizza. Lo stato di sforzo in un tratto di tubazione compreso tra due curve sarà quindi diverso in ogni punto ed aumenterà in funzione della distanza da una curva, raggiungendo il suo massimo nella sezione bloccata della tubazione.

In fase di riscaldamento, indicando con l la distanza da una curva, la tensione longitudinale dovuta al contributo 'termico' σ_t è pari a:

$$\sigma_t(l) = -\frac{F_a \, l}{A}$$

La sollecitazione longitudinale totale σ_{zh} (in fase di riscaldamento della linea) vale quindi:

$$\sigma_{zh}(l) = \sigma_t(l) + \sigma_p = -\left(\frac{F_a \, l}{A} - \frac{\sigma_\vartheta}{2}\right)$$

In fase di raffreddamento della linea e considerando il caso peggiore, cioè supponendo di mantenere comunque in pressione le tubazioni, il contributo 'termico' sarà anch'esso di trazione e conseguentemente la sollecitazione longitudinale totale σ_{zc} sarà pari a:

$$\sigma_{zc}(l) = -\sigma_t(l) + \sigma_p = \frac{F_a\ 1}{A} + \frac{\sigma_\vartheta}{2}$$

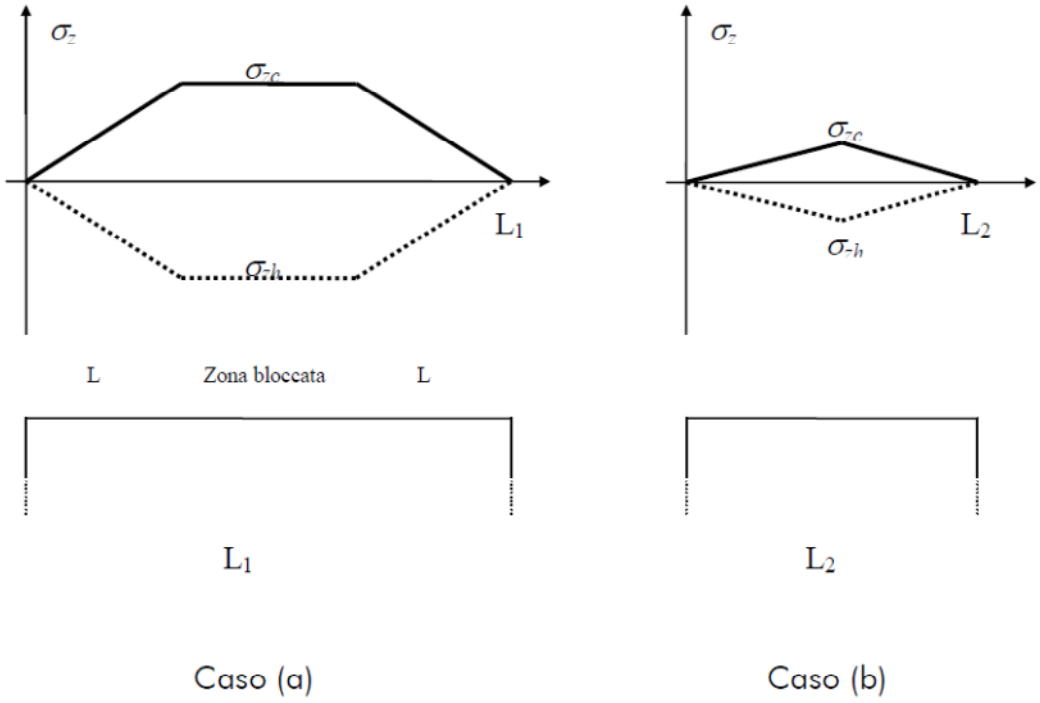
Lunghezza di scorrimento

Come descritto nel paragrafo precedente, la forza d'attrito è in grado di tenere bloccato un tratto di tubazione nel sua zona centrale, purché questo sia sufficientemente lungo. Si definisce lunghezza di scorrimento L quel tratto che viene interessato dall'allungamento:

$$L = \frac{A\ \left(\alpha\ E\ \Delta T + (1/2 - \nu)\sigma_\vartheta\right)}{F_a}$$

dove ν è il coefficiente di Poisson.

Pertanto, se il tratto considerato supera il doppio di tale misura, la zona centrale rimarrà bloccata mentre l'allungamento interesserà i due tratti verso le curve pari alla lunghezza di scorrimento. Nella figura seguente sono rappresentate le due diverse situazioni:



Nel caso (a) risulta evidente che lo stress raggiungerà il suo massimo nel tratto di tubazione che rimane bloccato per l'attrito. Questo valore si può ottenere combinando le precedenti (5), (7), (9):

$$\sigma_{zh,max} = -(\alpha\ E\ \Delta T_h - \nu\ \sigma_\vartheta) \qquad \text{(fase di riscaldamento)} \qquad (10a)$$

$$\sigma_{zc,max} = \alpha\ E\ \Delta T_c + \nu\ \sigma_\vartheta \qquad \text{(fase di raffreddamento)} \qquad (10b)$$

Se invece non siamo in presenza di sezione bloccata, i valori $\sigma_{zh,max}$ di e di $\sigma_{zc,max}$ si ottengono sostituendo $l = L_2$ nelle (7) e (8).

$$\sigma_{zh,max} = \sigma_t(L_2) + \sigma_p = -\left(\frac{F_a\ L_2}{A} - \frac{\sigma_\vartheta}{2}\right) \qquad \text{(fase di riscaldamento)} \qquad (10c)$$

$$\sigma_{zc,max} = -\sigma_t(L_2) + \sigma_p = \frac{F_a\ L_2}{A} + \frac{\sigma_\vartheta}{2} \qquad \text{(fase di raffreddamento)} \qquad (10d)$$

Calcolo delle dilatazioni nelle curve

Per quanto detto nel paragrafo precedente, se il tratto di tubazione è 'breve', non si ha alcuna sezione bloccata ed il movimento si ripartisce equamente sulle due curve alle estremità. Si può quindi considerare un punto fisso immaginario posizionato esattamente nel punto medio del tratto in esame. Indicando con l_2 la distanza della curva da questo punto, la dilatazione corrispondente nella curva sarà pari a:

$$\delta = \frac{l_2}{E}\left[\alpha\ E\ \Delta T - \frac{F_a\ l_2}{2A} + (1/2 - \nu)\sigma_\vartheta\right] \qquad (11)$$

In presenza di una sezione bloccata della tubazione, cioè quando $l_2 \geq L$ (lunghezza di scorrimento), la dilatazione sulle curve sarà conseguente al movimento del solo tratto pari a
L. Ponendo quindi $l_2 = L$ nella (10) e combinandola con la (9), si ottiene:

$$\delta = \frac{L}{E}\left[\alpha\ E\ \Delta T - \frac{F_a\ L}{2A} + (1/2 - \nu)\sigma_\vartheta\right] = \frac{L}{2E}\left[\alpha\ E\ \Delta T + (1/2 - \nu)\sigma_\vartheta\right] \qquad (12)$$

Tensione risultante

Per calcolare lo stress risultante dalla sovrapposizione di tutti gli sforzi presenti nella tubazione, si utilizza relazione di Von Mises, in cui viene determinata una tensione equivalente σ_v (si trascura lo sforzo di taglio perché in questo caso assolutamente non

$$\sigma_V = \sqrt{\sigma_\vartheta^2 + \sigma_z^2 - \sigma_z\sigma_\vartheta} \qquad (13)$$

Poiché σ_v può essere sia di trazione (raffreddamento della linea) che di compressione (riscaldamento della linea), mentre σ_θ è sempre dello stesso segno, abbiamo due possibili valori (considerando i termini della (13) in modulo e segno):

$$\sigma_{Vh} = \sqrt{\sigma_\vartheta^2 + \sigma_{zh}^2 - \sigma_{zh}\sigma_\vartheta} \qquad \text{(fase di riscaldamento)} \qquad (13a)$$

$$\sigma_{Vc} = \sqrt{\sigma_\vartheta^2 + \sigma_{zc}^2 + \sigma_{zc}\sigma_\vartheta} \qquad \text{(fase di raffreddamento)} \qquad (13b)$$

Il valore così ottenuto dovrà essere sempre inferiore ad una certa tensione ammissibile per l'acciaio σ_{amm}. Come limite è stato assunto il limite di snervamento per l'acciaio St37:

$$\sigma \leq \sigma = 235 N\ mm^{-2} \qquad (14)$$

Tale condizione può essere indicato utilizzando un opportuno coefficiente di sicurezza S, in modo

tale da far lavorare le tubazioni in regime puramente elastico:

$$S = \frac{\sigma_{amm}}{\sigma_V} > 1 \qquad (15)$$

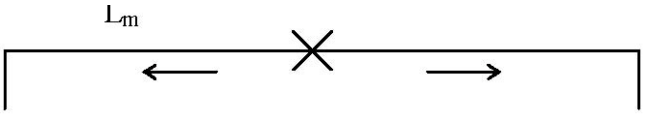
Tecnica di posa delle tubazioni

Analizzando le (10) si può vedere come, per impianti in cui il ΔT fra la temperatura di esercizio e quella di installazione è pari a 120°C, si possono raggiungere sforzi assiali dell'ordine dei 300 N/mm^2 nel tratto di tubazione bloccata dall'attrito, valore che porterebbe in snervamento l'acciaio St 37 che viene utilizzato per il tubo di servizio.

Nella progettazione degli impianti di teleriscaldamento viene considerato un limite massimo per lo sforzo assiale pari a 190 N/mm^2: questo valore è stato calcolato sulla base un coefficiente di sicurezza S (vedi la (15)) pari a 1,5 per le tubazioni in acciaio St37 attualmente disponibili sul mercato e che garantiscono un valore minimo di snervamento di 270 - 280 N/mm^2, come risulta dai certificati di produzione.

Per rispettare tale limite, si è scelto di utilizzare metodo della compensazione naturale, utilizzando le cosiddette "curve di compensazione".

Tale metodo consiste nel limitare la lunghezza del tratto di tubazione diritta inserendo delle curve a 90°. In questo caso non si ha alcuna sezione bloccata ed il movimento si ripartisce equamente sulle due curve alle estremità. Si può quindi considerare un punto fisso immaginario posizionato esattamente nel punto medio del tratto in esame. In questo punto lo stress assiale raggiungerà il valore più elevato.



La distanza massima consentita fra una curva ed il punto fisso immaginario e tale da limitare gli sforzi a 190 N/mm , viene indicata con L_m e risulta circa la metà della lunghezza di scorrimento (calcolata per ΔT di 120°C).

Tecnica di progettazione utilizzata

Secondo quanto previsto dalla norma EN 13941 – paragrafo 5.4.2, l'impianto di Val di Daone (DN max 200 – ΔT = 85°C) rientra nella classe di progetto B (vedi figura 2). I criteri utilizzati sono i seguenti:

a) Come già detto nelle note introduttive, è stata scelta la tecnica della compensazione naturale: le curve a 90° presenti nel tracciato divengono i punti in cui vengono convogliate le dilatazioni conseguenti al salto termico fra temperatura di posa e temperatura di esercizio.

b) Per i tratti di lunghezza maggiore al doppio della lunghezza di scorrimento, è stato prevista l'inserimento di omega o zeta di compensazione alcun sistema di riduzione degli sforzi assiali (vedi calcoli in appendice B), in modo tale da rispettare il limite fissato pari a 190 N/mm^2.

c) Nei tratti interessati da notevole pendenza (dal nodo C al nodo CT2; dal nodo CT2 al nodo D6) sono stati inseriti dei "tratti a zeta" aggiuntivi, a distanze inferiori a quelle massime definite dai criterio di cui al punto b), per limitare la componente aggiuntiva di dilatazione dovuta al peso dell'acqua all'interno delle tubazioni.

d) I leggeri cambi di direzione e/o quota sono realizzati sfruttando l'elasticità naturale delle tubazioni. Se necessario vi è la possibilità di utilizzare anche il metodo delle spicchiature in corrispondenza delle saldature tra barra e barra, ma con un limite di angolo massimo realizzabile pari a 3°.

e) Per i cambiamenti di direzione per i quali non e' sufficiente utilizzare l'elasticità naturale delle tubazioni, è previsto l'utilizzo di tubazioni precurvate in stabilimento

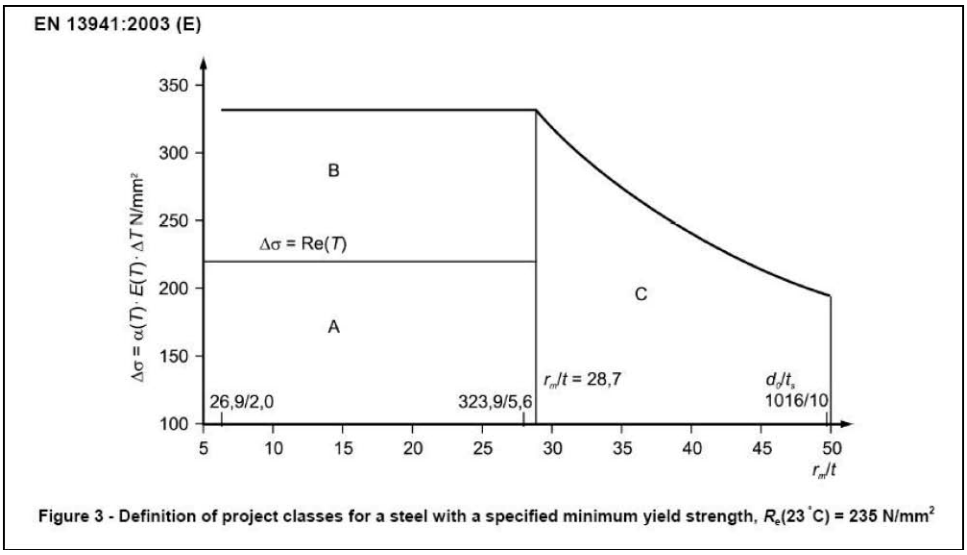


Fig. 2 – Suddivisione classi di progettazione

Stress analisys

I calcoli di stress analisys sono stati effettuati in accordo alle prescrizioni della norma EN 13941, considerando i seguenti parametri:

Classe di progetto B

T esercizio = 95°C

P nominale = 25 bar

e con i seguenti dati:

h = profondità estradosso tubazioni = 1m

K = coefficiente di compattamento del suolo = 0,52

μ = coefficiente d'attrito sabbia-PE= 0,35 (cfr. EN 13941 – tabella B.1)

ρ = densità del terreno = 1800 Kg/m^3

Riportiamo in Appendice B i risultati ottenuti: è stato calcolata la lunghezza d'installazione massima per i DN 32, DN 40, DN 50, DN 100, DN 125, DN 150 e DN 200, in modo tale da rispettare il limite prefissato, pari a 190 N/mm^2. Nello stesso calcolo è definito lo strato massimo di materassini (prodotti in lastre di spessore 40mm) da installare sulle curve, per compensare la dilatazione massima ottenibile, corrispondente al tratto di lunghezza massima tra due curve successive. Nella

tabella seguente sono riassunti i valori calcolati.

DN	L_{max} m	δ_{max} laterale mm	Materassini mm	δ_{max} radiale* mm	Materassini mm
32	70	21	40	29	40
40	82	24	40	34	40
50	100	29	40	41	80
100	144	42	80	59	80
125	156	45	80	64	80
150	186	54	80	76	80
200	210	61	80	86	120

* calcolata nel caso entrambi i lati della curva abbiano lunghezza pari a L_{max}

APPENDICE A: ELENCO DEI SIMBOLI UTILIZZATI

Simbolo	Unità di misura	Descrizione
A	mm^2	Sezione del tubo d'acciaio
D	mm	Diametro esterno del tubo di protezione in PE
d_o	mm	Diametro esterno del tubo d'acciaio
d_i	mm	Diametro interno del tubo d'acciaio
t	mm	Spessore di parete del tubo d'acciaio
P	bar	Pressione interna
ΔT	°C	Differenza di temperatura fra esercizio ed installazione
h_0	m	Profondità di interramento del tubo riferita all'estradosso
F_a	$N\ mm^{-1}$	Attrito del terreno sul tubo per unità di lunghezza
E	$N\ mm^{-2}$	Modulo di elasticità
G	$Kg\ m^{-1}$	Peso tubazioni piene d'acqua per unità di lunghezza
α	K^{-1}	Coefficiente di dilatazione termica
ρ	$Kg\ m^{-3}$	Densità media del terreno
g	$m\ sec^{-2}$	Accelerazione di gravità
K_o	-	Coefficiente di compattamento
ν	-	Coefficiente di Poisson
μ	-	Coefficiente d'attrito
δ	mm	Dilatazione
σ_θ	$N\ mm^{-2}$	Tensione tangenziale per pressione interna
σ_p	$N\ mm^{-2}$	Tensione longitudinale dovuta alla pressione interna
σ_t	$N\ mm^{-2}$	Tensione longitudinale dovuta al salto termico
σ_{zh}	$N\ mm^{-2}$	Tensione longitudinale totale in fase di riscaldamento
σ_{zc}	$N\ mm^{-2}$	Tensione longitudinale totale in fase di raffreddamento
σ_v	$N\ mm^{-2}$	Tensione equivalente per tensioni su più assi
σ_{vh}	$N\ mm^{-2}$	Tensione σ_v con rete alla max temperatura di esercizio
σ_{vc}	$N\ mm^{-2}$	Tensione σ_v con rete alla min temperatura di esercizio
S	-	Coefficiente di sicurezza
σ_{amm}	$N\ mm^{-2}$	Tensione ammissibile

APPENDICE B: CALCOLO DELLE LUNGHEZZA MASSIME DI POSA

Pipe bends - Pair of pipes

Operating parameters

Nominal dimension	DN32 / 42.4 x 2.6
Insulation series	Serie1
External diameter	42,4 mm
Wall thickness	2,6 mm
External casing diameter	110 mm
Distance between pipes	150 mm
Installation temperature	10 °C
Design temperature	95 °C
Soil covering	1000 mm
Length of leg 1	35 m
Length of leg 2	35 m
Elasticity modulus	208600 N/mm²
Coefficient of thermal expansion	0,0000121 1/K
Coefficient of friction	0,35
Surface, dense compaction	

Results: Bends, L-bend

Axial stresses:

Allowable axial stress	190 N/mm²
Axial stress in leg 1	186 N/mm²
Axial stress in leg 2	186 N/mm²

Movements:

Axial movement in leg 1	21 mm
Axial movement in leg 2	21 mm
Radial movement	29 mm

Foam padding:

Leg 2: 40 mm foam pad. Length: 1,0 m
Leg 1: 40 mm foam pad. Length: 1,0 m

Pipe bends - Pair of pipes

Operating parameters

Nominal dimension	DN40 / 48.3 x 2.6
Insulation series	Serie1
External diameter	48,3 mm
Wall thickness	2,6 mm
External casing diameter	110 mm
Distance between pipes	150 mm
Installation temperature	10 °C
Design temperature	95 °C
Soil covering	1000 mm
Length of leg 1	41 m
Length of leg 2	41 m
Elasticity modulus	208600 N/mm²
Coefficient of thermal expansion	0,0000121 1/K
Coefficient of friction	0,35
Surface, dense compaction	

Results: Bends, L-bend

Axial stresses:	
Allowable axial stress	190 N/mm²
Axial stress in leg 1	189 N/mm²
Axial stress in leg 2	189 N/mm²
Movements:	
Axial movement in leg 1	24 mm
Axial movement in leg 2	24 mm
Radial movement	34 mm

Foam padding:
Leg 2: 40 mm foam pad. Length: 1,0 m
Leg 1: 40 mm foam pad. Length: 1,0 m

Pipe bends - Pair of pipes

Operating parameters

Nominal dimension	DN50 / 60.3 x 2.9
Insulation series	Serie1
External diameter	60,3 mm
Wall thickness	2,9 mm
External casing diameter	125 mm
Distance between pipes	150 mm
Installation temperature	10 °C
Design temperature	95 °C
Soil covering	1000 mm
Length of leg 1	50 m
Length of leg 2	50 m
Elasticity modulus	208600 N/mm²
Coefficient of thermal expansion	0,0000121 1/K
Coefficient of friction	0,35
Surface, dense compaction	

Results: Bends, L-bend

Axial stresses:

Allowable axial stress	190 N/mm²
Axial stress in leg 1	189 N/mm²
Axial stress in leg 2	189 N/mm²

Movements:

Axial movement in leg 1	29 mm
Axial movement in leg 2	29 mm
Radial movement	41 mm

Foam padding:

Leg 2: 40 mm foam pad. Length: 1,0 m
Leg 1: 40 mm foam pad. Length: 1,0 m

Pipe bends - Pair of pipes

Operating parameters

Nominal dimension	DN100 / 114.3 x 3.6
Insulation series	Serie1
External diameter	114,3 mm
Wall thickness	3,6 mm
External casing diameter	200 mm
Distance between pipes	150 mm
Installation temperature	10 °C
Design temperature	95 °C
Soil covering	1000 mm
Length of leg 1	72 m
Length of leg 2	72 m
Elasticity modulus	208600 N/mm²
Coefficient of thermal expansion	0,0000121 1/K
Coefficient of friction	0,35
Surface, dense compaction	

Results: Bends, L-bend

Axial stresses:	
Allowable axial stress	190 N/mm²
Axial stress in leg 1	188 N/mm²
Axial stress in leg 2	188 N/mm²
Movements:	
Axial movement in leg 1	42 mm
Axial movement in leg 2	42 mm
Radial movement	59 mm

Foam padding:
Leg 2: 80 mm foam pad. Length: 2,0 m + 1,0 m
Leg 1: 80 mm foam pad. Length: 2,0 m + 1,0 m

Pipe bends - Pair of pipes

Operating parameters

Nominal dimension	DN125 / 139.7 x 3.6
Insulation series	Serie1
External diameter	139,7 mm
Wall thickness	3,6 mm
External casing diameter	225 mm
Distance between pipes	150 mm
Installation temperature	10 °C
Design temperature	95 °C
Soil covering	1000 mm
Length of leg 1	78 m
Length of leg 2	78 m
Elasticity modulus	208600 N/mm²
Coefficient of thermal expansion	0,0000121 1/K
Coefficient of friction	0,35
Surface, dense compaction	

Results: Bends, L-bend

Axial stresses:	
Allowable axial stress	190 N/mm²
Axial stress in leg 1	188 N/mm²
Axial stress in leg 2	188 N/mm²
Movements:	
Axial movement in leg 1	45 mm
Axial movement in leg 2	45 mm
Radial movement	64 mm

Foam padding:
Leg 2: 80 mm foam pad. Length: 2,0 m + 1,0 m
Leg 1: 80 mm foam pad. Length: 2,0 m + 1,0 m

Pipe bends - Pair of pipes

Operating parameters

Nominal dimension	DN150 / 168.3 x 4.0
Insulation series	Serie1
External diameter	168,3 mm
Wall thickness	4 mm
External casing diameter	250 mm
Distance between pipes	150 mm
Installation temperature	10 °C
Design temperature	95 °C
Soil covering	1000 mm
Length of leg 1	93 m
Length of leg 2	93 m
Elasticity modulus	208600 N/mm²
Coefficient of thermal expansion	0,0000121 1/K
Coefficient of friction	0,35
Surface, dense compaction	

Results: Bends, L-bend

Axial stresses:	
Allowable axial stress	190 N/mm²
Axial stress in leg 1	188 N/mm²
Axial stress in leg 2	188 N/mm²
Movements:	
Axial movement in leg 1	54 mm
Axial movement in leg 2	54 mm
Radial movement	76 mm

Foam padding:
Leg 2: 80 mm foam pad. Length: 2,0 m + 1,0 m
Leg 1: 80 mm foam pad. Length: 2,0 m + 1,0 m

Pipe bends - Pair of pipes

Operating parameters

Nominal dimension	DN200 / 219.1 x 4.5
Insulation series	Serie1
External diameter	219,1 mm
Wall thickness	4,5 mm
External casing diameter	315 mm
Distance between pipes	150 mm
Installation temperature	10 °C
Design temperature	95 °C
Soil covering	1000 mm
Length of leg 1	105 m
Length of leg 2	105 m
Elasticity modulus	208600 N/mm²
Coefficient of thermal expansion	0,0000121 1/K
Coefficient of friction	0,35
Surface, dense compaction	

Results: Bends, L-bend

Axial stresses:	
Allowable axial stress	190 N/mm²
Axial stress in leg 1	187 N/mm²
Axial stress in leg 2	187 N/mm²
Movements:	
Axial movement in leg 1	61 mm
Axial movement in leg 2	61 mm
Radial movement	86 mm

Foam padding:
Leg 2: 80 mm foam pad. Length: 2,5 m + 1,5 m
Leg 1: 80 mm foam pad. Length: 2,5 m + 1,5 m