

Ossidazioni e riduzioni: trasformazioni chimiche con scambio di elettroni

di P. Ambrogi

Nucleo Tematico
Trasformazioni

Autore
Paola Ambrogi

Referente scientifico
Giuseppe Valitutti

Grado scolastico
Scuola Secondaria di II grado – I biennio

Tempo medio per svolgere il percorso
13 ore

Indice

Scheda generale.....	3
Introduzione al percorso	6
Indicazioni metodologiche.....	9
Attività 1 – Che cosa sono le ossidazioni.....	11
Step 1 –Brainstorming	12
Step 2 – Ricerca di informazioni sul termine “ossidazione”	13
Step 3 - Spunti per la valutazione	18
Attività 2 – Perché e come avvengono le ossidazioni	20
Step 1 – Think-pair-share.....	21
Step 2 – Osservazione del comportamento di metalli in soluzioni acquose di sali di metalli ...	22
Step 3 - Spunti per la valutazione	26
Attività 3 – Come ottenere energia da reazioni di ossidoriduzioni.....	28
Step 1 – Preparazione di celle galvaniche	29
Step 2 – Intervista sull’uso di pile e batterie	32
Step 3 - Spunti per la valutazione	33
Spunti per approfondire	35
Spunti per un approfondimento disciplinare	35
Spunti per altre attività con gli studenti	37
Risorse.....	39
Documentazione e materiali.....	39
Bibliografia	39
Sitografia	40

Scheda generale

Linee Guida per Tecnici e Professionali

Competenze di base attese a conclusione dell'obbligo di istruzione

- Osservare, descrivere ed analizzare fenomeni appartenenti alla realtà naturale e artificiale e riconoscere nelle varie forme i concetti di sistema e di complessità.
- Analizzare qualitativamente e quantitativamente fenomeni legati alle trasformazioni di energia a partire dall'esperienza.
- Essere consapevole delle potenzialità e dei limiti delle tecnologie nel contesto culturale e sociale in cui vengono applicate.

Abilità

- Bilanciare le reazioni di ossidoriduzione col metodo ionico elettronico
- Disegnare e descrivere il funzionamento di pile e celle elettrolitiche

Conoscenze

- Numero ossidazione, scala di elettronegatività, reazioni di ossidoriduzione e loro bilanciamento, pile, corrosione

Organizzatori concettuali

- Distinzione tra stati (come le cose sono) e trasformazioni (come le cose cambiano), tra stabilità (equilibri) e instabilità (cambiamenti), tra strutture e processi (osservazione dell'evoluzione di processi di ossidoriduzione).
- Caratteristiche e evoluzione temporale dei sistemi in gioco, viventi e non viventi (come evolve il processo di ossidoriduzione in funzione del tempo).
- Interazioni, relazioni e correlazioni tra sistemi e tra parti di un sistema (funzionamento di una cella galvanica).
- I modelli come strumento concettuale per la ricerca di spiegazioni (modelli atomici e trasferimento di elettroni nel processo di ossidoriduzione).

Concetti chiave

- Sistemi fisici e chimici
- Trasformazioni chimiche
- Equilibri e cambiamenti
- Modello particellare della materia
- Energia e sue trasformazioni

Prerequisiti dello studente

- Particelle elementari che costituiscono l'atomo
- Atomi e ioni
- Modelli atomici
- Calcolo del numero di ossidazione
- Soluzioni e concentrazioni
- Reazioni ed equazioni chimiche

Obiettivi lato docente

- Individuare elementi di criticità nelle rappresentazioni mentali degli studenti riguardo le ossidoriduzioni.
- Aiutare gli alunni a osservare e riconoscere i processi di ossidoriduzione in diversi ambiti: dalle corrosioni, alla conservazione degli alimenti alla respirazione.
- Mettere in risalto come le pile abbiano cambiato le nostre abitudini e stili di vita e come scienza e società siano in stretta relazione.
- Abituare gli alunni a pensare le trasformazioni chimiche nei loro livelli: microscopico, macroscopico e simbolico evidenziando nelle spiegazioni dei fenomeni i passaggi macro-micro, il tutto e le parti, le correlazioni struttura-funzione.
- Favorire nell'allievo l'attitudine a guardare per sistemi e per variabili ed educare alla complessità del mondo, stimolando la capacità a ragionare per modelli.

Obiettivi lato studente

- Calcolare il numero di ossidazione di una specie chimica.
- Conoscere la definizione di specie che si ossida e specie che si riduce.
- Identificare, in una equazione chimica, la specie che si riduce e quella che si ossida.
- Bilanciare una equazione di ossidoriduzione.
- Comprendere il significato di potenziale di riduzione standard.
- Identificare, data una coppia di elementi metallici, quello che si ossida e quello che si riduce in condizione standard utilizzando la tabella dei potenziali standard di riduzione.
- Conoscere le principali tappe dello sviluppo storico delle pile e cogliere il loro impatto nella vita quotidiana.
- Conoscere i componenti delle pile più diffuse e sapere a quali componenti sono legati i rischi per la salute dell'uomo e dell'ambiente.

Competenze lato docente

L'obiettivo principale perseguito dal docente non è il trasmettere conoscenze ma facilitare lo studente nella costruzione di conoscenze, in tale ottica dovrebbe:

- Partire dalle preconoscenze degli studenti per organizzare e animare situazioni di apprendimento significativo.
- Dedicare tempi ampi alla discussione, al dialogo, al confronto alla riflessione su quello che si fa.
- Favorire l'operatività e l'interazione diretta degli studenti con gli oggetti e le idee coinvolti nell'osservazione e nello studio, dedicando tempo al problem setting e non solo al problem solving.
- Favorire contesti relazionali cooperativi caratterizzati da una interdipendenza positiva tra il docente e lo studente e tra gli studenti (tra pari) dove la presenza e il contributo di ciascuno sia considerato necessario e significativo.

Competenze lato studente

- Fare predizioni appropriate e giustificarle.
- Analizzare ed interpretare i dati a disposizione per trarne conclusioni appropriate.
- Saper riflettere su pareri e opinioni diverse dalle proprie.
- Conoscere ed apprezzare il percorso storico di alcune delle conoscenze scientifiche apprese, riconoscendo l'importanza dei contesti culturali e sociali.

Introduzione al percorso

Le reazioni di ossidoriduzione sono trasformazioni chimiche molto comuni. Sono la causa del deterioramento di molti manufatti metallici, come si può constatare osservando la ruggine che ricopre le parti in ferro esposte all'aria, ma sono anche alla base di pile e batterie, che forniscono energia e permettono l'uso di molti strumenti portatili come i telefoni cellulari e i tablet.



by [CB Photography](#) (CC BY-NC-ND 2.0)

Anche le reazioni di combustione sono reazioni di ossidoriduzione e forniscono energia sotto forma di calore.

Ossidazione e riduzione sono processi molto diffusi, che possono causare danni ma possono anche essere usati in modo vantaggioso. È utile quindi conoscere meglio questi processi, per poterli prevenire o sfruttare vantaggiosamente e per far questo si deve essere in grado di rispondere alle domande:

- *Cos'è una ossidazione?*
- *Perché avvengono le ossidazioni?*
- *Come avvengono le ossidazioni?*
- *Come si può ottenere energia da reazioni di ossidoriduzione?*

Per poter rispondere a queste domande vengono proposte alcune attività che guidano lo studente alla costruzione di conoscenze partendo da situazioni a lui note. I contesti di senso ¹si fanno ricercare agli studenti attivando e valorizzando le loro

¹ I contesti di senso sono definiti assieme agli alunni e riguardano la vita quotidiana dall'ossidazione dei metalli alla conservazione dei cibi e la cura della persona. Le conoscenze e le abilità promosse sono in linea con quelle proposte dalle Linee Guida 2010 per la disciplina "Scienze integrate (chimica)". Più precisamente le attività presentate promuovono le seguenti conoscenze e abilità:

- **Conoscenze:** reazioni di ossidoriduzione e loro bilanciamento: pile, corrosione

preconoscenze che saranno usate come punti di partenza da sviluppare e approfondire.

Il termine ossidazione è molto usato sia nel settore dei metalli, dove l'ossidazione è associata alla corrosione, sia in quello degli alimenti o delle creme di bellezza che vengono reclamizzati per il loro contenuto di antiossidanti. Gli ambiti, in cui avvengono le ossidazioni, comprendono sia quelli che catturano maggiormente l'interesse dei maschi sia quelli che risultano di maggior interesse per le femmine. Infatti indagini su come la differenza di genere influenza l'interesse verso argomenti scientifici (ad esempio lo studio ROSE condotto in Danimarca, di Busch, pubblicato nel 2005 o quello effettuato in Inghilterra, di Jenkins, E. W., & Nelson, N. W., pubblicato nel 2005) hanno messo in evidenza che le ragazze sono maggiormente attratte da argomenti che interessano la salute e il benessere, mentre i ragazzi preferiscono argomenti legati alla tecnologia. Le ossidazioni si ritrovano in contesti che sono d'interesse per entrambi i generi.

Le attività proposte vertono sulle ossidazioni e guidano gli studenti lungo un percorso che prevede attività in cui si affronta la corrosione dei metalli ma anche altri aspetti dello stesso fenomeno. Si realizzano pile e si discute delle implicazioni che questi dispositivi hanno nella vita quotidiana a livello personale e sociale e di come **scienza, tecnologia e società siano intrecciate tra di loro**. La promozione dell'acquisizione di conoscenze in campo chimico si avvale di contesti di senso familiari per gli studenti.

-
- **Abilità:** bilanciare le reazioni di ossidoriduzione con il metodo ionico elettronico disegnare e descrivere il funzionamento di pile

Le competenze promosse fanno riferimento alle tre competenze dell'Asse Scientifico Tecnologico:

- osservare, descrivere ed analizzare fenomeni appartenenti alla realtà naturale e artificiale e riconoscere nelle varie forme i concetti di sistema e di complessità
- analizzare qualitativamente e quantitativamente fenomeni legati alle trasformazioni di energia a partire dall'esperienza
- essere consapevole delle potenzialità e dei limiti delle tecnologie nel contesto culturale e sociale in cui vengono applicate

Queste attività, partendo da osservazioni, stimolano riflessioni sull'energia, sulle sue trasformazioni e sul suo impatto nella vita quotidiana, vengono inoltre stimulate discussioni sull'intreccio tra scienza tecnologia e società.

L'attività di approfondimento può avere un taglio storico o di educazione alla salute. Può essere dedicata allo studio di come i dispositivi che sfruttano le reazioni di ossidoriduzione per generare energia elettrica si siano evoluti nel tempo grazie alla scienza e alla tecnologia e riflettere su come questo ha cambiato la nostra vita. In alternativa può essere orientata allo studio della funzione di sostanze antiossidanti in alimenti e cosmetici. Una mappa concettuale, all'inizio di ogni attività, descriverà sia le **competenze chiave di cittadinanza** promosse dalle singole attività, sia le **modalità e le finalità del percorso**.

Attività 1 – Che cosa sono le ossidazioni

La prima attività è dedicata al recupero delle preconoscenze e alla definizione dei contesti di senso. Gli studenti ricercano e selezionano informazioni, con la guida dell'insegnante e condividono il significato di termini e concetti fondamentali.

- Step 1 – Brainstorming sul concetto di ossidazione
- Step 2 – Ricerca di informazioni sul termine "ossidazione"
- Step 3 – Spunti per la valutazione

Attività 2 – Perché e come avvengono le ossidazioni

La seconda attività prevede l'ideazione e la conduzione di semplici prove sperimentali. Gli studenti condurranno esperienze sul comportamento di alcuni metalli messi in contatto con acqua e soluzioni di ioni metallici. Si verificherà come prevenire l'ossidazione di metalli e di frutta esposta all'aria.

- Step 1 – Think-pair-share
- Step 2 – Osservazione del comportamento di metalli in soluzioni acquose di sali di metalli
- Step 3 – Spunti per la valutazione

Attività 3 – Come ottenere energia da reazioni di ossidoriduzioni

La terza attività è volta ad indagare come si può ottenere energia da una reazione di ossidoriduzione e prevede la costruzione di semplici pile.

- Step 1 – Preparazione di celle galvaniche
- Step 2 – Intervista sull'uso di pile e batterie
- Step 3 – Spunti per la valutazione

Indicazioni metodologiche

Le attività del presente percorso sono affrontate in **modalità laboratoriale** e sono volte a sviluppare negli studenti le capacità di porsi domande e trovare le risposte sia attraverso la **ricerca e la scelta di informazioni** sia attraverso l'ideazione e la **conduzione di prove pratiche** per verificare le ipotesi formulate.

Lo studente è attivo, al centro del processo e l'insegnante svolge un ruolo di facilitatore.



by [Emilyzitzmann](#) (CC BY-NC-ND 2.0)

Nella conduzione delle attività si utilizzano anche strutture di **apprendimento cooperativo** per promuovere congiuntamente conoscenze e abilità sociali.

L'apprendimento cooperativo si contraddistingue per le seguenti caratteristiche:

- **Interdipendenza positiva:** ogni studente ha interesse che il risultato del gruppo sia buono e il lavoro di ognuno è essenziale allo svolgimento del compito.
- **Interazione promozionale faccia a faccia:** è strettamente legata alla interdipendenza positiva e prevede il sostegno reciproco dei componenti del gruppo.
- **Responsabilità individuale:** ogni studente è responsabile di una parte del lavoro.
- **Insegnamento diretto delle abilità sociali:** gli studenti apprendono congiuntamente le abilità legate alla disciplina e quelle sociali come la mediazione di conflitti, il saper ascoltare e argomentare.

- **Revisione e valutazione autentica:** il lavoro prodotto, ed il processo attraverso cui si è realizzato, va valutato secondo i criteri della valutazione autentica e i criteri di valutazione dovranno essere condivisi e decisi con la classe.

Le strutture di apprendimento suggerite per le attività proposte sono:

- **Brainstorming:** il brainstorming permette di far emergere le idee e le precognizioni degli studenti. Tutti i contributi vanno accolti e raggruppati in categorie tra le quali potranno essere scelte quelle da sviluppare.
- **Think-pair-share:** ogni alunno prima ragiona individualmente per risolvere un problema o rispondere a una domanda e dopo qualche minuto condivide il suo pensiero con un compagno per formulare una risposta condivisa. Gli studenti imparano ad argomentare la loro posizione, ad ascoltare le posizioni altrui e a confrontare i diversi punti di vista.
- **Jig-saw:** gli studenti vengono organizzati in gruppi di quattro persone per portare avanti un compito suddivisibile in parti. Ad ogni studente del gruppo viene assegnato una parte del compito ben definita della quale sarà esperto e responsabile. Gli esperti dello stesso compito si raggruppano per studiare assieme e portare a termine il compito. Successivamente i gruppi di esperti si sciolgono e ogni alunno ritorna nel gruppo originario e contribuisce al completamento del compito originario.
- **Group Investigation:** il lavoro da svolgere viene suddiviso in parti. Ogni componente del gruppo è responsabile di un compito.

Attività 1 – Che cosa sono le ossidazioni

Tempo medio per svolgere l'attività in classe: 5 ore

Grado scolastico: Classe II (l'attività può essere proposta a una classe II del primo biennio IT, settore tecnologico)

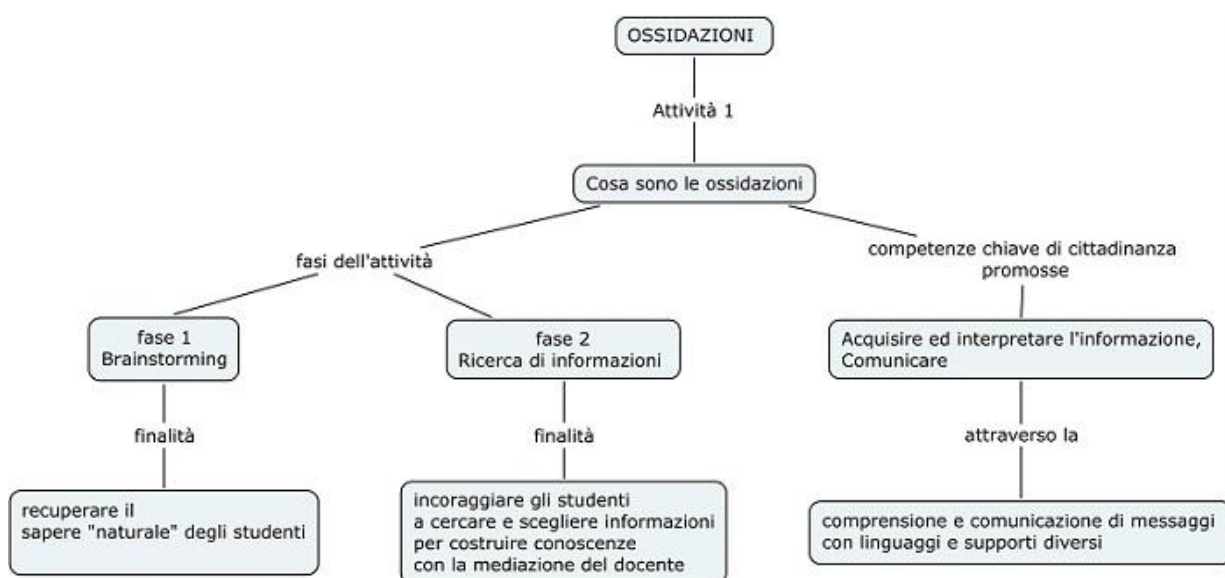


by [Rigmarole](#) (CC BY-NC-SA 2.0)

Obiettivi

- Fare predizioni appropriate e giustificarle
- Analizzare ed interpretare i dati raccolti per trarne conclusioni appropriate
- Saper riflettere su pareri e opinioni diverse dalla proprie
- Acquisire e interpretare l'informazione
- Comunicare

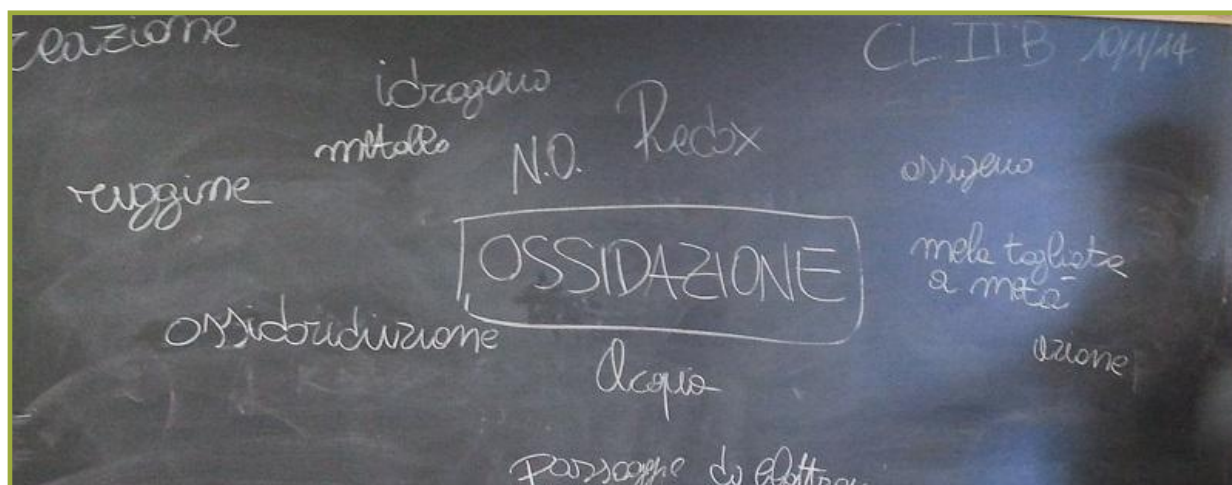
La mappa concettuale sottostante descrive gli aspetti e le fasi principali di questa prima attività.



Step 1 –Brainstorming

Si pone la domanda: **Che cos'è un'ossidazione?**

Si inizia con un brainstorming. Uno studente va alla lavagna e raccoglie le idee che emergono dalla classe. Questa fase recupera il sapere “naturale” degli alunni legato alle esperienze pregresse.



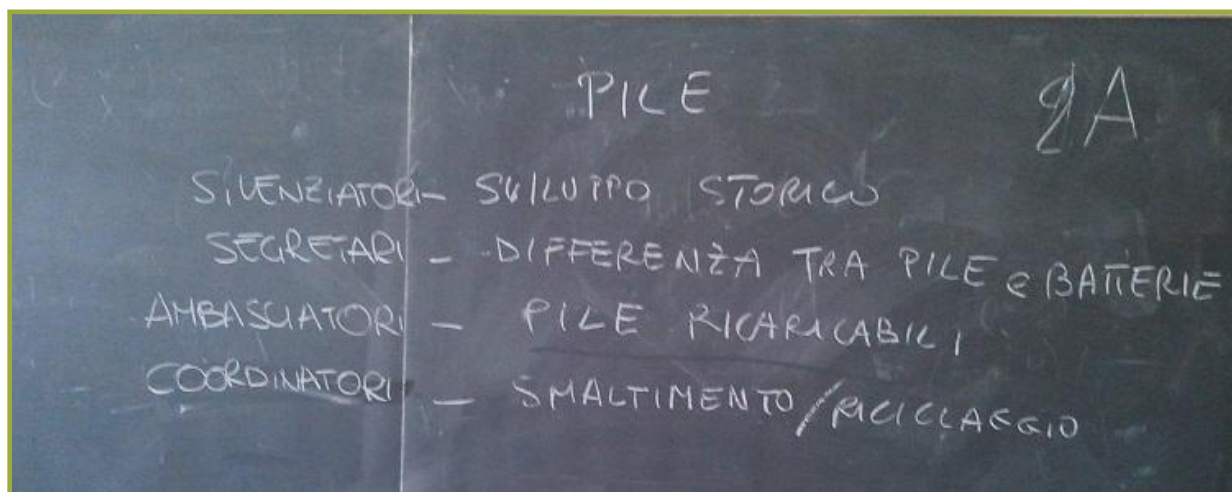
Si raggruppano e si categorizzano le idee emerse. Probabilmente emergeranno idee legate alla ossidazione dei metalli e alla formazione di ruggine. Il docente correggerà le concezioni errate e darà spiegazioni inerenti ad alcuni aspetti emersi. Da questo quadro prende avvio lo **studio dei fenomeni collegati all'ossidazione**. Il quadro iniziale, alla fine, verrà comparato con il quadro che emergerà quando tutte le attività del percorso saranno concluse per rendere maggiormente consci gli studenti del progresso delle loro conoscenze.

Step 2 – Ricerca di informazioni sul termine “ossidazione”

La classe viene divisa in gruppi. Tutti i gruppi dovranno trovare informazioni sui termini “ossidazione” e “antiossidanti”. Gli studenti dovranno cercare le informazioni su testi e su Internet.

L'attività può essere condotta a scuola se c'è disponibilità di postazioni con connessione a internet e/o in una biblioteca di testi scientifici. Probabilmente molti studenti, anche se al secondo anno della scuola secondaria di secondo grado, non sapranno o non ricorderanno che nei testi scientifici e nei libri di testo scolastici c'è l'indice analitico. Occorre ricordare, o insegnare agli studenti, di **riportare sempre le fonti da cui sono state tratte le informazioni**. Per i libri si deve indicare l'autore, il titolo del testo, l'editore e l'anno di pubblicazione. Per i siti web occorrerà gli studenti dovranno riportare sempre oltre al nome del sito, il link per esteso e la data in cui l'informazione è stata reperita online per poter verificarne con l'insegnante l'attendibilità.

Si potrà organizzare la classe in gruppi di quattro, all'interno dei quali i compiti sono distribuiti ai singoli studenti che rivestono uno specifico ruolo e ne sono responsabili.



I ruoli, per esempio, potranno essere:

- **coordinatore** che dovrà tenere sotto controllo il lavoro da svolgere per reperire le informazioni e fare in modo che i tempi vengano rispettati;
- **segretario** che dovrà conservare il materiale utile e redigere i resoconti;
- **ambasciatore** che manterrà il collegamento con l'insegnante e con gli ambasciatori degli altri gruppi;
- **silenziatore** che provvederà a ricordare ai compagni di controllare il volume della voce.

Questa attività è utile per sviluppare le **competenze nel campo della comunicazione**, competenze relative sia al reperire, identificare e scegliere le informazioni importanti in un testo sia alla comunicazione efficace, chiara e corretta di quanto è stato trovato ed elaborato.

Gli studenti esporranno le definizioni e le informazione circa il processo di ossidazione, questo potrà essere fatto tramite una **breve relazione scritta** di quanto trovato, integrata da una **comunicazione orale** a tutta la classe con l'ausilio di una cartellone o di PowerPoint o altro software.

I criteri di valutazione della presentazione, nell'ottica della valutazione autentica, andrebbero concordati con la classe prima dell'inizio del lavoro di gruppo. La valutazione della presentazione può essere condotta con l'aiuto di una **rubric** quale quella in figura C. Gli elementi importanti, o dimensioni, e gli standard per i livelli di prestazione vanno concordati con la classe. La **valutazione autentica** prende in considerazione non solo le conoscenze ma anche gli atteggiamenti, quali la puntualità nel portare a termine un compito e la capacità di comunicare usando diversi strumenti. Nella rubric proposta (vedi anche allegato "[rubrica valutazione](#)") il punteggio massimo è dieci per poter avere una scala decimale di valutazione. Non tutte le dimensioni hanno lo stesso peso, anche questo va concordato a priori. La rubric in figura è stata sviluppata da una I^a ITI.

Elemento importante o dimensione	Livello Eccellente	punti	Livello Buono	punti	Livello Sufficiente	punti	Livello Insufficiente Da rifare	punti	Punti
Testo	Informazioni corrette e numerose; il testo è chiaro e si legge bene	4	Poche informazioni e/o qualche imprecisione	3	Informazioni scarse e non sempre corrette o pertinenti	2	Assenza di informazioni e/o molti e gravi errori	1	
Grafica	Grafica chiara e coerente con il testo. (Animazioni efficaci.) *	3	Grafica poco chiara, immagini non pertinenti (e/o animazioni che non funzionano)*	2	Grafica povera e alcuni errori	1	Molti e gravi errori	0	
Esposizione	Comunicazione sicura ed efficace	2	Comunicazione abbastanza sicura	1,5	Comunicazione insicura e discontinua	1	Comunicazione solo attraverso la lettura e con dimenticanza di alcune parti	0	
Puntualità	Finito e presentato nel giorno stabilito	1	1 giorno di ritardo	0,5	2 giorni di ritardo	0	Più di tre giorni di ritardo	0	
Totale									

Rubrica per la valutazione di una presentazione. Nel caso la presentazione sia supportata da un programma al computer si considerano le voci con l'asterisco.

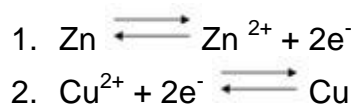
Ossidazione

Le principali informazioni raccolte riguardo il termine ossidazione dovrebbero convergere nei seguenti punti:

Descrizione del processo

L'ossidazione è un processo in cui una specie chimica, per semplicità un atomo, perde un certo numero di elettroni che vengono trasferiti ad un'altra specie chimica. La specie che perde elettroni si ossida e il suo numero di ossidazione aumenta, la specie che acquista elettroni si riduce e il suo numero di ossidazione diminuisce. Occorre quindi, dopo aver richiamato il modello dell'atomo e i suoi costituenti, ricordare la definizione di numero di ossidazione e le regole per ricavare i numeri di ossidazione nelle diverse specie chimiche. Questo potrà richiedere due o tre ore, per richiamare il modello dell'atomo, ricordare le regole per il calcolo del numero di ossidazione ed eseguire alcuni esercizi per identificare la specie che si ossida e quella che si riduce in reazioni di ossidoriduzione e la scrittura di semireazioni di ossidazione e riduzione secondo la convenzione che permette il bilancio di carica e di massa. Di seguito due

esempi, il primo per una semireazione di ossidazione e il secondo per una reazione di riduzione:



Nella ricerca della definizione del termine ossidazione, oltre alle informazioni che permetteranno di sviluppare i concetti e i formalismi strettamente legati alla chimica, probabilmente gli studenti avranno trovato informazioni riguardo i seguenti punti:

- **Corrosione:** Le più comuni reazioni di ossidazione sono le corrosioni dei metalli quali la formazione di ruggine sul ferro, annerimento di oggetti di argento o il cambiamento di colore delle grondaie e dei tetti in rame.
- **Pile e energia:** Le reazioni di ossidazione si accompagnano a quelle di riduzione e le ossidoriduzioni sono alla base delle pile, che permettono l'utilizzo di strumenti portatili quali il telefono cellulare.

Possibili approfondimenti e riflessioni: si possono coinvolgere gli studenti in discussioni su come l'energia elettrica e in seguito le pile ci abbiano cambiato la vita, su come infine è importante smaltire le pile in modo corretto per non inquinare e recuperare e riciclare i materiali.

- **Combustione:** Anche le reazioni di combustione sono reazioni di ossidoriduzione e forniscono energia sotto forma di calore. L'energia ottenuta dalla combustione del gasolio o del metano può essere usata per il riscaldamento o per il trasporto.

Possibili approfondimenti e riflessioni: Combustibili e loro origine. Portare all'attenzione degli alunni che il petrolio, combustibile fossile, può essere usato

per il trasporto, per il riscaldamento, per sintetizzare farmaci o produrre polimeri ma è in quantità finite e per questo è indispensabile scegliere in modo oculato per quali scopi impiegarlo.

- **Respirazione:** Un altro esempio è la respirazione cellulare che, attraverso reazioni di combustione controllata, fornisce l'energia per mantenerci in vita.

Antiossidanti

Conservanti: gli antiossidanti vengono usati come additivi alimentari per prolungare la durata degli alimenti. Molti alimenti contengono naturalmente antiossidanti che contrastano gli effetti dei radicali liberi sull'organismo.

Le creme di bellezza e i prodotti per la cura del corpo spesso contengono antiossidanti. Non solo gli antiossidanti aggiunti per prolungare la vita del prodotto sullo scaffale, ma anche antiossidanti che contrastano gli effetti dei radicali liberi sull'organismo.

Queste informazioni verranno utilizzate e sviluppate nell'attività di approfondimento.

Dopo la presentazione, da parte dei gruppi, si sottolineerà che le ossidazioni intervengono in svariate situazioni e pertanto vale la pena conoscerle meglio perché questo ci permetterà di valutare informazioni che riguardano tanti settori, anche molto diversi tra loro. Inoltre, se si conosce il loro meccanismo di azione, questi processi possono essere “governati” ossia si possono creare le condizioni per contrastare i processi indesiderati e promuovere quelli utili e la chimica ci aiuta a fare questo. Questo verrà indagato nelle prossime attività.

Step 3 - Spunti per la valutazione

Si suggeriscono di seguito alcuni spunti per una verifica dell'attività proposta.

- Valutazione autentica delle presentazioni utilizzando la rubric proposta.
- Domande volte a verificare la conoscenza e la comprensione delle trasformazioni che implicano ossidazione.

Dai la definizione di ossidazione.

Criterio di correzione: nella risposta deve figurare che il numero di ossidazione della specie che si ossida aumenta.

- Esercizi sul calcolo del numero di ossidazione (N.O.) degli elementi presenti in una specie chimica

Assegna il numero di ossidazione a ogni elemento presente nelle formule che seguono:

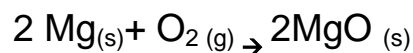
- a) O_2
- b) $NaCl$
- c) $KClO_3$
- d) NO_3^-
- e) OH^-
- f) $KMnO_4$
- g) Fe
- h) Ca^{++}
- i) CuO
- l) Cu_2O

Criterio di correzione:

- a) $O_2 = 0$
- b) $Na = +1, Cl = -1$
- c) $K +1, Cl +5, O -2$
- d) $N +5, O -2$
- e) $O -2, H +1$
- f) $K +1, Mn +7, O -2$
- g) $Fe 0$
- h) $Ca^{++} +2$
- i) $Cu +2, O -2$
- l) $Cu +1, O -2$

- Identificazione della specie che si ossida in una reazione chimica.

Riconosci, nella seguente equazione, la specie che si ossida:



Criterio di correzione: Mg passa da N.O. 0 a +2 e O passa da N.O. 0 a -2. Il numero di ossidazione di Mg aumenta ed è la specie che si ossida.

- Riconoscimento di semireazione di ossidazione scritta col corretto formalismo

Riconosci la semireazione di ossidazione scritta col formalismo IUPAC:

- a) $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$
- b) $\text{Cu} - 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}^{2+}$
- c) $\text{Cu}^{2+} \rightarrow \text{Cu} - 2\text{e}^-$
- d) $\text{Cu} \rightarrow \text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^-$

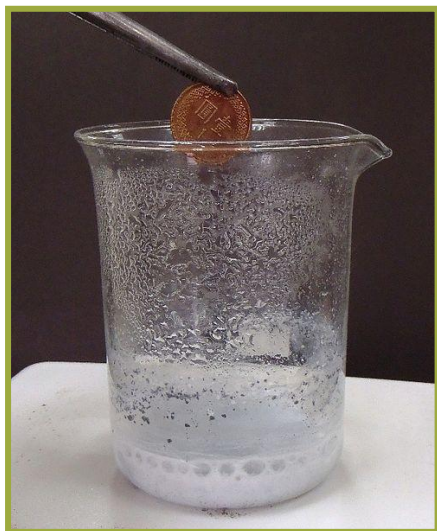
Criterio di correzione: D.

La IUPAC suggerisce di scrivere gli elettroni nella parte della equazione dove occorre bilanciare la carica del catione, gli elettroni vanno sempre sommati mai sottratti.

Attività 2 – Perché e come avvengono le ossidazioni

Tempo medio per svolgere l'attività in classe: 4 ore (Il tempo complessivo per svolgere l'attività in classe comprende due ore di teoria e due ore laboratorio)

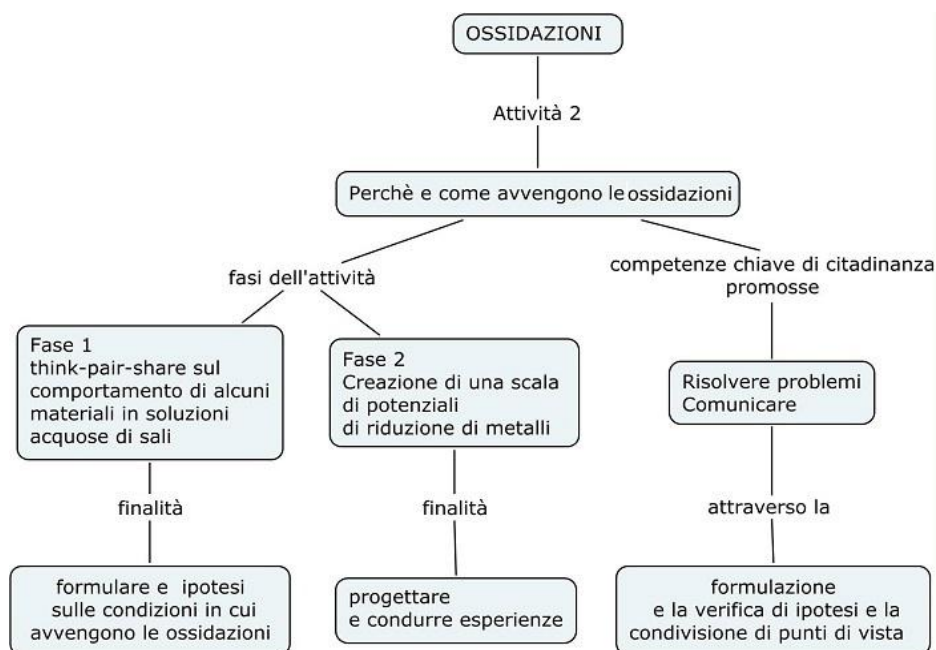
Grado scolastico: Classe II



Obiettivi

- Analizzare ed interpretare i dati raccolti per trarne conclusioni appropriate.
- Progettare e condurre esperienze.
- Formulare ipotesi sulle condizioni in cui avvengono le ossidazioni.
- Risolvere problemi.

Questa attività, illustrata dalla mappa concettuale nella figura sottostante, dà agli studenti l'opportunità di effettuare osservazioni e formulare ipotesi che saranno in seguito verificate attraverso semplici esperienze.



Step 1 – Think-pair-share

Come si comportano oggetti di metalli diversi quando sono immersi in soluzioni acquose di sali di metalli?

Gli studenti a coppie (think-pair-share) formulano previsioni circa il comportamento di oggetti di metallo immersi in soluzioni acquose di sali dello stesso metallo o di metalli diversi.



Si raccolgono le previsioni e si fanno progettare semplici prove per verificare le ipotesi formulate. Nella step 2 gli studenti realizzeranno le prove.

Step 2 – Osservazione del comportamento di metalli in soluzioni acquose di sali di metalli

In questa fase si proporrà un esperimento volto ad osservare il comportamento di metalli in soluzioni acquose di sali di metalli (la durata dell'esperienza in laboratorio è di circa 1 ora).

Materiale occorrente

- Lamine di metalli: Ferro, Zinco*, Piombo, Alluminio, Rame*, Argento (*molto efficaci)
- Acqua distillata
- Acido cloridrico 1M (col 2M si ha sviluppo di idrogeno più evidente ma aumenta il rischio)
- Sali dei metalli in soluzione acquosa 0,2 M (ad esempio nitrato di zinco, solfato di rame...)²
- Nitrato di piombo in soluzione 0,99%
- Becher di piccole dimensioni
- Occhiali e camice
- Guanti in lattice e pinzetta in plastica per manipolare le lamine (attenzione la soluzione di nitrato d'argento macchia).

Procedimento

In laboratorio si effettua un'esperienza per osservare il comportamento di diversi metalli in soluzioni acquose di ioni metallici e di acido. Si preparano lamine di diversi metalli quali zinco, alluminio, ferro, piombo e argento, in base alle disponibilità, e soluzioni a concentrazione nota dei rispettivi sali più una soluzione di acido cloridrico. Può essere sufficiente avere lamine di rame e di zinco e sali degli stessi metalli. Si consiglia l'uso di becher di piccole dimensioni, in modo da dover utilizzare una minima quantità di soluzioni (es. 100-50mL o meno) per sprecare la minor quantità possibile di

² A parità di ione metallico fornito vanno scelti sali non pericolosi e occorre tener presenti le frasi H e P o le frasi R ed S che indicano i rischi e le misure preventive. Anche la quantità di materiale usata dovrà essere la minore possibile, nel rispetto dei principi della chimica verde. La soluzione di solfato di rame e una lamina di rame, la soluzione di nitrato di zinco e una lamina di zinco sono i materiali base.

sostanze, nel rispetto della Chimica verde. Una modalità di raccolta dati e di disposizione dei becher durante l'esperienza potrebbe essere quella di figura 3.

Soluzione\Metallo	Ag	Cu	Pb	Zn	...
Ag^+					
Cu^{++}					
Pb^{++}					
Zn^{++}					
H^+					

Figura 3 - Foglio per facilitare la disposizione dei becher

Si fa condurre agli studenti la prova e si fa osservare cosa succede. Gli studenti dovranno distinguere e riportare separatamente le osservazioni e le ipotesi da loro formulate per spiegare i dati osservati. Dovranno inoltre confrontare le ipotesi formulate prima di effettuare l'esperienza con quelle a cui sono indotti dopo averla effettuata. Il lavoro viene organizzato secondo la **struttura Jigsaw**. In ogni gruppo ci sono gli esperti: tecnico, segretario, coordinatore e ambasciatore.

- **Il tecnico** (il ruolo può essere ricoperto dallo studente che nell'attività 1 ha ricoperto il ruolo di silenziatore) è responsabile della conduzione della prova e manipola soluzioni e vetreria.
- **Il segretario** è responsabile della stesura della relazione.
- **L'ambasciatore** ha il compito di chiedere eventuali delucidazioni al docente e di organizzare schematicamente le osservazioni effettuate.
- **Il coordinatore** deve controllare che tutte le parti siano svolte nei tempi dovuti.

Nei gruppi esperti i tecnici progetteranno come condurre la prova e discuteranno la proposta col docente, che li aiuterà a perfezionarla, considereranno gli aspetti legati alle frasi di rischio e prudenza delle sostanze che dovranno usare, come manipolarle e



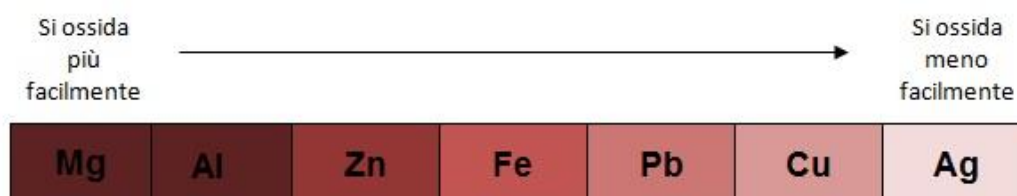
la quantità da usare. I segretari condivideranno una modalità per raccogliere i dati e gli ambasciatori, oltre a mantenere i contatti tra il gruppo e il docente, stabiliranno come redigere il rendiconto/relazione della attività ossia decideranno gli elementi importanti che dovranno essere presenti. Una volta nel gruppo di origine gli esperti informeranno i compagni e ogni membro del gruppo sarà responsabile del proprio operato (Ambrogi et al., 2008).

L'uso di una soluzione di ioni C^{++} rame è molto efficace, perché si può far notare (a meno che non siano gli studenti stessi a notarlo e a chiedere spiegazioni) che la soluzione di solfato di rame è azzurra e si spiega che questo è dovuto alla presenza degli ioni Cu^{++} che con l'acqua formano un composto dal colore caratteristico; altri ioni in soluzione acquosa non assumono colorazioni. Lo sbiadire della colorazione azzurra, dovuta allo ione Cu^{++} , induce a formulare l'ipotesi che lo ione acquista elettroni dallo zinco e si trasforma in rame metallico; si nota anche un deposito, ma non sempre è di color rosso rame.



Si chiede di **realizzare una scala di reattività tra i metalli a disposizione, ossia ordinare i metalli a disposizione, a partire da quello che si ossida più facilmente a quello che si ossida meno facilmente.**

La scala di reattività dei diversi metalli è la seguente:



Questa esperienza introduce la **scala dei potenziali standard di riduzione** in cui l'idrogeno è posto arbitrariamente a zero, ecco perché si prepara anche una soluzione di HCl che fornisce gli ioni H^+ che verranno ridotti a H_2 . La formazione di H_2 è evidenziata dalle bollicine che si sviluppano nella soluzione di HCl in cui sono immersi metalli che si ossidano facilmente e che hanno un potenziale di riduzione più basso di quello dell'idrogeno ad esempio lo zinco.

Dopo avere costruito una scala empirica di riduzione di metalli si definiscono i potenziali standard e la scala dei **potenziali di riduzione standard** che può essere reperita in rete al seguente indirizzo: <http://www.lamm.unifi.it/tabelle/e0pot.htm>.

Dopo aver mostrato e discusso la scala dei potenziali standard di riduzione si lanciano alcune domande:

- Cosa succede a un foglio di alluminio immerso in una soluzione di ioni Cu^{++} ?

- Cosa succede a un cucchiaino d'argento ossidato e nero, se si immerge in una soluzione di acqua e sale che contiene una pellicola di Alluminio?
- Cosa succede a una moneta di rame ossidata se si immerge in una soluzione di acqua e sale che contiene una pellicola di Alluminio?
- Come si può evitare che il ferro si ossidi?

Si possono far realizzare le esperienze progettate dagli studenti per poter rispondere alle domande dopo aver valutato il rischio connesso. Nel caso vengano effettuate le prove sperimentali si raccoglieranno ordinatamente le osservazioni e le conclusioni che se ne possono trarre.

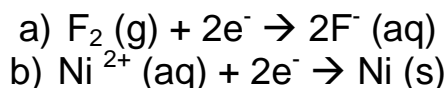
Si arriva alla costruzione del concetto di **reazione di ossidoriduzione**, o redox, questo tipo di reazioni prevedono uno scambio di elettroni. Si sottolinea che nelle reazioni di ossidoriduzione occorre sempre bilanciare il numero di elettroni scambiati tra la specie che si ossida e quella che si riduce.

Step 3 - Spunti per la valutazione

Si suggeriscono di seguito alcuni spunti per una verifica formativa.

- Previsione della specie che si ossida con l'aiuto della scala di potenziali di riduzione standard.

Facendo riferimento alla scala dei potenziali di riduzione standard stabilisci qual è tra le due la specie con maggior tendenza a ridursi.



Risposta: a)

- Bilanciamento di equazioni redox (per il livello avanzato)

Bilancia la seguente equazione di ossidoriduzione:





Il seguente sito:

<http://group.chem.iastate.edu/Greenbowe/sections/projectfolder/simDownload/#electrochem> offre **animazioni** per rappresentare:

- Il trasferimento di elettroni da Pb a Ag^+ (vedi animazione **Zinc copper REDOX transfer**)
- Il trasferimento di elettroni da Zn a Cu^{++} (vedi animazione **Lead silver REDOX transfer**)

Attività 3 – Come ottenere energia da reazioni di ossidoriduzioni

Tempo medio per svolgere l'attività in classe: 4 ore

Grado scolastico: Classe II

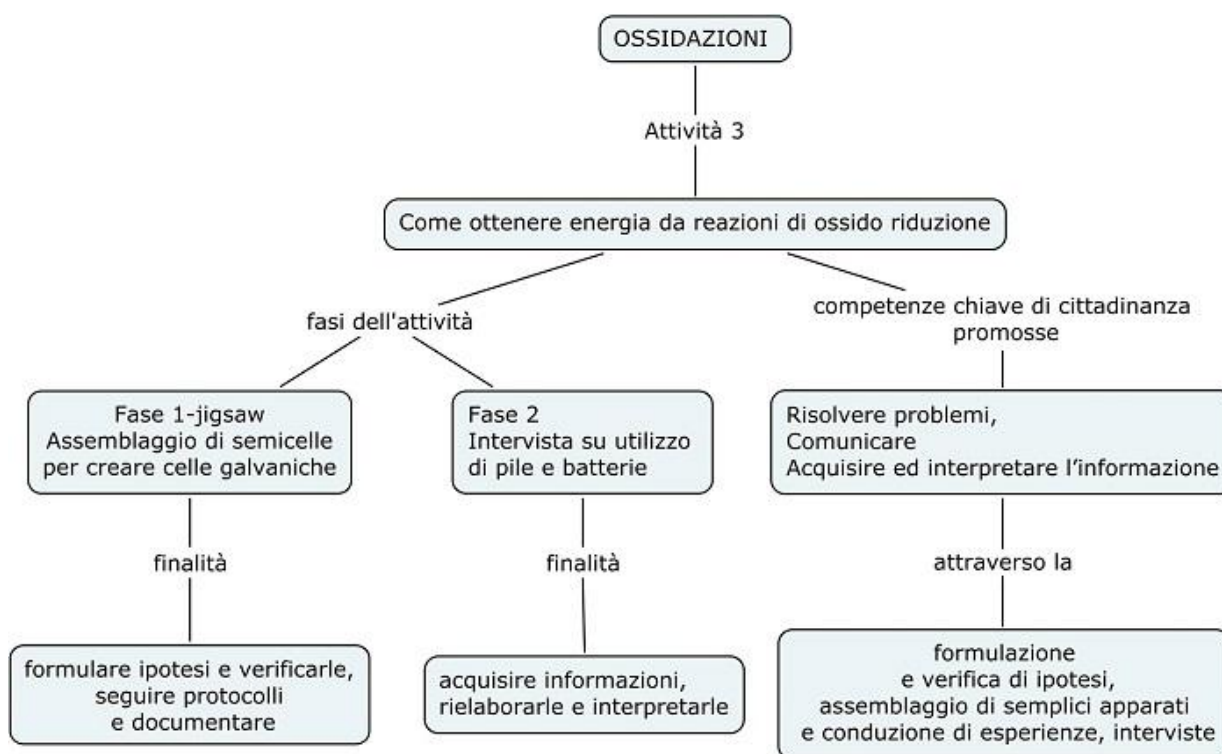


by [JanetR3](#) (CC BY 2.0)

Obiettivi

- Saper disegnare e schematizzare pile e saper descriverne il funzionamento
- Essere capaci di riconoscere nella vita quotidiana le applicazioni tecnologiche collegate agli argomenti scientifici studiati e considerare le implicazioni a livello sociale ed ambientale
- Formulare ipotesi e verificarle, seguire protocolli e documentare
- Acquisire informazioni, rielaborarle e interpretarle

La mappa concettuale nella figura sottostante descrive gli aspetti e le fasi principali della terza attività.



Step 1 – Preparazione di celle galvaniche

Nella fase 1 dell'attività 3, la classe viene divisa in gruppi, secondo le stesse modalità jigsaw adottate nell'attività 2, per svolgere l'esperienza in laboratorio che segue (la durata dell'esperienza in laboratorio che proporremo è di circa 1 ora).

Materiale occorrente

- soluzioni di solfato di rame e nitrato di zinco
- 1 pezzo di carta da filtro
- 1 soluzione elettrolitica per formare il ponte salino ad esempio NaCl
- 2 becher
- 2 cavetti con coccodrilli
- 1 voltmetro

Procedimento

Ogni gruppo assemblerà due semicelle: una costituita da un becher contenente una lamina di zinco, immersa in una soluzione dei suoi ioni e l'altra da un becher contenente una lamina di rame, immersa in una soluzione dei suoi ioni.

Si misura la differenza di potenziale in assenza e presenza del ponte salino.

Si possono poi usare semicelle diverse per osservare se e come variano i potenziali. Si può visionare il procedimento nel video “La pila Daniell” realizzato dalla classe II A dell'IIS Nobili.

(<http://youtu.be/hKNfx8hoyW8?list=PLFHQScjEG7hUUblq12zTCKpaGyuhRojtg>.)

Gli studenti dovranno rispondere ad alcune domande:

- *Come varia la d.d.p. in presenza ed assenza del ponte salino? Perché?*
- *Come varia la d.d.p. se inverte i cavi di collegamento?*
- *A cosa possono servire questi sistemi che creano un voltaggio?*
- *Cosa conosci che sviluppa un voltaggio?*

I dispositivi creati in questa attività sono celle galvaniche o pile e producono una d.d.p. e una corrente elettrica. La corrente elettrica è dovuta al movimento degli elettroni. Le pile possono essere rappresentate o schematizzate in diversi modi.

Nella figura sottostante è rappresentata una pila o cella galvanica come se ne possono assemblare facilmente in laboratorio.

Secondo la convenzione IUPAC nel diagramma di cella a sinistra viene rappresentato il polo negativo della pila, o anodo, dove avviene la semireazione di ossidazione, e a destra il polo positivo, o catodo, dove avviene la semireazione di riduzione. Le barre verticali indicano la separazione di fase, ad esempio tra il metallo allo stato solido e in forma ionica in soluzione, la doppia barra indica il collegamento tra le due semicelle o elettrodi, di solito il ponte salino.

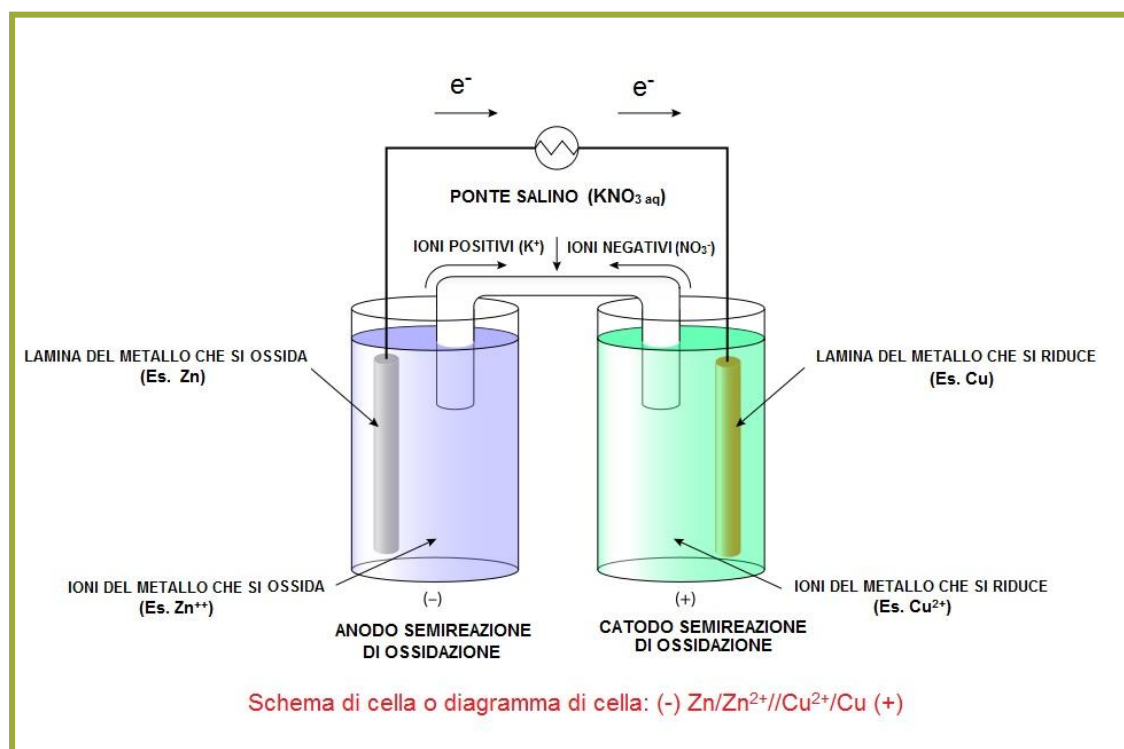


Immagine adattata - by [Hazmat2](#) (CC BY-SA 3.0)

Nelle reazioni di ossidoriduzione avviene uno scambio di elettroni, ceduti dalla specie che si ossida alla specie che si riduce. Nelle reazioni redox che avvengono spontaneamente si ha la trasformazione di energia chimica in energia elettrica, se si

separano le semicelle in cui avvengono il processo di ossidazione e quello di riduzione, forzando gli elettroni a muoversi attraverso un collegamento metallico esterno. Il ponte salino è indispensabile per chiudere il circuito, mantenendo l'elettroneutralità nelle soluzioni grazie a un sale, o elettrolita, in soluzione.

La differenza di potenziale (d.d.p.) di una pila, in condizioni standard di pressione temperatura e concentrazione, si ricava facendo la differenza tra il potenziale della semicella in cui avviene la riduzione, o catodo, e quello in cui avviene l'ossidazione, o anodo:

$$E^{\circ}pila = E^{\circ}c - E^{\circ}a.$$

Il catodo è la semicella con il potenziale di riduzione più alto.

Nel sito

<http://group.chem.iastate.edu/Greenbowe/sections/projectfolder/simDownload/#electrochem> scegliendo la simulazione “**Zinc Copper electrochemical cell**” si può vedere l'animazione di una cella rame zinco. L'animazione mostra efficacemente il flusso delle diverse specie chimiche e degli elettroni, la semicella di riduzione, o catodo, è disegnata a sinistra e non a destra come nella convenzione IUPAC.

Gli studenti formano gruppi da due o tre alunni secondo la possibilità dell'aula o la disposizione dei banchi. Si chiede ad ogni gruppo di fare un elenco di dispositivi a pile e/o batterie che loro utilizzano o vedono utilizzare in ambito quotidiano.

[illegible]

Si elencano tutti i dispositivi e si predispone un foglio per guidare l'intervista sull'uso di apparecchi a pile (vedi allegato "[foglio intervista](#)"). Ogni studente dovrà intervistare amici e parenti poi i risultati raccolti da tutta la classe verranno elaborati in un istogramma che potrà essere fatto a mano o al computer. L'istogramma mostrerà quali sono gli apparecchi più usati e si potrà riflettere su quanti sono i dispositivi ai quali dovremmo rinunciare senza il progresso della scienza e della tecnologia. Si discute, inoltre, di come alcuni dei dispositivi abbiano cambiato le nostre abitudini.

Step 3 - Spunti per la valutazione

Si suggeriscono di seguito alcuni spunti per una verifica formativa (riguardanti soprattutto la fase I dell'attività):

Verifica formativa:

- Esercizio sul calcolo della d.d.p. di una pila in condizioni standard.

Si calcoli la d.d.p. in condizioni standard della cella $\text{Ag}^+/\text{Ag} // \text{Ni}^{2+}/\text{Ni}$.

I potenziali standard di riduzione si possono trovare al link
<http://www.lamm.unifi.it/tabelle/e0pot.htm>

Risposta: $E^\circ_{\text{pila}} = 0,459$

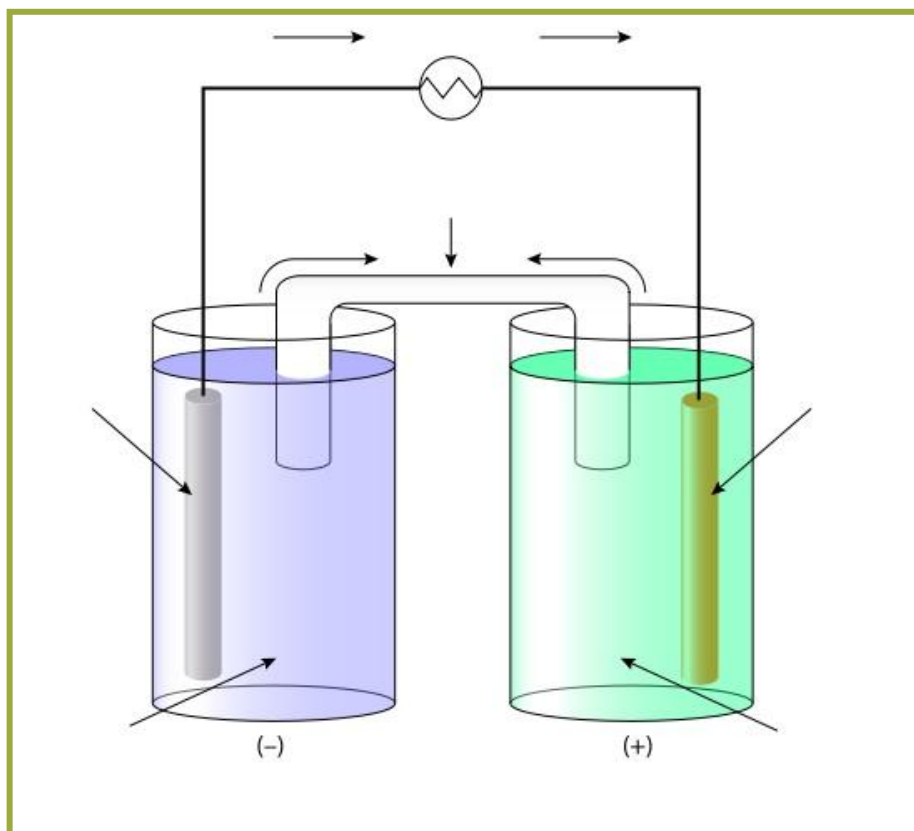
- Domanda sulla comprensione di processi in gioco in una pila.

Una cella galvanica può funzionare senza ponte salino? Motiva la tua risposta.

Risposta: No perché mancherebbe la possibilità di mantenere la elettroneutralità ossia di avere le cariche negative apportate dagli anioni (ioni negativi) bilanciate dalle cariche positive dei cationi (ioni positivi)

- Domanda sui componenti di una cella galvanica.

Completa la figura scrivendo sulle frecce il nome dei componenti.



- Scrittura della equazione di ossidoriduzione che avviene nella pila Daniell

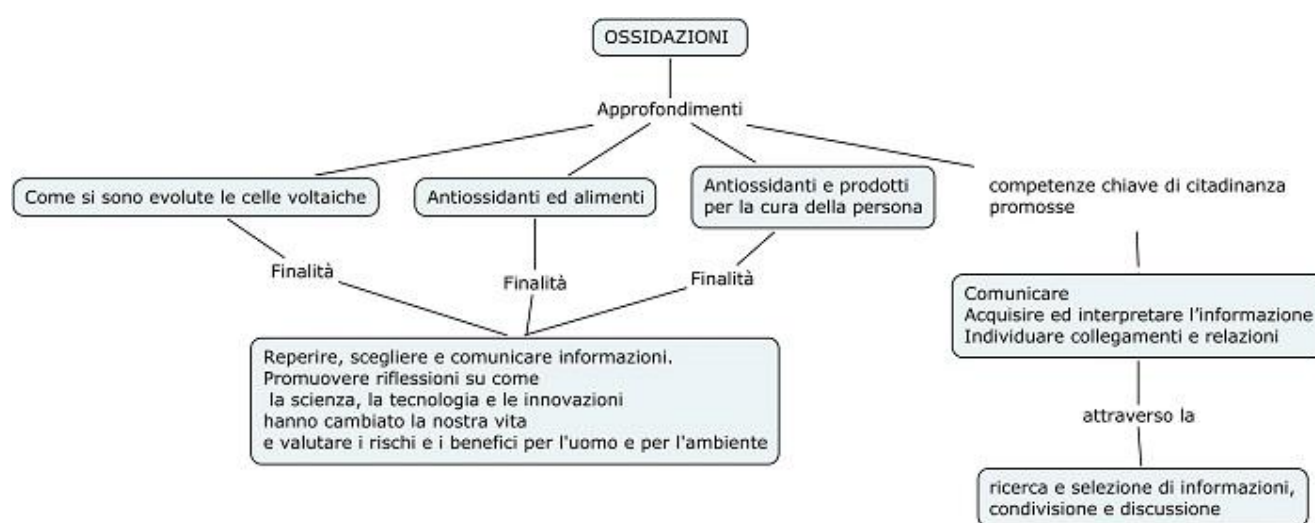
Qual è la reazione complessiva che avviene nella pila Cu/Zn o pila Daniell?

Risposta: $\text{Cu}^{2+} + \text{Zn} \rightarrow \text{Cu} + \text{Zn}^{2+}$

Spunti per approfondire

Spunti per un approfondimento disciplinare

L'attività di approfondimento, descritta dalla mappa concettuale in figura 4, può essere svolta secondo la struttura "Group Investigation" (Kagan, 1993, Sharan, 1980, Ambrogi et al. 2008).



Gli argomenti da sviluppare si possono scegliere tra quelli categorizzati col brainstorming nella prima fase dell'attività 1. Ad esempio pile ed energia, alimenti ed antiossidanti, creme di bellezza e antiossidanti.

La classe viene divisa in gruppi ognuno dei quali ricercherà informazioni su di un tema tra quelli selezionati

I gruppi dovranno reperire informazioni e creare una presentazione, cartellone o PowerPoint, con cui comunicare i risultati alla classe ed eventualmente agli studenti delle terze classi della Scuola Secondaria di primo grado in visita per l'orientamento. L'uso delle TIC è consigliato per il reperimento delle informazioni e per la presentazione.

Le tematiche suggerite sono (oltre alle tematiche eventualmente emerse nel brainstorming dell'attività 1):

- **Dalla pila Daniell alle pile per dispositivi portatili**

Un po' di storia dalla pila Daniell usata per il telegrafo alle pile per dispositivi portatili: come si sono evoluti i dispositivi per generare energia elettrica. Un altro argomento potrebbe essere la descrizione delle batterie per le automobili.

- **Additivi alimentari**

Antiossidanti per prolungare la vita di diversi cibi. Il loro uso consente, oltre ad aumentare la disponibilità nel tempo degli alimenti, di poterli trasportare anche a grandi distanze rispetto al luogo di produzione. Questa è l'altra faccia della medaglia, rispetto a quella che sostiene i prodotti a km zero ed entrambe hanno importanti risvolti etici. Attività sperimentale: Le mele tagliate e lasciate all'aria imbruniscono. L'ossidazione da parte dell'ossigeno dell'aria può essere evitata trattando la superficie della mela con un antiossidante. Quali antiossidanti conoscono gli alunni? Si può provare con il limone che contiene acido ascorbico un antiossidante naturale.

- **Antiossidanti**

Antiossidanti e lotta all'invecchiamento cellulare e ai radicali liberi, che i processi biologici liberano negli organismi.

Le prime due tematiche, in particolare, offrono la possibilità di effettuare riflessioni su come l'approvvigionamento e distribuzione di energia e cibo siano cambiate nel tempo e quali sono le implicazioni a livello personale, sociale e ambientale.

A questo link

<http://group.chem.iastate.edu/Greenbowe/sections/projectfolder/simDownload/#electrochem> si può trovare un ambiente che fornisce simulazioni sul funzionamento di:

- Pila a secco Zn/carbone (vedi animazione **Dry Cell (Zinc- Carbon))**)
- Batteria per auto Pb/PbO₂ (vedi animazione **Car battery (Lead-Lead oxide))**)
- Torcia (vedi animazione (**Flashlight**))

Spunti per altre attività con gli studenti

Tematica trasversale: **la combustione e suoi prodotti.**

- **La combustione dei derivati del petrolio**

Le combustioni sono reazioni di ossidoriduzione e occorre ricordare che tra le più importate si annoverano la combustione dei derivati del petrolio, come la benzina e il metano, che ci permettono sia di scaldare le nostre case che di spostarci comodamente in auto, ma anche la respirazione cellulare che ci mantiene in vita. Le ossidazioni sono davvero molto diffuse e creano un legame tra **chimica, biologia e tecnologia**.

- **Identificare il biossido di carbonio che si sviluppa da reazioni di combustione**

Bruciare carta e raccogliere l'acqua che si condensa sulle pareti del recipiente, in cui si fa avvenire la combustione e testare il pH con una cartina indicatrice. Espirare in una beuta che contiene una soluzione di blu di bromotimolo e osservare il cambiamento di colore, che indica ambiente diventato acido per la presenza di diossido di carbonio prodotto dalla respirazione.

- **Pile e batterie**

Preparazione di una batteria di pile costruite con i limoni o altra frutta e fare accendere un LED. Si inseriscono una lamina di zinco ed una di rame in un mezzo limone, se ne preparano diversi e si collegano in serie; si osserva che la

d.d.p. aumenta all'aumentare del numero di limoni collegati in serie e a un certo punto l'energia fornita è sufficiente a far accendere un LED.

- **Protezione dei materiali**

Immergere un oggetto ossidato di rame (monetine da 1 centesimo) o di argento in un recipiente di vetro, aggiungere acqua, sale da cucina e un pezzo di carta di alluminio. Osservare che l'alluminio si "consuma" e ossidandosi permette la riduzione dei sali di rame o d'argento: la presenza di un elemento con basso potenziale di riduzione come l'alluminio preserva gli altri metalli dalla ossidazione.

Le attività proposte favoriscono riflessioni su:

- la combustione e suoi impieghi;
- la trasformazione di energia chimica in energia elettrica;
- la protezione dei materiali dalla corrosione in un'ottica di salvaguardia delle risorse;
- le fonti di energia e loro impatto sull'ambiente e sulla società;
- le interconnessioni tra scienza tecnologia e società nella processo di creazione e distribuzione di energia.

Altri esempi di verifica

- Esempio di verifica per l'attività di approfondimento: tematica 1, "Dalla pila Daniell usata per il telegrafo alle pile per dispositivi portatili: un po' di storia. Come si sono evoluti i dispositivi per generare energia elettrica" (vedi allegato "[verifica_pilaDaniell](#)")
- Esempio di verifica sommativa (vedi allegato "[verifica_sommativa](#)")

Risorse

Documentazione e materiali

Scheda per lo studente

- Scheda per raccogliere i dati dell'intervista su dispositivi a pile o batterie (vedi allegato "[foglio intervista](#)")

Valutazione e verifiche

- Rubrica di valutazione di una presentazione (vedi allegato "[rubrica valutazione](#)")
- Verifica sulla Pila Daniell (vedi allegato "[verifica pilaDaniell](#)")
- Verifica sommativa (vedi allegato "[verifica sommativa](#)")

Bibliografia

Ambrogi, P., Caselli, M., Montalti, M., Venturi, M. (2008). *Make sense of nanochemistry and nanotechnology*, CERP Chemistry Education Research and Practice, 2008, 9, 5-10. DOI: 10.1039/B801285G

Busch, H. (2005, September/October). *Is science education relevant?* Europhysics News, 36(5), 162 – 167.

Jenkins, E. W., & Nelson, N. W. (2005). *Important but not for me: Students' attitudes towards secondary schoolscience in England*. Research in Science & Technological Education, 23(1), 41 – 57.

Kagan S., (1994), *Cooperative learning*, Kagan, San Clement CA 92673.

Sharan S., Hertz-Lazarowitz R., (1980) *A Group-Investigation Method of Cooperative Learning in the Classroom*, in Sharan S., Hare P., Webb C. D., and Hertz-Lazarowitz R. (Eds.), *Cooperation in Education*. Provo, Utah: Brigham Young University Press.

Sitografia

Dipartimento di chimica della Iowa State University

<http://group.chem.iastate.edu/Greenbowe/sections/projectfolder/simDownload/#electrochem>

(visitato in settembre 2015)

Simulazione sulle celle elettrochimiche

<http://web.mst.edu/~gbert/Electro/Electrochem.html>

(visitato in settembre 2015)

*Questo percorso didattico è stato realizzato nel 2014 da INDIRE con i fondi del Progetto **PON Educazione Scientifica**, codice **B-10-FSE-2010-4**, cofinanziato dal Fondo Sociale Europeo.*

La grafica, i testi, le immagini e ogni altre informazione disponibile in qualunque formato sono utilizzabili a fini didattici e scientifici, purché non a scopo di lucro e sono protetti ai sensi della normativa in tema di opere dell'ingegno (legge 22 aprile 1941, n. 633).