CAPITOLO

4

Le tecniche di separazione

Per sapere di che cosa è fatta una cosa, prima bisogna imparare a dividerla senza perderne nulla.

OBIETTIVI

1. Riconoscere quale proprietà fisica permette di separare i componenti di un miscuglio.
2. Scegliere e descrivere la tecnica adatta a un miscuglio eterogeneo o omogeneo.
3. Disegnare e montare correttamente un apparato di filtrazione e di distillazione semplice.
4. Eseguire una cromatografia su carta e calcolare il fattore di ritenzione R_f.
5. Collegare le tecniche di laboratorio alla potabilizzazione, alle saline, alla raffinazione del petrolio e al riciclo.
6. Leggere i pittogrammi di pericolo e rispettare le norme di sicurezza in laboratorio.

INDICE DEL CAPITOLO

4.1 Separare un miscuglio: il principio generale 2

4.2 Separare i miscugli eterogenei 3

4.3 Separare i miscugli omogenei: evaporazione, cristallizzazione, distillazione 8

4.4 Estrazione e cromatografia 12

4.5 Le separazioni nella vita reale 16

4.6 La sicurezza in laboratorio 18

Scienze naturali 1 · Parte I · La materia e le sue trasformazioni · versione 1.0
Capitolo 4: Le tecniche di separazione · pagine 93–116 del volume completo · estratto per lo studio

Nel Capitolo 3 abbiamo visto che quasi tutto ciò che ci circonda è un miscuglio: l'acqua del rubinetto, l'aria, il latte, la sabbia della spiaggia, l'inchiostro di una penna. Le sostanze pure, in natura, sono un'eccezione. Eppure in un ospedale serve ossigeno puro, in una farmacia serve un principio attivo senza impurità, e a casa vogliamo un'acqua da bere priva di fango e di batteri. Ogni volta che qualcuno ha bisogno di una sostanza pura, o vuole sapere che cosa contiene un campione, deve prima *separare* un miscuglio nei suoi componenti.

In questo capitolo impariamo i metodi che i chimici usano da secoli, e che si ritrovano, ingranditi mille volte, negli impianti industriali: dal colino della cucina al filtro dell'acquedotto, dalla pentola che fuma alla colonna di una raffineria alta quanto un palazzo. Vedremo anche come si lavora in sicurezza in un laboratorio, perché separare significa scaldare, filtrare, maneggiare vetreria e solventi.

4.1 Separare un miscuglio: il principio generale

In un miscuglio i componenti non sono legati chimicamente: ciascuno conserva le proprie proprietà. Lo zolfo in un miscuglio con limatura di ferro resta giallo e il ferro resta attratto dalla calamita; il sale disciolto nell'acqua resta salato. Proprio per questo i componenti di un miscuglio si possono separare con metodi fisici, cioè senza trasformarli in sostanze diverse. È la differenza fondamentale fra un miscuglio e un composto: per scomporre un composto, come l'acqua, servono trasformazioni chimiche (lo vedremo nel Capitolo 5).

Ogni tecnica di separazione sfrutta una **differenza in una proprietà fisica** fra i componenti. Le proprietà più usate sono:

- le **dimensioni** delle particelle (granelli, cristalli, gocce);
- la **densità**: il componente più denso tende ad andare verso il basso;
- la **solubilità** in un certo solvente: un componente si scioglie, l'altro no;
- la **temperatura di ebollizione**, cioè la volatilità: il componente più volatile evapora per primo;
- il **magnetismo**: alcuni metalli (ferro, nichel, cobalto) sono attratti da una calamita;
- l'**affinità** per un materiale: alcune sostanze aderiscono a una superficie più di altre.

La scelta della tecnica dipende quindi da due domande: il miscuglio è eterogeneo o omogeneo? E in quale proprietà i componenti differiscono di più? La Figura 4.1 riassume il percorso logico. In un miscuglio eterogeneo i componenti sono già in fasi distinte, e spesso basta un'azione meccanica (setacciare, lasciar depositare, filtrare). In un miscuglio omogeneo, invece, i componenti sono mescolati a livello delle particelle: per separarli bisogna provocare un cambiamento di

stato (evaporazione, ebollizione, cristallizzazione) o sfruttare differenze di affinità molto sottili (cromatografia).

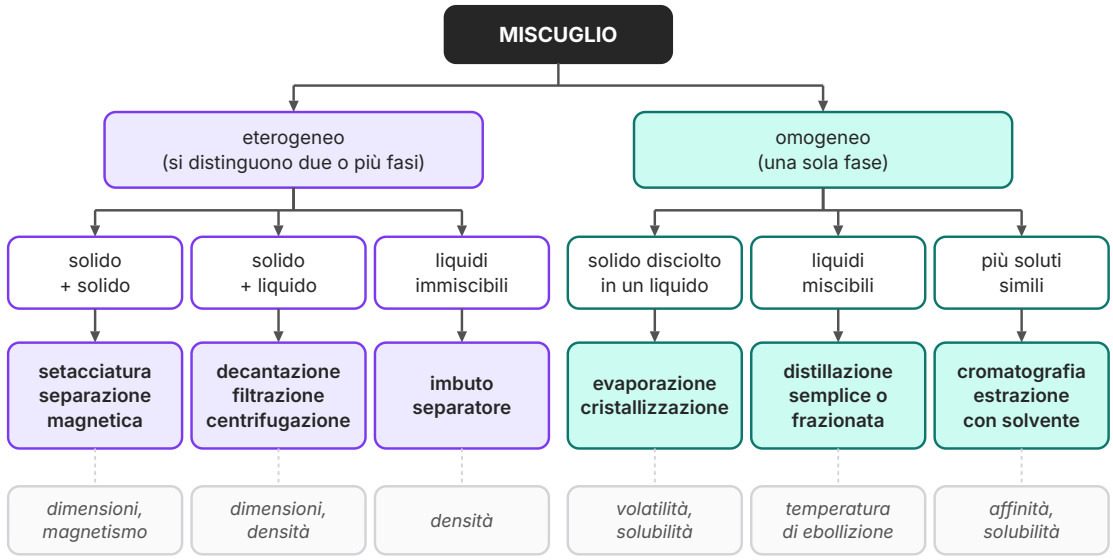

Figura 4.1 Come scegliere la tecnica di separazione. Si parte dal tipo di miscuglio e dallo stato dei componenti; nell'ultima riga, in corsivo, la proprietà fisica che ciascuna tecnica sfrutta. Per un solido disciolto si usa la distillazione se si vuole recuperare anche il solvente.

Spesso una sola tecnica non basta. Per ottenere sale da cucina pulito dal salgemma, per esempio, si scioglie il minerale in acqua, si filtrano le impurità insolubili e poi si fa evaporare l'acqua: tre operazioni in sequenza, ognuna scelta per una proprietà diversa. Progettare una separazione significa proprio mettere in fila le tecniche giuste.

4.2 Separare i miscugli eterogenei

4.2.1 Setacciatura e separazione magnetica

La **setacciatura** separa solidi formati da granelli di dimensioni diverse facendoli passare attraverso un setaccio, cioè una rete con maglie di apertura nota: i granelli più piccoli delle maglie passano, gli altri restano sopra. Si setaccia la farina in cucina; nei cantieri e nelle cave la stessa operazione, chiamata vagliatura, separa sabbia, ghiaia e ciottoli. Usando una pila di setacci con maglie sempre più fini si ottiene la *granulometria* di un terreno, cioè la percentuale di granelli di ciascuna dimensione: un dato importante in geologia e in agricoltura.

La **separazione magnetica** sfrutta il fatto che pochi materiali, soprattutto il ferro e le sue leghe, sono attratti da una calamita. L'esperimento classico consiste nel separare un miscuglio di limatura di ferro e polvere di zolfo: avvicinando una calamita, avvolta in un foglio di carta

per poterla poi ripulire, la limatura si stacca dallo zolfo. Su scala industriale grandi elettromagneti estraggono i rottami di ferro dai rifiuti e dai materiali da riciclare.

4.2.2 Decantazione e imbuto separatore

Se in un liquido è sospeso un solido più denso, basta aspettare: la gravità fa depositare le particelle sul fondo. La **decantazione** consiste nel lasciar sedimentare il solido e poi versare con cautela il liquido limpido sovrastante in un altro recipiente, senza smuovere il deposito. È il motivo per cui si «decanta» un vino vecchio, che ha formato un sedimento nella bottiglia, e il principio delle vasche di sedimentazione degli acquedotti. La decantazione è lenta se le particelle sono piccole e poco più dense del liquido; inoltre non è mai perfetta, perché un po' di liquido resta sempre insieme al deposito.

Lo stesso principio vale per due liquidi **immiscibili**, come acqua e olio: lasciati in quiete, formano due strati, e il meno denso galleggia sull'altro. Per separarli si usa l'**imbuto separatore**, un recipiente di vetro a forma di pera chiuso in alto da un tappo e in basso da un rubinetto (Figura 4.2). Dopo aver lasciato separare gli strati, si toglie il tappo e si apre il rubinetto: esce per primo il liquido più denso. Quando la superficie di separazione arriva al rubinetto lo si chiude, e il liquido superiore si versa dall'apertura in alto, così non si contamina con le gocce rimaste nel gambo.

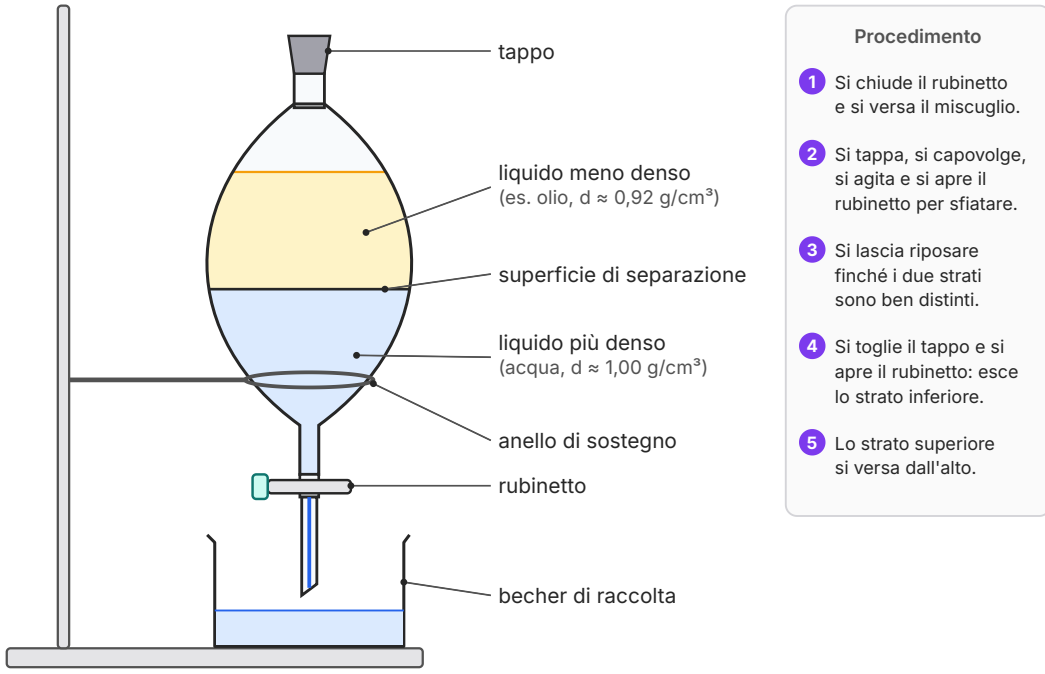

Figura 4.2 Imbuto separatore con due liquidi immiscibili. Il liquido più denso forma lo strato inferiore ed esce per primo dal rubinetto; a destra le fasi dell'operazione.

ERRORE FREQUENTE

«Il liquido che sta sopra è quello più leggero.» Non è questione di quanto liquido c'è, ma di **densità**: 1 L di olio pesa meno di 1 L d'acqua, ma una piccola quantità d'acqua finisce comunque sotto una grande quantità d'olio. E non sempre l'acqua sta sotto: con il diclorometano, un solvente di densità 1,33 g/cm³, l'acqua forma lo strato *superiore*. Prima di aprire il rubinetto, controlla sempre le densità.

4.2.3 La filtrazione

La **filtrazione** separa un solido da un liquido facendo passare il miscuglio attraverso un materiale poroso, il filtro, che lascia passare il liquido e trattiene le particelle solide più grandi dei suoi pori. Il solido trattenuto si chiama **residuo**; il liquido limpido che attraversa il filtro si chiama **filtrato**. In laboratorio il filtro più comune è un disco di carta da filtro, piegato a cono e inserito in un imbuto di vetro (Figura 4.3). Il caffè della moka, la bustina del tè, la mascherina e il filtro dell'aspirapolvere sono tutti esempi di filtrazione nella vita quotidiana.

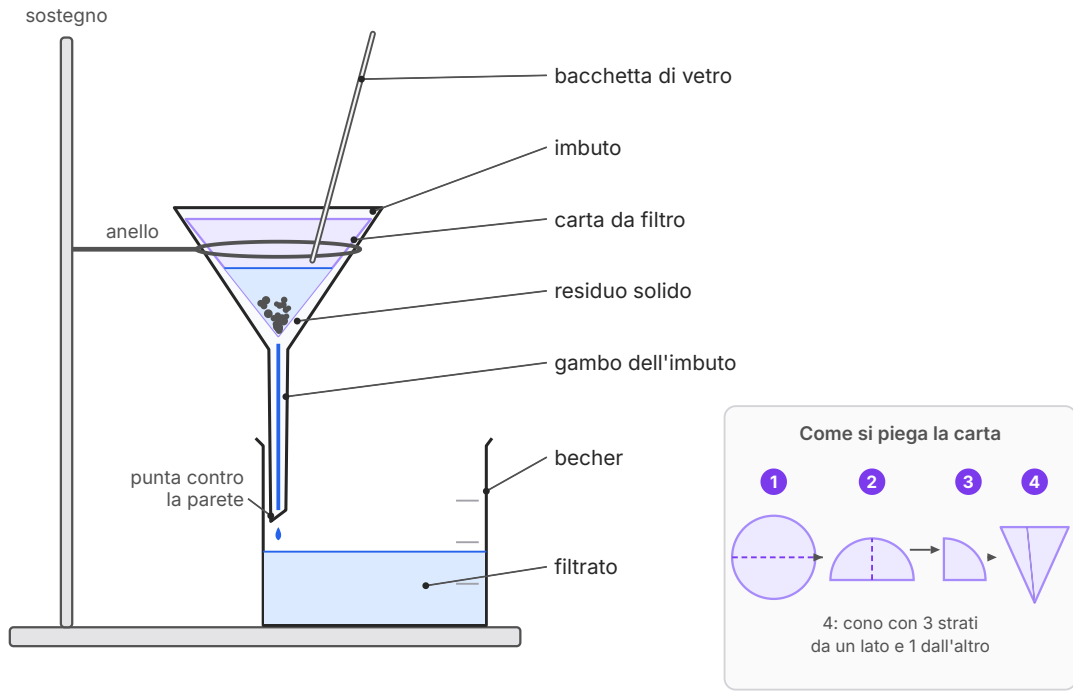

Figura 4.3 Filtrazione per gravità. Il miscuglio si versa lungo la bacchetta, il livello del liquido resta sotto il bordo della carta e la punta del gambo tocca la parete del becher. Nel riquadro, la piegatura della carta da filtro in un cono (schema non in scala).

Nella **filtrazione per gravità** il liquido scende solo per il proprio peso. Per lavorare bene servono alcuni accorgimenti: la carta va inumidita con un po' di solvente in modo che aderisca al vetro; il livello del liquido deve restare sotto il bordo della carta, altrimenti il miscuglio passerebbe tra carta e vetro senza essere filtrato; il miscuglio si versa lungo una bacchetta di vetro, per non schizzare e non bucare la carta; la punta del gambo dell'imbuto tocca la parete del becher, così il filtrato scivola lungo il vetro senza schizzi. Conviene lasciar decantare prima il solido e versare per primo il liquido limpido: i pori della carta si intasano più tardi.

Quando il solido è abbondante o molto fine, la filtrazione per gravità diventa lentissima. Si ricorre allora alla **filtrazione sotto vuoto**: si usa un imbuto di porcellana con il fondo piatto e forato, detto **imbuto di Büchner**, su cui si appoggia un disco di carta da filtro. L'imbuto è inserito, con una guarnizione di gomma, in una beuta a pareti spesse con un tubicino laterale (beuta da vuoto), collegata a una pompa che aspira l'aria. La pressione sotto il filtro diventa minore di quella atmosferica e l'aria spinge il liquido attraverso la carta in pochi secondi. Il solido resta sul filtro quasi asciutto.

ERRORE FREQUENTE

«Con un buon filtro si può togliere il sale dall'acqua di mare.» No: il sale disciolto non forma particelle solide da trattenere, ma è distribuito fra le particelle d'acqua (è una **soluzione**, un miscuglio omogeneo). Soluto e solvente attraversano insieme la carta da filtro. La filtrazione separa solo ciò che è **sospeso**, non ciò che è **disciolto**.

ESEMPIO SVOLTO

Esperienza di laboratorio: separare sabbia e sale

Materiali: 25,0 g di un miscuglio di sabbia e sale, acqua distillata, becher, bacchetta, imbuto, carta da filtro, capsula di porcellana, piastra riscaldante, bilancia.

Procedimento: (1) si aggiungono circa 100 mL d'acqua e si mescola: il sale si scioglie, la sabbia no; (2) si filtra: la sabbia resta sulla carta, la soluzione salata passa; (3) si lava la sabbia con poca acqua per recuperare il sale rimasto e la si lascia asciugare; (4) si scalda il filtrato nella capsula fino a far evaporare l'acqua: resta il sale.

Risultati: sabbia asciutta 18,2 g; sale 6,5 g. Percentuale di sabbia: 18,2 g / 25,0 g × 100 = 72,8 %. La somma delle masse recuperate è 24,7 g: mancano 0,3 g, persi sulle pareti, nella carta o negli schizzi. Nessuna separazione reale recupera il 100 % dei componenti; un buon chimico misura anche quanto ha perso.

4.2.4 La centrifugazione

Se le particelle sospese sono molto piccole, o hanno una densità vicina a quella del liquido, la decantazione può richiedere ore o giorni, e la filtrazione può essere impossibile perché le particelle passano attraverso i pori. In questi casi si usa la **centrifugazione**: le provette con il miscuglio vengono fatte ruotare ad alta velocità, migliaia di giri al minuto, in un apparecchio chiamato centrifuga. La rotazione produce sulle particelle un effetto simile a una gravità molte volte più intensa di quella terrestre, e i componenti più densi si raccolgono rapidamente in fondo alla provetta. Il liquido limpido sovrastante, il *surnatante*, si separa poi per decantazione.

La centrifugazione si usa per separare la panna dal latte, per chiarificare i succhi di frutta e, soprattutto, nei laboratori di analisi del sangue (§ 4.5). Anche la centrifuga della lavatrice sfrutta la rotazione, ma lì l'acqua viene spinta fuori dai fori del cestello: è una combinazione di centrifugazione e filtrazione.

Una centrifuga va sempre **bilanciata**: le provette si dispongono a coppie, una di fronte all'altra, con la stessa quantità di liquido. Una centrifuga sbilanciata vibra violentemente e può rompere le provette o danneggiarsi.

4.3 Separare i miscugli omogenei: evaporazione, cristallizzazione, distillazione

4.3.1 Evaporazione e cristallizzazione

Per recuperare un solido disciolto in un liquido si può eliminare il solvente con l'**evaporazione**: la soluzione si lascia all'aria in un recipiente largo e basso, oppure si scalda dolcemente in una capsula di porcellana. Il solvente passa allo stato aeriforme e si disperde; il soluto resta nel recipiente. È il metodo più semplice, ma ha due limiti: il solvente va perduto, e il solido si deposita in una crosta di piccoli cristalli che possono inglobare impurità.

La **cristallizzazione** serve invece a ottenere un solido **puro** in cristalli ben formati. Si prepara una soluzione satura a caldo, si filtra se ci sono impurità insolubili, e poi la si lascia raffreddare lentamente, oppure si lascia evaporare lentamente il solvente. Poiché la solubilità di molti solidi diminuisce quando la temperatura si abbassa (Capitolo 3), raffreddando la soluzione diventa sovrassatura e il soluto in eccesso si separa sotto forma di cristalli. Le eventuali impurità, presenti in piccola quantità, restano disciolte nella soluzione rimasta, detta *acqua madre*. I cristalli si raccolgono poi per filtrazione.

Tabella 4.1 Solubilità in acqua (grammi di soluto che saturano 100 g d'acqua) del nitrato di potassio e del cloruro di sodio. Sono gli stessi dati della Tabella 3.3 (Capitolo 3), arrotondati da manuali di dati chimici.

Temperatura	20 °C	40 °C	60 °C	80 °C
nitrato di potassio, KNO_3	31,6	63,9	110	169
cloruro di sodio, NaCl	35,9	36,4	37,0	37,9

ESEMPIO SVOLTO

Quanti cristalli si ottengono raffreddando?

Problema. Una soluzione contiene 100 g d'acqua ed è satura di KNO_3 a 80 °C. Quanti grammi di KNO_3 cristallizzano se la si raffredda a 20 °C?

Soluzione. Dalla Tabella 4.1: a 80 °C sono disciolti 169 g di KNO_3; a 20 °C ne restano disciolti al massimo 31,6 g. La differenza si separa come solido: 169 g − 31,6 g = 137,4 g ≈ **137 g** di cristalli.

Confronto. Con NaCl la stessa operazione darebbe solo 37,9 g − 35,9 g = 2,0 g di cristalli, perché la sua solubilità cambia pochissimo con la temperatura. Il sale da cucina, infatti, si ottiene per **evaporazione** del solvente, non per raffreddamento.

4.3.2 La distillazione semplice

Se il solvente non si vuole perdere, o se si devono separare due liquidi miscibili, si usa la **distillazione**: il miscuglio viene scaldato fino all'ebollizione, il vapore viene raffreddato e torna liquido in un altro recipiente. Il liquido raccolto si chiama **distillato**. La distillazione sfrutta la differenza fra le temperature di ebollizione: il componente più volatile passa per primo allo stato di vapore. Si usa per ottenere acqua distillata dall'acqua di rubinetto (i sali disciolti restano nel pallone), per recuperare un solvente, per separare l'alcol etilico (temperatura di ebollizione 78,4 °C) dall'acqua (100 °C a 1 atm).

L'apparato per la distillazione semplice (Figura 4.4) va montato con precisione, perché ogni pezzo ha una funzione.

- **Pallone a fondo tondo:** contiene il miscuglio, riempito al massimo per metà o due terzi. Si scalda con un mantello riscaldante o un bagno, che distribuisce il calore in modo uniforme.
- **Pietre di ebollizione:** frammenti porosi che favoriscono la formazione di piccole bolle ed evitano che il liquido si surriscaldi e poi bolla all'improvviso, in modo violento.
- **Testa di distillazione e termometro:** il bulbo del termometro deve stare all'**altezza del raccordo laterale**, cioè proprio dove il vapore imbocca il refrigerante. Così misura la temperatura del vapore che sta per distillare, non quella del liquido che bolle.
- **Refrigerante di Liebig:** un tubo interno, dove passa il vapore, circondato da un tubo esterno in cui scorre acqua fredda. L'acqua **entra dal basso** ed **esce dall'alto**: così il tubo esterno resta sempre pieno, e l'acqua più fredda incontra per prima il vapore già quasi condensato (flusso in *controcorrente*), che è il modo più efficace di sottrarre calore.
- **Allunga e beuta di raccolta:** il distillato scende per gravità e si raccoglie nella beuta. L'apparato non deve mai essere chiuso ermeticamente, perché il vapore che si forma farebbe salire la pressione.

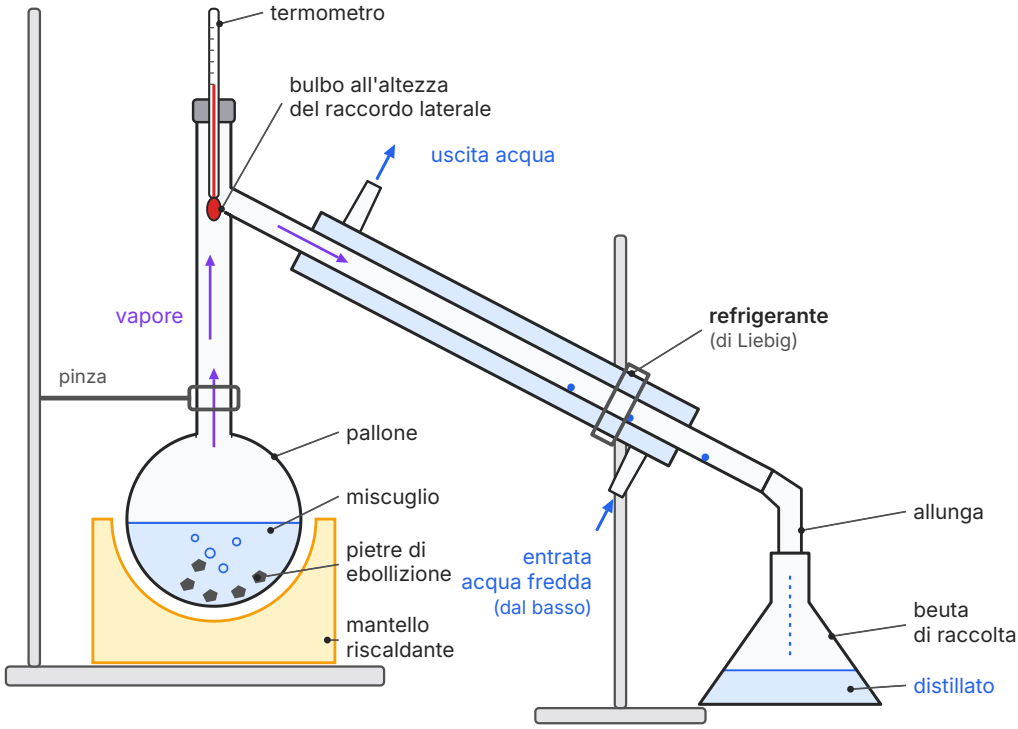

Figura 4.4 Apparato per la distillazione semplice. Il bulbo del termometro è all'altezza del raccordo laterale; l'acqua di raffreddamento entra dal basso ed esce dall'alto del refrigerante, in controcorrente rispetto al vapore.

DA RICORDARE

Distillazione semplice in tre regole: **bulbo all'altezza del raccordo**; **acqua del refrigerante dal basso verso l'alto**; **mai scaldare un sistema chiuso, mai portare a secco il pallone**.

La distillazione semplice funziona bene quando le temperature di ebollizione dei componenti sono molto diverse (indicativamente almeno 25 °C), oppure quando si deve separare un liquido da un solido disciolto, che praticamente non evapora. Se le temperature di ebollizione sono vicine, il vapore contiene una quantità notevole di entrambi i componenti, e il distillato è solo un po' più ricco del componente più volatile.

4.3.3 La distillazione frazionata e la raffinazione del petrolio

Nella **distillazione frazionata** fra il pallone e il refrigerante si inserisce una **colonna di frazionamento**, un tubo verticale riempito di sferette o anelli di vetro, oppure con rientranze nelle pareti (colonna di Vigreux). Il vapore che sale si raffredda, condensa in parte sulle superfici

della colonna, viene riscaldato dal vapore successivo e rievapora. Ogni ciclo di condensazione ed evaporazione arricchisce il vapore del componente più volatile, come se si ripetessero tante distillazioni semplici una sopra l'altra. In cima alla colonna arriva un vapore quasi puro del componente con la temperatura di ebollizione più bassa.

Il **petrolio greggio** è un miscuglio di centinaia di idrocarburi, composti di carbonio e idrogeno con molecole di dimensioni molto diverse. Nelle raffinerie viene scaldato in un forno a circa 400 °C e i vapori entrano alla base di una grande colonna di frazionamento, alta anche diverse decine di metri (Figura 4.5). La colonna è più calda in basso e più fredda in alto, ed è divisa da *piatti* forati. Le sostanze con temperatura di ebollizione alta condensano già nei piatti inferiori; le più volatili salgono fino in cima. Da ogni livello si preleva così una **frazione**, cioè un miscuglio di idrocarburi con temperature di ebollizione simili: dai gas usati come combustibile (in alto) alla benzina, al cherosene per gli aerei, al gasolio, fino ai residui pesanti da cui si ricavano oli lubrificanti, paraffine e bitume per le strade.

Le frazioni non sono sostanze pure: ciascuna è ancora un miscuglio, che viene poi lavorato con altri processi. Il residuo più pesante, per esempio, si distilla di nuovo a pressione ridotta, perché a pressione minore le sostanze bollono a temperatura più bassa (lo hai visto nel Capitolo 2) e non si decompongono. Anche l'aria si separa per distillazione frazionata: raffreddata fino a diventare liquida, si fa evaporare lentamente; l'azoto (−196 °C) evapora prima dell'argon (−186 °C) e dell'ossigeno (−183 °C). È così che si producono le bombole di ossigeno per gli ospedali.

APPROFONDIMENTO

Perché l'alcol distillato non arriva al 100 %. Distillando il vino si ottiene un liquido molto più ricco di alcol, ma anche con la distillazione frazionata più accurata non si supera circa il 95,6 % in massa di etanolo. A questa composizione, infatti, il vapore ha la stessa composizione del liquido: un miscuglio di questo tipo si chiama azeotropo e bolle a temperatura costante (78,2 °C) come se fosse una sostanza pura. Per avere alcol assoluto servono altre tecniche. È un buon esempio di un'idea che ritroverai spesso: una sosta termica è un indizio di sostanza pura, ma non una prova definitiva.

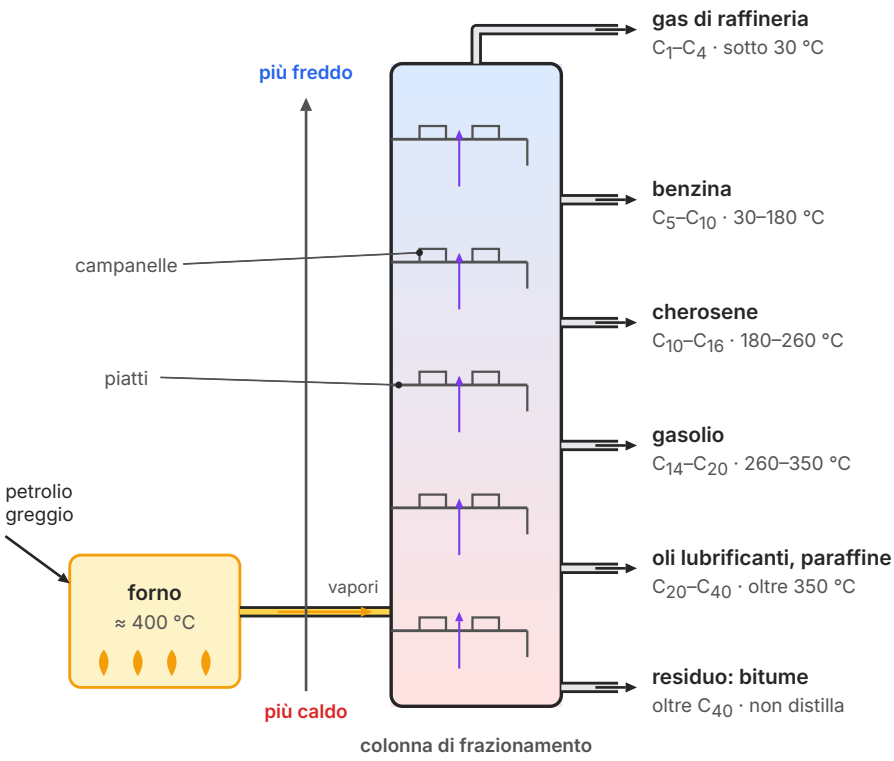

Figura 4.5 Schema di una colonna di frazionamento del petrolio (non in scala). Le temperature di ebollizione e il numero di atomi di carbonio delle frazioni sono intervalli indicativi, che variano da una raffineria all'altra.

4.4 Estrazione e cromatografia

4.4.1 L'estrazione con solvente

L'**estrazione con solvente** sfrutta la diversa solubilità di un componente in due solventi diversi. Si aggiunge al miscuglio un solvente in cui il componente desiderato si scioglie molto, mentre gli altri componenti si sciolgono poco o niente. Quando prepari il tè o il caffè fai un'estrazione solido-liquido: l'acqua calda porta in soluzione le sostanze aromatiche e la caffeina, e lascia nel filtro la parte insolubile.

In laboratorio l'estrazione più tipica è quella liquido-liquido, eseguita con l'imbuto separatore. Lo iodio, per esempio, si scioglie poco in acqua (la colora di giallo-bruno), ma molto in un solvente come il cicloesano, che non si mescola con l'acqua. Si versano la soluzione acquosa e il cicloesano nell'imbuto, si agita e si lascia riposare: lo strato di cicloesano, che sta sopra perché meno denso, si colora di violetto, mentre l'acqua diventa quasi incolore. Lo iodio è «passato» da un solvente all'altro, e i due strati si separano poi con il rubinetto. Ripetere l'estrazione due o tre

volte con piccole porzioni di solvente è più efficace che farla una sola volta con una porzione grande.

4.4.2 La cromatografia su carta e su strato sottile

La **cromatografia** separa i componenti di un miscuglio, anche in quantità piccolissime, sfruttando la loro diversa affinità per due fasi: una **fase fissa** (o stazionaria), che resta ferma, e una **fase mobile**, un liquido o un gas che scorre su di essa trascinando con sé il miscuglio. Ogni componente si distribuisce continuamente fra le due fasi: quello che aderisce di più alla fase fissa avanza lentamente, quello che preferisce la fase mobile corre avanti. Dopo un certo tempo i componenti si trovano in posizioni diverse.

Nella **cromatografia su carta** (Figura 4.6) la fase fissa è una striscia di carta speciale. A circa 1–2 cm dal bordo inferiore si traccia *a matita* una linea di partenza (la grafite non si scioglie nel solvente, l'inchiostro sì) e vi si deposita una goccia piccola e concentrata del campione. La striscia si appende in un recipiente chiuso, la camera di sviluppo, che contiene sul fondo pochi millimetri di solvente: il livello del solvente deve restare **sotto** la linea di partenza, altrimenti il campione si scioglierebbe direttamente nel solvente. Il solvente risale la carta per capillarità e trascina i componenti. Quando il **fronte del solvente**, cioè il punto più alto raggiunto dal solvente, è vicino al bordo superiore, si toglie la striscia, si segna subito il fronte a matita e la si lascia asciugare. Il risultato, con le macchie separate, si chiama **cromatogramma**.

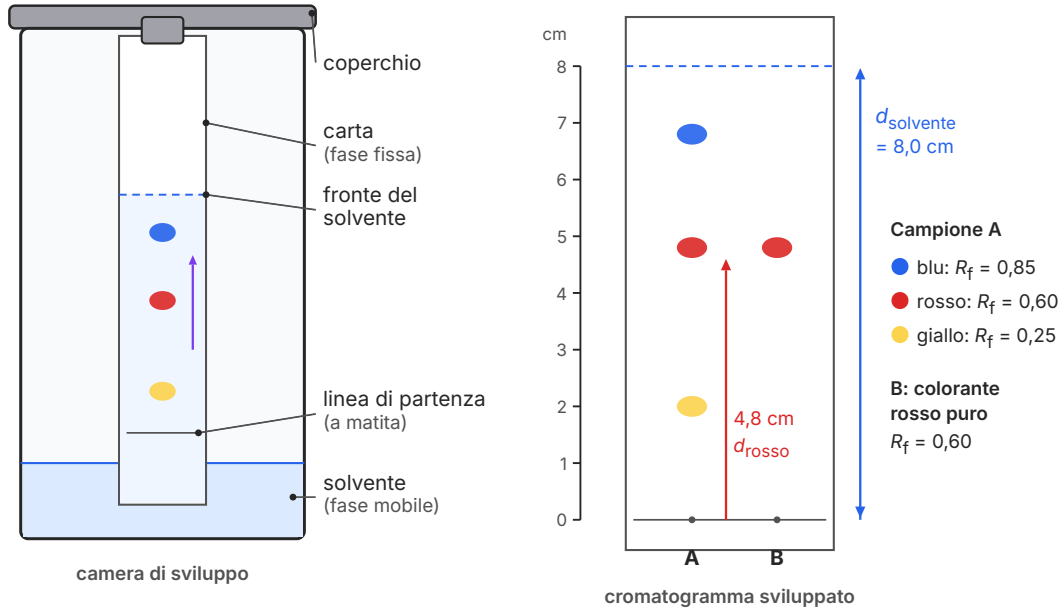

Figura 4.6 Cromatografia su carta. A sinistra la camera di sviluppo, con il solvente sotto la linea di partenza; a destra il cromatogramma in scala (righello in cm): l'inchiostro A si separa in tre coloranti, e la macchia rossa ha lo stesso R_f = 0,60 del colorante rosso puro B.

La posizione di ciascuna macchia si esprime con il **fattore di ritenzione** R_f, il rapporto fra la distanza percorsa dalla sostanza e quella percorsa dal solvente, entrambe misurate dalla linea di partenza:

$$R_f = \frac{\text{distanza percorsa dalla sostanza}}{\text{distanza percorsa dal solvente}}$$

IN SINTESI

$R_f = d_{sostanza} / d_{solvente}$. È un numero puro (le due distanze hanno la stessa unità) ed è sempre compreso fra 0 e 1: nessuna sostanza può superare il fronte del solvente che la trasporta. Si misura la distanza fino al **centro** della macchia.

ESEMPIO SVOLTO

Che cosa c'è in un inchiostro nero?

Problema. Nella Figura 4.6 l'inchiostro A si è separato in tre macchie; il solvente ha percorso 8,0 cm. La macchia rossa dista 4,8 cm dalla linea di partenza. Calcola il suo R_f e stabilisci se corrisponde al colorante rosso puro B.

Soluzione. R_f = 4,8 cm / 8,0 cm = **0,60**. Il colorante B, sviluppato sulla stessa striscia e con lo stesso solvente, ha percorso anch'esso 4,8 cm: R_f = 0,60. Lo stesso valore, nelle stesse condizioni, indica che probabilmente la macchia rossa di A è proprio il colorante B. Per esserne certi si ripete la prova con un solvente diverso: due sostanze diverse difficilmente coincidono in entrambi i casi.

Il valore di R_f di una sostanza non è una costante universale: dipende dalla carta, dal solvente e dalla temperatura. Per questo, per identificare un componente, si sviluppano sulla stessa striscia il campione e le sostanze di riferimento (gli *standard*), come le macchie A e B della figura.

La **cromatografia su strato sottile** (TLC, dall'inglese *thin-layer chromatography*) funziona allo stesso modo, ma la fase fissa è un sottile strato di polvere, di solito gel di silice, steso su una lastrina di vetro, di alluminio o di plastica. È più rapida e separa meglio della carta. Molte sostanze sono incolori: in questo caso le macchie si rendono visibili illuminando la lastrina con una lampada ultravioletta o spruzzando un reattivo che le colora. La TLC si usa ogni giorno nei laboratori per controllare se una sostanza è pura (una sola macchia) o se una reazione è terminata.

APPROFONDIMENTO

Un botanico nato ad Asti. La cromatografia fu inventata dal botanico russo Michail Cvet (spesso scritto Tsvet), nato nel 1872 ad Asti da padre russo e madre italiana. Studiando i pigmenti delle foglie, Cvet versò un estratto vegetale in cima a un tubo di vetro pieno di polvere di carbonato di calcio e lo fece scorrere con un solvente: i pigmenti si separarono in bande colorate (verdi e gialle) lungo la colonna. Nel 1906 chiamò il metodo *cromatografia*, dal greco *chrōma*, «colore», e *graphein*, «scrivere». Per decenni la sua scoperta fu quasi ignorata; oggi le tecniche cromatografiche sono fra le più usate della chimica.

4.4.3 Cenni di gascromatografia

Nella **gascromatografia** la fase mobile è un gas inerte, come l'elio o l'azoto, che spinge il campione vaporizzato attraverso una colonna lunga e sottilissima, avvolta a spirale dentro un forno; la fase fissa riveste l'interno della colonna. I componenti escono dalla colonna in tempi diversi, e un rivelatore registra il passaggio di ciascuno come un picco su un grafico. Dalla posizione dei picchi si riconoscono le sostanze, dalla loro area se ne stima la quantità. La gascroma-

tografia è abbastanza sensibile da rilevare tracce piccolissime, e si usa nei controlli antidoping, nelle analisi dei cibi e delle acque, nelle indagini della polizia scientifica e nel monitoraggio degli inquinanti dell'aria.

4.5 Le separazioni nella vita reale

4.5.1 Dall'acqua grezza all'acqua potabile

L'acqua che arriva dai nostri rubinetti viene prelevata da falde sotterranee, sorgenti, fiumi o laghi, e prima di essere distribuita passa per un impianto di **potabilizzazione**, che la rende sicura da bere. Un impianto che tratta acque superficiali è una sequenza di tecniche che già conosci:

1. **grigliatura**: griglie e reti trattengono rami, foglie, rifiuti (una setacciatura grossolana);
2. **coagulazione e flocculazione**: si aggiungono sostanze che fanno aggregare le particelle finissime, che non si depositerebbero mai da sole, in fiocchi più grandi e pesanti;
3. **sedimentazione**: in grandi vasche i fiocchi si depositano sul fondo (decantazione);
4. **filtrazione** su letti di sabbia, e spesso su carboni attivi, che trattengono per adsorbimento sostanze che danno odore e sapore;
5. **disinfezione**, con cloro, ozono o raggi ultravioletti, per eliminare i microrganismi.

Le acque sotterranee, già filtrate naturalmente dal terreno, richiedono di solito trattamenti più semplici. Nota che nessuno di questi passaggi elimina i sali disciolti, che infatti restano nell'acqua potabile (e sono in parte utili): l'acqua di rubinetto è una soluzione, non una sostanza pura.

> **COLLEGAMENTI**
>
> **Educazione civica · Agenda 2030.** L'Obiettivo 6 dell'Agenda 2030 delle Nazioni Unite chiede di garantire a tutti acqua potabile e servizi igienici. Molti dei metodi per raggiungerlo sono le tecniche di questo capitolo: filtri di sabbia nei villaggi, piccoli distillatori solari, disinfezione con raggi ultravioletti. Separare un miscuglio, in questo caso, significa proteggere la salute di milioni di persone.

4.5.2 Dissalazione e saline

L'acqua di mare contiene in media circa 35 g di sali disciolti per ogni kilogrammo, soprattutto cloruro di sodio. La **dissalazione** è l'insieme dei processi che ne ricavano acqua dolce, ed è indispensabile in paesi aridi e su molte isole, comprese alcune isole minori italiane. I metodi principali sono due. Il primo è la **distillazione**: l'acqua di mare viene fatta evaporare e il vapore, privo di sali, viene condensato; per risparmiare energia il calore del vapore che condensa si riutilizza per scaldare altra acqua. Il secondo, oggi il più diffuso, è l'**osmosi inversa**: l'acqua di

mare viene spinta ad alta pressione, diverse decine di atmosfere, contro una membrana con pori così piccoli da lasciar passare le particelle d'acqua ma non quelle dei sali disciolti. In entrambi i casi resta una **salamoia** più concentrata dell'acqua di mare, che va restituita al mare con attenzione per non danneggiare gli ecosistemi.

Nelle **saline** si fa l'opposto: si vuole il sale, non l'acqua. L'acqua di mare entra in vasche ampie e poco profonde, dove il Sole e il vento la fanno evaporare lentamente; passando da una vasca all'altra, la soluzione diventa sempre più concentrata. Prima si depositano i sali meno solubili, come il solfato di calcio (gesso); nelle ultime vasche, dette salanti, cristallizza il cloruro di sodio, che si raccoglie in grandi cumuli. Le acque madri rimaste contengono sali di magnesio e di potassio. È dunque una cristallizzazione per evaporazione, frazionata nel tempo e nello spazio. In Italia sono famose le saline di Margherita di Savoia in Puglia, tra le più estese d'Europa, di Trapani in Sicilia e di Cervia in Romagna.

ESEMPIO SVOLTO

Quanta acqua di mare per un kilogrammo di sale?

Problema. L'acqua di mare contiene circa 35 g di sali per kilogrammo; circa il 78 % in massa di questi sali è cloruro di sodio. Quanti kilogrammi di acqua di mare devono evaporare per ottenere 1,0 kg di NaCl?

Soluzione. In 1 kg di acqua di mare: 35 g × 0,78 ≈ 27,3 g di NaCl. Massa di acqua di mare necessaria: 1000 g / 27,3 g per kg ≈ **37 kg**, cioè circa 36 L. Una salina deve quindi far evaporare decine di tonnellate d'acqua per ogni tonnellata di sale: ecco perché le vasche sono così estese.

4.5.3 Analisi del sangue e separazione dei rifiuti

Il sangue è un miscuglio eterogeneo, anche se a occhio nudo sembra omogeneo: cellule sospese in un liquido, il plasma. In un laboratorio di analisi una provetta di sangue, resa incoagulabile, viene centrifugata: in pochi minuti le cellule, più dense, si raccolgono in basso e il plasma giallo paglierino resta sopra. In un adulto sano il plasma occupa circa il 55 % del volume e le cellule circa il 45 %; la percentuale in volume dei globuli rossi si chiama ematocrito. Il plasma separato viene poi analizzato, spesso anche con metodi cromatografici. La biologia del sangue la studierai più avanti; qui conta l'idea che la diagnosi di una malattia comincia da una separazione.

Anche la **raccolta differenziata** è un problema di separazione. Negli impianti di selezione i materiali vengono separati con le tecniche di questo capitolo, ingrandite: vagli rotanti dividono gli oggetti per dimensione; elettromagneti estraggono ferro e acciaio; speciali separatori a correnti indotte, con magneti rotanti, respingono l'alluminio, che non è attratto da una calamita normale; lettori ottici a raggi infrarossi riconoscono i vari tipi di plastica e un getto d'aria li devia su nastri diversi. Alcune plastiche si separano per densità in vasche d'acqua: il polietilene e il polipropilene (densità minore di 1 g/cm^3) galleggiano, il PET delle bottiglie (circa 1,38

g/cm³) affonda. Una buona raccolta in casa rende tutte queste separazioni più facili ed economiche.

4.6 La sicurezza in laboratorio

4.6.1 I pittogrammi di pericolo

Molte sostanze usate nelle separazioni sono pericolose: solventi infiammabili, acidi corrosivi, sostanze tossiche. Nell'Unione europea le etichette dei prodotti chimici seguono il regolamento **CLP** (Classificazione, Etichettatura e Imballaggio, Regolamento CE n. 1272/2008), che applica il sistema mondiale **GHS** (*Globally Harmonized System*). I **pittogrammi di pericolo** sono rombi con il bordo rosso e un simbolo nero su fondo bianco; hanno sostituito i vecchi simboli quadrati arancioni. L'etichetta riporta anche un'**avvertenza** («Pericolo» per i rischi più gravi, «Attenzione» per quelli minori), le **indicazioni di pericolo** (frasi H) e i **consigli di prudenza** (frasi P). Informazioni ancora più complete si trovano nella **scheda di dati di sicurezza** di ciascuna sostanza.

Tabella 4.2 I nove pittogrammi di pericolo GHS/CLP.

Codice	Simbolo	Pericolo	Esempi
GHS01	bomba che esplode	esplosivo	fuochi d'artificio, alcuni perossidi
GHS02	fiamma	infiammabile	etanolo, acetone, benzina
GHS03	fiamma sopra un cerchio	comburente: alimenta la combustione di altre sostanze	nitrato di potassio, perossido di idrogeno concentrato
GHS04	bombola	gas sotto pressione	bombole di ossigeno, azoto, anidride carbonica
GHS05	liquido che corrode una mano e una superficie	corrosivo per la pelle, gli occhi e i metalli	acido cloridrico concentrato, idrossido di sodio
GHS06	teschio con tibie incrociate	tossicità acuta grave	metanolo
GHS07	punto esclamativo	irritante, nocivo, sensibilizzante per la pelle	molti detergenti
GHS08	sagoma umana con una stella sul petto	pericolo grave per la salute (cancerogeno, mutageno, tossico per la riproduzione, pericoloso se aspirato)	benzina
GHS09	albero secco e pesce morto	pericoloso per l'ambiente acquatico	solfato di rame

4.6.2 Norme di comportamento e vetreria

In laboratorio valgono poche regole, ma senza eccezioni:

- indossa sempre camice e occhiali di protezione, e i guanti quando richiesto; raccogli i capelli lunghi;
- non mangiare, non bere e non portare oggetti alla bocca; non aspirare mai un liquido con la bocca, ma usa la propipetta;
- leggi l'etichetta prima di usare un reagente; non annusare direttamente un recipiente, ma avvicina i vapori al naso con un movimento della mano;
- quando diluisci un acido concentrato, versa l'**acido nell'acqua**, lentamente, e mai il contrario: il calore liberato potrebbe far schizzare il liquido;
- scaldando una provetta, tienila inclinata con l'apertura rivolta lontano da te e dai compagni;
- usa i solventi infiammabili lontano da fiamme libere, e sotto cappa se sono volatili;
- smaltisci i residui negli appositi contenitori, non nel lavandino; segnala subito all'insegnante ogni incidente, anche piccolo;
- impara dove si trovano l'estintore, il lavaocchi e l'uscita di emergenza.

Tabella 4.3 La vetreria e gli strumenti principali usati nelle separazioni.

Oggetto	Descrizione e uso
becher	bicchiere cilindrico con beccuccio; contiene e scalda liquidi. Le tacche sono solo indicative.
beuta	recipiente conico con il collo stretto; si agita senza schizzi e riduce l'evaporazione. La beuta da vuoto ha pareti spesse e un attacco laterale.
cilindro graduato	misura volumi di liquidi con precisione discreta (Capitolo 1).
pipetta e buretta	misurano e versano volumi con precisione; la pipetta si riempie con la propipetta.
matraccio tarato	pallone a fondo piatto con collo lungo e una tacca: contiene un volume esatto, per preparare soluzioni.
pallone a fondo tondo	si scalda in modo uniforme; usato nelle distillazioni.
imbuto, imbuto di Büchner, imbuto separatore	filtrazione per gravità, filtrazione sotto vuoto, separazione di liquidi immiscibili ed estrazione.
refrigerante	condensa i vapori con acqua fredda che scorre in un tubo esterno.
capsula di porcellana, vetrino da orologio	evaporazione di soluzioni e cristallizzazione.
provetta, bacchetta di vetro, spruzzetta	piccole prove; mescolare e guidare un liquido; lavare con acqua distillata.

COLLEGAMENTI

Sicurezza anche a casa. Gli stessi pittogrammi compaiono sui prodotti per la pulizia di casa. Leggerli serve: non si devono mai mescolare candeggina e prodotti acidi (come certi anticalcare), perché si libera cloro, un gas tossico. E i prodotti vanno conservati nel loro contenitore originale, mai in bottiglie dell'acqua o delle bibite.

SINTESI

- I componenti di un miscuglio si separano con metodi fisici, sfruttando differenze di dimensioni, densità, solubilità, temperatura di ebollizione, magnetismo o affinità.
- Setacciatura e separazione magnetica separano solidi; decantazione e imbuto separatore sfruttano la densità.
- La filtrazione separa un solido sospeso da un liquido (residuo e filtrato); la filtrazione sotto vuoto con imbuto di Büchner è più rapida. Non separa i soluti disciolti.
- La centrifugazione accelera la sedimentazione di particelle piccole o poco più dense del liquido.
- L'evaporazione recupera il soluto e perde il solvente; la cristallizzazione dà cristalli puri sfruttando la variazione di solubilità con la temperatura.
- La distillazione separa per temperatura di ebollizione: bulbo del termometro all'altezza del raccordo, acqua del refrigerante dal basso, pietre di ebollizione.
- La distillazione frazionata usa una colonna in cui si ripetono condensazioni ed evaporazioni; in raffineria divide il petrolio in frazioni.
- L'estrazione con solvente trasferisce un componente nel solvente in cui è più solubile.
- La cromatografia separa per diversa affinità fra fase fissa e fase mobile; $R_f = d_{\text{sostanza}}/d_{\text{solvente}}$, compreso fra 0 e 1. La gascromatografia usa un gas come fase mobile.
- Potabilizzazione, dissalazione, saline, analisi del sangue e riciclo dei rifiuti sono sequenze di tecniche di separazione.
- In laboratorio si leggono i pittogrammi GHS/CLP e si rispettano sempre le norme di sicurezza.

ESERCIZI

Comprendere e ricordare

1. ● Quale proprietà sfrutta la distillazione?
   - **A.** La densità
   - **B.** La temperatura di ebollizione
   - **C.** Il magnetismo
   - **D.** Le dimensioni delle particelle

2. ● Un miscuglio di limatura di ferro e sabbia si separa nel modo più semplice per:
   - **A.** distillazione
   - **B.** cromatografia
   - **C.** cristallizzazione
   - **D.** separazione magnetica

3. ● Nella decantazione:
   - **A.** si lascia depositare il solido e si versa il liquido sovrastante
   - **B.** si fa bollire il liquido e se ne condensa il vapore
   - **C.** si fa passare il miscuglio attraverso un filtro
   - **D.** si fa ruotare il miscuglio ad alta velocità

4. ●● L'imbuto di Büchner collegato a una pompa serve a:
   - **A.** separare due liquidi immiscibili
   - **B.** condensare i vapori
   - **C.** rendere la filtrazione più rapida aspirando il liquido
   - **D.** misurare con precisione un volume

5. ●● Per separare i globuli del sangue dal plasma si usa:
   - **A.** la centrifugazione
   - **B.** la distillazione frazionata
   - **C.** la setacciatura
   - **D.** l'evaporazione

6. ●● Acqua e olio d'oliva in un imbuto separatore:
   - **A.** si mescolano formando una soluzione
   - **B.** formano due strati con l'olio sotto
   - **C.** si separano solo per distillazione
   - **D.** formano due strati e dal rubinetto esce per prima l'acqua

7. ●● Nel refrigerante di Liebig l'acqua di raffreddamento:
   A. entra dall'alto ed esce dal basso
   B. entra dal basso ed esce dall'alto
   C. scorre nel tubo interno insieme al vapore
   D. resta ferma, senza scorrere

8. ●● Il fattore di ritenzione R_f di una sostanza:
   A. può essere maggiore di 1 se la sostanza è molto solubile
   B. si misura in centimetri
   C. è compreso fra 0 e 1
   D. non dipende dal solvente usato

9. ● Il pittogramma con una fiamma sopra un cerchio indica una sostanza:
   A. comburente
   B. infiammabile
   C. esplosiva
   D. corrosiva

Vero o falso

10. ● Con la filtrazione si può separare il sale disciolto nell'acqua.

11. ●● La distillazione frazionata è necessaria quando le temperature di ebollizione dei componenti sono vicine.

12. ● Con l'evaporazione si recuperano sia il soluto sia il solvente.

13. ● La centrifugazione accelera la sedimentazione delle particelle sospese.

14. ●● Nella cromatografia su carta la linea di partenza va tracciata con una penna e deve trovarsi sotto il livello del solvente.

15. ● Il pittogramma con il punto esclamativo indica una tossicità acuta grave.

Applicare e calcolare

16. ● In una cromatografia su carta il solvente ha percorso 7,5 cm e una macchia verde si trova a 3,3 cm dalla linea di partenza. Calcola l'R_f della sostanza verde.

17. ●● Una sostanza ha $R_f = 0{,}35$ in un certo solvente. Se il fronte del solvente arriva a 9,0 cm dalla linea di partenza, a quale distanza si troverà la macchia?

18. ●● Una soluzione contiene 50,0 g d'acqua ed è satura di KNO_3 a 60 °C. Usando la Tabella 4.1, calcola quanti grammi di KNO_3 cristallizzano raffreddandola a 20 °C.

19. ● Quanti grammi di sali restano facendo evaporare completamente 250 g di acqua di mare che contiene 35 g di sali per kilogrammo?

20. ●●● Un impianto a osmosi inversa tratta 100 kg di acqua di mare (35 g di sali per kg) e ne ricava 45 kg di acqua dolce, che supponiamo priva di sali. Calcola la concentrazione dei sali nella salamoia di scarto, in grammi per kilogrammo.

21. ●● Un miscuglio di 20,0 g contiene il 32,0 % in massa di sale e il resto di sabbia. Dopo dissoluzione, filtrazione ed evaporazione si recuperano 6,1 g di sale. Calcola la massa di sale attesa e la percentuale di sale recuperata (resa).

22. ●● Un vino ha una gradazione del 12 % V/V di etanolo. Quanti millilitri di etanolo sono contenuti in una bottiglia da 750 mL? Quanti grammi, sapendo che la densità dell'etanolo è 0,789 g/mL?

23. ● Una provetta con 10,0 mL di sangue viene centrifugata: lo strato di cellule occupa 4,4 mL. Calcola la percentuale in volume delle cellule e il volume del plasma.

Leggere dati e figure

24. ●● Osserva la Figura 4.6. Verifica con le distanze lette sul righello (giallo 2,0 cm, blu 6,8 cm) i valori di R_f indicati nella figura. Quale colorante dell'inchiostro A corre più veloce? Che cosa puoi concludere sui coloranti giallo e blu, per i quali non hai uno standard?

25. ●● Osserva la Figura 4.5. In quale frazione si raccoglie un idrocarburo che bolle a 220 °C? E uno che bolle a 300 °C? Perché i gas escono dalla cima della colonna e il bitume dal fondo?

26. ●● Usando la Tabella 4.1, spiega perché la cristallizzazione per raffreddamento funziona bene per KNO_3 e male per NaCl. Calcola quanti grammi di NaCl cristallizzano raffreddando da 80 °C a 20 °C una soluzione satura che contiene 100 g d'acqua.

27. ●●● Durante la distillazione di un miscuglio di acqua ed etanolo uno studente registra la temperatura letta dal termometro ogni 2 minuti: 22, 50, 76, 79, 81, 84, 90, 97, 99, 100, 100 °C. Descrivi l'andamento e spiega che cosa contiene il distillato raccolto all'inizio e quello raccolto alla fine. Perché non c'è una sosta netta a 78 °C?

Indagare e argomentare

28. ●● Progetta una procedura per separare un miscuglio di sabbia, sale da cucina e limatura di ferro, recuperando tutti e tre i componenti. Indica l'ordine delle operazioni e la proprietà sfruttata in ciascuna.

29. ●● Un compagno monta una distillazione con il bulbo del termometro immerso nel liquido del pallone e l'acqua che entra dall'alto nel refrigerante. Spiega i due errori e le loro conseguenze.

30. ●● Perché, in una cromatografia su carta, si traccia la linea di partenza a matita e la si tiene sopra il livello del solvente? Perché si chiude la camera di sviluppo?

31. ●●● Un'isola senza fiumi deve scegliere fra un impianto di dissalazione e il trasporto di acqua con navi cisterna. Elenca vantaggi e svantaggi di ciascuna soluzione (energia, costi, ambiente, salamoia) e motiva una scelta.

PER APPROFONDIRE

- [ATK] P. W. Atkins, L. Jones, *Principi di chimica*: i capitoli introduttivi sui miscugli e sulle tecniche di separazione.
- [PAU] L. Pauling, *General Chemistry*: la descrizione delle proprietà della materia e dei metodi di purificazione.
- [SAC] O. Sacks, *Zio Tungsteno*: un racconto autobiografico di esperimenti chimici, distillazioni e cristallizzazioni fatti da ragazzo.
- [LEV] P. Levi, *Il sistema periodico*: racconti di un chimico che lavora in laboratorio, tra purificazioni e separazioni.

Glossario del capitolo

Centrifugazione
Separazione delle particelle sospese facendo ruotare il miscuglio ad alta velocità; i componenti più densi si raccolgono sul fondo.

Cristallizzazione
Separazione di un soluto puro sotto forma di cristalli, per raffreddamento di una soluzione satura a caldo o per lenta evaporazione del solvente.

Cromatografia
Tecnica che separa i componenti di un miscuglio sfruttando la loro diversa affinità per una fase fissa e una fase mobile.

Decantazione
Separazione di un solido da un liquido lasciando sedimentare il solido e versando il liquido sovrastante.

Distillazione
Separazione basata sulla diversa temperatura di ebollizione: il miscuglio viene portato a ebollizione e il vapore viene condensato e raccolto (distillato).

Distillazione frazionata
Distillazione con una colonna in cui si ripetono condensazioni ed evaporazioni; separa liquidi con temperature di ebollizione vicine.

Estrazione con solvente
Trasferimento di un componente da un miscuglio a un solvente in cui è molto più solubile.

Fattore di ritenzione (Rf)
In cromatografia, rapporto fra la distanza percorsa da una sostanza e quella percorsa dal solvente; è compreso fra 0 e 1.

Filtrato
Il liquido che attraversa il filtro in una filtrazione.

Filtrazione
Separazione di un solido sospeso da un liquido mediante un materiale poroso che trattiene il solido (residuo) e lascia passare il liquido (filtrato).

Filtrazione sotto vuoto
Filtrazione accelerata con imbuto di Büchner e beuta da vuoto: una pompa abbassa la pressione sotto il filtro.

Gascromatografia
Cromatografia in cui la fase mobile è un gas inerte che trasporta il campione vaporizzato in una lunga colonna.

Imbuto separatore
Recipiente di vetro a pera con tappo e rubinetto, usato per separare liquidi immiscibili e per l'estrazione con solvente.

Osmosi inversa
Processo di dissalazione in cui l'acqua di mare viene spinta ad alta pressione attraverso una membrana che trattiene i sali disciolti.

Pittogramma di pericolo
Simbolo nero in un rombo bordato di rosso (sistema GHS, regolamento CLP) che indica il tipo di pericolo di una sostanza chimica.

Potabilizzazione
Insieme dei trattamenti (grigliatura, flocculazione, sedimentazione, filtrazione, disinfezione) che rendono un'acqua adatta al consumo umano.

Separazione magnetica
Separazione che sfrutta l'attrazione di una calamita su alcuni metalli, soprattutto il ferro e le sue leghe.

Setacciatura
Separazione di solidi formati da granelli di dimensioni diverse mediante un setaccio, una rete con maglie di apertura nota.

Soluzioni

1. B. La distillazione sfrutta la diversa temperatura di ebollizione (volatilità) dei componenti.

2. D. Separazione magnetica: la calamita attrae la limatura di ferro e non la sabbia.

3. A. Si lascia sedimentare il solido e si travasa il liquido limpido sovrastante.

4. C. La pompa abbassa la pressione sotto il filtro e la pressione atmosferica spinge rapidamente il liquido attraverso la carta.

5. A. La centrifugazione: le cellule, più dense, si raccolgono sul fondo della provetta, il plasma resta sopra.

6. D. Sono immiscibili: l'olio, meno denso (≈ 0,92 g/cm^3), sta sopra; dal rubinetto esce per prima l'acqua.

7. B. Entra dal basso ed esce dall'alto: il tubo esterno resta pieno e lo scambio di calore in controcorrente è più efficace.

8. C. È un rapporto fra due distanze (numero puro) e una sostanza non può superare il fronte del solvente; dipende da solvente, fase fissa e temperatura.

9. A. Comburente (GHS03): alimenta la combustione di altre sostanze. La sola fiamma (GHS02) indica una sostanza infiammabile.

10. F. Il sale disciolto attraversa il filtro insieme all'acqua; si separa per evaporazione o distillazione.

11. V. Se le temperature di ebollizione sono vicine la distillazione semplice dà un distillato poco arricchito; servono i cicli ripetuti della colonna di frazionamento.

12. F. Con l'evaporazione il solvente si disperde nell'aria; per recuperarlo serve la distillazione.

13. V. La rotazione produce un effetto simile a una gravità molto più intensa e le particelle più dense si depositano in pochi minuti.

14. F. La linea va tracciata a matita (l'inchiostro si scioglierebbe e verrebbe separato anch'esso) e deve stare sopra il livello del solvente, altrimenti il campione si scioglie direttamente nel solvente.

15. F. Il punto esclamativo (GHS07) indica sostanze irritanti o nocive; la tossicità acuta grave è indicata dal teschio con tibie incrociate (GHS06).

16. R_f = 3,3 cm / 7,5 cm = 0,44.

17. $d = R_f \times d_{solvente}$ = 0,35 × 9,0 cm ≈ 3,2 cm.

18. A 60 °C in 50,0 g d'acqua sono disciolti 110 × 0,500 = 55,0 g di KNO_3; a 20 °C ne restano 31,6 × 0,500 = 15,8 g. Cristallizzano 55,0 g − 15,8 g = 39,2 g.

19. 250 g = 0,250 kg; 0,250 kg × 35 g/kg ≈ 8,8 g di sali.

20. Sali totali: 100 kg × 35 g/kg = 3500 g = 3,5 kg. Salamoia: 100 kg − 45 kg = 55 kg, che contiene tutti i sali. Concentrazione: 3500 g / 55 kg ≈ 64 g/kg, quasi il doppio dell'acqua di mare.

21. Sale atteso: 20,0 g × 0,320 = 6,40 g (sabbia 13,6 g). Resa: 6,1 g / 6,40 g × 100 ≈ 95 %. Il 5 % circa è andato perso (pareti, carta da filtro, schizzi).

22. Volume di etanolo: 750 mL × 0,12 = 90 mL. Massa: 90 mL × 0,789 g/mL ≈ 71 g.

23. Cellule: 4,4 mL / 10,0 mL × 100 = 44 % in volume. Plasma: 10,0 mL − 4,4 mL = 5,6 mL (56 %).

24. Giallo: 2,0 / 8,0 = 0,25; blu: 6,8 / 8,0 = 0,85: i valori della figura sono confermati. Corre più veloce il colorante blu (R_f maggiore), che ha più affinità per la fase mobile. L'inchiostro contiene almeno tre coloranti; giallo e blu non si possono identificare senza confrontarli con standard sviluppati nelle stesse condizioni.

25. 220 °C: cherosene (180–260 °C); 300 °C: gasolio (260–350 °C). La colonna è più calda in basso e più fredda in alto: le sostanze più volatili (temperatura di ebollizione bassa) restano vapore fino alla cima, mentre quelle che bollono ad alta temperatura,

come i componenti del bitume, non evaporano o condensano subito e si raccolgono in fondo.

26. La solubilità di KNO_3 cresce molto con la temperatura (da 31,6 a 169 g/100 g fra 20 e 80 °C), quella di NaCl quasi per niente (da 35,9 a 37,9 g). Raffreddando una soluzione satura di NaCl da 80 a 20 °C cristallizzano solo 37,9 g − 35,9 g = 2,0 g: per NaCl conviene l'evaporazione del solvente.

27. La temperatura sale rapidamente fino a circa 76–79 °C, poi cresce lentamente fino a 90 °C e infine si stabilizza a 100 °C. Il primo distillato, raccolto vicino a 78 °C, è ricco di etanolo (più volatile); man mano che l'etanolo si esaurisce il vapore si arricchisce di acqua, e alla fine (sosta a 100 °C) distilla acqua quasi pura. Non c'è una sosta netta a 78 °C perché il vapore è sempre un miscuglio dei due componenti e la composizione del liquido nel pallone cambia continuamente; una sosta termica netta è tipica delle sostanze pure.

28. Traccia: (1) separazione magnetica: la calamita, avvolta nella carta, toglie la limatura di ferro (magnetismo); (2) aggiunta di acqua e agitazione: il sale si scioglie, la sabbia no (solubilità); (3) filtrazione: la sabbia resta sul filtro, si lava e si asciuga (dimensioni delle particelle); (4) evaporazione o cristallizzazione del filtrato: si recupera il sale (volatilità del solvente). Il ferro va tolto prima di aggiungere l'acqua, per non farlo arrugginire e per non doverlo separare dalla sabbia bagnata.

29. Con il bulbo nel liquido si misura la temperatura del liquido che bolle (che può essere surriscaldato e cambia con la composizione), non quella del vapore che sta distillando: non si capisce quale componente si sta raccogliendo. Con l'acqua che entra dall'alto il refrigerante non si riempie, resta in parte vuoto e lo scambio di calore è scarso: parte del vapore esce senza condensare (perdita di prodotto e, se infiammabile, rischio).

30. La grafite della matita non si scioglie nel solvente, mentre l'inchiostro di una penna verrebbe trascinato e separato, confondendo il risultato. Se la linea fosse sotto il livello del solvente, il campione si scioglierebbe direttamente nel solvente della camera invece di risalire la carta. La camera si chiude perché l'aria interna si satura di vapore del solvente: il solvente non evapora dalla carta e il fronte avanza in modo regolare.

31. Traccia. Dissalazione: produzione locale e continua, indipendenza dai trasporti; ma consumo di energia (alta pressione dell'osmosi inversa o calore della distillazione), costi di costruzione e manutenzione delle membrane, scarico di salamoia concentrata che può danneggiare gli ecosistemi marini. Navi cisterna: nessun impianto da costruire; ma costi e consumo di carburante a ogni viaggio, emissioni, dipendenza dal mare e dal tempo atmosferico. Una buona risposta confronta i fattori e motiva una scelta, ad esempio un dissalatore alimentato da energia solare con scarico controllato della salamoia.