

CHIMICA GENERALE E INORGANICA E CHIMICA ANALITICA

CLASSE A

Lo xenon, sebbene presente solo in tracce nell'atmosfera terrestre, ha diverse applicazioni sia nel campo dell'illuminazione e dell'ottica (flash e le lampade ad arco) sia come propellente per i propulsori a ioni di veicoli spaziali. Inoltre, ha diverse applicazioni in campo medico (nella diagnostica per immagini dei tessuti molli, come cuore, polmoni e cervello). È inoltre usato come anestetico generale, e più recentemente nel trattamento delle lesioni del cervello (ictus). Per quanto sia un gas nobile e quindi tendenzialmente inerte, lo Xenon reagisce con il fluoro per formare tre diversi fluoruri: XeF_2 , XeF_4 e XeF_6 . L'ossido di Xe e gli ossofluoruri di Xe sono ottenuti per parziale o totale idrolisi dei fluoruri sopra riportati. Il triossido di xenon può essere ottenuto mediante idrolisi di XeF_4 o XeF_6 . L'idrolisi di XeF_4 dà XeO_3 , Xe, HF, e F_2 . Tuttavia, l'idrolisi di XeF_6 produce solo XeO_3 e HF. Quando parzialmente idrolizzati, XeF_4 e XeF_6 danno XeOF_2 e XeOF_4 , rispettivamente, in aggiunta ad HF.

a) Scrivere le equazioni bilanciate per la generazione di:

- i. XeO_3 per idrolisi di XeF_4 (1 punto)
- ii. XeO_3 per idrolisi di XeF_6 (1 punto)
- iii. XeOF_4 per idrolisi parziale di XeF_6 (1 punto)

b) Disegnare le strutture di Lewis e dare l'ibridazione dell'atomo centrale di:

- i. XeF_4 (1 punto)
- ii. XeO_3 (1 punto)
- iii. XeOF_2 (1 punto)

c) Partendo dalla reazione bilanciata nel punto a) ii (XeO_3 per idrolisi di XeF_6) determinare la massa di XeO_3 (2 punti) e il volume di HF alla pressione di 1 atm e alla temperatura di 100 °C (2 punti) che si formano facendo reagire 49,06 g di XeF_6 (in eccesso di H_2O), e con una resa della reazione pari al 50% (MM XeF_6 = 245,28 g/mol, MM XeO_3 = 179,29 g/mol). (4 punti)

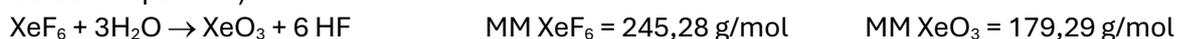
Soluzione punto a)

- i. $2 \text{XeF}_4 + 3 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{XeO}_3 + \text{Xe} + 6 \text{HF} + \text{F}_2$ oppure $3 \text{XeF}_4 + 3 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{XeO}_3 + 2 \text{Xe} + 6 \text{HF} + 3 \text{F}_2$
- ii. $\text{XeF}_6 + 3 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{XeO}_3 + 6 \text{HF}$
- iii. $\text{XeF}_6 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{XeOF}_4 + 2 \text{HF}$

Soluzione punto b)

- i. XeF_4 ; sp^3d^2
- ii. XeO_3 ; sp^3
- iii. XeOF_2 ; sp^3d

Soluzione punto c)



$$n \text{XeF}_6 = 49,06 \text{ g} / 245,28 \text{ g mol}^{-1} = 0,200 \text{ mol}$$

$$\text{g XeO}_3 = 0,200 \times 179,29 = 35,86 \text{ g (resa teorica 100\%)}$$

$$g \text{XeO}_3 \text{ effettivi} = 35,86 \times 50/100 = 17,93 \text{ g}$$

$$n \text{HF (resa 50\%)} = 6 \times n \text{XeF}_6 \times 50/100 = 6 \times 0,200 \times 50/100 = 0,6 \text{ mol}$$

$$V \text{HF} = n R T / P = 0,6 \text{ mol} \times 0,0821 \text{ L atm K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 373 \text{ K} / 1 \text{ atm} = 18,4 \text{ L}$$

CHIMICA GENERALE E INORGANICA E CHIMICA ANALITICA

CLASSE B

Una soluzione è costituita da 0,1 mol/L HCOOH e 0,1 mol/L HOCN. L'acido isocianico HOCN viene poi fatto decomporre a diossido di carbonio e ammoniaca per riscaldamento della soluzione, causando la fuoriuscita di CO₂ come gas, che viene raccolto in un recipiente del volume di 1 L a 25 °C.

a) Calcolare il pH della soluzione iniziale sapendo che:



Motivare i passaggi matematici e le approssimazioni effettuate nella risoluzione. (punti 5)

b) Scrivere la reazione bilanciata di decomposizione di HOCN in soluzione acquosa (punti 2)

c) Calcolare la pressione esercitata nel contenitore di raccolta dalla CO₂ prodotta dal riscaldamento di 2 L di soluzione di partenza (punti 3)

Soluzione punto a)

$$1,8 \times 10^{-4} = x(x+y)/0,1 \text{ (trascurando } x \text{ rispetto a } 0,1; \text{ errore } 2,8\%)$$

$$2,2 \times 10^{-4} = y(x+y)/0,1 \text{ (trascurando } y \text{ rispetto a } 0,1; \text{ errore } 3,5\%)$$

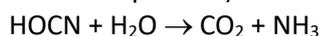
$$[\text{HCOO}^-] = x = 2,8 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$$

$$[\text{OCN}^-] = y = 3,5 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = x + y = 6,3 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$$

$$\text{pH} = 2,2$$

Soluzione punto b)



Soluzione punto c)

$$n \text{ CO}_2 = 0,2 \text{ mol}$$

$$P \text{ CO}_2 = n R T / V = 0,2 \text{ mol} \times 0,0821 \text{ L atm K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 298 \text{ K} / 1 \text{ L} = 4,89 \text{ atm}$$

CHIMICA GENERALE E INORGANICA E CHIMICA ANALITICA

CLASSE C

Considerando la titolazione di 100,0 mL di una soluzione 0,100 mol/L di ioni cloruro con AgNO_3 0,100 mol/L (metodo di Mohr):

a) completare la seguente tabella calcolando il valore di $-\log[\text{Cl}^-]$ (pCl) al variare del titolante aggiunto (K_{ps} $\text{AgCl} = 1,1 \times 10^{-10}$ (mol/L)²) (punti 3)

V AgNO_3 (mL)	pCl
0,0	
20,0	
99,0	
99,5	
100,0	
100,5	
110,0	

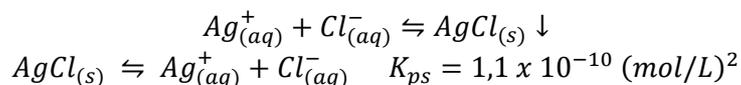
b) disegnare la curva di titolazione (punti 3)

c) indicare quale indicatore viene utilizzato nel metodo di Mohr (punti 1)

d) indicare il pH ottimale di applicazione del metodo di Mohr e spiegarne le motivazioni (punti 3)

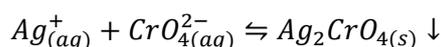
Risultati

Le titolazioni per precipitazione si basano sulla formazione di un composto poco solubile ottenuto dalla reazione tra il titolante e l'analita presente in soluzione. Nell'analisi volumetrica, le titolazioni che utilizzano, come reattivo precipitante, una soluzione standard di nitrato d'argento (AgNO_3) per la determinazione dello ione cloruro e degli alogenuri prendono il nome di dosaggi argentometrici (argentometria). Un esempio classico dell'argentometria è la determinazione dello ione cloruro mediante titolazione con AgNO_3 secondo la reazione che porta alla formazione di un composto poco solubile (bianco) di AgCl .



I metodi argentometrici che si basano sulla reazione sopra descritta sono: il metodo di Mohr, il metodo di Fajans e il metodo di Volhard. I primi due si effettuano per titolazione diretta in ambiente neutro o leggermente alcalino, l'ultimo in ambiente acido. I primi due differiscono tra loro per il tipo di indicatore utilizzato, il metodo di Volhard, invece, prevede una retro-titolazione dell'eccesso di titolante con una soluzione standard di KSCN e utilizza come indicatore un sale di Fe(III) (allume ferrico o nitrato ferrico in ambiente fortemente acido per evitare la precipitazione di Fe(OH)_3).

Il metodo di Mohr è utilizzato, come metodo normato, per la determinazione degli ioni cloruro nelle acque destinate al consumo umano mediante titolazione diretta con una soluzione standard di AgNO_3 . L'indicatore utilizzato nel metodo di Mohr è una soluzione di K_2CrO_4 , che mette in evidenza il punto d'arresto della titolazione per formazione di un precipitato poco solubile di Ag_2CrO_4 di colore rosso mattone secondo la reazione:



Considerando la titolazione di 100,0 mL di una soluzione 0,100 mol/L di cloruri con AgNO_3 0,100 mol/L (metodo di Mohr) per la costruzione della curva di titolazione è necessario calcolare il valore di $-\log[\text{Cl}^-]$ (pCl) (oppure il pAg) al variare del volume del titolante aggiunto ($K_{ps} \text{AgCl} = 1,0 \times 10^{-10} \text{ (mol/L)}^2$) come di seguito:

- Al punto iniziale prima dell'aggiunta del titolante:
 $\text{pCl} = -\log[\text{Cl}^-]$
- Prima del punto equivalente la concentrazione di cloruro in soluzione si calcola con la seguente formula:

$$[\text{Cl}^-](\text{mol/L}) = \frac{\text{mol}(\text{Cl}^-) - \text{mol}(\text{AgNO}_3)}{V_{\text{totale}}(\text{L})}$$

- Al PE avremo:

$$[\text{Cl}^-](\text{mol/L}) = \sqrt{K_{ps}}$$

- Dopo il punto equivalente la concentrazione $[\text{Cl}^-]$ si calcola considerando che:

$$[\text{Ag}^+](\text{mol/L}) = \frac{\text{mol}(\text{Ag}^+) - \text{mol}(\text{Cl}^-)}{V_{\text{totale}}(\text{L})}$$

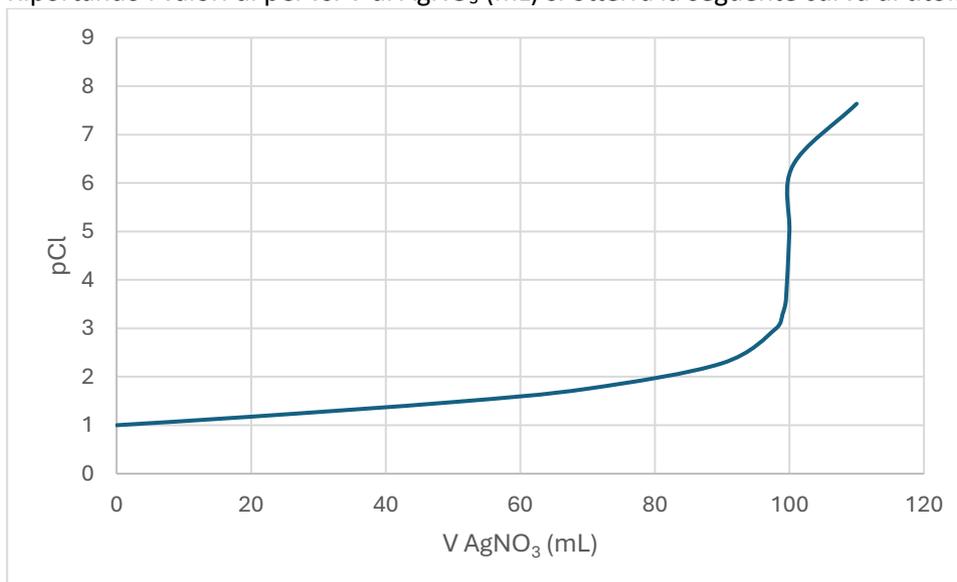
$$[\text{Cl}^-](\text{mol/L}) = \frac{K_{ps}}{[\text{Ag}^+](\text{mol/L})}$$

a)

V AgNO_3 (mL)	pCl
0,0	1
20,0	1,18
99,0	3,26
99,5	3,60
100,0	5
100,5	6,4
110,0	7,67

b)

Riportando i valori di pCl vs. V di AgNO_3 (mL) si otterrà la seguente curva di titolazione:



c)

Per il metodo di Mohr viene utilizzata come indicatore una soluzione di K_2CrO_4 al 5% m/m (MM = 194,19 g/mol). Il metodo prevede di aggiungere 1 mL di indicatore ogni 50 mL di soluzione da titolare. L'indicatore inizia a precipitare al primo eccesso di Ag^+ dopo il punto equivalente, formando un sale poco solubile Ag_2CrO_4 ($K_{ps} \text{Ag}_2\text{CrO}_4 = 2,0 \times 10^{-12} \text{ (mol/L)}^3$) di colore rosso mattone.

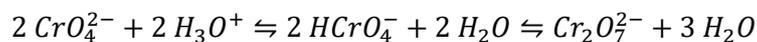
Al punto equivalente, la concentrazione di ioni argento è dovuta soltanto alla solubilità di AgCl, quindi la concentrazione dello ione $[Ag^+] = 1,0 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$. Calcolando la concentrazione dello ione Ag^+ necessaria per far precipitare Ag_2CrO_4 , tenendo conto della concentrazione di cromato ipotizzata ($[CrO_4^{2-}] = 0,00514 \text{ mol/L}$), dal prodotto di solubilità di Ag_2CrO_4 , si ottiene:

$$[Ag^+] = \sqrt{\frac{K_{ps}(Ag_2CrO_4)}{[CrO_4^{2-}]}} = \sqrt{\frac{2,0 \times 10^{-12} \text{ (mol/L)}^3}{0,00514 \text{ (mol/L)}}} = 1,97 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$$

Questa concentrazione è leggermente più elevata della concentrazione dello ione Ag^+ al PE. Tuttavia, calcolando l'errore commesso, utilizzando i dati a disposizione si ottiene un errore pari a circa 0.01 %.

d)

La titolazione deve essere effettuata a temperatura ambiente per evitare un aumento di solubilità dei precipitati di AgCl e Ag_2CrO_4 . Il controllo del pH è importante perché influenza la titolazione. Il pH ottimale per l'applicazione del metodo di Mohr è compreso tra 7 e 10 (generalmente si preferisce eseguire il metodo a $pH = 8$). Il limite inferiore di pH è determinato dal fatto che in ambiente acido ($pH < 7$) l'anione dell'indicatore, che nel metodo di Mohr è il Ag_2CrO_4 , dà luogo ad un equilibrio acido-base che porta alla dimerizzazione e formazione di dicromato secondo il seguente equilibrio:



Il dicromato, pur formando una sale poco solubile con gli ioni Ag^+ ($K_{ps} Ag_2Cr_2O_7 = 2,0 \times 10^{-7} \text{ (mol/L)}^3$), non può essere utilizzato come indicatore in quanto occorrerebbe un forte eccesso di ioni Ag^+ rispetto alla sua concentrazione al PE per ottenere la sua precipitazione, comportando così un errore di titolazione notevole (circa il 12,5 %). Inoltre, se la soluzione avesse un pH molto acido potrebbe accadere che non si raggiunga la precipitazione del $Ag_2Cr_2O_7$.

Il limite superiore del metodo è determinato dal fatto che a pH maggiore di 10 inizia a precipitare AgOH ($K_{ps} AgOH = 2,0 \times 10^{-8} \text{ (mol/L)}$), che competerebbe con la precipitazione di AgCl.

CHIMICA GENERALE E INORGANICA E CHIMICA ANALITICA

L'esperimento viene eseguito a 30,00 °C. La cella elettrochimica è composta da una semicella a idrogeno [Pt_(s) | H_{2(g)} | H⁺_(aq)] contenente un elettrodo di platino immerso in una soluzione tampone sotto pressione di idrogeno gassoso. Questa semicella a idrogeno è collegata a una semicella a striscia metallica (**M**) immersa in una soluzione a concentrazione sconosciuta di M²⁺_(aq). Le due semicelle sono collegate tramite un ponte salino, come mostrato in Figura 1. I potenziali di riduzione standard sono riportati nella Tabella 1.

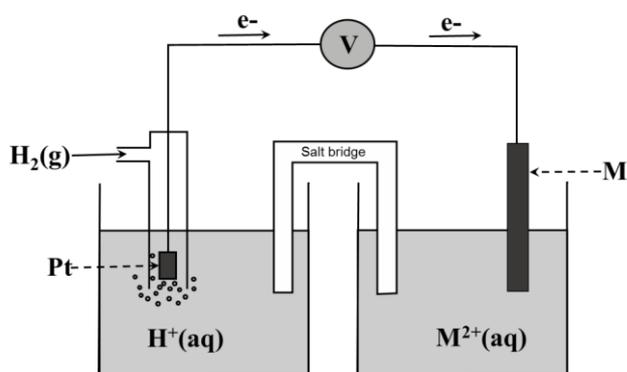


Figura 1:

Tabella 1. Potenziali standard di riduzione (range 298-308 K)

Semireazione	E° (V)
Ba ²⁺ _(aq) + 2 e ⁻ → Ba _(s)	-2.912
Sr ²⁺ _(aq) + 2 e ⁻ → Sr _(s)	-2.899
Ca ²⁺ _(aq) + 2 e ⁻ → Ca _(s)	-2.868
Er ²⁺ _(aq) + 2 e ⁻ → Er _(s)	-2.000
Ti ²⁺ _(aq) + 2 e ⁻ → Ti _(s)	-1.630
Mn ²⁺ _(aq) + 2 e ⁻ → Mn _(s)	-1.185
V ²⁺ _(aq) + 2 e ⁻ → V _(s)	-1.175
Cr ²⁺ _(aq) + 2 e ⁻ → Cr _(s)	-0.913
Fe ²⁺ _(aq) + 2 e ⁻ → Fe _(s)	-0.447
Cd ²⁺ _(aq) + 2 e ⁻ → Cd _(s)	-0.403
Co ²⁺ _(aq) + 2 e ⁻ → Co _(s)	-0.280
Ni ²⁺ _(aq) + 2 e ⁻ → Ni _(s)	-0.257
Sn ²⁺ _(aq) + 2 e ⁻ → Sn _(s)	-0.138
Pb ²⁺ _(aq) + 2 e ⁻ → Pb _(s)	-0.126
2 H ⁺ _(aq) + 2 e ⁻ → H _{2(g)}	0.000
Sn ⁴⁺ _(aq) + 2 e ⁻ → Sn ²⁺ _(aq)	+0.151
Cu ²⁺ _(aq) + e ⁻ → Cu ⁺ _(aq)	+0.153
Ge ²⁺ _(aq) + 2 e ⁻ → Ge _(s)	+0.240
VO ²⁺ _(aq) + 2 H ⁺ _(aq) + e ⁻ → V ³⁺ _(aq) + H ₂ O _(l)	+0.337
Cu ²⁺ _(aq) + 2 e ⁻ → Cu _(s)	+0.340
Tc ²⁺ _(aq) + 2 e ⁻ → Tc _(s)	+0.400
Ru ²⁺ _(aq) + 2 e ⁻ → Ru _(s)	+0.455

$I_{2(s)} + 2 e^- \rightarrow 2 I^-_{(aq)}$	+0.535
$UO_2^{2+}_{(aq)} + 4 H^+_{(aq)} + 2 e^- \rightarrow U^{4+}_{(aq)} + 2 H_2O_{(l)}$	+0.612
$PtCl_4^{2-}_{(aq)} + 2 e^- \rightarrow Pt_{(s)} + 4 Cl^-_{(aq)}$	+0.755
$Fe^{3+}_{(aq)} + e^- \rightarrow Fe^{2+}_{(aq)}$	+0.770
$Hg_2^{2+}_{(aq)} + 2 e^- \rightarrow 2 Hg_{(l)}$	+0.797
$Hg^{2+}_{(aq)} + 2 e^- \rightarrow Hg_{(l)}$	+0.851
$2 Hg^{2+}_{(aq)} + 2 e^- \rightarrow Hg_2^{2+}_{(aq)}$	+0.920
$Pt^{2+}_{(aq)} + 2 e^- \rightarrow Pt_{(s)}$	+1.180
$MnO_{2(s)} + 4 H^+_{(aq)} + 2 e^- \rightarrow Mn^{2+}_{(aq)} + 2 H_2O_{(l)}$	+1.224
$Cr_2O_7^{2-}_{(aq)} + 14 H^+_{(aq)} + 6 e^- \rightarrow 2 Cr^{3+}_{(aq)} + 7 H_2O_{(l)}$	+1.360
$Co^{3+}_{(aq)} + e^- \rightarrow Co^{2+}_{(aq)}$	+1.920
$S_2O_8^{2-}_{(aq)} + 2 e^- \rightarrow 2 SO_4^{2-}_{(aq)}$	+2.010

a) Se il quoziente di reazione (Q) dell'intera cella galvanica è pari a $2,18 \times 10^{-4}$ a $30,00^\circ C$, la forza elettromotrice è $+0,450 V$. Calcolare il valore del potenziale di riduzione standard (E°) e identificare il metallo "**M**". Nota: $\Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln Q$ (punti 2)

b) Scrivere l'equazione bilanciata della reazione redox spontanea della cella galvanica. (punti 2)

c) La concentrazione incognita della soluzione di $M^{2+}_{(aq)}$ nella cella (Figura 1) può essere analizzata mediante una titolazione iodometrica. Un'aliquota di $25,00 \text{ cm}^3$ di soluzione di $M^{2+}_{(aq)}$ viene aggiunta in una beuta con un eccesso di KI. Per raggiungere il punto equivalente, è necessario un volume di $25,05 \text{ mL}$ di una soluzione di tiosolfato di sodio con una concentrazione di $0,800 \text{ mol/L}$. Scrivere tutte le reazioni redox associate a questa titolazione e calcolare la concentrazione della soluzione di $M^{2+}_{(aq)}$. (punti 2)

Nota: se uno studente non riesce a trovare la risposta, può utilizzare $0,950 \text{ mol/L}$ come concentrazione di M^{2+} per ulteriori calcoli.

d) Nella Figura 1, se la semicella a idrogeno è immersa in idrogeno gassoso a $0,360 \text{ bar}$ e l'elettrodo di platino è immerso in una soluzione tampone di 500 cm^3 contenente $0,050$ moli di acido lattico ($HC_3H_5O_3$) e $0,025$ moli di lattato di sodio ($C_3H_5O_3Na$), la forza elettromotrice della cella galvanica misurata è $+0,534 V$. Calcolare il pH della soluzione tampone (punti 2) e la costante di dissociazione (K_a) dell'acido lattico a $30,00^\circ C$ (punti 2). (punti 4)

Nota: se uno studente non riesce a trovare la risposta, può utilizzare $3,46$ come pH del tampone per ulteriori calcoli.

Soluzioni

a)

$$E_{\text{cella}} = E_{\text{cella}}^0 - (RT/nF) \ln Q$$

$$0.450 = E_{\text{cella}}^0 - \frac{8.314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \times 303.15 \text{ K}}{2 \times 96485 \text{ C mol}^{-1}} \ln 2.18 \times 10^{-4}$$

$$0.450 = E_{\text{cella}}^0 + 0,110$$

$$E_{\text{cella}}^0 = 0,450 - 0,110 = 0,340 \text{ V}$$

Da cui:

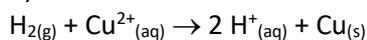
$$E_{\text{cella}}^0 = E_{\text{catodo}}^0 - E_{\text{anodo}}^0$$

$$0,340 \text{ V} = E_{\text{catodo}}^0 - 0,000 \text{ V}$$

$$E_{\text{catodo}}^0 = 0,340 \text{ V}$$

Il potenziale standard di riduzione di **M** è quindi +0,340 V, da cui il metallo è Cu.

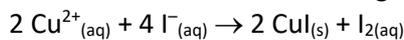
b)



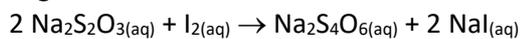
c)

La titolazione iodometrica del rame si basa sull'ossidazione dello ioduro a iodio da parte degli ioni rame(II).

La reazione che avviene è la seguente:



Segue durante la titolazione la reazione dello iodio con il tiosolfato:



Al punto equivalente si ha:

$$n(\text{Cu}^{2+}) = n(\text{S}_2\text{O}_3^{2-})$$

$$c(\text{Cu}^{2+}) V(\text{Cu}^{2+}) = c(\text{S}_2\text{O}_3^{2-}) V(\text{S}_2\text{O}_3^{2-})$$

$$c(\text{Cu}^{2+}) = c(\text{S}_2\text{O}_3^{2-}) \times V(\text{S}_2\text{O}_3^{2-}) / V(\text{Cu}^{2+}) =$$

$$= (0,800 \text{ mol/L} \times 0.02505 \text{ L}) / 0.02500 \text{ L} = 0.802 \text{ mol/L}$$

d)

Calcolo del pH:

Dall'equazione di Nernst:

$$E_{\text{cella}} = E_{\text{cella}}^0 - (RT/nF) \ln ([\text{H}^+]^2 / p(\text{H}_2) \times [\text{Cu}^{2+}])$$

$$0.534 \text{ V} = 0.340 \text{ V} - \frac{8.314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \times 303.15 \text{ K}}{2 \times 96485 \text{ C mol}^{-1}} \ln \frac{[\text{H}^+]^2}{0.360 \text{ bar} \times 0.802 \text{ mol dm}^{-3}}$$

$$- 14.9 = \ln \frac{[\text{H}^+]^2}{0.360 \text{ bar} \times 0.802 \text{ mol dm}^{-3}}$$

$$[\text{H}^+] = 3,19 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$$

$$\text{pH} = 3,50$$

Calcolo della costante di dissociazione (K_a) dell'acido lattico

La soluzione tampone è composta da $\text{HC}_3\text{H}_5\text{O}_3$ e $\text{C}_3\text{H}_5\text{O}_3\text{Na}$.

Il pH della soluzione può essere calcolato dall'equazione di Henderson-Hasselbalch.

$$[\text{C}_3\text{H}_5\text{O}_3\text{Na}] = \frac{0.050 \text{ mol} \times 1.000 \text{ dm}^3}{0.500 \text{ dm}^3} = 0.10 \text{ mol dm}^{-3}$$

$$[\text{HC}_3\text{H}_5\text{O}_3] = \frac{0.025 \text{ mol} \times 1.000 \text{ dm}^3}{0.500 \text{ dm}^3} = 0.050 \text{ mol dm}^{-3}$$

$$\text{pH} = \text{p}K_a + \log ([\text{C}_3\text{H}_5\text{O}_3\text{Na}] / [\text{HC}_3\text{H}_5\text{O}_3])$$

$$3.50 = \text{p}K_a + \log (0.050/0.10)$$

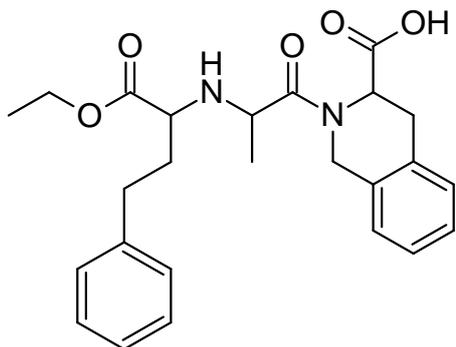
$$\text{p}K_a = 3.80$$

$$K_a = 1.58 \times 10^{-4}$$

CHIMICA ORGANICA E BIOMOLECOLE

CLASSE A

Quinapril (vedi struttura molecolare riportata in figura) è un farmaco che appartiene alla famiglia degli inibitori dell'enzima di conversione dell'angiotensina (inibitori di ACE). L'angiotensina è un ormone peptidico che esplica una potente azione vasocostrittrice. Quinapril viene quindi utilizzato per trattare l'ipertensione arteriosa e l'insufficienza cardiaca.

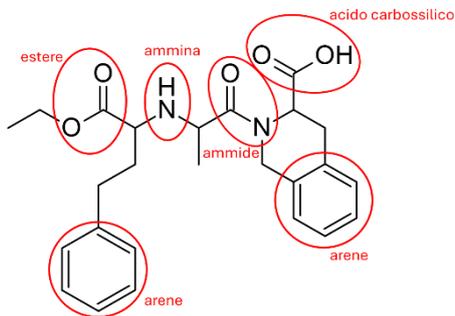


Rispondere ai seguenti quesiti:

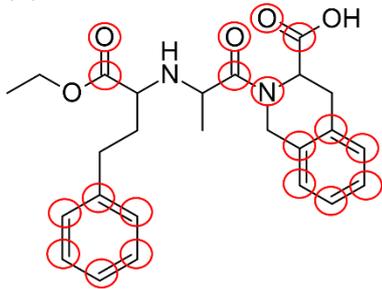
- Indicare e nominare i gruppi funzionali presenti nella molecola (1 punto).
- Indicare tutti gli atomi che hanno ibridazione orbitale sp^2 (1.5 punti).
- Quale gruppo contribuirà maggiormente alla solubilità del composto in solvente acquoso fortemente basico? Spiegare. (1.5 punti)
- Riportare il numero di ossidazione per ciascun atomo di carbonio legato direttamente a un eteroatomo (O oppure N). (1.5 punti)
- Il composto indicato è nella forma di profarmaco, ovvero esso genera il principio attivo in seguito a idrolisi (scissione di un legame indotta dall'acqua). Quale alcol viene prodotto dall'idrolisi del profarmaco assieme alla forma bicarbossilica del composto? (1.5 punti)
- Il legame tra il gruppo C=O e l'adiacente N(RR') ha ridotta libertà rotazionale. Ipotizzare una spiegazione facendo riferimento alle forme di risonanza. (1.5 punti)
- Quale potrebbe essere il ruolo del pendaglio alchilico con l'anello benzenico terminale in relazione all'interazione con l'enzima? (esempi: inattivare il sito attivo stabilendo un legame covalente, indurre una modifica strutturale nell'enzima, esercitare un'azione tossica verso l'enzima, etc.) (1.5 punti)

RISPOSTE CLASSE A

(a)

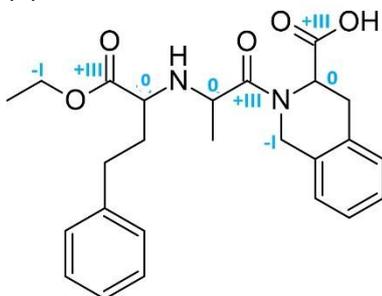


(b)



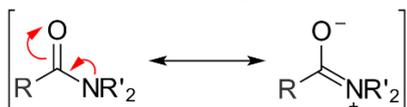
(c) In ambiente fortemente basico l'ammina sarà in forma neutra mentre l'acido carbossilico in forma deprotonata. La carica negativa del carbossilato influirà molto favorevolmente sulla solubilità del composto in solvente acquoso.

(d)



(e) Alcol etilico

(f) La risonanza spiega il carattere di parziale doppio legame nell'ammido:

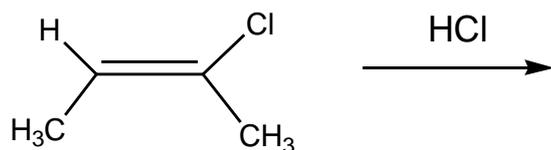


(g) Il pendaglio in questione ha spiccato carattere idrofobico ed un'ampia superficie, per cui potrebbe inserirsi in una tasca idrofobica dell'enzima stabilizzando l'interazione dell'inibitore nel sito attivo in conseguenza dell'effetto idrofobico e di interazioni di Van der Waals. (L'anello aromatico potrebbe anche essere coinvolto in interazioni di tipo pi-pi o cation-pi).

CHIMICA ORGANICA E BIOMOLECOLE

CLASSE B

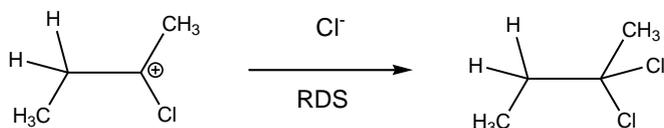
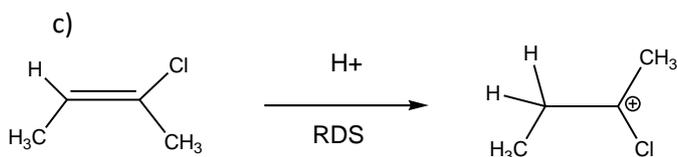
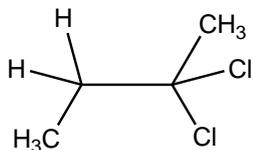
Considerando la reazione del cis-2-cloro-2-butene con HCl indicare:



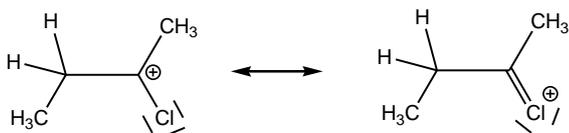
- (a) Il nome IUPAC del reagente (2 punti)
- (b) il prodotto principale di reazione (2 punti)
- (c) il meccanismo completo di reazione (2 punti)
- (d) discutere le eventuali strutture di risonanza del carbocatione intermedio (2 punti)
- (e) spiegare i motivi della osservata regioselettività (2 punti)

RISPOSTE CLASSE B

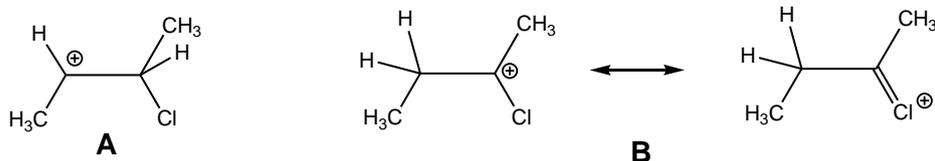
- a) cis-2-cloro-2-butene oppure E-2-cloro-2-butene
b)



- d)



- e) Le due direzioni di addizione di H^+ nel RDS porterebbero a formare due carbocationi A e B.

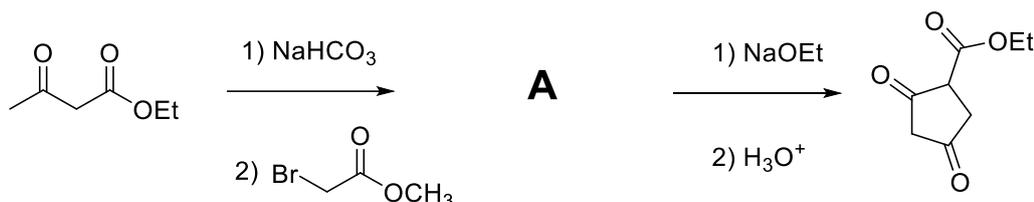


B è più stabile rispetto ad A in quanto la risonanza porta tutti gli atomi del carbocatione ad avere l'ottetto completo. Per il postulato di Hammond, lo stato di transizione che porta a B è a energia più bassa dello stato di transizione che porta ad A e quindi la reazione che porta al 2,2-diclorobutano è più veloce della reazione che porta al 1,2-diclorobutano.

CHIMICA ORGANICA E BIOMOLECOLE

CLASSE C

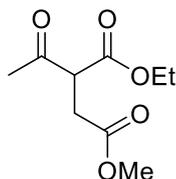
Gli anioni enolato possono reagire con gli alogenocalcani per formare un legame C-C. Sulla base di questa informazione, considera la seguente serie di reazioni, tenendo conto del fatto che la seconda reazione è una condensazione di Claisen (condensazione di esteri) intramolecolare:



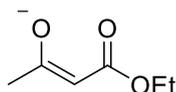
- Individua la struttura del composto A, potrebbe esserti utile rispondere prima alle domande successive. Nota che la struttura del composto di partenza è facilmente riconoscibile nel prodotto. (1 punto)
- Ipotizziamo il meccanismo della prima reazione: quale enolato si è formato trattando il composto di partenza con NaHCO_3 ? L'enolato indicato era l'unico possibile di questa reazione? Quali altri intermedi si potevano formare? Discutere la stabilità dei possibili enolati. (1.5 punti)
- Il bicarbonato di sodio non è una base forte ($\text{pK}_b \sim 7.6$) come mai la reazione riesce ad avvenire lo stesso? (1.5 punti)
- Disegna il meccanismo della reazione che avviene tra l'enolato individuato ed il bromoacetato di metile. (1.5 punti)
- Ipotizziamo il meccanismo della seconda reazione, quali enolati si possono formare trattando **A** con etossido di sodio? Quale tra essi è quello che si forma preferenzialmente? (1.5 punti)
- Quale prodotto finale formerebbe l'enolato preferenziale se reagisse in una condensazione di Claisen intramolecolare? (1 punto)
- Quale enolato ha invece generato il prodotto finale in una reazione di Claisen intramolecolare? (1 punto)
- Per quale motivo l'enolato meno stabile ha reagito al posto dell'enolato preferenziale? Cosa differenzia maggiormente i due possibili prodotti? (1 punto)

RISPOSTE CLASSE C

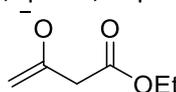
- a) La struttura del composto A è la seguente



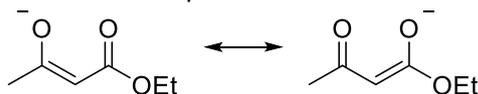
- b) L'intermedio formatosi trattando il composto di partenza con bicarbonato è l'enolato:



Qui rappresentato in una delle sue formule di risonanza. Il composto di partenza possiede due gruppi di CH enolizzabili; quindi, in principio si poteva formare anche il seguente enolato:

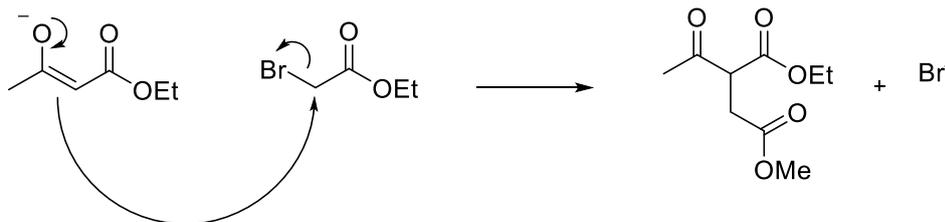


Il primo enolato però è molto più stabile del secondo, e quindi si forma preferenzialmente, perché la carica può essere delocalizzata per risonanza su entrambi gli atomi di ossigeno carbonilico:

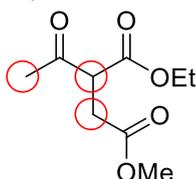


- c) Il metilene centrale del composto di partenza è notevolmente acido, a causa della stabilizzazione per risonanze dell'enolato ($pK_a \sim 11$), inoltre quando il bicarbonato agisce da base si trasforma in acido carbonico (H_2CO_3) che è instabile e dissocia in CO_2 e H_2O , la CO_2 lascia l'ambiente di reazione spostando l'equilibrio verso i prodotti.

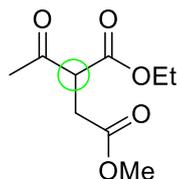
- d) L'enolato agisce da nucleofilo sostituendo l'atomo di bromo. La reazione è una sostituzione nucleofila. Dal momento che l'alogenuro è primario, segue probabilmente un meccanismo SN_2 .



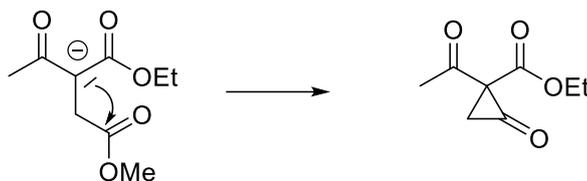
- e) Il prodotto A possiede 3 siti enolizzabili, si possono formare quindi 3 enolati:



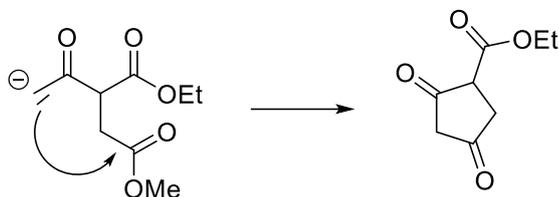
Come nel caso precedente, il sito più acido è quello collocato tra i due carbonili.



f) L'enolato più stabile potrebbe reagire in una reazione intramolecolare solo con l'estere metilico, formando un derivato del ciclopropanone:



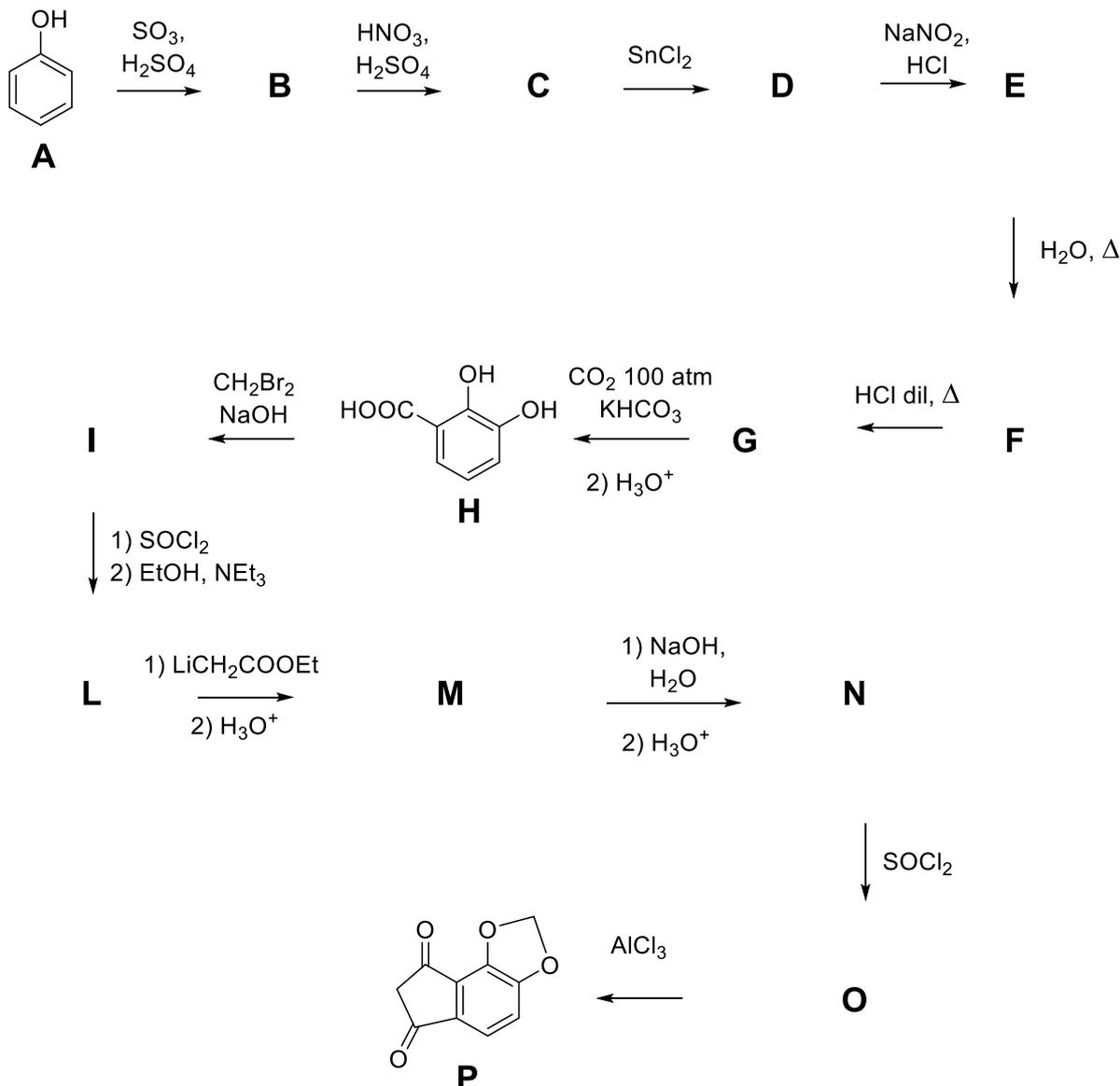
g) Il prodotto finale è stato generato dall'enolato ottenuto per deprotonazione del metile:



h) Questa reazione è favorita rispetto alla precedente perché forma un anello a 5 atomi, molto più stabile del ciclopropanone.

CHIMICA ORGANICA E BIOMOLECOLE

Analizza la serie di reazioni riportata qui sotto, a partire dal fenolo (A). Nota che la prima reazione porta ad un solo prodotto dei due teoricamente possibili (Δ = riscaldamento).

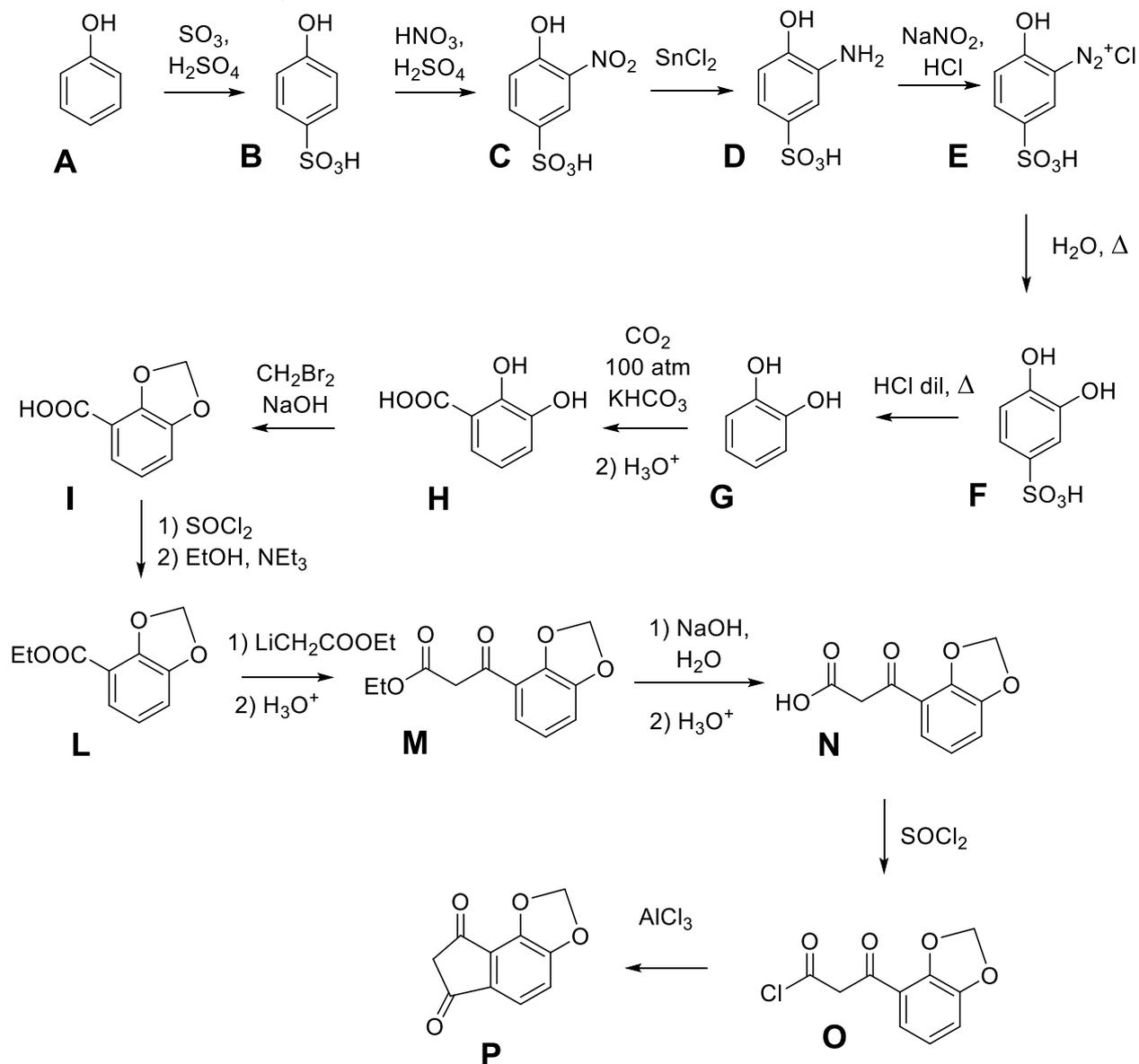


- Identificate la struttura dei prodotti B, C, D, E, F, G, I, L, M, N, O (0.5 punti per ogni composto corretto: 5.5 punti max)
- Come indicato, la reazione con $\text{SO}_3/\text{H}_2\text{SO}_4$ ha generato un solo prodotto dei due possibili. Questo è un risultato non insolito di questa reazione, soprattutto quando viene condotta ad alta temperatura. Cosa differenzia questa reazione dalle altre reazioni di sostituzione elettrofila aromantica? Per quale motivo si è formato un solo prodotto? (0.5 punti)
- Visto che nel passaggio $\text{F} \rightarrow \text{G}$ viene eliminato il gruppo SO_3H precedentemente inserito, qual è la sua funzione nella strategia sintetica complessiva? Come si definisce un gruppo di questo tipo? (0.5 punti)

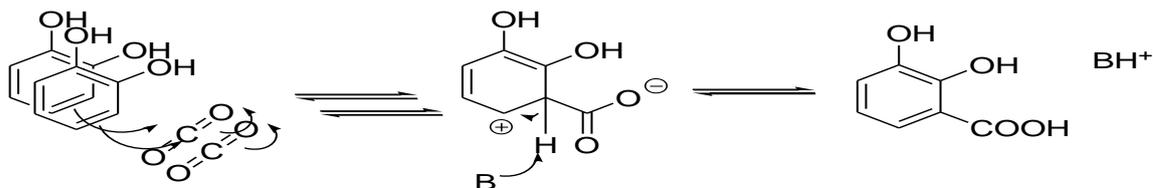
- d) La reazione che ha portato alla formazione del prodotto H è piuttosto peculiare. Riuscireste ad ipotizzare un meccanismo? Provate ad individuare un possibile motivo che giustifichi l'attacco del gruppo COOH in orto ad un OH rispetto al prodotto di attacco del gruppo COOH in para ad un OH. (1.0 punti)
- e) A che classe di composti appartiene il reagente utilizzato nello step 1) per trasformare L in M, come si prepara questo reagente? (0.5 punti)
- f) La reazione per trasformare M in N avrebbe potuto essere condotta anche in condizioni acide, perché sono preferibili le condizioni basiche? (0.5 punti)
- g) Anche in condizioni basiche, l'idrolisi di $M \rightarrow N$ è sorprendentemente lenta. Potreste proporre un'ipotesi che giustifichi questo comportamento? (0.5 punti)
- h) Il progresso della reazione da $O \rightarrow P$ può essere seguito molto bene mediante spettroscopia IR. Quali particolari variazioni nello spettro si noterebbero tra reagenti e prodotti (0.5 punti)
- i) L'analisi TLC del grezzo di reazione ($O \rightarrow P$) a metà della conversione, in una miscela eluente esanoacetato di etile, dopo spegnimento acido, mostra fondamentalmente due macchie alla lampada di Wood, una a fattore di ritenzione molto basso e uno a fattore di ritenzione sensibilmente più alto. Ipotizzare cosa siano i due composti e quale dei due sia il prodotto desiderato (0.5 punti)

Risposte:

a) Struttura dei composti:

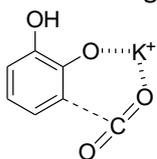


- b) La reazione di solfonazione è una reazione reversibile e ad alte temperature è sotto controllo termodinamico, si forma quindi il prodotto più stabile. Il prodotto di sostituzione in posizione 4 è più stabile del prodotto di sostituzione in posizione 2 per la minor repulsione sterica ed elettrostatica tra i due sostituenti.
- c) Il gruppo SO_3H funge da gruppo protettore. Visto che si ottiene molto bene nella solfonazione il solo isomero B, la seguente nitratura (e inserimento del secondo gruppo OH sul benzene) porta solo alla formazione del solo isomero C. Il gruppo protettore, quindi, evita la nitratura in para e può essere poi facilmente rimosso perché la solfonazione è una reazione reversibile.
- d) Si tratta di una reazione di sostituzione elettrofila aromatica in cui l'anidride carbonica agisce da elettrofilo verso il catecolo che è un derivato del benzene molto reattivo (due gruppi attivanti).



La pressione elevata e la presenza di una base favoriscono la reazione. Riguardo il secondo fattore, la deprotonazione di un OH fenolico aumenta la nucleofilia dell'anello aromatico e inoltre l'anione metallico coordinando l'elettrofilo (CO_2) lo attiva (catalisi acida di Lewis) e lo pone vicino alla posizione orto reattiva (si forma un anello a 6 termini nello stato di transizione) velocizzando la reazione (effetto templante)

I gruppi OH favoriscono anche la sostituzione in posizione orto perché avvicinano la CO_2 all'anello aromatico agendo da siti di coordinazione per il catione K^+ (effetto templante).



- e) Il composto utilizzato per preparare M è il litioenolato dell'aceto di etile, si prepara facendo reagire l'acetato di etile con LDA (litio diisopropilammide)
- f) La reazione di idrolisi di un estere è una reazione di equilibrio in condizioni acide. Inoltre, in queste condizioni potrebbe idrolizzarsi anche l'acetale o decarbossilare il prodotto che è un beta-chetoacido
- g) La base NaOH è una base sufficientemente forte da deprotonare il CH_2 tra i due carbonili in modo quantitativo, l'enolato risultante ha una carica negativa che lo rende molto meno suscettibile di attacco nucleofilo da parte dell'anione idrossido, a causa della repulsione elettrostatica.
- h) Lo spettro IR del composto O è caratterizzato da un intenso assorbimento a 1800 cm^{-1} dovuto allo stretching del doppio legame del gruppo COCl. Nel prodotto P, tale assorbimento scompare e rimane solo un forte assorbimento a $1700\text{-}1720\text{ cm}^{-1}$ dei gruppi chetonici
- i) I due prodotti visibili all'UV sono il prodotto finale (a fattore di ritenzione più alto) e il composto N derivante dall'idrolisi di O, non reagito, in seguito a spegnimento acido.

CHIMICA FISICA ED ELETTROCHIMICA

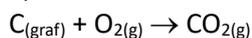
CLASSE A

Nonostante sia largamente diffuso l'uso delle entalpie standard di formazione (a rigore, variazioni di entalpie standard di formazione), occorre sempre ricordare che i dati più direttamente accessibili da un punto di vista sperimentale sono le entalpie standard di combustione. In realtà, le entalpie di formazione sono spesso ricavate dalle entalpie di combustione. In un laboratorio furono determinate le entalpie standard di combustione per grafite, -394 kJ mol^{-1} , benzene, $-3267 \text{ kJ mol}^{-1}$, e idrogeno, -286 kJ mol^{-1} .

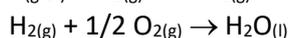
- 1) Scrivere le reazioni di combustione di grafite, benzene e idrogeno (3 punti)
- 2) Scrivere la reazione di formazione del benzene (2 punti)
- 3) Calcolare l'entalpia standard di formazione del benzene (5 punti)

SVOLGIMENTO

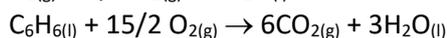
a)



$$\Delta H_a^0 = -394 \text{ kJ mol}^{-1}$$

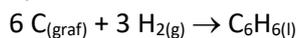


$$\Delta H_b^0 = -286 \text{ kJ mol}^{-1}$$



$$\Delta H_c^0 = -3267 \text{ kJ mol}^{-1}$$

b)



c)

Il ΔH di reazione di una sostanza è definito come:

$$\Delta_r H^0 = \sum_{\text{prodotti}} \nu \Delta_f H^0 - \sum_{\text{reagenti}} \nu \Delta_f H^0$$

dove $\Delta_f H^0$ è l'entalpia standard di formazione e ν è il coefficiente stechiometrico.

Dato che l'entalpia standard di formazione di una sostanza nella sua forma elementare (O_2 , C , H_2) è pari a 0 avremo che:

$$\Delta_f H^0 \text{CO}_2 = \Delta H_a^0 = -394 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$\Delta_f H^0 \text{H}_2\text{O} = \Delta H_b^0 = -286 \text{ kJ mol}^{-1}$$

Sapendo inoltre che

$$\Delta H_c^0 = -3267 \text{ kJ mol}^{-1} = (3 \Delta_f H^0 \text{H}_2\text{O} + 6 \Delta_f H^0 \text{CO}_2) - \Delta_f H^0 \text{C}_6\text{H}_6$$

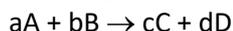
possiamo risolvere l'equazione e trovare $\Delta_f H^0 \text{C}_6\text{H}_6$:

$$\Delta_f H^0 \text{C}_6\text{H}_6 = (3 (-286 \text{ kJ mol}^{-1}) + 6(-394 \text{ kJ mol}^{-1})) + 3267 \text{ kJ mol}^{-1} = 45 \text{ kJ mol}^{-1}$$

CHIMICA FISICA ED ELETTROCHIMICA

CLASSE B

Data la generica reazione chimica:



- a) scrivi l'equazione della velocità o legge cinetica, definendo il significato di ciascun simbolo nell'equazione (4 punti)
- b) Descrivi brevemente se e come la velocità di reazione è influenzata dalle seguenti grandezze, indicando l'eventuale effetto sui vari parametri:
 - a. Energia libera di Gibbs di reazione (1 punto)
 - b. Concentrazione delle specie reagenti (1 punto)
 - c. Temperatura (2 punti)
 - d. Presenza di un catalizzatore (2 punti)

SVOLGIMENTO:

a)

$$v = k [A]^n [B]^m$$

v = velocità di reazione

k = costante cinetica

[A], [B] = concentrazioni dei reagenti

n, m = ordini di reazione rispettivamente ai reagenti A e B

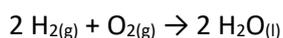
b)

- a. L'energia libera di Gibbs di reazione indica la spontaneità di una reazione e non è correlata con la sua velocità.
- b. La concentrazione delle specie reagenti influenza la velocità secondo una dipendenza definita dall'ordine di reazione. Esempio se $n = 0$ la velocità dipende soltanto dalla concentrazione del reagente B
- c. La costante cinetica è definita dalla legge di Arrhenius $k = A e^{-\Delta E^\ddagger/RT}$, dove A è il fattore preesponenziale, ΔE^\ddagger è l'energia di attivazione e T la temperatura. La temperatura influenza la velocità della reazione determinando il valore della costante cinetica
- d. La presenza di un catalizzatore aumenta la velocità di una reazione, tramite la costante cinetica, riducendo il valore dell'energia di attivazione (abbassa la barriera di energia potenziale).

CHIMICA FISICA ED ELETTROCHIMICA

CLASSE C

Una cella a combustibile è un dispositivo elettrochimico, costituito da due elettrodi (anodo e catodo) e l'elettrolita in cui gli elettrodi sono immersi, in grado di convertire direttamente l'energia chimica contenuta nel combustibile in energia elettrica tramite un processo a temperatura costante. Tipicamente, l'idrogeno è usato come combustibile e l'ossigeno come ossidante, secondo la reazione netta:



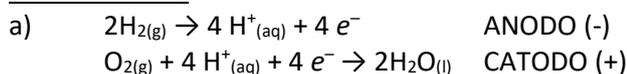
1) scrivere le due semireazioni elettrodiche (bilanciate in relazione alla reazione netta indicata), specificando a quale elettrodo si riferiscono e qual è la sua polarità, nel caso in cui la cella adotti un elettrolita acquoso acido (conduttore di ioni H^+) e operi a temperatura ambiente. (3 punti)

2) Calcolare il potenziale standard per la semireazione del catodo, sapendo che il potenziale di riduzione standard per la semireazione dell'anodo è $-0,83 \text{ V}$ e che la variazione di energia libera di formazione standard dell'acqua è -237 kJ/mol . (3 punti)

3) Sapendo che la massima efficienza (η) per una cella a combustibile è data dal rapporto tra il massimo lavoro ottenibile e il calore dissipato dalla reazione, calcolare η utilizzando i dati di entropia standard riportati nella tabella seguente e relativi a 25°C e 1 bar . (4 punti)

Sostanza	$S^\circ (\text{J mol}^{-1} \text{K}^{-1})$
$\text{H}_2(g)$	130,7
$\text{O}_2(g)$	205,2
$\text{H}_2\text{O}(l)$	70,0

SVOLGIMENTO:



b) Sappiamo che:

$$\Delta G^\circ = -nF\Delta E^\circ$$

con n = numero di elettroni scambiati durante la reazione ed F = costante di Faraday = quantità di carica trasportata da una mole di elettroni (96485 Coulomb).

Quindi: $2(-2,37 \cdot 10^5) = -4 \cdot 96485 \cdot \Delta E^\circ$, da cui

$$\Delta E^\circ = 1,23 \text{ V}$$

Sapendo che: $\Delta E^\circ = E^\circ_{\text{catodo}} - E^\circ_{\text{anodo}}$, si ricava:

$$E^\circ_{\text{catodo}} = 1,23 + (-0,83) = 0,40 \text{ V}$$

c) Sappiamo che $\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T \cdot \Delta S^\circ$.

Ricordando che la variazione di energia libera di formazione standard dell'acqua è -237 kJ/mol , calcoliamo $\Delta G^\circ = 2 \cdot \Delta G_f^\circ(\text{H}_2\text{O}) = 2 \cdot (-237 \text{ kJ/mol}) = -474 \text{ kJ}$ = massimo lavoro ottenibile

Dai dati tabulati:

$$\Delta S^\circ = 2S^\circ(\text{H}_2\text{O}, l) - [2S^\circ(\text{H}_2, g) + S^\circ(\text{O}_2, g)] = 2 \cdot 70,0 - (2 \cdot 130,7 + 205,2) = -326,6 \text{ JK}^{-1}$$

Quindi:

$$\Delta H^\circ = \Delta G^\circ + T \cdot \Delta S^\circ = -474 \text{ kJ} + [298,15 \text{ K} \cdot (-326,6 \cdot 10^{-3} \text{ kJK}^{-1})] = -571,4 \text{ kJ} = \text{calore dissipato}$$

$$\eta = \text{massimo lavoro ottenibile} / \text{calore dissipato} = -474 \text{ kJ} / -571,4 \text{ kJ} = 0,83$$

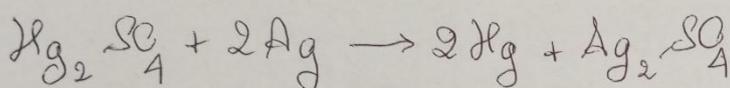
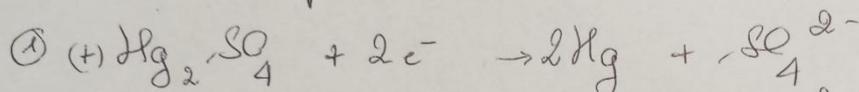
Ovvero, l'efficienza massima della cella a combustibile nelle condizioni operative indicate è pari all'83%.

CHIMICA FISICA ED ELETTROCHIMICA

$\text{Hg}_2\text{SO}_4(\text{s})$ messo in contatto con argento metallico si riduce formando mercurio e solfato di argento solido. Il ΔS° per questa reazione a 298 K è $+14.47 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$. Questa reazione può essere fatta avvenire anche in una pila.

- Scrivere le due semireazioni e la reazione globale bilanciate. (4 punti)
- Sapendo che il potenziale standard della pila è uguale a $+0.140 \text{ V}$, determinare il ΔG° della reazione a 298 K. (2 punti)
- Quanto è il calore scambiato se la cella è scaricata isotermicamente e reversibilmente? (2 punti)
- Se la reazione di pila viene fatta avvenire a una pressione esterna costante compiendo lavoro di espansione reversibile quanto è il calore scambiato? (2 punti)

Finale a squadre



(questo è il modo convenzionale, è accettabile anche la reazione inversa)

$$\textcircled{2} \Delta G^\circ = -1 \cdot F \cdot \Delta E^\circ = -1 \cdot 96485 \cdot 0.14 = -13508 \text{ J/mol Ag}_2\text{SO}_4$$

$$\textcircled{3} q_{\text{rev}} = T \Delta S^\circ = 298 \cdot 14.47 = +4312 \text{ J/mol Hg}$$

$$\textcircled{4} q = \Delta H^\circ = \Delta G^\circ + T \Delta S^\circ = -13508 + 4312 = -9196 \text{ J/mol}$$

CHIMICA VERDE E TEMI TRASVERSALI

La produzione di nuovi carburanti per l'autotrazione e di prodotti chimici richiede la realizzazione di nuovi processi catalitici in grado di trasformare biomasse in prodotti a più alto valore aggiunto a condizioni competitive. Il furfurale (Figura 1) è stato identificato come una delle molecole più promettenti derivate direttamente da biomasse e la sua produzione è ormai di circa 450 mila tonnellate/anno nel 2022 con una previsione di crescita annuale dell'8,5% fino al 2031. Il furfurale è ormai un prodotto chimico di base, e la tecnologia per la sua produzione è in gran parte consolidata e prevede di partire da xilani, polisaccaridi emicellulosici presenti in abbondanza in alcune piante come bamboo e canna da zucchero.

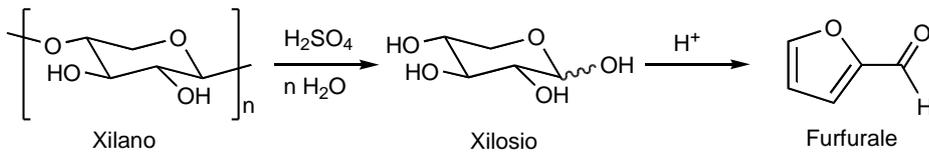


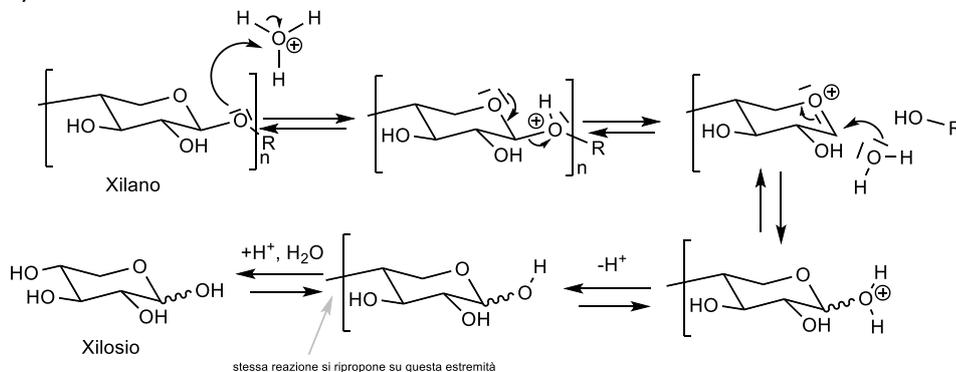
Figura 1

Considerando lo schema sintetico di Figura 1, indicare un possibile meccanismo di reazione che preveda l'interconversione

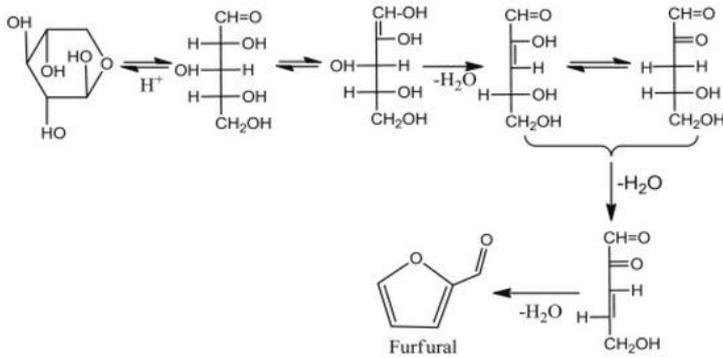
- da Xilano a Xilosio (punti 2)
- da Xilosio a Furfurale (punti 2)
- Qual è la forza trainante del secondo passaggio (da Xilosio a Furfurale)? (punti 1)
- Calcolare l'economia atomica del passaggio da Xilosio a Furfurale (punti 1)
- Qual è il ruolo dell'acido solforico e in che rapporto deve essere usato? (punti 1)
- Cosa si potrebbe sostituire l'acido con qualcosa di più green (punti 1)
- La conversione di xilosio in furfurale in soluzione acquosa acida ad alta temperatura avviene con bassa resa a causa di reazioni secondarie che sottraggono il prodotto. Quale strategia potrebbe essere adottata per mitigare le reazioni indesiderate sul furfurale? (punti 1)
- Data la co-presenza di sostanze solide e in soluzione nella miscela sottoposta a reazione, quale metodologia potrebbe essere adottata per separare il prodotto desiderato dai residui solidi? (punti 1)

Soluzioni

a)



b)



c)

Formazione di un composto aromatico

d)

$96.09/150.13 = 64\%$

e)

Catalizzatore, non c'è un rapporto molare preciso essendo un catalizzatore

f)

Zeoliti, resine solfoniche in forma acida, qualsiasi catalizzatore acido di Lewis potrebbe essere accettato
Possibili altre risposte più difficili: sulfonic-acid modified mesoporous silicas, sulfonated metal oxides, Keggin heteropolyacids, mesoporous niobium phosphate, and vanadyl pyrophosphates

g)

L'adozione di un sistema bifasico H_2O /solvente organico permetterebbe l'estrazione in situ del furfurale in solvente organico riducendone la ulteriore trasformazione. Metodo più green sarebbe l'estrazione in corrente di vapore visto che si utilizza già soluzioni acquose a caldo

h)

I residui solidi possono essere separati per distillazione, distillazione in corrente di vapore, centrifugazione, filtrazione (tutte risposte valide)