

Nicola Taraschi

Reti idrauliche e impianti termotecnici

DIMENSIONAMENTO ED ANALISI DELLE RETI IDRAULICHE CON IL SOFTWARE TUTTELERETI

- **Teoria e componenti delle reti idrauliche**
Reti Gas, idrosanitarie, impianti termici,
idranti e Reti generiche
- **Calcolo nominale e reale con il metodo di Cross**

Nicola Taraschi

RETI IDRAULICHE E IMPIANTI TERMOTECNICI

ISBN 13 978-88-8207-349-7

EAN 9 788882 073497

Software, 49

Prima edizione, settembre 2009

Taraschi, Nicola

Reti idrauliche e impianti termotecnici / Nicola Taraschi.

– Palermo : Grafill, 2009

(Software ; 49)

ISBN 978-88-8207-349-7

1. Impianti termici.

621.4025 CDD-21

SBN Pal0220243

CIP – Biblioteca centrale della Regione siciliana "Alberto Bombace"

© **GRAFILL S.r.l.**

Via Principe di Palagonia, 87/91 – 90145 Palermo

Telefono 091/6823069 – Fax 091/6823313

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

Finito di stampare nel mese di settembre 2009

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

Sommario

PREFAZIONE	p.	9
1. I CORPI TERMICI	"	11
1.1. Radiatori	"	11
1.2. Il collegamento monotubo	"	13
1.3. Ventilconvettori	"	13
1.4. Le perdite di carico	"	14
1.5. L'inerzia termica dei corpi radianti	"	15
2. LE PERDITE DI CARICO	"	17
2.1. L'equazione di Darcy-Weisbach per le perdite distribuite	"	17
2.2. La viscosità	"	18
2.3. Il moto laminare	"	19
2.4. Il moto turbolento	"	20
2.5. Transizione moto laminare-moto turbolento	"	21
2.6. Legame fra perdita e portata	"	22
2.7. L'influenza della temperatura	"	23
2.8. Influenza del diametro	"	24
2.9. Il diametro ottimale	"	25
2.10. Influenza della rugosità	"	27
2.11. Le perdite concentrate	"	27
2.12. Applicazioni con il calcolo elettronico	"	27
3. LE POMPE CENTRIFUGHE	"	29
3.1. Il punto di lavoro delle pompe centrifughe	"	29
<i>Collegamento parallelo</i>	"	30
<i>Collegamento in serie</i>	"	30
<i>Un esempio</i>	"	31
3.2. La variazione del punto di lavoro	"	32
3.3. Verifica del NPSH	"	33
<i>Esempio pratico</i>	"	35
3.4. Pompaggio di fluidi viscosi	"	35
<i>Esempio pratico</i>	"	36

3.5.	La curva caratteristica Q-H delle pompe centrifughe al variare del numero di giri	p.	38
3.6.	Impostazione con foglio elettronico	"	39
4.	LE RETI IDRAULICHE	"	41
4.1.	Generalità sulle reti	"	41
4.2.	La determinazione delle portate delle utenze	"	43
	<i>Il calcolo delle portate nominali</i>	"	43
	<i>Il calcolo delle portate reali</i>	"	43
	<i>La contemporaneità delle portate</i>	"	44
	<i>Reti ad albero</i>	"	44
4.3.	La rete a semplice anello	"	46
4.4.	Reti a doppio anello	"	47
4.5.	Rete generica aperta.....	"	47
4.6.	Le reti chiuse	"	48
4.7.	Corpi termici in serie	"	49
4.8.	Reti chiuse trattate come aperte e aperte trattate come chiuse	"	50
5.	IDRAULICA DELLE RETI	"	51
5.1.	La resistenza idraulica	"	51
5.2.	L'ottimizzazione del costo della rete	"	53
5.3.	Parallelo idraulico	"	54
5.4.	Il bilanciamento	"	56
	<i>Bilanciamento assoluto</i>	"	59
	<i>Il bilanciamento tramite la variazione dei diametri</i>	"	59
	<i>Il bilanciamento delle reti ad anello</i>	"	60
6.	LE RETI IDROSANITARIE E LE VALVOLE DI REGOLAZIONE	"	63
6.1.	Calcolo degli impianti idrosanitari	"	63
	<i>Esempio applicativo</i>	"	64
	<i>Fase di carica con rete inattiva</i>	"	65
	<i>Fase di carica con rete attiva</i>	"	66
	<i>Fase di scarica</i>	"	67
6.2.	Le valvole di regolazione	"	68
6.3.	La regolazione con valvola miscelatrice	"	71
6.4.	Regolazione con valvola deviatrice	"	72
6.5.	L'influenza del valore kv	"	72
7.	LE RETI APERTE	"	74
7.1.	Rete aperta generica.....	"	74
7.2.	Una rete con fluido viscoso	"	76
7.3.	Rete verticale	"	78
7.4.	Rete ad anello con irrigatori	"	80

7.5.	Una rete per acquedotto	p.	81
7.6.	Le reti ad utilizzo non contemporaneo.....	"	83
8.	LA RETE CON COLLETTORE COMPLANARE	"	85
8.1.	Esempio.....	"	85
8.2.	La curva caratteristica del circuito	"	89
8.3.	L'intercettazione di un ramo	"	89
8.4.	L'emissione termica in funzione della temperatura di mandata	"	90
8.5.	Il calcolo del vaso d'espansione chiuso	"	90
8.6.	Le pressioni nella rete	"	92
8.7.	La rete con valvole termostatiche	"	93
9.	LE RETI CHIUSE	"	94
9.1.	La rete con collegamento monotubo.....	"	94
9.2.	La circolazione naturale	"	96
9.3.	La rete con ventilconvettori.....	"	98
9.4.	La rete a due tubi	"	100
9.5.	Impianto a zone	"	101
9.6.	Rete equivalente.....	"	102
10.	L'ANALISI DELLE RETI	"	104
10.1.	La rete a due tubi: confronto fra l'impiego come corpi termici dei radiatori e ventilconvettori	"	104
10.2.	La rete a ritorno inverso	"	106
10.3.	La rete con ventilconvettori caso estivo	"	107
10.4.	Rete con pompa di ricircolo	"	108
10.5.	La rete con pompe di zona e pompa di caldaia.....	"	109
10.6.	Rete con pompa di caldaia, pompe di zona e valvole miscelatrici.....	"	112
10.7.	Lo schema ad iniezione	"	114
10.8.	Le reti idrauliche e il CAD.....	"	116
11.	GUIDA ALL'INSTALLAZIONE E ALL'USO DEL SOFTWARE	"	119
11.1.	Presentazione.....	"	119
11.2.	Requisiti hardware e software	"	119
11.3.	Procedura per la richiesta della password utente	"	119
11.4.	Procedura per l'installazione del software	"	120
11.5.	Procedura per la registrazione del software.....	"	121
11.6.	Tipologie di calcolo	"	122
	<i>Reti gas bassa e media pressione.....</i>	"	122
	<i>Rete idrosanitaria</i>	"	122
	<i>Rete con radiatori.....</i>	"	123

	<i>Rete con fancoil riscaldamento</i>	p.	124
	<i>Rete con utenze generiche</i>	"	124
	<i>Rete con idranti</i>	"	124
11.7.	Le geometrie calcolabili	"	124
	<i>Monotubo (radiatori)</i>	"	126
11.8.	Come inserire una rete chiusa	"	127
11.9.	Formule per il calcolo delle perdite di carico	"	127
12. L'AMBIENTE DI LAVORO		"	129
12.1.	Il menu File	"	129
12.2.	Il menu Viste	"	130
12.3.	Il menu Archivi	"	131
12.4.	Il menu Help	"	131
12.5.	Il menu Componenti	"	132
12.6.	Il menu Ambiente	"	132
12.7.	Gli esempi (videata principale del programma)	"	134
12.8.	Elenco progetti su disco (videata principale del programma)	"	134
13. LA PRODUZIONE DI UN NUOVO PROGETTO		"	135
13.1.	Come iniziare	"	135
	<i>Comandi comuni della finestra Dati generali</i>	"	135
	<i>Rete gas</i>	"	135
	<i>Rete idrosanitaria</i>	"	136
	<i>Rete con radiatori</i>	"	136
	<i>Rete con fancoil</i>	"	138
	<i>Rete generica</i>	"	138
	<i>Rete antincendio con idranti</i>	"	139
13.2.	L'ambiente grafico di immissione dei dati	"	139
13.3.	Primi esempi di comandi di uso generale dei progetti	"	142
13.4.	Comandi specifici rete gas	"	145
13.5.	Comandi specifici rete idrosanitaria	"	145
13.6.	Comandi specifici rete con radiatori	"	146
13.7.	Comandi specifici rete con fancoil	"	149
13.8.	Comandi specifici rete generica	"	149
13.9.	Comandi specifici rete con idranti antincendio	"	150
13.10.	Il calcolo di una rete gas (bassa e media pressione) in 5 passi	"	150
14. L'IMMISSIONE DEI NUOVI COMPONENTI		"	152
14.1.	Le serie delle tubazioni	"	152
14.2.	I fluidi	"	153
14.3.	Le discontinuità	"	154
	<i>Reti con idranti</i>	"	157

14.4.	Le valvole.....	p.	158
14.5.	I detentori	"	159
14.6.	I radiatori	"	160
14.7.	Archivi pompe	"	161
14.8.	Gli idranti	"	162
14.9.	Fancoil riscaldamento	"	163
15. GLI ESEMPI	"	164
15.1.	Rete gas bassa pressione	"	164
15.2.	Rete gas media pressione	"	168
15.3.	Rete idrosanitaria	"	169
15.4.	Radiatori	"	171
	<i>Radiatori con bilanciamento</i>	"	175
15.5.	Radiatori monotubo	"	177
15.6.	Fancoil riscaldamento	"	179
15.7.	Rete con radiatori a ritorno inverso	"	181
15.8.	Rete generica a ritorno inverso	"	182
15.9.	Rete generica ad anello	"	184
15.10.	Rete generica magliata	"	187
15.11.	Rete con idranti	"	191
15.12.	Esempio di rete con vari comandi	"	193
15.13.	Altri schemi	"	196
15.14.	Regole da seguire nel progetto	"	198
BIBLIOGRAFIA	"	202

Prefazione

A partire dagli anni '80 l'avvento dei personal computer ha rivoluzionato il calcolo tecnico rendendo disponibile risultati con tempi e costi prima impensabili. Ad una sempre maggiore velocità di esecuzione del calcolo non poteva non seguire una nuova filosofia nella progettazione e nell'approccio alle argomentazioni teoriche. Nel campo termotecnico, in particolare, la presentazione di tabelle, grafici di aiuto al calcolo, equazioni semiempiriche è diventata obsoleta. Gli stessi modelli di soluzione progettuali, che si appoggiavano sulla limitazione dei mezzi di calcolo, doveva essere messa in discussione.

Questa pubblicazione ed il software su cui si basa, **TUTTELERETI**, risponde all'esigenza di un approccio alle reti idrauliche negli impianti termotecnici che vuole rispondere alle mutate esigenze progettuali, chiamate a rispondere anche a problemi di ottimizzazione, oltre che di dimensionamento, degli impianti.

La prima capacità tecnica del software è quello di trovare le portate reali in una rete idraulica, secondo il metodo di *Cross*, adattato alla presenza di elementi attivi quali pompe o pressioni iniziali. La conoscenza delle portate reali permette di conoscere anche la situazione reale per quanto riguarda la potenza termica fornita dai corpi termici, oltre che il punto di lavoro delle pompe ed il loro rendimento.

Questa pubblicazione è divisa in due parti. La prima parte esamina in modo sistematico tutte le problematiche inerenti le reti idrauliche negli impianti termotecnici. Vengono prima presentati i componenti fondamentali delle reti: corpi termici, tubazioni, pompe, valvole di regolazione ed analizzati i legami con le grandezze che determinano il loro funzionamento nell'ambito idraulico. Successivamente vengono esaminate le tipologie delle reti e le loro applicazioni nell'ambito degli impianti.

La seconda parte è il manuale d'uso di **TUTTELERETI**. L'idea di un solo software per molte tipologie di calcolo è basata sulla considerazione che il concetto di rete lega le diverse tipologie e, nello stesso tempo, rende comune gran parte del software.

Il linguaggio di programmazione *Delphi*, inoltre, rende disponibile un potente ambiente di sviluppo e consente di ottenere, nell'applicativo, elevate velocità di elaborazione. Gli esempi a corredo del programma coprono tutte le tipologie di calcolo e permettono di apprezzare immediatamente le capacità di calcolo e apprenderne l'uso in tempi rapidi.

Capitolo 1

I corpi termici

I corpi termici di cui ci occupiamo sono i più comuni, radiatori e ventilconvettori. Dal punto di vista della trasmissione del calore mentre un radiatore scambia calore con l'ambiente per convezione ed irraggiamento, nei ventilconvettori lo scambio termico è essenzialmente dovuto alla convezione forzata tramite ventilatore. Inoltre mentre i radiatori sono solo corpi scaldanti i ventilconvettori possono essere sia scaldanti che refrigeranti.

1.1. Radiatori

L'emissione termica dei radiatori è esprimibile, secondo UNI-ISO 6514 come:

$$E = N E_{50} [(T_m - T_a) / 50]^a \quad [1]$$

dove:

- E = emissione [watt];
- N = numero degli elementi;
- E₅₀ = emissione termica nominale (l'emissione quando N = 1 e (T_m - T_a) = 50 °C);
- T_m = temperatura media del radiatore = (T_{in} + T_{usc})/2;
- T_{in} = temperatura d'ingresso al corpo termico;
- T_{usc} = temperatura di uscita;
- a = esponente che dipende, come l'emissione termica nominale dal tipo di radiatore e il cui valore è generalmente 1,3;

la [1] può essere posta nella forma:

$$E = f N E_{50} \quad [2]$$

dove il termine f è:

$$f = [(T_m - T_a) / 50]^a \quad [3]$$

che è 1 quando T_m - T_a = 50 °C. Il termine f è un termine correttivo dell'emissione termica nominale E₅₀, quando il salto termico radiatore-ambiente è diverso da 50 °C. Questa legge di calcolo è valida quando l'allacciamento alla rete di alimentazione sia fatto con entrata in alto ed uscita in basso dal lato opposto e portata non inferiore al 50% della portata nominale. La portata nominale Q affluente al corpo viene determinata, noto il fabbisogno termico FT e assegnato il salto termico DT fra mandata ed uscita, con l'espressione:

$$Q = FT / (1,163 DT) \quad [4]$$

dove:

- Q = portata [Kg/h];
- D = salto termico fra ingresso ed uscita [°C];
- FT = [watt].

Se al corpo termico affluisce una portata Q l'energia termica entrante è:

$$E = Q \cdot 1,163 (T_{in} - T_{usc}) \quad [5]$$

In condizioni termiche stazionarie l'energia termica entrante espressa con la [5] sarà uguale all'emissione termica, secondo la [1].

Il numero di elementi N viene determinato con l'espressione:

$$N = FT / (f E50) \quad [6]$$

Prospetto 1.1.

<i>Valori di ingresso</i>		
Fabbisogno termico	1050	watt
salto termico	12	°C
T mandata	75,00	°C
tamb	20	°C
alfa	1,3	
emiss nominale	80	watt
<i>Valori calcolati portata</i>	75,24	Kg/h
Tmedia	68,8	°C
fatt_correzione	0,969	
emiss reale	1087	watt
numero elementi scelto	14,00	

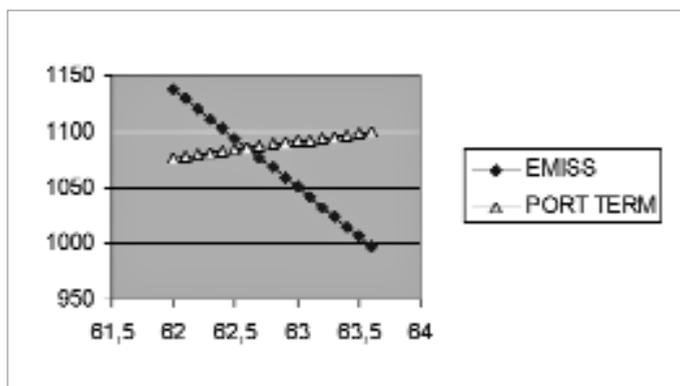


Figura 1.1.

Il prospetto 1.1. e la figura 1.1. riporta un esempio di calcolo con foglio elettronico dove, immessi gli opportuni dati di ingresso (fabbisogno termico, salto termico, temperatura di mandata, t_{amb} (temperatura ambiente), alfa (esponente a dell'espressione [3], E_{emiss} nominale (emissione termica nominale). Vengono calcolati:

- con l'espressione [4] la portata nominale (portata);
- con l'espressione [3] il fattore di correzione (fatt_correzione);
- con l'espressione [2] l'emissione;
- con l'espressione [6] il numero degli elementi (numero di elementi scelto).

Poiché il numero di elementi derivante dall'espressione [6] difficilmente potrà essere intero, viene scelto l'intero più vicino per eccesso. Questo comporta che l'emissione, la temperatura media e la temperatura d'uscita saranno leggermente diversi. Il cosiddetto punto di funzionamento del radiatore sarà quello per cui l'emissione secondo la [1] è uguale alla portata termica secondo la [5]. Entrambe le espressioni sono, assegnati tutti gli altri dati, funzione della temperatura di uscita. Infatti nell'espressione dell'emissione E la T_m può essere posta in funzione della temperatura d'uscita, supponendo costante quella d'ingresso:

$$T_M = (T_{in} + T_{usc})/2 \quad [7]$$

1.2. Il collegamento monotubo

Nel caso di collegamento monotubo i corpi termici sono posti in serie: l'uscita dell'elemento precedente diventa l'ingresso dell'elemento successivo. L'unica tubazione che collega i corpi scaldanti viene chiamata anello. La soluzione più frequente è quella con l'impiego delle valvole a 4 vie, che consente di collegare sia l'ingresso che l'uscita del radiatore con una unica valvola. Le valvole a 4 vie prevedono una ripartizione della portata totale dell'anello: mentre una parte affluisce effettivamente al corpo scaldante l'altra lo bypassa. Poiché ingresso ed uscita sono localizzate in basso viene influenzata l'emissione rispetto a quella con condizioni di allacciamento standard, che prevede l'ingresso in alto e l'uscita in basso dal lato opposto. Per consentire il calcolo ancora secondo la norma UNI 6514 si considera una portata equivalente GDE che è una frazione della portata dell'anello: la portata GDE è la portata che, ai fini del calcolo, dà la stessa emissione dell'allacciamento standard.

Nel collegamento monotubo c'è in ogni caso una portata al radiatore maggiore rispetto agli altri collegamenti (due tubi, a collettore), il che si traduce in un salto termico al radiatore minore.

1.3. Ventilconvettori

L'emissione termica E del ventilconvettore è espressa generalmente dal costruttore come:

$$E = Resa(q) (T_{in} - T_{amb})$$

dove:

- T_{in} = temperatura di ingresso;
- Q = portata;
- Resa(q) = resa del ventilconvettore espressa dal costruttore generalmente in funzione della portata;
- T_{amb} = temperatura ambiente.

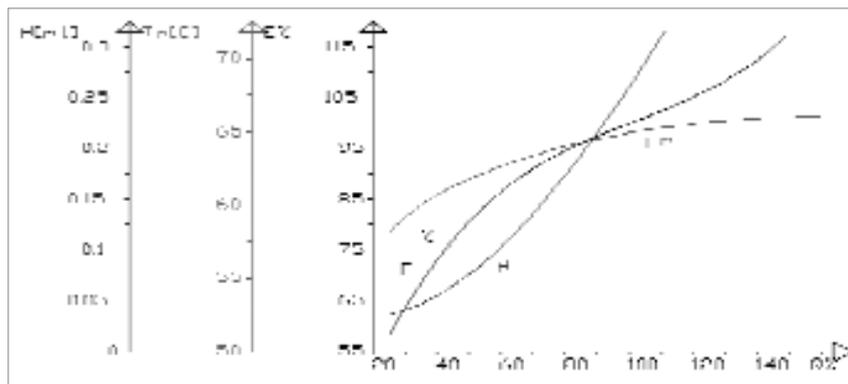


Figura 1.2.

Il grafico di figura 1.2. visualizza l'andamento dell'Emissione % in funzione della portata %, grandezze uguali a quelle già definite prima. Una variazione di portata influisce relativamente poco sull'emissione termica di un radiatore ma in misura sensibile su quella di un ventilconvettore. Questo perché in quest'ultimo la trasmissione del calore dall'acqua all'ambiente è legata agli scambi termici convettivi interni fra acqua e tubo.

Un aumento della portata consegue un proporzionale aumento di velocità e quindi un aumento del coefficiente di convezione. Nei radiatori, invece, le grandi sezioni di passaggio danno valori di velocità interne molto piccoli e quindi l'influenza sul coefficiente di convezione lato acqua è modesto all'aumentare della velocità. L'indice di portata assume una importanza fondamentale nell'ambito del bilanciamento idraulico dei corpi termici: i corpi che hanno un indice di portata piccolo (radiatori), hanno una piccola variazione di emissione al variare della portata, viceversa quelli con valori dell'indice maggiore hanno variazione di emissione sensibile (ventilconvettori). Il bilanciamento dei circuiti con radiatori ha una importanza relativamente minore rispetto a quella dei circuiti con ventilconvettori.

1.4. Le perdite di carico

Il differente comportamento fra radiatori e ventilconvettori rispetto alla portata si riflette anche nell'andamento delle perdite di carico. Nei radiatori, sempre per le modeste velocità di passaggio sono molto basse. Esempio: con una portata di 200 l/h, emissione = 2320 watt ed una tubazione di 13 mm velocità = 0,42 e $k = 3$, coefficiente di perdita localizzato comunemente assunto nei radiatori, si ha: H (perdita in mm H_2O) = 27 mm. In un ventilconvettore con 200 l/h e stessa emissione si ha $H = 100$ mm. In un ventilconvettore l'allacciamento in serie comporterebbe un aumento delle perdite di carico, correlata all'aumento di velocità notevole: esempio se si allacciano 3 ventilconvettori, e quindi con una portata tripla si ha, con riferimento all'esempio precedente, una perdita circa 9 volte maggiore, e quindi si passerebbe da 100 a 900 mm H_2O ! L'emissione aumenterebbe considerevolmente, anche se non nella stessa misura: non è possibile una valutazione perché il costruttore fornisce la curva dell'emissione del ventilconvettore fino ad un massimo di poco oltre i valori nominali di portata.

1.5. L'inerzia termica dei corpi radianti

Se consideriamo un radiatore come corpo ad una unica stessa temperatura e con portata nulla il bilancio termico in funzione del tempo è esprimibile come:

$$M C dT = E50 F(T)^a dt$$

- $M C dT$ = calore accumulato dal corpo con una variazione di temperatura = dT ;
- M = massa del corpo;
- C = calore specifico del corpo;
- $E50 F(T)^a dt$ = potenza termica emessa del radiatore, funzione della sua temperatura media, T , nell'intervallo di tempo dt ;
- $F(T)^a$ = emissione del radiatore, secondo l'espressione [1] dove T = temperatura media.

Uguagliando il calore accumulato con quello emesso:

$$M C (dT/dt) + E50 F(T)^a = 0$$

dove $DT/dt = T'$ = la derivata prima della temperatura rispetto al tempo; oppure:

$$T' + k F(T)^a$$

$k = E50/MC$ è quindi un valore caratteristico del comportamento inerziale del corpo.

La soluzione della [12] viene fatta discretizzando l'intervallo di tempo, si assume cioè che in intervalli di tempo molto piccoli la temperatura del corpo sia costante. Si calcola pertanto:

$$DT = dt F(T)^a k$$

la temperatura al tempo $(t + dt)$ sarà pari a: $T(t + dt) = T(t) + DT$.

Le figure 1.3. ed 1.4. visualizzano l'andamento della emissione termica percentuale e temperatura in funzione del tempo per 2 corpi termici (in ghisa ed in alluminio) in cui sia circa uguale la emissione nominale. Nel prospetto 1.2. sono stati riportati i valori caratteristici.

Prospetto 1.2.

	a	$E50$ watt	massa H_2O [Kg]	massa metallo [Kg]	Capacità termica [Kj/Kg °C]	k
ghisa	1,31	228	1,7	11,2	9,69	23,5
alluminio	1,377	249	0,62	2,2	3,07	81

È evidente che i corpi termici in alluminio hanno una inerzia termica molto minore (per il minor peso e minor contenuto d'acqua). Valori tipici dei rapporti emissione/peso sono per i radiatori in ghisa 16 watt/Kg mentre per quelli in alluminio 75. Rapporti emissione/contenuto d'acqua per i radiatori in ghisa sono 130-110 watt/Kg acqua, per quelli in alluminio 270. Non è possibile fare un confronto, non avendo dati attendibili a disposizione per i fancoil, ma il contenuto d'acqua di questi ultimi è molto inferiore a parità di potenza termica e minore il peso del corpo termico. Quindi il fancoil "spento" praticamente annulla la sua emissione al contrario di un radiatore in

ghisa. L'inserimento di una valvola termostatica su un corpo termico va visto pertanto in funzione dei tempi di risposta: ove gli apporti di calore abbiano durata breve l'inerzia termica del radiatore in ghisa non è in grado di inseguire il carico termico.

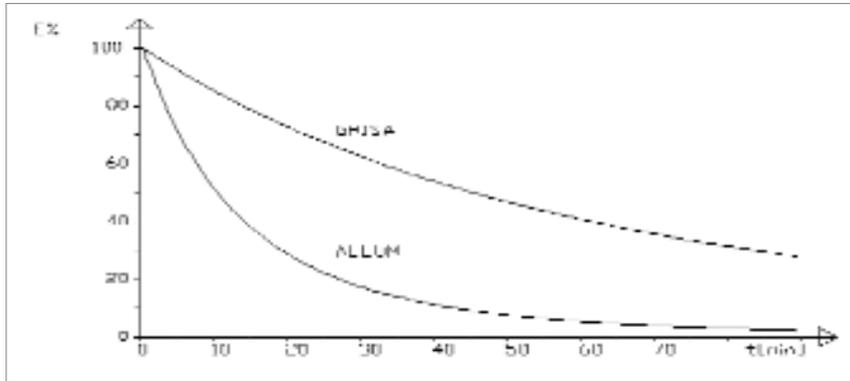


Figura 1.3.

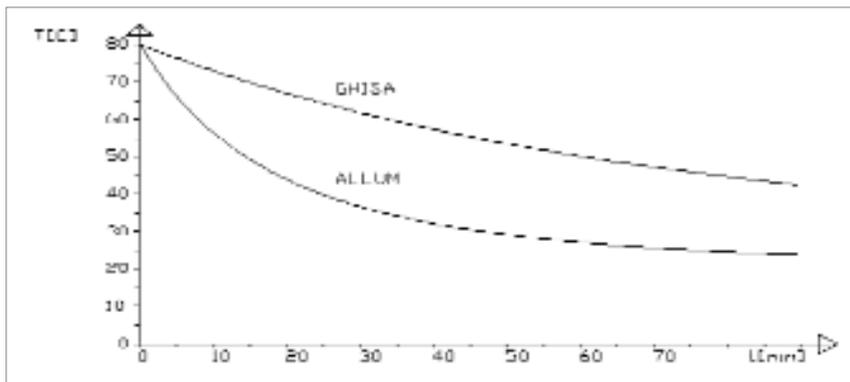


Figura 1.4.