

Nicola Taraschi

Progettazione e calcolo di impianti di climatizzazione

LA TEORIA, LE MACCHINE, IL SOFTWARE

- Calcolo delle reti aerauliche con il software CANALI
- Le trasformazioni dell'aria umida ed il software PSICRO
- I ventilatori
- Le batterie alettate ed il software BATTERIE
- I recuperatori di calore
- Le torri evaporative ed il software TORRI
- Il software di calcolo secondo la norma UNI 13786
- Il software COMPRESSORI secondo la norma 113500

SECONDA EDIZIONE

The logo for GRAFILL, featuring a stylized 'G' and 'I' above the word 'GRAFILL' in a bold, sans-serif font.

Nicola Taraschi

PROGETTAZIONE E CALCOLO DI IMPIANTI DI CLIMATIZZAZIONE

ISBN 13 978-88-8207-551-4

EAN 9 788882 075514

Software, 73

Seconda edizione, aprile 2014

Taraschi, Nicola <1952->

Progettazione e calcolo di impianti di climatizzazione / Nicola Taraschi.

– 2. ed. – Palermo : Grafill, 2014.

(Software ; 73)

ISBN 978-88-8207-551-4

1. Impianti di condizionamento.

697 CDD-22

SBN Pal0267716

CIP – Biblioteca centrale della Regione siciliana "Alberto Bombace"

Il presente volume è **disponibile anche in versione eBook** (formato *.pdf) compatibile con **PC, Macintosh, Smartphone, Tablet, eReader**.

Per l'acquisto di eBook e software sono previsti pagamenti con conto corrente postale, bonifico bancario, carta di credito e paypal. Per i pagamenti con carta di credito e paypal è consentito il download immediato del prodotto acquistato.

Per maggiori informazioni inquadra con uno smartphone o un tablet il codice QR sottostante.



I lettori di codice QR sono disponibili gratuitamente su Play Store, App Store e Market Place.

© **GRAFILL S.r.l.**

Via Principe di Palagonia, 87/91 – 90145 Palermo

Telefono 091/6823069 – Fax 091/6823313

Internet <http://www.grafill.it> – E-Mail grafill@grafill.it

Finito di stampare nel mese di aprile 2014

presso **Tipolitografia Luxograph S.r.l.** Piazza Bartolomeo Da Messina, 2/e – 90142 Palermo

Tutti i diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica e di riproduzione sono riservati. Nessuna parte di questa pubblicazione può essere riprodotta in alcuna forma, compresi i microfilm e le copie fotostatiche, né memorizzata tramite alcun mezzo, senza il permesso scritto dell'Editore. Ogni riproduzione non autorizzata sarà perseguita a norma di legge. Nomi e marchi citati sono generalmente depositati o registrati dalle rispettive case produttrici.

INDICE

PREFAZIONE	p.	7
1. LE PERDITE DI CARICO NEI CIRCUITI AERAILICI	"	9
1.1. L'equazione dell'energia applicata all'aerailica	"	9
1.2. Le perdite di carico	"	10
1.3. Le proprietà fisiche dell'aria	"	10
1.4. Legame fra perdita e portata.....	"	11
1.5. L'influenza della temperatura.....	"	12
1.6. Influenza del diametro.....	"	12
1.7. Il diametro ottimale	"	14
1.8. Il coefficiente di forma.....	"	15
1.9. Le perdite concentrate	"	16
2. APPLICAZIONI DI AERAILICA	"	18
2.1. Il calcolo dei canali con il calcolo elettronico.....	"	18
2.1.1. Calcolo di progetto a perdita costante	"	19
2.1.2. Calcolo di progetto a velocità limite.....	"	19
2.1.3. Calcolo di progetto a recupero di statica	"	20
2.2. Il confronto fra i sistemi aerailici ed idraulici ai fini del costo del trasporto dell'energia termica	"	20
2.3. La caduta di temperatura nei condotti	"	21
2.4. Le pressioni nei condotti aerailici: pressione dinamica e pressione statica	"	22
2.5. I diffusori	"	25
2.6. I diffusori a maniche tessili	"	26
2.7. I filtri.....	"	27
3. LE RETI AERAILICHE	"	28
3.1. Generalità sulle reti aerailiche.....	"	28
3.2. Il calcolo delle portate reali	"	29
3.3. Il confronto fra il metodo di calcolo dei canali a recupero di statica e quello a perdita di carico costante	"	29
3.3.1. Il calcolo a recupero di statica	"	30
3.3.2. Il calcolo a perdita di carico costante	"	32
3.3.3. Confronto fra i due criteri.....	"	33
3.4. La rete con ricircolo	"	33
3.5. La rete con ventilatore di ricircolo	"	35
3.6. Gli impianti di aspirazione	"	37

4. LA FISICA DELL'ARIA UMIDA	p.	40
4.1. Proprietà fondamentali dell'aria umida	"	40
4.1.1. I passaggi di stato	"	40
4.1.2. Proprietà psicrometriche.....	"	41
4.2. Le trasformazioni dell'aria umida: la miscelazione	"	43
4.3. Riscaldamento – raffreddamento.....	"	44
4.4. La condensazione sulle tubazioni.....	"	45
4.5. Raffreddamento con condensazione.....	"	46
5. LE TRASFORMAZIONI DELL'ARIA UMIDA.....	"	50
5.1. Umidificazione	"	50
5.2. Umidificazione adiabatica.....	"	51
5.3. Il ciclo estivo	"	51
5.3.1. La regolazione	"	54
5.3.2. Il calcolo dell'azione di regolazione di temperatura	"	56
5.3.3. Il calcolo dell'azione di regolazione di umidità relativa	"	57
5.3.4. Caso 1: la potenza termica sensibile ambiente si riduce al 50%, mentre rimane inalterata quella latente	"	58
5.3.5. Caso 2: la potenza termica sensibile rimane uguale, quella latente si riduce al 50%.....	"	59
5.3.6. Caso 3: potenza termica sensibile e latente ambiente si riducono al 50%.....	"	59
5.4. Il ciclo invernale.....	"	61
6. I VENTILATORI	"	65
6.1. La variazione del punto di lavoro.....	"	65
6.2. La curva caratteristica q-DP dei ventilatori al variare del diametro.....	"	67
6.3. La curva caratteristica q-h dei ventilatori al variare del numero di giri	"	68
6.4. Il punto di lavoro al variare del numero di giri	"	69
6.5. I sistemi per la regolazione della portata nei ventilatori centrifughi.....	"	70
6.5.1. I ventilatori a velocità variabile.....	"	70
6.5.2. La variazione di portata mediante regolatore con pale ad inclinazione variabile	"	72
6.6. I ventilatori assiali	"	72
6.7. L'utilizzo del foglio elettronico	"	74
7. LE BATTERIE ALETTATE NEL CONDIZIONAMENTO DELL'ARIA.....	"	75
7.1. Premessa	"	75
7.2. L'aletta cilindrica.....	"	76
7.3. Il coefficiente di scambio termico nelle batterie alettate.....	"	78
7.4. La trasmittanza al variare del passo delle alette	"	80
7.5. Le configurazioni delle batterie alettate	"	81
7.6. Il progetto di una batteria alettata (senza condensazione).....	"	84
7.7. Le batterie alettate con condensazione dell'aria.....	"	88
7.7.1. L'influenza della temperatura di ingresso dell'acqua refrigerata	"	90

7.7.2.	L'influenza della temperatura di ingresso dell'aria ad umidità relativa dell'aria d'ingresso costante (50%)	p.	91
7.7.3.	L'influenza della variazione della velocità dell'aria in ingresso	"	93
7.7.4.	L'influenza della variazione della velocità dell'acqua refrigerata	"	93
7.7.5.	Le batterie in serie	"	94
7.8.	Le perdite di carico delle batterie alettate	"	94
8.	LE APPARECCHIATURE PER IL TRATTAMENTO DELL'ARIA	"	98
8.1.	Le torri di raffreddamento	"	98
8.2.	I fancoil	"	107
8.3.	I recuperatori di calore aria-aria	"	112
8.4.	Le serrande di regolazione	"	121
9.	I COMPRESSORI DEGLI IMPIANTI FRIGORIFERI	"	124
9.1.	I compressori alternativi	"	124
9.1.1.	La regolazione nei compressori alternativi	"	125
9.1.2.	Bypass fra mandata ed aspirazione	"	125
9.1.3.	Esclusione di cilindri	"	125
9.2.	I compressori scroll	"	126
9.3.	I compressori a vite	"	127
9.4.	I turbocompressori centrifughi	"	128
9.5.	La valvola di laminazione termostatica	"	130
9.5.1.	Valvola con equilibratore esterno delle pressioni	"	132
9.5.2.	La valvola di espansione elettronica	"	133
9.6.	Le valvole pressostatiche per acqua	"	134
10.	LA REGOLAZIONE DEI COMPRESSORI NEGLI IMPIANTI FRIGORIFERI	"	136
10.1.	Regolazione della potenza frigorifera	"	137
10.2.	Circuiti frigoriferi senza parzializzazione	"	138
10.3.	Circuiti frigoriferi con parzializzazione	"	140
10.4.	Gruppi frigoriferi con 2 gradini di parzializzazione	"	140
10.5.	Circuiti frigoriferi con sistemi di parzializzazione continua	"	141
10.6.	Gli indici di efficienza energetica stagionale	"	141
10.6.1.	L'indice energetico EMPE	"	141
10.7.	L'efficienza energetica dei compressori e la norma UNI 11135	"	142
10.8.	Esempio di calcolo della prestazione stagionale	"	144
10.9.	La regolazione dei compressori in parallelo	"	145
10.10.	La regolazione in cascata nei compressori degli impianti frigoriferi	"	149
11.	GLI IMPIANTI AD ACCUMULO DI GHIACCIO	"	152
11.1.	Le modalità di funzionamento del sistema	"	154
12.	INSTALLAZIONE DEL SOFTWARE ALLEGATO	"	159
12.1.	Introduzione	"	159
12.2.	Requisiti minimi hardware e software	"	159
12.3.	Download del software e richiesta della password di attivazione	"	160

12.4. Installazione ed attivazione del software.....	p.	160
13. IL PROGRAMMA CANALI	"	162
13.1. Presentazione.....	"	162
13.2. Tipologie di calcolo.....	"	162
13.3. L'ambiente di lavoro.....	"	163
13.3.1. Il menu File.....	"	163
13.3.2. Il menu Viste.....	"	164
13.3.3. Il menu Archivi.....	"	165
13.3.4. Il menu Help.....	"	165
13.3.5. Il menu Componenti.....	"	166
13.3.6. Gli esempi.....	"	166
13.3.7. Elenco progetti su disco.....	"	166
13.3.8. Tabulato EXCEL.....	"	167
13.4. Come iniziare: la produzione di un nuovo progetto.....	"	167
13.5. L'ambiente grafico di immissione dei dati.....	"	168
13.6. Un esempio passo-passo.....	"	175
13.7. L'immissione dei nuovi componenti.....	"	177
13.8. Gli esempi.....	"	180
13.8.1. Esempio rete con diffusori.....	"	180
13.8.2. Esempio rete di aspirazione.....	"	184
13.8.3. Esempio rete mista.....	"	186
13.8.4. Esempio rete con bypass.....	"	187
14. IL PROGRAMMA PSICRO	"	189
14.1. Proprietà del punto.....	"	189
14.2. Miscelazione.....	"	190
14.3. Riscaldamento-raffreddamento sensibile.....	"	191
14.4. Umidificazione.....	"	192
14.5. Umidificazione con vapore.....	"	192
14.6. Raffreddamento con condensazione.....	"	193
14.7. Ciclo estivo.....	"	194
14.8. Ciclo estivo con postriscaldamento.....	"	196
14.9. Ciclo invernale.....	"	198
14.10. Ciclo invernale con umidificazione a vapore.....	"	200
14.11. Verifica estiva.....	"	200
15. IL PROGRAMMA BATTERIE ALETTATE	"	201
16. IL PROGRAMMA TORRI EVAPORATIVE	"	204
17. IL PROGRAMMA COMPRESSORI	"	206
18. IL PROGRAMMA UNI 13786.....	"	209
BIBLIOGRAFIA	"	214

Prefazione

In questi ultimi anni nel campo termotecnico assistiamo a due tendenze particolari :un forte sviluppo degli impianti di condizionamento dell'aria e l'evoluzione delle norme tecniche di progettazione verso condizioni di maggiore attenzione alle condizioni effettive di funzionamento degli impianti. Questo testo vuol dare un contributo ad entrambe queste tendenze, fornendo competenze nel campo degli impianti di climatizzazione con una metodologia di analisi di componenti ed impianti che ha come costante intento quello di trovare le condizioni reali di funzionamento. Il software è lo strumento utilizzato nel testo per lo studio teorico e nello stesso tempo viene reso disponibile al professionista per il calcolo degli impianti e macchine per la climatizzazione. Le tematiche trattate non possono, per le dimensioni del testo, coprire tutti gli aspetti del condizionamento dell'aria, ma trattare quelle ritenute fondamentali.

I primi cinque capitoli sviluppano gli argomenti teorici, anche se legati alla pratica di progettazione e trattano il calcolo dei canali e delle reti di canali, la fisica dell'aria umida e le trasformazioni psicrometriche. I capitoli sesto, settimo ed ottavo analizzano le macchine per il trattamento dell'aria: i ventilatori, le batterie alettate i fancoil, le torri evaporative. I capitoli nono e decimo riguardano i compressori e la loro regolazione. Il capitolo undicesimo tratta la produzione di energia frigorifera attraverso l'accumulo di ghiaccio. I capitoli dal dodicesimo al diciottesimo sono il manuale del software a corredo e rispettivamente:

- **CANALI**: programma per il calcolo delle reti di canali, versione analoga al programma **TUTTELERETI** per le reti idrauliche, che permette il calcolo reale di reti anche non comuni. Il programma permette l'immissione dei dati del progetto in un ambiente grafico in cui è possibile disegnare la geometria della rete e immettere direttamente i dati associati.
- **PSICRO**: tutti i calcoli sul trattamento dell'aria umida.
- **BATTERIE**: calcolo di batterie alettate deumidificanti.
- **TORRI**: calcolo di torri evaporative con il metodo del NTU.
- **COMPRESSORI**: calcolo dell'efficienza stagionale di uno o più compressori in parallelo secondo UNI 11135.
- **UNI 13786**: calcolo della trasmittanza termica periodica e delle grandezze correlate secondo la norma 13786.

Introduzione alla seconda edizione

Questa seconda edizione aggiunge nuovi contenuti: in particolare i compressori e l'accumulo di ghiaccio. Vengono inoltre approfonditi alcuni contenuti precedenti come il ciclo estivo ed invernale, la regolazione di velocità dei ventilatori, le batterie alettate, i fancoil e le serrande. Il programma **CANALI** subisce dei miglioramenti quali la produzione del tabulato del calcolo sotto forma di file Word comprensivo degli schemi grafici. Le tabelle dei risultati del calcolo sono analogamente esportabili in formato EXCEL. L'ambiente grafico di immissione dei dati di input subisce anch'esso un miglioramento e potenziamento.

Capitolo 1

Le perdite di carico nei circuiti aeraulici↪ **1.1. L'equazione dell'energia applicata all'aeraulica**

Se consideriamo un generico condotto (figura 1.1) in cui circola aria, l'espressione del teorema dell'energia, applicata fra l'aspirazione e la mandata può essere espresso nella forma:

$$[1] H_A + H_v - H_w = H_B \text{ dove:}$$

$$H_A = P_A / \gamma + Z_A + V_A^2 / 2g$$

$$H_B = P_B / \gamma + Z_B + V_B^2 / 2g$$

- H_A, H_B energia idraulica nei punti A e B [metri di colonna di fluido];
- P_A, P_B pressioni relative al nodo A iniziale e B finale [Pa];
- V_A, V_B velocità nei punti A e B [m/s];
- H_w = perdite di carico del circuito [metri di colonna di fluido];
- Z_A, Z_B quote geometriche dei nodi rispettivamente iniziale e finale [m];
- H_v = prevalenza fornita dal ventilatore [metri di colonna di fluido];
- γ = peso specifico del fluido [N/m³];

per l'essere il condotto immerso in aria possiamo affermare, per le leggi dell'idrostatica, che:

$$P_A / \gamma + Z_A = P_B / \gamma + Z_B$$

ne consegue:

$$[2] H_p = V_B^2 / 2g + H_w$$

cioè il ventilatore deve vincere le sole perdite di carico del condotto e fornire l'energia cinetica posseduta dall'aria in uscita.

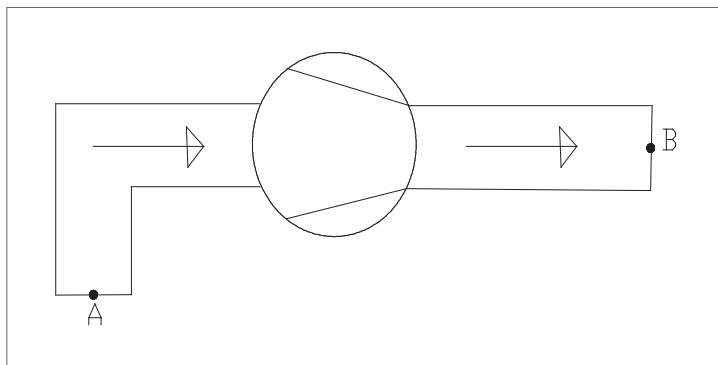


Figura 1.1.

1.2. Le perdite di carico

Il termine H_W rappresenta le perdite di carico del condotto, che possono essere suddivise in distribuite (quelle dovute all'attrito del condotto e quindi proporzionali alla lunghezza della tubazione, e concentrate dovute ai cambiamenti di direzione ed in genere agli ostacoli che il fluido incontra nel suo movimento.

Nella letteratura tecnica l'equazione universalmente accettata per il calcolo delle perdite di carico è quella di Darcy-Weisbach:

$$[3] Y_c = \frac{\lambda \cdot v^2 \cdot L}{2 \cdot g \cdot D}$$

dove:

- Y_c = metri di colonna di fluido;
- λ = fattore di attrito [numero puro];
- V = velocità aria;

il fattore di attrito può essere ricavato con l'espressione:

$$[4] 1 / \sqrt{\lambda} = -2 \log (RR / 3,7 + 2,51 / R \sqrt{\lambda})$$

dove:

- RR = rugosità relativa = ε / D ;
- ε = rugosità assoluta tubazione [m];
- L = lunghezza tubazione [m];
- D = diametro interno tubo [m];
- g = accelerazione di gravità [m/s²].

E passando da Y_C (metri di colonna di fluido) alla caduta di pressione DP :

$$\Delta P = \rho \cdot g \cdot Y_C$$

- ρ = massa volumica del fluido [kg/m³].

Il fattore di attrito λ dipende dal regime di moto che è determinato dal numero di Reynolds R dove:

$$[5] R = \frac{V \cdot D \cdot \rho}{\mu}$$

dove:

μ = viscosità dinamica [N · s / m²] oppure [Pa · s].

Introducendo la viscosità cinematica ν è la relazione:

$$[6] \nu = \mu / \rho$$

- ν = viscosità cinematica [m²/s].

1.3. Le proprietà fisiche dell'aria

La viscosità: la viscosità dinamica è una misura della resistenza di attrito interna. Nell'aria, come in tutti i gas, a differenza dei liquidi, la viscosità aumenta con la temperatura.

La massa volumica: la massa volumica dell'aria diminuisce all'aumentare della temperatura e al diminuire della pressione (e quindi diminuisce con l'altitudine).

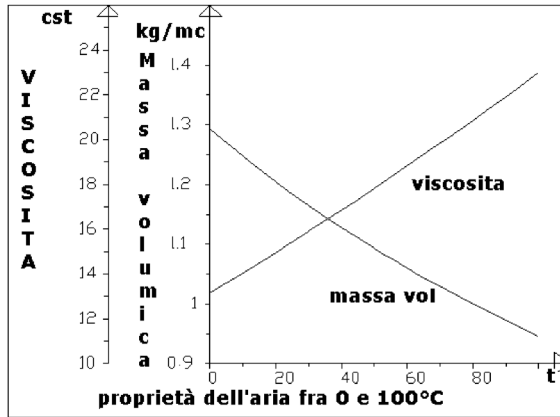


Figura 1.2.

Il grafico di figura 1.2 mostra l'andamento delle proprietà dell'aria, viscosità e massa volumica al variare della temperatura fra zero e 100°C.

Si può quindi affermare che, in base alla [3] la perdita di carico dipende:

- dalla portata o la velocità della tubazione;
- dal diametro interno del tubo;
- dalla rugosità del tubo;
- dalla temperatura, che influenza la viscosità e la massa volumica.

1.4. Legame fra perdita e portata

Se nella [3] supponiamo costante la temperatura ed il diametro, otteniamo la relazione (vedi figura 1.3):

$$[7] Y = K \cdot q^2 \cdot L$$

q = portata

dove K riassume tutte le grandezze supposte costanti come il diametro, la lunghezza, il coefficiente di attrito. In realtà quest'ultimo non è del tutto costante perché varia al variare della velocità e quindi del numero di Reynolds. Il grafico di figura 1.3 è relativo al canale circolare avente $D = 250$ mm ed è costruito con il criterio:

- in ascissa viene riportato il rapporto q / q^* fra la portata e la portata di riferimento (relativa ad una velocità di 1 m/sec);
- in ordinata il rapporto fra la perdita H e la perdita H^* (quella ottenuta con la portata di riferimento). Inoltre:
 - temperatura = 15°C;
 - altezza S.L.M. = 0 metri;

- rugosità assoluta = 250 micron.

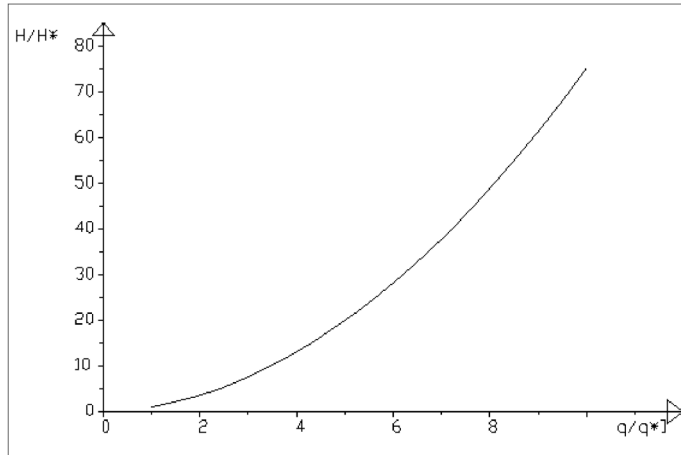


Figura 1.3.

Il grafico evidenzia un legame non lineare ma quasi quadratico fra l'ordinata e l'ascissa. Un legame quadratico significa che ad un raddoppio della portata consegue un aumento della perdita di circa quattro volte e della potenza idraulica di circa otto. Si ricorda infatti che la potenza idraulica W_h è esprimibile con la relazione:

$$W_h = \rho \cdot g \cdot q \cdot H$$

dove:

- H = prevalenza.

↪ 1.5. L'influenza della temperatura

La temperatura influisce in due modi sulle perdite di carico: al variare di questa aumenta la viscosità dell'aria mentre la massa volumica diminuisce. Nel grafico di figura 1.4 è riportato il rapporto fra la perdita di carico P , a temperatura t e quella di riferimento P_r . La perdita P_r di riferimento è considerata nelle condizioni:

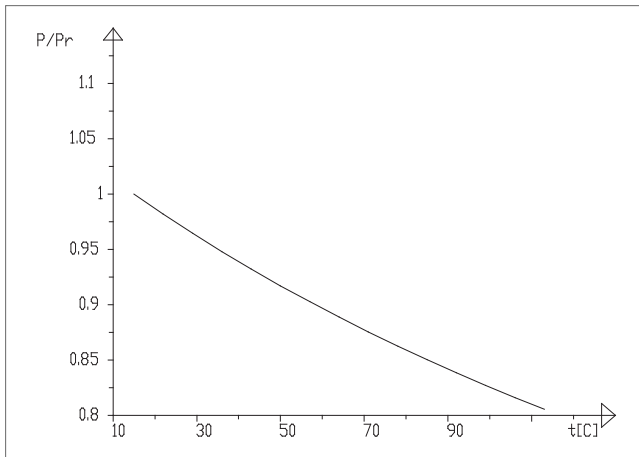
- temperatura = 15°C, rugosità assoluta = 250 micron, velocità pari a 3 m/s.

Si può notare un abbassamento di questo rapporto all'aumentare della temperatura (circa 18% fra 15 e 100°C).

↪ 1.6. Influenza del diametro

Se si sviluppa infine la [3] in funzione della portata anziché della velocità, si ottiene la seguente equazione:

$$[8] Y = K \cdot \frac{Q^2 \cdot L}{D^5}$$

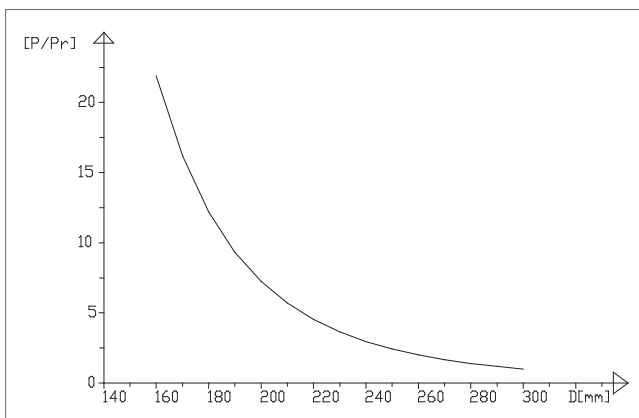
**Figura 1.4.**

Si può pertanto desumere la forte influenza del diametro, a parità di altre condizioni, sulla perdita di carico.

Nel grafico di figura 1.5 viene riportato il rapporto fra la perdita di carico in funzione del diametro, P , e quella relativa al diametro = 300 mm, P_r , nelle seguenti condizioni:

- temperatura = 15°C, rugosità assoluta = 250 micron, portata = 5 m³/h.

È evidente la forte diminuzione di perdita all'aumentare del diametro.

**Figura 1.5.**

Se l'equazione [3] viene risolta considerando costante il rapporto V^2/D e quindi con una perdita costante, otteniamo il grafico di figura 1.6 che mostra come a diametri crescenti corrisponderanno velocità crescenti.

Bisogna quindi tener presente che una stessa velocità dell'aria può conseguire una perdita di carico completamente differente a seconda del diametro

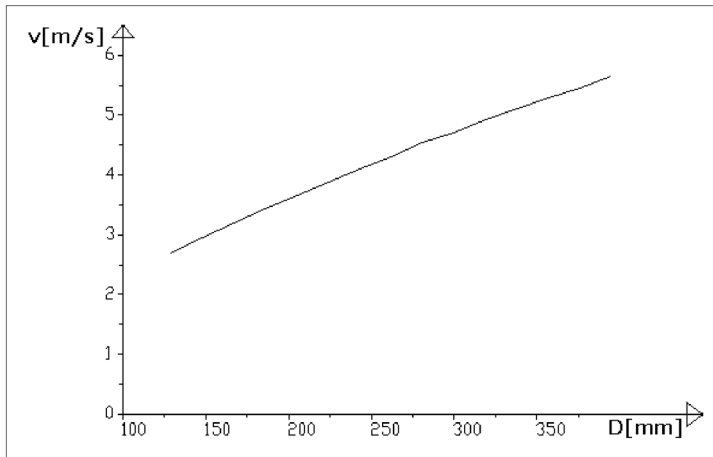


Figura 1.6.

↪ 1.7. Il diametro ottimale

Lo studio della maggiore convenienza economica di una tubazione a convogliare una data portata può essere basato sulla condizione:

- COSTO TOTALE = COSTO ENERGIA + COSTO ANNUO TUBAZIONE = MINIMO.

Si supponga che:

- la spesa di installazione sia costante per diametri vicini;
- il costo annuo della tubazione, CTA, venga calcolato con l'espressione seguente della matematica finanziaria:

$$[9] CTA = p \cdot CT$$

dove:

- p = rata annuale rappresentante l'ammortamento in n anni al tasso d'interesse i ;
- CT = costo tubazione [€/m].

$$[10] p = \frac{(1+i)^n \cdot i}{(1+i)^n - 1}$$

- il costo dell'energia venga calcolato come:

$$[11] CE = \epsilon \cdot W_h \cdot h / \eta$$

dove:

- CE = costo energia [€];
- ϵ = costo in euro del kilowattora;
- η = rendimento del sistema nei confronti dell'energia elettrica assorbita;
- W_h = potenza idraulica persa per attrito da 1 metro di canale;
- h = ore annue di funzionamento.

Il grafico di figura 1.7 riporta l'andamento del costo totale in funzione della portata per i canali rispettivamente $D = 200, 250, 300$ mm nelle condizioni:

- ore annue di funzionamento 3.650, costo del KWH = € 0,15, anni 5 di ammortamento, temperatura aria = 15°C. Si può osservare che:
 - le curve partono tutte (anche se il grafico non rappresenta questa parte), per una portata pari a zero, da un costo uguale al costo del canale;
 - l'incremento del costo totale (la pendenza delle curve) è maggiore per i canali di diametro più piccolo (maggiori perdite), minore per quelli di diametro maggiore: questo è dovuto al fatto che i diametri minori hanno perdite maggiori;
 - la maggiore convenienza si verifica per ogni diametro in un certo campo di portate.

In questo caso:

- la tubazione D = 200 è più conveniente, ha cioè il costo totale più basso, per una portata inferiore a quella del punto A (530 m³/h);
- la tubazione D = 250 è più conveniente nel campo di portate fra i punti A e B (fra 530 e 775 m³/h);
- la tubazione D = 300 è più conveniente per portate superiori a quella del punto B (maggiore di 775 m³/h).

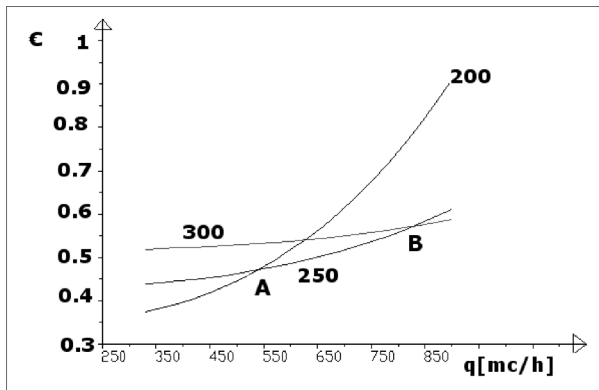


Figura 1.7.

1.8. Il coefficiente di forma

Il canale rettangolare di lati a e b può essere considerato ai fini del calcolo della perdita di carico distribuita come un canale circolare avente diametro equivalente:

$$D_{eq} = 1,3 \cdot \frac{(a \cdot b)^{0,625}}{(a + b)^{0,25}}$$

Questa espressione conduce alla seguente osservazione:

- il canale rettangolare, a parità di area e quindi sia di velocità che di portata ha perdite maggiori di quello circolare, questa perdita inoltre aumenta all'aumentare del rapporto a/b fra i due lati.

Supponiamo che sia:

$$S = a \cdot b = \text{area sezione, } k = a / b$$

l'espressione del diametro equivalente diventa, dopo qualche passaggio:

$$D_{eq} = 1,3 \cdot \frac{S^{0,625}}{\sqrt{S / K (1+k)}}$$

Il grafico di figura 1.8 riporta il rapporto R fra la perdita di carico in funzione di k e quella per k = 1. Si può desumere che la perdita di carico, a parità di portata, aumenta al diminuire del valore di k. Maggiore è la differenza fra i lati maggiore sarà la perdita di carico del canale: la forma più conveniente è pertanto sempre quella con i lati uguali.

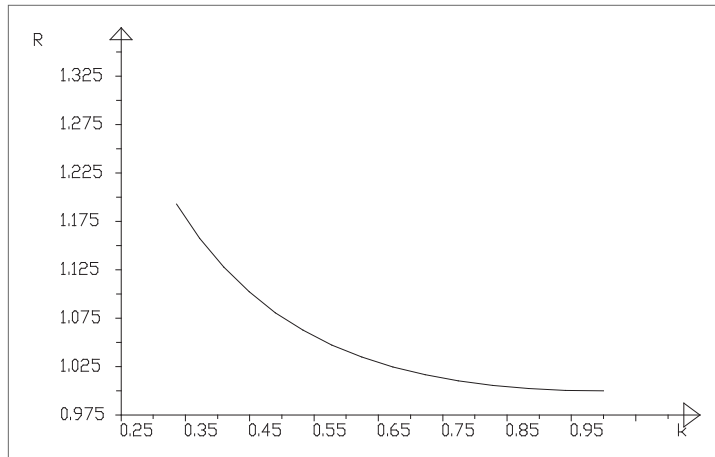


Figura 1.8.

↳ 1.9. Le perdite concentrate

La perdita concentrata è quella che si realizza in corrispondenza di discontinuità della tubazione come curve, gomiti, restringimenti ecc. Il “disturbo” arrecato al flusso della corrente provoca dei vortici localizzati che comportano una perdita di energia cinetica. La perdita localizzata Y_1 (in metri di colonna di fluido) viene infatti calcolata con l'espressione:

$$[11] Y_1 = \xi \cdot \frac{V^2}{2g}$$

dove il termine ξ è un numero puro che dipende dal tipo di discontinuità. presenti. Occorre per questo fare riferimento ai manuali tecnici che riportano i valori dei coefficienti per i singoli casi. Bisogna poi aggiungere che il termine ξ non è indipendente dalle dimensioni della tubazione ed assume valori diversi in dipendenza dei diversi diametri, il che rende ancora più difficoltoso il calcolo.

Un metodo molto diffuso per la determinazione delle perdite di carico concentrate è quello della lunghezza equivalente, definita come quella lunghezza che dà una perdita distribuita pari a quella concentrata. Ai fini del calcolo alla lunghezza geometrica della tubazione viene a sommarsi quella equivalente per le perdite concentrate, dando un'unica lunghezza denominata VIRTUALE. La per-

l'altezza di carico del tratto è quella derivante dal calcolo della perdita distribuita relativamente alla lunghezza non geometrica ma virtuale.

Se sommiamo la perdita distribuita, espressione (3) e concentrata, espressione (11) otteniamo per uno stesso tratto:

$$Y_t = \lambda \cdot L \cdot V^2 / 2 \cdot g \cdot D + \xi \cdot V^2 / 2 g$$

e mettendo in evidenza:

$$Y_t = \frac{V^2}{2g} (\lambda \cdot L / D + \xi)$$

dove Y_t = altezza totale.

Nel caso dei sistemi aeraulici il termine λ è sempre inferiore a quello dei sistemi idraulici, il diametro è sempre maggiore, il valore di ξ è invece dello stesso ordine di grandezza. Ne consegue che nei circuiti aeraulici il termine $(\lambda \cdot L / D)$, che è relativo alle perdite distribuite, è meno incidente e quindi le perdite concentrate hanno una influenza maggiore nei circuiti aeraulici.