

**LE POMPE DI CALORE ALLA LUCE DEL PROGETTO DI NORMA pr UNI/TS 11300-4
E DEL D.Lgs. 28/11 (RECEPIMENTO DIRETTIVA RES)**

pr UNI TS 11300-4

UTILIZZO DI ENERGIE RINNOVABILI E DI ALTRI METODI DI GENERAZIONE PER IL RISCALDAMENTO DI AMBIENTI E LA PREPARAZIONE DI ACQUA CALDA SANITARIA.

Per uniformare le informazioni sulle pompe di calore in commercio, la norma suggerisce ai produttori le condizioni di lavoro a cui fornire le prestazioni a pieno carico per solo riscaldamento o per la sola produzione di acqua calda sanitaria o per la produzione combinata.

CONDIZIONI DI RIFERIMENTO PER UNA POMPA DI CALORE PER PRODUZIONE ACQUA CALDA SANITARIA

Pompa di calore	Temperatura sorgente fredda (aria)				Temperatura pozzo caldo produzione acs ¹⁾
	7	15	20	35	
Sola produzione acs	7	15	20	35	55
1) Per almeno una delle temperature indicate. Altri dati suggeriti: 45°C, 65°C.					

CONDIZIONI DI RIFERIMENTO PER UNA POMPA DI CALORE PER SOLO RISCALDAMENTO O FUNZIONAMENTO COMBINATO

Sorgente fredda	Temperatura sorgente fredda				Temperatura pozzo caldo riscaldamento ad aria ¹⁾	Temperatura pozzo caldo riscaldamento idronico ²⁾			Temperatura pozzo caldo produzione acs ³⁾	
	-7	2	7	12	20	35	45	55	45	55
Aria	-7	2	7	12	20	35	45	55	45	55
Acqua		5	10	15	20	35	45	55	45	55
Terreno/roccia	-5	0	5	10	20	35	45	55	45	55

1) Temperatura di ripresa.
 2) Per almeno una delle temperature indicate. Altri dati suggeriti: 25°C, 65°C.
 3) Per almeno una delle temperature indicate.

COP MAX TEORICO SECONDO pr UNI-TS 11300-4 POMPE DI CALORE A COMPRESSIONE CON MOTORE ELETTRICO

$$COP_{\max} = \frac{\Theta_c + 273,15}{\Theta_c - \Theta_f}$$

Θ_c = Temperatura sorgente calda;

Θ_f = Temperatura sorgente fredda;

COP RENDIMENTO DI SECONDO PRINCIPIO "h"

$$COP = \eta \cdot \frac{\Theta_c + 273,15}{\Theta_c - \Theta_f}$$

CORREZIONE DEL COP PER TEMPERATURA DELLA SORGENTE CALDA COMPRESA TRA I VALORI DATI DAL COSTRUTTORE

$$\eta_1 = COP_1 \cdot \frac{\Theta_{c1} - \Theta_f}{\Theta_{c1} + 273,15}$$

$$\eta_2 = COP_2 \cdot \frac{\Theta_{c2} - \Theta_f}{\Theta_{c2} + 273,15}$$

RENDIMENTO SECONDO PRINCIPIO INTERPOLATO

$$\eta_x = \eta_1 + (\eta_2 - \eta_1) \cdot \frac{\Theta_{cx} - \Theta_{c1}}{\Theta_{c2} - \Theta_{c1}}$$

COP NELLE CONDIZIONI INTERMEDIE

$$COP_x = \eta_x \cdot \frac{\Theta_{cx} + 273,15}{\Theta_{cx} - \Theta_f}$$

CORREZIONE COP PER TEMPERATURE DIVERSE DA QUELLE INDICATE DAL COSTRUTTORE PER LA SORGENTE CALDA

Pompe di calore a compressione con motore elettrico

All'interno del campo fornito dal costruttore: interpolazione lineare del rendimento di secondo principio in funzione della temperatura del pozzo caldo.

Al di fuori del campo fornito dal costruttore (con scostamento massimo di 5 K): rendimento di secondo principio costante e pari al caso più vicino fornito dal costruttore.

CORREZIONE COP PER TEMPERATURE DIVERSE DA QUELLE INDICATE DAL COSTRUTTORE PER LA SORGENTE FREDDA

Pompe di calore a compressione con motore elettrico

All'interno del campo fornito dal costruttore: interpolazione lineare del rendimento di secondo principio in funzione della temperatura della sorgente.

Al di fuori del campo di dati fornito dal costruttore (con scostamento massimo di 5 K): rendimento di secondo principio costante e pari al caso più vicino fornito dal costruttore.

MODELLO MATEMATICO PER LA DETERMINAZIONE DEL COP DI UNA POMPA DI CALORE A COMPRESSIONE

$$COP = \eta \cdot \frac{\Theta_c + \Delta\Theta_{int} + 273,15}{\Theta_c + \Delta\Theta_{int} - \Theta_f + \Delta\Theta_{ext}}$$

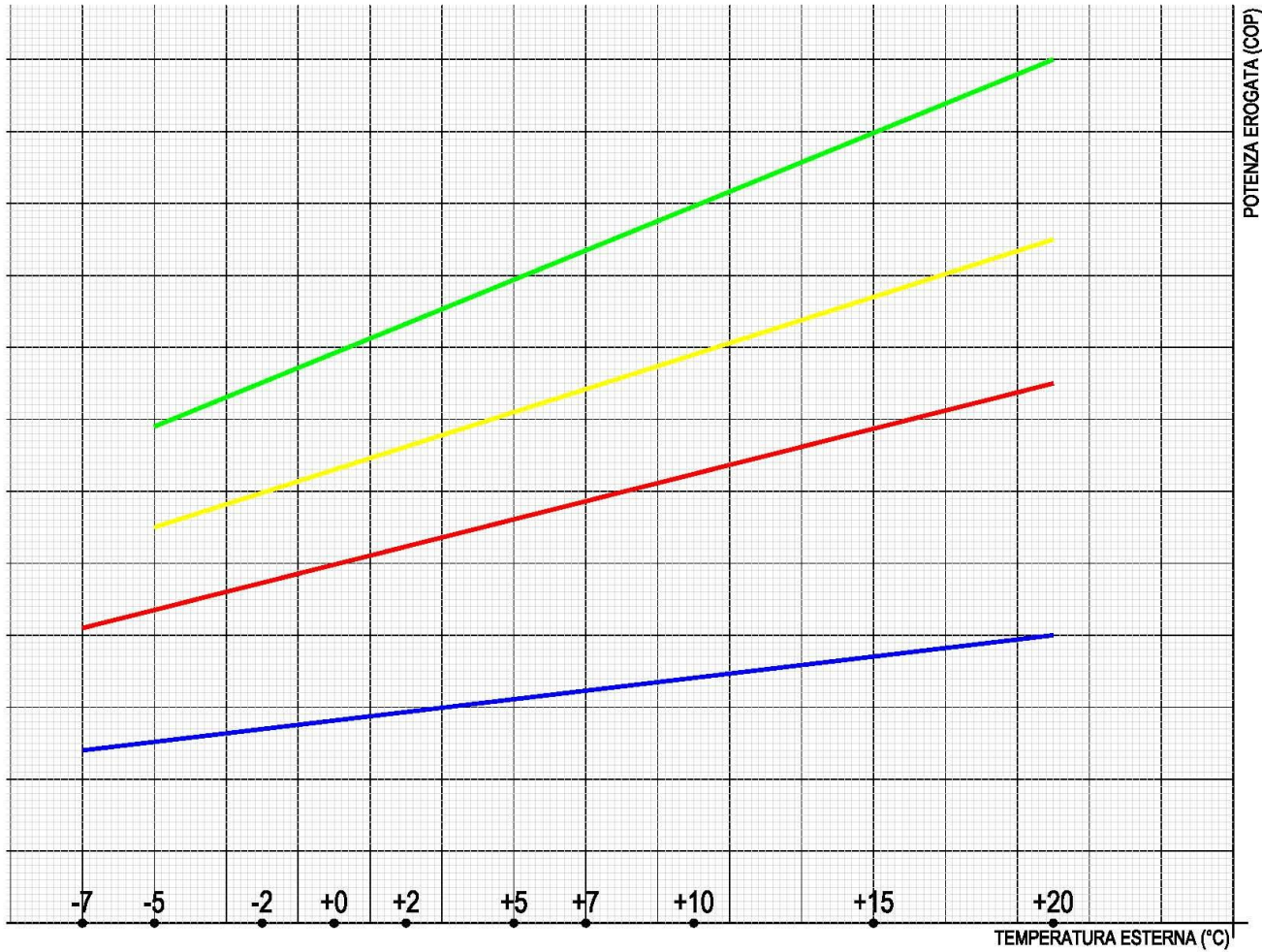
$$\eta = \frac{COP_{nom} \cdot [\Theta_{cnom} + \Delta\Theta_{int}] - \Theta_{fnom} + \Delta\Theta_{ext}}{\Theta_{nom} + \Delta\Theta_{int} + 273,15}$$

Fluido termovettore	DQ _{int}	DQ _{ext}
Aria	+5	-15
Acqua	+5	-10

COP A PIENO CARICO

POMPA di CALORE	INTERPOLAZIONE TEMPERATURA SORGENTE	TEMPERATURA ACQUA OUT	TEMPERATURA ARIA ESTERNA	COP CATALOGO	COP prUNI/TS 11300-4	COP MODELLO MATEMATICO
GALLETTI MXE21	FREDDA	40 °C	7 °C	3,74	3,42	3,46
GALLETTI MXE21	CALDA	40 °C	7 °C	3,74	3,59	3,67
GALLETTI MCP032	FREDDA	50 °C	7 °C	2,88	2,83	2,83
GALLETTI MCP032	CALDA	45 °C	7 °C	3,19	3,07	3,14
RHOSS THAEB2160	FREDDA	40 °C	7 °C	3,35	3,31	3,33
RHOSS THAEB2160	CALDA	40 °C	15 °C	3,94	3,85	3,90
CLIVET WSAN-XIN51	FREDDA	45 °C	7 °C	3,21	3,17	3,18
CLIVET WSAN-XIN51	CALDA	45 °C	7 °C	3,21	3,10	3,18
CLIVET WSAN-XEE352	FREDDA	40 °C	5 °C	3,72	3,74	3,72
CLIVET WSAN-XEE352	CALDA	40 °C	7 °C	3,90	3,89	3,93
CLIMAVENETA NECS-N352	FREDDA	40 °C	5 °C	3,58	3,55	3,56
CLIMAVENETA NECS-N352	CALDA	40 °C	7 °C	3,7	3,66	3,69
BLUE BOX TAU MAX70	FREDDA	40 °C	5 °C	3,5	3,51	3,5
BLUE BOX TAU MAX70	FREDDA	30 °C	7 °C	4,76	4,58	4,71

GRAFICO ANDAMENTO POTENZA E COP



SCALE ORDINATE

POTENZA:
PRIMA POMPA DI CALORE SCALA QUATTRO
VOLTE SUPERIORE ALLA PRIMA

COP:
PRIMA POMPA DI CALORE SCALA DUE
VOLTE SUPERIORE ALLA SECONDA

POMPA DI CALORE 1: BLUE BOX TAU MAX 50

POMPA DI CALORE 2: CLIVET W SAN - XIN 51

— = POTENZA EROGATA PDC1

— = COP PDC1

— = POTENZA EROGATA PDC2

— = COP2 PDC2

TEMPERATURA ACQUA: 45°C

FATTORI CORRETTIVI DEL COP PER FUNZIONAMENTO A CARICO RIDOTTO SECONDO pr UNI/TS 11300-4 e pr EN 14825

Quando per fissate condizioni di lavoro (Q_c , Q_f), la pompa di calore eroga una potenza (Q) superiore a quella necessaria (Q_{CR}) in quelle condizioni, le prestazioni diventano una funzione del fattore di carico CR definito da:

$$CR = \frac{Q_{CR}}{Q}$$

CR varia in funzione delle condizioni climatiche e del dimensionamento della pompa di calore.

$$COP_{CR} = f \cdot COP$$

dove:

COP_{CR} = valore del COP a carico parziale

COP = valore del COP a pieno carico

f = fattore di correzione del COP

I costruttori dovrebbero dare i valori del COP_{CR} a diverse condizioni di carico:

Fattore di carico CR = 0.88 Condizione A

Fattore di carico CR = 0.54 Condizione B

Fattore di carico CR = 0.35 Condizione C

Fattore di carico CR = 0.15 Condizione D

Noto l'andamento del fattore di correzione f per fissate condizioni dei serbatoi termici si può ritenere tale andamento valido per qualunque coppia di valori Q_c e Q_f ed ottenere il valore di f in funzione di CR mediante interpolazione lineare tra i valori forniti dal costruttore.

Se non sono dati dal costruttore i valori di f si possono ricavare da:

Pompe di calore aria/aria, antigelo/aria, acqua/aria

$$f = \frac{[-Cd \cdot (-CR)]}{Cc \cdot CR + 1 - CC}$$

Pompe di calore aria/acqua, antigelo/acqua, acqua/acqua

$$f = \frac{CR}{Cc \cdot CR + 1 - CC}$$

dove:

Cc = fattore di correzione dichiarato. In mancanza di tale dato si assume uguale a 0,9

Cd = ?

Per pompe di calore a gradini si utilizzano le stesse equazioni.

Per pompe di calore a potenza variabile in mancanza dei dati previsti da pr EN 14825, si assume un coefficiente correttivo pari ad 1 fino al fattore di carico $CR = 0,5$ (o sino al valore di modulazione se diverso da 0,5); al di sotto si procede come per le pompe di calore con regolazione ON-OFF.

ESEMPIO 1

POMPA DI CALORE BLUE-BOX TAU MAX 50

- Prestazioni a 0 C, acqua a 40 C

Potenza richiesta: 39,3 Kw

Potenza erogata PDC: 39,3 kW

Potenza assorbita PDC: 12,65 kW

$$COP = \frac{39,3}{12,65} = 3,1$$

- Prestazioni a +10 C, acqua 40 C

Potenza richiesta: 19,65 kW

Potenza erogata PDC: 48,31 kW

Potenza assorbita PDC: 12,65 kW

$$COP = \frac{48,31}{12,65} = 3,82$$

$$CR = \frac{19,65}{48,31} = 0,407$$

$$f = \frac{0,407}{0,9 \cdot 0,407 + 1 - 0,9} = 0,87$$

$$COP_{CR} = 3,82 \cdot 0,87 = 3,32$$

- Prestazioni a +15 C – acqua 40 C

$$\text{Potenza richiesta: } 36,3 \cdot \frac{20-15}{20} = 9,825 \text{ kWh}$$

Potenza erogata PDC 53,87 kW

Potenza assorbita PDC 12,66 kW

$$COP = \frac{53,87}{12,66} = 4,26$$

$$CR = \frac{9,825}{53,87} = 0,182$$

$$f = \frac{0,182}{0,9 \cdot 0,182 + 1 - 0,9} = 0,69$$

$$COP_{CR} = 4,26 \cdot 0,69 = 2,94$$

INTERVALLI DI CALCOLO PER LE POMPE DI CALORE

Sorgente fredda	Pozzo caldo		
	Aria ¹⁾	Acqua temperatura costante ^a	Acqua temperatura variabile ²⁾
Aria esterna	Bin mensili	Bin mensili	Bin mensili
Aria interna (recupero) a temperatura dipendente dalle condizioni climatiche	Bin mensili	Bin mensili	Bin mensili
Aria interna (recupero), temperatura indipendente dalle condizioni climatiche	Mese	Mese	Mese
Terreno/roccia climaticamente perturbato	Mese	Mese	Mese
Terreno/roccia climaticamente non perturbato	Mese	Mese	Mese
Acqua di mare, di fiume, di lago	Mese	Mese	Mese
Acqua di risulta e liquami di processi tecnologici	Mese	Mese	Mese
Liquami urbani	Mese	Mese	Mese

$$GH_{bin, mese} = t_{bin} \cdot (\Theta_{H, OFF} - \Theta_{bin}) \quad (\text{Gradi x ora})$$

$t_{bin, mese}$ = Somma ore nelle quali si verifica la temperatura Q_{bin} nel mese

ESEMPIO 2

$$\Sigma GH_{bin, mese} = 2500 \text{ Gradi x ora}$$

Energia da produrre nel mese: 4429 kWh

Temperatura esterna +15 C per ore 40

Temperatura esterna +12 C per ore 100

Temperatura esterna +10 C per ore 150

$$Energia, 15^{\circ}\text{C} = 4429 \cdot \frac{(20 - 15) \cdot 40}{2500} = 354,32 \text{ kWh}$$

$$Energia, 12^{\circ}\text{C} = 4429 \cdot \frac{(20 - 12) \cdot 100}{2500} = 1417,28 \text{ kWh}$$

$$Energia, 10^{\circ}\text{C} = 4429 \cdot \frac{(20 - 10) \cdot 150}{2500} = 2657,40 \text{ kWh}$$

Potenza richiesta per bin di $Q_H = +15$ C

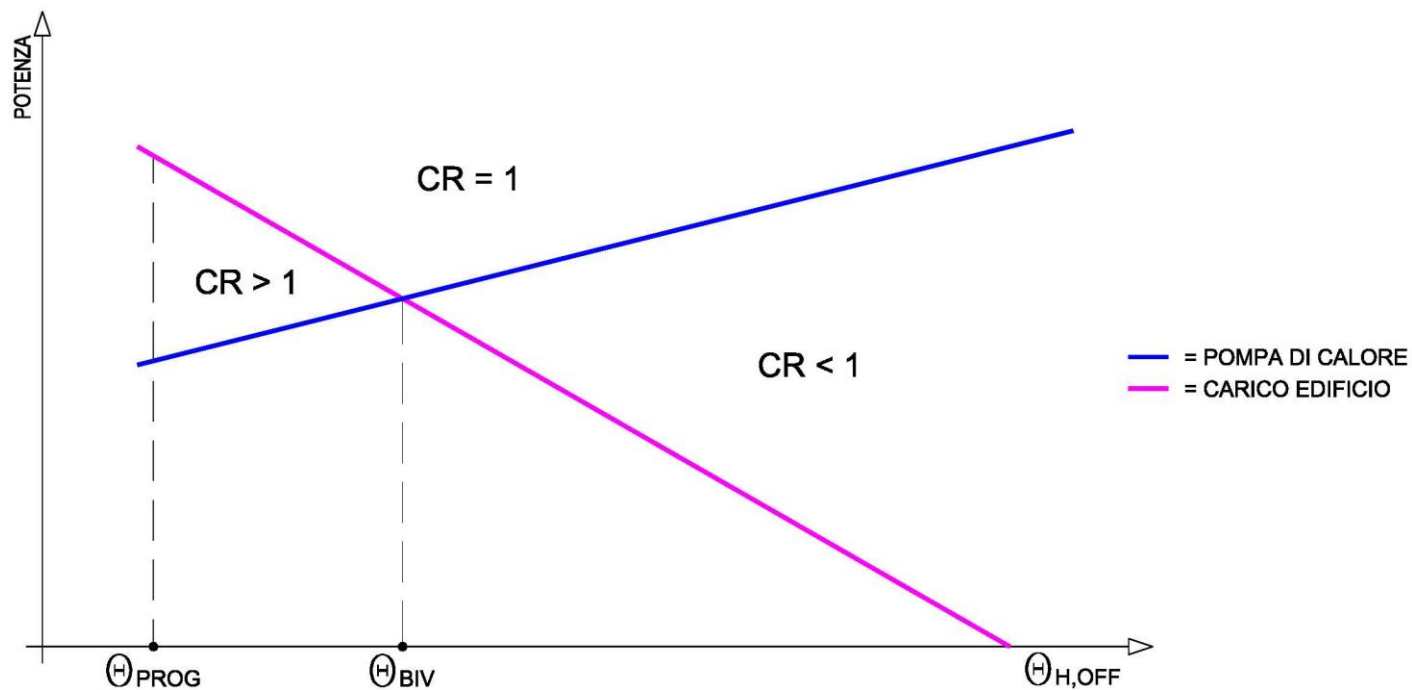
$$\frac{354,32}{40} = 8,86 \text{ kWh}$$

Potenza richiesta per bin di $Q_H = +12$ C

$$\frac{1417,28}{100} = 14,17 \text{ kWh}$$

Potenza richiesta per bin di $Q_H = +10$ C

$$\frac{2657,40}{150} = 17,72 \text{ kWh}$$



ESEMPIO 3

Si sceglie una pompa di calore in grado di far fronte al carico di punta cioè quando si verifica la temperatura esterna di progetto.

Potenza pompa di calore per $Q_{\text{PROG}} = 0 \rightarrow P_e = 35,4 \text{ kW}$

- Per $Q_H = 15 \text{ C} \rightarrow P_{R_{15}} = 8,85 \text{ kW} \rightarrow \text{COP} = 4,26$

$P_{e_{15}} = 53,87 \text{ kW}$

Fattore di carico per $Q_H = 15 \text{ C}$:

$$f = \frac{8,86}{53,87} = 0,164$$

$$\text{COP}_{15, \text{CORR}} = 4,25 \cdot \frac{0,164}{0,9 \cdot 0,164 + 1 - 0,9} = 2,82$$

$$\text{Energia consumata per temp. esterne di } 15^\circ\text{C} = \frac{\text{Energia richiesta}}{\text{COP}_{15, \text{CORR}}} = \frac{354,32}{2,82} = 125,6 \text{ kWh}$$

$$E_{\text{RES}} = 0$$

- Per $Q_H = 12 \text{ C} \rightarrow PR_{12} = 14,17 \text{ kW} \rightarrow COP = 3,99$

$$Pe_{12} = 50,53 \text{ kW}$$

Fattore di carico per $Q_H = 12 \text{ C}$:

$$f = \frac{14,17}{50,53} = 0,28$$

$$COP_{12, CORR} = 3,99 \cdot \frac{0,28}{0,9 \cdot 0,28 + 1 - 0,9} = 3,17$$

$$\text{Energia consumata per temp. esterne di } 12^\circ\text{C} = \frac{\text{Energia richiesta}}{COP_{12, CORR}} = \frac{1417,28}{3,17} = 447,1 \text{ kWh}$$

$$ERES = \text{Energia richiesta} \cdot \left(1 - \frac{1}{COP_{12, CORR}}\right) = 1417,28 \cdot \left(1 - \frac{1}{3,17}\right) = 970,19 \text{ kWh}$$

$$\%ERES = \frac{970,19}{1417,28} = 68,5\%$$

CLASSIFICAZIONE FONTI ENERGETICHE SFRUTTATE pr UNI/TS 11300-4

Fonte di energia	Tipologia fonte di energia sfruttata	Modalità di estrazione
Aria esterna	Rinnovabile "aerotermica"	Raffreddamento e deumidificazione dell'aria esterna
Aria interna	Non rinnovabile se proveniente da sistemi impieganti energie fossili, ad esclusione dell'aria di espulsione	Raffreddamento e deumidificazione dell'aria interna di espulsione in sistemi di recupero
Roccia	Rinnovabile "geotermica"	Raffreddamento del sottosuolo
Terreno	Rinnovabile "geotermica"	Raffreddamento del sottosuolo
Acqua di falda	Rinnovabile "geotermica"	Raffreddamento del sottosuolo
Acqua di mare	Rinnovabile "idrotermica"	Raffreddamento acque superficiali
Acqua di lago	Rinnovabile "idrotermica"	Raffreddamento acque superficiali
Acqua di fiume	Rinnovabile "idrotermica"	Raffreddamento acque superficiali
Acque di risulta e liquami di processi tecnologici	Non rinnovabile	Raffreddamento acque e/o liquami di processo
Liquami urbani	Assimilabile a rinnovabile	Raffreddamento liquami urbani

D.Lgs. 28/11

Nel caso di edifici nuovi ed edifici sottoposti a ristrutturazioni rilevanti di superficie utile maggiore di 1000mq deve essere assicurata la copertura del fabbisogno di energia tramite il ricorso ad energia prodotta da impianti alimentati da fonti rinnovabili del:

- 50% del consumo previsto per l'acqua calda sanitaria a partire dal 31/05/12;
- 20% del consumo previsto per la produzione di acqua calda sanitaria, il riscaldamento ed il raffrescamento quando la richiesta del pertinente titolo edilizio è presentata dal 31/05/12 al 31/12/13;
- 35% del consumo previsto per la produzione di acqua calda sanitaria, il riscaldamento ed il raffrescamento quando la richiesta del pertinente titolo edilizio è presentato dal 01/01/14 al 31/12/16;
- 50% del consumo previsto per la produzione di acqua calda sanitaria, il riscaldamento ed il raffrescamento quando la richiesta del pertinente titolo edilizio è rilasciato a partire dal 01/01/17

D.LGS. 28/11 (POMPE DI CALORE)

$$E_{RES} = E_{PDC} \cdot \left(1 - \frac{1}{S_{PF}} \right) \quad (1.1)$$

$$S_{PF} > \frac{1,15}{\eta} \quad (1.2)$$

dove:

E_{PDC} = energia prodotta dalla pompa di calore nel funzionamento invernale.

S_{PDF} = fattore di rendimento medio stagionale

η = rapporto tra la produzione totale lorda di elettricità ed il consumo di energia primaria = 0,4

CRITICITA' DEL D.LGS. 28/11

POMPE DI CALORE

- 1) Porta a risultati poco precisi, non necessariamente in accordo con l'obiettivo dell'accordo 20-20-20;
- 2) Premia le pompe di calore con efficienza mediocre;
- 3) Non considera come viene effettuata l'eventuale integrazione alle pompe di calore;
- 4) Penalizza le pompe di calore ad assorbimento e con motore endotermico;
- 5) Porta ad un calcolo erroneo della quantità di produzione dell'energia da fonte rinnovabile;
- 6) Qualunque intervento finalizzato a limitare il fabbisogno invernale può essere penalizzante;

$$REP_S = \frac{\text{Energia prodotta}}{\text{Energia primaria consumata}}$$

$$REP_S = \eta \cdot SPF_{PDC}$$

Per $SPF_{PDC} = 3 \rightarrow REP_S = 1,2$

Per $SPF_{PDC} = 4 \rightarrow REP_S = 1,6$

Per $SPF_{PDC} = 5 \rightarrow REP_S = 2,0$

	$SPF_{PDC} = 3$	$SPF_{PDC} = 4$	$SPF_{PDC} = 5$
% RINNOVABILI	67%	75%	80%
INCREMENTO E_{RES} % RISPETTO A $SPF = 3$	/	13%	20%
RISPARMIO ENERGIA PRIMARIA RISPETTO A $SPF = 3$	/	33%	66%

CONSIDERANDO SPF MEDIO STAGIONALE SI POSSONO COMMITTERE ERRORI NELLA STIMA DELLA E_{RES} TANTO IN PIÙ QUANTO IN MENO

ESEMPIO 1

1000 kW con COP = 2 → Consumo 500 kWh

1000 kW con COP = 4 → Consumo 250 kWh

$$\frac{2000}{750} = 2,66 < 2,875 \rightarrow E_{RES} = 0$$

$$E_{RES} = 1000 \cdot \left(1 - \frac{1}{4}\right) = 750 \text{ kWh}$$

$$\%E_{RES} = \frac{750}{2000} = 37,5\%$$

ESEMPIO 2

750 kW con COP = 2

1250 kW con COP = 4

$$\frac{1250}{4} + \frac{750}{2} = 687,5 \text{ kWh}$$

$$SPF_{PDC} = \frac{2000}{687,5} = 2,91$$

$$E_{RES} = 2000 \cdot \left(1 - \frac{1}{2,91}\right) = 1313 \text{ kWh}$$

$$\%E_{RES} = \frac{1313}{2000} = 65,65\%$$

se si considera di scartare come richiesto dal D.M. COP < 2,875

$$E_{RES} = 1250 \cdot \left(1 - \frac{1}{4}\right) = 937,5 \text{ kWh}$$

$$\%E_{RES} = \frac{937,5}{2000} = 46,87\%$$

SONO PENALIZZATE LE POMPE DI CALORE ALIMENTATE CON ALTRI COMBUSTIBILI

ESEMPIO 3

- Produzione di 100000 kWh effettuata con pompa di calore elettrica SPF = 4, REP = SPF x η = 1,6

$$E_{RES} = 100000 \cdot \left(1 - \frac{1}{4}\right) = 75000 \text{ kWh}$$

- Produzione di 100000 kWh con pompa di calore con motore endotermico a gas REP = 1,7 per la quale non si deve rispettare il valore della (1.2)

$$E_{RES} = 100000 \cdot \left(1 - \frac{1}{1,7}\right) = 41175 \text{ kWh}$$

PROBLEMA IMPIANTI MISTI

ESEMPIO 4

CASO 1 → Pompa di calore integrata con resistenza elettrica;

CASO 2 → Pompa di calore integrata con caldaia a gas con rendimento del 105% sul P.C.I.;

CASO 3 → Pompa di calore integrata con caldaia (vedi caso 2), la caldaia funziona fino a quando $COP = 2,6$ valore corrispondente a $REP = 1,05$ della caldaia;

CASO 4 → Solo pompa di calore di taglia maggiore

Temperatura [°C]	Numero ore	Potenza richiesta [kW]	Potenza PdC [kW]	COP	Energia richiesta [kWh]
-5	35	125	72,4	1,86	4.375
-4	60	120	75,5	1,89	7.200
-3	85	115	76,7	1,97	9.775
-2	145	110	78,9	2,09	15.950
-1	194	105	81,0	2,25	20.370
0	224	100	83,2	2,48	22.400
1	261	95	85,4	2,68	24.795
2	271	90	87,5	2,84	24.390
3	285	85	85	2,98	24.225
4	297	80	80	3,10	23.760
5	302	75	75	3,21	22.650
6	280	70	70	3,30	19.600
7	275	65	65	3,39	17.875
8	270	60	60	3,45	16.200
9	256	55	55	3,51	14.080
10	251	50	50	3,54	12.550
11	225	45	45	3,57	10.125
12	211	40	40	3,59	8.440
13	187	35	35	3,60	6.545
14	153	30	30	3,58	4.590
15	130	25	25	3,58	3.250
16	113	20	20	3,54	2.260
17	101	15	15	3,50	1.515
18	88	10	10	3,45	880
19	89	5	5	3,38	445
20	77	0	0	3,31	0
	4.865				318.245

T [°C]	Caso 1: integrazione con resistenza elettrica			Caso 2: integrazione con caldaia			Caso 3: caldaia in produzione totale quando COP <2,6			Caso 4: solo PdC	
	PdC [kWh]	resistenza elettrica [kWh]	REP	PdC [kWh]	caldaia [kWh]	REP	PdC [kWh]	caldaia [kWh]	REP	PdC [kWh]	REP
-5	2.532	1.843	0,55	2.532	1.843	0,87	0	4.375	1,05	4.375	0,74
-4	4.472	2.728	0,57	4.472	2.728	0,87	0	7.200	1,05	7.200	0,76
-3	6.519	3.256	0,60	6.519	3.256	0,87	0	9.775	1,05	9.775	0,79
-2	11.436	4.514	0,64	11.436	4.514	0,90	0	15.950	1,05	15.950	0,83
-1	15.721	4.649	0,70	15.721	4.649	0,94	0	20.370	1,05	20.370	0,90
0	18.639	3.761	0,79	18.639	3.761	1,00	0	22.400	1,05	22.400	0,99
1	22.284	2.511	0,92	22.284	2.511	1,07	22.284	2.511	1,05	24.795	1,07
2	23.726	664	1,08	23.726	664	1,13	23.726	664	1,13	24.390	1,14
3	24.225	0	1,19	24.225	0	1,19	24.225	0	1,19	24.225	1,19
4	23.760	0	1,24	23.760	0	1,24	23.760	0	1,24	23.760	1,24
5	22.650	0	1,28	22.650	0	1,28	22.650	0	1,28	22.650	1,28
6	19.600	0	1,32	19.600	0	1,32	19.600	0	1,32	19.600	1,32
7	17.875	0	1,35	17.875	0	1,35	17.875	0	1,35	17.875	1,35
8	16.200	0	1,38	16.200	0	1,38	16.200	0	1,38	16.200	1,38
9	14.080	0	1,40	14.080	0	1,40	14.080	0	1,40	14.080	1,40
10	12.550	0	1,42	12.550	0	1,42	12.550	0	1,42	12.550	1,42
11	10.125	0	1,43	10.125	0	1,43	10.125	0	1,43	10.125	1,43
12	8.440	0	1,44	8.440	0	1,44	8.440	0	1,44	8.440	1,44
13	6.545	0	1,44	6.545	0	1,44	6.545	0	1,44	6.545	1,44
14	4.590	0	1,43	4.590	0	1,43	4.590	0	1,43	4.590	1,43
15	3.250	0	1,43	3.250	0	1,43	3.250	0	1,43	3.250	1,43
16	2.260	0	1,42	2.260	0	1,42	2.260	0	1,42	2.260	1,42
17	1.515	0	1,40	1.515	0	1,40	1.515	0	1,40	1.515	1,40
18	880	0	1,38	880	0	1,38	880	0	1,38	880	1,38
19	445	0	1,35	445	0	1,35	445	0	1,35	445	1,35
20	0	0	0,00	0	0	0,00	0	0	0,00	0	1,32
	294.320	23.925		294.320	23.925		235.000	83.245		318.245	

	SPF_{PdC}	REP sistema	Energia prodotta da fonte rinnovabile [kWh]	Percentuale sul totale
Caso 1	2,92	1,022	193.657	60,9%
Caso 2	2,92	1,163	193.657	60,9%
Caso 3	3,19	1,206	161.349	50,7%
Caso 4	2,85	1,140	0	0,0%

METODO AICARR

Consente di utilizzare comunque il valore di SPF, ma anche di premiare i sistemi che consumano meno energia primaria.

$$E_{RES} = E_{TOT} \cdot \left(1 - \frac{1}{SPF_{SIST}} \right) = E_{TOT} \cdot \left(1 - \frac{\eta}{REP_{S, SIST}} \right) \quad (1.3)$$

$$REP_{S, SIST} = SPF_{SIST} \cdot \eta \quad (1.4)$$

Valore minimo si $SPF_{SIST} = 2,5$ a cui corrispondere $REP_{S, SIST} = 1,0$; valore inferiore al limite 1,15 al di sopra del quale secondo D.Lgs. 28/11 si ha produzione di energia rinnovabile.

Tale valore è giustificato dal fatto che:

- In un calcolo medio stagionale si considerano contemporaneamente condizioni in cui c'è produzione di energia rinnovabile e condizioni in cui ciò non avviene;
- Il valore $REP_{S, SIST} = 1$ corrisponde a quello di una caldaia a condensazione di discreta qualità, quindi imporre tale limite significa non considerare l'energia rinnovabile di sistemi che consumano più energia primaria di una caldaia a condensazione

ESEMPIO 5 (vedi esempio 3)

- Produzione di 100000 kWh effettuata con pompa di calore elettrica SPF = 4, REP = SPF x η = 1,6

$$E_{RES} = 100000 \cdot \left(1 - \frac{0,4}{1,6}\right) = 75000 \text{ kWh}$$

- Produzione di 100000 kWh con pompa di calore con motore endotermico a gas REP = 1,7 per la quale non si deve rispettare il valore della (1.2)

$$E_{RES} = 100000 \cdot \left(1 - \frac{0,4}{1,7}\right) = 76470 \text{ kWh}$$

ESEMPIO 6 (vedi esempio 4)

Applicando la (1.3) i sistemi con REP_S maggiori sono premiati

	Energia richiesta [kWh]	REP_S	$SPF_{C\ Sist}$	Metodo AiCARR		D.Lgs. 28/11	
				Energia da fonti rinnovabili [kWh]	% su totale	Energia da fonti rinnovabili [kWh]	% su totale
Caso 1	318.245	1,022	2,55	193.657	60,9%	193.657	60,9%
Caso 2	318.245	1,163	2,91	208.812	65,6%	193.657	60,9%
Caso 3	318.245	1,206	3,02	212.716	66,8%	161.349	50,7%
Caso 4	318.245	1,140	2,85	206.580	64,9%	0	0,0%

ESEMPIO 7

- Fabbisogno di 100000 kWh per riscaldamento e produzione acqua calda sanitaria

- Fabbisogno di 50000 kWh per raffrescamento

Pompa di calore con $SPF_{PDC} = 4$

$$E_{RES} = 100000 \cdot \left(1 - \frac{1}{4}\right) = 75000 \text{ kWh}$$

$$\%E_{RES} = \frac{75000}{150000} = 50\%$$

Soddisfatto limite al 2017 (50% del totale)

- Intervento sull'involucro tale da ridurre il fabbisogno invernale di 28000 kWh ed estivo di 5000 kWh

Fabbisogno annuo = 150000 – 28000 – 5000 = 117000 kWh

$$E_{RES} = 72000 \cdot \left(1 - \frac{1}{4}\right) = 54000 \text{ kWh}$$

$$\%E_{RES} = \frac{54000}{117000} = 46\%$$

VALORI PUNTUALI E VALORI MEDI

Effettuare i calcoli sul valore di SPF_{PDC} medio stagionale e cioè come rapporto tra l'energia prodotta annualmente e l'energia consumata annualmente può portare ad errori. In questa seconda parte vengono messi in evidenza tali errori.

Ciò vale per le pompe di calore, per il recupero di calore dall'aria espulsa, il free-cooling ed il recupero di calore di condensazione.

$$\sum_h E_{RES,h} = \sum_h \left[E_{TOT,h} \left(1 - \frac{1}{SPF_{C,SIST,h}} \right) \right] = \quad (2.1)$$

ESEMPIO 8

A partire dagli esempi 4 e 6, si calcoli la quantità di energia da fonte rinnovabile tramite la (2.1) e si confrontino i risultati ottenuti con la (1.1) e la (1.3).

Temperatura	Caso 1		Caso 2		Caso 3		Caso 4	
	REP	E_{RES} (2.1)	REP	E_{RES} (2.1)	REP	E_{RES} (2.1)	REP	E_{RES} (2.1)
-5	0,55	0	0,87	0	1,05	0	0,74	0
-4	0,57	0	0,87	0	1,05	0	0,76	0
-3	0,60	0	0,87	0	1,05	0	0,79	0
-2	0,64	0	0,90	0	1,05	0	0,83	0
-1	0,70	0	0,94	0	1,05	0	0,90	0
0	0,79	0	1,00	0	1,05	0	0,99	0
1	0,92	0	1,07	0	1,05	0	1,07	0
2	1,08	0	1,13	0	1,13	0	1,14	0
3	1,19	16.096	1,19	16.096	1,192	16.096	1,192	16.096
4	1,24	16.094	1,24	16.094	1,24	16.094	1,24	16.094
5	1,28	15.589	1,28	15.589	1,28	15.589	1,28	15.589
6	1,32	13.668	1,32	13.668	1,32	13.668	1,32	13.668
7	1,35	12.597	1,35	12.597	1,35	12.597	1,35	12.597
8	1,38	11.510	1,38	11.510	1,38	11.510	1,38	11.510
9	1,40	10.064	1,40	10.064	1,40	10.064	1,40	10.064
10	1,42	9.006	1,42	9.006	1,42	9.006	1,42	9.006
11	1,43	7.289	1,43	7.289	1,43	7.289	1,43	7.289
12	1,44	6.090	1,44	6.090	1,44	6.090	1,44	6.090
13	1,44	4.726	1,44	4.726	1,44	4.726	1,44	4.726
14	1,43	3.308	1,43	3.308	1,43	3.308	1,43	3.308
15	1,43	2.342	1,43	2.342	1,43	2.342	1,43	2.342
16	1,42	1.622	1,42	1.622	1,42	1.622	1,42	1.622
17	1,40	1.082	1,40	1.082	1,40	1.082	1,40	1.082
18	1,38	625	1,38	625	1,38	625	1,38	625
19	1,35	313	1,35	313	1,35	313	1,35	313
20	0,00	0	0,00	0	0,00	0	1,32	0
		132.020		132.020		132.020		132.020

	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4
Energia prodotta da fonte rinnovabile calcolata con la (1.1) [kWh]	193.657	193.657	161.349	0
percentuale su totale	60,9%	60,9%	50,7%	0,0%
Energia prodotta da fonte rinnovabile calcolata con la (1.3) [kWh]	193.657	208.812	212.716	206.580
percentuale su totale	60,9%	65,6%	66,8%	64,9%
Energia prodotta da fonte rinnovabile calcolata con la (2.1) [kWh]	132.020	132.020	132.020	132.020
percentuale su totale	41,5%	41,5%	41,5%	41,5%

I risultati dimostrano che ancora una volta utilizzando la 1.1 e SPF medio stagionale sussistono problemi legati all'uso della 1.1; tutti e quattro casi presentano la stessa percentuale di energia rinnovabile.

ESEMPIO 9

Si prende in considerazione il caso 3 dell'esempio 8 e cioè pompa di calore integrata da caldaia.

La pompa di calore di potenza maggiore rispetto al caso 3 (e miglior COP) è ferma quando COP è inferiore a 2,625 ovvero $REP \leq 1,05$

	Caso 3: versione precedente			Caso 3: versione migliorata				
	COP	REP	E_{RES} [kWh]	COP	REP	Energia da caldaia [kWh]	Energia da PdC [kWh]	E_{RES} [kWh]
-5	1,86	1,05	0	2,24	1,05	4.375	0	0
-4	1,89	1,05	0	2,28	1,05	7.200	0	0
-3	1,97	1,05	0	2,37	1,05	9.775	0	0
-2	2,09	1,05	0	2,51	1,05	15.950	0	0
-1	2,25	1,05	0	2,72	1,09	0	20.370	12.870
0	2,48	1,05	0	2,99	1,19	0	22.400	14.902
1	2,68	1,05	0	3,23	1,29	0	24.795	17.110
2	2,84	1,13	0	3,42	1,37	0	24.390	17.259
3	2,98	1,19	16.096	3,59	1,44	0	24.225	17.479
4	3,1	1,24	16.094	3,73	1,49	0	23.760	17.398
5	3,21	1,28	15.589	3,87	1,55	0	22.650	16.790
6	3,3	1,32	13.668	3,98	1,59	0	19.600	14.677
7	3,39	1,35	12.597	4,08	1,63	0	17.875	13.495
8	3,45	1,38	11.510	4,16	1,67	0	16.200	12.308
9	3,51	1,4	10.064	4,22	1,69	0	14.080	10.747
10	3,54	1,42	9.006	4,27	1,71	0	12.550	9.609
11	3,57	1,43	7.289	4,30	1,72	0	10.125	7.771
12	3,59	1,44	6.090	4,33	1,73	0	8.440	6.490
13	3,6	1,44	4.726	4,34	1,73	0	6.545	5.035
14	3,58	1,43	3.308	4,31	1,73	0	4.590	3.526
15	3,58	1,43	2.342	4,31	1,72	0	3.250	2.496
16	3,54	1,42	1.622	4,27	1,71	0	2.260	1.730
17	3,5	1,4	1.082	4,22	1,69	0	1.515	1.156
18	3,45	1,38	625	4,15	1,66	0	880	668
19	3,38	1,35	313	4,07	1,63	0	445	336
20	3,31	0	0	3,99	1,60	0	0	0
			132.020 41,5%					190.983 60,0%

PENALIZZAZIONE DELLE CONDIZIONI CON REP < 1

Il metodo calcolato nel paragrafo precedente permette di determinare l'esatto valore dell'energia rinnovabile prodotta per ogni singolo sistema.

Ha comunque il limite di non considerare come l'energia viene prodotta al di sotto della soglia minima di REP pari ad 1,15.

Se si considera che una caldaia a condensazione di discreta qualità ha REP = 1, è evidente che scendere sotto tale valore significa produrre energia in modo inefficiente.

$$E_{RES, DIR} = \sum_h E_{TOT, H} \cdot \left(-REP_H \right) \quad (2.2)$$

$$E_{RES, TOT} = E_{RES} - E_{RES, DIR} \quad (2.3)$$

dove E_{RES} è calcolato con la (2.1)

ESEMPIO 10 (vedi esempio 4)

T [°C]	Energia prodotta [kWh]	Caso 1		Caso 2		Caso 3		Caso 4	
		E_{RES} [kWh]	$E_{RES,dtr}$ [kWh]	E_{RES} [kWh]	$E_{RES,dtr}$ [kWh]	E_{RES} [kWh]	$E_{RES,dtr}$ [kWh]	E_{RES} [kWh]	$E_{RES,dtr}$ [kWh]
-5	4.375	0	1.988	0	560	0	0	0	1.127
-4	7.200	0	3.127	0	949	0	0	0	1.748
-3	9.775	0	3.955	0	1.223	0	0	0	2.077
-2	15.950	0	5.768	0	1.664	0	0	0	2.636
-1	20.370	0	6.091	0	1.316	0	0	0	2.006
0	22.400	0	4.606	0	0	0	0	0	186
1	24.795	0	2.095	0	0	0	0	0	0
2	24.390	0	0	0	0	0	0	0	0
3	24.225	16.096	0	16.096	0	16.096	0	16.096	0
4	23.760	16.094	0	16.094	0	16.094	0	16.094	0
5	22.650	15.589	0	15.589	0	15.589	0	15.589	0
6	19.600	13.668	0	13.668	0	13.668	0	13.668	0
7	17.875	12.597	0	12.597	0	12.597	0	12.597	0
8	16.200	11.510	0	11.510	0	11.510	0	11.510	0
9	14.080	10.064	0	10.064	0	10.064	0	10.064	0
10	12.550	9.006	0	9.006	0	9.006	0	9.006	0
11	10.125	7.289	0	7.289	0	7.289	0	7.289	0
12	8.440	6.090	0	6.090	0	6.090	0	6.090	0
13	6.545	4.726	0	4.726	0	4.726	0	4.726	0
14	4.590	3.308	0	3.308	0	3.308	0	3.308	0
15	3.250	2.342	0	2.342	0	2.342	0	2.342	0
16	2.260	1.622	0	1.622	0	1.622	0	1.622	0
17	1.515	1.082	0	1.082	0	1.082	0	1.082	0
18	880	625	0	625	0	625	0	625	0
19	445	313	0	313	0	313	0	313	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Totali [kWh]	318.245	132.020	27.629	132.020	5.712	132.020	0	132.020	9.780
$E_{RES,TOT}$ [kWh]		104.391		126.309		132.020		122.241	
percentuale su totale		32,8%		39,7%		41,5%		38,4%	

SUPERAMENTO DELL'APPIATTIMENTO DELLA PERCENTUALE DELL'ENERGIA PRODOTTA DA FONTE RINNOVABILE PER VALORI ELEVATI DI SPF_{PDC}

L'appiattimento della percentuale di energia da fonte rinnovabile per elevati valori di SPF_{PDC} è una delle maggiori criticità del D.Lgs. 28/11 perché premia la mediocrità e non l'eccellenza.

ESEMPIO 11

Si parte dal caso 4 dell'esempio 8 e si sostituisce la pompa di calore con $SPF_{PDC} = 2,86$ una pompa di calore con $SPF_{PDC} = 3$ ed una pompa di calore con $SPF_{PDC} = 5$

	D.Lgs. 28/11 equazione (1.1)		Metodo AiCARR con calcolo puntuale corretto equazione (2.3)	
	E_{RES} [kWh]	% su totale	E_{RES} [kWh]	% su totale
$SPF_{PdC} = 2,86$	0	0,0%	122.241	38,4%
$SPF_{PdC} = 3$	212.163	66,7%	143.636	45,1%
$SPF_{PdC} = 5$	254.596	80,0%	254.596	80,0%

T (°C)	Energia Prodotta (kWh)	SPF _{PDC} = 2,86				SPF _{PDC} = 3				SPF _{PDC} = 5			
		REP	SPF _{C,SIST,h}	E _{RES} (kWh)	E _{RES dtr} (kWh)	REP	SPF _{C,SIST,h}	E _{RES} (kWh)	E _{RES dtr} (kWh)	REP	SPF _{C,SIST,h}	E _{RES} (kWh)	E _{RES dtr} (kWh)
-5	4.375	0,74	1,86	0	1.127	0,78	1,95	0	968	1,30	3,24	3.027	0
-4	7.200	0,76	1,89	0	1.748	0,79	1,99	0	1.481	1,32	3,31	5.024	0
-3	9.775	0,79	1,97	0	2.077	0,83	2,07	0	1.700	1,38	3,44	6.941	0
-2	15.950	0,83	2,09	0	2.636	0,88	2,19	0	1.984	1,46	3,65	11.588	0
-1	20.370	0,9	2,25	0	2.006	0,95	2,36	0	1.107	1,58	3,94	15.214	0
0	22.400	0,99	2,48	0	186	1,04	2,60	0	0	1,73	4,33	17.247	0
1	24.795	1,07	2,68	0	0	1,12	2,81	0	0	1,87	4,68	19.515	0
2	24.390	1,14	2,84	0	0	1,19	2,98	16.198	0	1,98	4,96	19.492	0
3	24.225	1,19	2,98	16.096	0	1,25	3,13	16.476	0	2,08	5,21	19.592	0
4	23.760	1,24	3,10	16.094	0	1,30	3,25	16.452	0	2,17	5,42	19.392	0
5	22.650	1,28	3,21	15.589	0	1,35	3,36	15.919	0	2,24	5,61	18.628	0
6	19.600	1,32	3,30	13.668	0	1,39	3,47	13.945	0	2,31	5,78	16.221	0
7	17.875	1,35	3,39	12.597	0	1,42	3,55	12.843	0	2,37	5,92	14.869	0
8	16.200	1,38	3,45	11.510	0	1,45	3,62	11.729	0	2,42	6,04	13.529	0
9	14.080	1,40	3,51	10.064	0	1,47	3,68	10.252	0	2,45	6,13	11.793	0
10	12.550	1,42	3,54	9.006	0	1,49	3,71	9.171	0	2,48	6,19	10.532	0
11	10.125	1,43	3,57	7.289	0	1,50	3,74	7.421	0	2,50	6,24	8.510	0
12	8.440	1,44	3,59	6.090	0	1,51	3,77	6.199	0	2,51	6,28	7.102	0
13	6.545	1,44	3,60	4.726	0	1,51	3,77	4.811	0	2,52	6,29	5.509	0
14	4.590	1,43	3,58	3.308	0	1,50	3,76	3.368	0	2,50	6,26	3.860	0
15	3.250	1,43	3,58	2.342	0	1,50	3,75	2.384	0	2,50	6,25	2.733	0
16	2.260	1,42	3,54	1.622	0	1,49	3,72	1.652	0	2,48	6,19	1.897	0
17	1.515	1,40	3,50	1.082	0	1,47	3,67	1.102	0	2,45	6,12	1.268	0
18	880	1,38	3,45	625	0	1,45	3,62	637	0	2,41	6,03	735	0
19	445	1,35	3,38	313	0	1,42	3,54	319	0	2,36	5,91	370	0
20	0	1,32	3,31	0	0	1,39		0	0	2,31	5,79	0	0

TOTALE	318.245
--------	---------

132.021	9.780
---------	-------

150.878	7.240
---------	-------

254.596	0
---------	---

E _{RES,TOT}

122.241

143.636

254.596
