

Determinazione del calore specifico dell'alluminio con il calorimetro di Regnault

Oggetto della prova

L'oggetto della prova è di misurare la capacità termica ed il calore specifico di una massa di alluminio grazie all'uso del calorimetro di Regnault. Come nelle precedenti prove acquisito o calcolato il risultato voluto si procede sempre, parallelamente, al calcolo degli errori che decreteranno la riuscita dell'esperimento stesso.

Cenni teorici

Premessa la teoria illustrata già ampiamente nelle due precedenti relazioni passiamo direttamente all'analisi dello strumento utilizzato per l'esperimento e delle leggi fisiche che esso chiama in gioco in questa esperienza.

Il calorimetro anzitutto si presenta come un sistema considerabile isolato, o meglio, i cui scambi di energia tra interno ed esterno sono trascurabili per le misurazioni da effettuarsi data la bassa tolleranza degli strumenti utilizzati e le modalità d'esecuzione (che saranno rapide).

Fatta questa premessa possiamo ora considerare in linea teorica il funzionamento di tale strumento: il sistema di base è costituito da un recipiente isolato, da un liquido (che farà da mezzo di trasmissione del calore e da massa che accumulerà tale calore) e da un mescolatore per favorire lo scambio di calore tra i corpi; aggiungendo ora al sistema un corpo – solido o liquido – di temperatura differente il sistema intero (monitorato per mezzo di un termometro) farà variare la temperatura del liquido del calorimetro (scambiando una quantità di calore precisa) e, dopo un certo periodo, essa si stabilizzerà su un valore che teoricamente rimarrà costante, la temperatura di equilibrio del sistema o temperatura ambiente.

Nello specifico andremo a calcolare la capacità termica, definita in con il rapporto tra calore e una differenza di temperatura:

$$C = \frac{Q}{\Delta t}$$

E il calore specifico, rapporto tra capacità termica e massa:

$$c = \frac{C}{m}$$

Basandoci su ciò si può considerare, dato il sistema isolato, che la quantità di calore che il corpo più caldo cede sarà assorbita dal corpo più freddo, da cui ricaviamo la capacità termica di un oggetto:

$$C_x(T_{eq} - T_1) = C_{ca}(T_2 - T_{eq}) \text{ con } C_{ca} = C_c + C_a$$

In maniera del tutto simile si può ricavare la capacità termica del calorimetro (in cui C_{ca} diventa semplicemente C_a). Da qui si ricava, conoscendo il calore specifico dell'acqua, il calore specifico dell'oggetto in esame, pari a:

$$c_x = \frac{C_a + C_c}{M_x} \cdot \frac{(T_{eq} - T_1)}{(T_2 - T_{eq})}$$

Riprendendo la teoria degli errori vista le volte precedenti e proposta nella dispensa teorica fornitaci arriviamo a definire l'errore relativo alla capacità termica del corpo analizzato, della capacità termica del calorimetro e del calorimetro pieno d'acqua.

Considerando quindi le variabili indipendenti utilizzate per il calcolo della capacità termica dell'oggetto in esame si arriva a ricavare l'errore del risultato:

$$r(C_x) \leq r(C_{cp}) + \left| \frac{T_2 - T_1}{(T_2 - T_{eq})(T_{eq} - T_1)} \right| \varepsilon(T_{eq}) + \left| \frac{1}{T_{eq} - T_1} \right| \varepsilon(T_1) + \left| \frac{1}{T_2 - T_{eq}} \right| \varepsilon(T_2)$$

Sapendo l'errore ε di sensibilità dello strumento utilizzato e considerando l'errore di calcolo del calorimetro pieno siamo dunque in grado di arrivare al risultato.

Analogamente si procederà per il calcolo d'errore assoluto del calorimetro pieno, quindi dell'errore relativo su C_x , obiettivo dell'esperienza.

Misure ed elaborazione dati

Per lo svolgimento della prova il gruppo si è servito dei seguenti strumenti:

- recipiente resistente al calore;
- fornello;
- termometro con sensibilità al decimo di grado e scala 0°-100° C;
- massa in alluminio (147 g);
- calorimetro di Regnault;
- bilancia con sensibilità al grammo;
- sensore di calore interfacciato al computer;
- computer per l'elaborazione dei dati raccolti.

Misure ed elaborazione dati

Misura della capacità termica e del calore specifico della massa di alluminio

Per procedere alla prima fase si sono misurate anzitutto le masse dell'oggetto di alluminio e, per differenza, la massa dell'acqua contenuta nel calorimetro.

Dopo aver misurato la temperatura del calorimetro (o meglio del liquido contenutovi, d'ora in poi sia assimilerà la temperatura di tale liquido a quella dell'intero calorimetro) con un termometro analogico si è passati alla taratura dello strumento digitale che sostituirà il primo in fase sperimentale. Nel frattempo la massa, immersa in un pentolino con acqua in ebollizione, ha raggiunto una temperatura prossima ai 100°C (temperatura misurata con il termometro analogico

immerso nel pentolino stesso). Si hanno quindi i seguenti dati di partenza (con le relative tolleranze dello strumento riportate utilizzando il grado approssimazione corretto):

$$M_a = 763 \text{ g}$$

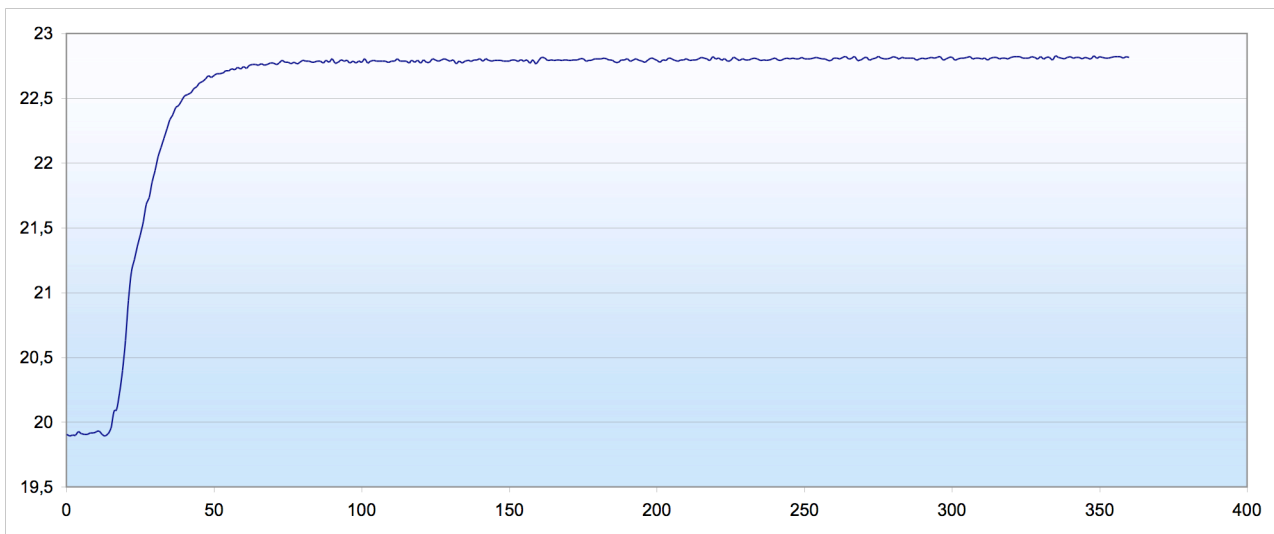
$$M_{ca} = 723 \text{ g}$$

$$M_{Al} = 147 \text{ g}$$

$$T_{ca} = 19,6 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{Al} = 98,6 \text{ }^\circ\text{C}$$

A questo punto, in maniera il più possibile veloce, si inserisce la massa di alluminio nel calorimetro, iniziando subito a manovrare il mescolatore, e si rileva per mezzo dello strumento elettronico il cambiamento della temperatura del liquido monitorato fino ad arrivare alla stabilità del sistema.



Il grafico qui sopra ripropone l'andamento della temperatura (*asse y*) in funzione del tempo (*asse x*), i dati sono riportati nell'*allegato 1*.

L'esperimento si è interrotto dopo 6 minuti esatti ($t_e = 360 \text{ sec.}$), quando il gruppo di lavoro ha constatato che la curva aveva assunto pendenza pari a 0 ed il valore a cui asintoticamente tendeva poteva essere preso come la temperatura di equilibrio.

In prima istanza quindi andremo a ricavarci affidandoci al termometro analogico la temperatura dell'acqua dopo l'inserimento della massa ed il suo errore:

$$T_{ca+Al} = 22,8 \text{ }^\circ\text{C}$$

Procediamo dunque al calcolo della capacità termica e del calore specifico della massa di alluminio in esame.

Partendo dalla relazione che lega la capacità termica dell'oggetto a quella del sistema del calorimetro ed alle temperature misurate e conoscendo che la capacità termica dell'acqua è approssimabile alla sua massa lavorando in un range tra 1 e 100°C si può applicare la seguente relazione:

$$C_{Al} = C_a \frac{T_{a+Al} - T_a}{T_{Al} - T_{a+Al}} = 32,2111 \frac{\text{cal}}{^\circ\text{C}}$$

Tenendo comunque presente che il C_a considerato non teneva conto della capacità termica del calorimetro, che, per quanto ridotta, andrebbe a sommarsi a tale valore.

Infine passiamo al calcolo del calore specifico, risultato del rapporto tra la capacità termica e la massa dell'oggetto:

$$c_{Al} = \frac{C_x}{m_x} = 0,2191 \frac{cal}{g \cdot ^\circ C}$$

Misura della capacità termica del calorimetro

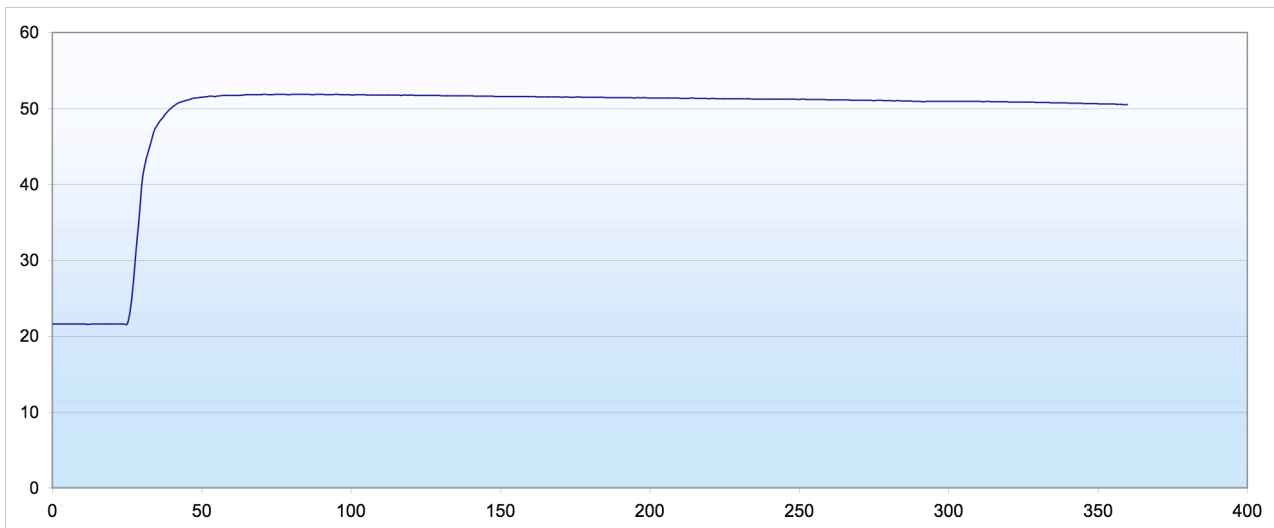
Durante questa fase, togliendo la massa di Alluminio dal calorimetro, si procede nell'inserire una certa quantità di acqua riscaldata nel calorimetro e di misurarne, ancora una volta, la differenza di temperatura. Ciò per arrivare a calcolare la capacità termica del calorimetro stesso, dato che avremo una capacità uguale per l'acqua già presente nel calorimetro e quella aggiunta successivamente.

$$M_{ca} = 763 \text{ g}$$

$$M_{aa} = 548 \text{ g}$$

$$T_{ca} = 21,6 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{aa} = 98,9 \text{ }^\circ\text{C}$$



Il grafico qui sopra ripropone l'andamento della temperatura (*asse y*) in funzione del tempo (*asse x*), i dati sono riportati nell'*allegato 2*.

Dopo un tempo di 6 minuti esatti ($t_e = 360 \text{ sec.}$) la curva si è stabilizzata e tende a scendere lentamente – per arrivare, se si continuasse con l'esperimento, alla temperatura ambientale esterna al calorimetro –.

Servendoci nuovamente del termometro analogico andremo a misurare la temperatura del sistema ormai stabilizzatosi ed il relativo errore:

$$T_{ca+Al} = 50,7 \text{ }^\circ\text{C}$$

Procediamo dunque al calcolo della capacità termica e del calorimetro vuoto con le stesse modalità di prima:

$$C_{ca} = 907,6838 \text{ cal/}^\circ\text{C}$$

Andando quindi per differenza tra la capacità del calorimetro con acqua (C_{ca}) e dell'acqua stessa (che coincide come già detto con il valore della massa M_a) si otterrà la capacità termica del calorimetro vuoto:

$$C_c = 144,6838 \text{ cal/}^\circ\text{C}$$

Avendo dunque a disposizione ora anche la capacità termica del calorimetro possiamo ricalcolare la capacità della massa:

$$C_{Al} = 0,2607 \text{ cal/}^\circ\text{C}$$

Nota: tale valore, nonostante dovrebbe avvicinarsi di più al dato reale, si discosta maggiormente da quello (0,210) fornito dalle tabelle di calori specifici riportate comunemente sui libri di testo (e verificato sperimentalmente con una maggior precisione della nostra esperienza).

Concludiamo dunque con il calcolo degli errori della capacità termica della massa in esame e del calorimetro stesso.

L'errore relativo della capacità termica dell'acqua aggiunta, ottenuto semplicemente con il rapporto tra sensibilità dello strumento e massa, è di $0,000182 \text{ cal/}^\circ\text{C}$.

Calcoliamo dunque l'errore relativo del calorimetro con l'acqua (ed il relativo errore assoluto):

$$r(C_{ca}) = 0,003151 \text{ cal/}^\circ\text{C}$$

$$a(C_{ca}) = 2,868514 \text{ cal/}^\circ\text{C}$$

Proseguiamo con il calcolo della capacità termica del calorimetro vuoto, pari a $2,860514 \text{ cal/}^\circ\text{C}$.

Infine giungiamo al risultato, l'errore della capacità termica della massa di alluminio:

$$r(C_{Al}) = 0,0141732 \text{ cal/}^\circ\text{C}$$

Allegato 1

Tabella di dati
(prima fase)

| <i>tempo (s)</i> | <i>temp (°C)</i> | | | | |
|------------------|------------------|-----|--------|-----|--------|
| 0 | 19,907 | 52 | 22,692 | 110 | 22,787 |
| 1 | 19,895 | 53 | 22,698 | 111 | 22,787 |
| 2 | 19,901 | 54 | 22,715 | 112 | 22,804 |
| 3 | 19,901 | 55 | 22,715 | 113 | 22,787 |
| 4 | 19,925 | 56 | 22,727 | 114 | 22,787 |
| 5 | 19,913 | 57 | 22,721 | 115 | 22,787 |
| 6 | 19,907 | 58 | 22,739 | 116 | 22,775 |
| 7 | 19,907 | 59 | 22,727 | 117 | 22,793 |
| 8 | 19,919 | 60 | 22,745 | 118 | 22,781 |
| 9 | 19,919 | 61 | 22,733 | 119 | 22,793 |
| 10 | 19,925 | 62 | 22,757 | 120 | 22,775 |
| 11 | 19,931 | 63 | 22,763 | 121 | 22,798 |
| 12 | 19,907 | 64 | 22,763 | 122 | 22,781 |
| 13 | 19,895 | 65 | 22,757 | 123 | 22,781 |
| 14 | 19,913 | 66 | 22,769 | 124 | 22,804 |
| 15 | 19,955 | 67 | 22,757 | 125 | 22,798 |
| 16 | 20,085 | 68 | 22,763 | 126 | 22,787 |
| 17 | 20,097 | 69 | 22,775 | 127 | 22,798 |
| 18 | 20,228 | 70 | 22,775 | 128 | 22,804 |
| 19 | 20,4 | 71 | 22,763 | 129 | 22,798 |
| 20 | 20,631 | 72 | 22,775 | 130 | 22,787 |
| 21 | 20,94 | 73 | 22,793 | 131 | 22,798 |
| 22 | 21,16 | 74 | 22,781 | 132 | 22,769 |
| 23 | 21,255 | 75 | 22,781 | 133 | 22,787 |
| 24 | 21,356 | 76 | 22,769 | 134 | 22,775 |
| 25 | 21,445 | 77 | 22,781 | 135 | 22,787 |
| 26 | 21,546 | 78 | 22,769 | 136 | 22,793 |
| 27 | 21,682 | 79 | 22,781 | 137 | 22,787 |
| 28 | 21,736 | 80 | 22,793 | 138 | 22,798 |
| 29 | 21,854 | 81 | 22,787 | 139 | 22,798 |
| 30 | 21,944 | 82 | 22,787 | 140 | 22,804 |
| 31 | 22,05 | 83 | 22,781 | 141 | 22,787 |
| 32 | 22,122 | 84 | 22,781 | 142 | 22,804 |
| 33 | 22,193 | 85 | 22,787 | 143 | 22,793 |
| 34 | 22,264 | 86 | 22,787 | 144 | 22,787 |
| 35 | 22,335 | 87 | 22,775 | 145 | 22,793 |
| 36 | 22,377 | 88 | 22,793 | 146 | 22,793 |
| 37 | 22,43 | 89 | 22,781 | 147 | 22,793 |
| 38 | 22,448 | 90 | 22,804 | 148 | 22,787 |
| 39 | 22,484 | 91 | 22,775 | 149 | 22,787 |
| 40 | 22,519 | 92 | 22,781 | 150 | 22,787 |
| 41 | 22,531 | 93 | 22,798 | 151 | 22,798 |
| 42 | 22,543 | 94 | 22,787 | 152 | 22,798 |
| 43 | 22,573 | 95 | 22,793 | 153 | 22,787 |
| 44 | 22,591 | 96 | 22,775 | 154 | 22,798 |
| 45 | 22,62 | 97 | 22,787 | 155 | 22,787 |
| 46 | 22,632 | 98 | 22,775 | 156 | 22,798 |
| 47 | 22,65 | 99 | 22,787 | 157 | 22,775 |
| 48 | 22,674 | 100 | 22,781 | 158 | 22,798 |
| 49 | 22,662 | 101 | 22,804 | 159 | 22,769 |
| 50 | 22,68 | 102 | 22,775 | 160 | 22,793 |
| 51 | 22,692 | 103 | 22,787 | 161 | 22,816 |
| | | 104 | 22,793 | 162 | 22,81 |
| | | 105 | 22,787 | 163 | 22,793 |
| | | 106 | 22,787 | 164 | 22,798 |
| | | 107 | 22,787 | 165 | 22,793 |
| | | 108 | 22,787 | 166 | 22,798 |
| | | 109 | 22,781 | 167 | 22,798 |
| | | | | 168 | 22,793 |
| | | | | 169 | 22,798 |
| | | | | 170 | 22,793 |
| | | | | 171 | 22,793 |
| | | | | 172 | 22,798 |
| | | | | 173 | 22,798 |
| | | | | 174 | 22,804 |
| | | | | 175 | 22,804 |
| | | | | 176 | 22,787 |
| | | | | 177 | 22,793 |
| | | | | 178 | 22,798 |
| | | | | 179 | 22,804 |
| | | | | 180 | 22,804 |
| | | | | 181 | 22,804 |
| | | | | 182 | 22,81 |
| | | | | 183 | 22,804 |
| | | | | 184 | 22,798 |
| | | | | 185 | 22,793 |
| | | | | 186 | 22,781 |
| | | | | 187 | 22,781 |
| | | | | 188 | 22,798 |
| | | | | 189 | 22,798 |
| | | | | 190 | 22,804 |
| | | | | 191 | 22,787 |
| | | | | 192 | 22,798 |
| | | | | 193 | 22,804 |
| | | | | 194 | 22,793 |
| | | | | 195 | 22,787 |
| | | | | 196 | 22,781 |
| | | | | 197 | 22,798 |
| | | | | 198 | 22,81 |
| | | | | 199 | 22,804 |
| | | | | 200 | 22,793 |
| | | | | 201 | 22,781 |
| | | | | 202 | 22,798 |
| | | | | 203 | 22,793 |
| | | | | 204 | 22,81 |
| | | | | 205 | 22,804 |
| | | | | 206 | 22,793 |
| | | | | 207 | 22,787 |
| | | | | 208 | 22,798 |
| | | | | 209 | 22,798 |
| | | | | 210 | 22,804 |
| | | | | 211 | 22,793 |
| | | | | 212 | 22,798 |
| | | | | 213 | 22,798 |
| | | | | 214 | 22,804 |
| | | | | 215 | 22,816 |
| | | | | 216 | 22,81 |
| | | | | 217 | 22,804 |
| | | | | 218 | 22,793 |
| | | | | 219 | 22,822 |
| | | | | 220 | 22,804 |
| | | | | 221 | 22,81 |
| | | | | 222 | 22,798 |
| | | | | 223 | 22,804 |
| | | | | 224 | 22,787 |
| | | | | 225 | 22,793 |

| | | | | | |
|-----|---------------|-----|---------------|-----|---------------|
| 226 | 22,816 | 284 | 22,81 | 342 | 22,816 |
| 227 | 22,804 | 285 | 22,81 | 343 | 22,816 |
| 228 | 22,793 | 286 | 22,81 | 344 | 22,804 |
| 229 | 22,804 | 287 | 22,81 | 345 | 22,816 |
| 230 | 22,798 | 288 | 22,798 | 346 | 22,81 |
| 231 | 22,798 | 289 | 22,804 | 347 | 22,804 |
| 232 | 22,804 | 290 | 22,81 | 348 | 22,828 |
| 233 | 22,81 | 291 | 22,804 | 349 | 22,81 |
| 234 | 22,804 | 292 | 22,81 | 350 | 22,822 |
| 235 | 22,793 | 293 | 22,816 | 351 | 22,816 |
| 236 | 22,798 | 294 | 22,81 | 352 | 22,81 |
| 237 | 22,793 | 295 | 22,816 | 353 | 22,81 |
| 238 | 22,798 | 296 | 22,822 | 354 | 22,816 |
| 239 | 22,804 | 297 | 22,798 | 355 | 22,822 |
| 240 | 22,81 | 298 | 22,804 | 356 | 22,822 |
| 241 | 22,798 | 299 | 22,816 | 357 | 22,822 |
| 242 | 22,793 | 300 | 22,816 | 358 | 22,81 |
| 243 | 22,804 | 301 | 22,798 | 359 | 22,822 |
| 244 | 22,81 | 302 | 22,804 | 360 | 22,816 |
| 245 | 22,804 | 303 | 22,81 | | |
| 246 | 22,81 | 304 | 22,81 | | |
| 247 | 22,804 | 305 | 22,816 | | |
| 248 | 22,804 | 306 | 22,822 | | |
| 249 | 22,816 | 307 | 22,804 | | |
| 250 | 22,804 | 308 | 22,81 | | |
| 251 | 22,804 | 309 | 22,81 | | |
| 252 | 22,804 | 310 | 22,804 | | |
| 253 | 22,81 | 311 | 22,81 | | |
| 254 | 22,816 | 312 | 22,798 | | |
| 255 | 22,81 | 313 | 22,81 | | |
| 256 | 22,804 | 314 | 22,816 | | |
| 257 | 22,804 | 315 | 22,816 | | |
| 258 | 22,793 | 316 | 22,804 | | |
| 259 | 22,793 | 317 | 22,81 | | |
| 260 | 22,81 | 318 | 22,81 | | |
| 261 | 22,81 | 319 | 22,804 | | |
| 262 | 22,804 | 320 | 22,816 | | |
| 263 | 22,816 | 321 | 22,822 | | |
| 264 | 22,822 | 322 | 22,822 | | |
| 265 | 22,804 | 323 | 22,822 | | |
| 266 | 22,81 | 324 | 22,81 | | |
| 267 | 22,822 | 325 | 22,81 | | |
| 268 | 22,793 | 326 | 22,81 | | |
| 269 | 22,798 | 327 | 22,822 | | |
| 270 | 22,81 | 328 | 22,816 | | |
| 271 | 22,816 | 329 | 22,804 | | |
| 272 | 22,798 | 330 | 22,822 | | |
| 273 | 22,804 | 331 | 22,804 | | |
| 274 | 22,81 | 332 | 22,816 | | |
| 275 | 22,822 | 333 | 22,816 | | |
| 276 | 22,81 | 334 | 22,798 | | |
| 277 | 22,804 | 335 | 22,828 | | |
| 278 | 22,804 | 336 | 22,816 | | |
| 279 | 22,81 | 337 | 22,81 | | |
| 280 | 22,822 | 338 | 22,804 | | |
| 281 | 22,816 | 339 | 22,816 | | |
| 282 | 22,804 | 340 | 22,822 | | |
| 283 | 22,816 | 341 | 22,81 | | |

Allegato 2

Tabella di dati
(seconda fase)

| <i>tempo (s)</i> | <i>temp (°C)</i> |
|------------------|------------------|
| 0 | 21,621 |
| 1 | 21,609 |
| 2 | 21,609 |
| 3 | 21,634 |
| 4 | 21,621 |
| 5 | 21,621 |
| 6 | 21,609 |
| 7 | 21,615 |
| 8 | 21,621 |
| 9 | 21,615 |
| 10 | 21,621 |
| 11 | 21,615 |
| 12 | 21,585 |
| 13 | 21,609 |
| 14 | 21,609 |
| 15 | 21,621 |
| 16 | 21,634 |
| 17 | 21,621 |
| 18 | 21,609 |
| 19 | 21,615 |
| 20 | 21,609 |
| 21 | 21,609 |
| 22 | 21,603 |
| 23 | 21,609 |
| 24 | 21,615 |
| 25 | 21,627 |
| 26 | 23,428 |
| 27 | 26,846 |
| 28 | 31,46 |
| 29 | 35,526 |
| 30 | 40,323 |
| 31 | 42,685 |
| 32 | 44,199 |
| 33 | 45,511 |
| 34 | 46,97 |
| 35 | 47,721 |
| 36 | 48,392 |
| 37 | 48,874 |
| 38 | 49,369 |
| 39 | 49,827 |
| 40 | 50,156 |
| 41 | 50,467 |
| 42 | 50,699 |
| 43 | 50,876 |
| 44 | 51,023 |
| 45 | 51,114 |
| 46 | 51,212 |
| 47 | 51,322 |
| 48 | 51,383 |
| 49 | 51,444 |
| 50 | 51,499 |
| 51 | 51,554 |

| | | | | | |
|-----|--------|-----|--------|-----|--------|
| 52 | 51,597 | 110 | 51,786 | 168 | 51,542 |
| 53 | 51,627 | 111 | 51,798 | 169 | 51,548 |
| 54 | 51,603 | 112 | 51,774 | 170 | 51,542 |
| 55 | 51,639 | 113 | 51,761 | 171 | 51,511 |
| 56 | 51,7 | 114 | 51,768 | 172 | 51,523 |
| 57 | 51,725 | 115 | 51,768 | 173 | 51,493 |
| 58 | 51,737 | 116 | 51,78 | 174 | 51,505 |
| 59 | 51,737 | 117 | 51,755 | 175 | 51,505 |
| 60 | 51,737 | 118 | 51,78 | 176 | 51,517 |
| 61 | 51,749 | 119 | 51,743 | 177 | 51,499 |
| 62 | 51,737 | 120 | 51,768 | 178 | 51,505 |
| 63 | 51,743 | 121 | 51,755 | 179 | 51,499 |
| 64 | 51,761 | 122 | 51,737 | 180 | 51,499 |
| 65 | 51,816 | 123 | 51,725 | 181 | 51,475 |
| 66 | 51,81 | 124 | 51,743 | 182 | 51,468 |
| 67 | 51,829 | 125 | 51,713 | 183 | 51,475 |
| 68 | 51,841 | 126 | 51,719 | 184 | 51,505 |
| 69 | 51,829 | 127 | 51,713 | 185 | 51,462 |
| 70 | 51,835 | 128 | 51,719 | 186 | 51,45 |
| 71 | 51,871 | 129 | 51,725 | 187 | 51,462 |
| 72 | 51,853 | 130 | 51,706 | 188 | 51,438 |
| 73 | 51,829 | 131 | 51,694 | 189 | 51,432 |
| 74 | 51,847 | 132 | 51,694 | 190 | 51,444 |
| 75 | 51,871 | 133 | 51,7 | 191 | 51,45 |
| 76 | 51,865 | 134 | 51,7 | 192 | 51,42 |
| 77 | 51,865 | 135 | 51,694 | 193 | 51,444 |
| 78 | 51,859 | 136 | 51,694 | 194 | 51,426 |
| 79 | 51,841 | 137 | 51,682 | 195 | 51,413 |
| 80 | 51,859 | 138 | 51,664 | 196 | 51,42 |
| 81 | 51,871 | 139 | 51,664 | 197 | 51,401 |
| 82 | 51,877 | 140 | 51,664 | 198 | 51,426 |
| 83 | 51,896 | 141 | 51,652 | 199 | 51,413 |
| 84 | 51,865 | 142 | 51,633 | 200 | 51,413 |
| 85 | 51,877 | 143 | 51,627 | 201 | 51,395 |
| 86 | 51,871 | 144 | 51,627 | 202 | 51,395 |
| 87 | 51,847 | 145 | 51,645 | 203 | 51,383 |
| 88 | 51,859 | 146 | 51,627 | 204 | 51,383 |
| 89 | 51,859 | 147 | 51,615 | 205 | 51,371 |
| 90 | 51,877 | 148 | 51,609 | 206 | 51,383 |
| 91 | 51,853 | 149 | 51,609 | 207 | 51,395 |
| 92 | 51,847 | 150 | 51,609 | 208 | 51,371 |
| 93 | 51,841 | 151 | 51,609 | 209 | 51,377 |
| 94 | 51,841 | 152 | 51,597 | 210 | 51,359 |
| 95 | 51,859 | 153 | 51,591 | 211 | 51,365 |
| 96 | 51,829 | 154 | 51,597 | 212 | 51,365 |
| 97 | 51,822 | 155 | 51,578 | 213 | 51,359 |
| 98 | 51,816 | 156 | 51,584 | 214 | 51,371 |
| 99 | 51,822 | 157 | 51,591 | 215 | 51,334 |
| 100 | 51,804 | 158 | 51,572 | 216 | 51,365 |
| 101 | 51,804 | 159 | 51,566 | 217 | 51,328 |
| 102 | 51,81 | 160 | 51,578 | 218 | 51,346 |
| 103 | 51,822 | 161 | 51,566 | 219 | 51,328 |
| 104 | 51,829 | 162 | 51,56 | 220 | 51,316 |
| 105 | 51,804 | 163 | 51,554 | 221 | 51,322 |
| 106 | 51,798 | 164 | 51,542 | 222 | 51,31 |
| 107 | 51,798 | 165 | 51,536 | 223 | 51,316 |
| 108 | 51,768 | 166 | 51,548 | 224 | 51,31 |
| 109 | 51,78 | 167 | 51,548 | 225 | 51,31 |

| | | | | | |
|-----|---------------|-----|---------------|-----|---------------|
| 226 | 51,31 | 284 | 51,011 | 342 | 50,693 |
| 227 | 51,31 | 285 | 51,011 | 343 | 50,705 |
| 228 | 51,279 | 286 | 50,986 | 344 | 50,712 |
| 229 | 51,298 | 287 | 50,98 | 345 | 50,681 |
| 230 | 51,279 | 288 | 50,956 | 346 | 50,663 |
| 231 | 51,279 | 289 | 50,962 | 347 | 50,644 |
| 232 | 51,273 | 290 | 50,937 | 348 | 50,638 |
| 233 | 51,273 | 291 | 50,913 | 349 | 50,644 |
| 234 | 51,267 | 292 | 50,913 | 350 | 50,608 |
| 235 | 51,249 | 293 | 50,931 | 351 | 50,614 |
| 236 | 51,261 | 294 | 50,95 | 352 | 50,596 |
| 237 | 51,236 | 295 | 50,937 | 353 | 50,614 |
| 238 | 51,249 | 296 | 50,95 | 354 | 50,608 |
| 239 | 51,224 | 297 | 50,937 | 355 | 50,602 |
| 240 | 51,236 | 298 | 50,956 | 356 | 50,565 |
| 241 | 51,23 | 299 | 50,968 | 357 | 50,553 |
| 242 | 51,236 | 300 | 50,962 | 358 | 50,571 |
| 243 | 51,224 | 301 | 50,956 | 359 | 50,535 |
| 244 | 51,243 | 302 | 50,968 | 360 | 50,547 |
| 245 | 51,23 | 303 | 50,944 | | |
| 246 | 51,23 | 304 | 50,944 | | |
| 247 | 51,236 | 305 | 50,974 | | |
| 248 | 51,236 | 306 | 50,95 | | |
| 249 | 51,224 | 307 | 50,962 | | |
| 250 | 51,218 | 308 | 50,968 | | |
| 251 | 51,23 | 309 | 50,968 | | |
| 252 | 51,194 | 310 | 50,937 | | |
| 253 | 51,194 | 311 | 50,907 | | |
| 254 | 51,2 | 312 | 50,925 | | |
| 255 | 51,194 | 313 | 50,931 | | |
| 256 | 51,2 | 314 | 50,919 | | |
| 257 | 51,182 | 315 | 50,907 | | |
| 258 | 51,182 | 316 | 50,901 | | |
| 259 | 51,163 | 317 | 50,901 | | |
| 260 | 51,157 | 318 | 50,901 | | |
| 261 | 51,151 | 319 | 50,882 | | |
| 262 | 51,145 | 320 | 50,876 | | |
| 263 | 51,145 | 321 | 50,876 | | |
| 264 | 51,133 | 322 | 50,852 | | |
| 265 | 51,127 | 323 | 50,852 | | |
| 266 | 51,139 | 324 | 50,834 | | |
| 267 | 51,108 | 325 | 50,834 | | |
| 268 | 51,121 | 326 | 50,852 | | |
| 269 | 51,121 | 327 | 50,84 | | |
| 270 | 51,121 | 328 | 50,834 | | |
| 271 | 51,084 | 329 | 50,828 | | |
| 272 | 51,096 | 330 | 50,821 | | |
| 273 | 51,09 | 331 | 50,797 | | |
| 274 | 51,096 | 332 | 50,797 | | |
| 275 | 51,072 | 333 | 50,797 | | |
| 276 | 51,078 | 334 | 50,779 | | |
| 277 | 51,078 | 335 | 50,767 | | |
| 278 | 51,053 | 336 | 50,767 | | |
| 279 | 51,072 | 337 | 50,767 | | |
| 280 | 51,029 | 338 | 50,754 | | |
| 281 | 51,029 | 339 | 50,754 | | |
| 282 | 51,017 | 340 | 50,712 | | |
| 283 | 51,029 | 341 | 50,718 | | |