



Ozono (O₃) - Scheda analitica

DOTT. EUGENIO FELICIONI

eugenio.felicioni@studenti.unicam.it

 Bachelor degree – Biosciences and Biotechnology, in Biotechnology

 Master degree – Molecular and Medical Biotechnology (in corso)

L'ozono (O₃) è un composto molecolare derivato dell'ossigeno, appartenente alla categoria degli agenti ossidanti. Questa categoria racchiude tutte le specie molecolari che vanno incontro a reazioni responsabili per il guadagno di 1 o più elettroni da parte dell'agente. Il composto è coinvolto in *reazioni red-ox* (reduction-oxidation), organiche e inorganiche, in cui un agente ossidante (come per l'appunto l'ozono) e un agente riducente (es. carbonio, atomo della vita) performano uno scambio di elettroni. Quando la suddetta reazione avviene, l'agente ossidante acquisisce un elettrone (riduzione), mentre l'agente riducente cede un elettrone (ossidazione), formando così un legame ed una nuova specie molecolare. Esempi pratici di questo tipo di reazione sono:

Formazione della ruggine

Essa avviene quando il ferro o una lega metallica che lo contiene (es. l'acciaio) vengono esposti ad ossigeno e umidità. In questo caso la ruggine non è altro che il prodotto di una reazione red-ox inorganica, in cui l'acqua (umidità) è il catalizzatore tra *l'ossigeno* (O₂) e il *ferro* (Fe) che causa la formazione di *ossidi di ferro* [Fe₂O₃, FeO(OH), Fe(OH)₃]. Quando questi ultimi vengono formati i legami tra gli atomi di ferro presenti in un determinato oggetto si indeboliscono, portando quindi alla formazione di ciò che comunemente viene definita *ruggine* (crepe, colore rossastro prodotto dagli ossidi, erosione).

Combustione

La combustione è un tipo di reazione red-ox molto particolare, in cui un carburante (agente riducente) e un ossidante reagiscono producendo molecole ossidate e solitamente gassose. Come ben sappiamo, un esempio di questo tipo di reazione è la combustione del legno o del carbone (carburante) grazie alla presenza di ossigeno (ossidante) che produce *monossido di carbonio* (CO₂) e acqua (H₂O). In questo caso, la fiamma non è un prodotto molecolare della reazione, bensì è la manifestazione dell'energia liberata sotto forma di calore durante la reazione che a sua volta fornisce l'energia necessaria affinché la reazione si auto-sostenga; in pratica basta pensare ad esempio ad un focolare, in cui il carburante continua a bruciare solo in presenza di una fiamma. Non tutti i tipi di reazioni combustive però producono CO₂, in tal senso un buon esempio possono essere le combustioni dei propulsori dei *razzi*, in cui *idrogeno* (H₂) (carburante) e *ossigeno* (O₂) (ossidante) reagiscono producendo *vapore acqueo* (H₂O) + energia sotto forma di calore.

Ossidazione del glucosio

L'ossidazione del glucosio è un complesso meccanismo biologico composto di diverse fasi e reazioni red-ox in cui il glucosio viene convertito in altre molecole organiche a più alta energia,

necessarie alle cellule per perseguire le loro funzioni ed il loro ciclo vitale. Come già accennato si tratta di un processo complesso che può essere riassunto con l'equazione riportata di seguito:



In generale le red-ox governano una buona parte della vita biologica e dei processi che ci circondano, presentando effetti e risultati diversi in base alle parti coinvolte nelle reazioni. Proprio grazie alla comprensione dei meccanismi di reazione oggi è possibile applicare questi principi per lo sviluppo di industrie di ogni tipo: da quella microbiologica e chimica a quella farmaceutica.

Caratteristiche della molecola

Affinché si possa comprendere al meglio il motivo della scelta di un prodotto è importante fare chiarezza sulle caratteristiche e le informazioni riguardo la molecola alla base dello stesso. Questo vale anche per la disinfezione dei locali.

Ozono (O₃)

L'ozono è una molecola inorganica presente in natura allo stato gassoso, di un colore blu chiaro ed ha un odore pungente, agliaceo, simile a quello *dell'ipoclorito di sodio (candeggina)*. La sua instabilità, comparata a quella del biossido (O₂) è tale che sia concentrato in forma gassosa che nella sua forma liquida, può decomporsi e ad alte temperature causare esplosioni o riscaldarsi rapidamente fino al punto di ebollizione.

Questo composto è un potente ossidante e ha molte applicazioni industriali e di consumo legate all'ossidazione. Tuttavia questo elevato potenziale ossidante *porta l'ozono a danneggiare facilmente i tessuti mucosi e respiratori negli animali e negli esseri umani*, nonché i tessuti nelle piante; tutto ciò al di sopra delle concentrazioni di circa 0,1 ppm (*parts per milion*), equivalente a 0,1 mg/L. L'esposizione da 0,1 a 1 µmol/mol invece *provoca mal di testa, bruciore agli occhi e irritazione delle vie respiratorie*. Infine l'ozono nell'aria – anche a basse concentrazioni – potrebbe essere distruttivo per materiali sintetici come lattice, plastica e gomma.

Proprietà chimiche

Instabile ad alte concentrazioni, l'ozono decade facilmente in ossigeno ordinario e presenta un'emivita (tempo di esistenza prima del decadimento) variabile a seconda delle condizioni atmosferiche quali temperatura, umidità e movimento dell'aria. In laboratorio, la sua emivita è mediamente di circa 1500 minuti (25 ore) in aria stabile a temperatura ambiente (24° C), con umidità 0 e 0 cambi d'aria all'ora (ACH – *air changes per hour*). Pertanto, in un tipico ambiente di ufficio o domestico, dove i cambi d'aria all'ora variano tra 5 e 8 ACH, l'ozono ha un'emivita di

appena 30 minuti. Nonostante la sua breve emivita in ambienti quotidiani, esso è considerato una delle molecole più presenti in ambienti altamente inquinati, quali metropoli e città molto trafficate, non come prodotto diretto degli scarichi ma come sottoprodotto degli idrocarburi liberati dai veicoli.

Reazione con i materiali

Per quanto riguarda la reazione del composto con i metalli, esso porta ad una facile ossidazione di questi ultimi (ad eccezione di oro, platino, iridio) provocando la produzione di ossidi metallici e principi di ruggine. In caso di uso prolungato o di determinate concentrazioni, esso potrebbe *danneggiare o degradare anche altri materiali* tra cui plastica e guarnizioni. Inoltre il gas ozono attacca qualsiasi polimero che possiede legami olefinici o doppi all'interno della sua struttura a catena, come gomma naturale, gomma nitrilica e gomma stirene-butadiene. I prodotti realizzati con questi polimeri sono particolarmente suscettibili alla reazione, il che fa sì che le crepe crescano più a lungo e più a fondo nel tempo, con un tasso di crescita che varia in base al carico trasportato dal componente in gomma e alla concentrazione di ozono nell'area.

In conclusione, l'ozono **è altamente sconsigliato per la disinfezione di veicoli, aree ospedaliere ed aree uffici in quanto rischia di compromettere le componenti elettroniche.**

Effetti collaterali sull'ambiente

Per quanto concerne infine il rapporto con il nostro ambiente, il composto reagisce direttamente con alcuni idrocarburi presenti nell'aria (es. scarichi dei veicoli) come le aldeidi, iniziando la loro rimozione, ma, i prodotti della loro reazione sono essi stessi componenti chiave dello smog. Inoltre la fotolisi dell'ozono da parte dei raggi UV porta alla produzione del radicale ossidrilico HO•; anch'esso contribuisce alla rimozione degli idrocarburi dall'aria, bensì porti alla creazione di componenti dello smog come i nitrati di perossiacile, *potenzialmente irritante per gli occhi.*

Ozono e Biologia

Esseri umani e animali

Insieme ad altre forme reattive dell'ossigeno come superossidi, ossigeno singoletto, perossido di idrogeno e ioni ipoclorito, l'ozono è prodotto dai globuli bianchi e da altri sistemi biologici (come le radici delle calendule) come mezzo per distruggere corpi estranei (microorganismi). Quando si decompone in biossido (O₂), produce radicali liberi dell'ossigeno (es. HO•), altamente reattivi e in grado di danneggiare molte molecole organiche. Inoltre, si ritiene che le potenti proprietà ossidanti dell'ozono *possano essere un fattore che contribuisce all'emergere delle infiammazioni.* Quando inalato, l'ozono reagisce con i composti che rivestono i polmoni formando metaboliti specifici derivati dal colesterolo che si ritiene *facilitino l'accumulo e la patogenesi delle placche aterosclerotiche* (una forma di cardiopatia). Inoltre è stato confermato che essi sono presenti nelle arterie aterosclerotiche umane e sono classificati come secosteroli chiamati ateronali, generati

dall'ozonolisi del doppio legame del colesterolo per formare un 5,6-secoosterolo e un prodotto di condensazione secondario tramite aldolizzazione.

Piante

Passando adesso ad esaminare il rapporto del composto con le piante, tramite alcuni esperimenti è stato dimostrato che l'ozono ha un effetto negativo sulla loro crescita, citando i risultati della ricerca: "[...] l'ozono ha ridotto le clorofille totali, la concentrazione di carotenoidi e carboidrati e ha aumentato il contenuto di acido 1-amminociclopropano-1-carbossilico (ACC) e la produzione di etilene. Nelle piante trattate, il pool di foglie di ascorbato è stato ridotto, mentre la perossidazione lipidica e la perdita di soluto erano significativamente più elevate rispetto ai controlli privi di ozono. I dati hanno indicato che l'ozono ha innescato meccanismi protettivi contro lo stress ossidativo negli agrumi." ^[1].

Continuando, In altri studi in cui sono state utilizzate le piante di pepe come modello, si è dimostrato che l'ozono ha ridotto la resa dei frutti e ha cambiato la qualità dei frutti, oltre ad aver portato ad una diminuzione dei livelli di clorofilla e delle difese antiossidanti delle foglie e un aumento dei livelli delle specie reattive dell'ossigeno (ROS) e dei danni ai lipidi e alle proteine ^{[2][3]}.

Effetti sulla salute

Arriviamo infine agli effetti che l'ozono ha sulla salute: in tal senso è stato dimostrato che *il composto influisce sul sistema respiratorio, cardiovascolare e sul sistema nervoso centrale*. Generalmente anche la morte precoce e i problemi di salute e sviluppo riproduttivo possono essere in parte associati all'esposizione all'ozono; si noti che l'esposizione acuta varia da alcune ore a qualche giorno. Poiché esso è un gas, *colpisce direttamente i polmoni e l'intero sistema respiratorio*. Se inalato, provoca infiammazione e alterazioni acute, anche se reversibili, della funzionalità polmonare, nonché iper-reattività delle vie aeree. Questi cambiamenti possono portare a mancanza di respiro e tosse, questi ultimi possono esacerbare le malattie polmonari come l'asma o la bronco pneumopatia cronica ostruttiva (BPCO), provocando un aumento del rischio di infezione delle vie respiratorie con conseguente necessità di ricevere cure mediche.

Sono stati condotti diversi studi per determinare il meccanismo alla base degli effetti dannosi dell'ozono, in particolare nei polmoni. Questi studi hanno dimostrato che l'esposizione all'ozono *provoca cambiamenti nella risposta immunitaria all'interno del tessuto polmonare*, con conseguente interruzione della risposta immunitaria innata e adattativa, nonché un'alterazione della funzione protettiva delle cellule epiteliali polmonari. Concludendo si ritiene che questi cambiamenti nella risposta immunitaria e la relativa risposta infiammatoria siano fattori che probabilmente contribuiscono all'aumento del rischio di infezioni polmonari e al peggioramento - o all'innescò - dell'asma e delle vie aeree reattive.

Norme di Sicurezza

A causa delle proprietà fortemente ossidanti dell'ozono, *esso è considerato un irritante primario* che colpisce soprattutto gli occhi e i sistemi respiratori e può essere pericoloso anche a basse concentrazioni. Il Canadian Centre for Occupation Safety and Health scrive:

“Anche concentrazioni molto basse di ozono possono essere dannose per il tratto respiratorio superiore e i polmoni. La gravità della lesione dipende sia dalla concentrazione di ozono che dalla durata dell'esposizione. Lesioni polmonari gravi o permanenti o morte potrebbero derivare anche da un'esposizione a brevissimo termine a concentrazioni relativamente basse.”^[4]

Per proteggere i lavoratori potenzialmente esposti all'ozono l'amministrazione statunitense per la sicurezza e la salute sul lavoro ha stabilito un **limite di esposizione consentito** (PEL) di 0,1 µmol / mol, calcolato come media ponderata nel tempo di 8 ore. Concentrazioni più elevate sono particolarmente pericolose e NIOSH ha stabilito un limite immediato di pericolo per la vita e la salute (IDLH) di 5 µmol / mol.^[5] **Gli ambienti in cui è stato utilizzato l'ozono dovrebbero successivamente avere una ventilazione adeguata e sarebbe prudente disporre di un sistema di alert nel caso in cui la concentrazione superasse il PEL.**

Bibliografia

[1] Iglesias, Domingo J.; Ángeles Calatayuda; Eva Barrenob; Eduardo Primo-Milloa; Manuel Talon (2006). "Responses of citrus plants to ozone: leaf biochemistry, antioxidant mechanisms and lipid peroxidation". *Plant Physiology and Biochemistry*. 44 (2–3): 125–131. doi:10.1016/j.plaphy.2006.03.007. PMID 16644230.

[2] Bortolin, Rafael Calixto; Caregnato, Fernanda Freitas; Divan, Armando Molina; Reginatto, Flávio Henrique; Gelain, Daniel Pens; Moreira, José Cláudio Fonseca (2014-02-01). "Effects of chronic elevated ozone concentration on the redox state and fruit yield of red pepper plant *Capsicum baccatum*". *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 100: 114–121. doi:10.1016/j.ecoenv.2013.09.035. ISSN 0147-6513. PMID 24238720.

[3] Bortolin, Rafael Calixto; Caregnato, Fernanda Freitas; Divan Junior, Armando Molina; Zanotto-Filho, Alfeu; Moresco, Karla Suzana; de Oliveira Rios, Alessandro; de Oliveira Salvi, Aguisson; Ortmann, Caroline Flach; de Carvalho, Pâmela (2016-07-01). "Chronic ozone exposure alters the secondary metabolite profile, antioxidant potential, anti-inflammatory property, and quality of red pepper fruit from *Capsicum baccatum*". *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 129: 16–24. doi:10.1016/j.ecoenv.2016.03.004. ISSN 0147-6513. PMID 26970882.

Sitografia

[4] <http://www.the-o-zone.cc/research/abstracts/OSHC.pdf>, Canadian Centre for Occupational Health and Safety

[5] <https://www.cdc.gov/niosh/idlh/intridl4.html>, NIOSH Chemical Listing and Documentation of Revised IDLH Values (as of 3/1/95)