

***IL CALCOLO DELLE RETI
IDRAULICHE
NELLA CLIMATIZZAZIONE
IDRONICA***

Il calcolo delle reti idrauliche nella climatizzazione idronica

Perché climatizzare con l'acqua

I moderni impianti di climatizzazione dai più piccoli per uso domestico sino ai grandi impianti per i complessi residenziali, ospedalieri, alberghieri etc. con potenze frigorifere che vanno da qualche kW sino ad oltre un migliaio di kW, utilizzano come fluido di trasporto del calore la comunissima acqua.

All'interno della macchina per la climatizzazione (chiller o pompa di calore) il ciclo termodinamico è realizzato ovviamente dal fluido frigorifero (R22, R407C etc.), ma il freddo (o il caldo) prodotto viene "trasportato" in giro per i vari locali da climatizzare, semplicemente inviando acqua refrigerata (o riscaldata) ai ventilconvettori, elementi terminali di un impianto ad acqua.

Gli enormi vantaggi della climatizzazione ad acqua rispetto ad un impianto ad "espansione diretta", cioè un impianto in cui il trasporto del freddo (o del caldo) ai vari locali da climatizzare è ottenuto ad opera dello stesso fluido frigorifero, sono molteplici ed abbondantemente trattati in letteratura tecnica¹.

In breve, un impianto di climatizzazione idronico (a fluido termovettore acqua) consente, rispetto agli impianti ad espansione diretta:

- notevoli risparmi energetici;
- maggiore facilità di installazione;
- massima praticità nella manutenzione;
- ridotta probabilità di guasti;
- massima attenzione per gli aspetti ecologici;
- rispetto delle norme antincendio;
- migliore impatto estetico (unica macchina esterna per impianti aventi anche un centinaio di unità interne !!!);
- tecnologia e know-how made in Italy.

Questi e tanti altri motivi hanno decretato il successo dell'impianto di climatizzazione ad acqua nel settore residenziale e nel terziario, limitando il campo di applicazione degli impianti ad espansione diretta alla nicchia costituita dalle unità split.

Climatizzare con acqua è pertanto un'opportunità indispensabile per tutti gli operatori del settore, dal progettista all'installatore, ed è la soluzione che presta la sua versatilità ad ogni tipo di impianto e di applicazione.



refrigeratore d'acqua



ventilconvettore (fan coil)

¹ Per maggiori dettagli si rimanda alla pubblicazione "Il circuito frigorifero e le macchine per la climatizzazione" a cura di Aermec S.p.A (Area Didattica del sito aermec.com).

Importanza del progetto della rete idraulica

L'acqua refrigerata (o riscaldata) dal chiller (o dalla pompa di calore, caldaia etc...) percorre la rete idraulica dell'impianto di climatizzazione trasportando energia ai vari ventilconvettori per garantire le condizioni di comfort locale per locale.

Al fine di ottenere la giusta potenza frigorifera (o termica) dai vari terminali, è necessario che ad essi giunga la giusta portata d'acqua.

Si deduce l'enorme importanza che riveste il progetto della rete idraulica che, partendo dalla macchina e percorrendo i vari locali, alimenta ogni terminale dell'impianto. Una rete idraulica mal progettata si traduce in un impianto di climatizzazione che non riesce a soddisfare la richiesta termica e che non permette, quindi, di ottenere le condizioni di benessere.

Questa pubblicazione ha lo scopo di guidare passo passo, anche attraverso esempi pratici, al corretto dimensionamento del circuito idraulico dell'impianto, dalla determinazione dei diametri dei tubi alla scelta del gruppo di pompaggio.

Tubi usati negli impianti di climatizzazione ad acqua

I tubi usati nella climatizzazione ad acqua sono principalmente:

- Tubi in acciaio;
- Tubi in rame;
- Tubi in materiale plastico.

Tubi in acciaio

Sono detti anche "tubi in ferro", anche se questa definizione è del tutto errata.

Secondo la norma UNI 8863 i diametri dei tubi in acciaio per applicazioni idrotermosanitarie si misurano in pollici (si va dai 3/8" ai 6").

I tubi in acciaio si classificano in:

- Tubi senza saldatura;
- Tubi saldati elettricamente;
- Tubi saldati Fretz Moon.

I tubi senza saldatura sono ottenuti direttamente a partire da barre o da lingotti che vengono estrusi a caldo. Sono detti comunemente "Mannesmann" in onore ai fratelli Mannesmann che per primi realizzarono alla fine dell' '800 tubi per laminazione.

I tubi saldati elettricamente ERW (Electric Resistance Welded) sono realizzati a partire da nastri d'acciaio i cui lembi sono riscaldati per effetto Joule e saldati per compressione.

I tubi saldati tipo Fretz Moon (inventori nel 1920 della tecnica di realizzazione) sono ottenuti a partire da nastri i cui lembi sono riscaldati a fiamma ad una temperatura di circa 1450°C e saldati per compressione.

I tubi in acciaio possono essere grezzi (è il caso dei cosiddetti "tubi neri") cioè senza trattamento anticorrosione oppure zincati a caldo (trattamento anticorrosione che consiste nell'immersione del tubo in un bagno di zinco fuso a circa 450°C). Altri trattamenti anticorrosione possono essere il rivestimento epossidico oppure il rivestimento in polietilene.

I tubi in acciaio sono venduti in barre aventi lunghezza da 4 ad 8 metri; tali barre possono avere estremità lisce o filettate. I tubi ad estremità filettate vengono collegati tra loro mediante manicotti; i tubi ad estremità lisce vengono collegati mediante saldatura ossiacetilenica (si usa un cannello a fiamma di acetilene, combustibile, ed ossigeno, comburente; la fiamma raggiunge una temperatura

pari a circa 3000°C; il metallo d'apporto deve avere stesse caratteristiche di fusione e meccaniche del metallo base).

Per i tubi in acciaio la pressione massima di esercizio è pari a circa 70 bar per temperature che vanno dai -10°C ai 110°C (riferirsi ai dati del costruttore)

Di seguito riportiamo le caratteristiche dei tubi in acciaio secondo la UNI 8863:

Tubi in acciaio

diametro nominale (pollici)	diametro esterno (mm)	diametro interno (mm)	contenuto acqua (l/m)	peso tubo nero o grezzo (kg/m)	peso tubo zincato (kg/m)
3/8"	16.7	12.7	0.13	0.72	0.78
1/2"	21.0	16.3	0.21	1.08	1.16
3/4"	26.4	21.7	0.37	1.39	1.48
1"	33.2	27.4	0.59	2.17	2.30
1 1/4"	41.9	36.1	1.02	2.79	2.95
1 1/2"	47.8	42.0	1.38	3.21	3.40
2"	59.6	53.1	2.21	4.51	4.77
2 1/2"	75.2	68.7	3.70	5.76	6.12
3"	87.9	80.6	5.10	7.58	8.03
4"	113.0	104.9	8.64	10.88	11.58
5"	138.5	128.8	13.02	15.98	16.88
6"	163.9	154.2	18.67	19.01	20.02

Tubi in rame

I tubi in rame trovano applicazione nei piccoli e medi impianti e sono disponibili per diametri che non superano i 42 mm.

A parità di diametro sono più costosi dei tubi in acciaio rispetto ai quali hanno però il vantaggio di una più agevole posa in opera per via della maggiore lavorabilità; i tubi in rame presentano inoltre, a parità di condizioni, minori perdite di carico rispetto ai tubi in acciaio.

Sono ottenuti per estrusione a partire da lingotti cilindrici; il trattamento di ricottura, che consiste nel riscaldamento ad una data temperatura ed in un successivo lento raffreddamento, conferisce ai tubi in rame lavorabilità e malleabilità.

I tubi in rame allo stato ricotto sono venduti in rotoli; sono anche disponibili con protezione anticorrosione in PVC.

I collegamenti tra i tubi in rame possono avvenire convenientemente per brasatura: saldatura a bassa temperatura con la fusione del solo metallo d'apporto che in genere è una lega di rame e argento, nichel, fosforo.

La pressione massima di esercizio per i tubi in rame ricotto si ottiene dalla formula:

$$P \approx 1000 \times s / D_e \quad [\text{bar}] \text{ (riferirsi ai dati del costruttore)}$$

essendo:

- s lo spessore del tubo in mm
- D_e il diametro esterno del tubo in mm

Di seguito riportiamo le caratteristiche dei tubi di rame (consultare la UNI 6507):

Tubi in rame

diametro esterno (mm)	diametro interno (mm)	contenuto acqua (l/m)	peso tubo (kg/m)
10	8.0	0.05	0.25
12	10.0	0.08	0.31
14	12.0	0.11	0.37
16	14.0	0.15	0.42
18	16.0	0.20	0.48
22	20.0	0.31	0.59
28	25.0	0.49	1.12
35	32.0	0.80	1.41
42	39.0	1.19	1.70

Tubi in materiale plastico

I più usati in campo idronico sono i tubi in polietilene reticolato (PEX). In misura minore sono anche usati tubi in polipropilene ed in polibutene.

Il PEX è ottenuto attraverso un processo chimico che aumenta i legami tra le molecole polimeriche dando luogo ad una struttura avente una resistenza meccanica superiore al normale polietilene.

Una particolarità del PEX è quella di avere “memoria termica”: se schiacciato e deformato, il tubo torna alla forma originaria semplicemente riscaldandolo leggermente.

La pressione massima di esercizio è pari a circa 10 bar, a seconda delle indicazioni del costruttore.

Di seguito riportiamo le caratteristiche dei tubi in polietilene reticolato PEX (consultare la UNI 9338):

diametro esterno (mm)	diametro interno (mm)	contenuto acqua (l/m)	peso tubo (kg/m)
12	8	0.05	0.059
15	10	0.08	0.092
18	13	0.13	0.114
20	16	0.20	0.106
22	16	0.20	0.168
28	20	0.31	0.283
32	26	0.53	0.257
40	32.6	0.83	0.396
50	40.8	1.31	0.616
63	51.4	2.07	0.979
75	61.2	2.94	1.387
90	73.6	4.25	1.980
110	90.0	6.36	2.952

Grandezze fondamentali per il progetto delle reti idrauliche

Le grandezze fondamentali per il progetto delle reti idrauliche sono:

- portata;
- prevalenza.

La portata è la quantità d'acqua che attraversa i vari rami della rete nell'unità di tempo e si misura in litri al secondo [l/s], come indicato dal Sistema Internazionale oppure, per comodità, in litri l'ora [l/h].

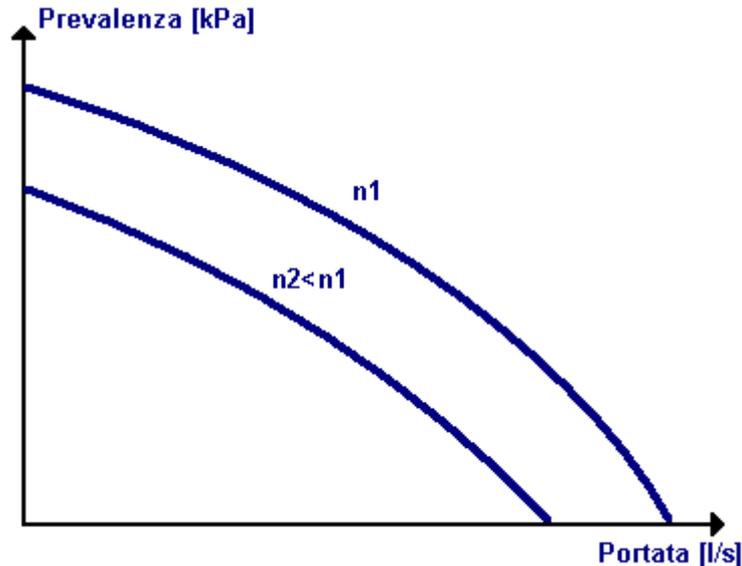
La prevalenza è la pressione dell'acqua nella sezione considerata del circuito; la prevalenza si misura in chilopascal [kPa], come indicato dal S.I. oppure, per comodità, in millimetri di colonna d'acqua [mm C.A.].

La prevalenza è data all'acqua dalla pompa, macchina operatrice la cui funzione è, negli impianti di climatizzazione e riscaldamento, quella di far circolare l'acqua all'interno del circuito vincendo le perdite di carico incontrate.

Esistono vari tipi di pompe, ma nel campo della climatizzazione si usano solo le pompe centrifughe. La parte operatrice di questo tipo di pompe è costituita da un rotore palettato che manda l'acqua in pressione sfruttando la forza centrifuga.

Curva caratteristica di una pompa centrifuga

La curva caratteristica di una pompa centrifuga indica la prevalenza che la pompa è in grado di fornire al variare della portata d'acqua messa in circolo:

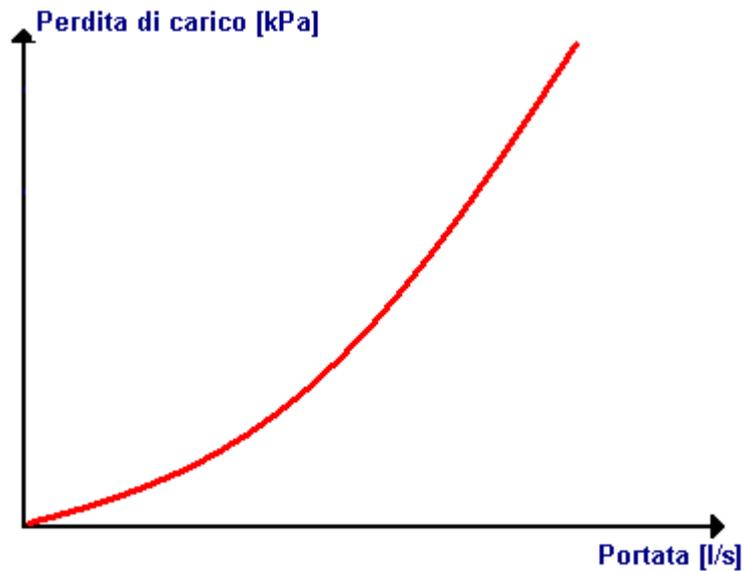


La figura mostra due diverse curve relative a due diverse velocità del rotore della pompa. La curva caratteristica della pompa viene fornita dal costruttore.

Circuito idraulico utilizzatore

Per circuito idraulico utilizzatore si intende la serie delle tubazioni, dei terminali d'impianto (ventilconvettori, batterie alettate delle Unità di Trattamento Aria etc...) e dei dispositivi idraulici. Nel percorrere il circuito idraulico l'acqua perderà pressione o "carico" (per usare un termine molto sentito nella pratica idraulica); delle perdite di carico parleremo più in dettaglio nel seguito.

La curva caratteristica del circuito utilizzatore fornisce la perdita di carico che l'acqua subisce nel percorrere il circuito al variare della portata; visto che la perdita di carico segue la legge dell'attrito fluidodinamico secondo cui la resistenza al moto è proporzionale al quadrato della velocità, la curva caratteristica del circuito idraulico è ad andamento parabolico:

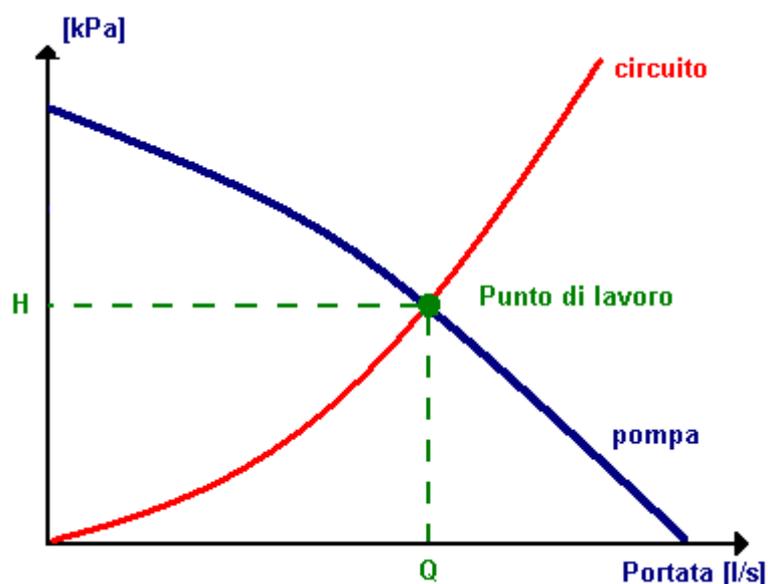


La curva caratteristica del circuito dipende dalla lunghezza, dal diametro e dal tracciato delle tubazioni, nonché dalle caratteristiche dei dispositivi idraulici e dei terminali d'impianto.

Punto di lavoro della pompa inserita nel circuito idraulico

Il punto di lavoro o di funzionamento indica l'effettiva portata Q e l'effettiva prevalenza H che la pompa fornirà al circuito utilizzatore.

Il punto di lavoro si ottiene semplicemente sovrapponendo la curva della pompa e quella del circuito:

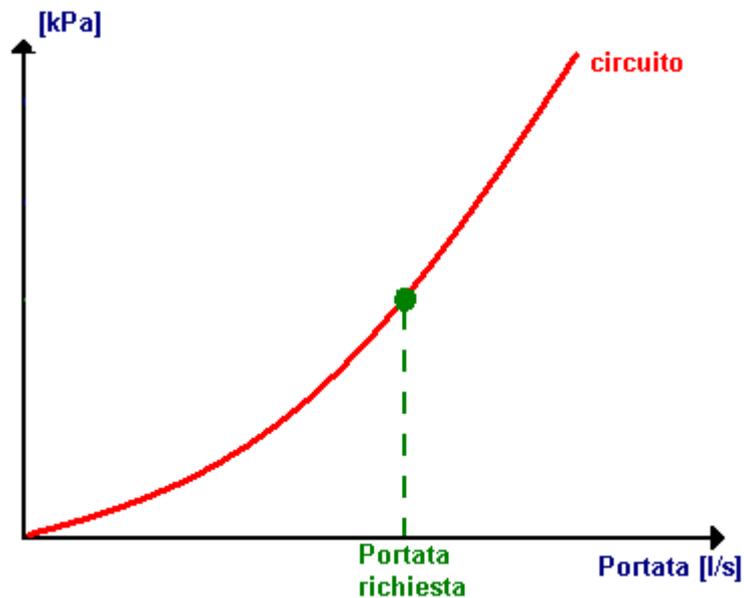


Criterio di scelta della pompa

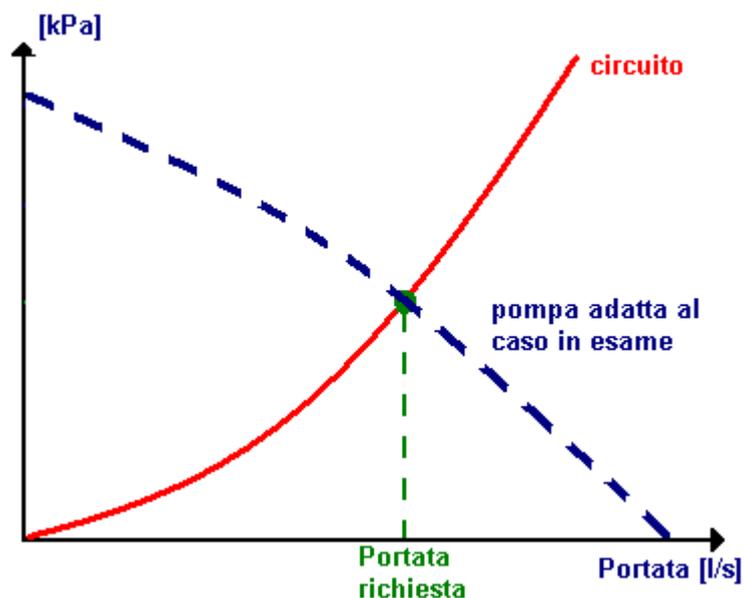
Noto il circuito idraulico da servire e nota la portata d'acqua che si vuole smaltire, è possibile scegliere la giusta pompa a partire dalla sua curva caratteristica: si sceglierà la pompa la cui curva caratteristica interseca la curva del circuito nel punto di lavoro voluto (ved. esempio seguente).

Esempio

Sia quella mostrata in figura la curva di resistenza del circuito e sia data la portata richiesta:



Ebbene, tra tutte le pompe disponibili in commercio occorrerà scegliere quelle la cui curva caratteristica interseca la curva del circuito proprio nel punto di lavoro voluto:



Le perdite di carico

La curva caratteristica del circuito si può tracciare quando siano note le perdite di carico; queste saranno note non appena saranno individuati tutti i dispositivi idraulici e non appena saranno determinati i diametri ed il tracciato delle tubazioni della rete.

Il calcolo delle perdite di carico può essere effettuato, quindi, solo dopo aver progettato l'intero circuito.

Le perdite di carico si distinguono in:

- perdite di carico distribuite (o continue);
- perdite di carico concentrate (o localizzate).

Che siano continue o localizzate, le perdite di carico si misurano in kPa oppure in mm C.A. Vale la seguente formula di conversione:

$$1 \text{ mm C.A.} \approx 10 \text{ Pa};$$

$$1 \text{ m C.A.} \approx 10 \text{ kPa}$$

Le perdite di carico distribuite sono quelle dovute all'attrito tra l'acqua e le pareti interne dei tubi; sono dette distribuite perché sono, appunto, distribuite lungo tutto il circuito.

Le perdite distribuite dipendono dal diametro del tubo, dalla rugosità della superficie interna del tubo, dalla densità (quindi dalla temperatura) dell'acqua e dal quadrato della velocità del fluido:

$$r = (F / D) \times (\rho v^2 / 2) \text{ [kPa/m; mm C.A./m]}$$

essendo:

- F un fattore adimensionale che dà conto della rugosità della parete del tubo;
- D è il diametro interno del tubo [m];
- ρ è la densità dell'acqua alla temperatura media di esercizio [kg/m^3];
- v è la velocità media dell'acqua [m/s].

Le perdite di carico concentrate o localizzate sono quelle che l'acqua incontra laddove vi sono particolarità come la presenza di dispositivi idraulici e terminali d'impianto oppure laddove vi sono variazioni brusche del diametro del tubo, curve, derivazioni etc...

Le perdite concentrate si possono determinare mediante la formula:

$$z = k \rho v^2 / 2 \text{ [kPa; mmC.A.]}$$

Come si può notare, anche le perdite concentrate, così come le distribuite, dipendono dal quadrato della velocità e dalla densità dell'acqua.

Il parametro adimensionale k è detto "coefficiente di perdita localizzata" e dipende dalla geometria della particolarità che ha creato la resistenza (accidentalità).

Esistono in letteratura tutta una serie di tabelle che permettono di ottenere il valore di k in base alla geometria ed al tipo di accidentalità.

Scelta dei diametri dei tubi e calcolo delle perdite di carico distribuite

Il calcolo delle perdite di carico distribuite può essere eseguito solo dopo avere definito i diametri dei tubi.

La scelta dei diametri dei tubi viene fatta ponendo delle limitazioni alla velocità dell'acqua che non deve essere inferiore ad un certo valore minimo, né deve essere superiore ad un dato valore massimo: se l'acqua va troppo lentamente si rischia la formazione di sacche d'aria all'interno dei tubi con conseguenti gorgoglii che rendono irregolare il flusso dell'acqua (inoltre la presenza d'aria all'interno delle tubazioni favorisce la corrosione); se l'acqua va troppo veloce si avranno, invece, perdite di carico inaccettabili che ci porteranno a dover dotare il circuito di pompe molto costose ed ingombranti (l'eccessiva velocità dell'acqua può inoltre produrre rumorosità e può addirittura portare a rottura le tubazioni per erosione).

Le velocità consigliate per i vari tipi di tubazioni sono quelle riportate nella tabella seguente:

Velocità consigliate (m/s)			
	Tubazioni principali	Tubazioni secondarie	Terminali d'impianto (ventilconvettori etc...)
Tubi in acciaio	1,2÷2,5	0,5÷1,5	0,2÷0,7
Tubi in PEX (polietilene reticolato)	1,2÷2,5	0,5÷1,5	0,2÷0,7
Tubi in rame	0,7÷1,2	0,5÷0,9	0,2÷0,5

Poiché le perdite distribuite dipendono dal quadrato della velocità dell'acqua, porre limiti alla velocità equivale a porre limiti alle perdite di carico continue.

Per gli impianti di climatizzazione si impongono alle perdite continue i seguenti limiti inferiore e superiore:

$$r = 20 \div 30 \text{ mm C.A. /m}$$

Usando tabelle come quella mostrata di seguito², sarà possibile determinare il diametro del tubo a partire dalla conoscenza della portata d'acqua: la tabella fornirà la perdita di carico distribuita per metro di tubo:

² In appendice sono mostrate anche le tabelle relative ai tubi in rame ed ai tubi in PEX.

Perdite di carico distribuite												
TUBI IN ACCIAIO												
Temperatura media acqua = 10°C												
Dn	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	4"	5"	6"
r	G											
	v											
20	152	296	637	1189	2490	3735	7000	13958	21414	43381	75182	121770
	0,33	0,39	0,48	0,56	0,68	0,75	0,88	1,05	1,17	1,39	1,60	1,81
22	159	311	670	1251	2620	3930	7366	14688	22534	45649	79114	128138
	0,35	0,41	0,50	0,59	0,71	0,79	0,92	1,10	1,23	1,47	1,69	1,91
24	167	326	702	1311	2745	4117	7717	15387	23607	47823	82882	134241
	0,37	0,43	0,53	0,62	0,74	0,83	0,97	1,15	1,29	1,54	1,77	2,00
26	174	340	733	1368	2865	4297	8055	16060	24639	49915	86507	140111
	0,38	0,45	0,55	0,64	0,78	0,86	1,01	1,20	1,34	1,60	1,84	2,08
28	181	354	762	1424	2980	4471	8380	16709	25635	51933	90004	145776
	0,40	0,47	0,57	0,67	0,81	0,90	1,05	1,25	1,40	1,67	1,92	2,17
30	188	367	791	1477	3092	4639	8695	17337	26599	53885	93386	151254
	0,41	0,49	0,59	0,70	0,84	0,93	1,09	1,30	1,45	1,73	1,99	2,25
r = perdita di carico distribuita [mm C.A. / m] G = portata [l/h] v = velocità [m/s]												

L'uso della tabella è molto semplice; supponiamo di dover smaltire una portata d'acqua refrigerata di 16000 litri/ora alla temperatura 7°C in mandata e 12°C in ritorno (temperatura media circa pari a 10°C)³; la lunghezza L del circuito sia pari a 60 metri; si vuole determinare il diametro del tubo (che supponiamo dover essere in acciaio) e, quindi, calcolare la perdita di carico distribuita lungo il circuito.

Facendo uso della tabella si entra con il valore della portata e si ottiene in verticale il diametro da assegnare al tubo ed in orizzontale la perdita di carico distribuita per ogni metro di tubo:

³ Facciamo notare che se lo stesso circuito dovrà essere percorso da acqua calda (stagione invernale) il calcolo fatto per il caso estivo risulterà automaticamente accettabile per il caso invernale, visto che l'acqua calda subisce minori perdite di carico rispetto all'acqua refrigerata: l'acqua calda ha minore densità.

Perdite di carico distribuite		TUBI IN ACCIAIO										Temperatura media acqua = 10°C	
Dn	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	4"	5"	6"	
r	G												
	v												
20	152	296	637	1189	2490	3735	7000	13958	21414	43381	75182	121770	
	0,33	0,39	0,48	0,56	0,68	0,75	0,88	1,05	1,17	1,39	1,60	1,81	
22	159	311	670	1251	2620	3930	7366	14688	22534	45649	79114	128138	
	0,35	0,41	0,50	0,59	0,71	0,79	0,92	1,10	1,23	1,47	1,69	1,91	
24	167	326	702	1311	2745	4117	7717	15387	23607	47823	82882	134241	
	0,37	0,43	0,53	0,62	0,74	0,83	0,97	1,15	1,29	1,54	1,77	2,00	
26	174	340	733	1368	2865	4297	8055	16060	24639	49915	86507	140111	
	0,38	0,45	0,55	0,64	0,78	0,86	1,01	1,20	1,34	1,60	1,84	2,08	
28	181	354	762	1424	2980	4471	8380	16709	25635	51933	90004	145776	
	0,40	0,47	0,57	0,67	0,81	0,90	1,05	1,25	1,40	1,67	1,92	2,17	
30	188	367	791	1477	3092	4639	8695	17337	26599	53885	93386	151254	
	0,41	0,49	0,59	0,70	0,84	0,93	1,09	1,30	1,45	1,73	1,99	2,25	

r = perdita di carico distribuita [mm C.A. / m]

G = portata [l/h]

v = velocità [m/s]

Dalla tabella si ottiene:

- Diametro nominale tubo: $D = 2 \frac{1}{2}$ ";
- Perdita di carico distribuita al metro: $r = 26$ mm C.A.
- Velocità dell'acqua: 1,20 m/s.

La perdita di carico continua per l'intero circuito è data da:

$$R = r \times L = 26 \text{ [mm C.A./m]} \times 60 \text{ [m]} = 1560 \text{ mm C.A.} \approx 15,6 \text{ kPa}$$

Calcolo delle perdite di carico concentrate

Le perdite di carico concentrate dipendono dalla particolare accidentalità che l'acqua incontra lungo il suo percorso (curva, derivazione, variazione di diametro, valvola, batteria del ventilconvettore, scambiatore a piastre...).

Si è detto in precedenza che le perdite di carico concentrate si calcolano a partire dalla seguente formula:

$$z = k \rho v^2 / 2 \quad [\text{kPa}; \text{mmC.A.}]$$

Anche per le perdite concentrate si dispone di tabelle di calcolo come ad esempio le due tabelle seguenti (la prima fornisce il valore del coefficiente di perdita concentrata k relativo al tipo di accidentalità; la seconda fornisce il valore della perdita concentrata in mm C.A. a partire dalla somma dei valori di k trovati per tutte le accidentalità presenti ed in base alla velocità v dell'acqua: quest'ultima ottenuta dalla tabella relativa alle perdite distribuite già usata in precedenza per determinare il diametro del tubo):

Valori del coefficiente di perdita concentrata k (adimensionale)				
Diametro interno (tubi in rame e tubi in PEX)	8÷16 mm	18÷28 mm	30÷54 mm	> 54 mm
Diametro esterno (tubi in acciaio)	3/8" ÷ 1/2"	3/4" ÷ 1"	1 1/4" ÷ 2"	> 2"
Tipologia di accidentalità				
Curva larga a 90° con rapporto R/D > 3,5	1,0	0,5	0,3	0,3
Curva normale a 90° con rapporto R/D = 2,5	1,5	1,0	0,5	0,4
Curva stretta a 90° con rapporto R/D = 1,5	2,0	1,5	1,0	0,8
Allargamento di sezione	1,0			
Restringimento di sezione	0,5			
Diramazione o confluenza a T	3,0			
Valvola a sfera a passaggio totale	0,2	0,2	0,1	0,1
Valvola a sfera a passaggio ridotto	1,6	1,0	0,8	0,6
Valvola a ritegno	3,0	2,0	1,0	1,0
Valvola a tre vie	10,0	10,0	8,0	8,0

N.B. Per le accidentalità diverse o non presenti nella tabella, le perdite di carico concentrate vanno ricercate sui manuali tecnici dei fornitori degli elementi termoidraulici.

Σk	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Velocità [m/s]	Perdite di carico concentrate [mm C.A.] $T_{\text{media acqua}} = 10^{\circ}\text{C}$															
	0,5	12	26	38	51	64	76	90	102	113	128	140	153	166	178	191
	0,6	19	37	56	73	92	110	129	147	166	183	202	220	239	257	276
	0,7	25	50	75	100	125	150	175	200	224	250	275	299	325	350	375
	0,8	33	65	98	131	164	196	228	261	293	326	359	392	424	457	490
	0,9	41	82	123	166	207	248	289	330	371	413	454	496	537	578	619
	1,0	51	102	153	204	255	306	357	407	459	509	561	612	663	714	765
	1,1	62	123	185	247	309	370	432	494	556	617	678	740	802	863	925
	1,2	73	147	220	293	367	440	513	588	661	734	808	881	954	1028	1101
	1,3	86	172	258	345	431	517	603	689	776	861	948	1034	1121	1206	1292
	1,4	100	200	299	399	500	600	700	800	899	999	1099	1199	1299	1399	1499
	1,5	114	229	344	459	573	688	803	918	1032	1147	1262	1377	1491	1606	1720
	1,6	131	261	392	522	652	783	914	1044	1175	1305	1435	1566	1697	1828	1958
	1,7	147	294	442	590	737	884	1031	1179	1326	1474	1621	1768	1915	2063	2210
	1,8	166	330	496	661	826	991	1157	1321	1487	1652	1817	1982	2148	2312	2478
	1,9	184	368	553	736	920	1104	1288	1472	1657	1841	2024	2208	2392	2577	2761
2,0	204	407	612	816	1020	1223	1427	1631	1836	2039	2243	2447	2651	2855	3059	
2,1	224	450	674	899	1124	1349	1573	1799	2023	2248	2473	2698	2922	3148	3372	
2,2	247	494	740	987	1234	1481	1728	1974	2221	2468	2715	2961	3207	3454	3701	
2,3	270	539	809	1078	1348	1619	1888	2158	2427	2697	2967	3236	3506	3775	4045	
2,4	293	588	881	1175	1468	1762	2056	2349	2642	2937	3230	3524	3818	4111	4405	
2,5	319	637	956	1275	1593	1912	2231	2549	2868	3187	3505	3824	4143	4461	4780	

L'uso delle due tabelle è molto semplice; supponiamo che per il caso del circuito precedente (ved. esempio sul calcolo delle perdite distribuite) si vogliano ora calcolare le perdite concentrate dovute, alla presenza di due curve normali a 90° , una valvola a 3 vie ed una valvola a sfera a passaggio ridotto⁴.

Dalla prima tabella calcolo la sommatoria Σk (ricordiamo che è $D = 2 \frac{1}{2}''$, tubo d'acciaio):

Valori del coefficiente di perdita concentrata k (adimensionale)				
Diametro interno (tubi in rame e tubi in PEX)	8÷16 mm	18÷28 mm	30÷54 mm	> 54 mm
Diametro esterno (tubi in acciaio)	3/8" ÷ 1/2"	3/4" ÷ 1"	1 1/4" ÷ 2"	> 2"
Tipologia di accidentalità				
Curva larga a 90° con rapporto R/D > 3,5	1,0	0,5	0,3	0,3
Curva normale a 90° con rapporto R/D = 2,5	1,5	1,0	0,5	0,4
Curva stretta a 90° con rapporto R/D = 1,5	2,0	1,5	1,0	0,8
Allargamento di sezione	1,0			
Restringimento di sezione	0,5			
Diramazione o confluenza a T	3,0			
Valvola a sfera a passaggio totale	0,2	0,2	0,1	0,1
Valvola a sfera a passaggio ridotto	1,6	1,0	0,8	0,6
Valvola a ritegno	3,0	2,0	1,0	1,0
Valvola a tre vie	10,0	10,0	8,0	8,0

⁴ L'esempio risulta non rispondente alla realtà pratica, ma serve solo per introdurre didatticamente all'uso delle tabelle di calcolo.

La sommatoria Σk risulta pari a:

$$\Sigma k = 0,4 + 0,4 + 0,6 + 8,0 = 9,4 \approx 10 \text{ (approssimare sempre per eccesso)}$$

Dalla seconda tabella, ricordando che era la velocità $v = 1,2 \text{ m/s}^5$, si determina la perdita di carico concentrata in mm C.A.:

Σk	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Velocità [m/s]	Perdite di carico concentrate [mm C.A.] $T_{\text{media acqua}} = 10^\circ\text{C}$														
0,5	12	26	38	51	64	76	90	102	113	128	140	153	166	178	191
0,6	19	37	56	73	92	110	129	147	166	183	202	220	239	257	276
0,7	25	50	75	100	125	150	175	200	224	250	275	299	325	350	375
0,8	33	65	98	131	164	196	228	261	293	326	359	392	424	457	490
0,9	41	82	123	166	207	248	289	330	371	413	454	496	537	578	619
1,0	51	102	153	204	255	306	357	407	459	509	561	612	663	714	765
1,1	62	123	185	247	309	370	432	494	556	617	678	740	802	863	925
1,2	73	147	220	293	367	440	513	588	661	734	808	881	954	1028	1101
1,3	86	172	258	345	431	517	603	689	776	861	948	1034	1121	1206	1292
1,4	100	200	299	399	500	600	700	800	899	999	1099	1199	1299	1399	1499
1,5	114	229	344	459	573	688	803	918	1032	1147	1262	1377	1491	1606	1720
1,6	131	261	392	522	652	783	914	1044	1175	1305	1435	1566	1697	1828	1958
1,7	147	294	442	590	737	884	1031	1179	1326	1474	1621	1768	1915	2063	2210
1,8	166	330	496	661	826	991	1157	1321	1487	1652	1817	1982	2148	2312	2478
1,9	184	368	553	736	920	1104	1288	1472	1657	1841	2024	2208	2392	2577	2761
2,0	204	407	612	816	1020	1223	1427	1631	1836	2039	2243	2447	2651	2855	3059
2,1	224	450	674	899	1124	1349	1573	1799	2023	2248	2473	2698	2922	3148	3372
2,2	247	494	740	987	1234	1481	1728	1974	2221	2468	2715	2961	3207	3454	3701
2,3	270	539	809	1078	1348	1619	1888	2158	2427	2697	2967	3236	3506	3775	4045
2,4	293	588	881	1175	1468	1762	2056	2349	2642	2937	3230	3524	3818	4111	4405
2,5	319	637	956	1275	1593	1912	2231	2549	2868	3187	3505	3824	4143	4461	4780

La perdita di carico concentrata da sommare a quelle distribuite è pari a: $z = 734 \text{ mm C.A.} = 7,34 \text{ kPa}$.

Perdita di carico totale

La perdita di carico totale è data allora da:

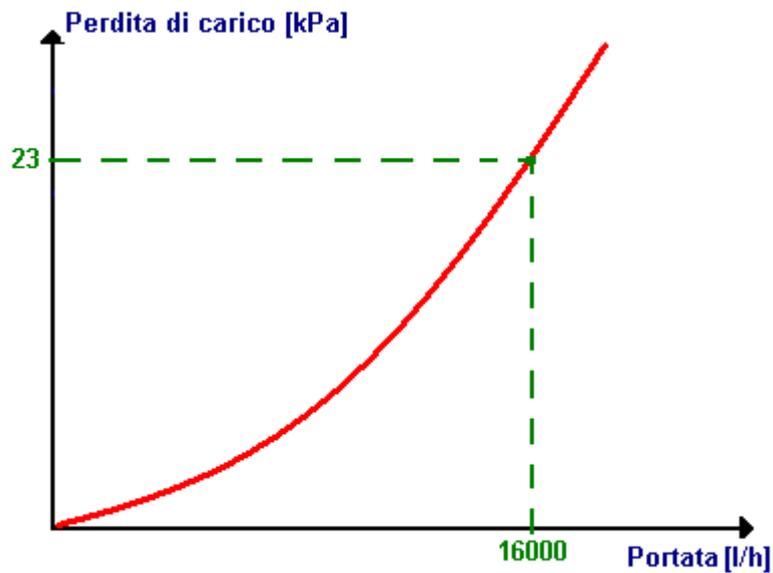
$$R = r + z = 15,6 + 7,34 \approx 23 \text{ kPa}$$

Per una portata d'acqua pari a, ricordiamo, 16000 l/h.

⁵ La velocità è indicata nella tabella relativa al calcolo delle perdite di carico distribuite.

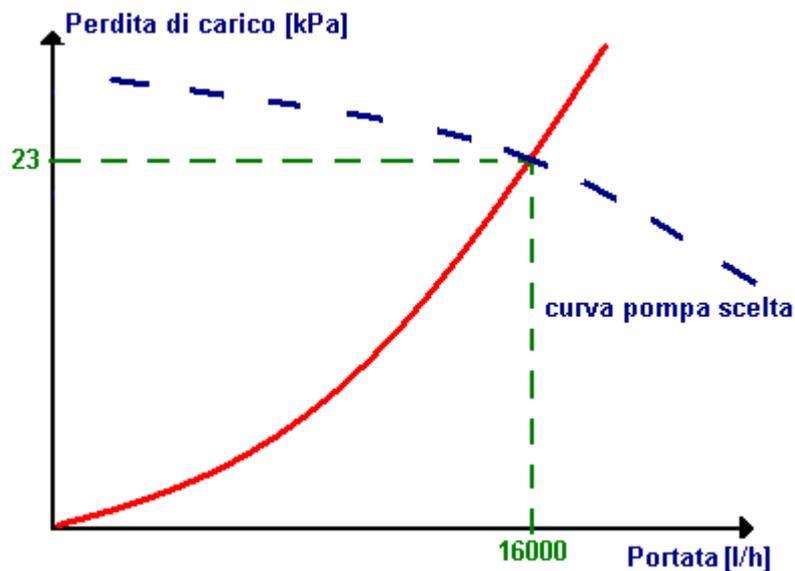
Curva caratteristica del circuito utilizzatore

Il circuito utilizzatore avrà pertanto la seguente curva caratteristica:



Scelta della pompa

La pompa dovrà poter fornire la prevalenza di 23 kPa alla portata di 16000 l/h.
La curva caratteristica della pompa dovrà passare per il punto di lavoro (16000; 23):

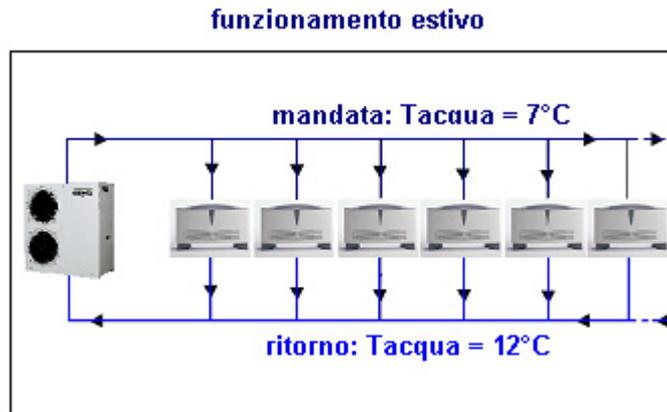


In tal modo il punto di lavoro sarà quello voluto: sarà smaltita la portata richiesta pari a 16000 l/h vincendo la perdita di carico pari a 23 kPa.

Teoria dei circuiti

Vediamo adesso come si progetta un circuito idronico costituito da un refrigeratore d'acqua (o pompa di calore) che alimenta i ventilconvettori.

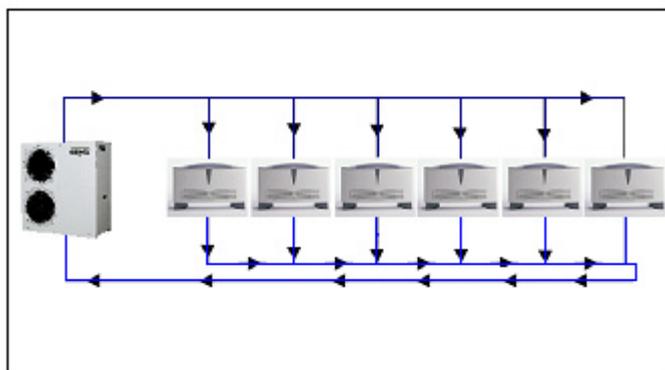
Diciamo subito che il chiller alimenta i ventilconvettori mediante più circuiti tra loro in parallelo: si potranno pertanto distinguere una mandata ed un ritorno:



circuiti a ritorno diretto

I circuiti mostrati nella figura precedente sono detti “a ritorno diretto”: in essi il ritorno avviene “direttamente” a partire dall’uscita dell’acqua dal ventilconvettore. Notare che in tal modo si creano circuiti via via più lunghi man mano che si va al ventilconvettore più distante dal chiller: questo produce perdite di carico molto diverse per ogni circuito e provoca, come vedremo, la necessità di bilanciare l’intera rete idraulica facendo ricorso alle valvole di taratura la cui funzione è quella di uniformare le perdite di carico che competono ad ogni fan coil, al fine di garantire la giusta distribuzione delle portate).

Un circuito che nasce pressoché bilanciato (ma che, per contro, costa di più in termini di lunghezza delle tubazioni usate) è il circuito cosiddetto “a ritorno inverso”, in cui la tubazione di ritorno prosegue dal primo all’ultimo fan-coil assicurando circuiti di uguale lunghezza (vedere figura seguente):



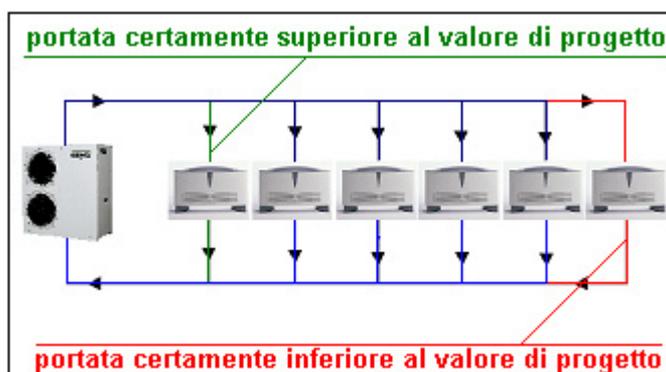
circuito a ritorno inverso

Bilanciamento di un circuito idronico

Affinché ai vari ventilconvettori giunga l'effettiva portata di progetto occorre che il circuito sia "bilanciato", cioè è necessario che le perdite di carico dei circuiti di alimentazione di ogni ventilconvettore siano uguali.

Se ciò non avviene, l'acqua andrà in misura maggiore ad alimentare i terminali i cui circuiti sono più "favoriti", cioè la cui perdita di carico è minore; verrà di conseguenza sottratta portata ai ventilconvettori più sfavoriti, cioè a perdita di carico maggiore.

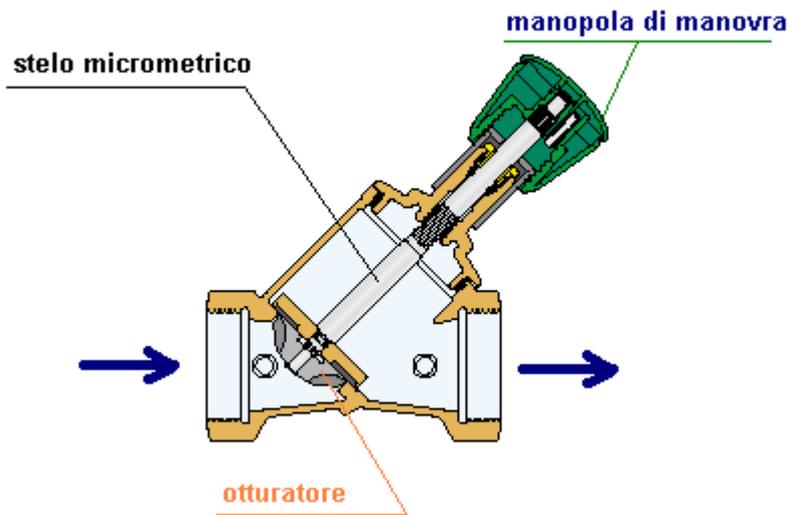
Bilanciare un circuito significa rendere tra loro uguali le perdite di carico dei circuiti di alimentazione dei vari ventilconvettori, in modo tale che ogni terminale possa essere alimentato con la portata d'acqua di progetto.



circuito non bilanciato

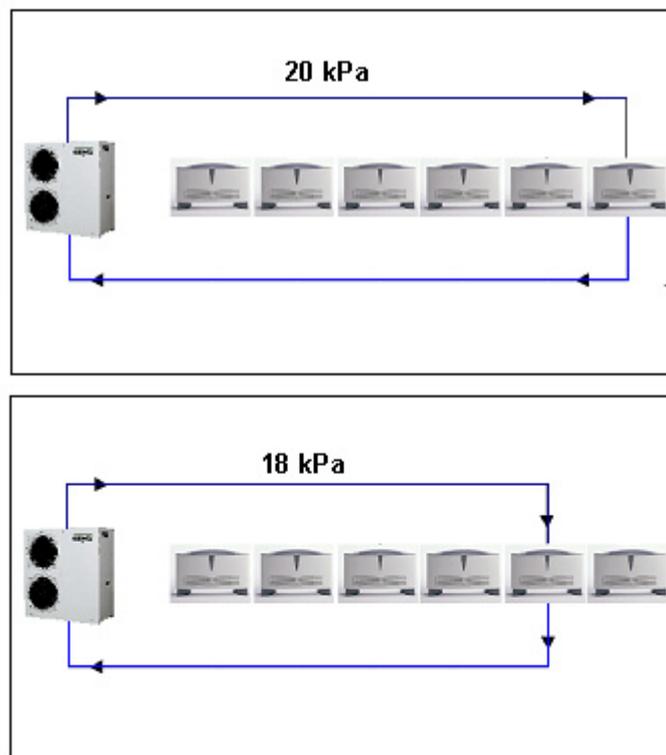
La figura mostra un circuito non bilanciato: l'ultimo ventilconvettore è scarsamente alimentato in quanto l'acqua "preferisce" percorrere il circuito che gli oppone minori perdite di carico; il ventilconvettore più vicino al chiller è infatti alimentato da una portata d'acqua sovrabbondante, visto che le perdite di carico che l'acqua incontra nel passare dal 1° circuito sono inferiori a quelle degli altri circuiti.

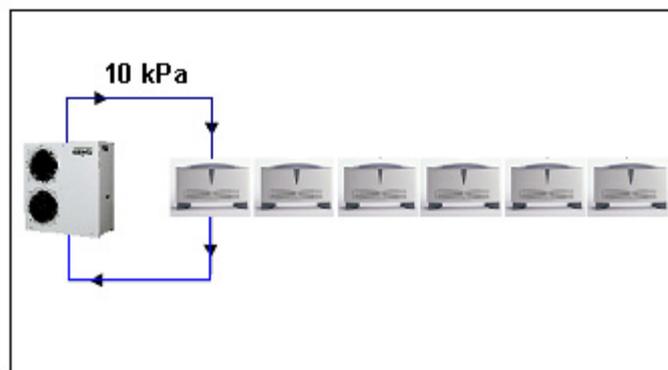
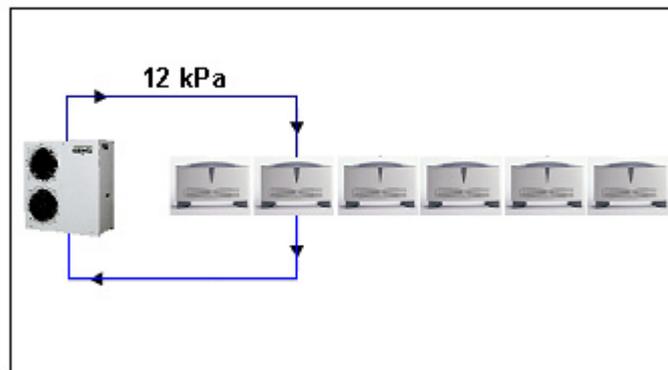
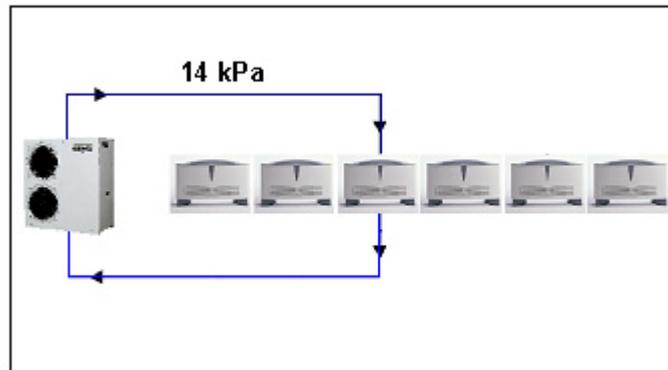
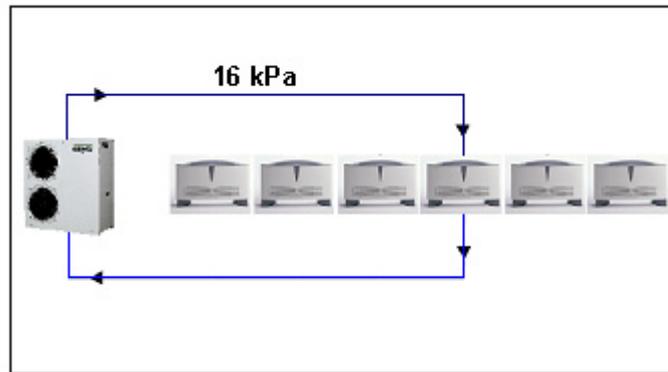
Per fare in modo che le portate che alimentano i vari fan coil siano quelle di progetto è necessario prevedere appositi dispositivi la cui funzione è quella di portare il valore delle perdite di carico di ogni circuito ad eguagliare quello del circuito più sfavorito (non necessariamente il più lungo, ma quello avente il massimo valore delle perdite di carico). Tali dispositivi sono le cosiddette "valvole di taratura" e consistono in semplici valvole di regolazione dotate di stelo ad avanzamento micrometrico: agendo sulla manopola di manovra si ostruisce sempre più il passaggio dell'acqua e si crea così la perdita di carico aggiuntiva necessaria al bilanciamento del circuito.



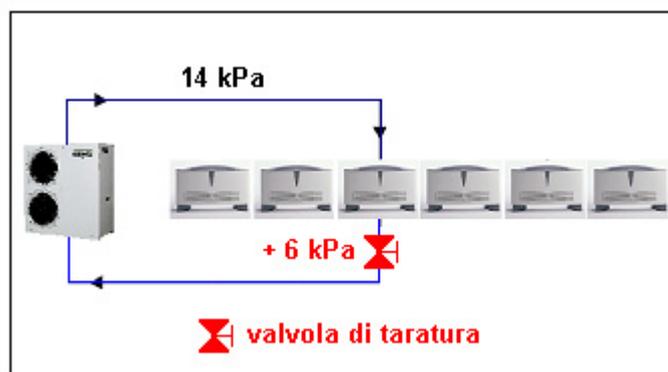
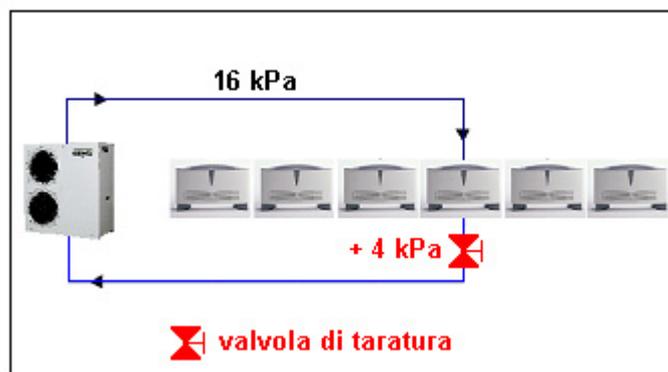
valvola di taratura (fonte: Caleffi)

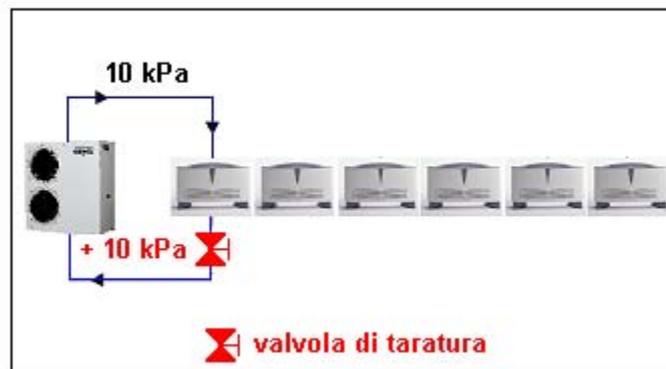
Facciamo un banalissimo esempio di bilanciamento del circuito mediante valvole di taratura. Supponiamo che senza valvole il circuito presente, alle portate di progetto, le seguenti perdite di carico (ved. figura):



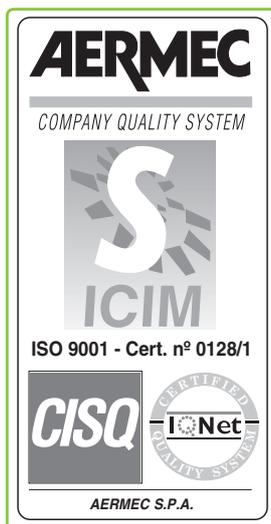


Il circuito più sfavorito oppone perdite di carico pari a 20 kPa; ebbene, se vogliamo che le portate d'acqua che alimentano i vari ventilconvettori siano quelle di progetto, è necessario indurre ai circuiti via via meno sfavoriti le seguenti perdite di carico aggiuntive, agendo sulle valvole di taratura poste sul ritorno (ved. figure seguenti):





Come si può notare, abbiamo reso le perdite di carico di tutti i circuiti uguali a quelle del più sfavorito, abbiamo cioè bilanciato il circuito idraulico dell'impianto di climatizzazione. La pompa dovrà naturalmente avere una prevalenza pari alla perdita di carico comune a tutti i circuiti, cioè, nel nostro caso, pari a 20 kPa.



AIR CONDITIONING
AERMEC

Via Roma, 44 - I-37040 Bevilacqua (Verona) Italy
 Tel. +39 0442 633111
 Fax 0442 93577
 www.aermec.com