Tabella 1.14 — *Equivalenti tra le unità di misura della potenza* $[L^2 M/T^3]$

Nome dell'unità	*Simbolo*	*Valore dell'unità*	*Valore equivalente nelle altre unità*								
			BTU/s	kW	HP	CV	$kg_f m/s$	$lb_f ft/s$	kcal/h	W	erg/s
british thermal unit al secondo	BTU/s	$1.0546 \cdot 10^3$ W	1	1,0546	1,4142	1,4338	$1,0753 \cdot 10^2$	$7,7721 \cdot 10^2$	$9,0697 \cdot 10^2$	$1,0546 \cdot 10^3$	$1,0546 \cdot 10^{10}$
kilowatt	kW	10^3 W	0,9482	1	1,3410	1,359	1,0197	7,3696	860	$\cdot 10^3$	10^{10}
cavallo inglese (horse power)	HP	550 $lb_f ft/s$	0,7070	0,7457	1	1,0138	$7,6035 \cdot 10$	$5,4435 \cdot 10^2$	$6,413 \cdot 10^2$	$7,457 \cdot 10^2$	$7,457 \cdot 10^9$
cavallo vapore	CV	75 $kg_f m/s$	0,6974	0,7355	0,9863	1	75	$5,4209 \cdot 10^2$	$6,326 \cdot 10^2$	$7,355 \cdot 10^2$	$7,355 \cdot 10^9$
kilogrammetro al secondo	$kg_f m/s$	9,806 W	$9,2988 \cdot 10^{-3}$	$9,8066 \cdot 10^{-3}$	$1,3151 \cdot 10^{-2}$	$1,333 \cdot 10^{-2}$	1	7,229	8,436	9,806	$9,806 \cdot 10^7$
libbra forza · piede al secondo	$lb_f ft/s$	1,356 W	$1,2858 \cdot 10^{-3}$	$1,356 \cdot 10^{-3}$	$1,8184 \cdot 10^{-3}$	$1,8436 \cdot 10^{-3}$	0,1383	1	1,17	1,356	$1,356 \cdot 10^7$
kilocaloria all'ora	kcal/h	1/860 kW	$1,1018 \cdot 10^{-3}$	$1,162 \cdot 10^{-3}$	$1,5582 \cdot 10^{-3}$	$1,58 \cdot 10^{-3}$	$1,185 \cdot 10^{-1}$	0,8569	1	1,162	$1,162 \cdot 10^7$
watt	W	1 J/s	$0,9482 \cdot 10^{-3}$	10^{-3}	$1,3410 \cdot 10^{-3}$	$1,359 \cdot 10^{-3}$	$1,0197 \cdot 10^{-1}$	0,7367	0,86	1	10^7
erg al secondo	erg/s	1 erg/s	$0,9482 \cdot 10^{-10}$	10^{-10}	$1,3410 \cdot 10^{-10}$	$1,359 \cdot 10^{-10}$	$1,0197 \cdot 10^{-8}$	$0,7367 \cdot 10^{-7}$	$0,86 \cdot 10^{-7}$	10^{-7}	1

Tabella 1.13 — *Equivalenti tra e unità di misura dell'energia (lavoro e calore)* $[L^2 M/T^2]$

Nome dell'unità	*Simbolo*	*Valore dell'unità*	*Valore equivalente nelle altre unità*										
			kWh	HPh	CVh	kcal	BTU	l · atm	kg_f	R / K · mol	lb · ft	J	erg
kilowattora	kWh	10^3 W · 1 h	1	1,3409	1,3596	$8,6 \cdot 10^{2}$	$3,413 \cdot 10^{3}$	$3,5531 \cdot 10^{4}$	$3,671 \cdot 10^{5}$	$4,33 \cdot 10^{3}$	$2,655 \cdot 10^{6}$	$3,6 \cdot 10^{6}$	$3,6 \cdot 10^{13}$
cavallo inglese · ora	HPh	550 lb_f ft s^{-1} · 3600 s	0,7457	1	1,0138	$6,413 \cdot 10^{2}$	$2,545 \cdot 10^{3}$	$2,6494 \cdot 10^{4}$	$2,7374 \cdot 10^{5}$	$3,2288 \cdot 10^{3}$	$1,98 \cdot 10^{6}$	$2,6845 \cdot 10^{6}$	$2,6845 \cdot 10^{13}$
cavallo · ora	CVh	75 kg_f m s^{-1} · 3600 s	0,7355	0,9863	1	$6,327 \cdot 10^{2}$	$2,5107 \cdot 10^{3}$	$2,6133 \cdot 10^{4}$	$2,7 \cdot 10^{5}$	$3,1847 \cdot 10^{3}$	$1,953 \cdot 10^{6}$	$2,6478 \cdot 10^{6}$	$2,6478 \cdot 10^{13}$
kilocaloria	kcal	$4,186 \cdot 10^3$ J	$1,1625 \cdot 10^{-3}$	$1,5591 \cdot 10^{-3}$	$1,5805 \cdot 10^{-3}$	1	3,9683	$4,131 \cdot 10$	$4,267 \cdot 10^{2}$	$5,034 \cdot 10^{2}$	$3,087 \cdot 10^{3}$	$4,186 \cdot 10^{3}$	$4,186 \cdot 10^{10}$
british thermal unit	BTU	$1,0546 \cdot 10^3$ J	$2,9294 \cdot 10^{-4}$	$3,9292 \cdot 10^{-4}$	$3,983 \cdot 10^{-4}$	0,252	1	$1,049 \cdot 10$	$1,0754 \cdot 10^{2}$	$1,2684 \cdot 10^{2}$	$7,78 \cdot 10^{2}$	$1,0546 \cdot 10^{3}$	$1,0546 \cdot 10^{10}$
litro · atmosfera	l · atm	$1,0132 \cdot 10^2$ J	$2,8144 \cdot 109^{-5}$	$3,7742 \cdot 10^{-5}$	$3,8267 \cdot 10^{-5}$	$2,421 \cdot 10^{-1}$	$9,606 \cdot 10^{-1}$	1	$1,0332 \cdot 10$	$1,2186 \cdot 10$	$7,473 \cdot 10$	$1,0132 \cdot 10^{2}$	$1,0132 \cdot 10^{9}$
kilogrammetro	kg_fm	9,8066 J	$2,7241 \cdot 10^{-6}$	$3,6565 \cdot 10^{-6}$	$3,7037 \cdot 10^{-6}$	$2,3433 \cdot 10^{-3}$	$9,299 \cdot 10^{-3}$	$9,679 \cdot 10^{-2}$	1	1,1795	7,24	9,8066	$9,8066 \cdot 10^{7}$
costante univ. dei gas	R / K · mol	8,316 J	$2,3094 \cdot 10^{-6}$	$3,0972 \cdot 10^{-6}$	$3,14 \cdot 10^{-6}$	$1,9866 \cdot 10^{-3}$	$7,884 \cdot 10^{-3}$	$8,206 \cdot 10^{-2}$	0,8478	1	6,1324	8,316	$8,316 \cdot 10^{7}$
libbra piede	lb_f · ft	1,356 J	$3,766 \cdot 10^{-7}$	$5,0505 \cdot 10^{-7}$	$5,1203 \cdot 10^{-7}$	$3,239 \cdot 10^{-4}$	$1,285 \cdot 10^{-3}$	$1,338 \cdot 10^{-2}$	0,1381	0,16307	1	1,356	$1,356 \cdot 10^{7}$
joule	J	1N · 1 m	$2,7778 \cdot 10^{-7}$	$3,7252 \cdot 10^{-7}$	$3,7767 \cdot 10^{-7}$	$2,389 \cdot 10^{-4}$	$9,48 \cdot 10^{-4}$	$9,869 \cdot 10^{-3}$	0,10197	0,1203	0,7376	1	10^{7}
erg	erg	1 dina · 1 cm	$2,7778 \cdot 10^{-14}$	$3,7252 \cdot 10^{-14}$	$3,7767 \cdot 10^{-14}$	$2,389 \cdot 10^{-11}$	$9,48 \cdot 10^{-11}$	$9,869 \cdot 10^{-10}$	$0,10197 \cdot 10^{-7}$	$0,1203 \cdot 10^{-7}$	$0,7376 \cdot 10^{-7}$	10^{-7}	1

412
ED12.V

Bilancio indiretto

I dati che devono essere rilevati sono:

Temperatura	dei fumi dell'ambiente
Analisi	dei fumi
Portata	carico del generatore in % del carico massimo di progetto
Altri dati	caratteristiche geometriche e di progetto del generatore

Si suppongono noti i seguenti valori (combustibile nafta):

Temperatura dei fumi	$t_f = 230°C$
Temperatura ambiente	$t_a = 20°C$
Percentuale di CO_2 nei fumi	$CO_2 = 13{,}5\%$
Incombusti	trascurabili
Carico di prova	95% del carico massimo
Potenza del generatore	20 t/h ≅ 12 000 000 kcal/h ≅ 13 MW
Tipo dei generatore	a tubi d'acqua con camera di combustione completamente schermata, pressurizzato.

Il bilancio indiretto si esegue facendo i seguenti calcoli:

Valore percentuale delle perdite per calore sensibile

$$Q_{Ps} = K_s \cdot \frac{t_f - t_a}{CO_2\%} = 0{,}605 \cdot \frac{230-20}{13{,}5} = 9{,}4\%^*$$

Valore percentuale delle perdite per irraggiamento e varie valutate in base al carico ed al tipo di generatore: $Q_{Pi} + Q_{Pv} = 3\%$

Rendimento percentuale

$$\boxed{\eta = 100 - 9{,}4 - 3 = 87{,}6\%}$$

Tale valore è approssimato ma talvolta più attendibile di quello ricavato per misura diretta, per le forti possibilità di errore nelle misure delle portate e del titolo del vapore.

Applicazione numerica: Bilancio termico di un generatore di vapore

Dati di progetto

— Generatore di vapore surriscaldato, di tipo pressurizzato con economizzatore e preriscaldatore d'aria.
— vapore surriscaldato a $p_v = 43$ bar, $t_v = 450°C$
— portata o produzione di vapore $\Gamma_v = 100$ t/h = 100 000 kg/h = 27,78 kg/s
— combustibile: olio combustibile denso, $H_i = 9\,800$ kcal/kg = 41,02 MJ/kg, di composizione in massa C = 86% H = 11,5%; S = 2,5%
— portata o consumo di combustibile $\Gamma_c = 6\,950$ kg/h = 1,93 kg/s
— temperatura di preriscaldo del combustibile (a vapore): $t_c = 120°C$

*Dalla formula di Hassenstain.

Bilancio diretto

I dati che devono essere rilevati sono:

— Temperatura	dei fumi
	dell'acqua di alimento
	del combustibile (per calcoli precisi)
	dell'ambiente
	del vapore se surriscaldato
— Pressione	del vapore
— Portata	del vapore (e eventualmente dell'acqua)
	del combustibile
— Analisi	dei fumi
	del combustibile
— Altri	titolo del vapore (se non surriscaldato)

Si suppongono noti i seguenti valori:

Portata o produzione del vapore saturo secco	Γ_v	= 10 000 kg/h = 2,78 kg/s
Pressione del vapore	p_v	= 10 bar
Titolo del vapore	x	= 1 (saturo secco)
Contenuto termico o entalpia specifica del vapore	h_v	= 664 kcal/kg = 2,78 MJ/kg
Temperatura dell'acqua di alimento	t_a	= 70°C
Contenuto termico o entalpia specifica dell'acqua	h_a	= 70 kcal/kg = 293 kJ/kg
Combustibile	nafta	
Potere calorifico inferiore del combustibile	H_i	= 9 700 kcal/kg = 40,60 MJ/kg
Portata o consumo di combustibile	Γ_c	= 708 kg/h = 0,197 kg/s
Temperatura dei fumi	t_f	= 230°C
Temperatura ambiente	t_e	= 20°C
Percentuale di anidride carbonica nei fumi	CO_2	= 13,5%
Incombusti	trascurabili	

Il bilancio diretto si esegue facendo i seguenti calcoli:

Calore assorbito da un kg di vapore $h_v - h_a = 664 - 70 = 594$ kcal/kg = 2,49 MJ/kg

Potenza termica utilizzata $Q_v - Q_a = (h_v - h_a)\,\Gamma_v = 594 \cdot 10\,000 = 5\,940\,000$ kcal/h = 6,91 MW

Potenza termica spesa $Q_c = H_i \cdot \Gamma_c = 9\,700 \cdot 708 = 6\,867\,600$ kcal/h = 7,99 MW

Rendimento percentuale $\eta = \dfrac{Q_v - Q_a}{Q_c} \cdot 100 = \dfrac{5\,940\,000}{6\,867\,600} \cdot 100 = 86{,}5\%$

Valore percentuale delle perdite per calore sensibile, $Q_{P_s} = K_s \dfrac{t_f - t_e}{CO_2} = 0{,}605 \dfrac{230-20}{13{,}5} = 9{,}4\%$*

Valore percentuale delle perdite per irraggiamento e varie, valutato per differenza $Q_{P_i} + Q_{P_v} = 100 - 86{,}5 - 9{,}4 = 4{,}1\%$

*Dalla formula di Hassestein.

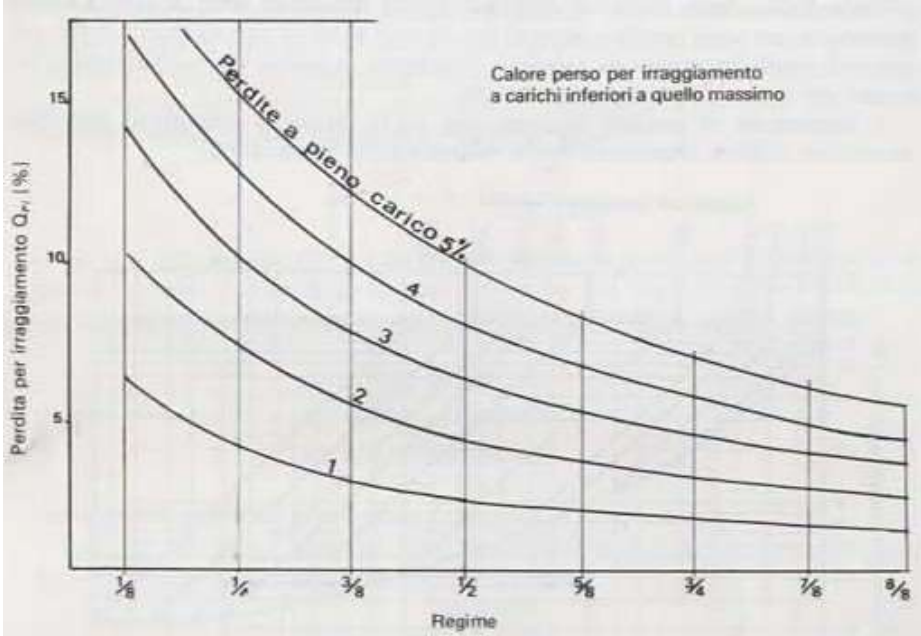


Fig. 6.12 — Perdite per irraggiamento nel funzionamento a carico ridotto in funzione del regime di carico, per alcuni valori delle perdite a pieno carico.

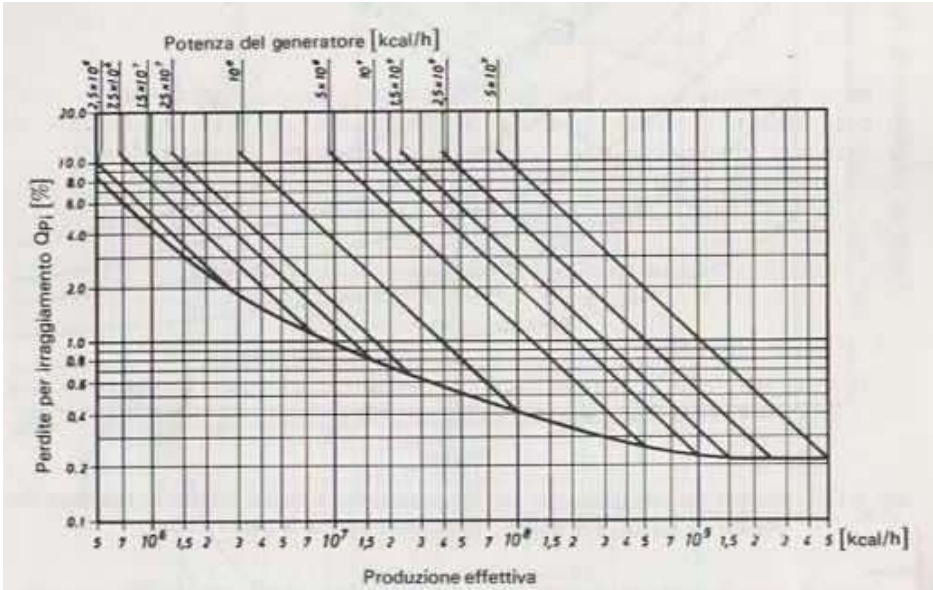


Fig. 6.11 — Perdita per irraggiamento esterno Q_{P_i}.

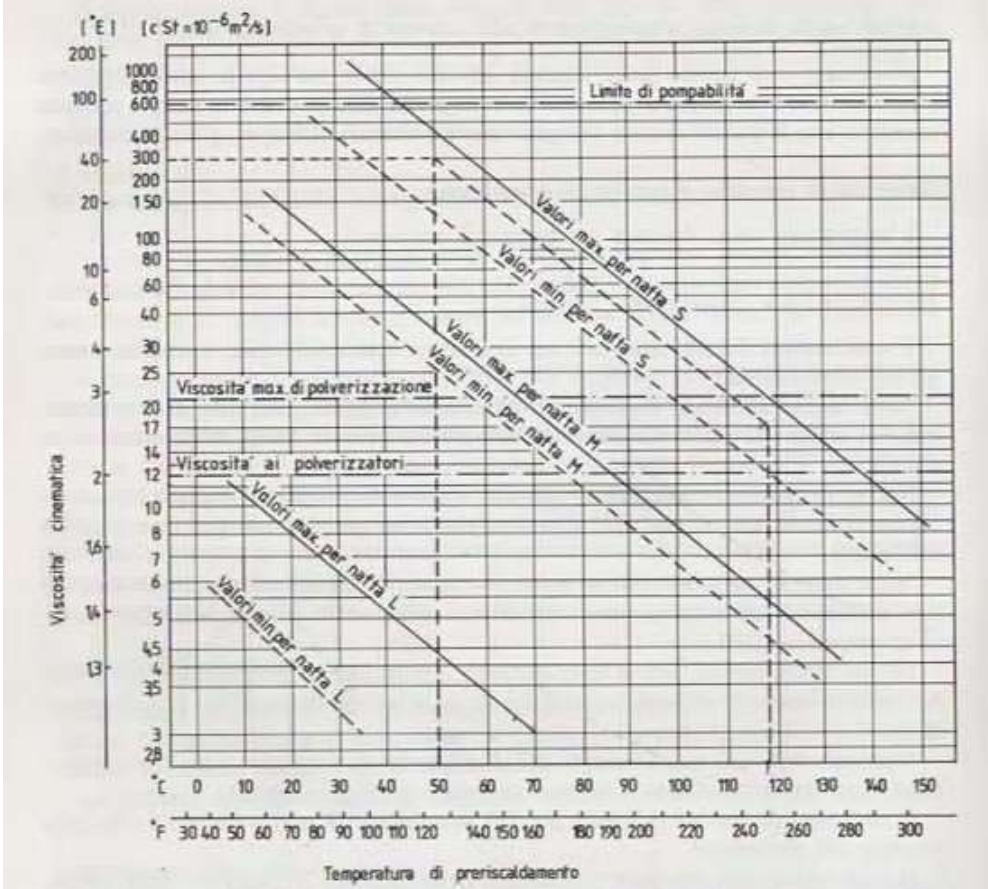
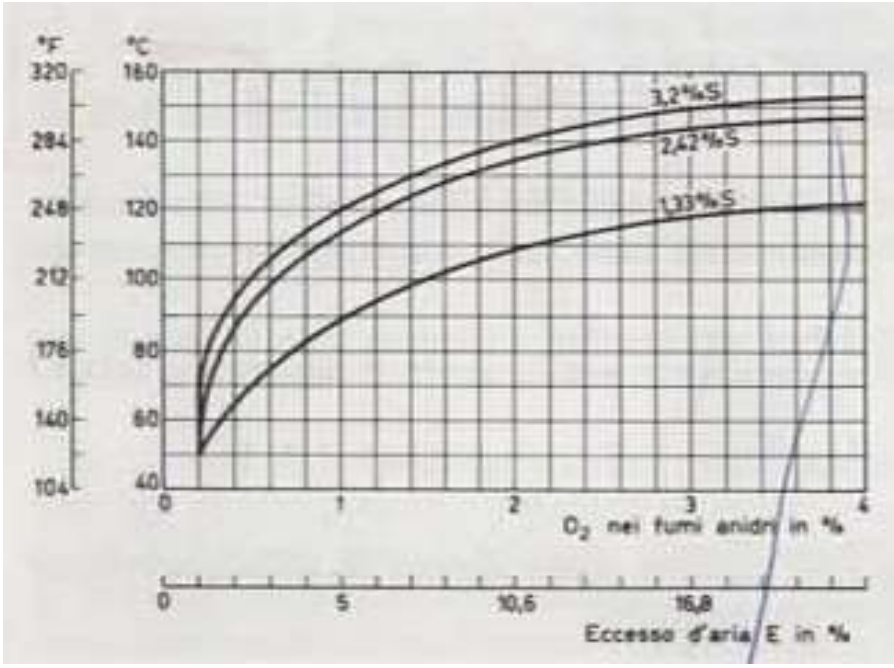
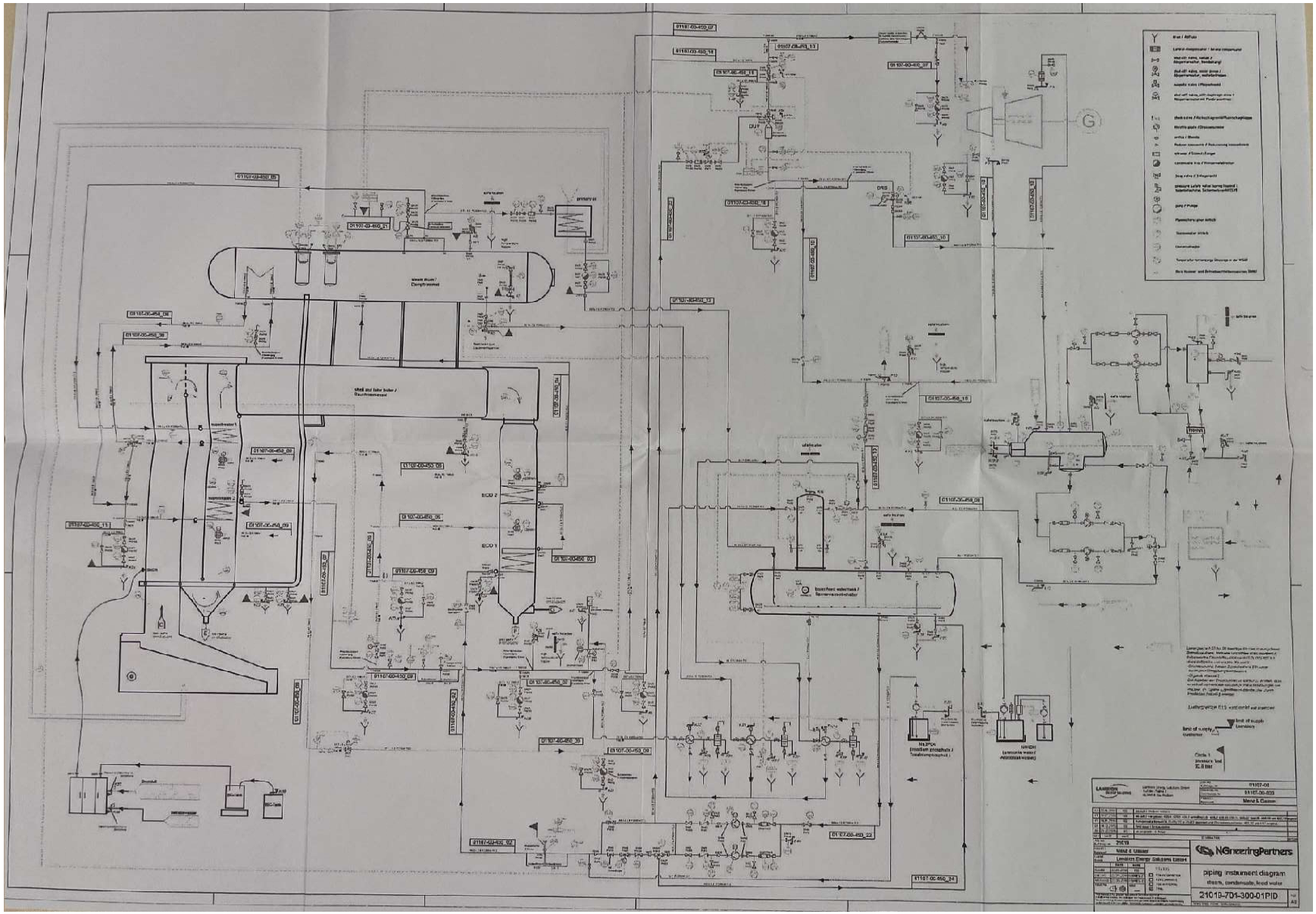


Fig. 4.10 — Variazione della viscosità con la temperatura per alcuni tipi di combustibile.

Punto di rugiada acido olio combustibile




steam drum / Dampfkessel
shell and tube boiler / Rauchrohrkessel
ECO 2
ECO 1
DRS
G
Lambion Energy Solutions GmbH
NGineeringPartners
piping instrument diagram
steam, condensate, feed water
21019-701-300-01PID
A3