

Area di progetto: Realizzazione di uno strumento per la verifica della seconda legge di Gay-Lussac

Introduzione

Per la formazione dell' allievo che debba prendere dimestichezza con l'osservazione sperimentale di sistemi e fenomeni naturali, può essere utile lo studio delle leggi dei gas: esso infatti fornisce agli allievi dei primi anni di scuola superiore l'occasione di applicare a un sistema relativamente semplice quelle nozioni apprese nel corso di matematica su concetti quali correlazione lineare, proporzionalità diretta e proporzionalità inversa. Gli allievi possono quindi sperimentare le potenzialità che una disciplina astratta quale la matematica può offrire nel campo delle scienze sperimentali, apprezzandone il campo di validità e abituandosi a fare una valutazione critica dell'eventuale deviazione dalla teoria dell'esperienza pratica.

Nella nostra scuola, un istituto tecnico industriale, il cambiamento dei programmi ministeriali di qualche anno fa, con lo slittamento della chimica alla classe prima ed una temporanea, ma fruttuosa, escursione nella sperimentazione Brocca, che determinò una più stretta collaborazione tra i laboratori di chimica e di fisica, permise agli insegnanti di queste due discipline di giungere ad un accordo sulla trattazione dei gas: entrambi si sarebbero occupati dell'argomento, ma in particolare sarebbe spettata al laboratorio di chimica la cura della verifica sperimentale delle leggi dei gas.

Il laboratorio di chimica era in grado di fornire a ciascun allievo il materiale necessario per consentire l'osservazione individuale dell'andamento pressione / volume a temperatura costante e volume / temperatura a pres-

PATRIZIA DALL'ANTONIA^(*)

sione costante: la verifica, dunque, della legge di Boyle e della prima legge di Gay - Lussac (nota anche come legge di Charles) non presentava problemi.

Anche l'andamento pressione / temperatura a volume costante poteva venir osservato collettivamente per mezzo di uno strumento relativamente semplice disponibile nella scuola; d'altra parte i docenti ritenevano più utile l'osservazione fatta individualmente dall'allievo.

L'occasione per realizzare altri strumenti che consentissero la verifica individuale della seconda legge di Gay - Lussac, si ebbe in seguito all'introduzione dell' "area di progetto". Pur nella consapevolezza della difficoltà di guidare allievi delle classi inferiori ad una vera e propria iniziativa di progettazione e di realizzazione di uno strumento, in considerazione della molteplicità delle discipline coinvolte (chimica, fisica, matematica, disegno tecnico, tecnologia) e dell'interesse dell'argomento, fu decisa l'attuazione dell'iniziativa, iniziando con tre classi prime.

Dal momento che il lavoro dell'area di progetto ha inizio verso la fine del primo anno e si svolge per la maggior parte durante il secondo anno, gli allievi erano già in possesso di semplici nozioni di analisi matematica e di statica dei fluidi; conoscevano inoltre il concetto di pressione e avevano già sperimentato ed appreso le leggi dei gas, nell'approssimazione del gas ideale.

Descrizione del lavoro

La proposta è stata quella di costruire, utilizzando come prototipo lo strumento già usato in forma collettiva,

altri strumenti basati sugli stessi presupposti teorici. Si richiedeva però agli studenti l'introduzione di alcune modifiche tali da consentirne la realizzazione in conformità con precisi obiettivi didattici e nel rispetto della sicurezza del laboratorio.

Un disegno in scala del prototipo è presentato in figura 1. La beuta A contiene un gas o una miscela gassosa (generalmente si lavora con aria) alla pressione atmosferica; essa viene immersa in un bagno termostatico ad acqua provvisto di termometro ed è collegata a un braccio di un manometro a mercurio (l'altro braccio è aperto). Il volume del gas deve restare pressoché costante; una variazione della temperatura produce una variazione di pressione che si rileva dal cambiamento di livello nei due bracci del manometro. Il dislivello Δh viene considerato positivo quando la pressione aumenta, negativo quando diminuisce; con semplici conversioni si arriva a un valore di ΔP che, sommato alla pressione atmosferica, fornisce la pressione del gas.

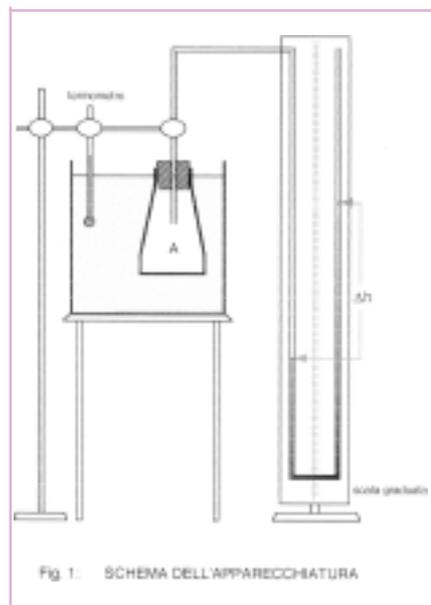


Fig. 1: SCHEMA DELL'APPARECCHIATURA

Agli allievi è stata richiesta la realizzazione di strumenti che, mantenendo le stesse dimensioni (ideali per porre lo strumento su di un banco di lavoro e consentire una comoda lettura), utilizzino liquidi manometrici diversi dal mercurio. Tale richiesta è dovuta a due ragioni fondamentali:

- una di tipo tecnico: il mercurio è di difficilissima manipolazione, e i suoi vapori sono altamente tossici;
- una di tipo didattico: con allievi nella fase di entrata nella scuola secondaria superiore è opportuno affrontare semplici problemi connessi con la statica dei fluidi, in quanto tale argomento risulta spesso di difficile applicazione pratica.

Uno degli obiettivi del lavoro è proprio relativo alla statica dei fluidi. Un esempio tipico è, per esempio, il calcolo dell'altezza della colonna d'acqua la cui pressione è uguale a quella determinata da un dislivello di x mm di mercurio in un tubo ad U; se gli allievi possono osservare direttamente l'effetto di una variazione di pressione su un tubo ad U riempito di mercurio rispetto ad uno riempito di un liquido manometrico meno denso, paragonando quindi gli effetti di liquidi manometrici diversi (meno è denso il liquido più dislivello osservo: perché?), possono arrivare in modo autonomo alla formulazione della legge di Stevino, prima qualitativamente e poi quantitativamente. In seguito possono essere in grado di prevedere un giusto dimensionamento per lo strumento da realizzare.

Difficoltà rilevanti si riscontrano per l'uso delle unità di misura: un buon numero di allievi all'inizio non riesce nemmeno a distinguere il concetto di grandezza fisica da quello della sua unità di misura. Anche in seguito, superato questo primo impedimento, si presentano difficoltà nella conversione di un'unità di misura in un'altra, soprattutto se le stesse si riferiscono a grandezze fisiche derivanti dal rapporto di altre più semplici (densità, velocità, pressione, etc.). D'altro canto sempre più spesso si richiede anche nella vita quotidiana l'uso delle unità del Sistema Internazionale, per cui è opportuno abituare il prima possibile gli allievi a questa normativa. Il lavoro proposto è in buona parte fondato su misure di pressione, e presenta quindi un'ottima occasione di esercizio al riguardo.

Scelta dei liquidi manometrici

Agli allievi è stato inizialmente posto il problema della scelta di qualche sostanza allo stato liquido che potesse sostituire il mercurio nel manometro; le prime proposte si sono indirizzate su alcool, olio ed acqua.

Il lavoro è quindi partito con osservazioni qualitative riguardo alle possibilità di funzionamento di un manometro con dette sostanze: i liquidi sono stati introdotti in tubi ad U piegati dagli allievi stessi in laboratorio e collegati ad una beuta di circa 300 mL contenente aria. Già con il riempimento di acqua un dato è risultato immediatamente evidente: il solo fatto di prendere in mano la beuta e quindi di far passare il gas da una temperatura ambiente di circa 20 °C a una leggermente superiore provocava un dislivello dell'acqua nel manometro ben maggiore di quello del mercurio. Problemi indotti: Quanto maggiore? Di quanto è maggiore la densità del mercurio rispetto a quella dell'acqua? Che relazione si può trovare tra la densità ed i dislivelli? Tali effetti venivano ulteriormente esaltati utilizzando l'alcool e l'olio d'oliva. Soliti problemi: Di quanto maggiore è il dislivello del liquido nel manometro rispetto a quello dell'acqua? E' possibile da questo dato ricavare all'incirca le densità dell'olio e dell'alcool? Tutte queste osservazioni possono fornire elementi per ricavare operativamente la legge di Stevino.

Una prima conclusione è stata quindi la seguente: se si vuol mantenere l'altezza del manometro nel limite di 60 cm, come il prototipo, l'intervallo di temperatura su cui si possono eseguire misure usando l'acqua come liquido manometrico è molto limitato, e si restringe ulteriormente usando olio e alcool etilico. L'uso di questi due ultimi liquidi è stato quindi immediatamente scartato.

Dal momento che gli allievi che entrano nel biennio della scuola secondaria superiore non hanno nessuna cognizione di chimica organica, è stato ritenuto opportuno evitare la proposta di sostanze non chimicamente note e meno comuni quali oli pesanti che, oltre alla maggiore densità, avrebbero presentato il vantaggio di tensioni di vapore molto basse. Occorre tener conto del fatto che una delle caratteristiche dell'area di progetto è quella di lasciare ampio spazio decisionale agli allievi, aiutandoli piuttosto

sto a risolvere i problemi inizialmente non noti che si possono verificare durante il lavoro; se quindi la scelta dell'acqua come liquido manometrico può sembrare inopportuna data la tensione di vapore non trascurabile alle temperature di lavoro, la scelta è stata rispettata rimandando il problema al momento delle prove quantitative. Bisogna sottolineare che, pur essendo gli allievi a conoscenza del concetto di tensione di vapore, nessuno ha avanzato obiezioni riguardo alla scelta dell'acqua come liquido manometrico: evidentemente il concetto non è ancora familiare e non viene quindi collegato al problema pratico da risolvere.

Al momento dell'inizio del lavoro gli allievi avevano qualche nozione sulle proprietà delle soluzioni acquose ed erano in grado di preparare soluzioni di data concentrazione; è stata quindi proposta l'individuazione di qualche sostanza molto solubile, che consenta la realizzazione di una soluzione con densità più elevata rispetto a quella dell'acqua. Usando le tabelle disponibili la scelta è caduta sul cloruro di zinco, sostanza disponibile nel laboratorio; ne è stata preparata una soluzione al 70 % m/m della quale è stata determinata la densità relativa all'acqua per mezzo di picnometri.

In definitiva è stato stabilito di costruire gli strumenti usando come liquidi manometrici acqua distillata e soluzione di cloruro di zinco, realizzando comunque, con l'aiuto del personale di laboratorio, anche uno strumento che utilizzasse il mercurio da utilizzare a scopo di controllo.

Dimensionamento degli strumenti

E' necessario prevedere l'intervallo di temperature entro il quale gli strumenti possono funzionare e stabilire le dimensioni della beuta contenente il gas, in modo da assicurare con buon livello di approssimazione la costanza del volume del gas durante l'esperienza. Effettivamente la variazione di livello del liquido nel manometro provoca una variazione del volume del gas, variazione pari alla metà del volume di una colonna di liquido di altezza Δh . Dato che questa variazione deve essere trascurabile, è stato stabilito che il volume totale occupato dal gas deve essere almeno 100 volte maggiore di tale incremento.

Procedimento:

- La seconda legge di Gay - Lussac ci permette di trovare la variazione di pressione di un gas con il variare della temperatura a volume costante, secondo la nota relazione $\Delta P = P_0 \alpha \Delta T$, dove:

P_0 = pressione del gas a 0°C;

$\alpha = 1 / 273 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ = coefficiente di dilatazione universale.

- Supponendo che la pressione del gas a 0°C sia di 1 atm, 101300 Pa, si può calcolare la variazione di pressione del gas, che per una variazione di temperatura di 10°C risulta:

$$\Delta P = P_0 \alpha \Delta T = 3711 \text{ Pa}$$

- In base alla legge di Stevino, il dislivello Δh che un liquido di densità d assume in un tubo a U in seguito alla differenza di pressione Δp sui due bracci, è dato dalla relazione seguente:

$$\Delta h = \Delta p / d \cdot g,$$

dove g = accelerazione di gravità.

La tabella I riporta in terza colonna i valori Δh di dislivello calcolati per ciascun liquido; vengono poi riportati il volume di liquido spostato ΔV , prevedendo di usare tubi di vetro del diametro di 4 mm, la conseguente variazione di volume del gas, quindi il volume V del contenitore che permette di rendere trascurabile tale incremento e, nell'ultima colonna, le variazioni massime di temperatura di "fondo scala" degli strumenti.

Attendibilità degli strumenti

Da quando sono stati realizzati, gli strumenti vengono usati ogni anno pressochè da tutte le classi prime; i risultati che essi danno sono ripetibili. Nei grafici 1, 2, e 3 vengono riportati i dati pressione / temperatura rilevati dagli studenti di una classe prima con strumenti a soluzione di cloruro di zinco, ad acqua e a mercurio.

Come si può notare i punti si presentano allineati con una buona correlazione. La tabella II riporta la pendenza (k) e l'intercetta (P_0) per ciascuna delle tre rette interpolate col metodo dei minimi quadrati, nonchè il valore sperimentale del coefficiente di dilatazione universale a ricavato dal rapporto k/P_0 .

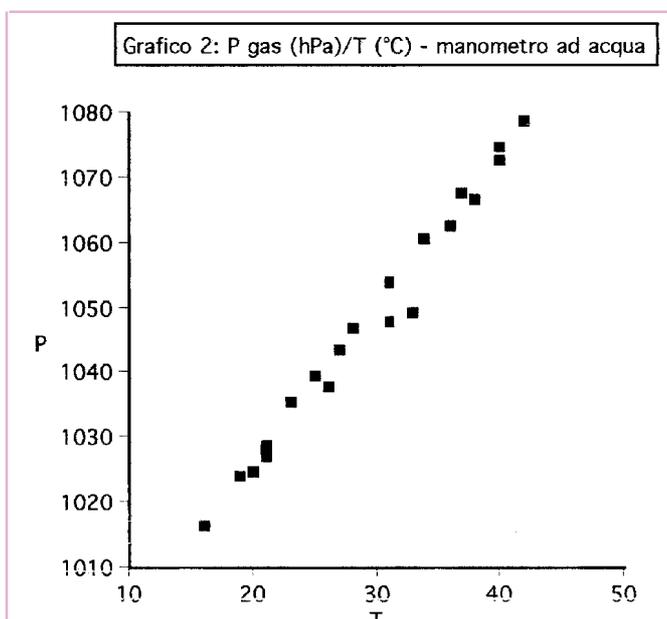
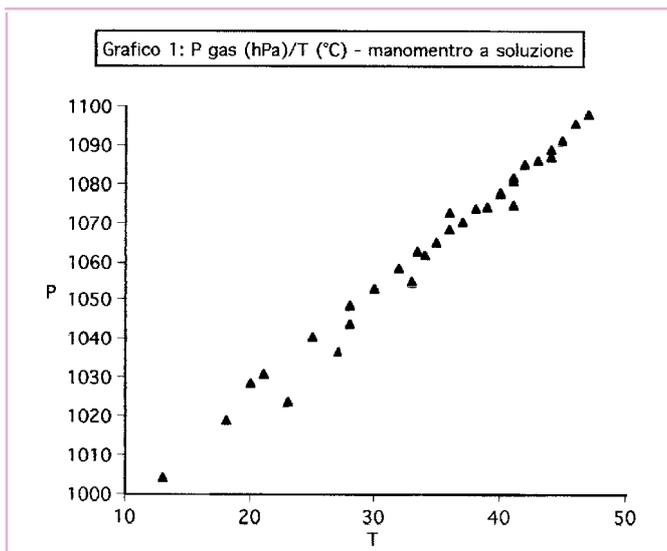


Tabella II

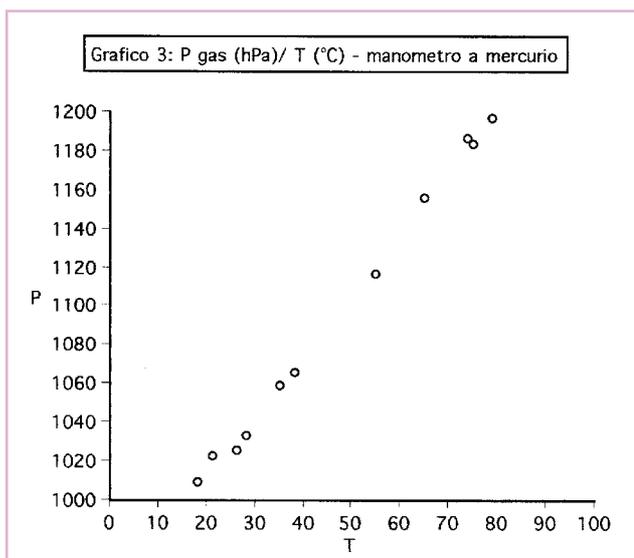
Liquido manometrico	k (hPa/°C)	P ₀ (hPa)	α (1/°C)
Soluzione ZnCl ₂	2,70	970	2,78 10 ⁻³
Acqua	2,38	978	2,48 10 ⁻³
Mercurio	3,15	949	3,31 10 ⁻³
Acqua (con correzione)	2,38	958	2,48 10 ⁻³

Tabella I

Liquido	d liquido (Kg/m ³)	Δh liquido (cm)	ΔV liquido (cm ³)	ΔV gas (cm ³)	V beuta (cm ³)	ΔT (°C)
acqua	1000	37,9	4,8	2,4	250	± 10
soluzione	1880	18,9	2,4	1,2	250	± 20
mercurio	13600	3,0	0,4	0,2	250	± 120

tazione universale a ricavato dal rapporto k/P_0 .

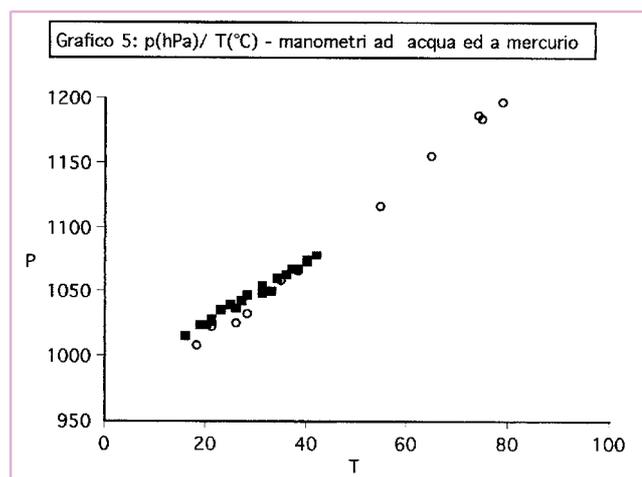
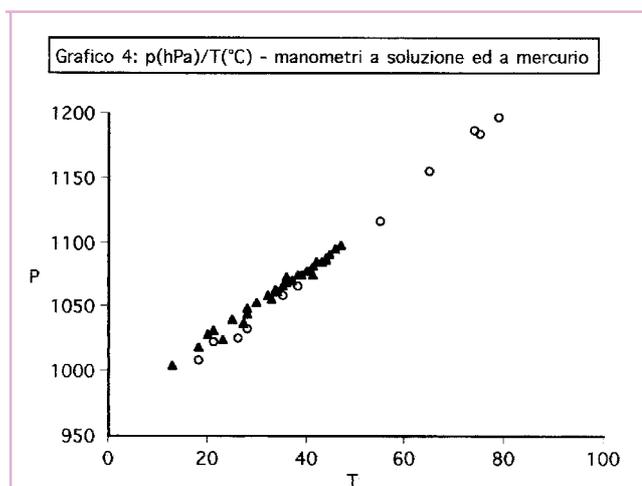
Nell'ultima riga vengono riportati i parametri relativi allo strumento ad acqua, calcolati applicando la correzione per la tensione di vapore (vedi punto successivo).



Il problema della tensione di vapore

I grafici 4 e 5 mettono a confronto i dati ottenuti usando lo strumento a mercurio con quelli ottenuti usando rispettivamente lo strumento a soluzione e quello ad acqua. Da questi grafici si ricava che, prendendo come riferimento lo strumento a mercurio, intercetta e pendenza della retta relativa alla soluzione sono abbastanza

vicini, mentre l'intercetta della retta per lo strumento ad acqua è maggiore e la pendenza minore: sulle cause di questo comportamento, che è stato notato fin dalle prime prove quantitative fatte al momento della scelta dei liquidi manometrici, viene richiesta agli studenti la formulazione di qualche ipotesi.



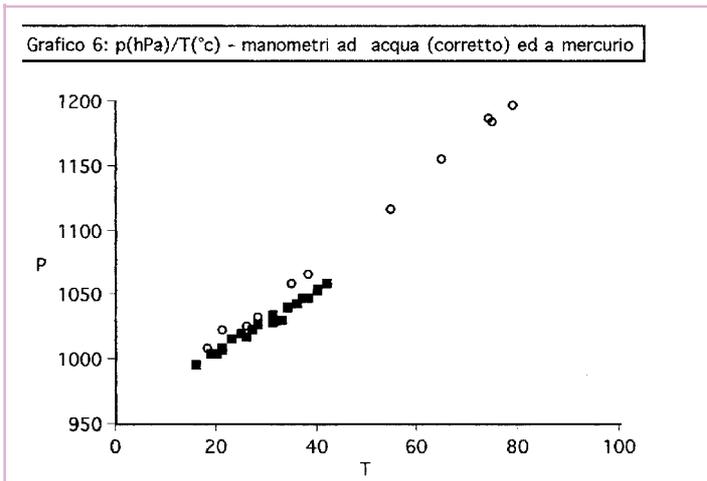
Dopo l'intervento degli insegnanti gli studenti avanzano l'ipotesi seguente: quando si usa come liquido manometrico l'acqua, c'è "qualche cosa in più" all'interno della beuta che in teoria dovrebbe contenere solo aria; questo qualche cosa in più non varia la propria pressione al variare della temperatura. A questo punto l'insegnante riprende l'argomento della tensione di vapore: il qualche cosa in più potrebbe essere il vapore proveniente dal liquido manometrico che ha avuto il tempo di saturare il volume a sua disposizione (ramo del manometro, raccordo, contenitore del gas). Esaminando le tabelle della tensione di vapore dell'acqua in dipendenza di T, gli allievi ricavano che alla temperatura di lavoro (circa 20°C) la tensione di vapore dell'acqua non è trascurabile (circa 20 hPa); il gas di cui si fanno le misure di pressione è quindi costituito da una miscela d'aria e di vapor acqueo. La tensione di vapore dell'acqua non varia apprezzabilmente durante le misure: il manometro è sufficientemente lontano dal termostato, per cui l'acqua in esso contenuta resta alla temperatura pressoché costante dell'ambiente.

Una semplice correzione fatta sottraendo ai valori di pressione della miscela gassosa quelli della tensione di vapore dell'acqua alla temperatura ambiente a cui si è lavorato, dovrebbe fornire la sola pressione del gas. Il grafico 6 riporta l'andamento pressione / temperatura per lo strumento a mercurio e ad acqua con la correzione sopra descritta.

L'argomento offre lo spunto per un'interessante sviluppo. Si può infatti notare come l'errore introdotto dall'aver trascurato la tensione di vapore nel manometro a soluzione sia molto meno accentuato; questo dato può essere interpretato alla luce dell'abbassamento della tensione di vapore di una soluzione, abbassamento particolarmente sensibile per una soluzione di alta concentrazione come quella da noi utilizzata.

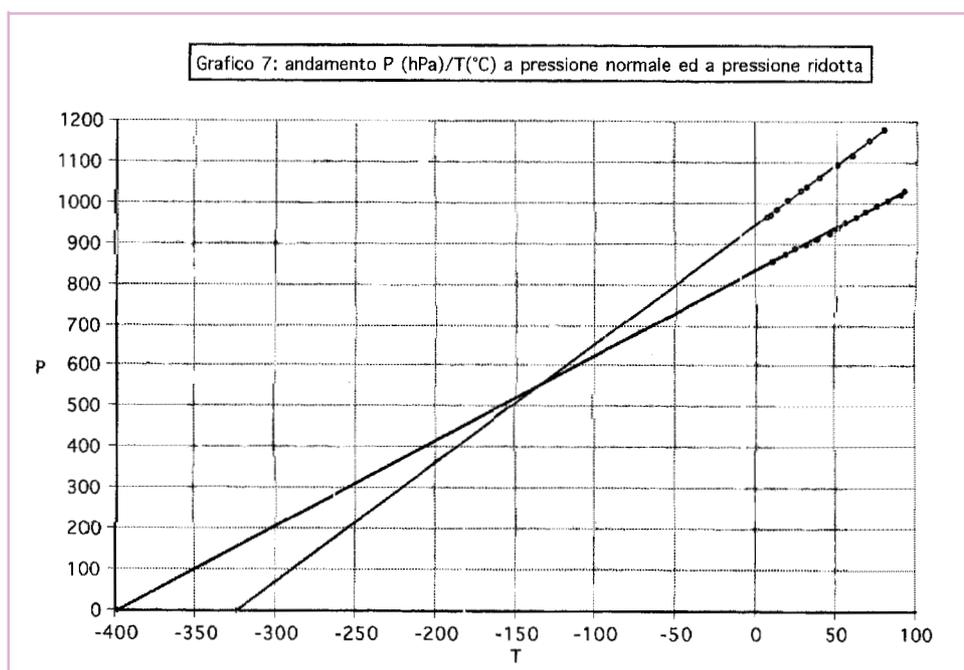
Calcolo del coefficiente di dilatazione universale α e conclusione

Sono state eseguite dagli insegnanti anche prove a pressione ridotta (vedi grafico 7), i cui risultati sono stati presentati agli studenti per dimostrare la dipendenza della pendenza delle rette dal valore di P₀. Il punto di convergenza delle due rette si trova ben lon-



tano dallo zero assoluto; l'anomalia è evidenziata anche dai valori sperimentali del coefficiente di dilatazione a che si possono ricavare dal rapporto tra la pendenza (k) e l'intercetta a 0°C (P_0) delle rette sperimentali, valori la cui media è di $2,76 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, contro il valore teorico $3,66 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

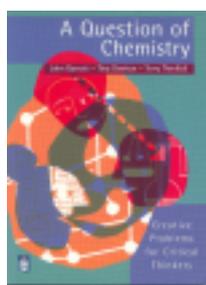
La validità degli strumenti costruiti in classe si limita quindi alla verifica quantitativa della linearità dell'andamento pressione / temperatura e alla verifica solo qualitativa della dipendenza della variazione di pressione (ΔP) dal valore della pressione del gas a 0°C (P_0).



Libri pervenuti in redazione



V. Petrone, E. Fioco; "L'impianto chimico Aspetti generali-Operazioni unitarie-Innovazioni tecniche". Edizioni Scientifiche SIDERA, Roma 2000. 1 vol. di 678 pagg.



J. Garratt, T. Overton, T. Threlfall; "A question of Chemistry: creative problems for critical thinkers". Longman, Singapore 1999. 1 vol. di XII + 162 pagg.



Bruno Marchesini; "Igiene industriale". Il edizione. Maggioli Editore. 1 vol. di 471 pagg. L. 64.000



Alessandra Cenerini, Rosario Drago; "Professionalità e codice deontologico degli insegnanti". Edizioni Erickson, Trieste. 1 vol. di 299 pagg. L.35.000