

Esperienza di Laboratorio:
Misura del calore specifico di un solido e del calore latente
di fusione del ghiaccio

Ghedì Pietro, Madarena Andrea, Roccasanta Aurelio, Silvestri Daniele

Indice

1	Scopo dell'esperimento	3
2	Introduzione teorica	3
2.1	I calormetri e il loro funzionamento	3
2.2	Il calorimetro di Regnault	3
2.3	Costante di tempo del calorimetro	4
2.4	Misura della massa equivalente in acqua	4
2.5	Calore specifico di un solido	5
2.6	Calore latente di fusione del ghiaccio	5
3	Descrizione dell'apparato sperimentale	6
4	Procedimento di misura	6
4.1	Misura della massa equivalente in acqua	6
4.2	Misura del calore specifico dell'ottone	7
4.3	Misura del calore latente di fusione del ghiaccio	7
5	Presa dati	7
5.1	Massa equivalente in acqua	7
5.2	Calore specifico dell'ottone	8
5.3	Calore latente di fusione del ghiaccio	9
6	Analisi dati	10
6.1	Massa equivalente in acqua	10
6.2	Calore specifico dell'ottone	10
6.3	Calore latente di fusione del ghiaccio	11
7	Conclusione	11
8	Grafici	11
8.1	Massa equivalente in acqua	11
8.2	Calore specifico dell'ottone	11
8.3	Calore latente di fusione del ghiaccio	11

1 Scopo dell'esperimento

L'esperimento è suddiviso in frangenti, inizialmente si confrontano le misure prese con i valori previsti dalla teoria per la massa equivalente in acqua, il calore specifico di un solido, quale l'ottone e infine il calore latente di fusione del ghiaccio.

2 Introduzione teorica

2.1 I calorimetri e il loro funzionamento

I calorimetri sono dispositivi finalizzati alla ricerca della quantità di calore, utili per determinare:

- I calori latenti di vario genere(di fusione,di evaporazione, di condensazione...).
- Il calore specifico di un determinato corpo.

I calorimetri sono molti e differenti, ma si possono dividere in due macrocategorie:

- Quelli del primo tipo, il cui funzionamento si basa sulla conoscenza del calore latente in un determinato cambiamento di stato, ci sono presenti due sistemi, uno a temperatura costante e l'altro no, qui la conoscenza della temperatura non è fondamentale. La quantità di calore viene calcolato attraverso la quantità di sostanza che ha cambiato stato.Un esempio è il calorimetro di Bunsen
- Quelli in cui la conoscenza della temperatura è fondamentale. Il calore scambiato tra due corpi viene determinato tramite le temperature di essi e la capacità termica di uno dei due corpi. A questo gruppo appartiene il calorimetro di Regnault.

L'efficienza di essi è compromessa da possibili scambi di calore con l'ambiente esterno, sia per irraggiamento che per conduzione. Per questo vengono prese precauzioni specifiche scelte affinché venga ridotta al minimo la dispersione di calore con l'ambiente esterno al sistema calorimetro, aspetto importante specialmente nei calorimetri descritti nel secondo punto.

2.2 Il calorimetro di Regnault

In questa esperienza di laboratorio viene utilizzato il calorimetro di Regnault, Esso è composto da un vaso calorimetrico, circondato da un contenitore con pareti adiabatiche e riflettenti, realizzate con un materiale a bassa conducibilità termica. Nel vaso calorimetrico è presente una certa dose di liquido, nella quale stanziano un termometro e un agitatore. Il calore viene ricavato attraverso la seguente relazione:

$$Q = C\Delta T = cm\Delta T$$

Q rappresenta il calore, C la capacità termica(in questo caso del calorimetro), ΔT la variazione di temperatura, c il calore specifico e infine m la massa. Sorge un problema dato che la capacità termica è quella del calorimetro, quindi è ancora da determinare. Il sistema descritto 'e composto da:

1. Una massa di acqua già determinata m_a , con preciso calore specifico c_a , con capacità termica $C_a = c_a m_a$
2. l'insieme dei corpi restanti facenti parte del sistema (parte immersa del termometro, parte immersa dell'agitatore, parete del thermos a contatto con l'acqua) di masse e calori specifici incogniti, che si suppongono tutti in equilibrio termico fra loro e con l'acqua all'atto di ogni lettura di temperatura. Definiamo C_c la capacità termica di quest'insieme di corpi (composta dalla somma delle singole capacità), che chiameremo capacità termica del calorimetro. La sua conoscenza è necessaria per la misura di Q in quanto $C = C_a + C_c$

Per poi ottenere il valore di C_c immettiamo nel calorimetro una quantità nota di acqua di massa m_1 , arrivati all'equilibrio termico con il calorimetro, ha temperatura T_1 e successivamente si aggiunge una quantità di acqua di massa m_2 a temperatura $T_2 > T_1$. Raggiunto l'equilibrio a temperatura T^* si otterrà:

$$(m_1 c_a + C_c) \cdot (T^* - T_1) = m_2 c_a \cdot (T_2 - T^*)$$

2.3 Costante di tempo del calorimetro

Il già descritto calorimetro delle mescolanze non è un sistema termicamente isolato dall'ambiente esterno. Esiste una legge che regola gli scambi di calore con quest'ultimo, con buona approssimazione e per temperature del calorimetro non troppo distanti dalla temperatura dell'ambiente:

$$dQ = \delta [T_A - T(t)] dt$$

ove δ si considera come “conducibilità” delle pareti del calorimetro per conduzione, convezione e irraggiamento; tiene conto inoltre dell'evaporazione del liquido. La temperatura del sistema calorimetrico segue l'andamento della legge seguente:

$$T(t) = T_A + (T_0 - T_A) e^{-t/\tau}$$

T_A rappresenta la temperatura ambiente e T_0 quella iniziale del calorimetro; mentre $\tau (= C/\delta)$ è la costante di tempo del calorimetro. Tramite una serie di misurazioni è possibile valutare la costante di tempo τ (o il suo limite inferiore) e considerare o meno la perdita di calore del calorimetro, a seconda della durata di quest'ultima.

2.4 Misura della massa equivalente in acqua

Come ribadito in precedenza, per determinare la quantità di calore scambiata in un calorimetro di Regnault abbiamo bisogno della sua capacità termica. Poichè essa dipende da tutte le componenti del calorimetro (nonché dalle loro masse e calori specifici), e questi sono molto complicati da determinare, si usa fare un'equivalenza con una sostanza il cui calore specifico è già determinato, l'acqua è quella utilizzata in questo esperimento:

$$C_c = c_a m^*$$

Così l'ultima relazione del paragrafo 2.2 diventa la seguente:

$$c_a(m_1 + m^*)(T^* - T_1) = m_2 c_a \cdot (T_2 - T^*)$$

Una volta raggiunta la temperatura di equilibrio T^* , è facile calcolare m^* poiché è l'unica incognita.

$$m^* = m_2 \frac{T_2 - T^*}{T^* - T_1} - m_1$$

L'errore di m^* dipende solamente dagli errori della misurazione di temperature e masse.

$$\Delta m^* = \Delta m_1 + \Delta m_2 \left| \frac{T_2 - T^*}{T^* - T_1} \right| + \Delta T_2 \frac{m_2}{|T^* - T_1|} + \Delta T_1 \frac{|T_2 - T^*|}{(T^* - T_1)^2} m_2 + \Delta T^* \frac{|T_2 - T_1|}{(T^* - T_1)^2} m_2$$

Importante notare che m^* dipende dalla composizione del liquido, mentre la capacità termica C_c non dipende da ciò.

2.5 Calore specifico di un solido

L'obiettivo è quello di misurare il calore specifico di una sostanza che non reagisce con l'acqua, solida o liquida. Per realizzarlo, introduciamo una quantità di acqua m_1 nel calorimetro a temperatura T_1 , successivamente si introduce all'interno di esso una quantità di massa m_x a temperatura $T_2 > T_1$, con calore specifico c_x ancora da determinare. T^* rappresenta la temperatura di equilibrio. Passando ai calcoli otteniamo:

$$c_a(m_1 + m^*)(T^* - T_1) = m_x c_x \cdot (T_2 - T^*)$$

da cui:

$$c_x = c_a \frac{(m_1 + m^*)(T^* - T_1)}{m_x \cdot (T_2 - T^*)}$$

2.6 Calore latente di fusione del ghiaccio

Per misurare il calore latente di fusione del ghiaccio ci serviamo di un calorimetro contenente una massa m_1 di acqua ad una temperatura $T_1 > 0^\circ C$. A seguire introduciamo nel calorimetro del ghiaccio fondente. Aspettiamo la fusione completa del ghiaccio e il raggiungimento dell'equilibrio termico ad una certa T^* . Escludendo lo scambio termico con l'ambiente, la quantità di calore Q ceduta dall'acqua al sistema calorimetrico iniziale corrisponde al calore Q_1 necessario per fondere il ghiaccio sommato al calore Q_2 necessario ad innalzare la temperatura dell'acqua di fusione dalla temperatura di fusione T_f alla temperatura di T^* . Avremo cioè il bilancio degli scambi di calore:

$$Q = Q_1 + Q_2$$

diventando:

$$c_a(m_1 + m^*)(T_1 - T^*) = c_a m_g (T^* - T_f) + m_g \lambda_f$$

ove m_g corrisponde alla massa del ghiaccio e λ_f al calore latente di fusione del ghiaccio. Esplicitando λ_f :

$$\lambda_f = c_a \left[\frac{(m_1 + m^*)(T_1 - T^*)}{m_g} - (T^* - T_f) \right]$$

Il rispettivo errore $\Delta\lambda_f$ del calore latente di fusione proveniente dalla legge di propagazione degli errori massimi:

$$\Delta\lambda_f = c_a \left[\frac{(T_1 - T^*)}{m_g} (\Delta m_1 + \Delta m^*) + \frac{(m_1 + m^*)(T_1 - T^*)}{m_g^2} \Delta m_g + \frac{m_1 + m^*}{m_g} \Delta T_1 + \Delta T_f + \frac{m_1 + m^* + m_g}{m_g} \Delta T^* \right]$$

3 Descrizione dell'apparato sperimentale

La strumentazione è quella che segue:

- Calorimetro delle mescolanze
- Vaso dewar
- Becker di vetro per l'acqua
- Termometro a termocoppia [risoluzione 0.1°C]
- Bilancia digitale [risoluzione 00.1g]
- Cronometro digitale [risoluzione 00.1s]
- Cilindro di ottone
- Acqua termostata e acqua del rubinetto
- Cubetti di ghiaccio

4 Procedimento di misura

4.1 Misura della massa equivalente in acqua

Si inizia l'esperienza versando dell'acqua di rubinetto all'interno del becker dopo aver registrato la sua massa quando è vuoto. Successivamente si rimassa il becker pieno per registrare la massa di acqua del rubinetto. Da qui in poi l'esperienza si divide in 2 fasi:

1. La prima fase consiste nel misurare la temperatura dell'acqua del rubinetto versata all'interno del calorimetro, e si misura la sua temperatura per 3/5 minuti una volta ogni 30 secondi (fino a quando si stabilizza).

2. Nella seconda fase, dopo aver massato il vaso dewar vuoto, si preleva dell'acqua termostatata e la si mette all'interno di esso, massando nuovamente il tutto. L'acqua termostata viene versata rapidamente nel calorimetro con la termocoppia al suo interno per rilevare le variazioni di temperatura. Annotare le misurazioni di temperatura ogni 30 secondi per circa 5 minuti, fin quando si raggiunge la temperatura di equilibrio.

4.2 Misura del calore specifico dell'ottone

Viene scelto a piacere un blocchetto cilindrico di ottone, questo viene massato e inserito nel bagno termostatato per 15 minuti. Aggiungere dell'acqua di rubinetto nel becker e massare il sistema acqua-becker. Suddividiamo l'esperimento in 2 fasi:

1. Analoga alla fase 1 della sottosezione 4.1.
2. Prelevare il blocchetto di ottone e valutare la sua temperatura, inserirlo nel calorimetro con la termocoppia al suo interno per rilevare le variazioni di temperatura. Annotare le misurazioni di temperatura ogni 10 secondi per circa 5 minuti, attendere la temperatura di equilibrio.

4.3 Misura del calore latente di fusione del ghiaccio

Si procede versando dell'acqua di rubinetto all' interno del becker massa il becker pieno per registrare la massa di acqua-becker. Da qui in poi l'esperienza si divide in 2 fasi:

1. Analoga alla fase 1 della sottosezione 4.1.
2. Prelevare qualche cubetto di ghiaccio, utilizzando il vaso dewar e valutarne la temperatura; inserirlo nel calorimetro con la termocoppia al suo interno per rilevare le variazioni di temperatura. Annotare le misurazioni di temperatura ogni 20 secondi per circa 5 minuti, attendere la temperatura di equilibrio.

5 Presa dati

5.1 Massa equivalente in acqua

La massa di acqua del rubinetto m_1 massata nel calorimetro risulta essere:

$$m_1 = (48.25 \pm 0.01)g$$

Sucessivamente si monitora la sua temperatura nel calorimetro per circa 5 minuti ogni 30 secondi(Fase 1):

Fase 1	
T(°C)	t(s)
19.5	30
19.5	60
19.5	90
19.5	120
19.6	150

Fase 1	
T(°C)	t(s)
19.6	180
19.6	210
19.6	240
19.6	270
19.6	300

Massa m_2 di acqua termostata con rispettiva temperatura.

$$m_2 = (145.24 \pm 0.01)g \quad T_2 = (54.7 \pm 0.1)^\circ C$$

Ora si procede come descritto nella Fase 2, versando l'acqua calda dal vaso dewar al calorimetro, monitorando la temperatura ogni 30 s per 5 minuti.

Fase 2	
T(°C)	t(s)
43.0	30
43.1	60
43.1	90
43.0	120
42.9	150

Fase 2	
T(°C)	t(s)
42.9	180
42.8	210
42.8	240
42.8	270
42.7	300

5.2 Calore specifico dell'ottone

Seguendo il procedimento, abbiamo massato il cilindro di ottone, dopodichè lasciamo il corpo metallico nel bagno termostato per 15 minuti. Rimosso il corpo ecco la temperatura T_2 :

$$m_x = (76.20 \pm 0.01)g \quad T_2 = (59.6 \pm 0.1)^\circ C$$

La massa di acqua del rubinetto m_1 massata nel calorimetro risulta essere:

$$m_1 = (134.82 \pm 0.01)g$$

Sucessivamente si monitora la sua temperatura nel calorimetro per circa 5 minuti ogni 30 secondi(Fase 1):

Fase 1	
T(°C)	t(s)
22.3	30
22.4	60
22.3	90
22.3	120
22.3	150

Fase 1	
T(°C)	t(s)
22.4	180
22.4	210
22.4	240
22.4	270
22.4	300

Ora si passa alla Fase 2, inseriamo il blocco di ottone nel calorimetro contenente l'acqua di rubinetto, verifichiamo la variazione della temperatura ogni 10 secondi.

Fase 2	
T(°C)	t(s)
23.0	10
24.0	20
24.4	30
24.7	40
24.5	50
24.4	60
24.4	70
24.4	80
24.3	90

Fase 2	
T(°C)	t(s)
24.3	100
24.2	110
24.3	120
24.3	130
24.2	140
24.2	150
24.2	160
24.2	170
24.2	180

5.3 Calore latente di fusione del ghiaccio

La massa di acqua del rubinetto m_1 massata nel calorimetro risulta essere:

$$m_1 = (222.98 \pm 0.01)g$$

Sucessivamente si monitora la sua temperatura nel calorimetro per circa 5 minuti ogni 30 secondi(Fase 1):

Fase 1	
T(°C)	t(s)
23.7	30
23.7	60
23.7	90
23.7	120
23.7	150

Fase 1	
T(°C)	t(s)
23.7	180
23.7	210
23.7	240
23.7	270
23.7	300

Preso un cubetto di ghiaccio nel vaso dewar, con massa m_g e temperatura T_f , ne registriamo le misure.

$$m_g = (7.82 \pm 0.01)g \quad T_f = (0.5 \pm 0.1)^\circ C$$

Immergiamo il ghiaccio nel calorimetro, registriamo le variazioni della temperatura ogni 20 secondi per 10 minuti.

Fase 2	
T(°C)	t(s)
23.7	0
23.5	20
23.4	40
23.2	60
23.1	80
22.8	100
22.4	120
22.0	140
21.6	160
21.2	180
20.9	200
20.7	220
20.5	240
20.4	260
20.3	280
20.3	300

Fase 2	
T(°C)	t(s)
20.3	320
20.3	340
20.3	360
20.3	380
20.3	400
20.3	420
20.3	440
20.3	460
20.2	480
20.2	500
20.2	520
20.2	540
20.2	560
20.2	580
20.2	600

6 Analisi dati

6.1 Massa equivalente in acqua

La massa equivalente in acqua si calcola con la formula già vista in precedenza, seguita da quella del suo errore:

$$m^* = m_2 \frac{T_2 - T^*}{T^* - T_1} - m_1$$

$$\Delta m^* = \Delta m_1 + \Delta m_2 \left| \frac{T_2 - T^*}{T^* - T_1} \right| + \Delta T_2 \frac{m_2}{|T^* - T_1|} + \Delta T_1 \frac{|T_2 - T^*|}{(T^* - T_1)^2} m_2 + \Delta T^* \frac{|T_2 - T_1|}{(T^* - T_1)^2} m_2$$

Calcolando, ecco il risultato:

$$m^* = (27.2 \pm 1.0)g$$

6.2 Calore specifico dell'ottone

Registrati i dati, ci rimane da calcolare il valore del calore specifico come segue:

$$c_x = c_a \frac{(m_1 + m^*)(T^* - T_1)}{m_x \cdot (T_2 - T^*)}$$

Con il suo corrispettivo errore:

$$\Delta c_x = c_x \left(\frac{\Delta(m_1 + m^*)}{m_1 + m^*} + \frac{\Delta m_x}{m_x} + \frac{\Delta(T^* - T_1)}{T^* - T_1} + \frac{\Delta(T_2 - T^*)}{T_2 - T^*} \right)$$

Risultando:

$$c_x = (452.3 \pm 26.2) \frac{J}{kg \cdot K}$$

6.3 Calore latente di fusione del ghiaccio

Seguito il procedimento abbiamo ottenuto tutto ciò che necessitiamo per calcolare il calore latente di fusione del ghiaccio ed il suo errore, nel metodo seguente:

$$\lambda_f = c_a \left[\frac{(m_1 + m^*)(T_1 - T^*)}{m_g} - (T^* - T_f) \right]$$

$$\Delta \lambda_f = c_a \left[\frac{(T_1 - T^*)}{m_g} (\Delta m_1 + \Delta m^*) + \frac{(m_1 + m^*)(T_1 - T^*)}{m_g^2} \Delta m_g + \frac{m_1 + m^*}{m_g} \Delta T_1 + \Delta T_f + \frac{m_1 + m^* + m_g}{m_g} \Delta T^* \right]$$

Abbiamo ottenuto:

$$\lambda_f = (3.86 \times 10^5 \pm 9.3 \times 10^3) \frac{J}{kg}$$

7 Conclusione

Per concludere, confrontando i risultati con quelli previsti possiamo dire che il valore del calore specifico dell'ottone calcolato da noi è leggermente al di sopra del risultato teorico, paragonandoli(a sinistra il nostro risultato mentre sulla destra quello previsto):

$$c_x = (452.3 \pm 26.2) \frac{J}{kg \cdot K} \quad c_{\text{ottone}} = 370 \frac{J}{kg \cdot K}$$

Mentre per quanto riguarda il calore latente di fusione del ghiaccio il risultato è più accurato, anche in questo caso è leggermente maggiore di quello aspettato, comunque rimanendo una buona stima(a sinistra il nostro risultato mentre sulla destra quello previsto).

$$\lambda_f = (3.86 \times 10^5 \pm 9.3 \times 10^3) \frac{J}{kg} \quad \lambda_{f, \text{ghiaccio}} = 3.35 \times 10^5 \frac{J}{kg}$$

Considerando la grande attenzione e precisione necessaria per questo esperimento, e la facilità con cui è possibile perdere calore per via di errori umani i risultati ottenuti risultano essere buoni.

8 Grafici

8.1 Massa equivalente in acqua

8.2 Calore specifico dell'ottone

8.3 Calore latente di fusione del ghiaccio

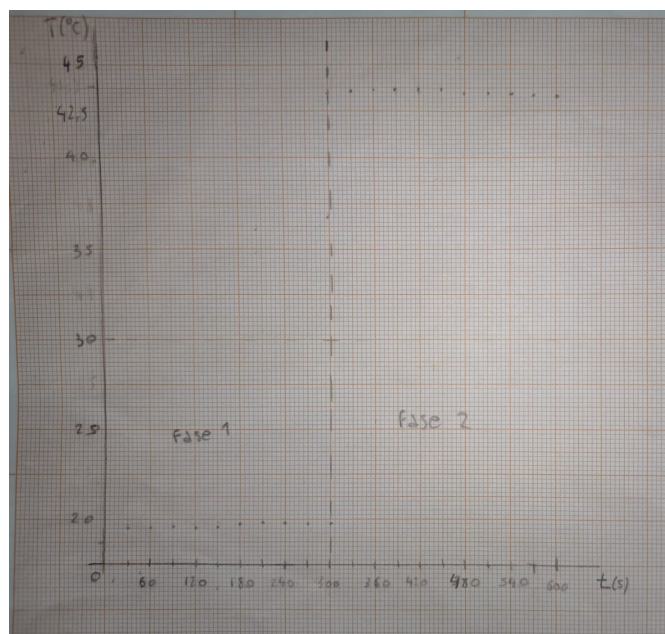


Figura 1: Grafico prima esperienza, temperatura (asse y) e tempo (asse x) con suddivisione delle fasi

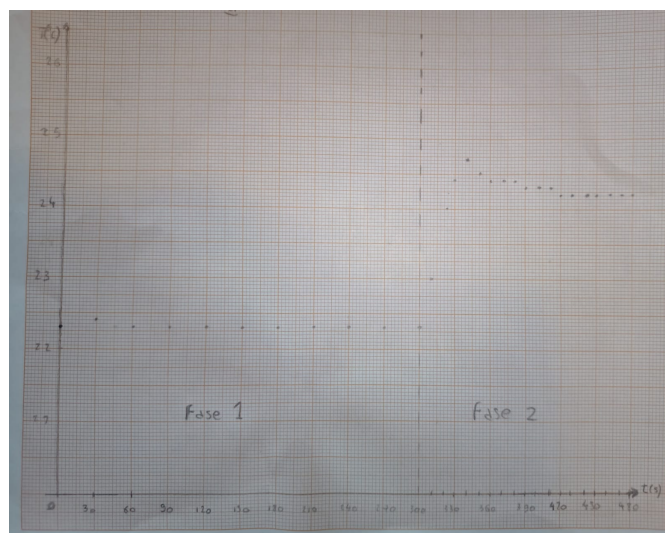


Figura 2: Grafico seconda esperienza, temperatura (asse y) e tempo (asse x) con suddivisione delle fasi

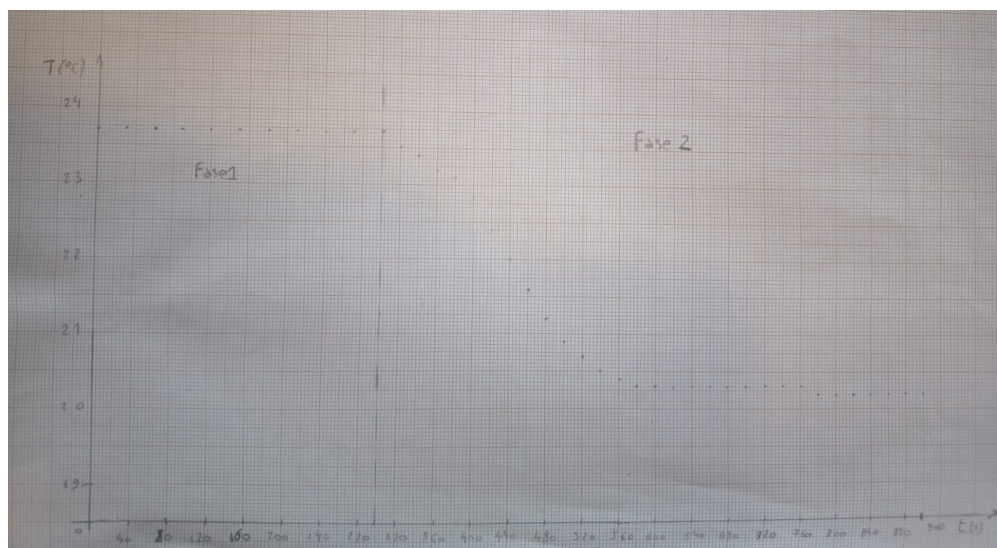


Figura 3: Grafico terza esperienza, temperatura (asse y) e tempo (asse x) con suddivisione delle fasi