

SOMMARIO

1	PREMESSA	2
2	LOCALIZZAZIONE DELL'AREA.....	3
3	TRATTAZIONE TEORICA ALLA BASE DEL DIMENSIONAMENTO	4
3.1	MODELLAZIONE E DIMENSIONAMENTO	9
3.1.1	Ipotesi preliminari	9
3.1.2	Elementi della rete.....	9
3.1.3	Materiali utilizzati	11
3.1.4	Nodi.....	11
3.1.5	Rami	12
4	Risultati	12
4.1.1	Nodi.....	12
4.1.2	Rami	13

1 PREMESSA

Su incarico dell'Ingegnere Sartori Pietro, progettista del "Pua scheda norma 67 – ditta Chiavegato Piergiorgio e altri", si è redatta la presente relazione a corredo dell'elaborato grafico di posa tubazione del gas con lo scopo di verificarlo dimensionalmente oltre che a valutare economicamente i costi.

L'intera area di progetto, è composta da 4 lotti con un numero di utenze complessive pari a 56, questa rete si andrà a collegare oltre che alla rete esistente, anche al PUA adiacente, come evidenziato nell'elaborato grafico che è composto da 4 lotti con un numero di utenze complessive pari a 64.

Il dimensionamento quindi sarà eseguito sulla base di 120 utenze.

Tale soluzione si è resa indispensabile per avere un quadro dimensionale d'insieme.

2 LOCALIZZAZIONE DELL'AREA

L'area di intervento è localizzata nel Comune di Verona tra via Pascoli e via Pirandello.



Figura 1: Foto area di inquadramento dell'area d'intervento

3 TRATTAZIONE TEORICA ALLA BASE DEL DIMENSIONAMENTO

Le ipotesi assunte per il calcolo sono quelle tipiche delle reti di distribuzione gas, ovvero:

- regime stazionario;
- temperatura costante.

Le equazioni su cui si basa la risoluzione del problema idraulico, viste le ipotesi assunte, sono le seguenti:

- equazione di continuità

$$dQ / dx = 0 \quad (1)$$

- equazione di conservazione del momento (si trascura il termine cinematico)

$$dp / dx + \lambda \rho U |U| / (2 D) + g \rho dh / dx = 0 \quad (2)$$

- equazione di stato

$$\rho = p / (z R_G T) \quad (3)$$

dove:

- x, coordinata spaziale lungo l'asse della tubazione;
- Q, portata volumetrica;
- p, pressione assoluta;
- λ , fattore d'attrito (notazione di Darcy);
- ρ , densità del gas;
- U, velocità media del gas nella sezione del tubo;
- D, diametro interno della tubazione;
- g, accelerazione di gravità;
- h, quota geodetica;
- z, fattore di compressibilità del gas;

- R_G , costante specifica del gas (o della miscela di gas), uguale a R ($8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$, costante universale dei gas) divisa per la massa molare del gas (o della miscela di gas);
- T , temperatura assoluta del gas.

Moltiplicando la (2) per $(2 p dx)$, si ottiene:

$$2 p dp + [p \lambda r U |U| / D] dx + 2 p g p dh = 0 \quad (4)$$

e utilizzando la (3), si ha:

$$2 p dp + [p^2 \lambda U |U| / (z R_G T D)] dx + [2 p^2 g / (z R_G T)] dh = 0 \quad (5)$$

Poiché $2 p dp = d(p^2)$ e $U = Q / (\pi D^2 / 4)$, dalla (5) si ricava:

$$d(p^2) + [16 p^2 \lambda Q |Q| / (z R_G T \pi^2 D^5)] dx + [2 p^2 g / (z R_G T)] dh = 0 \quad (6)$$

Essendo $p = (p_s / T_s) z T$, e definendo la pressione quadratica adimensionale $H = (p / p_s)^2$, si ottiene:

$$p_s^2 dH + [16 p_s^2 z T \lambda Q |Q| / (R_G T_s^2 \pi^2 D^5)] dx + [2 p^2 g / (z R_G T)] dh = 0 \quad (7)$$

Se si divide per p_s^2 e si moltiplica per R_G , risulta:

$$R_G dH + [16 z T \lambda Q |Q| / (T_s^2 \pi^2 D^5)] dx + [2 H g / (z T)] dh = 0 \quad (8)$$

Facendo le seguenti assegnazioni:

$$a = 16 z T / (T_s^2 \pi^2 D^5)$$

$$b = g / (z T)$$

si ricava l'equazione:

$$R_G dH + a \lambda Q |Q| dx + 2 b H dh = 0 \quad (9)$$

Integrando la (8) fra il punto iniziale e quello finale ($x = 0$ e $x = L$) di un tronco di condotta sotto le seguenti ipotesi:

- diametro della tubazione costante da 0 a L ;
- temperatura e compressibilità del gas costanti lungo il tronco;

si ottiene:

$$R_G (H_L - H_0) + a \int_{0,L} \lambda Q |Q| dx + 2 b \int_{0,L} H dh = 0 \quad (10)$$

Se si assume la seguente approssimazione:

$$\int_{0,L} H dh \approx (H_0 + H_L) (h_L - h_0) / 2$$

e si divide la (10) per (a L), si ha:

$$R_G (H_L - H_0) / (a L) + (1 / L) \int_{0,L} \lambda Q |Q| dx + b [(H_0 + H_L) (h_L - h_0) / 2] = 0 \quad (11)$$

Ponendo:

$$C_0 = [R_G + b (h_0 - h_L)] / (a L)$$

$$C_L = [R_G + b (h_L - h_0)] / (a L)$$

si ottiene infine:

$$C_0 H_0 - C_L H_L = (1 / L) \int_{0,L} \lambda Q |Q| dx \quad (12)$$

Nel caso di condotta a portata costante (senza erogazione distribuita), essendo anche il fattore d'attrito λ costante lungo il tronco, la (12) diviene:

$$C_0 H_0 - C_L H_L = \lambda Q |Q| \quad (13)$$

Nel caso di condotta con erogazione costante di gas per unità di lunghezza, se q è il valore di tale portata specifica, allora la portata totale erogata lungo il ramo è data da:

$$Q_R = q L$$

Al punto di ascissa x , la portata Q transitante è quindi pari a:

$$Q = Q_0 - Q_R = Q_0 - q x$$

essendo Q_0 la portata al punto iniziale $x = 0$.

Nel tronco possono presentarsi due casi: la portata mantiene direzione costante (flusso monodirezionale), oppure, da un certo punto in poi, la portata inverte il senso di percorrenza del ramo (flusso bidirezionale).

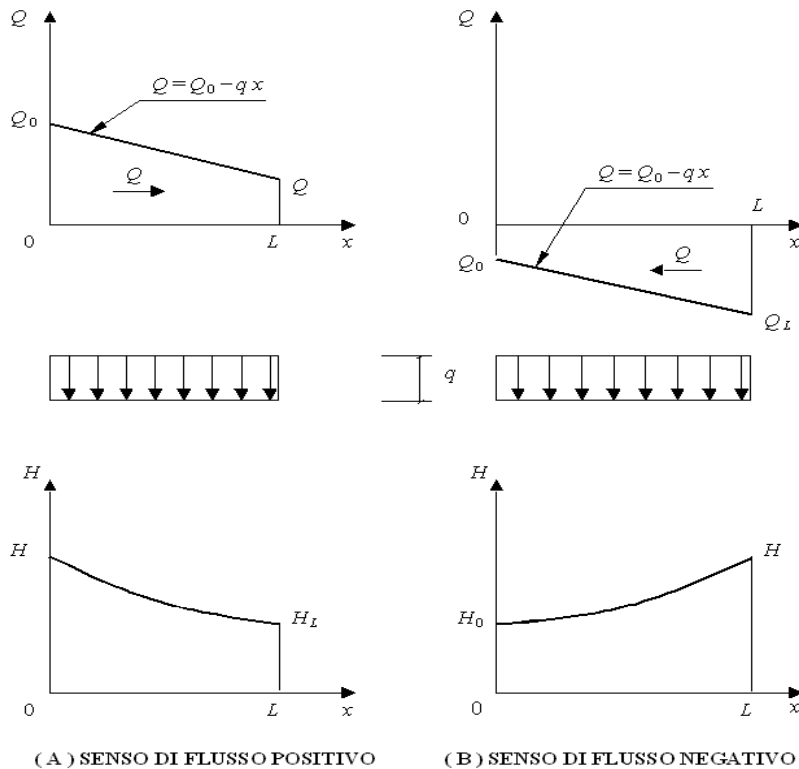
Nel caso di flusso monodirezionale, ipotizzando che il fattore d'attrito λ sia costante lungo il tronco, la (12) diviene:

$$C_0 H_0 - C_L H_L = (\lambda / L) \int_{0,L} (Q_0 - q x) | (Q_0 - q x) | dx \quad (14)$$

da cui:

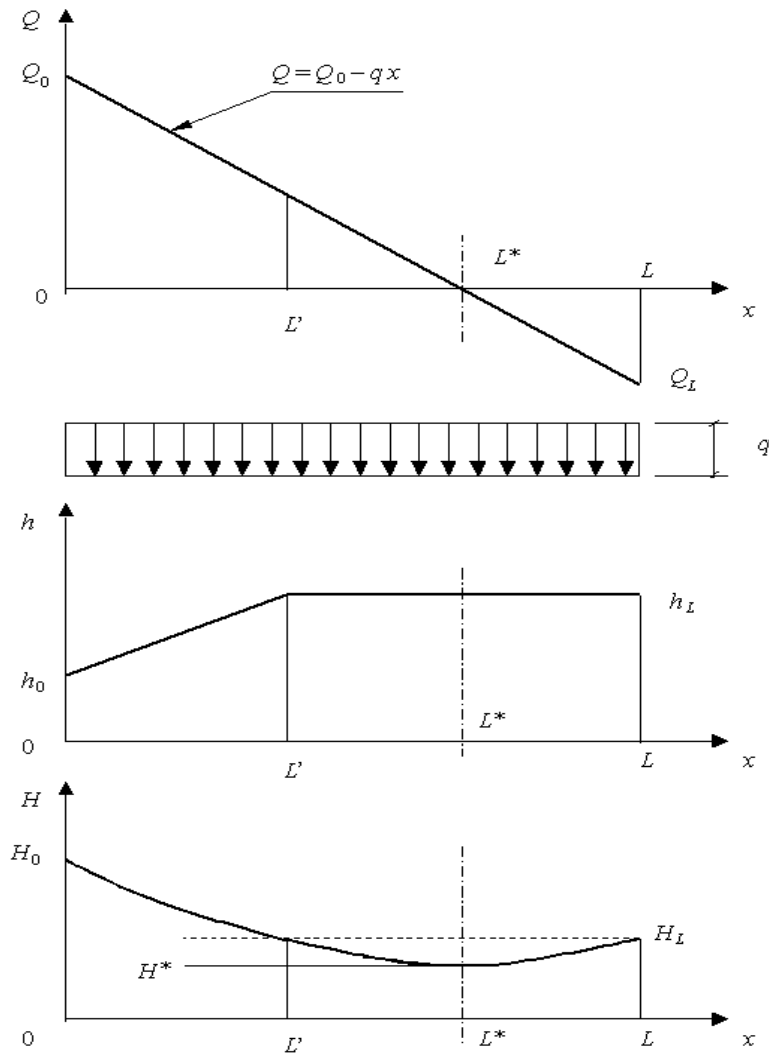
$$C_0 H_0 - C_L H_L = s \lambda [Q_0^2 - Q_0 Q_R + Q_R^2 / 3] \quad (15)$$

dove s è il segno della portata nel ramo (+1 se la direzione è positiva, -1 se la direzione è negativa).



Nel caso di flusso bidirezionale la portata inizialmente positiva (Q_0) decresce fino ad annullarsi in un certo punto ($x = L^*$), per poi ricrescere in valore assoluto, ma con segno negativo; il diagramma della portata presenta quindi una certa porzione simmetrica rispetto ad L^* .

Chiamando L' il punto simmetrico di L rispetto a L^* , nel tratto $L' - L$ si ha la simmetria delle portate, mentre il tratto $0 - L'$ non ha alcun corrispondente simmetrico.



Nell'ipotesi semplificativa che la variazione altimetrica della condotta si concentri nel tratto 0 - L' (h_L costante da L' a L), il diagramma delle pressioni (H) ha una porzione di simmetria intorno a L^* tale che $H(L') = H(L) = H_L$.

Il problema si riconduce quindi al caso di flusso monodirezionale, considerando la porzione 0 - L' del ramo.

Il fattore di attrito λ è calcolato in questo caso come quello che comporta alla lunghezza del tratto 0 - L' quando venisse sottoposta alla differenza di pressione $H_0 - H_L$ ad una portata costante.

Dalla (12) si ricava quindi:

$$C_0 H_0 - C_L H_L = [2 (Q_0 / Q_R) - 1] [(Q_0^2 - Q_0 Q_R + Q_R^2) / 3] \quad (16)$$

Fra le varie correlazioni disponibili per il fattore d'attrito λ è stata scelta quella di Colebrook-White:

$$1 / \lambda^{1/2} = -2 \log_{10} [\epsilon / (3.71 D) + 2.51 / (Re \lambda^{1/2})] \quad (17)$$

dove:

- ϵ , scabrezza media della parete;
- Re, numero di Reynolds.

In caso di regime laminare, si utilizza la relazione:

$$\lambda = 64 / Re \quad (18)$$

mentre per la zona di transizione tra regime laminare e regime turbolento, si utilizza caso per caso il maggiore fra i due valori di λ che risultano dalla (17) e dalla (18).

Caratteristiche della miscela

Il gas utilizzato ai fini del calcolo è la miscela metano, caratterizzata dai seguenti parametri:

- peso molecolare 16,042000 (kg/kmole);
- viscosità dinamica 0,010900 (cP);
- fattore di compressibilità 0,998000.

3.1 MODELLAZIONE E DIMENSIONAMENTO

3.1.1 Ipotesi preliminari

L'ipotesi principale, che servirà anche da successiva verifica sui risultati ottenuti, è quella che la futura rete sarà di 7^a specie; nei vari tronchi della rete si dovranno rispettare dei limiti di pressione e velocità del fluido trasportato (in questo caso metano):

- pressione massima di esercizio (MOP) $\leq$;
- velocità massima del fluido ≤ 5 m/s.

3.1.2 Elementi della rete

Un modello di simulazione di una rete gas è creato utilizzando:

- nodi, ovvero elementi di tipo puntuale che descrivono punti di discontinuità tra due tronchi della rete;
- rami, ovvero elementi di tipo lineare che descrivono tronchi della rete caratterizzati da

omogeneità di caratteristiche fisiche ed idrauliche;

- cabine di salto, ovvero elementi di tipo lineare che descrivono un salto di pressione tra la porzione di rete a monte dell'elemento e quella a valle;
- allacciamenti, ovvero elementi che descrivono uno spillamento da un ramo.

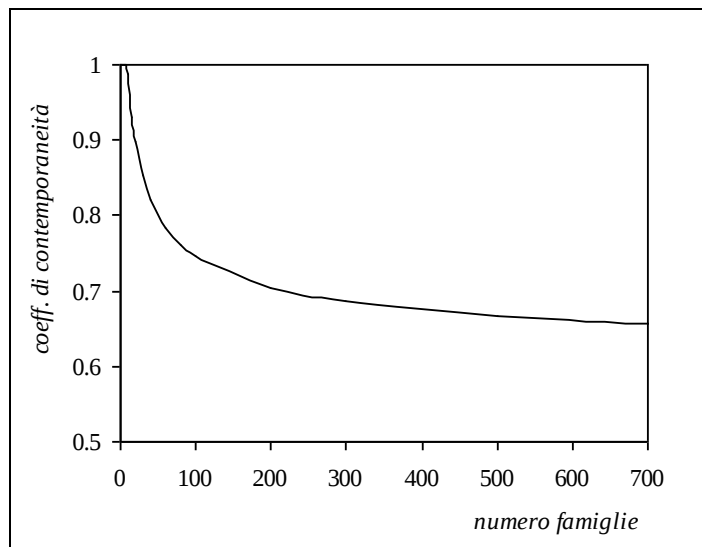
La rete in oggetto è costituita da:

- 5 nodi
- 4 rami.

Si sono schematizzate le utenze in *utenze concentrate* nei nodi.

Si è ipotizzato inoltre che tali utenze siano costituite solamente da utenze di tipo civile caratterizzate cioè da un coefficiente di contemporaneità; con tale coefficiente si tiene conto che aumentando il numero delle famiglie allacciate diviene sempre più improbabile che i prelievi

Numero di famiglie	Coefficiente di contemporaneità
1	1
3	1
5	1
7	1
10	0.987
15	0.930
20	0.897
30	0.852
40	0.822
60	0.784
80	0.762
100	0.746
200	0.704
300	0.686
500	0.667
700	0.657
1000	0.647



coefficiente di contemporaneità è il calcolo del rapporto tra le utenze massime effettive e le

utenze massime teoriche, dove per utenze massime teoriche si intende la somma dei massimi di tutte le utenze collegate; il coefficiente in particolare decresce all'aumentare del numero delle utenze. Il numero totale di famiglie è pari a 123; in analogia a quanto riportato nella precedente tabella, si è cautelamene imposto un coefficiente di contemporaneità pari al **70%**.

Ai fini del calcolo, le quantità definite sugli allacciamenti e sulle utenze vengono ricondotte a valori di consumo sui nodi e sui rami secondo quanto segue:

- le quantità definite sulle utenze sono trasferite agli elementi ai quali le utenze stesse sono collegate;
- le quantità definite sugli allacciamenti, comprensive di quelle delle utenze ad essi collegate e già trasferite, sono a loro volta trasferite sui rami ai quali gli allacciamenti stessi sono collegati.

Per la presente analisi si è assunto un valore di dotazione per utente pari a 3.00 Smc/h.

3.1.3 Materiali utilizzati

Nella rete sono presenti i seguenti condotti a sezione circolare:

Condotto	Scabrezza di parete (micron)	Diametro interno (mm)	Spessore (mm)	Numero rami	Lunghezza totale (m)
PE DN 225	0.0000	183.600	20.500	7	209.47
				7	209.47

3.1.4 Nodi

Nodo	Quota del terreno (m slm)	Pressione fissata nel nodo (mBar)	Numero di utenti	Portata di verifica (Smc/h) *
1	0.00	24.30	0	0.0000
2	0.00	0.00	18	0.0000
3	0.00	0.00	34	0.0000
4	0.00	0.00	17	0.0000
5	0.00	0.00	17	0.0000
6	0.00	0.00	18	0.0000
7	0.00	0.00	12	0.0000
8	0.00	23.40	0	0.0000

3.1.5 Rami

I rami che costituiscono la rete sono i seguenti:

<i>Ramo</i>	<i>Nodo iniziale</i>	<i>Nodo finale</i>	<i>Condotto</i>	<i>Lunghezza (m)</i>	<i>Portata distribuita (Smc/hm)</i>	<i>Portata di verifica (Smc/h)</i>	<i>Moltiplicatore generale consumi</i>
1	1	2	225	38.42	0.00000	0.0000	0.70
2	2	3	225	36.11	0.00000	0.0000	0.70
3	3	4	225	62.71	0.00000	0.0000	0.70
4	4	5	225	25.66	0.00000	0.0000	0.70
5	5	6	225	17.10	0.00000	0.0000	0.70
6	6	7	225	16.52	0.00000	0.0000	0.70
7	7	8	225	12.96	0.00000	0.0000	0.70

4 Risultati

4.1.1 Nodi

Per ogni nodo vengono riportati:

- *Pressione*: pressione calcolata nel nodo (mBar);
- *Portata*: portata di gas scambiata dal nodo (Smc/h); rappresenta la portata uscente dal nodo (consumo) se negativa, o la portata in ingresso nel nodo se positiva.

<i>Nodo</i>	<i>Pressione (mBar)</i>	<i>Portata entrante (Smc/h)</i>
1	24.30	447.5924
2	23.99	-54.0033
3	23.76	-101.9991
4	23.52	-50.9996
5	23.45	-50.9997
6	23.42	-53.9998
7	23.41	-35.9992
8	23.40	-99.5917

4.1.2 Rami

Per ogni ramo vengono riportati:

- *Portata in ingresso*: la portata che entra nel ramo (Smc/h);
- *Portata in uscita*: la portata che esce dal ramo (Smc/h);
- *Portata distribuita*: la portata totalmente distribuita lungo il ramo scambiata con l'esterno (Smc/h);
- *Pressione minima*: la minima pressione (mBar) calcolata lungo il ramo;
- *Velocità massima*: la massima velocità (m/s) calcolata lungo il ramo.

Ramo	Portata in ingresso (Smc/h)	Portata in uscita (Smc/h)	Portata distribuita (Smc/h)	Pressione minima (mBar)	Velocità massima (m/s)
1	447.5924	447.5924	0.00000	23.9905	4.5148
2	393.5891	393.5891	0.00000	23.7590	3.9710
3	291.5900	291.5900	0.00000	23.5226	2.9426
4	240.5904	240.5904	0.00000	23.4538	2.4281
5	189.5907	189.5907	0.00000	23.4236	1.9134
6	135.5910	135.5910	0.00000	23.4074	1.3685
7	99.5917	99.5917	0.00000	23.4000	1.0051