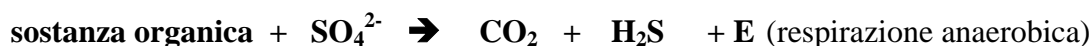
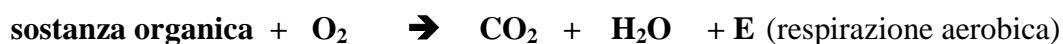
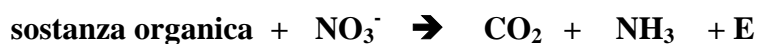


19 - RESPIRAZIONE ANAEROBICA

La respirazione aerobica è un processo in cui l'ossigeno funziona come *ossidante*, unendosi all'idrogeno proveniente dalla demolizione della sostanza organica con conseguente formazione di H_2O . Vi è un'altro processo in cui, invece dell'ossigeno, vengono utilizzati ossidanti inorganici diversi: la **respirazione anaerobica**. Negli organismi **anaerobi**, il prodotto della glicolisi viene distrutto da un ossidante che non è l'ossigeno. I *batteri desolfonizzanti*, per esempio, utilizzano solfati (SO_4^{2-} , derivati dall'acido solforico H_2SO_4); in questo caso è lo zolfo (S) che si unisce all'idrogeno e il prodotto finale, insieme all'anidride carbonica (CO_2), non è più l'acqua (H_2O), ma l'acido solfidrico (H_2S), dal caratteristico odore di uova marce. È utile confrontare le sintesi dei processi aerobico e anaerobico nel seguente modo:



L'energia liberata (E) viene successivamente "imprigionata" come ATP. I *batteri denitrificanti* utilizzano nitrati (NO_3^- , derivati dall'acido nitrico HNO_3); in questo caso l'accettore di idrogeno è l'azoto (N) e il prodotto finale è l'ammoniaca (NH_3):



Gli organismi anaerobi sono essenzialmente batteri e funghi microscopici, molti dei quali sono in grado di compiere anche processi aerobici se nell'ambiente è presente l'ossigeno. Negli ambienti acquatici, per esempio, possono instaurarsi condizioni anossiche; in tali situazioni gli organismi aerobi vengono sostituiti da quelli anaerobi che proseguono la demolizione della sostanza organica.

Perché il letame puzza?

Il letame è sterco di bovini (o di equini o di suini). Spesso nelle campagne osserviamo mucchi di varie dimensioni, vicino alle stalle o in prossimità dei campi, per essere utilizzato come concime. Gli escrementi di tali animali di allevamento sono residui vegetali non digeriti e perciò espulsi come deiezioni. Si tratta pertanto di sostanza organica che ha una caratteristica particolare: è ricca di vita, biologicamente molto attiva, cioè substrato nutritivo per una miriade di microrganismi. Si tratta soprattutto di batteri che si nutrono di tale materia, gran parte della quale viene demolita allo scopo di ottenere energia (costruire ATP) mediante processi aerobici; in tal modo la sostanza organica viene mineralizzata, cioè ridotta a sostanze semplici quali sali minerali, molto utili per la crescita delle piante (per tale motivo il letame viene utilizzato per concimare i campi).

Il processo di demolizione comporta quindi consumo di ossigeno; questo è sempre disponibile ed abbondante in corrispondenza delle porzioni più superficiali dei mucchi di letame, in quanto a diretto contatto con l'aria. Nelle porzioni più profonde, in poche ore l'ossigeno viene del tutto consumato e non può essere sostituito da nuovo ossigeno dell'aria che non riesce a circolare nell'interno del mucchio. In assenza di ossigeno la demolizione biologica della materia organica non si arresta, ma continua grazie all'intervento di microrganismi anaerobi (oppure quelli precedenti capaci di comportarsi anche come anaerobi in assenza di ossigeno). Mediante i processi aerobici si ha produzione di CO_2 e di H_2O ; invece mediante i processi anaerobici, insieme alla CO_2 , si ha produzione di sostanze come H_2S e NH_3 , tipicamente puzzolenti. Se il mucchio di letame venisse rivoltato arieggiandolo si renderebbe nuovamente disponibile abbondante ossigeno che immediatamente favorirebbe la ripresa dei processi aerobici, mentre cesserebbe la produzione di H_2S e NH_3 ; il letame non puzzerebbe più (o quasi).

In linea di massima la puzza è conseguenza di condizioni di anaerobiosi in ambienti ricchi di sostanza organica, come presso i fondali di stagni e di paludi o nelle fogne. La puzza di piedi è conseguenza della demolizione anaerobica di frammenti della pozione più superficiale della pelle che si stacca (nelle scarpe l'aria non circola bene e viene a mancare il "rifornimento" di ossigeno). Normalmente gli impianti di compostaggio (produzione di humus e/o di ammendanti o concimi organici a partire dai rifiuti organici) non producono cattivi odori, in quanto si favorisce la massima circolazione dell'aria, al fine di garantire processi di demolizione aerobica. Processi anaerobici avvengono anche nell'intestino, ambiente chiuso nel quale non può circolare l'aria e popolato da microrganismi ovviamente anaerobi; per tale ragione gli escrementi puzzano.

Il risultato della respirazione aerobica o anaerobica è in genere l'ossidazione completa del substrato organico con utilizzo di ossigeno o di altri ossidanti; i soli prodotti finali sono sostanze inorganiche semplici quali CO₂ e ossidi di idrogeno (H₂O, H₂S, NH₃,...). In alcuni organismi si ha l'**ossidazione incompleta** per cui si accumulano prodotti finali organici. Anche in questi casi si tratta di batteri; per esempio l'*Acetobacter aceti*, partendo da un substrato organico quale l'alcool etilico (CH₃-CH₂OH), tramite una ossidazione incompleta, arriva a produrre acido acetico (CH₃-COOH) che elimina ottenendo, pur se con basso rendimento, energia per produrre ATP:



La **fermentazione** avviene in condizione di anaerobiosi. Le prime tappe dei processi fermentativi sono uguali a quelle della respirazione aerobica ed anaerobica con formazione di acido piruvico; questo subisce poi una serie di reazioni che portano a prodotti secondari di natura organica ed alla liberazione di energia per la formazione di ATP. Un esempio è la fermentazione lattica compiuta dal batterio *Escherichia coli* (facente parte della flora intestinale) e da altri (responsabili dell'acidificazione del latte); i microrganismi utilizzano lo zucchero presente nel latte nel seguente modo:



Importanza della fermentazione per l'uomo. Oltre a quella lattica esistono vari altri tipi di fermentazione a seconda del substrato organico (nutrimento per i microrganismi). Un esempio importante è la produzione di antibiotici, che sono sostanze di rifiuto prodotte da muffe (funghi microscopici); il classico esempio è la Penicillina derivante dall'attività del microrganismo *Penicillium*.¹

tipo di fermentazione	substrato organico (nutrimento per i microrganismi)	microrganismi	prodotti finali
lattica	zuccheri presenti nel latte	Batteri (<i>Escherichia</i> , <i>Streptococcus</i> , <i>Lactobacillus</i> ,...)	acido lattico (es. nello yogurt)
butirrica o acetobutirrica	amido presente nei cereali, nelle patate, melassa di canna,...	Batteri (<i>Clostridium</i>)	alcool (butilico, etilico), acetone , acidi (butirrico, acetico, formico,...)
alcolica ²	zuccheri (glucosio e fruttosio) dei mosti uva, fichi, carrube, mele,...	Funghi (lieviti)	alcool etilico
propionica ³	zuccheri, acido lattico, gli cerina,...	Batteri (<i>Propionibacterium</i>)	acido propionico, acetico e succinico
acetica ⁴	alcool etilico	Batteri	acido acetico
citrica ⁵	saccarosio	Funghi (<i>Aspergillus</i>)	acido citrico

¹ Importante scoperta scientifica ad opera di A. FLEMING (1929).

² Un particolare tipo di fermentazione alcolica è quella che avviene nel processo di panificazione. Essa agisce sull'amido contenuto nella pasta (farine). Il processo, come sopra visto, comporta anche la liberazione di CO₂ che forma "bolle" trattenute nella pasta che quindi si gonfia diventando soffice. Vengono prodotti anche alcool etilico (eliminato durante la cottura) ed altre sostanze in quantità piccolissime, ma sufficienti a conferire il classico aroma al pane. Il microrganismo agente è un fungo (un lievito: *Saccharomyces cerevisiae*) che viene aggiunto all'impasto (farina, acqua, sale,...).

³ Alla CO₂ che si sviluppa in questo processo sono dovuti, durante la maturazione del "formaggio svizzero", i caratteristici "buchi".

⁴ Pur essendo un processo classificato tra le fermentazioni è in realtà un'ossidazione incompleta. È responsabile della formazione dell'aceto di vino.

⁵ Anche in questo caso si tratta di un'ossidazione incompleta. Si tratta di un processo utilizzato nell'industria farmaceutica.

Le discariche puzzano!

I grandi accumuli di rifiuti comprendono anche molta sostanza organica che, essendo sepolta e quindi isolata dall'aria e dall'ossigeno, si trova in condizioni anossiche che, come precedentemente illustrato, favoriscono l'attività di organismi anaerobi e quindi la produzione di prodotti metabolici "puzzolenti". Agiscono anche microrganismi fermentativi con la conseguente liberazione di gas infiammabili (le torce che bruciano sopra le discariche). Anche il metano ha origini simili, cioè da processi di decomposizione di grandi ammassi vegetali (accumulatisi milioni di anni fa) in condizioni anossiche.

La **proteolisi** viene compiuta dai "*batteri proteolitici*" che utilizzano, come substrato organico, composti proteici; le proteine vengono inizialmente demolite in aminoacidi, a loro volta demoliti con formazione di acido piruvico e ammoniaca. L'acido piruvico può quindi essere fermentato, parzialmente o completamente ossidato per via aerobica o anaerobica. L'ammoniaca, che in questo caso è sempre presente tra i prodotti, proviene dal gruppo amminico presente negli aminoacidi.