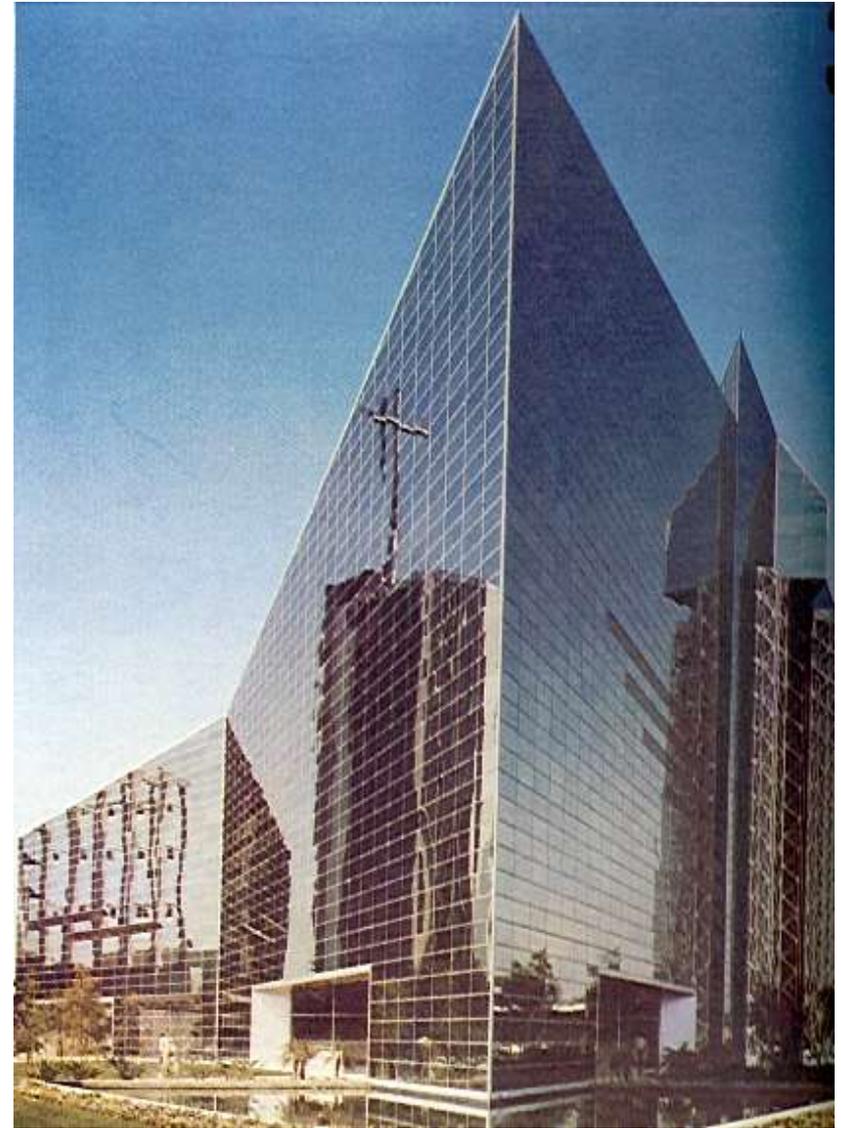
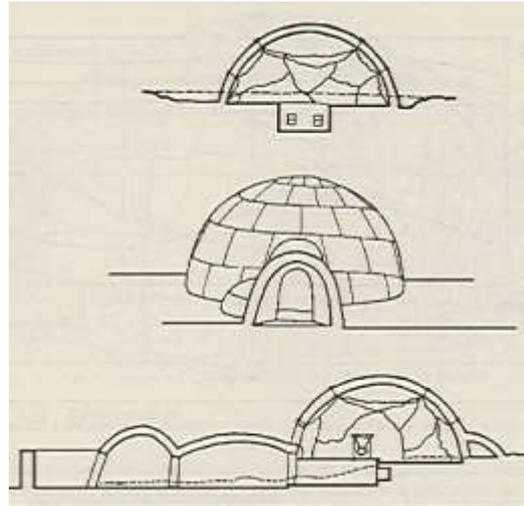


REGOLAZIONE DEGLI IMPIANTI

PROF. ING. GIULIANO CAMMARATA

Evoluzione dell'Architettura

Edifici
veramente
intelligenti.



Edifici bisognosi di *intelligenza artificiale.*

Evoluzione dell'Architettura

Ancora agli inizi del **novecento** gli edifici erano prevalentemente costituiti da *muratura* e l'impiantistica, in senso lato, era rappresentata dagli impianti idraulici e dagli scarichi delle acque fognarie. In termini percentuali si aveva, in cifre arrotondate, circa il **95% di *mattoni*** e **5% di *impianti***.

L'accresciuto benessere e la consapevolezza del diritto al confort in tutti i settori della vita umana (dal confort termico a quello illuminotecnico ed acustico) hanno determinato un ulteriore incremento del peso dell'impiantistica nell'edilizia.

Oggi poi si assiste sempre più all'evoluzione degli edifici cablati (servizi elettrici, telematici, ..) tanto che, soprattutto negli edifici di maggior contenuto tecnologico, si ha una prevalenza dell'impiantistica, ***oltre il 70% attuale*** rispetto alla muratura, e il trend dell'evoluzione va verso l'inversione delle percentuali iniziali: ***5% di *mattoni* e 95% di *impianti****.

La complessità della richiesta di servizi tecnologici (idrico, elettrico, elettronico, telematico, termico, illuminotecnico, acustico, ...) impone un ***sistema di controllo*** sempre più complesso e sufficientemente ***intelligente*** per l'ottimizzazione delle prestazioni e dei consumi (si pensi, ad esempio alle esigenze di *demand limiting* per i consumi elettrici) di energia sia elettrica che termica. Proprio queste esigenze hanno reso possibile oggi l'utilizzo di sistemi di controllo mediante computer dedicati che, grazie alla potenza di calcolo raggiunta anche dai semplici personal computer, consentono di rispondere in tempo reale a tutte le richieste degli impianti di un moderno edificio.

L'esigenza di un Controllo

Si è già utilizzato il concetto di *controllo* degli impianti e probabilmente esso appare talmente naturale ed evidente da sembrare quasi banale considerarne la necessità.

In realtà *l'esigenza del controllo degli impianti nasce non tanto dall'esigenza di questi per funzionare quanto dalla necessità di dovere assicurare sempre che la loro risposta degli impianti sia quanto più possibile vicina a quella necessaria in conseguenza della variazione delle condizioni di lavoro per effetto, ad esempio, delle condizioni climatologiche o di variazione delle esigenze funzionali dell'edificio.*

In definitiva se dovessimo far riferimento a condizioni di regime stazionario basterebbe una messa a punto iniziale degli impianti perché questi continuino a funzionare correttamente nel prosieguo. Purtroppo *le condizioni di esercizio sono raramente stazionarie e pertanto il controllo degli impianti deve ottimizzare i regimi transitori.*

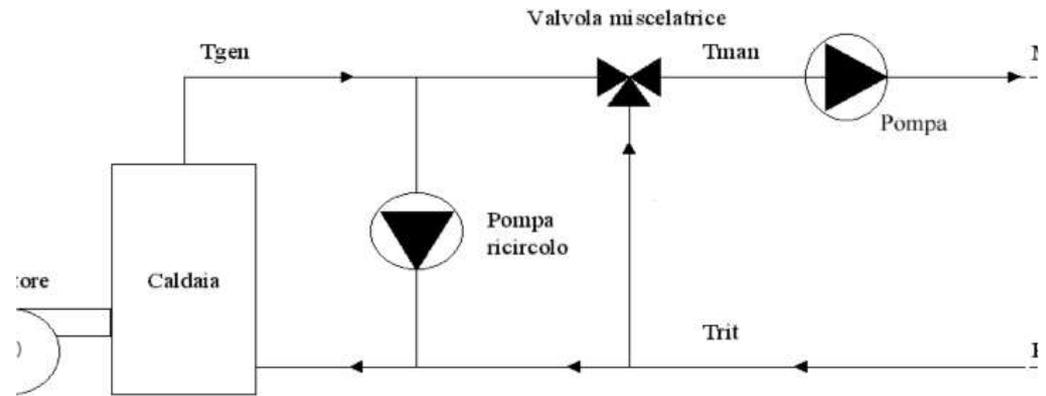
Se varia la temperatura esterna o la radiazione solare o l'umidità dell'aria allora i cicli di funzionamento dei singoli componenti debbono adeguarsi, nel più breve tempo possibile, alle mutate condizioni di lavoro.

Soprattutto per gli impianti HVAC non si può prescindere anche dalla risposta dell'edificio (e quindi dalla Termofisica ad esso relativa) per determinare la corretta regolazione degli stessi. E' quanto si prefiggiamo di chiarire nei prossimi paragrafi.

Controllo adattativo del sistema edificio - impianto

Da quanto sin qui detto appare evidente che l'evoluzione termica dell'edificio (cioè l'andamento delle temperature di tutti gli elementi in grado di accumulare energia) influenza il *carico termico* e che, in sistema termostattizzato, il controllo del calore (con proprio segno) fornito dall'impianto dipende fortemente sia dalle condizioni al contorno del problema (climatologia del luogo) che dalla risposta propria del sistema (ossia dell'edificio).

In pratica un controllore che agisca sulla valvola miscelatrice di Figura deve conoscere la legge di controllo, ossia deve sapere come evolve il sistema da controllare in modo da determinare l'uscita (in questo caso la temperatura di mandata) in modo ottimale.

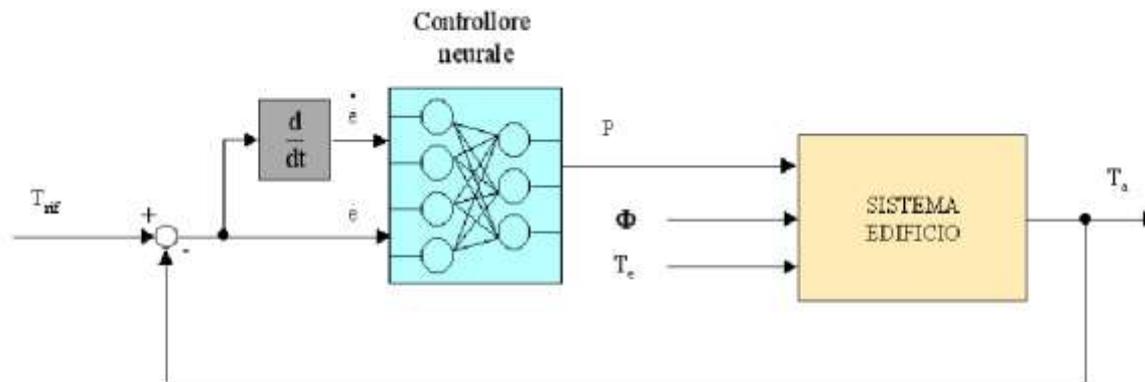


Metodologia di attuazione del controllo adattativo

Visto che le condizioni (interne ed esterne) sono **sempre variabili**, il controller dovrebbe procedere all'identificazione del sistema (edificio – impianto) in tempo reale in modo da determinare la migliore legge di controllo (*controllo adattativo*). Il metodo del modello ridotto equivalente dianzi presentato consente di avere un numero ridotto di equazioni differenziali la cui identificazione può essere effettuata con relativa facilità mediante tecniche usuali.

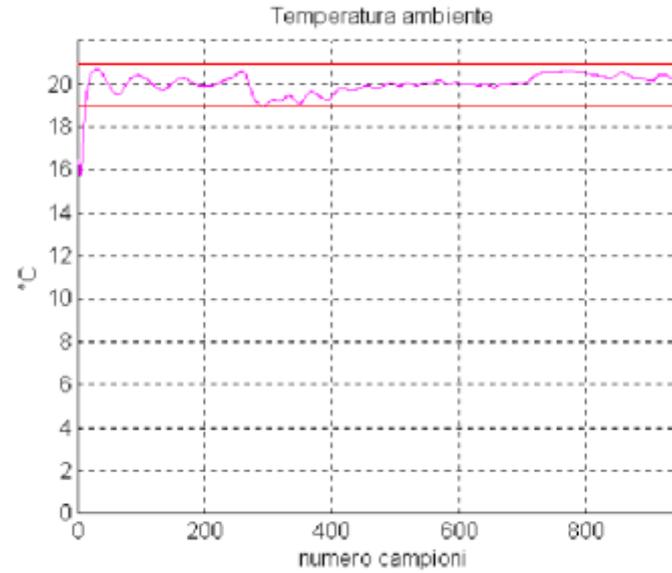
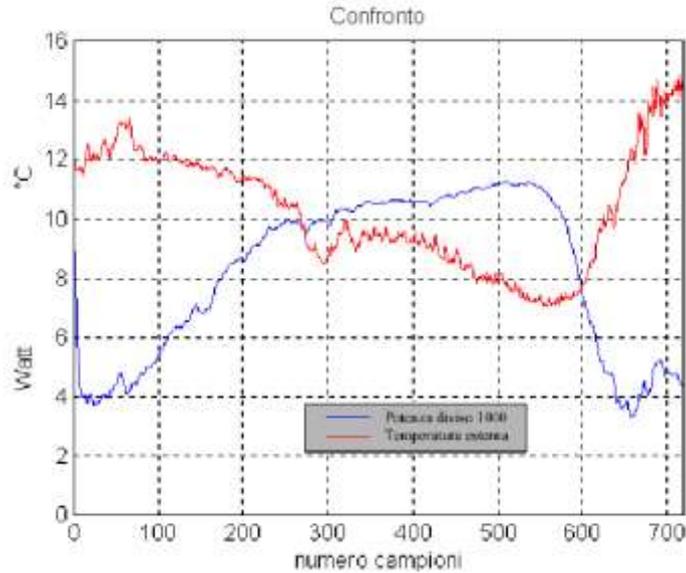
Una metodologia innovativa potrebbe fare uso, ad esempio, **di reti neurali** che, opportunamente addestrate, sono in grado di riconoscere l'evoluzione del sistema edificio – impianto e di prevederne l'evoluzione consentendo al regolatore il controllo adattativo in tempo quasi reale.

Un controllore neurale del tipo qui ipotizzato si può oggi facilmente realizzare, almeno in fase prototipale, mediante programmi del tipo **Labview®** accoppiato ad un programma di calcolo del tipo **Matlab®** che consentono di simulare via software un dispositivo hardware complesso come il controllore adattativo sopra indicato.

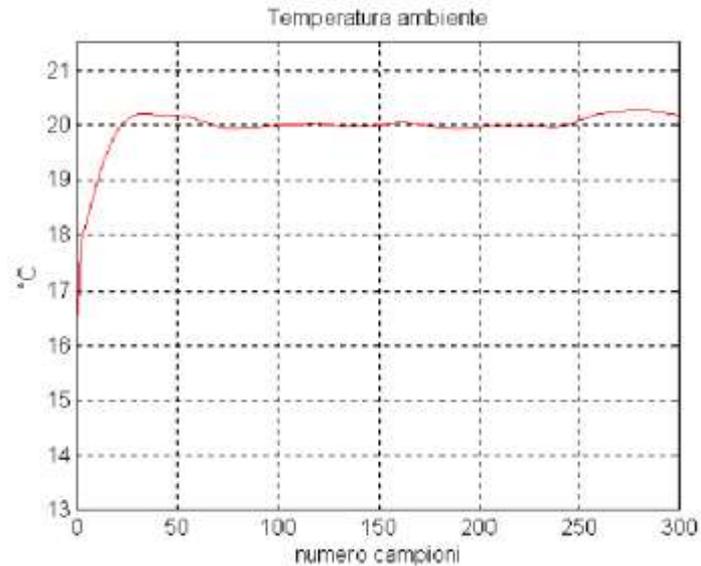
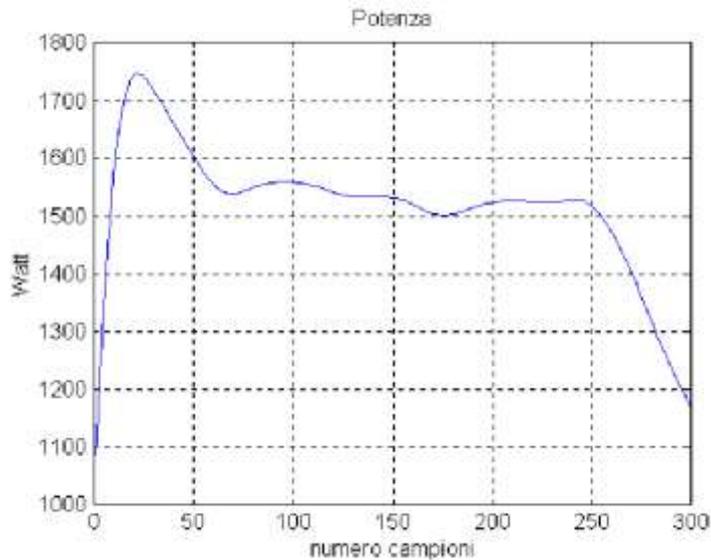


Risultati della simulazione

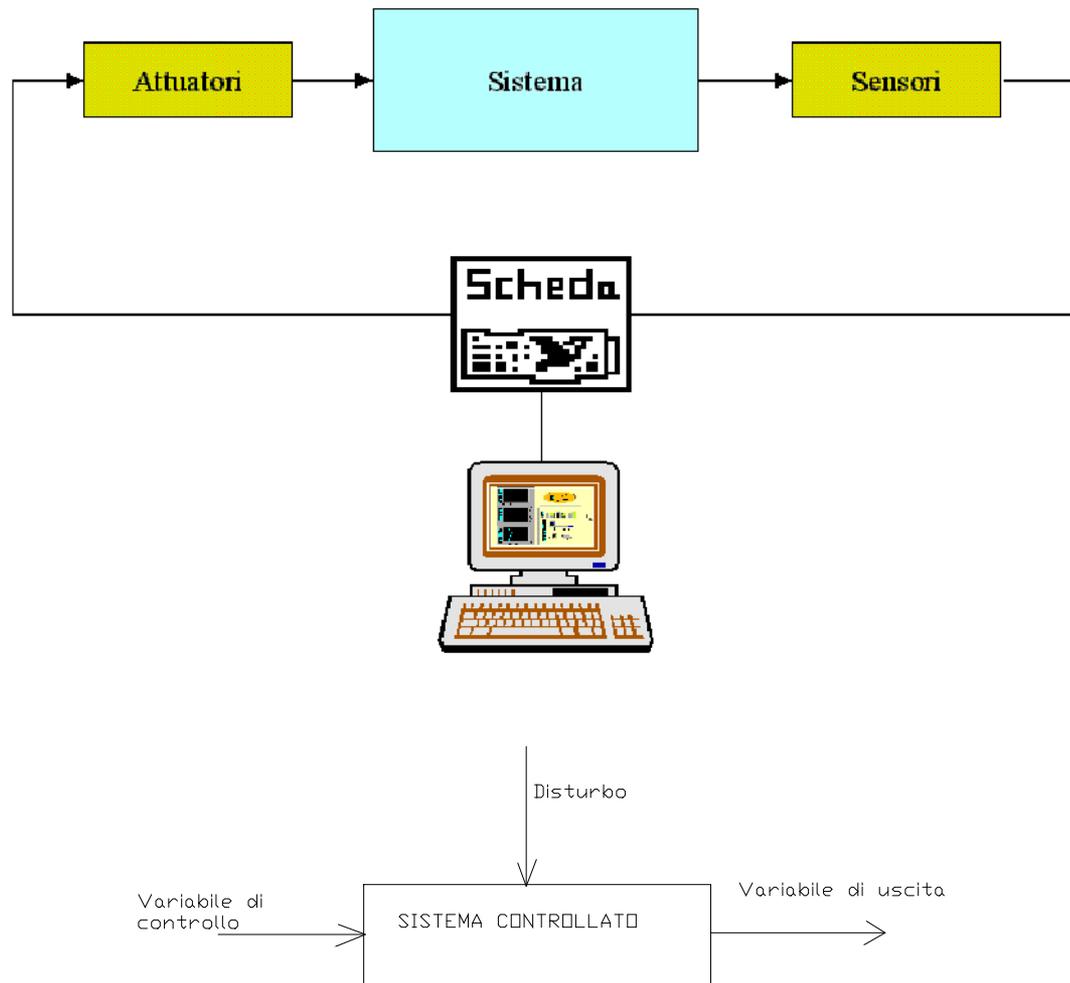
Andamenti storici



Andamenti simulati



Schema realizzativo del controller adattativo



Sistemi di regolazione

Qualunque siano le tipologie di impianto, con riferimento a quelli **HVAC**, occorre sempre attuare una regolazione sugli elementi attivi (generatori di energia) e sui terminali per potere avere una temperatura (ed una umidità negli impianti di condizionamento) costanti o quanto meno variabili entro uno stretto intervallo.

Le condizioni climatiche esterne sono, come già detto, sempre variabili e allo stesso modo possono variare anche i carichi interni in funzione dei profili d'uso degli occupanti.

Se i generatori di calore lavorassero sempre a regime costante si avrebbero condizioni interne non più costanti al variare di quelle esterne. In inverno si può avere, per effetto della radiazione solare, un guadagno energetico sensibile attraverso le finestre e, per effetto dell'innalzamento di temperatura, si rischia un surriscaldamento interno.

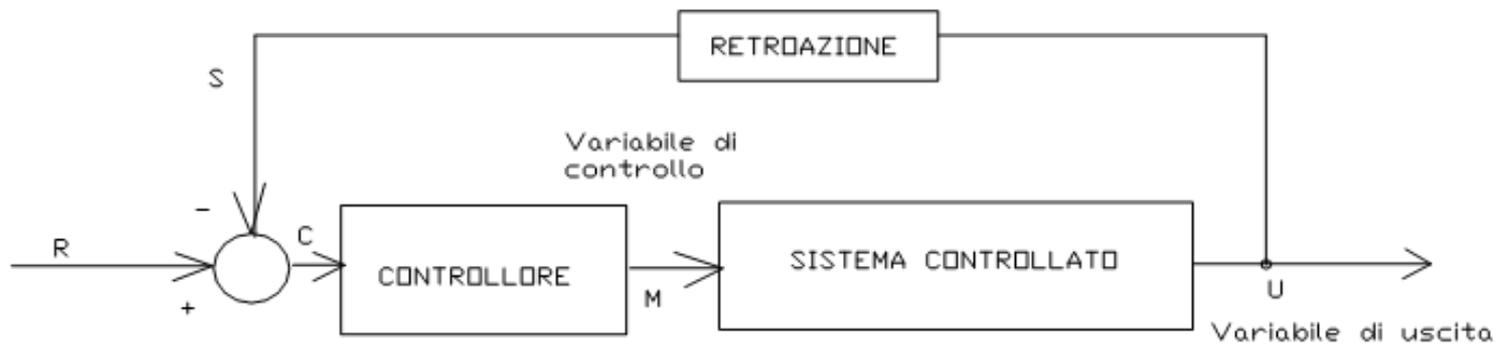
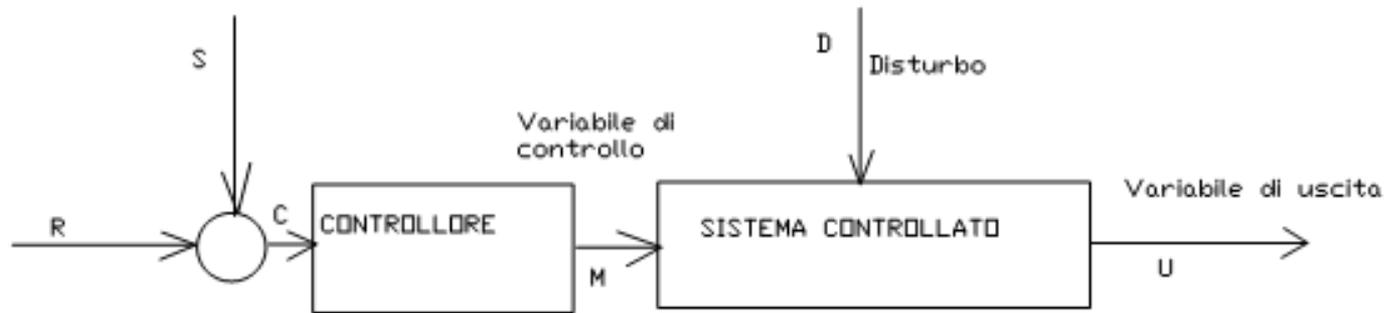
L'impianto di climatizzazione (in senso lato) è allora controllato (ossia regolato) mediante un sistema di controllo, oggi quasi sempre elettronico e in alcuni casi anche pneumatico, che provvede a rendere quanto più possibile verificata la condizione di equilibrio:

$$Potenza_ceduta = Potenza_richiesta$$

ove la *Potenza_richiesta* varia per effetto delle mutate condizioni climatologiche esterne (in modo preponderante rispetto a quelle interne).

Tipologie di sistemi di controllo

Il sistema da controllare ha una centralina di controllo che può essere di tipo **aperto** o di tipo **chiuso** ad anello.

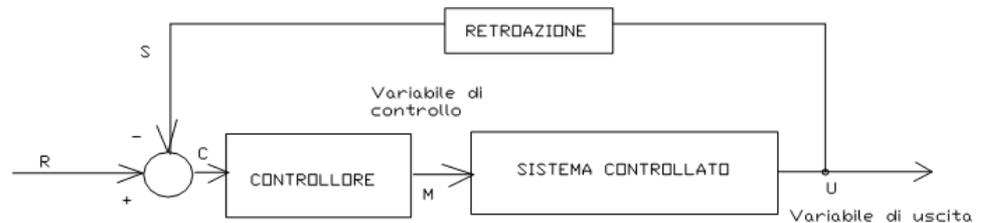
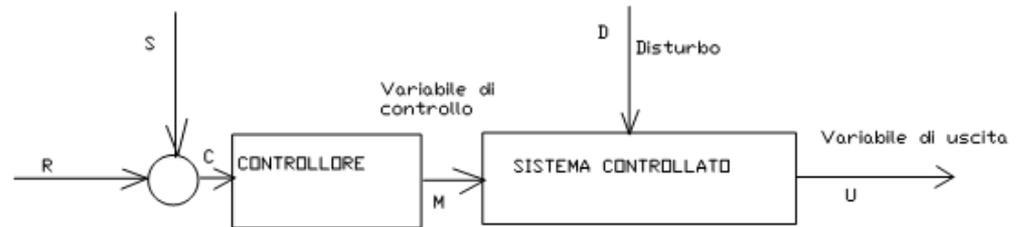
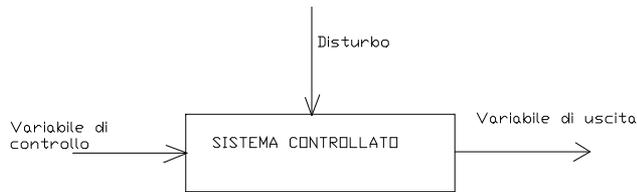


Teoria della Regolazione

Qualunque siano le tipologie di impianto occorre sempre attuare una regolazione sugli elementi attivi (generatori di energia) e sui terminali per potere avere una temperatura (ed una umidità negli impianti di condizionamento) costanti o quanto meno variabili entro uno stretto intervallo. Le condizioni climatiche esterne sono sempre variabili e allo stesso modo possono variare anche i carichi interni in funzione dei profili d'uso degli occupanti. Se i generatori di calore lavorassero sempre a regime costante si avrebbero condizioni interne non più costanti al variare di quelle esterne. In inverno si può avere, per effetto della radiazione solare, un guadagno energetico sensibile attraverso le finestre e, per effetto dell'innalzamento di temperatura, si rischia un surriscaldamento interno. L'impianto di climatizzazione (in senso lato) è allora controllato (ossia regolato) mediante un sistema di controllo, oggi quasi sempre elettronico, che provvede a rendere quanto più possibile verificata la condizione di equilibrio:

$$Potenza_ceduta = Potenza_richiesta$$

ove la *Potenza_richiesta* varia per effetto delle mutate condizioni climatologiche esterne (in modo preponderante rispetto a quelle interne). Il sistema da controllare ha una centralina di controllo che può essere di tipo aperto o di tipo chiuso ad anello.



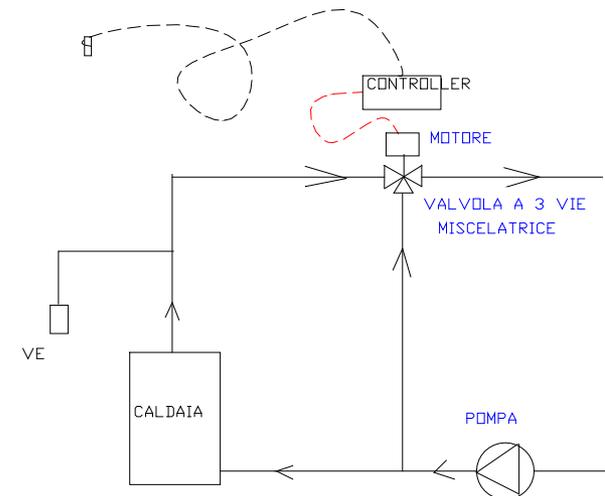
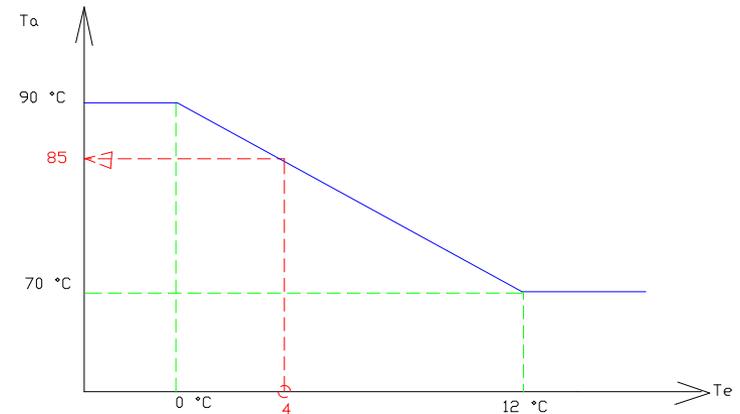
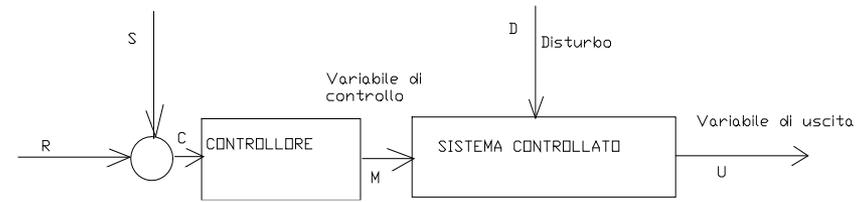
Controllore a circuito aperto

La variabile di uscita, U , è controllata mediante la variabile di controllo, M , in presenza di un disturbo.

Ad esempio si desidera controllare la temperatura dell'aria avendo in ingresso i flussi termici dei quali quelli scambiati con l'esterno (carico termico) sono il *disturbo* mentre il flusso scambiato mediante l'impianto di riscaldamento (o raffrescamento) è la *variabile di controllo*.

Con riferimento alla Figura si ha che il segnale di controllo è dato dalla differenza fra il segnale di regolazione, R , e di un segnale di riferimento, S :
 $C = R - S$

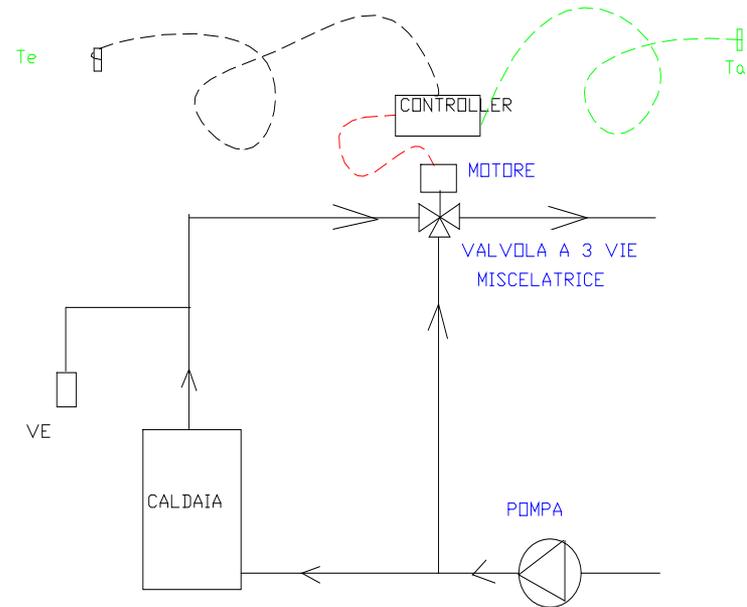
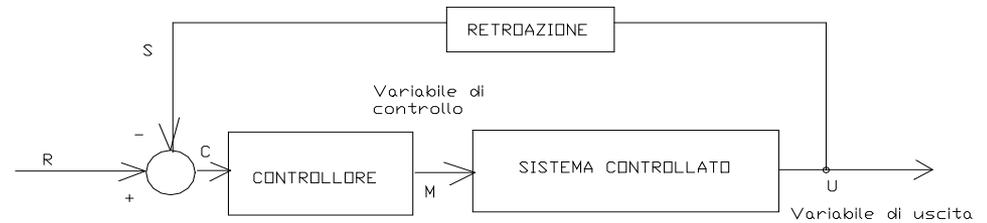
Un esempio di regolazione a ciclo aperto si ha con le classiche **centraline di regolazione** che fanno dipendere la temperatura di uscita dell'acqua calda dalla caldaia dal valore della temperatura esterna secondo una legge di controllo lineare e con uno schema di controllo indicato in Figura.



Controllore a circuito chiuso

Questi controllori sono più sofisticati di quelli a circuito aperto perché riportano in ingresso un segnale legato alla variabile di uscita, vedi Figura. L'anello che riporta indietro il segnale di *retroazione* (*feedback*) chiude la catena di controllo che ora vede il segnale di regolazione dato dalla somma: $C = R - S$. Il segnale di riferimento è ora dato dal segnale di **retroazione** e quindi il controllore ha modo di vedere se la sua azione di controllo ha avuto l'effetto desiderato.

Se, ad esempio, si controlla la temperatura degli ambienti, mediante una opportuna sonda di temperatura, allora il controllore cercherà sempre di operare affinché si raggiungano le condizioni desiderate. In questo caso la centralina, ha anche una sonda interna che informa il controllore sull'effetto di retroazione.



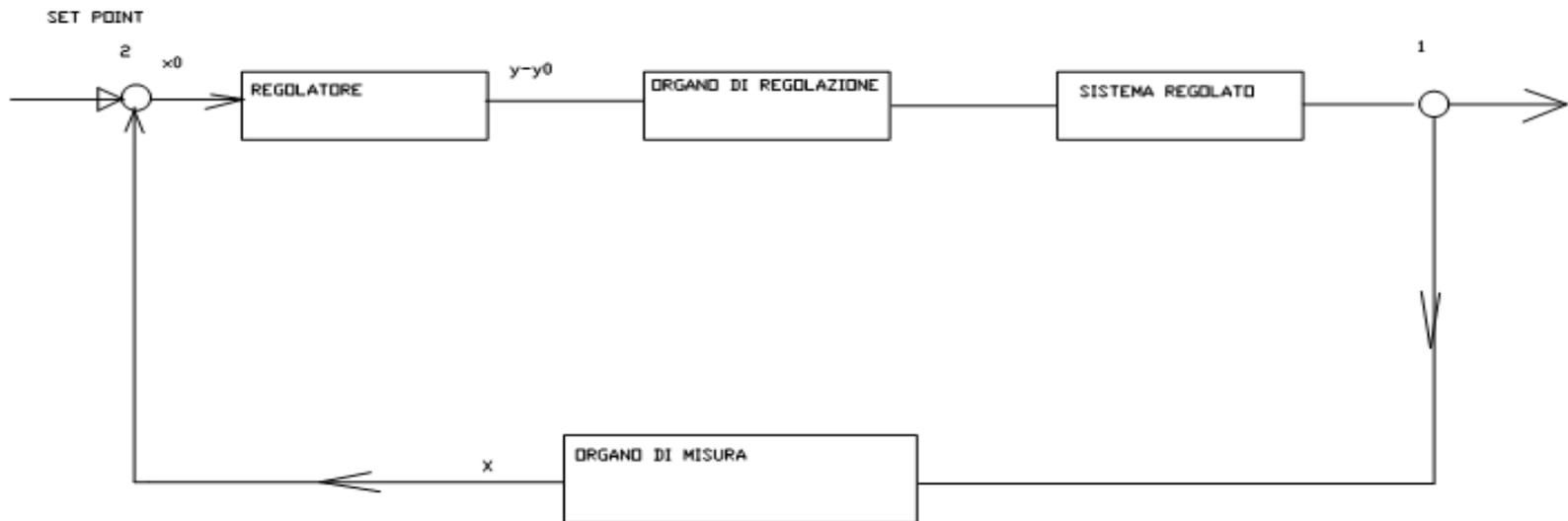
Caratteristiche di regolazione

Con riferimento ad un *circuito di regolazione chiuso* si ha sempre che un segnale prelevato in uscita, x , mediante un elemento sensibile venga riportato in ingresso ed elaborato, mediante differenza con il segnale di riferimento, x_0 , dal regolatore che fornisce un comando dato, solitamente, mediante una funzione:

$$y - y_0 = f(x - x_0)$$

ove $y - y_0$ è il segnale di uscita del controllore.

Si possono avere diversi tipi di regolazioni in funzione delle caratteristiche adottate: se ne indicheranno brevemente le fondamentali.



Regolazione a due posizioni

Se ne è già parlato in precedenza. L'equazione del controllore diviene:

$$y = y_1 \quad \text{per } x < x_0$$

$$y = y_2 \quad \text{per } x > x_0$$

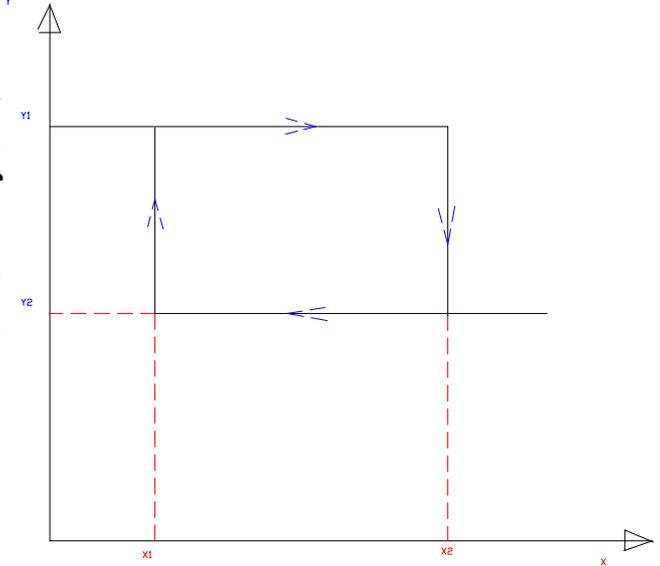
Le due posizioni y_1 e y_2 possono essere, ad esempio, l'apertura totale o la chiusura totale di una valvola o l'avvio o lo spegnimento di un motore per autoclave quando la pressione nel serbatoio scende al di sotto del valore limite. Questo tipo di regolazione è detta **on off** (attacca e stacca) ed è spesso utilizzata quando non si richiedono stadi intermedi di regolazione. Poiché la catena di regolazione dipende dal sensore e dalla **capacità termica totale del sistema** si possono avere ritardi nella risposta del controllore se si hanno valori elevati di capacità termica (cosa già vista, almeno concettualmente, nella risposta termica degli edifici, per la quale si rimanda a quanto detto nei capitoli precedenti).

In genere con grandi capacità termiche si hanno forti ritardi nell'intervento del controllore mentre con basse capacità termiche si possono avere interventi del controllore troppo frequenti che danneggiano lo stesso regolatore. Per evitare questi inconvenienti si prevede un intervallo fra x_1 ed x_2 , attorno al valore di x_2 , di *set point* (punto di lavoro) in modo che risulti:

$$y = y_1 \quad \text{per } x < x_1 < x_0$$

$$y = y_2 \quad \text{per } x > x_2 > x_0$$

L'intervallo $x_2 - x_1$ è detto *differenziale del regolatore*. Per un buon funzionamento di questo sistema occorre che la capacità termica del sistema di regolazione sia piccola rispetto a quella del sistema regolato.



Regolazione ad azione proporzionale

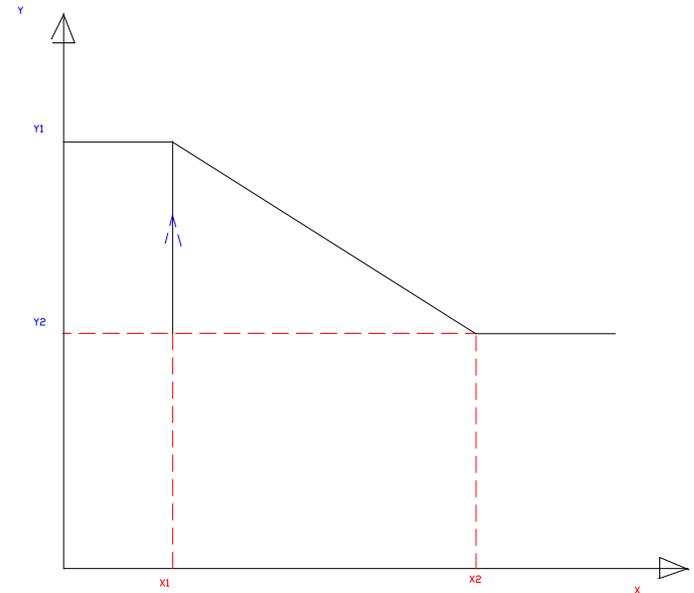
Un controllore ad azione proporzionale ha una risposta data dalla relazione: $y - y_0 = -k_p (x - x_0)$

ove la costante di proporzionalità k_p è di solito negativa se si desidera avere una risposta che fa diminuire l'uscita, $y - y_0$, al crescere di x (vedi il caso per la regolazione della temperatura dell'acqua di caldaia al variare della temperatura esterna). Anche in questo caso si ha un intervallo di regolazione fra x_1 e x_2 centrato attorno ad un valore x_0 di riferimento.

Alla differenza $x_2 - x_1$ si dà il nome di **banda proporzionale** e alla differenza corrispondente $y_2 - y_1$ si dà il nome di **banda di azione**.

Questo tipo di regolazione necessita sempre di una differenza di segnale $x_2 - x_1$ per intervenire. I valori delle bande proporzionali e di azioni debbono essere scelti in modo opportuno a seconda del tipo di applicazione che si intende regolare.

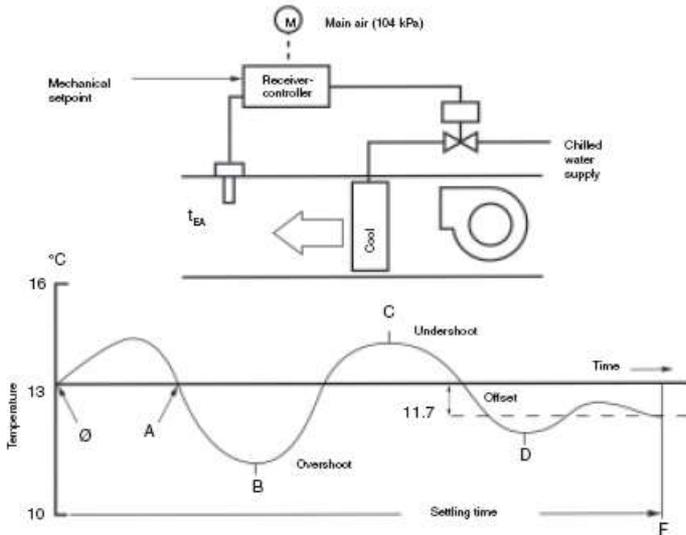
Ad esempio, per la regolazione della temperatura di un ambiente la banda proporzionale potrà avere intervallo di $1 \div 2$ °C mentre la grandezza regolata, che può essere la temperatura dell'acqua nei radiatori, potrà variare di $2 \div 4$ °C.



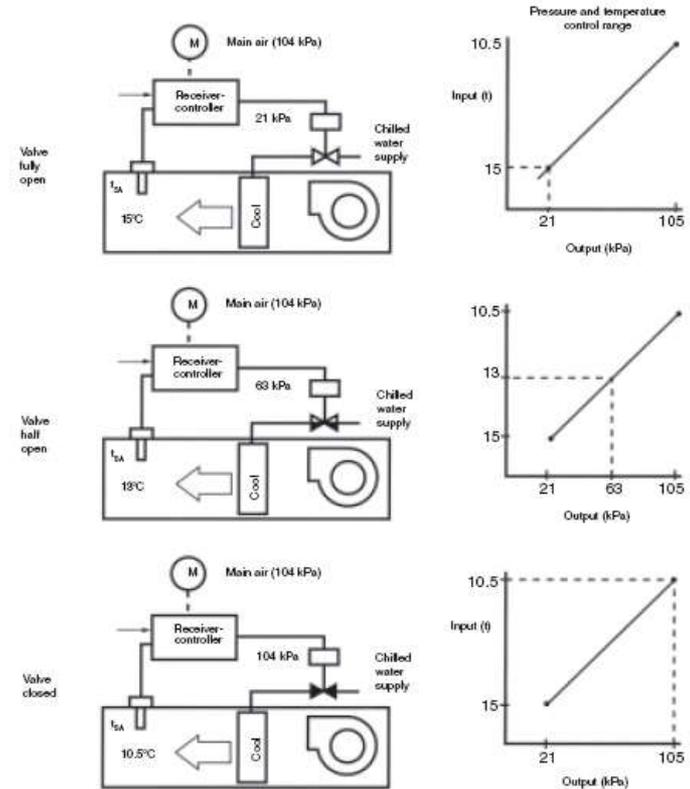
Regolazione ad azione proporzionale

Esempio di regolazione pneumatica in una UTA

Proportional control strategy



Proportional control



Regolazione ad azione integrale

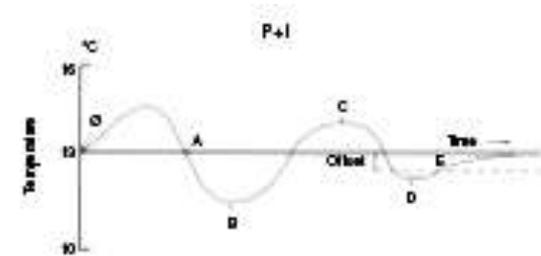
La funzione di regolazione è del tipo:

Ovvero anche:
$$\frac{dy}{d\tau} = -k_i (x - x_0)$$

$$y - y_0 = -\int_{\tau_1}^{\tau_2} k_i (x - x_0)$$

Questo tipo di regolatore, a differenza di quello proporzionale, tende sempre a riportare la variabile controllata al punto di regolazione x_0 . L'azione di regolazione è funzione, infatti, dell'integrale dello squilibrio $(x-x_0)$ nel periodo di tempo in cui esso avviene $(\tau_2-\tau_1)$.

L'azione di regolazione, però, si fa sentire con un certo ritardo (per effetto dell'integrazione e quindi di una specie di *ricordo* dell'evoluzione del segnale) e pertanto è bene limitare la regolazione integrale nei sistemi che hanno già notevole inerzia.



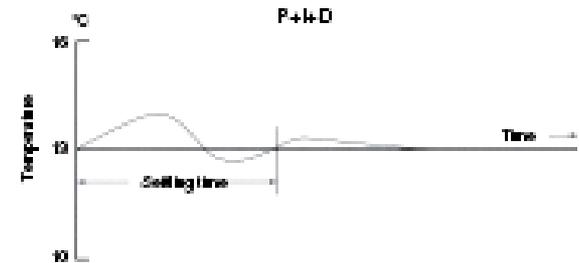
Regolazione ad azione derivativa

La funzione di risposta del controllore è data dall'equazione:

$$y - y_0 = -k_d \frac{dx}{d\tau}$$

con k_d opportuna costante del sistema di regolazione. L'azione di regolazione si manifesta non appena la variabile regolata inizia a presentare uno squilibrio ($x-x_0$) (quindi agisce in anticipo). L'azione del regolatore cessa quando lo squilibrio si annulla, ossia quando la x raggiunge una condizione di equilibrio, anche se fuori dal *set point* di controllo.

Di solito la regolazione derivativa si accoppia alle regolazioni proporzionali e/o alle regolazioni integrali per contrastare le inerzie del sistema regolato che presentano ritardi notevoli nella regolazione.



Sistemi di regolazione a più azioni combinate

Ciascuno dei modi di regolazione prima descritti presenta vantaggi e svantaggi. E' possibile utilizzare sistemi di controllo combinazione di due o più dei sistemi precedenti.

Una regolazione perfettamente soddisfacente può essere ottenuta dalla combinazione di più sistemi quali:

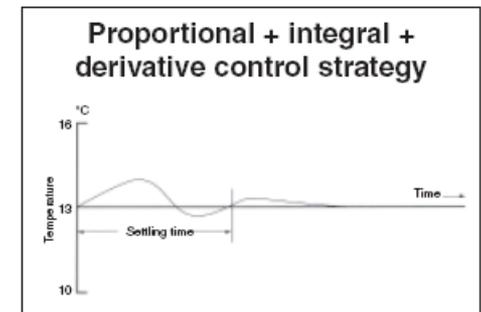
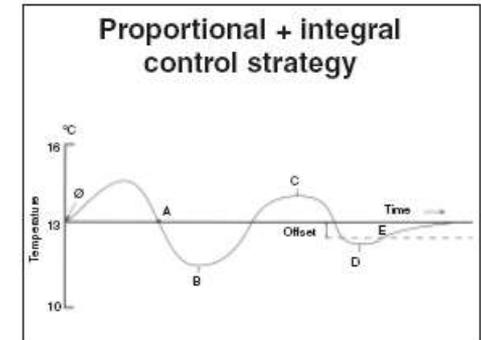
- **Sistemi PD** si tratta di sistemi ad azione *proporzionale derivativa* che forniscono maggiore rapidità di risposta ai sistemi proporzionali:

- **Sistemi PI** sono sistemi ad azione *proporzionale integrale* in grado di garantire un'azione completa di controllo per tutta la durata dello squilibrio;

- **Sistemi PID** sono i sistemi *proporzionali integrali e derivativi* che garantiscono una risposta più completa perché assommano i pregi dei tre sistemi singoli.

Di solito si agisce sulle costanti k_p , k_d , k_i per adattare le risposte dei sistemi di controllo alle esigenze del sistema controllato.

Lo scopo principale del sistema di controllo è di mantenere la variabile controllata il più vicino possibile alla valore si *set point* cioè al punto di lavoro prefissato



Elementi sensibili

I sistemi di controllo sopra accennati ricevono segnali provenienti dall'impianto mediante opportuni sensori che possono essere:

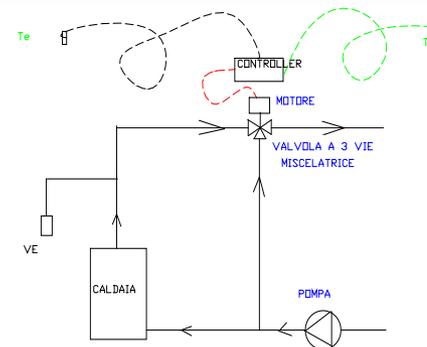
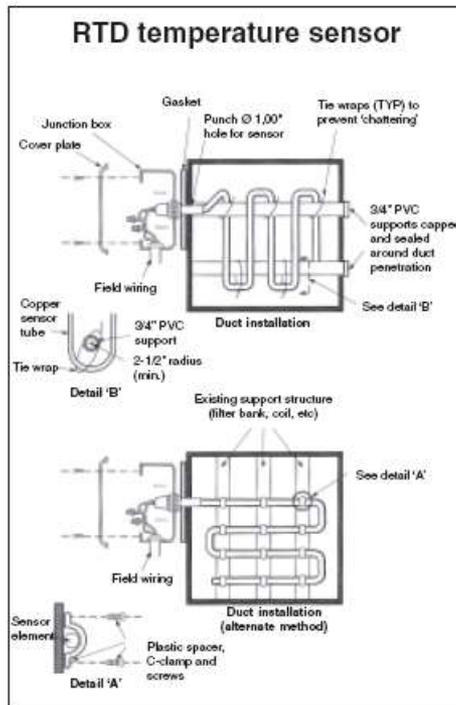
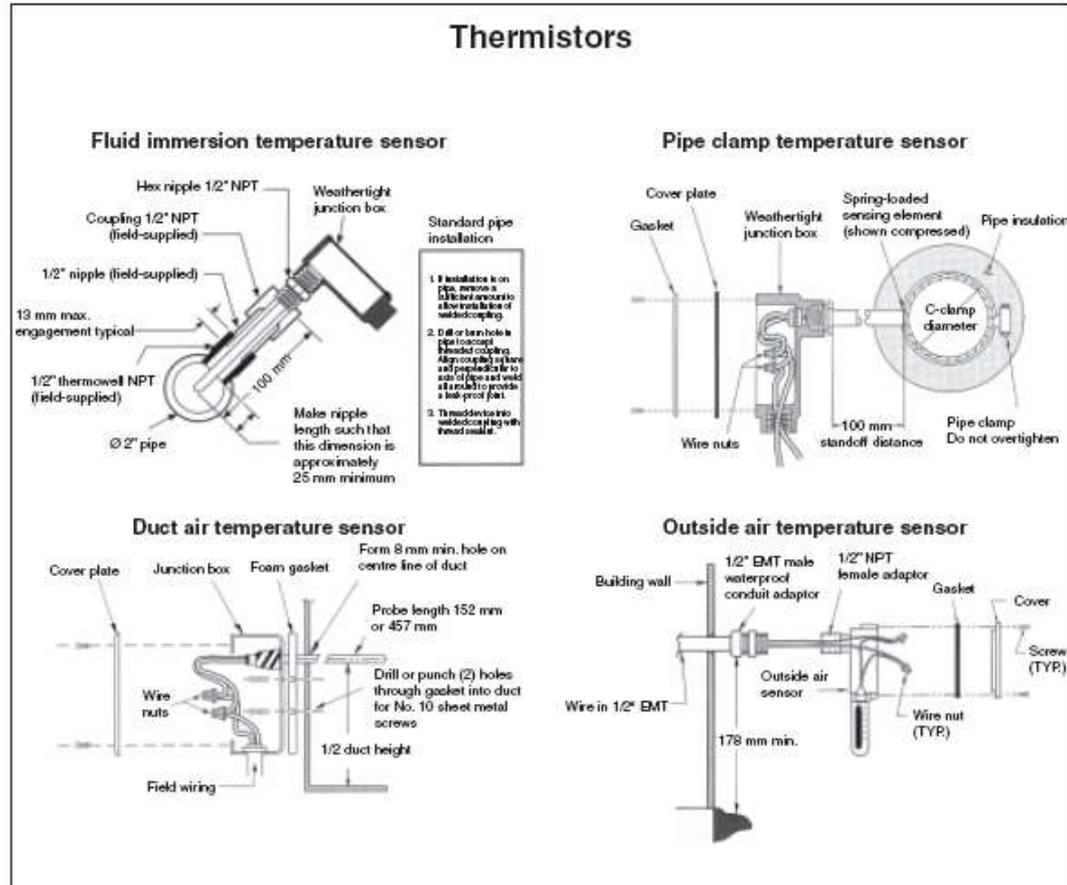
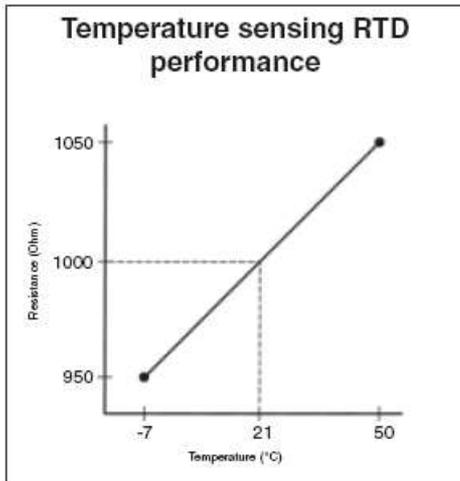
- **Elettrici;**
- **Meccanici.**

Nel primo caso si hanno trasduttori di segnale analogici che forniscono in uscita segnali elettrici e/o elettronici mentre nel secondo caso si ha un segnale meccanico (spostamento di un braccio, pressione, ...) che in qualche caso risulta più utile utilizzare. Oggi si tende ad utilizzare sistemi di controllo sempre più sofisticati e complessi che utilizzano segnali elettronici digitali.

In questo caso il segnale utilizzato non è più analogico (tensione, corrente, resistenza, ... variabili con lo stesso andamento temporale del segnale rilevato) bensì trasformato in sequenza di numeri (*digit*) mediante particolari meccanismi. Il vantaggio dei segnali digitali consiste, principalmente, nella possibilità di utilizzare controllori computerizzati anziché semplicemente elettronici.

Un **trasduttore** è un dispositivo che trasforma un segnale in un altro. Di solito si utilizza il trasduttore per ottenere un segnale più utile rispetto a quello trasformato. Ad esempio si usa un trasduttore per rilevare la temperatura interna degli ambienti; questi sono costituiti da elementi sensibili che, mediante opportune leggi fisiche, forniscono un segnale *proporzionale* (e quindi *analogico*, cioè con la stessa legge di variazione) della temperatura ambiente. Mediante termoresistenze, ad esempio, si hanno segnali di tensione proporzionali alle temperature rilevate. Analogamente per il rilevamento delle altre grandezze fisiche dell'impianto (pressione, umidità, ...). I traduttori AD (analogici digitali) operano una scansione del segnale continuo a frequenza opportuna e trasforma il valore campionato in una sequenza di 0 e 1 (digit) che, in logica binaria, lo rappresentano numericamente.

Elementi sensibili elettronici



Le valvole come componenti fondamentali di regolazione

Una delle azioni più ricorrenti nella regolazione impiantistica è la regolazione del flusso termico, ad esempio attraverso una caldaia, una batteria di scambio, un *fan coil*, ...

Il controller fornisce la sua azione di comando ad un *attuatore* che si preoccupa di modulare il flusso mediante una valvola di regolazione.

Valvole a due vie

L'attuatore è un motore elettrico (ma può anche essere pneumatico) che agisce sullo stelo di una valvola a due o più vie in modo da far variare il flusso in una o più delle vie di uscita della valvola stessa. In pratica lo stelo fa variare la sezione di efflusso mediante il movimento dell'*otturatore* che si trova alla fine dello stesso stelo.

Caratteristica Lineare

La curva è definita dall'equazione:

$$\dot{m} = \dot{m}_0 + bH$$

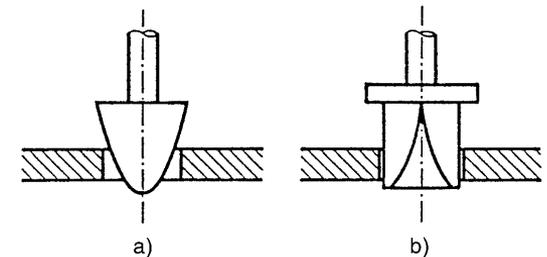
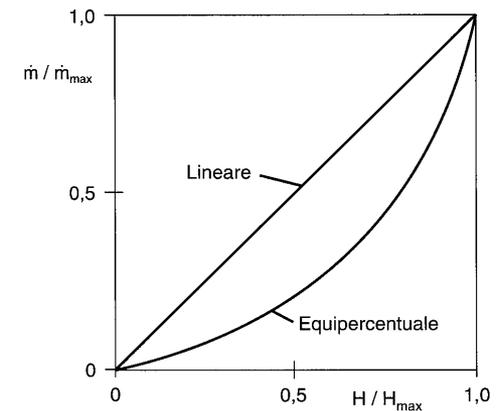
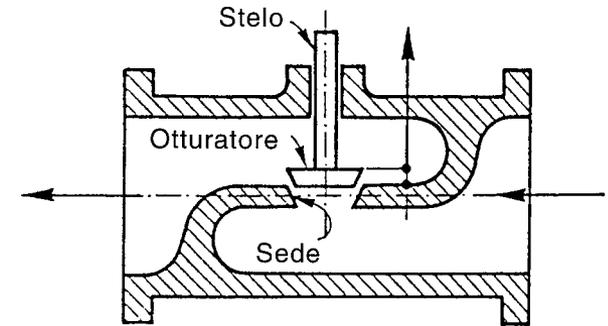
ove è la portata che trafila a valvola chiusa e b è un opportuno coefficiente di proporzionalità.

Caratteristica equipercentuale

La curva è definita dall'equazione:

$$\dot{m} = \dot{m}_0 e^{cH}$$

ove è la portata di tra filamento a valvola chiusa e c è una costante positiva. In Figura si hanno le rappresentazioni grafiche delle due caratteristiche.



Le valvole a tre vie

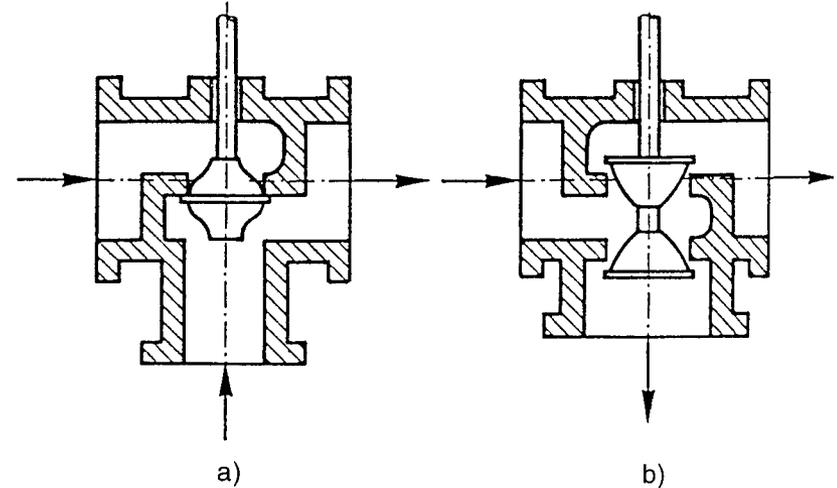
Rivestono moltissima importanza nelle regolazione impiantistica le valvole a tre (e anche a quattro) vie. Le valvole a tre vie sono caratterizzate da due flussi che attraversano lo stesso corpo della valvola. A seconda dei sensi di questi flussi si possono avere due tipologie di valvole a tre vie: **Valvole miscelatrici**, **Valvole deviatrici**.

Nel caso delle valvole miscelatrici, vedi Figura a, i due flussi entranti sono miscelati formando il flusso uscente. Nel caso delle valvole deviatrici, vedi Figura b, il flusso entrante viene suddiviso in due flussi uscenti. In genere è sempre bene montare le valvole in modo da avere il flusso contrario alla direzione di chiusura dello stelo.

Si osservi che per ottenere un'azione di efficace regolazione dalla valvola occorre che questa abbia autorità nel circuito da controllare, ossia essa deve creare una perdita di carico tale da essere confrontabile con quella del resto del circuito da regolare. Questo parametro (**autorità della valvola**) è di solito riportato dalle ditte costruttrici al variare della portata e della posizione dello stelo. Un'autorità bassa porta ad una variazione lineare della portata con l'apertura dello stelo mentre un'autorità elevata (>0.5 e < 1) porta ad una apertura non lineare, di tipo percentuale. Di una valvola si definisce il coefficiente di regolazione dato da:

$$K_v = \frac{Q}{\sqrt{\Delta p}}$$

con Q portata volumetrica e Δp perdita di pressione attraverso la valvola

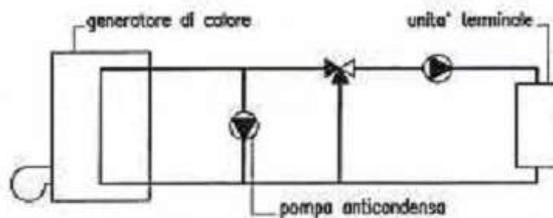
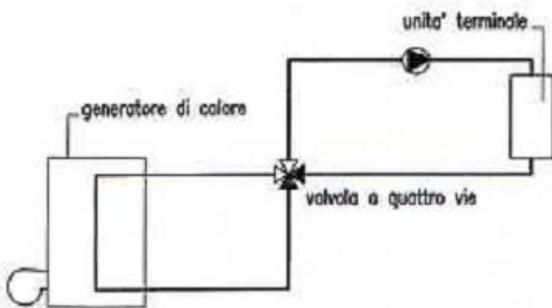
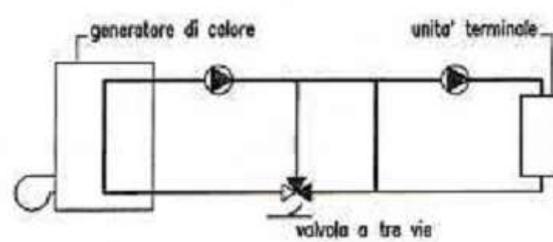
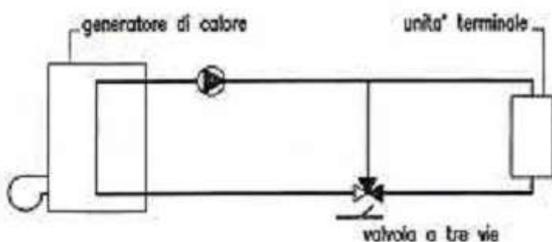
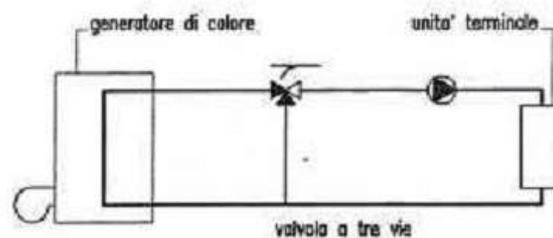
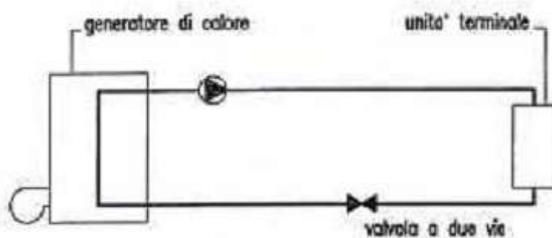


Si definisce **autorità** β il rapporto:

$$\beta = \frac{\Delta p_{valvola}}{\Delta p_{tubazione} + \Delta p_{valvola} + \Delta p_{altri_elementi}}$$

Il diametro della valvola è sempre inferiore di una o due misure rispetto al diametro della tubazione nella quale è inserita proprio per darle **autorità**. La disposizione della valvola deve tenere conto di alcune considerazioni basilari. La pompa di circolazione deve lavorare a **portata costante** mentre la valvola di regolazione deve lavorare a portata variabile per effettuare una regolazione del circuito. Questo suggerisce di posizionare la valvola in modo da lasciare inalterata la portata nella pompa di circolazione (**valvola a miscela**) o a valle della pompa stessa.

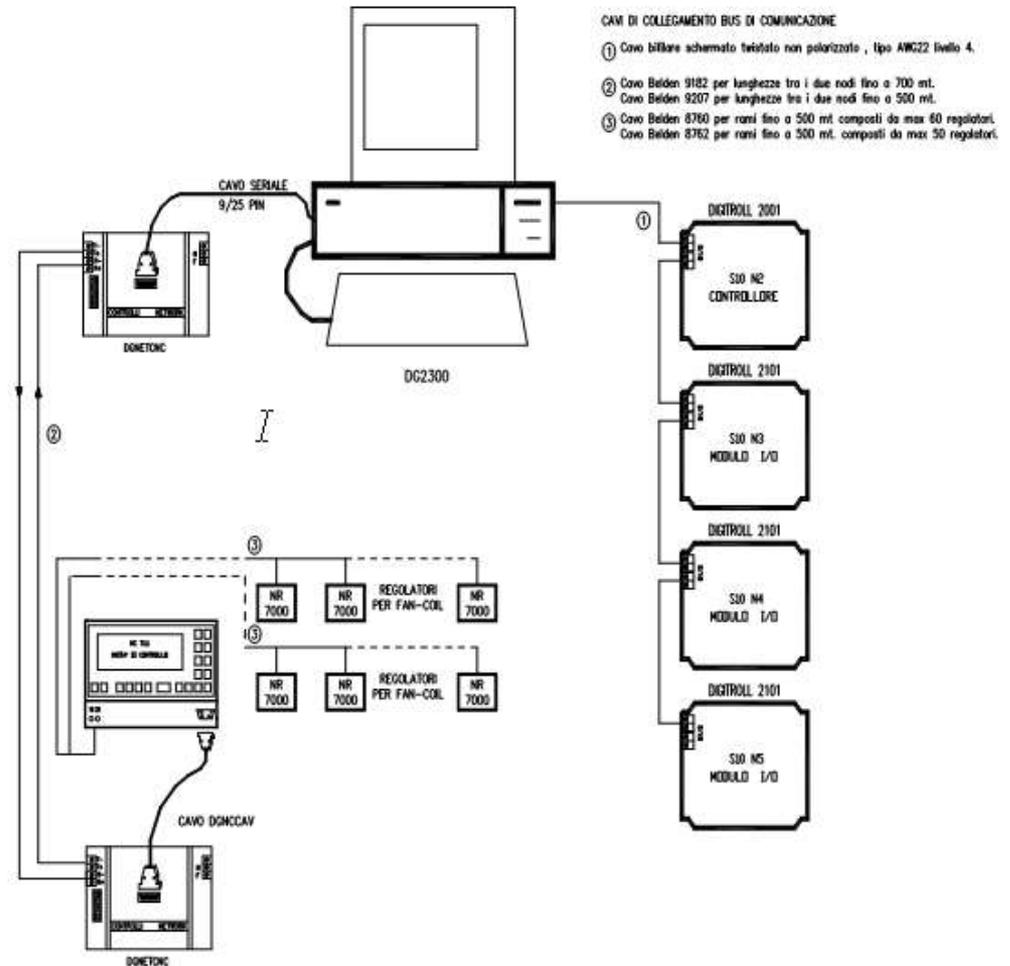
Inserimento delle valvole nell'impianto



Sistemi di regolazione computerizzati

Rappresentano la naturale evoluzione dei sistemi di regolazione elettronica prima accennati. La crescente complessità dei moderni impianti e l'esigenza di controllare centralmente non solo gli impianti termotecnici ma anche quelli di illuminazione, gli ascensori, l'impianto di rilevazione delle presenze, di accesso e di sicurezza antincendio, , ha portato all'esigenza di avere sistemi di controllo sempre più potenti e sofisticati.

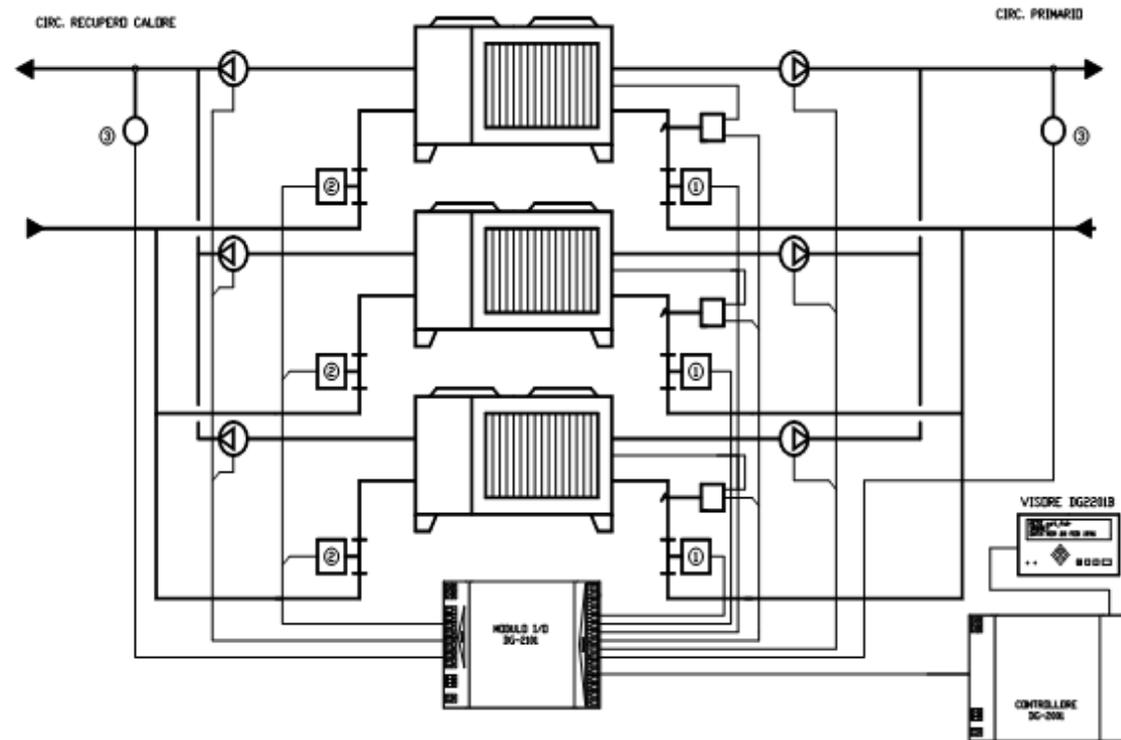
I computer consentono di ottenere questi risultati a patto che i segnali da controllare e tutti i sistemi di attuazione siano **digitali** (opportuni convertitori trasformano i segnali analogici in digitali). I sistemi computerizzati sono di architettura complessa e realizzano tutte le più moderne tecniche informatiche per le reti dati.



Evoluzione verso gli Edifici Intelligenti

In genere si ha una rete **principale** ed uno o più anelli **secondari** che collegano controllori elettronici - digitali in grado di colloquiare con l'unità centrale sia per riportare i valori delle variabili da loro controllate sia per attuare gli ordini ricevuti dal computer centrale.

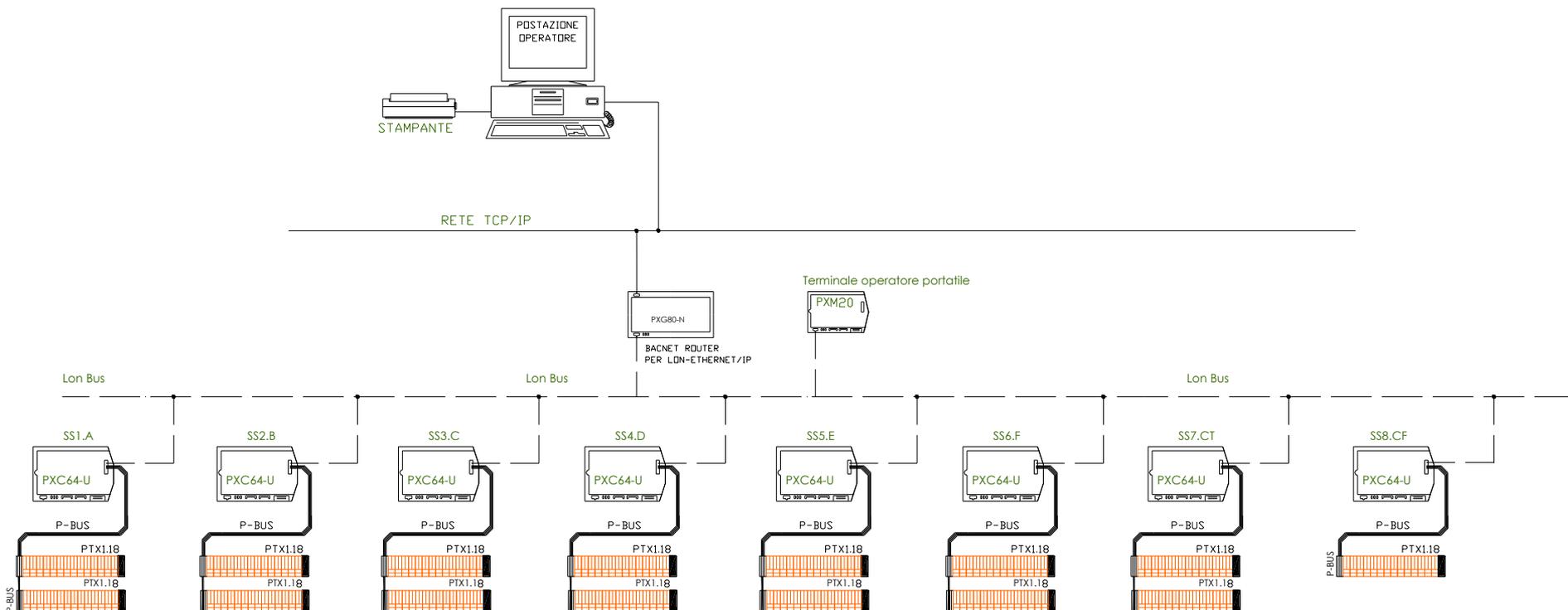
Il computer centrale provvede ad interrogare le unità periferiche (che sono computer di minore potenza di quello centrale e con programmi registrati in speciali memorie non volatili, EPROM) per conoscere lo stato delle variabili di controllo da esse regolate e per modificare le leggi di controllo.



- ① VFG10 DN80 + ST405 + D77 = valvola a farfalla motorizzata con contatti suc.
- VFG10 DN80 + ST405 + D77 = valvola a farfalla motorizzata con contatti suc.
- SBC = sonda di temperatura da condotta

Bus dati

Nei sistemi di regolazione complessi si hanno più controllers periferici che colloquiano con una unità centrale mediante bus di dati per lo scambio delle informazioni.

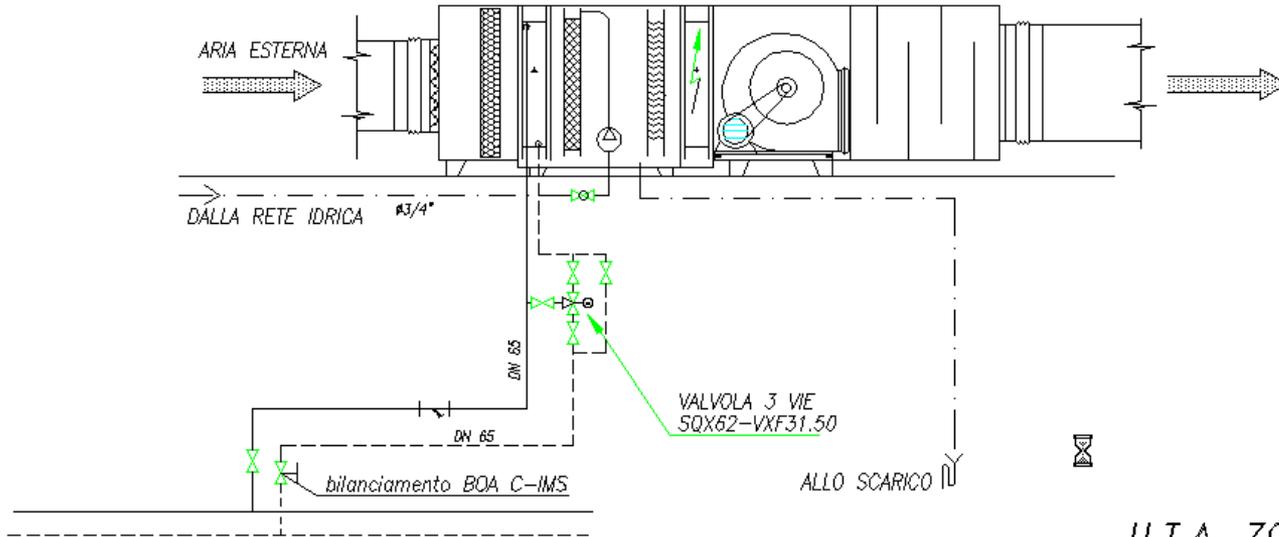


ARCHITETTURA DESIGO V2

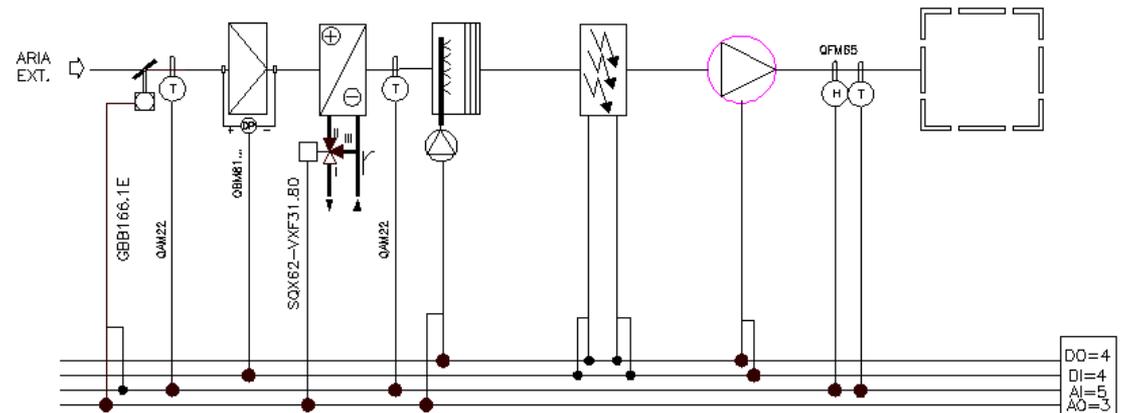
Rev.	Name	Data		Architettura sistema
				Pagina:

Esempio di controllo digitale di una UTA

U.T.A. ZONA "A"



U.T.A. ZONA "A"

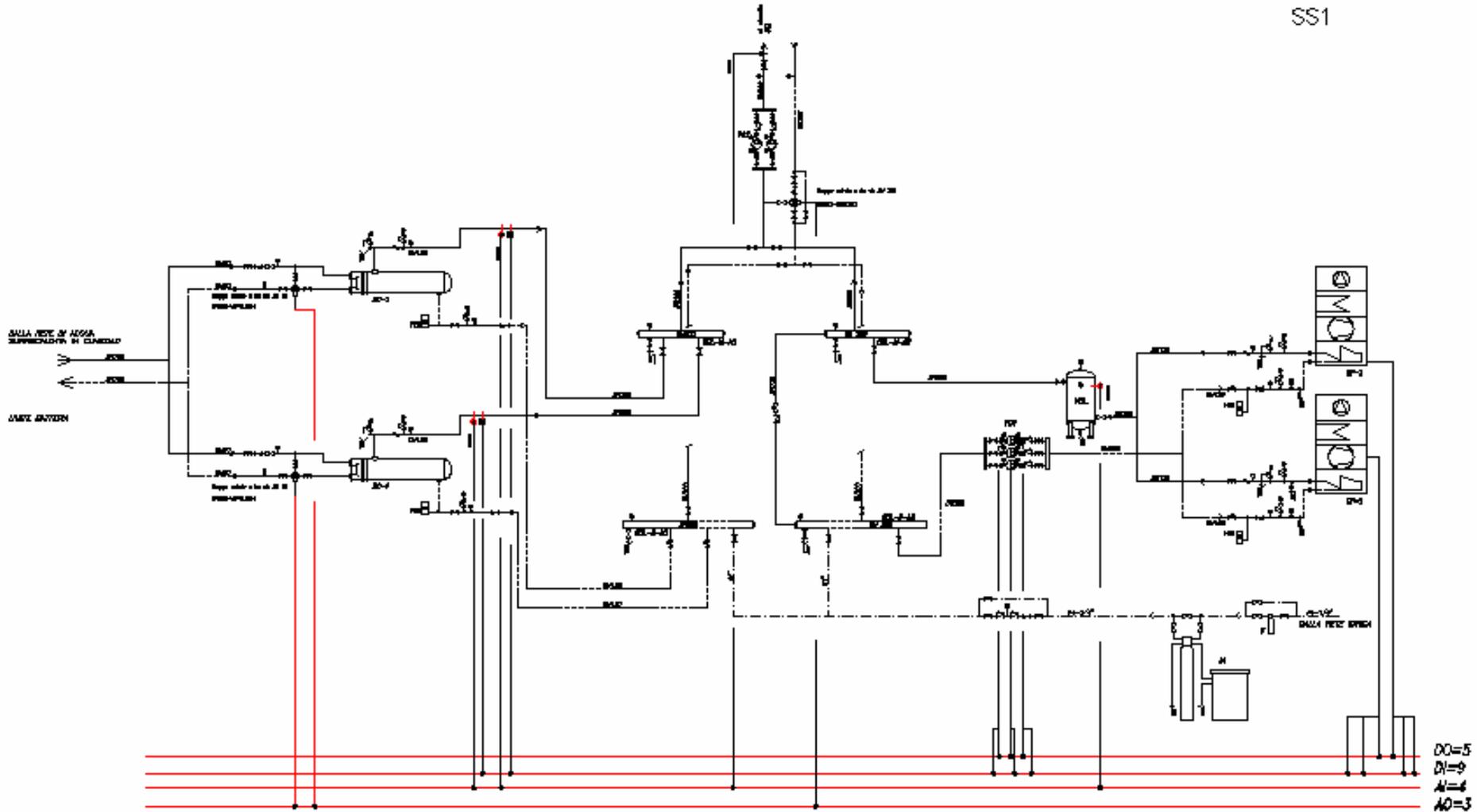


Logica:

- Avviamento UTA da comando orario, o manuale da terminale
- Apertura serranda A.E. che da stato innesca DO ventilatori
- Comando stato ed allarme sw ventilatore A.imm.
- Allarme filtro;
- Batteria Caldo e/o freddo da set point T° a punto fisso compensato
- Umidificazione (pompa) e deumidificazione post-elettrico da set-point H canale aria immessa.

Controllo di una centrale termica

SS1



Simboli utilizzati per il controllo della centrale termica

SC1	Scambiatore di calore per acqua surriscaldata, n.1 KW 400		Organo di intercettazione
SC2	Scambiatore di calore per acqua surriscaldata, n.2 KW 400		Valvola a sfera
GF1	Gruppo refrigeratore d'acqua KW 700		Valvola di taratura
GF2	Gruppo refrigeratore d'acqua KW 700		Giunti antivibranti in gomma
COL-M-AR	Collettore mandata acqua refrigerata		Valvola di ritegno
COL-R-AR	Collettore ritorno acqua refrigerata		Filtro
COL-M-AC	Collettore mandata acqua calda		Flussostato
COL-R-AC	Collettore ritorno acqua calda		Valvola di regolazione a 3 vie motorizzata
VOL	Accumulo termico, l 5.000		Valvola rompivuoto
VEC	Vaso espansione chiuso (capacità)		Termometro
P01	Elettropompa normalizzata, mc/h 120 - Pa ____		Manometro con flangia di prova
P02	Elettropompa normalizzata, mc/h 220 - Pa ____		Valvola di sicurezza
IA	Impianto di addolcimento dell'acqua		Sconnettore
F	Filtro di sicurezza		Valvola a flusso avviato

Gestione automatizzata di un edificio

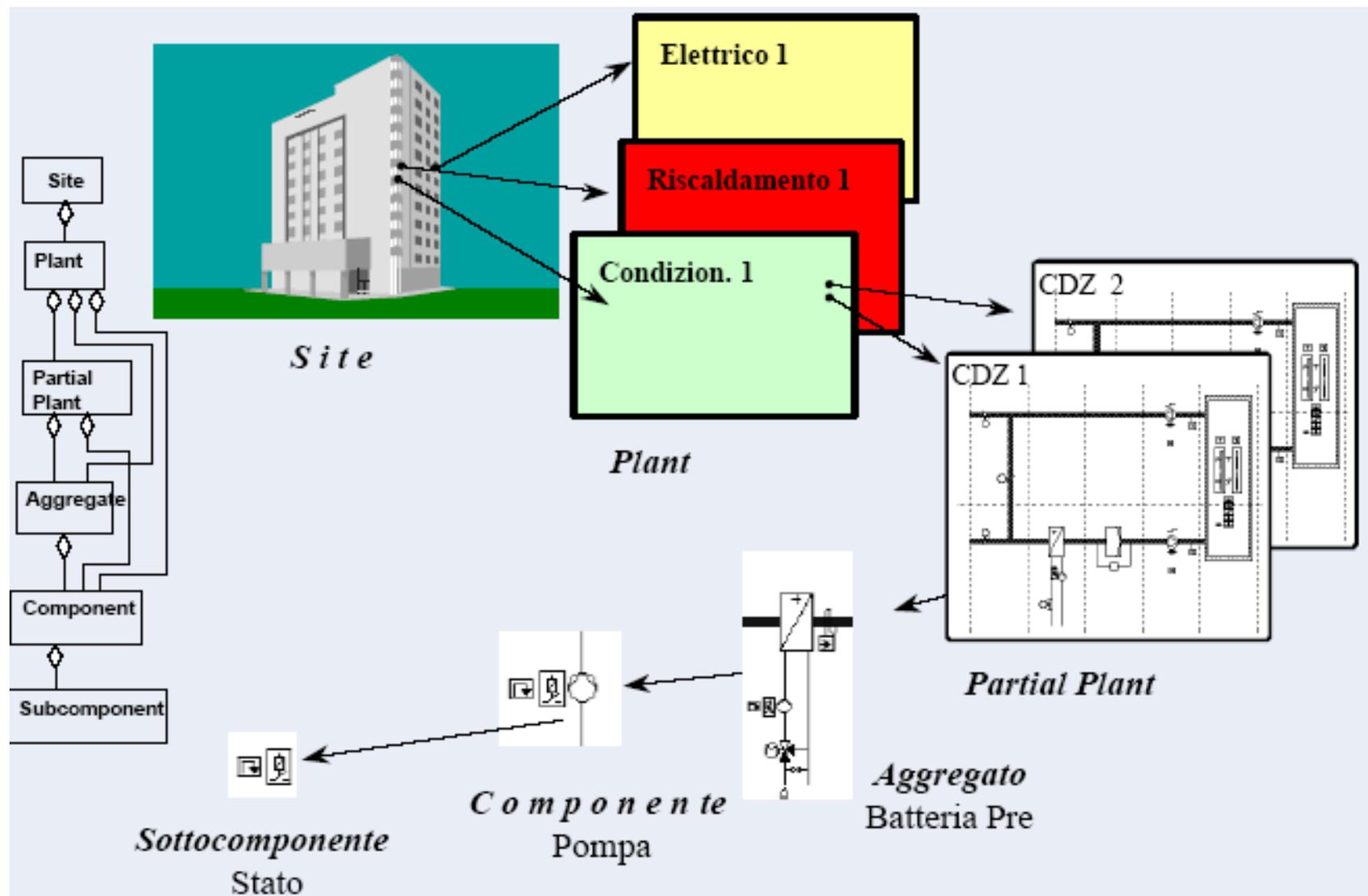


- ⌚ Riscaldamento
- ⌚ Ventilazione e Condizionamento
- ⌚ Illuminazione
- ⌚ Distribuzione MT/BT
- ⌚ Reti, Comunicazioni

- ⌚ Analisi di Dati Energetici
- ⌚ Analisi e Riporto di Dati di Processo
- ⌚ Esportazione dati verso sistemi Office Automation
- ⌚ Performance Contracting

- ⌚ Sistemi Antincendio
- ⌚ Sistemi Antintrusione
- ⌚ Integrazione sottosistemi di Terzi
- ⌚ Servizi di manutenzione
- ⌚ Training

Gestione integrata di più componenti di impianto



Regolazione DDC

I dispositivi che trasformano una grandezza analogica in una digitale sono detti **trasduttori**. Più precisamente, ai fini del controllo digitale, si hanno due tipologie di segnali che sono trasformati in digitali:

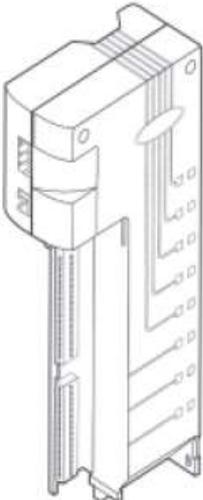
Analogico: si tratta di segnali continui che sono trasformati in discreti con un convertitore A/D (analogico digitale).

Discreto: si tratta di un segnale che può assumere solo due posizioni, ad esempio acceso e spento, chiuso e aperto, ...

Di fatto la digitalizzazione è realizzata associando ad uno stato lo **0** (zero) ed all'altro **1** (uno).

Così, ad esempio, per pompa accesa si ha **1** mentre per pompa spenta si ha **0**.

**A DDC general purpose controller
8 inputs/8 outputs**



8 INPUTS	
Channel numbers*	Specifications
1 to 4	Discrete or analog (0-10 V DC)
5 and 6	Temperature
7 and 8	Discrete, analog or temperature
	Discrete
	Dry contact
	Pulsed dry contact
	Analog
	4-20 mA
	0-10 VDC
	Temperature
	5 K and 10 K ohm thermistors
	1 K ohm nickel RTD.

8 OUTPUTS	
Channel numbers*	Specifications
1 to 4	Discrete
5 and 6	Analog
7 and 8	Discrete or analog
	Discrete
	24 VDC @ 80 mA
	Analog
	4-20 mA
	0-10 VDC

* Each channel is a two-wire connection for a sensor input or actuator output.

Regolazione DDC

A sua volta i segnali possono essere sia di input che di output e pertanto il bus dati ha in genere 4 linee denominate:

AI – Analogico Input; (sensore)

AO - Analogico Output; (attuatore)

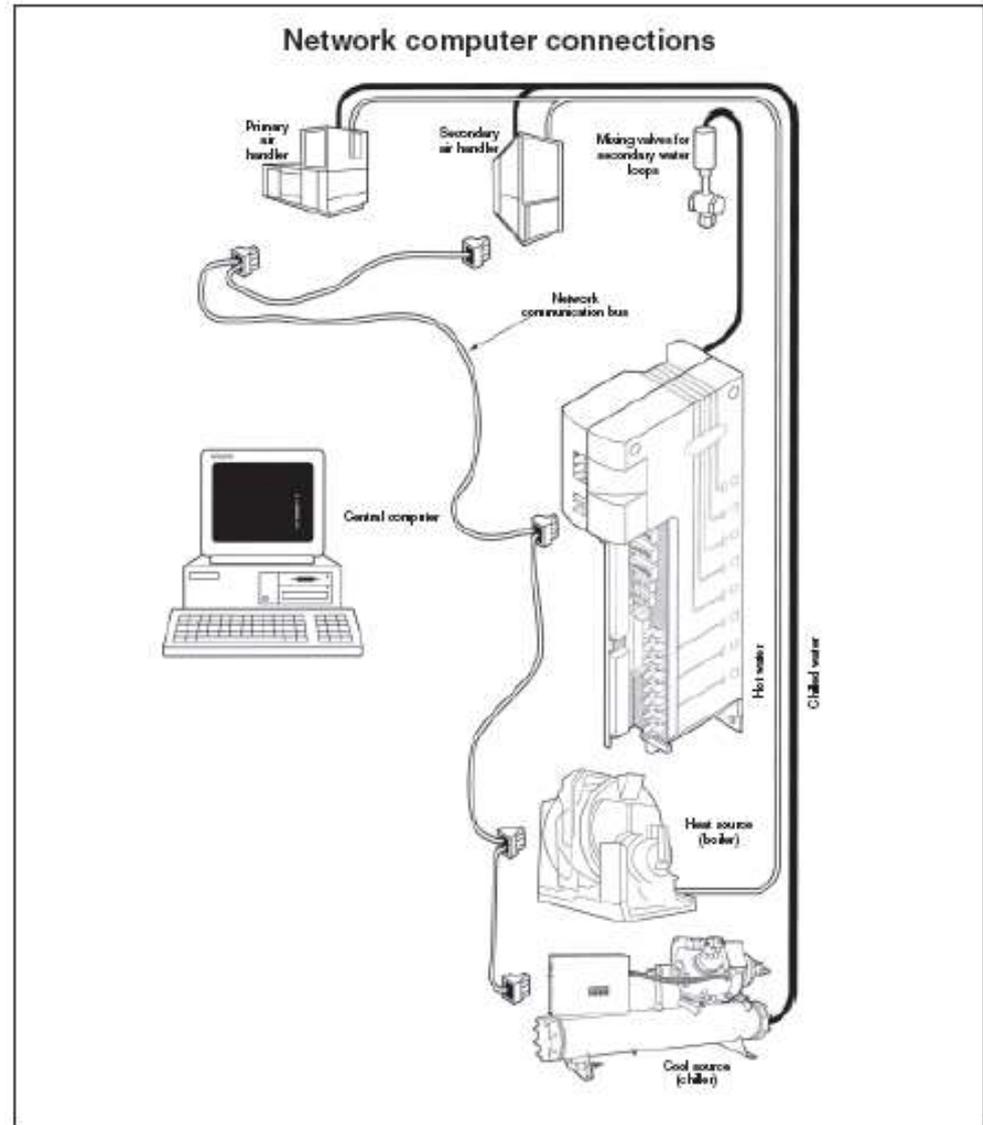
DI – Discreto Input; (sensore)

DO – Discreto Output; (attuatore).

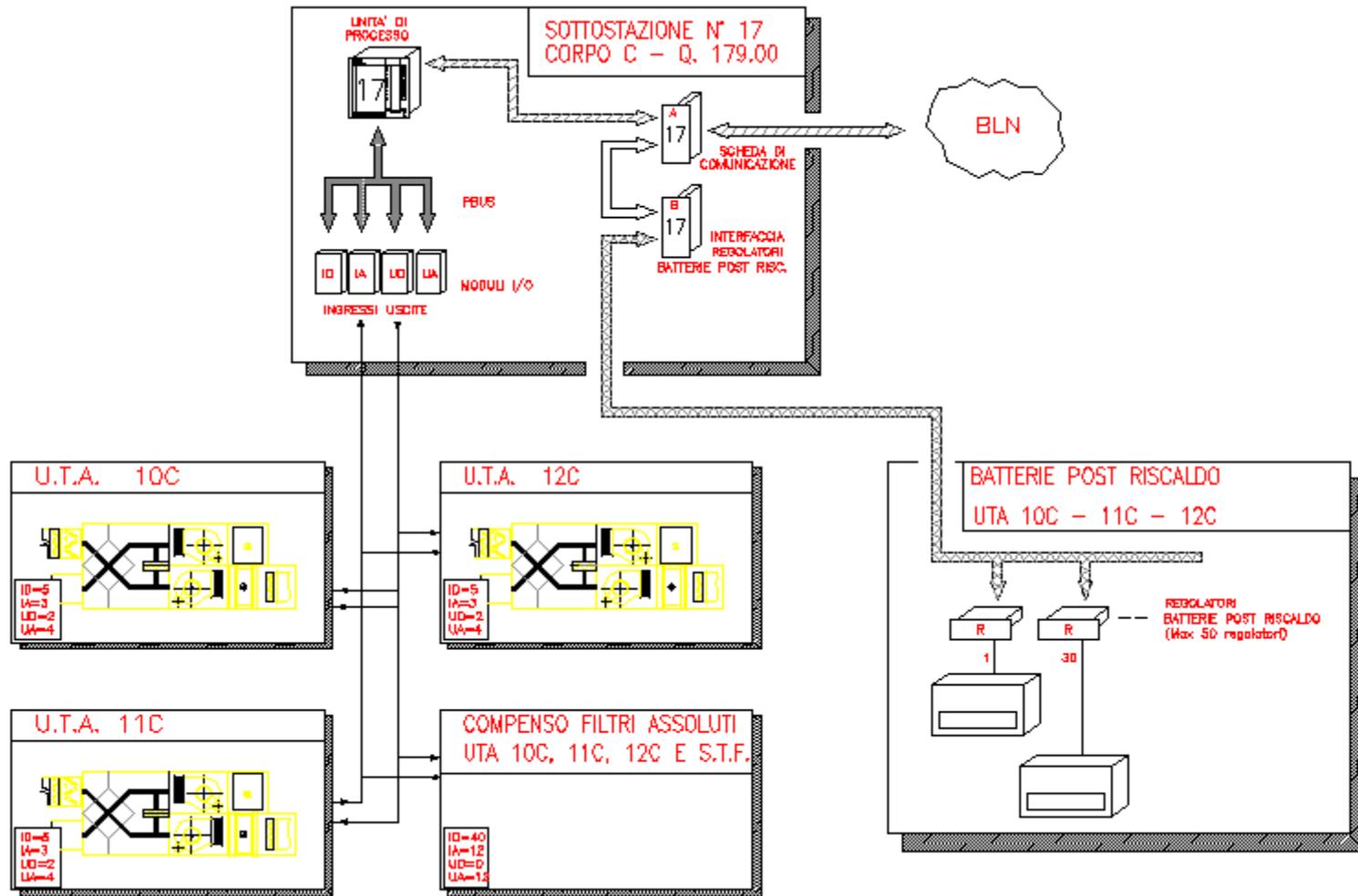
Il controller digitale utilizza questi dati per ricevere informazioni dalle apparecchiature in campo e per comandare gli attuatori di controllo.

Il controller digitale utilizza questi dati per ricevere informazioni dalle apparecchiature in campo e per comandare gli attuatori di controllo.

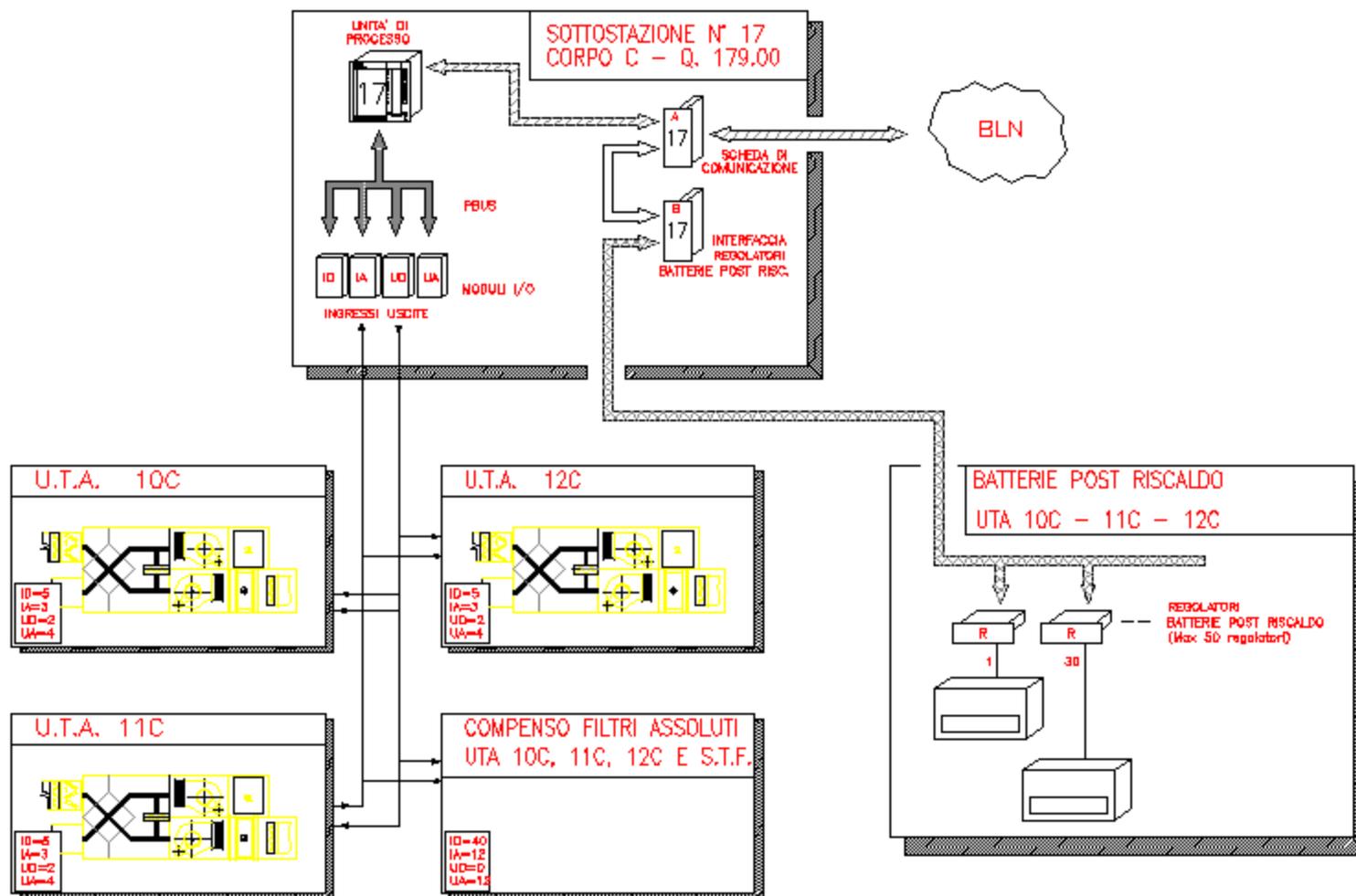
Le funzioni di controllo possono essere svolte da un unico computer centralizzato sfruttando la velocità di elaborazione dei segnali dei moderni processori. Tuttavia per motivi di sicurezza e di flessibilità si preferisce avere una rete di computer dedicati localizzati ciascuno con un compito ben specifico di controllo locale di uno o più dispositivi.



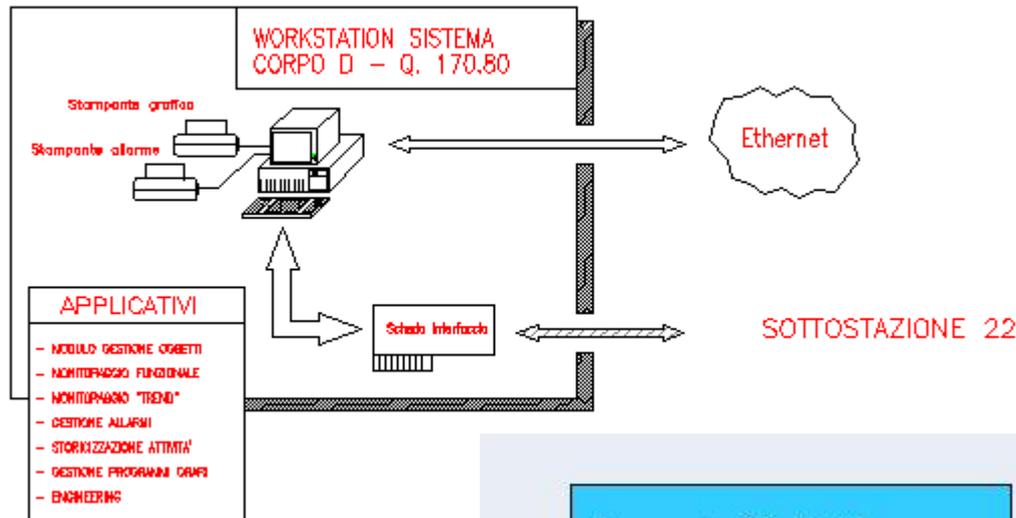
Esempi di collegamento al bus dati



Esempi di collegamento al bus dati



Controller e programmazione del controller



Aggregato TD=VntMn
Componente TD=Mot
SuttoComponente TD=Cmd

TD=Eda'AC'CDZ1'VntMn'Cmd

Otto Huber Building - Airconditioning 1 - West

Supply Air Fan

- Motor
- Command
- Feedback
- Thermo electric Dv
- Differential Pressure Dv
- Exhaust Air Fan

Supply Fan / Extract Fan

Short Description: Supply Air Fan

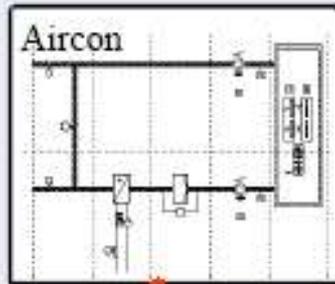
Design TD Name: FanSu

Design Text: Supply Air Fan

Nome univoco che identifica il punto in tutto l' impianto

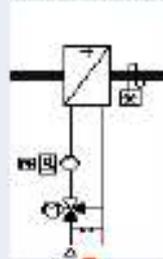
Programmazione dei controller locali

Macchina



Aircon	
I OpMod	PrVal I
I OpModIn	OpSta I
R SetHeat	RtoSto U
I Reset	Lo20Mod I

Aggregato Preriscaldamento



Preheater	
I OpMod	PrVal I
E SpTSu	OpSta I
I OpModIn	RtoSto U
R SetSuIn	LocOpMod I
R TSu	ToHighr ST
I Reset	ToLower ST
I St Fulligher	
O St Fullaker	

Componente Pompa



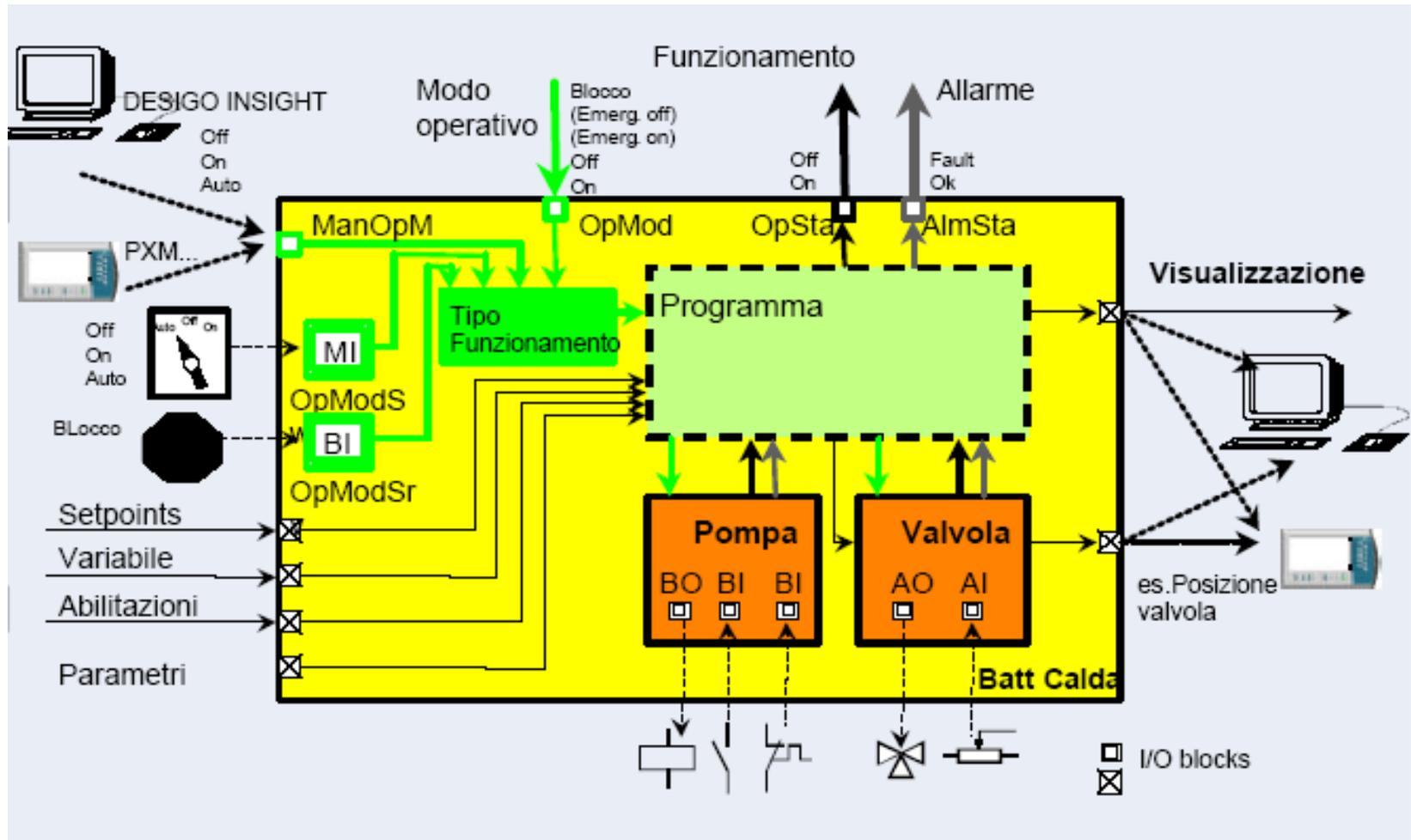
Pump	
DRIVE_4	001
Motor Logic A	001
I OpMod	OpSta I
I Reset	St I
BO PumpB	PrSt I
W RtoSto	Whv I
I EffRtoSto	
W TIRVsd	
W DtoSto	
W TLo20Mod	
W FullVsd	
W DtoVsd	

Subcomponent Contactor

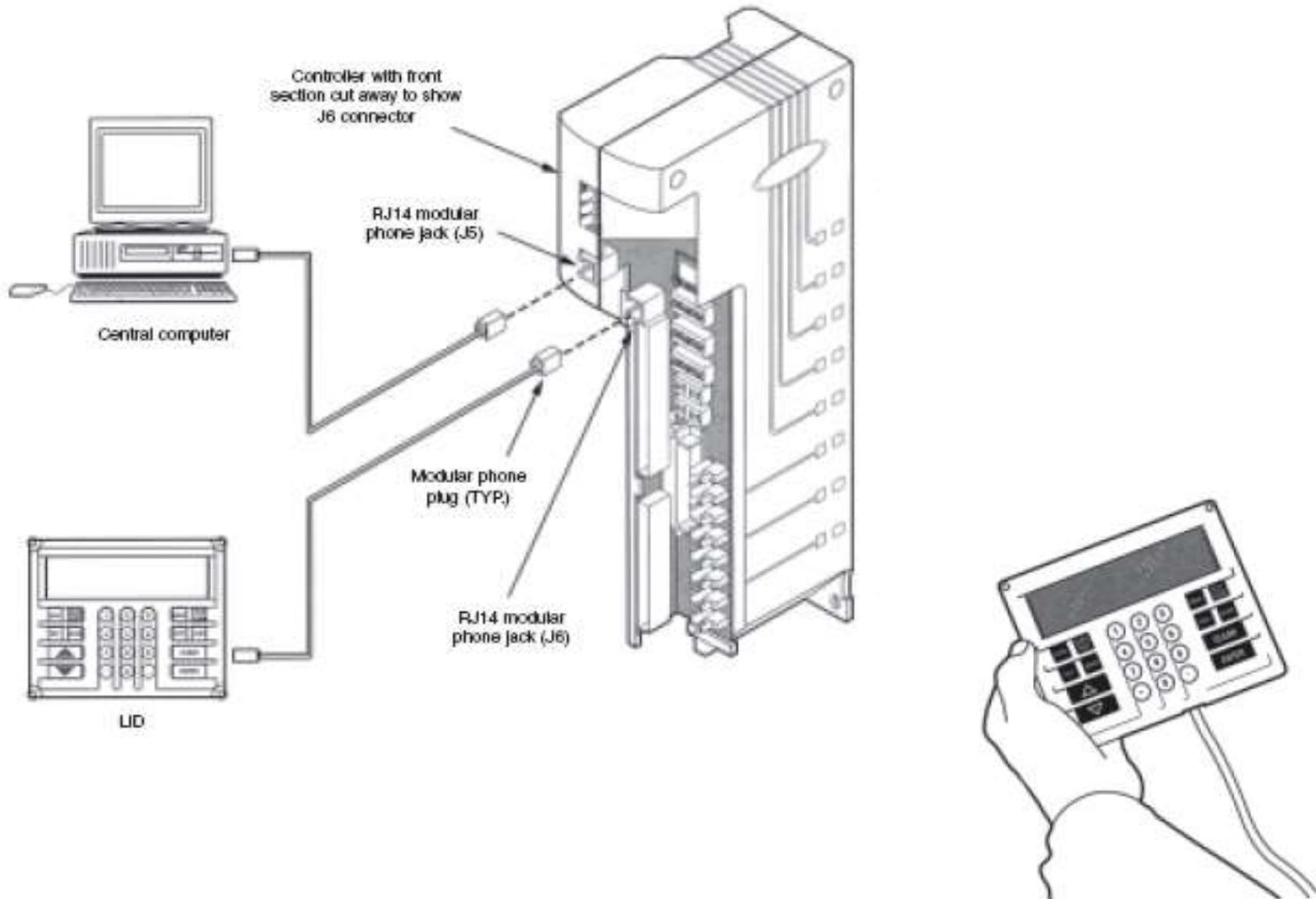


Feedback	
St	001
Pompa	001
BO OpSrv	PrVal BO
BO DefVal	StaFlv U
I Reset	Rto I
St IORdr	RtoSto U

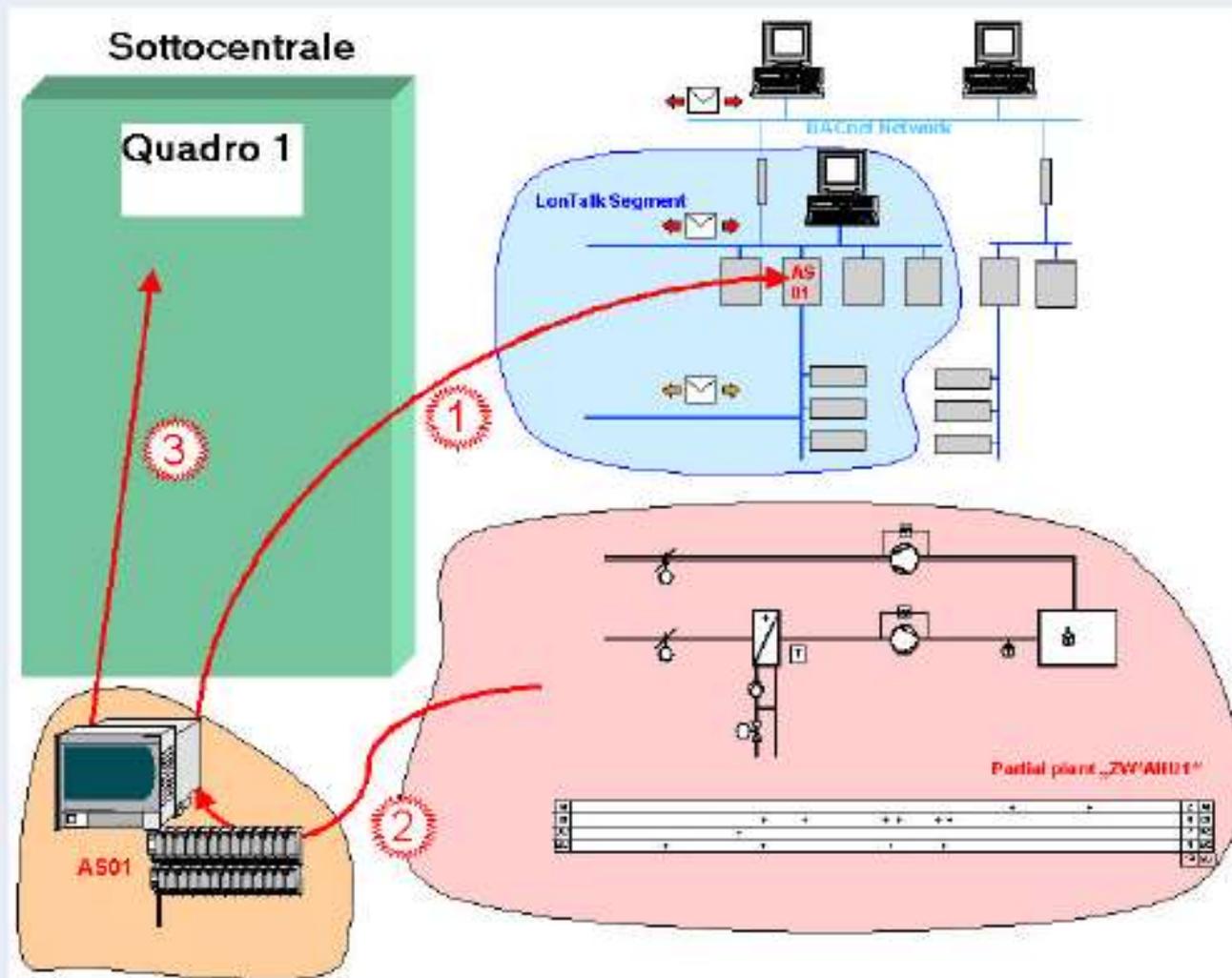
Programmazione dei controller locali



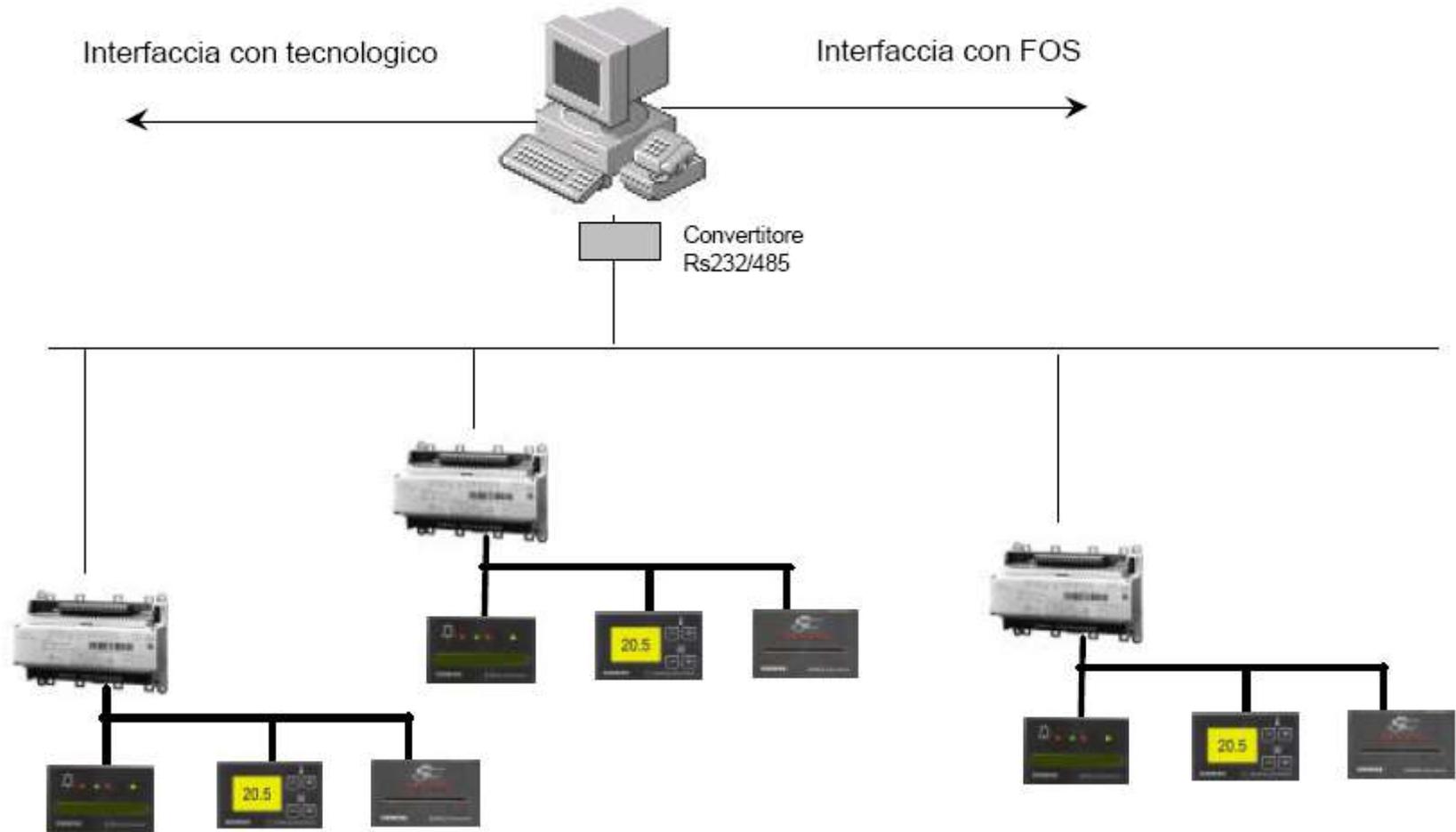
Mezzi di programmazione dei controller locali



Schema di collegamento delle apparecchiature al bus



Collegamento di più controller locali



Regolazione negli impianti di riscaldamento

Il fabbisogno energetico dell'edificio può essere caratterizzato, come si è visto nel capitolo sugli impianti di riscaldamento, dall'equazione:

ove si ha il simbolismo:
$$Q_{edifici} = C_g V (t_a - t_e)$$

C_g coefficiente globale di perdita dell'edificio, conforme al DPR 412/93, ($W/m^3^{\circ}C$);

V volume totale riscaldato dell'edificio, m^3 ;

t_e temperatura esterna di progetto, $^{\circ}C$;

t_a temperatura interna di progetto, $^{\circ}C$.

Gli elementi terminali nei singoli locali cedono a questi ultimi una quantità di energia pari a:

ove si ha:
$$Q_{radiator} = \sum_{locali} KS (t_m - t_a)^m$$

K trasmittanza termica dei radiatori, (W/m^2K);

S superficie radiante dei radiatori, (m^2)

t_m temperatura media dei radiatori, $t_m = (t_i - t_u) / 2$, ($^{\circ}C$)

t_a temperatura dell'aria ambiente, $^{\circ}C$.

m coefficiente di correzione termica dettato dalla norma UNI-CTI 6514/69 e che varia in funzione del tipo di radiatore secondo la seguente tabella:

<i>Elemento radiante</i>	<i>Esponente m</i>
<i>Radiatori</i>	<i>1.25 ÷ 1.30</i>
<i>Convettori termici</i>	<i>1.50 ÷ 1.70</i>
<i>Ventilconvettori, Aerotermi</i>	<i>1</i>

Regolazione negli impianti di riscaldamento

La condizione di congruenza sopra indicata richiede che sia:

$$C_g V \Delta t = \sum_l KS (t_m - t_a)^m$$

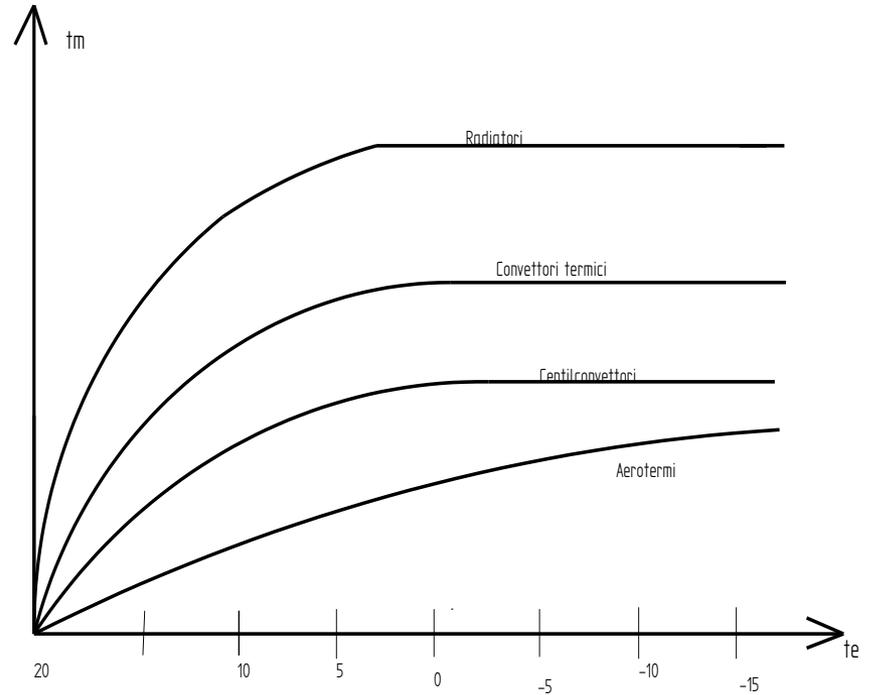
dalla quale si trae il valore della temperatura media:

$$t_m = t_a + \left[\frac{C_g V}{\sum_l KS} (t_a - t_e) \right]^{1/m}$$

Possiamo scrivere questa equazione nella forma:

$$t_m = t_a + [C(t_a - t_e)]^n$$

Questa equazione è detta *equazione della centralina* e, se opportunamente programmata, consente di avere un dispositivo di controllo che adegua la temperatura media dell'acqua calda alla variazione della differenza $(t_a - t_e)$. Il coefficiente C e l'esponente n dipendono dall'edificio e dal sistema di riscaldamento (*cioè dal tipo di terminale*) utilizzato



Regolazione negli impianti di riscaldamento

In funzione della correzione la centralina agisce su un attuatore che, solitamente, è una valvola motorizzata a tre o a quattro vie comandata con un servomotore la cui posizione è funzione della temperatura di mandata desiderata. Si osservi che la temperatura di mandata dell'impianto è legata alla temperatura media dell'acqua calda dalla semplice relazione:

$$t_m = \frac{t_i + t_u}{2} = \frac{t_M - (t_M - \Delta t_{i,u})}{2} = t_M - \frac{\Delta t_{M,m}}{2}$$

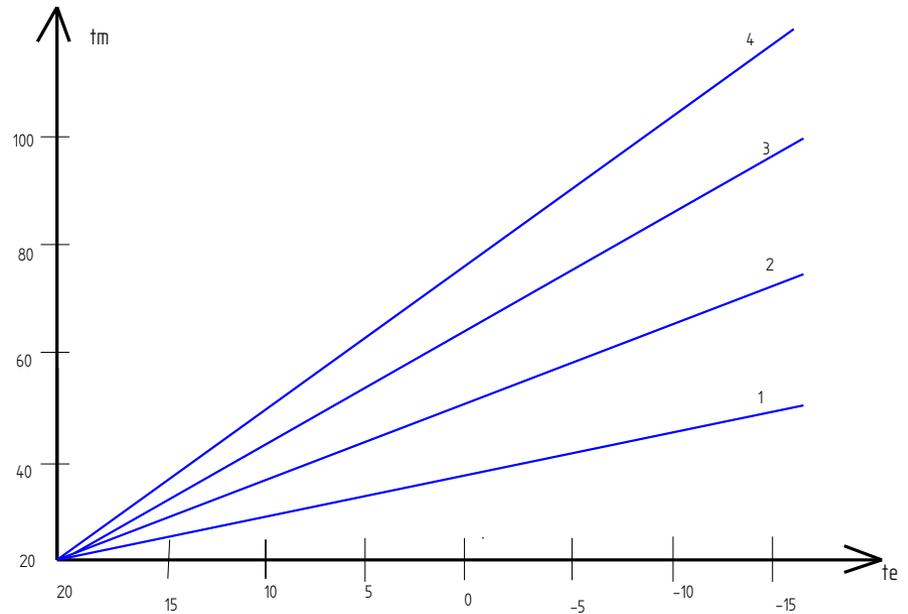
e per i valori correnti di $\Delta t_{M,m} \approx 10^\circ\text{C}$ si ha:

$$t_m = t_M - 5^\circ\text{C}$$

Di norma l'equazione viene linearizzata nella forma:

$$t_m = t_a (c + 1) - ct_e$$

con c valore tipico del *sistema edificio impianto*, vedi Figura. I valori della costante c sono indicati dai costruttori per i vari tipi di impianti.



Tipologia di Impianto	Valore di c
<i>Pannelli radianti</i>	0.5
<i>Ventilconvettori</i>	1
<i>Radiatori</i>	2
<i>Aerotermi</i>	3

Parzializzazione del carico in caldaia

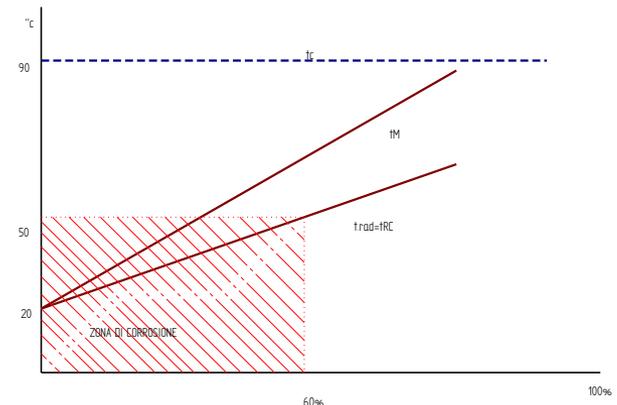
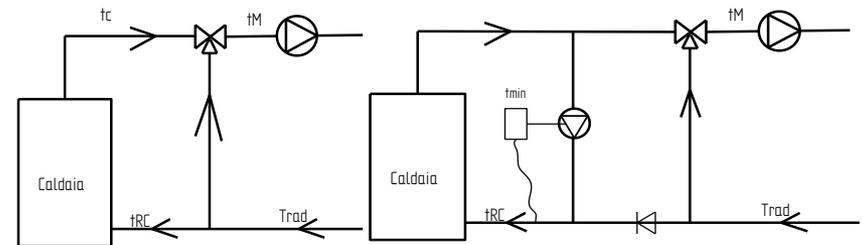
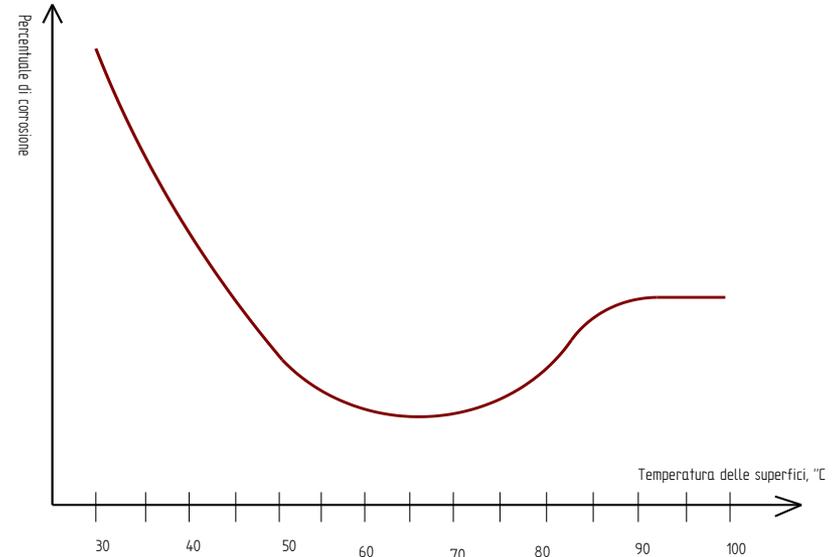
La regolazione sopra descritta ha come conseguenza una **parzializzazione** del regime di funzionamento delle caldaie quando si richiedono carichi parziali.

Una conseguenza importante della parzializzazione è la diminuzione della temperatura dell'acqua di caldaia fino a raggiungere valori che possono innescare la **corrosione** con velocità massime fra i 50 e 80 °C. Occorre allora agire sulla temperatura delle superfici in modo da non ricadere in questa zona critica e i modi che si possono seguire sono diversi.

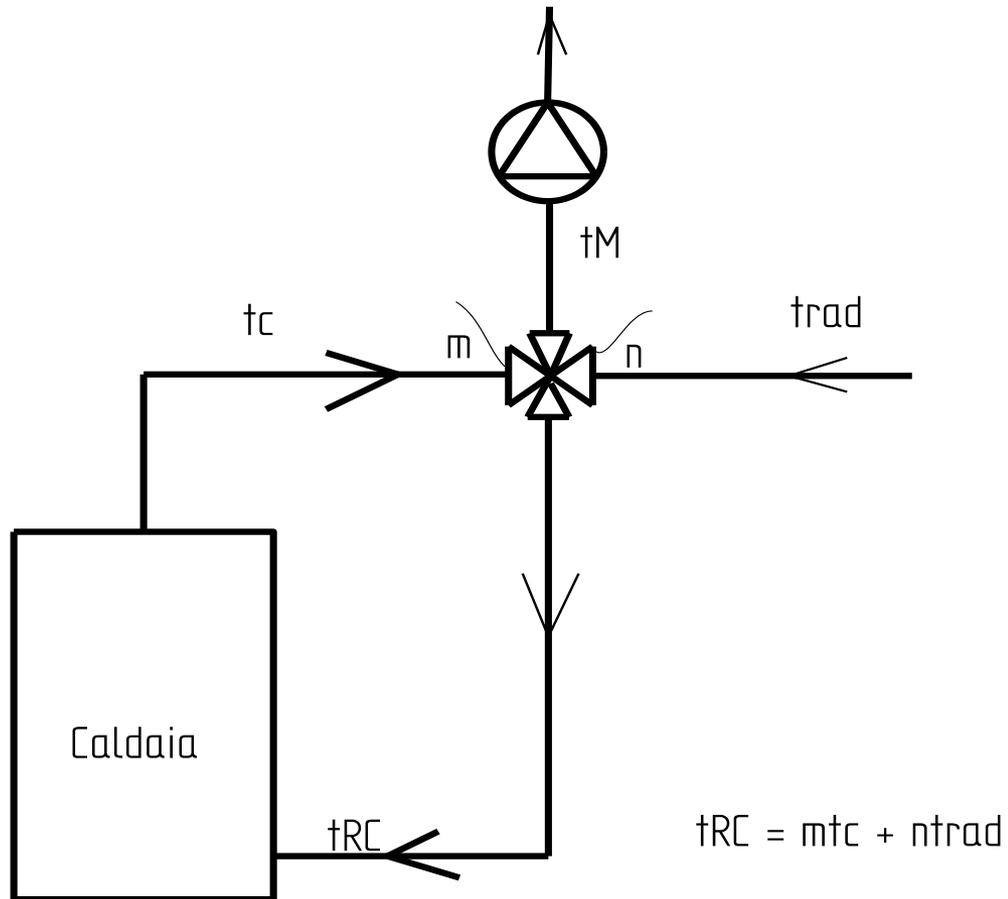
Lo schema impiantistico di figura può dar luogo al fenomeno della corrosione perché non si ha modo di controllare la temperatura di ritorno in caldaia.

Si osservi come al variare della temperatura di mandata in funzione del grado di parzializzazione del regime di funzionamento della caldaia si raggiunge la temperatura di innesco dei fenomeni di corrosione (*zona di corrosione*) da evitare assolutamente.

Lo schema della semplice valvola a tre vie può essere migliorato inserendo un **ramo di ricircolo**, come mostrato in figura nella quale si osserva un ramo contenente una pompa di circolazione asservita da un servomotore che controlla la temperatura di ritorno in caldaia ed attiva la pompa se questa risulta inferiore ad un valore minimo settato in precedenza.

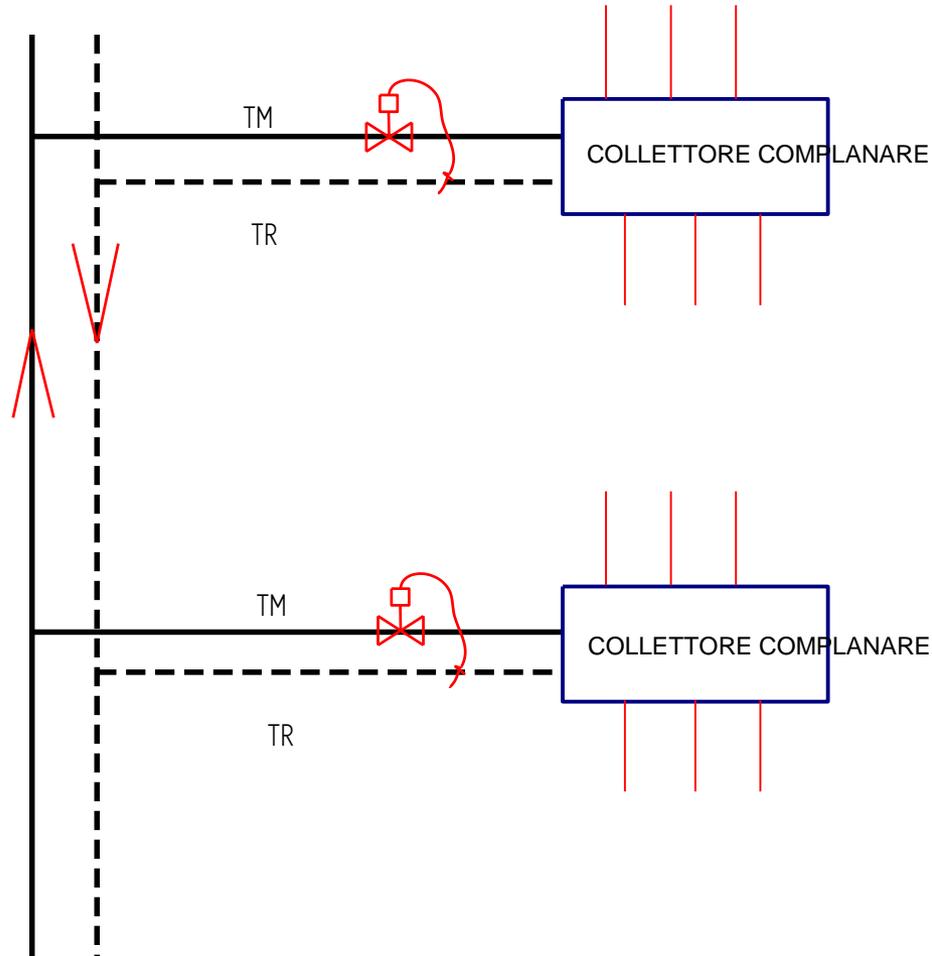


Parzializzazione del carico in caldaia



Regolazione di zona

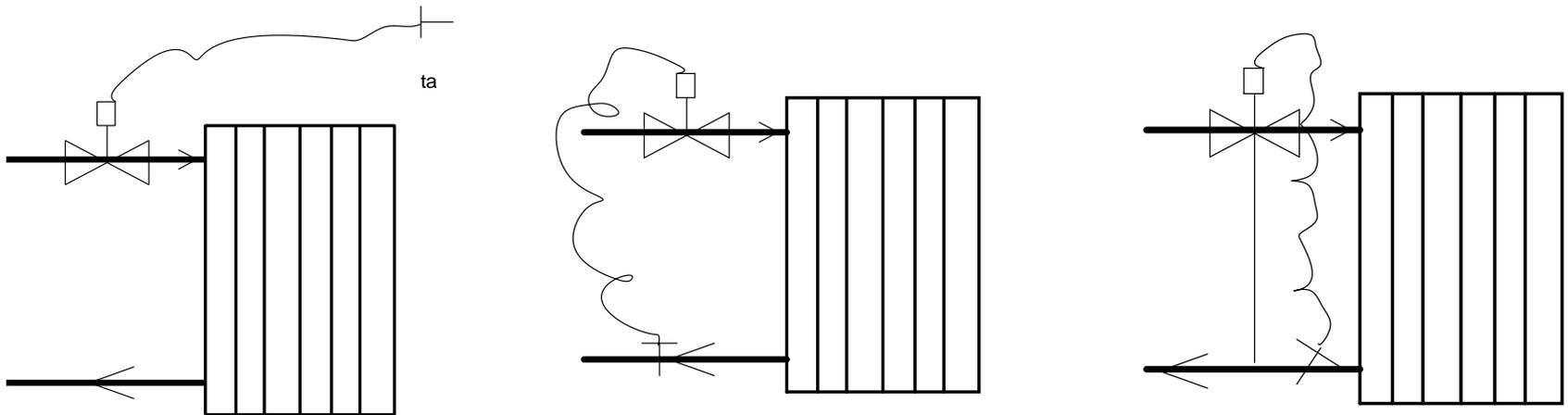
Per *regolazione di zona* si intende la regolazione applicata ai *collettori complanari* che alimentano una *zona termica* (solitamente un appartamento), come illustrato in figura. Una valvola termostatica con sensore sul ritorno del collettore complanare assicura che la temperatura di alimentazione sia quella desiderata.



Regolazione localizzata

La *regolazione localizzata* agisce nei singoli locali, solitamente mediante valvole termostatiche applicate ai radiatori, come illustrato nelle figure. Gli schemi differiscono per la posizione della sonda di temperatura: nel primo caso si ha una sonda di ambiente che modula la temperatura di mandata nel radiatore in funzione del valore raggiunto dall'aria ambiente, nel secondo caso si ha una sonda sul ritorno che modula la temperatura di mandata in funzione del valore di set point prefissato.

Nell'ultima figura si ha lo schema di montaggio di una valvola miscelatrice a tre vie montata sul radiatore in modo da assicurare un controllo migliore della temperatura di ingresso.

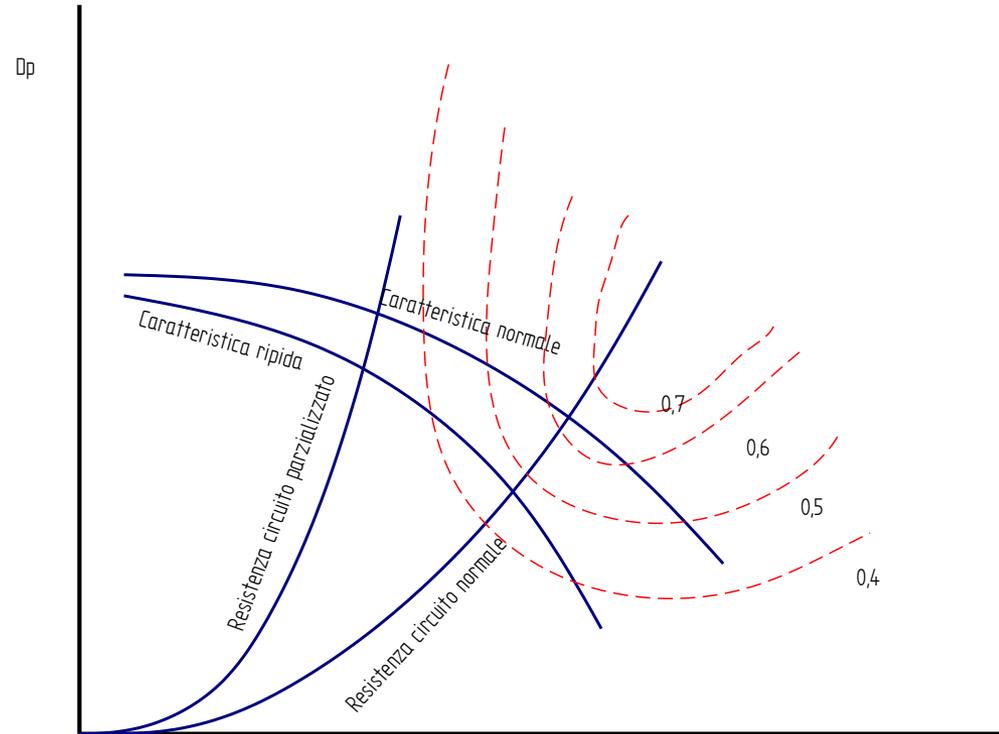


Conseguenza della regolazione sulla pompa di circolazione

La pompa di circolazione subisce le conseguenze della parzializzazione delle valvole di regolazione (di zona e localizzate) poiché viene a variare la resistenza totale del circuito e quindi si sposta il punto di lavoro.

In Figura si ha l'andamento delle curve di carico per la condizione di funzionamento nominale e per funzionamento parzializzato dalle valvole.

In questo caso la curva diviene più ripida e il punto di lavoro si sposta verso zone a minore rendimento della pompa di circolazione.



Regolazione negli impianti di condizionamento

La regolazione negli impianti di condizionamento (estivi ed invernali) deve consentire il controllo dei parametri fondamentali dell'impianto e in particolare:

La velocità dell'aria, w

La portata d'aria totale e di ambiente, G

L'umidità relativa, φ

La temperatura degli ambienti, T .

Regolazione della velocità

La velocità dell'aria deve essere mantenuta entro valori compresi fra $0.1 \div 0.15$ m/s per assicurare le migliori condizioni di confort ambientale (vedi teoria di *Fanger*).

La regolazione della velocità non è effettuata mediante dispositivi semplici ma viene effettuata mediante tutto il sistema di distribuzione attraverso scelte opportune delle bocchette di immissione, della velocità di lancio e del loro orientamento.

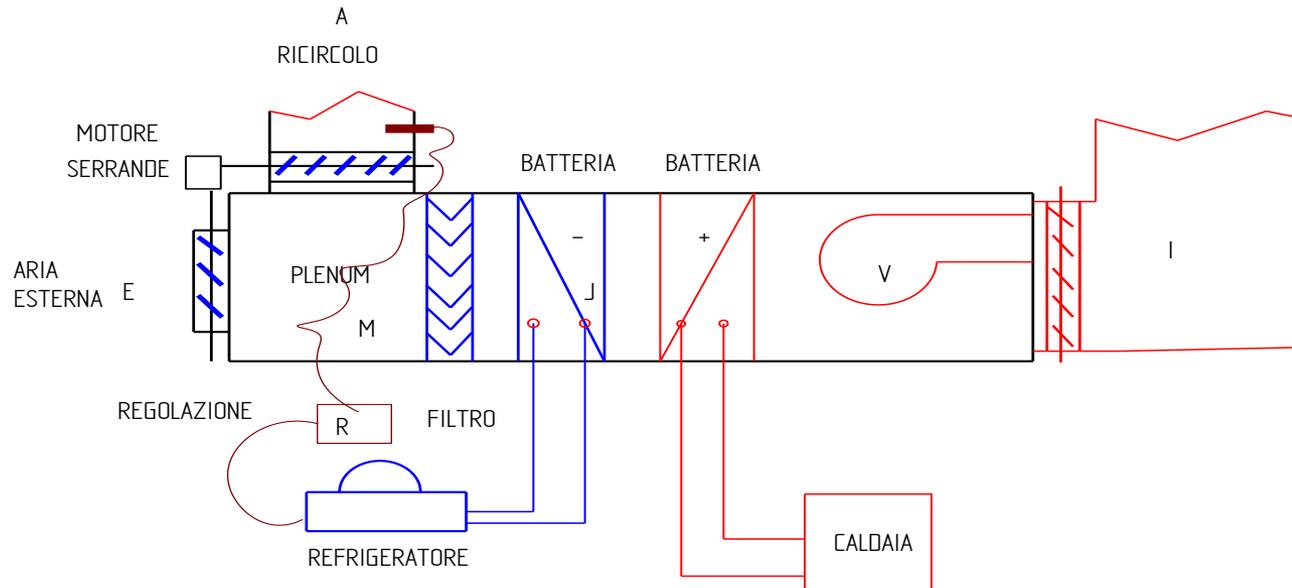
In genere questi problemi sono risolti mediante analisi con programmi di fluidodinamica che, partendo dalla situazione geometrica dei locali, determinano la distribuzione dell'aria (linee di flusso e isotermitiche).

Nelle bocchette di mandata e/o nei diffusori sono spesso presenti (ed è sempre consigliabile che lo siano) serrandine di regolazione ad una o a due serie di alette (*orizzontali e verticali*).

Regolazione della portata d'aria immessa

La portata dell'aria è di importanza fondamentale sia perché ad essa è legata l'**entalpia** che l'impianto fornisce agli ambienti sia perché l'aria immessa deve sempre essere maggiore della portata di ventilazione. Associato alla portata d'aria è anche il problema del **rumore** nella rete di distribuzione dovuto al fruscio all'interno dei canali e nelle bocchette di mandata o di aspirazione. L'aria è inviata negli impianti mediante la rete di canali ed è messa in movimento mediante un ventilatore (*almeno uno di mandata e negli impianti più complessi anche di aspirazione*).

Agendo sul ventilatore, ad esempio variandone la velocità di rotazione, si agisce sulla portata totale dell'aria. Per regolare l'entalpia associata all'aria di mandata fornita dalla batteria ad espansione diretta si può agire sul compressore frigorifero, ad esempio accendendolo e/o spegnendolo (regolazione ON-OFF). La regolazione ON-OFF può provocare guasti più frequenti nei motori elettrici per via delle extra correnti di apertura e di chiusura. Nei moderni motori elettrici si ha la possibilità di alimentazione tramite *inverter* che evita gli inconvenienti suddetti



Regolazione del carico termico sensibile

Si supponga che Q_S e Q_L siano i carichi sensibile e latente in condizioni nominali e che il fattore termico sia $R=0.75$ per cui:

$$R = \frac{Q_S}{Q_S + Q_L} = \frac{1}{1 + \frac{Q_L}{Q_S}} = 0.75$$

da cui deriviamo:

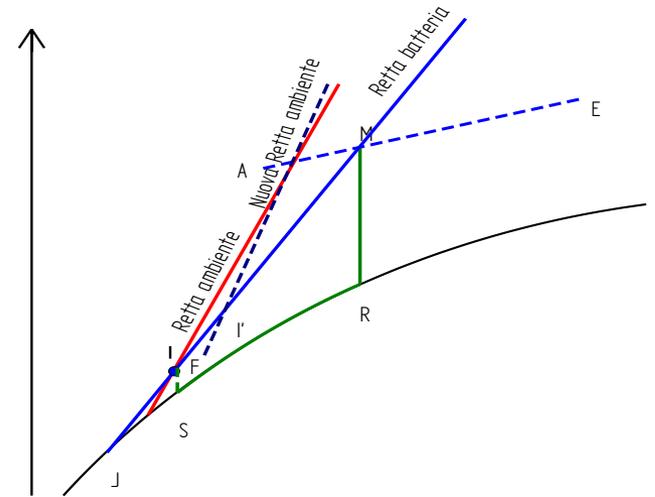
$$\frac{Q_L}{Q_S} = \frac{1}{0.75} - 1 = 0.333$$

Supponiamo adesso che il calore sensibile sia ridotto del 20% con Q_L costante e pertanto il nuovo fattore termico diviene:

$$R' = \frac{Q'_S}{Q'_S + Q_L} = \frac{0.8Q_S}{0.8Q_S + Q_L} = \frac{1}{1 + \frac{Q_L/Q_S}{0.8}} = \frac{1}{1 + \frac{0.333}{0.8}} = 0.7$$

Il fattore termico varia percentualmente di:

$$\Delta R = \frac{R - R'}{R} 100 = \frac{0.7 - 0.75}{0.75} = -6.6\%$$



Quindi una variazione del 20% del carico sensibile fa ridurre del 6.6% il fattore termico R . Le rette ambiente corrispondenti variano di conseguenza e, per il caso in esame, di molto poco. Per semplicità possiamo supporre che la retta ambiente si mantenga costante e che al variare del carico termico il punto di immissione I vari di conseguenza. In figura si ha il caso di una regolazione con retta ambiente variabile e con punto di immissione che si sposta dalle condizioni I alle nuove condizioni I' .

Regolazione del carico termico latente

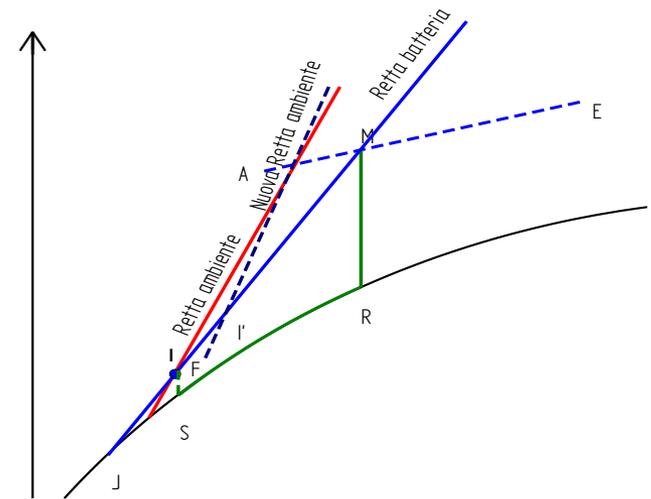
Seguendo l'esempio del caso precedente si supponga ora che sia il carico latente che subisce una riduzione del 20% con carico sensibile costante. Il fattore termico diviene:

$$R' = \frac{Q_s}{Q_s + Q_L} = \frac{Q_s}{Q_s + Q'_L} = \frac{Q_s}{Q_s + 0.8Q_L} = \frac{1}{1 + \frac{0.8Q_L}{Q_s}} = \frac{1}{1 + 0.8 \cdot 0.333} = 0.79$$

La variazione percentuale di R risulta:

$$\Delta R = \frac{R' - R}{R} 100 = \frac{0.79 - 0.75}{0.75} 100 = 5.2\%$$

La retta ambiente varia di poco e la si può ritenere ancora praticamente coincidente con quella nominale e quindi vale, con il rispetto dei segni, quanto detto per la Figura. In generale si può osservare che le fluttuazione del fattore termico R risultano in genere sufficientemente contenute ($\Delta R < 10\%$) e quindi l'ipotesi di retta ambiente costante è comunque valida.



Ciclo termico in regime di parzializzazione

Supponiamo che la parzializzazione richieda: $Q'_S < Q_S$ e $Q'_L = Q_L$

Operando con il postriscaldamento a miscela il punto I si sposta in I' sulla retta ambiente b.

Pertanto si ha: $Q'_S = \rho G c_p (t_A - t_{I'}) < Q_S = \rho G c_p (t_A - t_I)$

che sono le condizioni desiderate, inoltre si ha: $Q'_L = \rho Gr (x_A - x_{I'}) < Q_L = \rho Gr (x_A - x_I)$

che non sono corrispondenti alle condizioni desiderate (*carico latente costante*).

Spostandosi il punto I in I' si ha un carico latente non compensato che vale:

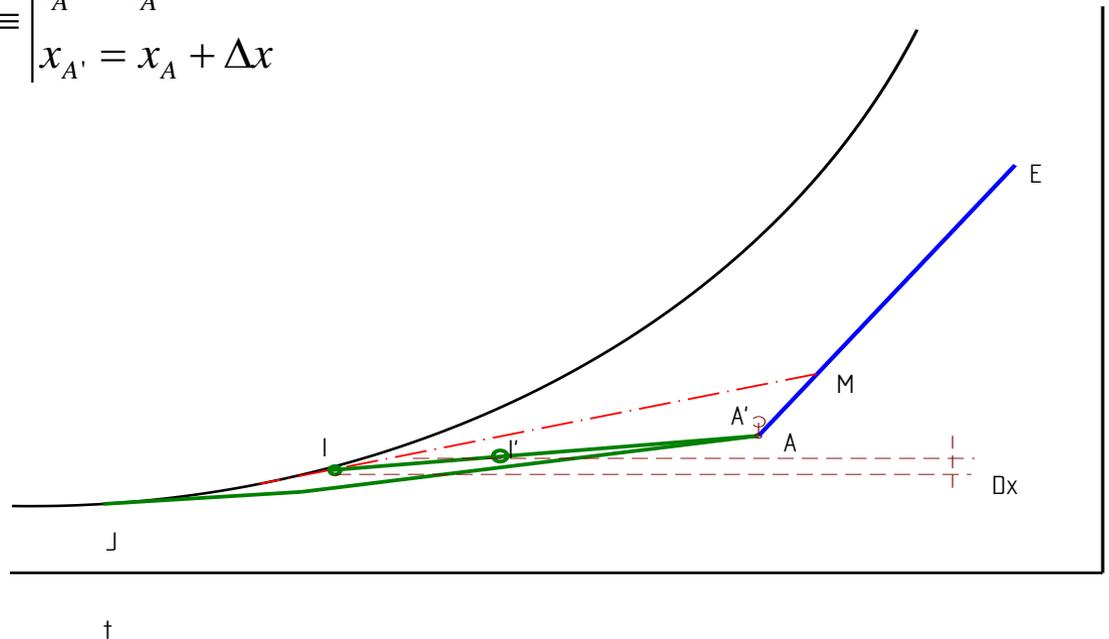
$$\Delta Q_L = Q'_L - Q_L = \rho Gr (x_A - x_{I'}) - \rho Gr (x_A - x_I) = \rho Gr (x_I - x_{I'}) = \rho G \Delta x$$

Abbiamo pertanto un eccesso di vapore pari a: $\Delta x = x_{I'} - x_I$ che fa spostare il punto ambiente da A ad A'

Le coordinate di A' sono:

$$A' \equiv \begin{cases} t_{A'} = t_A \\ x_{A'} = x_A + \Delta x \end{cases}$$

alle quali corrisponde una umidità relativa $\varphi_{A'} > \varphi_A$. La variazione di umidità relativa è, di solito, poco influente sulle condizioni di confort purché contenute entro $\pm 5\%$ intorno al valore nominale del 50%. In ogni caso una verifica di questo parametro si rende necessaria per impianti industriali di processo nei quali le condizioni di controllo sono più stringenti.



Controllo dell'umidità relativa

Per applicazioni civili, sulla base della teoria di Fanger e sullo stesso indice ET* di Gagge, non si hanno variazioni sensibili delle condizioni di confort per j variabile fra 30÷70%.

Vediamo cosa succede negli impianti che, per effetto della sopra citata considerazione, lasciano fluttuare l'umidità relativa. Di solito tale fluttuazione è dovuta alla variazione dell'affollamento (*carico latente per evaporazione delle persone*) che vale:

In Estate

$$t_A = 26^\circ C$$

$$\Delta x = 4 \text{ g / kg}$$

In Inverno

$$t_A = 20^\circ C$$

$$\Delta x = 3 \text{ g/kg}$$

La produzione di calore latente per affollamento vale:

	In Estate	In Inverno
Attività sedentaria	38W / persona	28W / persona
Attività moderata	73 W/persona	58 W/persona

Per abbattere questo carico latente occorre fornire una portata pari a:

m^3 per persona, con q_L in kcal/h.

$$G = \frac{q_L}{1.2 \cdot 0.6 \cdot \Delta x}$$

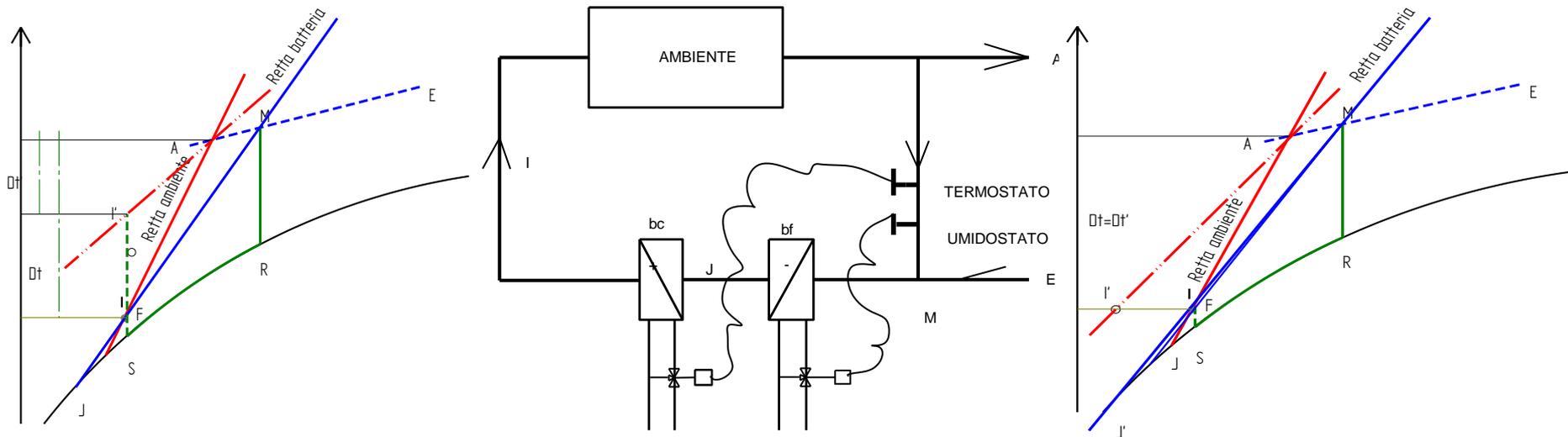
In definitiva occorre fornire:

	In Estate	In Inverno
Attività sedentaria	12.1 $m^3 / h / persona$	11.5 $m^3 / h / persona$
Attività moderata	24.3 $m^3 / h / persona$	25.5 $m^3 / h / persona$

Queste considerazioni ci portano a concludere che la sola portata di ventilazione (*valore consigliato pari a 20÷30 m^3/h per persona*) è sufficiente ad abbattere il carico latente prodotto per affollamento e quindi che essa può garantire, in assenza di altre sorgenti di umidità specifica, una variabilità di ϕ fra 40÷60%.

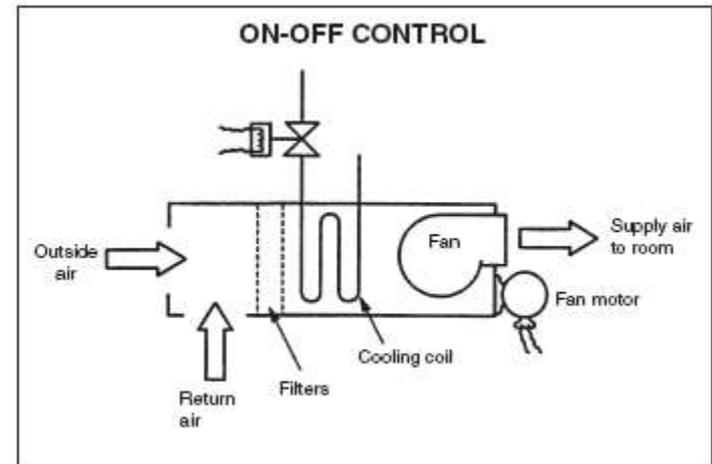
Regolazione di impianti con post-riscaldamento a batteria

Regolando la potenzialità della batteria calda il punto I passa in I' producendo una riduzione del carico sensibile Q_S senza alterazioni del carico latente. Si osservi che $Dt' < Dt$ e quindi $Q_{S'} < Q_S$ mentre $\Delta x = \Delta x'$ e quindi $Q_L = Q_L'$. Questa regolazione si effettua con un servomotore asservito al termostato ambiente. Se si desidera la regolazione del **carico latente** allora occorre spostare il punto limite di tangenza della batteria fredda da J a J' a cui corrisponde $\Delta x' < \Delta x$ e quindi $Q_{L'} < Q_L$. Al tempo stesso occorre agire sulla batteria calda (*in chiusura*) in modo che risulti $t_{I'} = t_I$ costante. Quest'ultima operazione si ottiene parzializzando la portata d'acqua alla batteria fredda con un servomotore asservito all'umidostato ambiente spesso posto sul ricircolo e contemporaneamente riducendo la portata di acqua calda alla batteria calda in modo da avere una temperatura di uscita di I uguale a quella di I'.



Controllo degli impianti di condizionamento – On-Off

Si tratta del metodo più semplice, meno costoso e, se non ci sono problemi di produzione elevata di umidità, anche accettabilmente efficace. In pratica **si attiva (condizione ON) o si chiude (condizione OFF) l'alimentazione alla batteria di raffreddamento mediante una elettrovalvola a due vie** quando la temperatura interna dell'ambiente pilota scende al di sotto della temperatura desiderata o supera questo valore. In funzione della deriva selezionata si possono avere sovraelongazioni dell'andamento della temperatura interna più o meno ampie che possono risultare fastidiosi o addirittura inaccettabili. D'altra parte riducendo il differenziale si ha un continuo aprì e chiudi della valvola a due vie motorizzata con possibili danneggiamenti. **La regolazione ON-OFF modula essenzialmente il calore sensibile ceduto all'ambiente ma non il calore latente a meno che la temperatura dell'ambiente non raggiunga il punto di rugiada.** Questo tipo di regolazione costa poco e risulta sufficientemente efficiente in gran parte dei casi, almeno *quando non si hanno carichi latenti rilevanti.* L'interruzione dell'alimentazione della batteria fredda spesso viene accompagnata anche da una fermata della ventola e ciò comporta una rumorosità dell'impianto variabile che può risultare fastidiosa.



Controllo degli impianti di condizionamento – Temperatura serpentina

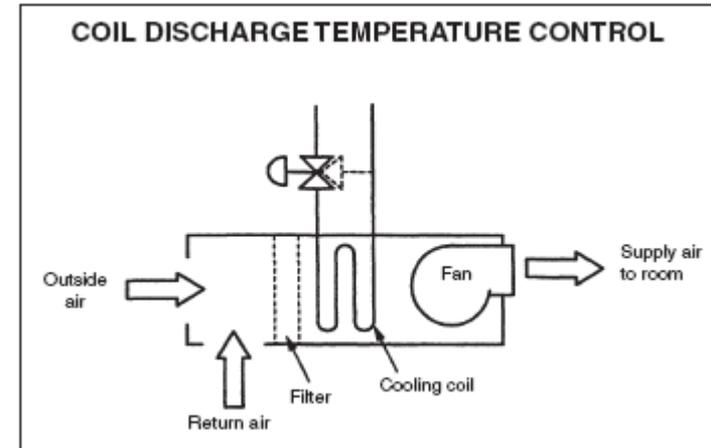
E' un sistema di controllo relativamente semplice ma efficace. Mediante una valvola a tre vie comandata da un controller asservito alla temperatura di un ambiente pilota **si modula lo stelo della valvola miscelatrice in modo da far variare, a portata costante, la temperatura del fluido di alimentazione della batteria.**

Nel caso di batteria ad espansione diretta la modulazione viene effettuata a gradini per i sistemi multistadio.

I vantaggi di questo sistema sono la **costanza della portata d'aria** (e quindi una regolarità di funzionamento della ventola) che garantisce una corretta distribuzione dell'aria stessa negli ambienti e quindi si preserva l'equilibratura della rete.

Tuttavia se la temperatura dell'aria immessa nell'ambiente a carichi parziali cresce allora diminuisce la capacità di deumidificazione dell'aria e questo può costituire un serio inconveniente soprattutto in presenza di carichi latenti elevati.

Al variare della temperatura dell'aria in uscita dalla batteria fredda varia anche l'umidità relativa. Tuttavia ***questo metodo di regolazione non è consigliabile quando si hanno carichi latenti elevati*** o quando occorre regolare anche l'umidità relativa dell'ambiente (ad esempio per applicazioni industriali).



Controllo degli impianti di condizionamento – Post Riscaldamento

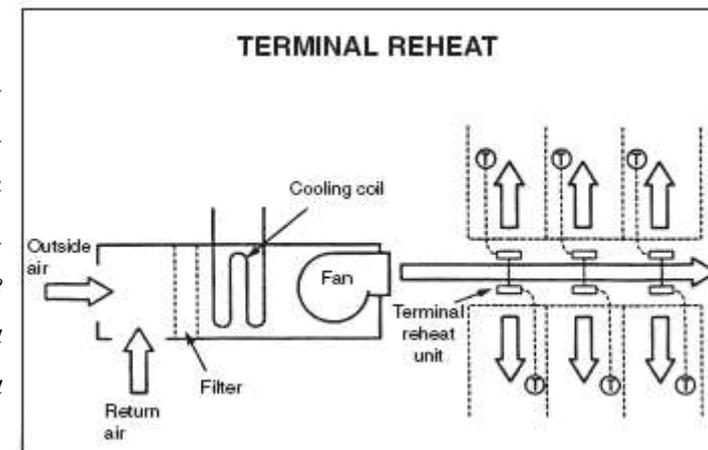
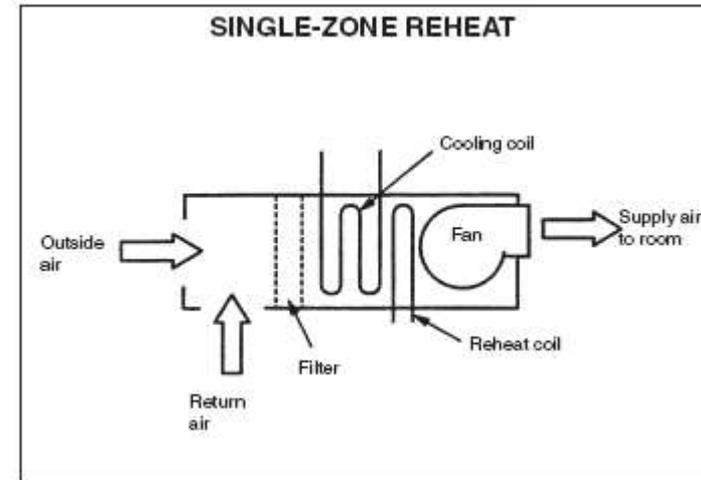
Con questo sistema di controllo si inserisce a valle della batteria fredda una batteria di post riscaldamento che può essere collegata ad un termostato ambiente. Questo sistema consente di controllare la capacità di deumidificazione dell'aria immessa nell'ambiente ma ciò avviene con un dispendio di energia sia per raffreddamento che per riscaldamento.

Questo sistema si presta anche per il controllo di un impianto **multizona**: in questo caso la batteria di post riscaldamento viene inserita in uscita dei canali di alimentazione di ciascuna zona.

Questo sistema permette di controllare l'umidità degli ambienti in modo completo (da 0 al 100%) pur se con dispendio di energia non indifferente. L'umidità nell'ambiente è data dalla relazione:

$$x_{amb} = x_a + \frac{Q_L / Q_T}{3\dot{V}}$$

con x_a umidità dell'aria in uscita dalla batteria fredda. La temperatura dell'aria in ingresso nella batteria fredda è determinata dalla miscelazione, nelle dovute proporzioni, dell'aria dell'ambiente e dell'aria di ricircolo nelle condizioni di carico parziali. Ne segue che la soluzione è data da una iterazione di calcolo: *l'umidità dell'aria ambiente influenza quella dell'aria di mescolamento in ingresso alla batteria e quest'ultima influenza la temperatura dell'aria in uscita dalla batteria stessa che a sua volta influenza l'umidità ambiente.*



Controllo degli impianti di condizionamento – VAV

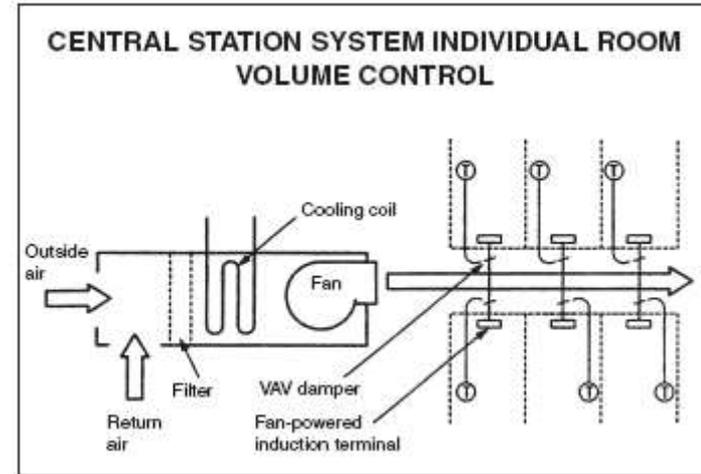
Al variare del carico termico negli ambienti si può pensare di far variare la portata dell'aria inviata anziché la temperatura della stessa (si ricordi che la potenza ceduta è sempre data dalla \dot{Q} e quindi si varia al variare di Q). In questo modo si semplifica il sistema di controllo in centrale termica (nelle UTA) ma si complica il sistema di distribuzione dell'aria.

Variando la portata dell'aria si può avere l'inconveniente di una scarsa ventilazione (se ridotta al di sotto di certi limiti) e scarsa circolazione dell'aria. Per evitare questi inconvenienti si possono usare circolatori d'aria supplementare ed accoppiare il sistema VAV con altri sistemi di regolazione, ad esempio con post riscaldamento, per evitare di ridurre molto la portata.

I principali vantaggi della regolazione VAV sono:

Risparmio energetico: la riduzione della portata richiede una minore potenza della ventola.

Bilanciamento: ogni riduzione di portata di aria in un ambiente risulta disponibile per altri ambienti;



La portata d'aria necessaria per ciascun ambiente è data dalla relazione:

$$\dot{V} = \frac{R}{1.2(t_{amb} - t_a)}$$

R ; rapporto fra il carico sensibile e il carico totale;

T_{amb} temperatura ambiente;

T_a temperatura dell'aria in uscita dalla batteria fredda.

Per l'umidità dell'ambiente vale la relazione:

$$x_{amb} = x_a + \frac{Q_L / Q_T}{3\dot{V}}$$

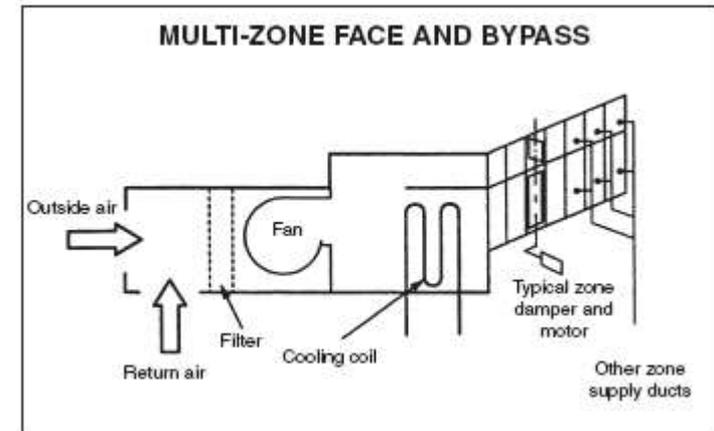
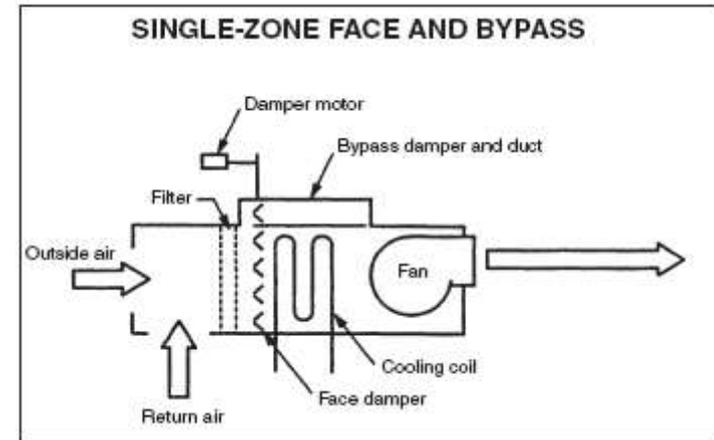
limiti di variabilità della portata con diffusori normali è del 40% mentre con diffusori lineari si può arrivare sino al 75% di variazione di portata.

Controllo degli impianti di condizionamento – By pass dell'aria

Con questo sistema di controllo si fa in modo di ridurre la portata d'aria che attraversa la batteria di raffreddamento mediante un by pass nell'UTA sia per impianti a zona singola che multizona. In questo modo la temperatura dell'aria in uscita dall'UTA è data dalla miscelazione fra l'aria raffreddata (che attraversa la batteria fredda) e quella by-passata che rimane invariata. Il sistema presenta il vantaggio di avere portata totale costante e quindi di mantenere ottimale il funzionamento del ventilatore e della rete di distribuzione ambientale.

La batteria fredda viene spesso dotata di valvola di intercettazione per evitare i casi di eccessivo raffreddamento. Per gli impianti multizona il limite del metodo è dato dallo spazio disponibile nell'UTA per i by pass.

Il calcolo della temperatura in uscita dalla batteria fredda e dell'umidità ambiente può essere effettuato con relazioni descritte in precedenza.

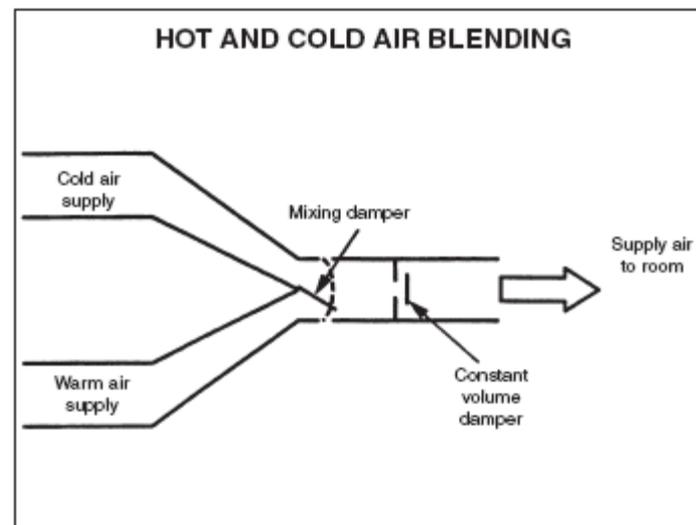
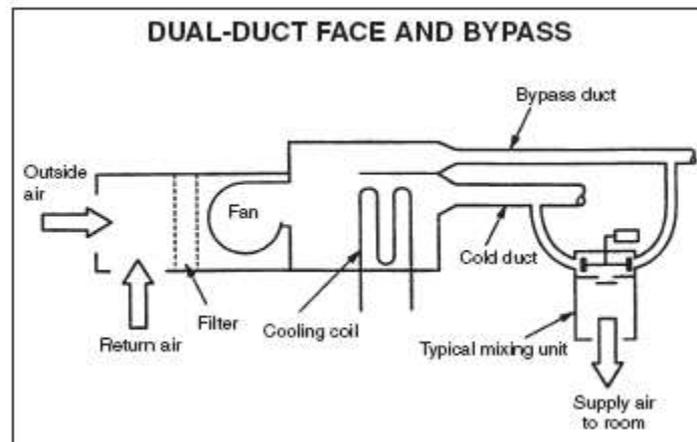


Controllo degli impianti di condizionamento – Dual Conduit

Questo sistema consente un controllo ottimale delle condizioni termo-igrometriche degli ambienti ma richiede sia un doppio canale (uno per l'aria fredda e uno per l'aria calda) ed un miscelatore per ciascun ambiente.

Quest'ultimo dispositivo è costoso e richiede un ulteriore sistema di controllo locale per miscelare correttamente le portate di aria fredda e calda.

Dal punto di vista energetico questo sistema di controllo risulta molto dispendioso dovendo avere anche aria calda.



D - Miscelatrice a portata costante con regolatore meccanico.
DA - A portata variabile su entrambi i condotti senza miscelazione.
DAV - A portata variabile costante su entrambi i condotti con regolatore meccanico e senza miscelazione.



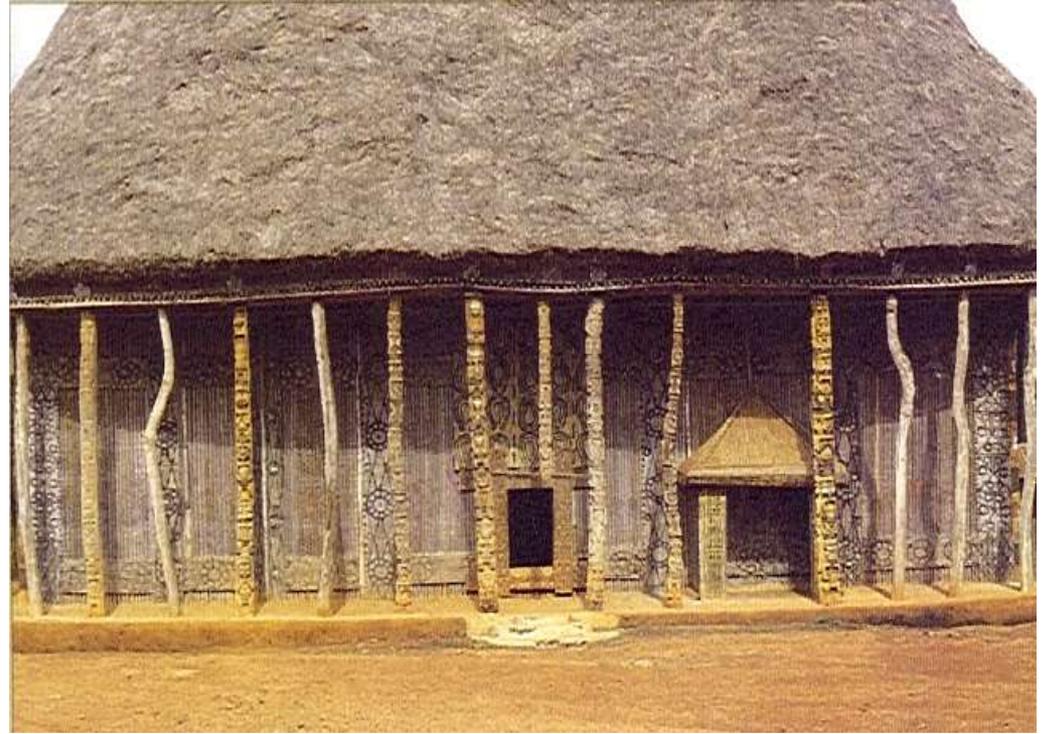
SX
A portata costante in un condotto e variabile nell'altro.
A portata variabile su entrambi i condotti con o senza miscelazione.

Conclusioni

L'*interazione edificio – impianto* è certamente complessa da studiare e pone seri problemi per la corretta gestione energetica. Quanto detto ha posto l'attenzione sull'evoluzione propria degli edifici ed ha voluto sottolineare come la risposta al transitorio del sistema edificio – impianto sia comunque dipendente da numerosi fattori sia termofisici dell'edificio che climatologici esterni.

In fondo se esaminiamo le costruzioni più semplici, quale quella indicata in figura, abbiamo inizialmente la tentazione di giudicarle come incapaci di fornire un reale servizio all'utenza.

In realtà lo studio di questi edifici (anche se semplici se non addirittura elementari) dimostra l'esatto contrario: *essi sono capaci di fornire la migliore risposta alle sollecitazioni climatiche senza alcun intervento impiantistico esterno.*



Edifici Complessi

L'*intelligenza* che oggi forniamo ai moderni edifici sono anche frutto di uno scollamento fra le esigenze costruttive e tecnologiche e quelle prestazionali e climatologiche. E' una *intelligenza* necessaria per ottenere la migliore risposta del *sistema edificio – impianto* e spesso perdendo di vista la congruenza energetica.

Il malfunzionamento o la cattiva progettazione del sistema di gestione e controllo degli impianti porta ad avere dissipazione di energia, malfunzionamento degli impianti, mancanza di condizioni di benessere, decadimento dei componenti di impianto, ...

Gli *edifici intelligenti* rappresentano, pertanto, una assoluta necessità evolutiva voluta dall'Uomo per soddisfare le proprie esigenze funzionali e per compensare i propri errori progettuali.

La conoscenza dell'*interazione edificio– impianti* risulta fondamentale per la corretta progettazione dei componenti fondamentali del sistema di controllo integrato.

