



## Formule pratiche per calcolare le dimensioni dei dissipatori per i transistor di potenza

### Simboli impiegati:

- Ta = temperatura ambiente
- Td = temperatura del dissipatore (radiatore)
- Tc = temperatura del contenitore del transistor
- Tj = temperatura della giunzione
- Tj max = temperatura massima ammissibile e non superabile dalla giunzione. Viene generalmente fornita dal costruttore. Se non è indicata vale:
- Tj max = 150° C Per transistor al silicio
- Tj max = 90° C Per transistor al germanio
- Da non confondersi assolutamente con la temperatura di lavoro della giunzione Tj in genere molto più bassa, e precisamente:
- $T_{jmax} \times K = T_j$  dove K è un fattore di affaticamento compreso tra 0,5 e 0,7 (ad es. servizio continuo o intermittente).
- Rd = resistenza termica dissipatore - ambiente
- Rcd = resistenza termica contenitore - dissipatore
- Rjc = resistenza termica giunzione - contenitore

La resistenza termica giunzione - contenitore Rjc è generalmente fornita dai costruttori sui manuali. Altrimenti si può calcolare conoscendo la Tjmax e la potenza massima dissipabile Wmax (da non confondersi con la potenza di lavoro). Si assume una temperatura teorica del contenitore di 25°C.

$$R_{jc} = (T_{jmax} - 25) : W_{max}$$

Ad esempio per un 2N3055 vale: Tjmax = 200°C e Wmax = 115 W per cui:

$$R_{jc} = (200 - 25) : 115 = 1,52^\circ\text{C/W}$$

Le temperature sono espresse in gradi centigradi “ °C “ e le resistenze termiche in gradi centigradi per Watt “ °C/W “  
 La resistenza contenitore - dissipatore varia molto secondo il tipo di contenitore e il montaggio sul dissipatore, (se montato a contatto diretto oppure con mica interposta, se usata pasta termicamente conduttiva al silicone o meno). Il valore di questa resistenza influenza molto il calcolo della superficie e le dimensioni del dissipatore. Più è bassa la Rcd e minore è la superficie. In genere non viene riportata dai manuali, si può ricavare con buona approssimazione dalla tabella 1.  
 La resistenza termica del dissipatore ne determina le dimensioni, va calcolata in base alla potenza dissipata dal transistor tenendo conto di tutte le resistenze termiche interposte. La formula da usare è:

$$R_d = (T_j - T_a) : W - (R_{jc} + R_{cd})$$

Per cui nell'esempio sopra citato del 2N3055, con  $R_{jc}$  1,52°C/w, contenitore To3, e  $R_{cd}$  0,25°C/w (contatto diretto senza mica e senza pasta al silicone), volendo far dissipare al transistor 20W con  $T_j$  di 120°C ( $K=0,6$ ), abbiamo:

$$R_d = (120 - 25) : 20 - (1,52 + 0,25) = 2,98^\circ\text{C/w}$$

Nel caso si debbano dissipare piccole potenze si può ricavare un radiatore da una lamiera piana di alluminio di almeno due millimetri di spessore. La formula che ne determina la superficie è:

$$\text{cmq} = 1 : (R_d \times 0,003)$$

per lamiera anodizzata nera, mentre per lamiera bianca è:

$$\text{cmq} = 1 : (R_d \times 0,0025)$$

perciò nel caso dell'esempio sopra citato, per un dissipatore da 2,98°C/w con la seconda formula risulta una superficie di circa 134 cmq.

Le alette dissipatrici così costruite vanno realizzate più quadrate possibili, anche se si possono piegare ad "L" o ad "U" per occupare meno spazio, e vanno montate verticalmente per facilitare la ventilazione, e per quelle con lato maggiore di 10 cm aumentarne lo spessore a 3mm o più. Il transistor da raffreddare, naturalmente, andrà montato al centro, o magari leggermente in basso.

Al di sopra di una certa dimensione conviene ricorrere ai radiatori commerciali sagomati o estrusi, in alluminio anodizzato nero. Per usi particolari vengono usati radiatori in rame, però eccessivamente costosi.

La resistenza termica dei radiatori commerciali non è determinabile con semplici formule o in base alle caratteristiche fisiche, ma viene fornita dai costruttori.

Alcune caratteristiche e resistenze termiche di radiatori commerciali sono riportate di seguito in appendice. I valori dati sono per radiatori anodizzati neri, per radiatori bianchi vanno moltiplicati per 1,2 perciò acquistano dimensioni maggiori.

Per abbassare la resistenza termica di un dissipatore si ricorre alla ventilazione forzata. La  $R_d$  per radiatori con ventilazione forzata ( $R_{dv}$ ) vale:

$$R_{dv} = R_d \times F$$

dove  $F$  è un fattore compreso tra 0,79 e 0,21 a secondo della portata del ventilatore in l/s o mq/h ricavabile dalla tab. 2

Si può comunque notare dalla tabella, che nel caso di raffreddamento con aria forzata, per dimezzare il fattore "F" occorre almeno triplicare o quadruplicare la portata dell'aria. Per altissime potenze o per esecuzioni particolari si realizzano anche radiatori con raffreddamento a circolazione d'acqua o liquidi particolari, con resistenze di dissipazione bassissime.

La potenza massima di lavoro "WLmax" varia moltissimo secondo le varie resistenze termiche interposte tra la giunzione e l'ambiente, è comunque molto minore della potenza massima fornita dal costruttore, in quanto  $W_{max}$  è data per una  $T_c$  di 25°C (teorica). La potenza massima effettiva di lavoro di un transistor si ricava dalla formula:

$$WL_{max} = (T_{jmax} - T_a) : (R_{jc} + R_{cd} + R_d)$$

Per cui nel caso del 2N3055 vale:

$$WL_{max} = (200 - 25) : (1,52 + 0,12 + 0,6) = 78,125 \text{ W}$$

Ed è ancora una potenza limite in quanto tutti i dati sono valori limite. Volendo far lavorare il transistor in condizioni di sicurezza si dovrà scendere ulteriormente:

$$T_j = T_{jmax} \times K \quad K = 0.7 \quad R_{jc} = 1,52 \quad R_{cd} = 0.25 \quad R_d = 1$$

$$WL_{max} = (200 \times 0,7 - 25) : (1,52 + 0,25 + 1) = 41,5 \text{ W}$$

Che è un valore accettabile, anche se un radiatore da 1°C/w è piuttosto grande e il transistor vi è montato a contatto diretto.

Anche la temperatura della giunzione è in funzione della potenza dissipata e delle varie resistenze termiche. Si calcola con la formula:

$$T_j = W \times (R_{jc} + R_{cd} + R_d) + T_a \quad \text{per cui nel solito caso:}$$

$$T_j = 41,5 \times (1,52 + 0,25 + 1) + 25 = 139,95^\circ\text{C}$$

Che è una temperatura massima di lavoro accettabile. Naturalmente anche le temperature del contenitore e del dissipatore si possono calcolare, con le formule:

$$\begin{aligned} T_c &= W \times (R_{cd} + R_d) + T_a & \text{Nel caso sopra: } &= 76,87^\circ\text{C} \\ T_c &= W \times R_d + T_a & \text{Ancora: } &= 66,5^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Non c'è da stupirsi se toccando dei dissipatori di amplificatori lavoranti a pieno regime ci si scotta! In realtà le temperature effettive possono discostarsi un poco da quelle calcolate, a causa della temperatura ambiente, della ventilazione ambientale o dalle variazioni impulsive della potenza, ma sono molto simili a quelle calcolabili.

E' comunque possibile calcolare e dimensionare le apparecchiature in modo che non si sovraccarichino.

Riassunto delle formule per il calcolo delle temperature e delle dimensioni dei radiatori per transistor di potenza.

#### **Per calcolare la temperatura della giunzione $T_j$**

$$\begin{aligned} T_j &= W \times (R_{jc} + R_{cd} \times R_d) + T_a \\ T_j &= W \times R_{jc} + T_c \end{aligned}$$

#### **Per calcolare la temperatura del contenitore $T_c$**

$$\begin{aligned} T_c &= W \times (R_{cd} + R_d) + T_a \\ T_c &= W \times R_{cd} + T_d \\ T_c &= T_j - (W \times R_{jc}) \end{aligned}$$

#### **Per calcolare la temperatura del dissipatore $T_d$**

$$\begin{aligned} T_d &= (W \times R_d) + T_a \\ T_d &= T_c - (W \times R_{cd}) \end{aligned}$$

#### **Per calcolare la potenza dissipabile dal transistor $W$**

$$\begin{aligned} W &= (T_j - T_a) : (R_{jc} + R_{cd} + R_d) \\ W &= (T_c - T_a) : (R_{cd} + R_d) \end{aligned}$$

#### **Per calcolare la resistenza termica giunzione contenitore $R_{jc}$ conoscendo la $T_{jmax}$ e i $W_{max}$**

$$R_{jc} = (T_{jmax} - 25^\circ\text{C}) : W_{max}$$

#### **Per calcolare la resistenza termica del dissipatore $R_d$**

$$\begin{aligned} R_d &= (T_j - T_a) : W - (R_{jc} + R_{cd}) \\ R_d &= (T_d - T_a) : W \end{aligned}$$

#### **Per calcolare la resistenza termica dei dissipatori con ventilazione forzata $R_{dv}$ (in base alla tabella 2 )**

$$R_{dv} = R_d \times F \quad \text{inversa: } R_d = R_{dv} : F$$

#### **Per calcolare la superficie in cmq e la resistenza termica $R_d$ di alette piane nere:**

$$\text{cmq} = 1 : (R_d \times 0,003) \quad \text{inv. } R_d = 1 : (\text{cmq} \times 0,003)$$

#### **per alette bianche:**

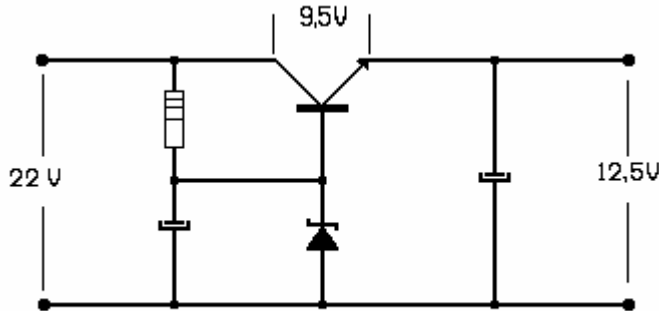
$$\text{cmq} = 1 : (R_d \times 0,0025) \quad \text{inv. } R_d = 1 : (\text{cmq} \times 0,0025)$$

Bisogna ricordare inoltre che il fattore correttivo "K" per le temperature di lavoro delle giunzioni varia da 0,5 per i transistor in servizio continuo (ad esempio alimentatori lineari o finali di trasmissione in FM) a 0,7 per transistor in servizio intermittente (amplificatori audio o finali di trasmissione in AM-SSB). Il fattore correttivo "F" per radiatori con ventilazione forzata varia da 0,79 a 0,21 con la portata d'aria del ventilatore. Infine che le formule riguardanti le resistenze termiche sono per dissipatori anodizzati neri mentre per quelli bianchi il risultato va moltiplicato per 1,2 e perciò assumono dimensioni maggiori.

## Potenza dissipata

La potenza dissipata da un transistor varia secondo il tipo di circuito in cui viene impiegato e del rendimento intrinseco. Il regime più gravoso è dato dall'uso come regolatore di corrente continua, come nel caso degli alimentatori lineari. La potenza viene determinata dalla caduta di tensione sulla giunzione moltiplicata per la corrente erogata all'emettitore (secondo la legge di Ohm).

Per cui nel caso (abbastanza comune) di un alimentatore con tensione d'ingresso di 22V e tensione d'uscita di 12,5V la potenza dissipata sulla giunzione sarà di 9,5W per ogni ampere erogato.



Nel caso di amplificatori varia secondo la classe di lavoro. In ogni caso sarà sempre data dalla differenza tra la potenza assorbita all'alimentazione e la potenza erogata sul carico, sia esso costituito da un altoparlante (in B.F.) o un'antenna trasmittente (in A.F.).

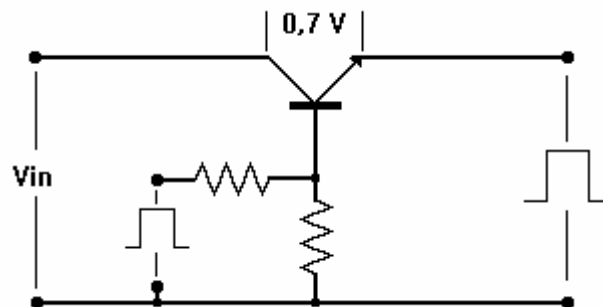
$$W_{\text{transistor}} = W_{\text{alimentazione}} - W_{\text{carico}}$$

Questa relazione stabilisce il rendimento del circuito, che può variare da 0,20 (o meno) per amplificatori in classe "A" a 0,65 (o più) per amplificatori in classe "C".

La differenza tra assorbimento all'alimentazione e potenza erogata sul carico si assume come coefficiente correttivo "Kc" e viene usato nel calcolo della potenza dissipata in calore. Naturalmente nel calcolare il dimensionamento dei dissipatori, la potenza dissipata va suddivisa per il numero dei transistor finali, siano essi disposti in parallelo, in controfase oppure in simmetria complementare.

Nel caso di un amplificatore in classe "A" con rendimento medio del 20÷25 % il fattore correttivo sarà 0,80. Ad esempio con 50W assorbiti si avranno 40W dissipati in calore. Mentre in un finale di trasmissione in classe "C" con rendimento medio del 65% il fattore correttivo sarà 0,35 e con 100W assorbiti si dissiperanno in calore soltanto 35W.

I transistor usati in circuiti di commutazione, pur commutando potenze considerevoli, dissipano pochissima potenza perché lavorano in regime di saturazione, per cui la tensione ai capi della giunzione è minima, generalmente inferiore al volt. Nel peggiore dei casi pochi volt (per vecchi dispositivi e forti correnti), nel migliore dei casi una frazione di volt (anche 0,2V per dispositivi più moderni e correnti contenute), perciò necessitano di piccolissimi dissipatori o non ne necessitano affatto.



Prima di fissare un transistor su di un dissipatore occorre rispettare alcuni accorgimenti: nel caso di radiatori commerciali già forati per tranciatura bisogna controllare che non vi siano bavature o sporgenze dalla superficie su cui si fisserà il corpo del transistor, altrimenti il contenitore non spiana e non trasferisce totalmente il calore al dissipatore, o peggio ancora si rischiano rotture e tagli di eventuali miche isolanti, con conseguenti cortocircuiti. Eventualmente si deve pulire la superficie di aderenza con carta abrasiva, o magari svasare leggermente i fori di fissaggio con una punta di trapano ben affilata. Nel caso di autocostruzione di un'aletta piana si dovrà fare attenzione a non produrre bavature o deformazioni che non facciano spianare il transistor.

Appare ovvio che un dissipatore montato verticalmente smaltisce meglio il calore perché gode di una migliore ventilazione, e non così uno montato orizzontalmente e magari eccessivamente vicino al contenitore, che se montato all'esterno del contenitore fruisce di un migliore scambio termico che non all'interno.

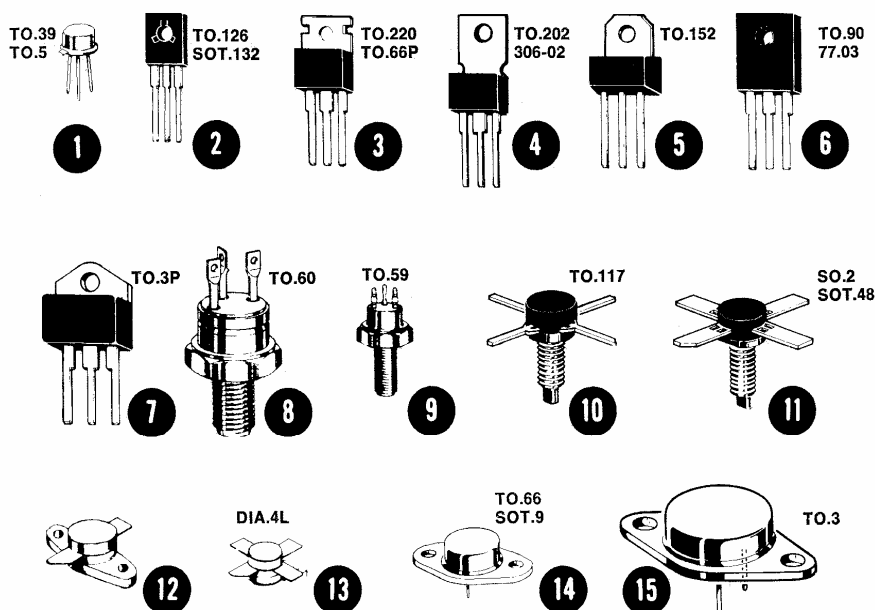
Anche la posizione di montaggio sul dissipatore è importante: nel caso di un singolo transistor andrà montato al centro, in modo da evitare accumuli di calore che ne rallentino lo smaltimento. Nel caso siano due si dovrà dividere la superficie del dissipatore in due aree uguali e fissare ogni transistor al centro di ciascuna area.

Leggendo la tabella 1 si capisce facilmente che è sempre più conveniente montare il contenitore del transistor a contatto diretto con il dissipatore, meglio ancora se con l'uso di pasta al silicone, che praticamente ne dimezza la resistenza termica.

Conviene ricorrere all'uso della mica isolante soltanto in quando sia strettamente indispensabile, o nel caso che la potenza dissipata sia poca. In pratica è meglio isolare il dissipatore, magari dividendolo a metà nel caso di finali con alimentazione duale. In ogni caso non interporre mai due miche isolanti sovrapposte, neanche con l'uso di pasta al silicone, poiché ne aumenta enormemente la resistenza termica.

**Tabella 1 Resistenze termiche Contenitore - Dissipatore**  
esprese in °C/W

Tipo contenitore	Contatto diretto senza mica	Contatto diretto più pasta al silicone	Contatto con mica	Contatto con mica più pasta al silicone
To 5	1,0	0,7	----	----
To 39	1,0	0,7	----	----
To 126	1,4	1,0	2,0	1,5
To 220	0,8	0,5	1,4	1,2
To 202	0,8	0,5	1,4	1,2
To 152	0,8	0,5	1,4	1,2
To 90	0,5	0,3	1,2	0,9
To 3 P.	0,4	0,2	1,0	0,7
To 59	1,2	0,7	2,1	1,5
To 117	2,0	1,7	----	----
To 66	1,1	0,65	1,8	1,4
To 3	0,25	0,12	0,8	0,4
Sot 48	1,8	1,5	----	----
Dia 4L	1,1	0,7	----	----



**Tipi di contenitori della tabella 1**

**Tabella 2**

<b>Portata</b>		<b>Fattore correttivo “F”</b>
<b>Litri/secondo</b>	<b>Metri cubi/ora</b>	
8	30	0,79
11	40	0,72
14	50	0,66
17	60	0,60
19	70	0,55
22	80	0,51
25	90	0,49
28	100	0,47
30	110	0,45
33	120	0,43
36	130	0,41
39	140	0,39
42	150	0,37
44	160	0,36
47	170	0,35
50	180	0,34
53	190	0,33
56	200	0,32
58	210	0,31
61	220	0,30
64	230	0,29
67	240	0,28
70	250	0,27
72	260	0,26
75	270	0,25
78	280	0,24
81	290	0,23
84	300	0,22
86	310	0,22
89	320	0,21
92	330	0,21
95	340	0,20
98	350	0,20



65° C/W

1



60° C/W

2



48° C/W

3



45° C/W

4



33° C/W

5



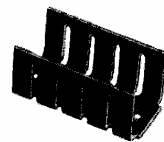
11,5° C/W

6



9° C/W

7



10,2° C/W

8



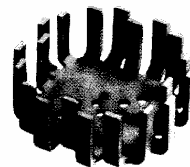
7° C/W

9



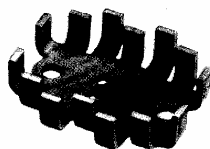
6° C/W

10



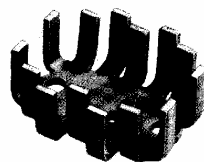
4,3° C/W

11



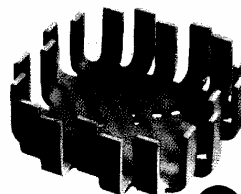
10° C/W

12



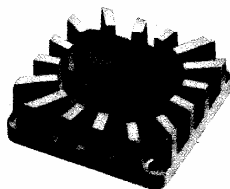
8° C/W

13



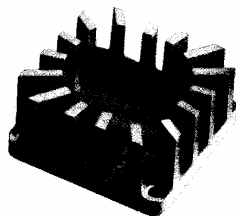
3,8° C/W

14



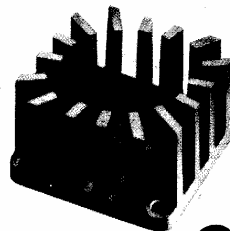
7,6° C/W

15



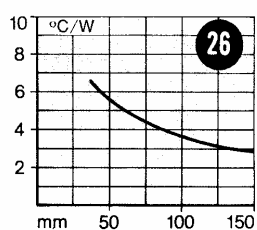
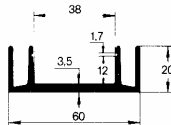
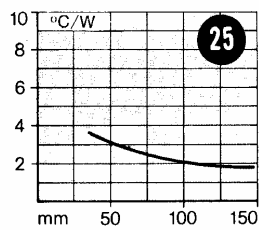
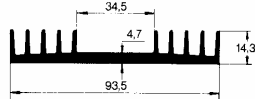
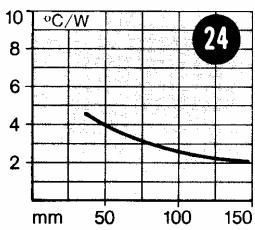
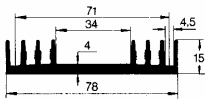
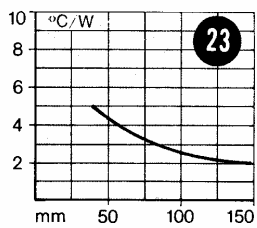
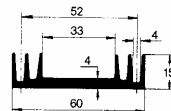
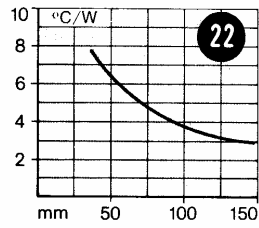
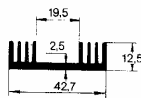
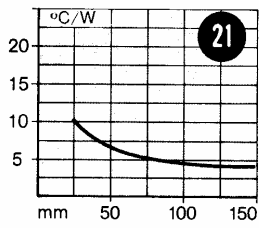
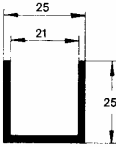
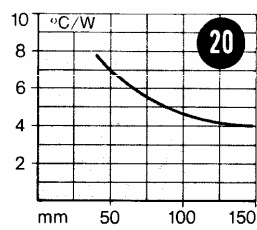
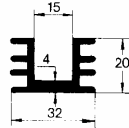
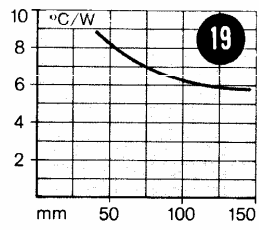
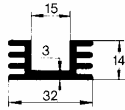
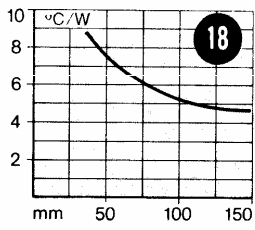
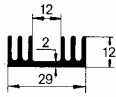
7,1° C/W

16

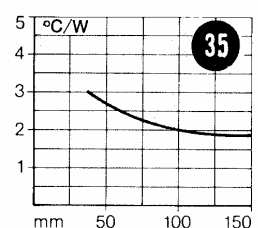
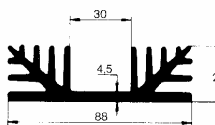
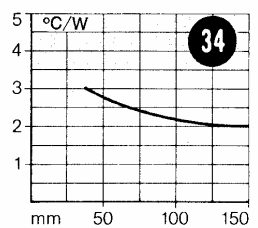
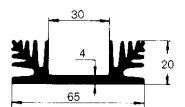
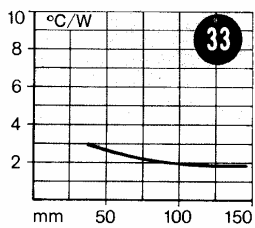
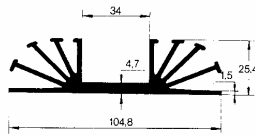
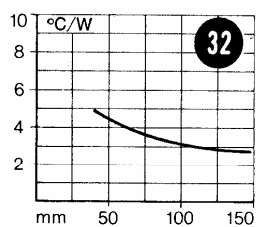
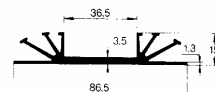
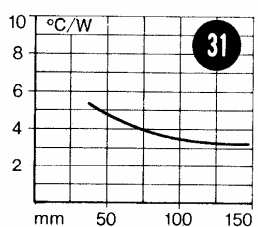
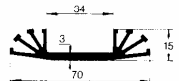
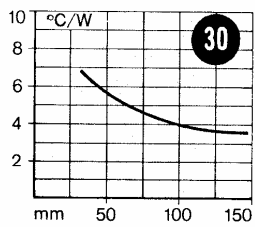
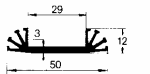
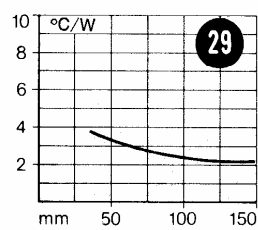
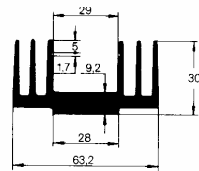
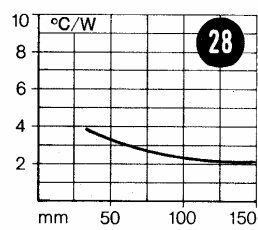
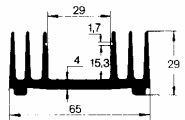
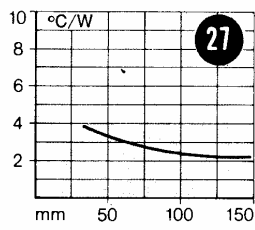
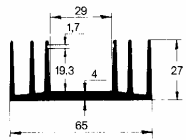


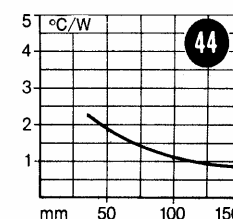
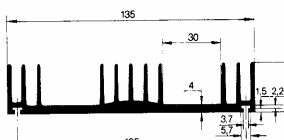
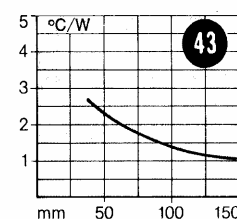
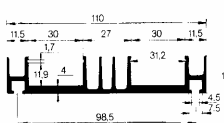
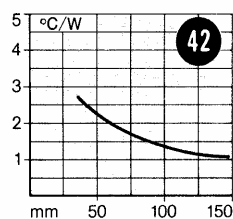
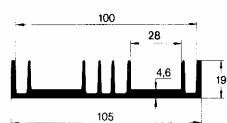
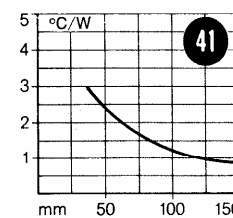
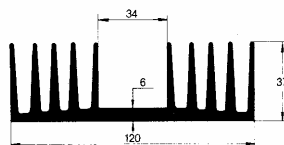
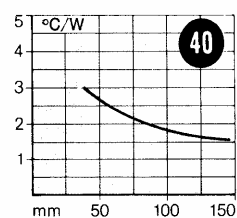
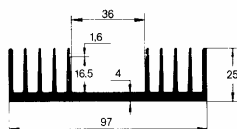
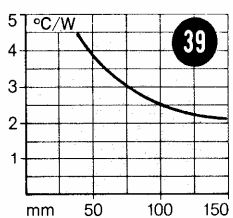
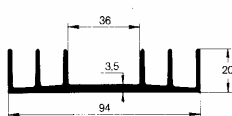
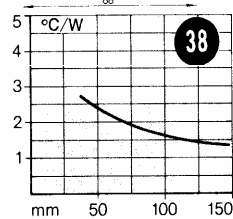
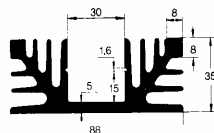
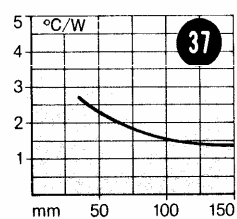
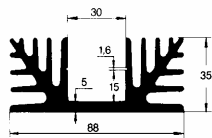
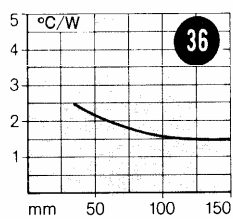
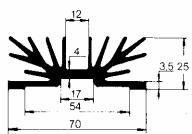
5,8° C/W

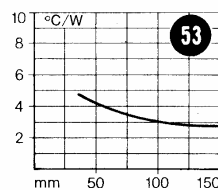
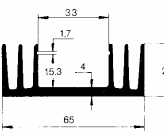
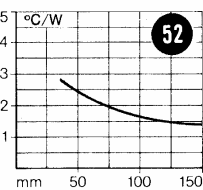
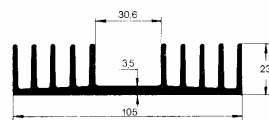
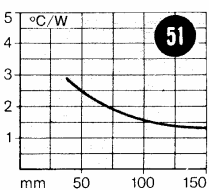
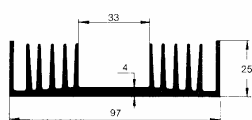
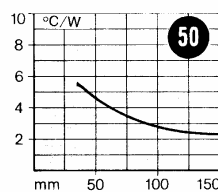
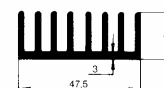
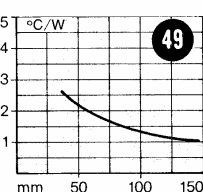
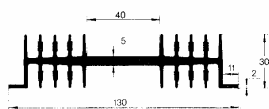
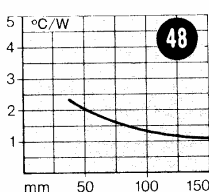
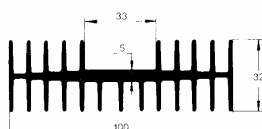
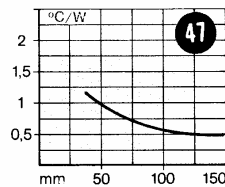
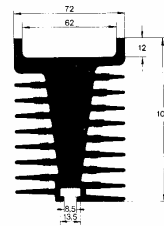
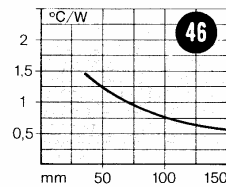
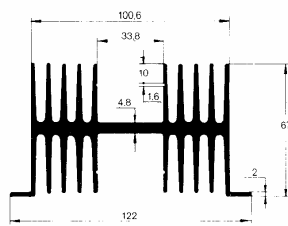
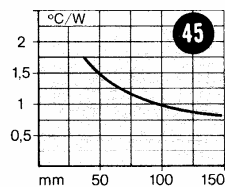
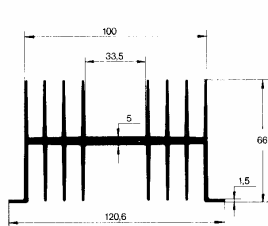
17

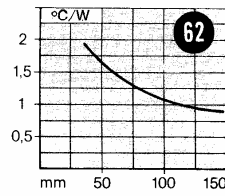
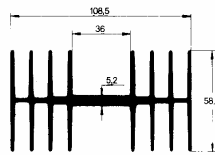
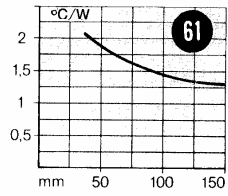
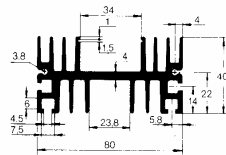
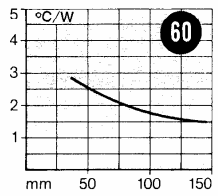
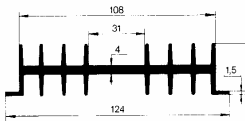
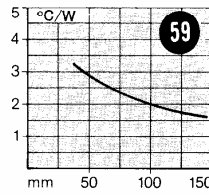
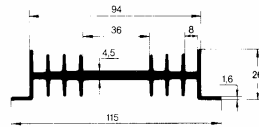
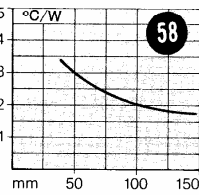
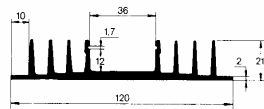
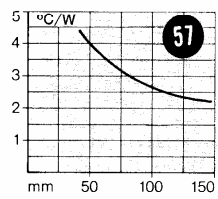
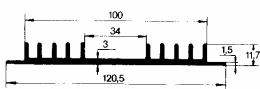
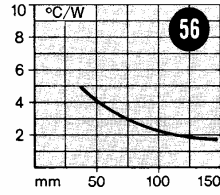
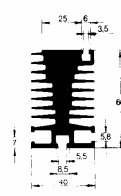
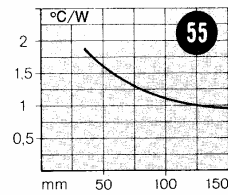
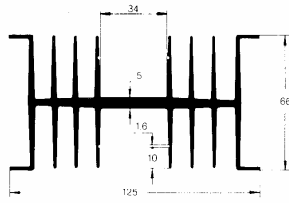
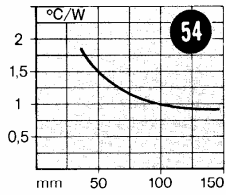
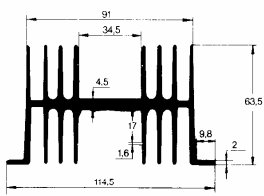


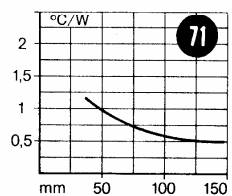
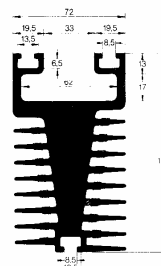
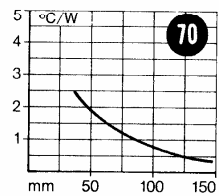
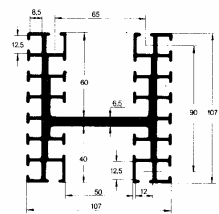
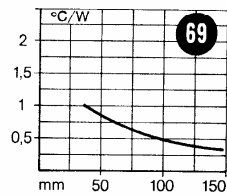
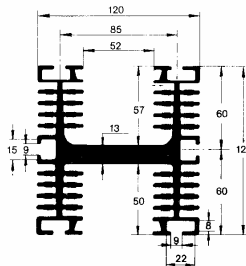
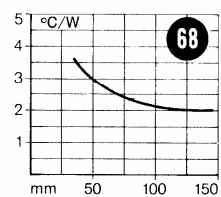
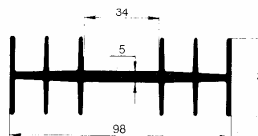
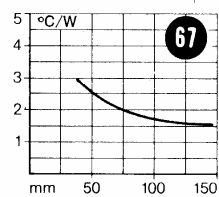
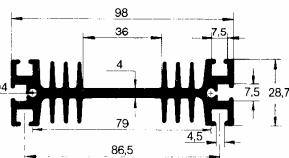
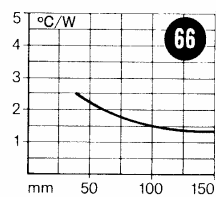
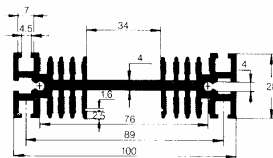
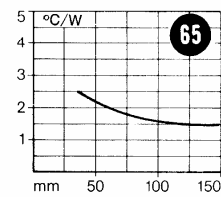
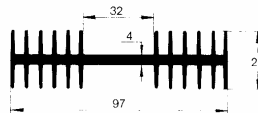
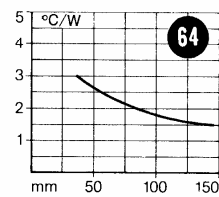
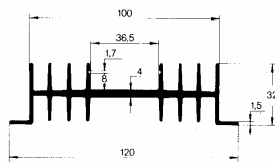
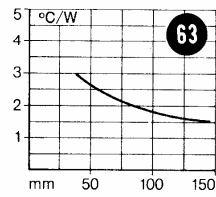
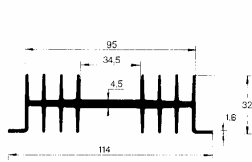


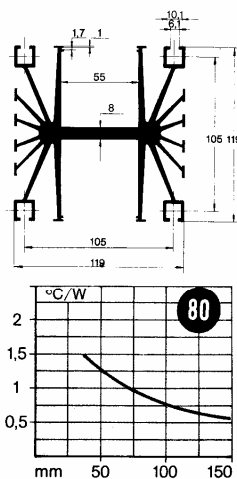
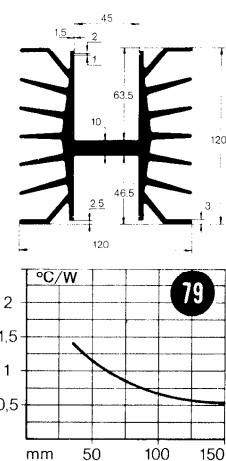
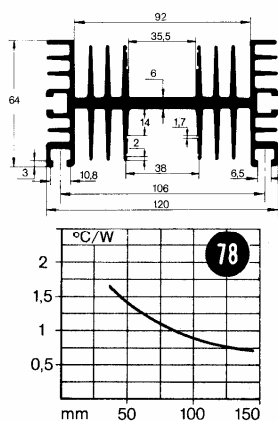
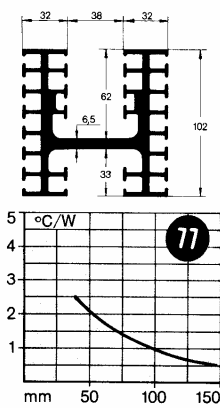
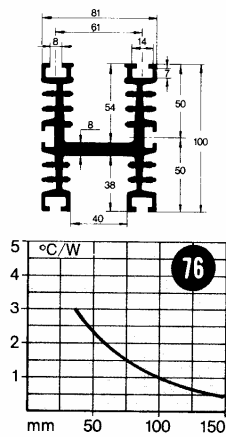
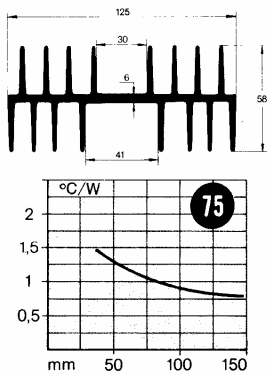
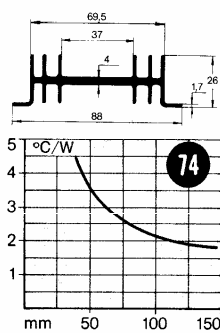
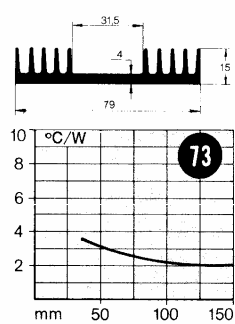
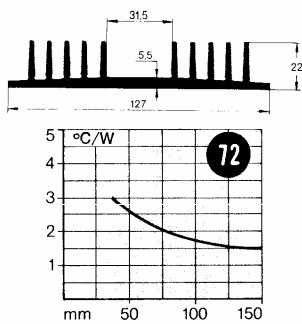


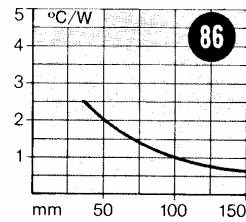
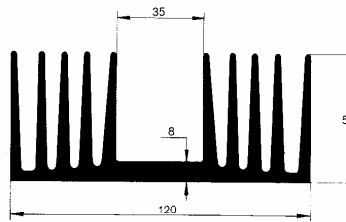
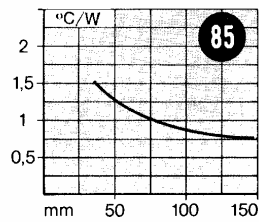
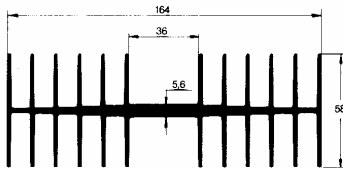
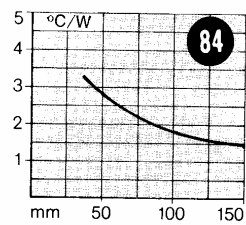
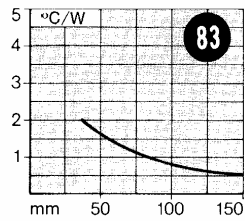
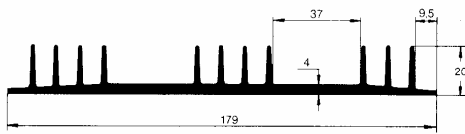
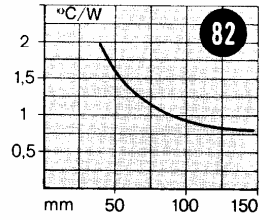
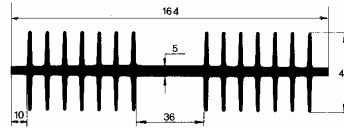
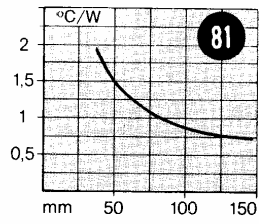
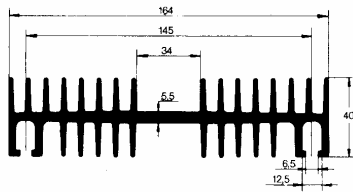








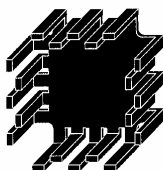




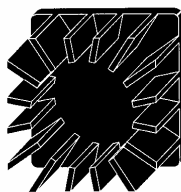
RT = 54°C/W



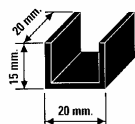
RT = 7,7°C/W



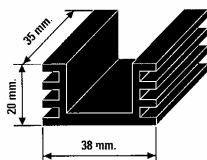
RT = 5°C/W



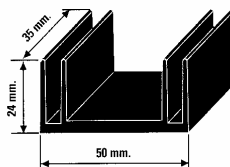
RT = 20°C/W



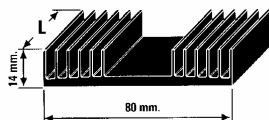
RT = 10°C/W



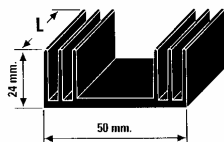
RT = 6°C/W



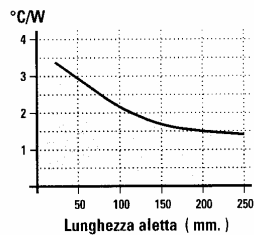
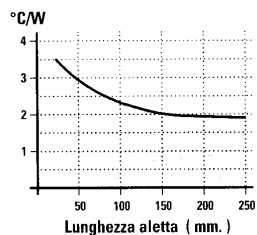
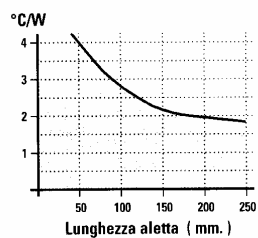
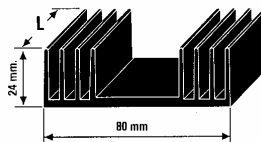
RT = max 4°C/W - min 2°C/W



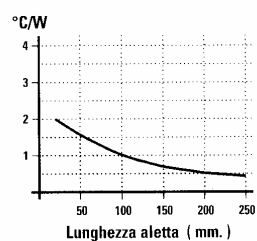
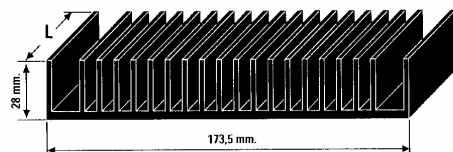
RT = max 3°C/W - min 2°C/W



RT = max 3°C/W - min 1,5°C/W



RT = max 2°C/W - min 0,5°C/W

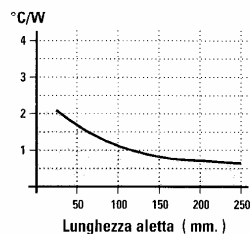
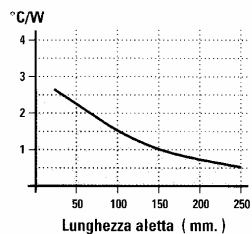
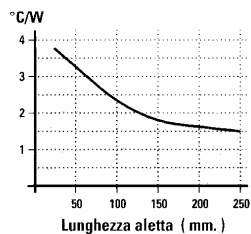
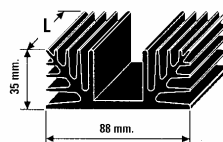
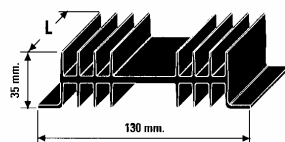
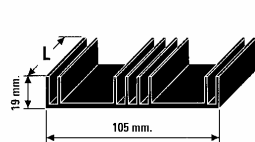




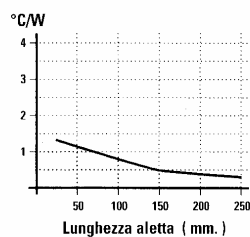
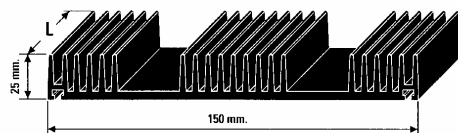
RT = max 3,5°C/W - min 1,5°C/W

RT = max 2,5°C/W - min 0,5°C/W

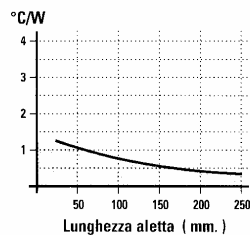
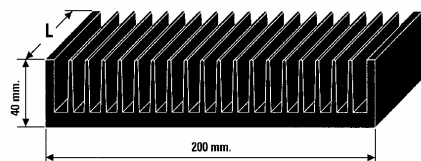
RT = max 1,8°C/W - min 0,6°C/W



RT = max 1,2°C/W - min 0,4°C/W



RT = max 1,2°C/W - min 0,4°C/W



RT = max 0,7°C/W - min 0,3°C/W

