

# Corso di Analisi Chimico-Farmaceutica e Tossicologica I (M-Z)

*Corso di Laurea in Chimica e Tecnologia Farmaceutiche  
Facoltà di Farmacia e Medicina  
Anno Accademico 2012/2013*

**Dott. Giuseppe La Regina**



**SAPIENZA**  
UNIVERSITÀ DI ROMA

*“Tu, disperato pilota, frangi ora fra gli scogli la mia  
barca già stanca e squassata per tante tempeste!  
A te accanto, mio amore! Oh schietto farmacista!  
Efficace è la tua droga. Con questo bacio io muoio.”  
W. Shakespeare. Giulietta e Romeo, Atto 5, Scena 3.*

# Precipitazione

## *Precipitazione frazionata*

- Se 2 anioni formano sali poco solubili con un medesimo catione, oppure se 2 cationi formano sali poco solubili con un medesimo anione, il composto meno solubile è il primo a precipitare quando la soluzione che li contiene entrambi viene trattata con il reattivo precipitante.
- E' un problema molto importante nella chimica analitica qualitativa conoscere le condizioni necessarie per precipitare frazionatamente i 2 sali e per ottenere una *separazione quantitativa*, cioè praticamente completa.

# Precipitazione

## *Precipitazione frazionata*

- Si consideri una soluzione contenente una miscela di cloruri e di ioduri, alla quale si aggiunga poco a poco una soluzione di nitrato di argento.
- Il primo sale che precipita è lo ioduro d'argento, molto meno solubile del cloruro.
- Quest'ultimo inizierà a precipitare quando la maggior parte dello ioduro sarà precipitato.
- A questo punto, nella soluzione gli ioni  $\text{Ag}^+$  sono in equilibrio con entrambi i sali, quindi debbono essere soddisfatte le relazioni:

# Precipitazione

## *Precipitazione frazionata*

$$[\text{Ag}^+][\text{I}^-] = \text{PsAgI} = 1 \cdot 10^{-16}$$

$$[\text{Ag}^+][\text{Cl}^-] = \text{PsAgCl} = 1 \cdot 10^{-10}$$

Da queste si ricava:

$$[\text{Ag}^+] = \frac{\text{PsAgI}}{[\text{I}^-]} = \frac{\text{PsAgCl}}{[\text{Cl}^-]}$$

ossia:

$$\frac{[\text{I}^-]}{[\text{Cl}^-]} = \frac{\text{PsAgI}}{\text{PsAgCl}} = \frac{1 \cdot 10^{-16}}{1 \cdot 10^{-10}} = 1 \cdot 10^{-6}$$

# Precipitazione

## *Precipitazione frazionata*

- Ciò significa che il cloruro d'argento comincia a precipitare solamente quando la concentrazione dello ione ioduro nella soluzione è diventata la milionesima parte di quella dello ione cloruro.
- Così, ad esempio, se la soluzione ha una concentrazione iniziale  $1 \cdot 10^{-2} \text{ M}$  di ioduro e  $1 \cdot 10^{-2} \text{ M}$  di cloruro, la precipitazione del cloruro d'argento comincerà solo quando la concentrazione dello ioduro sarà diventata:

$$[\text{I}^-] = (1 \cdot 10^{-6}) \cdot [\text{Cl}^-] = (1 \cdot 10^{-6}) \cdot (1 \cdot 10^{-2}) = 1 \cdot 10^{-8}$$

# Precipitazione

## *Precipitazione frazionata*

cioè il cloruro d'argento precipiterà quando in soluzione non sarà rimasta che una frazione trascurabile dello ioduro inizialmente presente.

- Nel caso di una soluzione contenente una miscela di bromuro e ioduro, si ha:

$$\frac{[I^-]}{[Br^-]} = \frac{PsAgI}{PsAgBr} = \frac{1 \cdot 10^{-16}}{1 \cdot 10^{-13}} = 1 \cdot 10^{-3}$$

# Precipitazione

## *Precipitazione frazionata*

quindi la precipitazione del bromuro avverrà quando la concentrazione degli ioni  $I^-$  in soluzione è diventata la millesima parte di quella degli ioni  $Br^-$ .

- In questo caso, tuttavia, la separazione per precipitazione frazionata non è così netta come nel caso della miscela di cloruro e ioduro.
- Ciò dipende dalla molto minor differenza tra i rispettivi prodotti di solubilità.

# Precipitazione

## *Precipitazione frazionata*

- Nel caso di una soluzione contenente una miscela di cloruro e bromuro valgono considerazioni del tutto analoghe alle precedenti.
- In pratica, quando è possibile cogliere il *punto di separazione*, cioè il punto in cui la precipitazione del primo ione può considerarsi completa senza che sia cominciata la separazione del secondo ione, si può sospendere a questo punto l'aggiunta del reattivo precipitante.



# Precipitazione

## *Precipitazione frazionata*

- Si procede, quindi, alla filtrazione del precipitato e si precipita l'altro ione insieme alla trascurabile frazione rimasta del primo ione.
- Quando, invece, non è facile cogliere il punto di separazione, la precipitazione frazionata si esegue aggiungendo il reattivo a piccole porzioni successive e filtrando ogni porzione precipitata.

# Precipitazione

## *Separazione e lavaggio dei precipitati*

- Un precipitato può essere separato dalle acque madri in 2 modi:
  - per filtrazione;
  - per centrifugazione.
- La filtrazione si esegue mediante filtri di carta speciale, porosa, a forma di disco; il disco di carta viene piegato a forma di cono e adattato in un imbuto come precedentemente descritto.
- Nell'analisi semimicro e soprattutto nella microanalisi, la filtrazione è spesso sostituita dalla centrifugazione, che si esegue con appositi apparecchi, detti *centrifughe*.

# Precipitazione

## *Separazione e lavaggio dei precipitati*

- La centrifugazione ha il vantaggio di essere più rapida e permette di separare quantità anche molto piccoli di precipitati.
- Come precedentemente osservato, difficilmente i precipitati si separano puri.
- In generale, al termine della filtrazione o della centrifugazione, per eliminare le sostanze estranee che inquinano il precipitato, è necessario lavare il precipitato stesso con acqua o con altro liquido opportuno.

# Precipitazione

## *Separazione e lavaggio dei precipitati*

- Per lavare un precipitato sul filtro, si spruzza il liquido di lavaggio sul precipitato.
- Per lavare un precipitato in provetta da centrifuga si agita il precipitato con il liquido di lavaggio e si centrifuga nuovamente.
- L'eliminazione delle impurezze deve essere il più possibile completa, cioè spinta fino a quando le impurezze residue non possano più influire sulle operazioni successive.
- Generalmente i precipitati cristallini richiedono meno liquido di lavaggio rispetto ai precipitati amorfi.

# Precipitazione

## *Separazione e lavaggio dei precipitati*

- Supponiamo di lavare un precipitato versando nel filtro di carta 10 ml di acqua ogni volta.
- Immaginiamo che ogni volta filtrino 9 ml di liquido mentre 1 ml ne rimane assorbito negli interstizi del precipitato e nei pori della carta.
- Se la quantità di impurezze eliminabili per lavaggio è 10 mg, si ha:

# Precipitazione

## *Separazione e lavaggio dei precipitati*

	Quantità eliminata	Quantità rimanente
dopo il 1° lavaggio	9 mg	1 mg
dopo il 2° lavaggio	0,9	0,1
dopo il 3° lavaggio	0,09	0,01
dopo il 4° lavaggio	0,009	0,001

- Come si vede, la quantità di impurezze diventa rapidamente trascurabile.
- Se, però, si riempie il filtro dopo che sia filtrata solo una metà del liquido, si ha una progressione con un rapporto comune di  $\frac{1}{2}$  anziché  $\frac{1}{10}$  ed il lavaggio diventa molto più lungo.

# Precipitazione

## *Separazione e lavaggio dei precipitati*

- Mentre le acque madri vengono eliminate quasi completamente dopo 3 o 4 lavaggi, le impurezze trattenute per adsorbimento richiedono un lavaggio più prolungato.
- Si noti, tuttavia, che, allontanando completamente le acque madri saline, oppure diluendo oltre un certo limite, i precipitati colloidali possono *peptizzare* (cioè defloccolare, ossia disperdersi in forma colloidale) e quindi finiscono per passare attraverso il filtro.

# Precipitazione

## *Separazione e lavaggio dei precipitati*

- Pertanto, i precipitati colloidali si lavano non con acqua pura, bensì con acqua contenente una sufficiente quantità di sostanze saline.
- Inoltre, si deve tener presente che l'eccesso di uno degli ioni di cui è costituito un precipitato fa diminuire la solubilità di questo.
- Ad esempio, i solfuri si lavano con acqua solfidrica, gli idrossidi si lavano con acqua ammoniacale, ecc.



# Precipitazione

## *Separazione e lavaggio dei precipitati*

### Dimensioni delle particelle

Sistema	Diametro medio delle particelle (1 $\mu$ = $10^{-3}$ mm)
Sospensione	$\geq 1 \mu$
Soluzione colloidale	1 m $\mu$ – 100 m $\mu$
Soluzione	$< 1 \mu$

### Porosità dei filtri di carta

Filtri “Schleicher-Schuell”	Diametro medio dei pori (1 $\mu$ = $10^{-3}$ mm)
Filtri per analisi quantitativa	
N. 589 <sup>1</sup> ( <i>fascia nera</i> )	7 $\mu$
N. 589 <sup>2</sup> ( <i>fascia bianca</i> )	6
N. 589 <sup>3</sup> ( <i>fascia blu</i> )	2
Filtri per analisi qualitativa	3-4

# Precipitazione

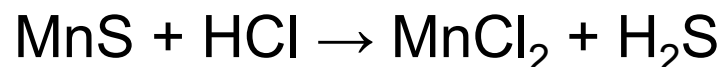
## *Ridissoluzione dei precipitati*

- Quando il prodotto delle concentrazioni diventa minore del prodotto di solubilità, il precipitato si ridiscioglie.
- Il meccanismo di ridissoluzione di un precipitato per effetto dell'aggiunta di un reattivo consiste nella diminuzione della concentrazione di una o di tutte le specie ioniche del precipitato.
- La concentrazione degli ioni può diminuire per 4 principali motivi.

# Precipitazione

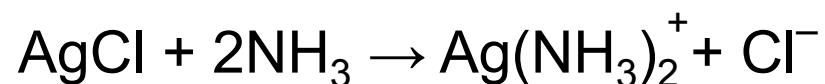
## *Ridissoluzione dei precipitati*

- 1. *Formazione di un composto ionico poco dissociato.* Esempio: la dissociazione del solfuro di manganese con acido cloridrico; avviene la reazione:



in cui si forma  $\text{H}_2\text{S}$  poco dissociato.

- 2. *Formazione di complessi.* Esempio: la dissociazione del cloruro di argento in ammoniaca; avviene la reazione:

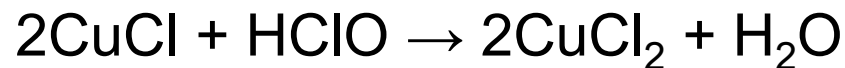


# Precipitazione

## *Ridissoluzione dei precipitati*

in cui si forma il complesso solubile  $\text{Ag}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}$ .

- 3. *Cambiamento dello stato di ossidazione.* Esempio: l'ossidazione del cloruro di rame(I) con acido ipocloroso; avviene la reazione:



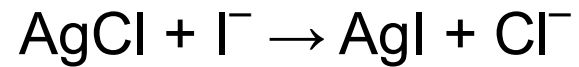
in cui si forma  $\text{CuCl}_2$  solubile.

- 4. *Trasformazione di un composto poco solubile in un altro ancor meno solubile.* Esempio: la precipitazione del cloruro di argento in ioduro di argento mediante una soluzione di KI;

# Precipitazione

## *Ridissoluzione dei precipitati*

avviene la reazione:



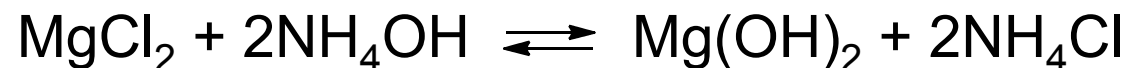
in cui si forma AgI che è ancor meno solubile di AgCl.

# Precipitazione

## *Precipitazioni incomplete*

- Il principio del prodotto di solubilità permette di spiegare anche alcune apparenti eccezioni alla regola della precipitazione con un eccesso di reattivo.

- Ad esempio, se si considera la reazione:



- La precipitazione di  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  è incompleta, e, in presenza di un eccesso di  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , non avviene affatto.

# Precipitazione

## *Precipitazioni incomplete*

- Infatti, a causa della formazione del tampone  $\text{NH}_4\text{Cl}/\text{NH}_4\text{OH}$ , la concentrazione degli ioni  $\text{OH}^-$  resta al di sotto del valore necessario per raggiungere il prodotto di solubilità dell'idrossido di magnesio.
- Dal momento che il cloruro di ammonio si forma nella reazione stessa, dopo un certo punto la precipitazione dell'idrossido di magnesio necessariamente si arresta, e quindi non può essere completa.

# Precipitazione

## *Precipitazioni incomplete*

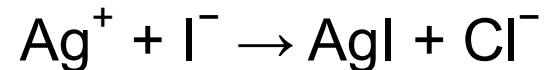
- Si può renderla completa usando, invece dell'ammoniaca, una base forte quale l'idrossido di sodio o l'idrossido di bario.
- In altri casi, la precipitazione è incompleta per la presenza di sostanze diverse, che non hanno ioni comuni con le sostanze reagenti.
- Ad esempio, la precipitazione di  $\text{CaCO}_3$  in presenza di una grande quantità di sali ammoniacali è incompleta probabilmente a causa della formazione di complessi come  $\text{Ca}(\text{NH}_3)_6^{2+}$ , che diminuiscono la concentrazione degli ioni  $\text{Ca}^{2+}$ .



# Precipitazione

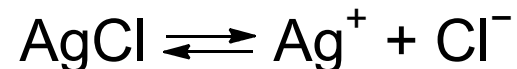
## *Interconversione di sostanze poco solubili*

- La reazione:



è un esempio di conversione di una sostanza poco solubile in un'altra ancora meno solubile.

- Nella sospensione di AgCl si ha l'equilibrio:



- Gli ioni  $\text{Ag}^+$ , quando viene aggiunto KI, reagiscono con gli ioni  $\text{I}^-$ .

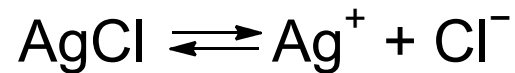
# Precipitazione

## *Interconversione di sostanze poco solubili*

- Dal momento che AgI è meno solubile di AgCl, la concentrazione degli ioni  $\text{Ag}^+$  è sufficiente a superare il prodotto di solubilità di AgI, che quindi precipita.
- La diminuzione di ioni  $\text{Ag}^+$  rende la soluzione insatura rispetto ad AgCl, che, pertanto, passa in soluzione.
- Gli ioni  $\text{Ag}^+$  che si formano, reagiscono con altri ioni  $\text{I}^-$ , e così via.
- L'intero processo può essere schematizzato come segue:

# Precipitazione

## *Interconversione di sostanze poco solubili*



- In presenza di una sufficiente quantità di KI, questo processo continua fino alla completa conversione di AgCl in AgI.
- Ciò risulta relativamente facile in quanto AgI è circa un milione di volte meno solubile di AgCl.

# Precipitazione

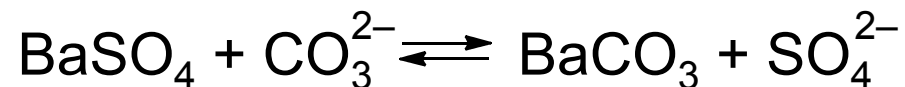
## *Interconversione di sostanze poco solubili*

- Da quanto detto si può capire che, mentre è facile convertire il cloruro d'argento in ioduro d'argento, non è altrettanto facile eseguire la reazione inversa: e in effetti, la conversione di AgI in AgCl, per semplice aggiunta di ioni  $\text{Cl}^-$ , è praticamente impossibile.
- Tuttavia, la conversione di un composto insolubile in un altro composto avente un prodotto di solubilità più grande, benché non sia facile, è talvolta realizzabile.

# Precipitazione

## *Interconversione di sostanze poco solubili*

- Condizione necessaria è che i prodotti di solubilità dei 2 sali non siano molto diversi.
- Così, per esempio, è possibile convertire  $\text{BaSO}_4$  in  $\text{BaCO}_3$ , in quanto  $\text{PsBaSO}_4 = 1 \cdot 10^{-10}$ , mentre  $\text{PsBaCO}_3 = 1 \cdot 10^{-8}$ .
- E', tuttavia, interessante notare che la conversione di  $\text{BaSO}_4$  in  $\text{BaCO}_3$  non può essere completa.
- Infatti, nell'equazione:



# Precipitazione

## *Interconversione di sostanze poco solubili*

appare evidente che, durante la reazione, la concentrazione degli ioni  $\text{CO}_3^{2-}$  diminuisce, mentre quella degli ioni  $\text{SO}_4^{2-}$  aumenta.

- Di conseguenza, quando il rapporto di queste concentrazioni risulta uguale a  $10^{-8}/10^{-10} = 100$ , l'equilibrio si stabilizza e la conversione non prosegue.
- Tuttavia, se si allontana il liquido dal precipitato e si riscalda quest'ultimo con una nuova dose di carbonato sodico, la reazione ricomincia; ripetendo tale operazione 2-3 volte, si può convertire tutto  $\text{BaSO}_4$  in  $\text{BaCO}_3$ .

# Precipitazione

## *Sensibilità delle reazioni*

- Una reazione è tanto più *sensibile* quanto minore è la concentrazione della sostanza che, entro un certo tempo, può essere rivelata dal rispettivo reagente.
- Il *limite di sensibilità* è la concentrazione al di sotto della quale la sostanza non può essere più identificata; generalmente viene indicato in milligrammi per litro, cioè in  $\gamma/\text{cm}^3$ , corrispondenti al numero di parti per milione (ppm) che si possono identificare.
- Generalmente il limite di sensibilità dei reattivi è  $\sim 1 \gamma/\text{cm}^3$ , corrispondente a  $10^{-5}$  moli di sostanza per litro.

# Precipitazione

## *Sensibilità delle reazioni*

- Reazioni generalmente molto sensibili sono quelle che danno origine a composti intensamente colorati e solubili.
- Ad esempio, le reazioni in cui si forma lo ione  $\text{MnO}_4^-$  violetto, o il tiocianato di ferro  $\text{Fe}(\text{SCN})_3$ , rosso, hanno una sensibilità di  $\sim 0,5 \text{ } \mu\text{g/cm}^3$ .
- Abbastanza sensibili sono anche alcune reazioni di precipitazione usate in chimica analitica, come per esempio la precipitazione del nichel con dimetilgliossima e la precipitazione del magnesio con fosfato alcalino.



# Precipitazione

## *Sensibilità delle reazioni*

- I sali di magnesio reagiscono con il fosfato bisodico o biammonico, in presenza di ammoniaca e cloruro ammonico, formando un precipitato bianco cristallino di fosfato doppio di magnesio e ammonio, secondo la reazione:



- Una soluzione contenente 0,001 mg di magnesio per cm<sup>3</sup> reagisce dopo pochi minuti; una soluzione contenente 0,01 mg di Mg per cm<sup>3</sup> reagisce dopo pochi secondi; una soluzione contenente 0,1 mg di Mg reagisce istantaneamente.

# Precipitazione

## *Sensibilità delle reazioni*

- Se la concentrazione del magnesio è superiore a  $1 \text{ mg/cm}^3$  il precipitato può formarsi amorfo.
- In tal caso, poiché questa reazione di riconoscimento del magnesio è assolutamente sicura solo quando il precipitato può essere ottenuto nettamente cristallino, si ripete la prova diluendo la soluzione prima di aggiungere il fosfato.
- E' necessario che la soluzione in cui si ricerca il magnesio non contenga assolutamente altri cationi alcalino-terrosi o cationi di metalli pesanti.

# Precipitazione

## *Concentrazione dei reagenti*

- In analisi, per poter confrontare la sensibilità delle varie reazioni e per valutare approssimativamente la concentrazione delle sostanze in esame, occorre usare reagenti aventi concentrazioni confrontabili e comunque note.
- In particolare, per le sostanze da analizzare la concentrazione più conveniente è  $\sim 1 \cdot 10^{-2}$  mol/l, che corrisponde a  $\sim 1$  mg/cm<sup>3</sup>.
- In pratica, nel caso di una miscela di vari sali, si sciolgono  $\sim 100$  mg in 10 cm<sup>3</sup> di solvente.

# Precipitazione

## *Concentrazione dei reagenti*

- Si può calcolare la quantità di un reagente contenuto in una goccia di soluzione, sapendo che 20 gocce equivalgono a  $\sim 1 \text{ cm}^3$ .
- Ad esempio, una soluzione di  $\text{AgNO}_3$  0,1 N, contenente cioè 17 mg di  $\text{AgNO}_3$  per  $\text{cm}^3$ , contiene circa 1 mg di  $\text{AgNO}_3$  per goccia.