

Il Ciclo del Carbonio nell'Ambiente

L'elemento carbonio è uno dei componenti essenziali della materia vivente. Buona parte della massa solida degli organismi vegetali ed animali è costituita da carbonio; esso si trova inoltre combinato con l'ossigeno sottoforma di *anidride carbonica*, uno dei minori ma cruciali costituenti dell'atmosfera terrestre. Il carbonio si trova anche nelle rocce come *carbonato*, le Dolomiti sono costituite da un minerale chiamato *dolomia*, un carbonato di calcio e magnesio.

Il “*ciclo del carbonio*” riguarda tutte le trasformazioni chimiche del carbonio a livello ambientale (Capitolo 1). Esse sono strettamente correlate fra loro a costituire appunto un ciclo in cui i *prodotti* di una *reazione* fanno da *reagenti* per la reazione successiva, Fig. 1. Queste reazioni sono governate da delicati *equilibri* che possono subire interferenze da parte dell'attività umana ed alcune di queste si rivelano particolarmente dannose per lo stesso ambiente terrestre.

In questa esperienza cercheremo di riprodurre in laboratorio alcune reazioni del ciclo del carbonio (Capitolo 4), come per esempio la precipitazione mediante basi e la dissoluzione mediante acidi di carbonati, Reazioni 6 e 7, ed utilizzeremo la *spettroscopia infrarossa*, IR, per monitorare queste reazioni (Capitolo 3).

Prenderemo inoltre in considerazione alcuni dei maggiori problemi ambientali dovuti ad una interferenza dell'attività umana nel ciclo del carbonio ovvero il *riscaldamento globale* causato da una alterazione dell'*effetto serra* (Capitolo 2).

1 CICLO DEL CARBONIO

1.1 Ciclo del carbonio

Il ciclo del carbonio descrive il movimento del carbonio, nelle sue varie forme, tra la biosfera, atmosfera, oceani e geosfera, Fig. 1. Nel ciclo vi sono molti ‘*sinks*’ o *magazzini* di carbonio (rappresentati nella figura dai rettangoli) e *processi* mediante i quali i vari magazzini scambiano carbonio tra loro (in figura evidenziati dalle frecce).

Siamo familiari al modo in cui l'atmosfera e la vegetazione scambiano carbonio, le piante assorbono *anidride carbonica* (CO_2) dall'atmosfera durante la

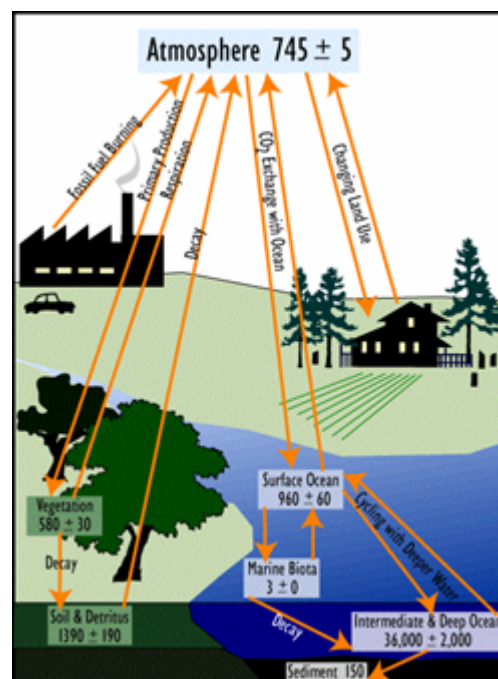


Fig. 1. Ciclo del Carbonio

fotosintesi, chiamata anche produzione primaria, e rilasciano la CO_2 nell'atmosfera durante la *respirazione*. Un altro principale scambio di CO_2 si verifica tra gli oceani e l'atmosfera, infatti gli organismi marini utilizzano la CO_2 dissolta negli oceani durante la fotosintesi.

Due altri importanti processi derivanti dall'attività umana sono **a)** la *combustione* di carburanti fossili e **b)** la *variazione dell'utilizzo del territorio*. Carbone fossile, gas naturale, petrolio e suoi derivati sono 'bruciati' dalle industrie, dalle automobili e dalle centrali energetiche con produzione di CO_2 ; la variazione dell'utilizzo del territorio è un termine generico che indica un gran numero di attività umane tra cui, l'agricoltura, la deforestazione e la riforestazione etc..

La Fig. 1 mostra il ciclo del carbonio con la relativa massa di carbonio, in gigatoni di carbonio (Gt C), in ogni magazzino e per ogni processo di scambio tra i vari magazzini. La quantità di carbonio che viene scambiata in ogni processo determina se lo specifico magazzino sta crescendo o è in diminuzione. Per esempio, l'oceano assorbe dall'atmosfera 2.5 Gt C in più di quanto non ne ceda all'atmosfera stessa, a parità di altri fattori, il magazzino oceanico cresce ad un ritmo di 2.5 Gt C per anno e il magazzino atmosferico decresce alla stessa velocità. Gli altri fattori però *non* sono uguali poiché la combustione fossile dovuta ad attività umane sta incrementando il magazzino atmosferico del carbonio di circa 6.1 Gt C all'anno e l'atmosfera interagisce anche con la vegetazione ed il suolo. Inoltre vi è una variazione delle risorse territoriali (agricoltura intensiva, deforestazione etc.).

Nel prossimo capitolo vedremo l'importanza dell'anidride carbonica (CO_2) a livello ambientale.

Le informazioni relative al capitolo 1 sono state tratte da: <http://www.cotf.edu/ete/main.html>

2 EFFETTO SERRA

2.1 Effetto Serra, Gas Serra e il Riscaldamento Globale

Le sfere che circondano la superficie terrestre (*atmosfera, idrosfera, litosfera e biosfera*) interagiscono fra loro e si comportano in modo simile ad un organismo vivente. Le interazioni di queste sfere con l'energia solare e con loro stesse risultano in cambiamenti che vengono indicati con i termini di *tempo atmosferico* e *clima*. Prima di raggiungere la superficie terrestre, la radiazione solare passa attraverso nuvole ed atmosfera, le quali riflettono, diffrangono, assorbono e trasmettono diverse quantità di energia, Fig. 2. La superficie terrestre riflette parte della radiazione solare incidente ed assorbe la rimanente. Non appena la superficie terrestre assorbe questa energia, si riscalda e trasmette l'energia indietro nello spazio. Quando le velocità di assorbimento ed emissione sono uguali (*Bilancio Radiativo*) la temperatura terrestre è stabile. Se l'atmosfera non

esistesse la superficie terrestre raggiungerebbe il *Bilancio Radiativo* ad una temperatura di 33 °C centigradi più fredda dell'attuale, cioè a circa 0 °C. Però alcuni gas nell'atmosfera assorbono parte dell'energia radiata dalla superficie. Essi ritrasmettono questa energia verso la superficie terrestre riscaldandola. In questo modo la presenza dell'atmosfera mantiene una temperatura maggiore della superficie terrestre. Questo processo è chiamato *effetto serra*.

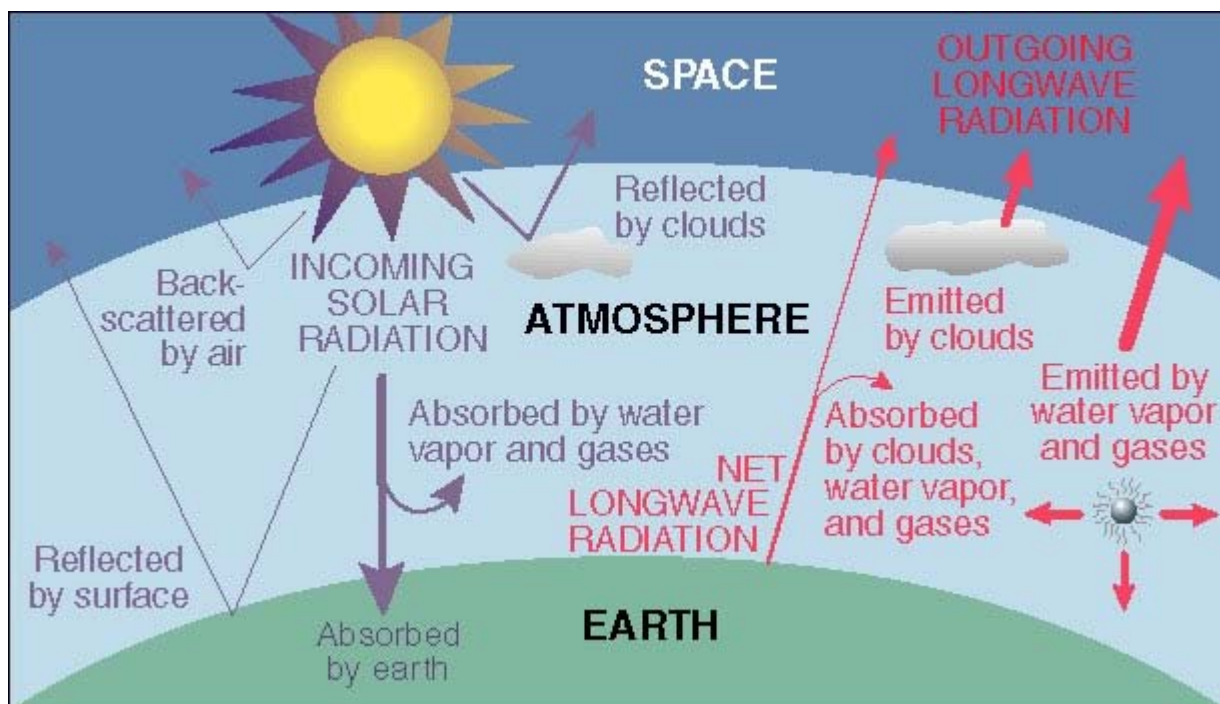


Fig. 2. Lo schema indica i diversi cammini della radiazione solare una volta che attraversa l'atmosfera ed interagisce con la superficie terrestre.

2.2 Effetto Serra Naturale

Gran parte dell'energia assorbita dalla superficie terrestre è radiata verso l'alto sotto forma di *radiazione termica infrarossa*. Molti gas che sono presenti naturalmente nell'atmosfera assorbono questa energia e la riemettono nuovamente verso la superficie terrestre. Di conseguenza, calore che verrebbe perso nello spazio è intrappolato vicino alla superficie. L'effetto dell'atmosfera e dei suoi gas calore-assorbenti si osserva nel riscaldamento della superficie terrestre, la cui temperatura media è stabilizzata a circa 33 gradi centigradi. Il termine Serra è utilizzato per descrivere questo fenomeno poiché i gas si comportano esattamente come i vetri di una serra per intrappolare calore e mantenere una temperatura più alta all'interno di essa. I gas atmosferici maggiormente responsabili dell'*effetto serra* sono il vapor acqueo (H_2O), l'anidride carbonica (CO_2) di cui ci occuperemo, metano (CH_4), ossido d'azoto (N_2O) ed ozono (O_3). Tale *effetto serra* è presente naturalmente nell'atmosfera ed è responsabile della attuale temperatura che rende possibile la vita sulla terra.

2.3 Effetto Serra Antropogenico

Sin dall'inizio della rivoluzione industriale circa 200 anni fa, la concentrazione atmosferica di *gas serra*, anidride carbonica (CO₂), metano (CH₄) e ossido d'azoto (N₂O) è aumentata sensibilmente. Questi incrementi sono imputabili a diverse attività umane quali la produzione e l'uso di combustibili fossili insieme ad altre attività industriali ed agricole, Fig. 4.

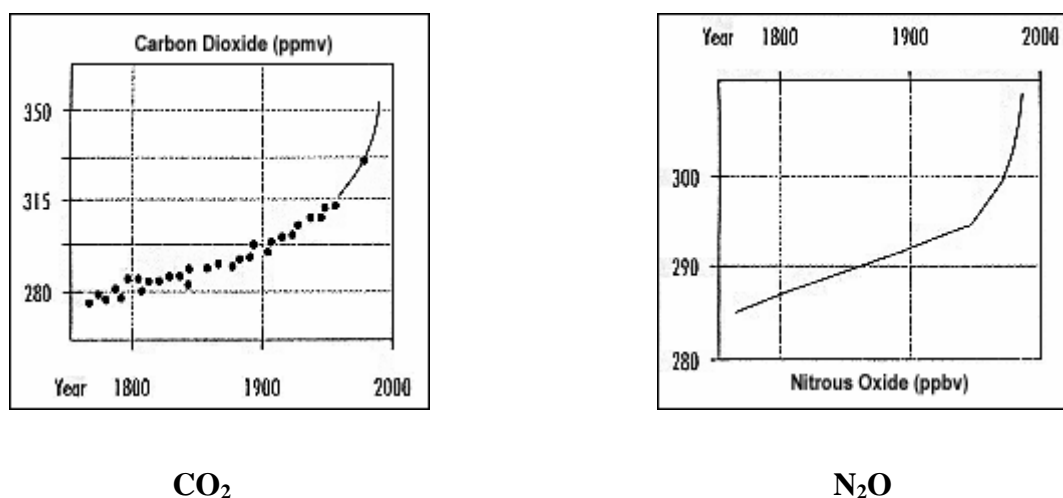
CO₂N₂O

Fig. 4. Andamento delle concentrazioni di anidride carbonica e ossido d'azoto negli ultimi 200 anni. Si nota un sensibile incremento.

2.4 Anidride Carbonica (CO₂)

L'anidride carbonica (CO₂) prodotta naturalmente è soggetta ad un ciclo stagionale; La CO₂ atmosferica è assorbita dalle piante durante la stagione di crescita in quanto entra a far parte della *fotosintesi* e viene rilasciata attraverso la *respirazione* in tutto l'arco dell'anno. Questi scambi tendono ad equilibrarsi nel periodo di un anno. Tale ciclo è la causa principale delle notevoli oscillazioni stagionali, a *dente di sega*, della concentrazione di CO₂ atmosferica, Fig. 5. Le attività umane perturbano il ciclo del carbonio naturale, infatti dall'epoca della rivoluzione industriale (fine settecento/inizi dell'ottocento) la concentrazione di CO₂ atmosferica è cresciuta di circa il 25 %, Fig. 4. Poiché la CO₂ non è chimicamente attiva, le emissioni terrestri (incendi, processi industriali, gas di scarico di automobili etc.) tendono ad accumularsi nell'atmosfera, vengono immagazzinate negli oceani (la CO₂ è in grado di sciogliersi parzialmente in acqua) o immagazzinate nella biosfera terrestre (terreno/vegetazione) Fig. 1.

La più grande fonte di CO₂ atmosferica prodotta dalle attività umane deriva dalla combustione di combustibili fossili come i derivati del petrolio che sono responsabili di circa l'80 % della emissione annua di CO₂ nell'atmosfera.

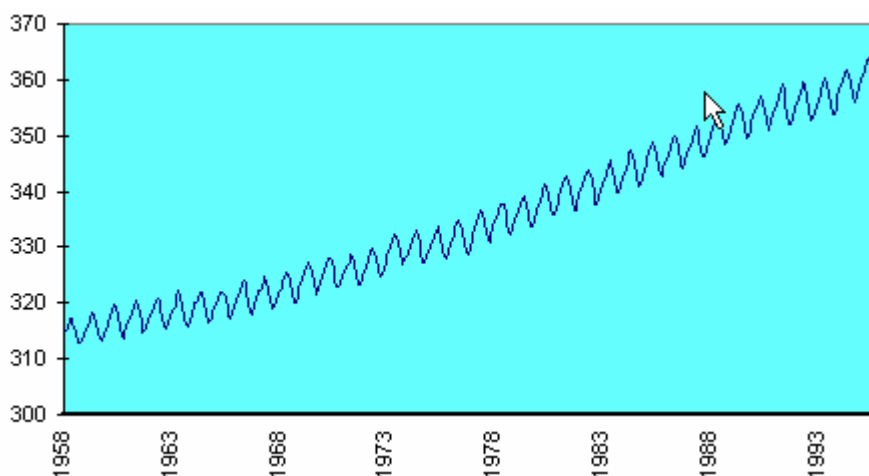


Fig. 5. Variazione a dente di sega legata alla concentrazione di CO₂ stagionale. E' inoltre evidente l'incremento della concentrazione di CO₂ atmosferica negli ultimi 40 anni.

Le informazioni relative al capitolo 2 sono state tratte da:

<http://icp.giss.nasa.gov/research/methane/greenhouse.html>

3 SPETTROSCOPIA INFRAROSSA

3.1. Natura della radiazione elettromagnetica

La radiazione elettromagnetica è costituita dalla propagazione nello spazio, in forma di onde, di un campo elettrico e un campo magnetico perpendicolari tra loro. Considerando la componente campo elettrico, si avrà che in un determinato punto dello spazio investito da una radiazione elettromagnetica si potrà osservare la presenza di un campo elettrico che oscilla periodicamente nel tempo, analogamente a quanto si osserva guardando come il livello dell'acqua oscilla in alto e in basso sulla parete di un molo.

La frequenza (ν) della radiazione rappresenta quante volte, nell'unità di tempo, si ha un massimo (una cresta) dell'onda. La lunghezza d'onda (λ) rappresenta la distanza tra due creste nello spazio, lungo la direzione di propagazione, ed è correlata alla frequenza e alla velocità di propagazione dell'onda ($c=300000$ Km/sec nel vuoto). $\lambda=c/\nu$.

Il campo elettromagnetico che costituisce la radiazione può oscillare in un vasto spettro di frequenze. Ad esempio, lunghezze d'onda dell'ordine dei metri costituiscono le radiofrequenze (frequenze dell'ordine dei MegaHertz). Le microonde hanno frequenze dell'ordine dei GigaHertz

(lunghezze d'onda di qualche centimetro). I raggi X hanno lunghezze d'onda dell'ordine del picometro. L'occhio umano percepisce ed elabora la radiazione con frequenze comprese approssimativamente tra 4 e 7×10^{14} Hertz, e questa regione è definita *spettro visibile*. La lunghezza d'onda della radiazione visibile diminuisce passando, lungo i colori dell'arcobaleno, dal rosso (lunghezza d'onda maggiore) al violetto (lunghezza d'onda minore).

Un'importante proprietà della radiazione elettromagnetica è che ad ogni frequenza è associata un'energia trasportata dalla radiazione, secondo la relazione $E=h\nu$. (h =costante di Planck= 6.63×10^{-34} J·sec). Questa energia può essere trasferita e scambiata con la materia: ad esempio i raggi del sole 'scaldano', e viceversa scaldando un pezzo di metallo questo emette luce, come succede al filamento di una lampadina ad incandescenza. Le molecole quindi interagiscono con la radiazione elettromagnetica; la spettroscopia studia gli scambi energetici tra radiazione e molecole.

3.2 Interazione tra radiazione e materia nella regione dell'infrarosso

A lunghezze d'onda maggiori (energie minori) rispetto alla radiazione visibile, nella regione delle lunghezze d'onda del centesimo di millimetro, si trova la *regione dell'infrarosso*.

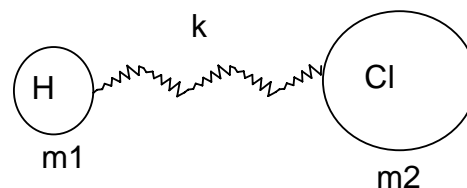
Il meccanismo con cui la radiazione interagisce con una molecola si basa sulla natura elettrica della materia: una molecola è costituita da una distribuzione di cariche positive (nuclei) e negative (elettroni). Nella maggior parte dei composti esistono zone in cui si accumula la densità elettronica (parziale carica negativa, δ^-), ad esempio in prossimità di atomi elettronegativi (che tendono cioè ad attirare elettroni come l'ossigeno O od il Cloro Cl), lasciando sguarnite altre zone (parziale carica positiva, δ^+). In questo caso si osserva un momento di dipolo molecolare.



Il campo elettrico oscillante dell'onda elettromagnetica può stimolare in diverso modo, a seconda della lunghezza d'onda, il moto delle cariche, o il loro riarrangiamento. In particolare, la radiazione con frequenze nella regione dell'infrarosso interagisce con i *moti di vibrazione* degli atomi all'interno delle molecole, quando questi moti portano ad una variazione del momento di dipolo molecolare.

3.3 Le vibrazioni molecolari

Per spiegare il fenomeno si ricorre al modello di molecola come costituita da nuclei legati da forze di legame che si possono assimilare, in prima approssimazione, a forze elastiche.



Anche nello stato di 'riposo' tutte le molecole sono dotate di un moto di oscillazione continuo, che per una molecola biatomica consiste semplicemente nell'allungarsi ed accorciarsi del legame (moto di stretching). Per molecole con geometrie più complicate, contenenti N atomi, si possono individuare $3N-6$ ($3N-5$ per sistemi lineari) modi di oscillazione indipendenti per il sistema di atomi in equilibrio.

Ognuno di questi modi di vibrazione è caratterizzato da una propria frequenza di oscillazione (e quindi da una energia ben definita), che dipende dalle masse degli atomi coinvolti e dalla forza del legame fra tali atomi (in analogia alla costante di forza di una molla, nel modello di oscillatori proposto). Oltre allo stato di 'riposo' (stato fondamentale), esistono modi di oscillazione ad energie più elevate (stati eccitati, $E_{n,i}$

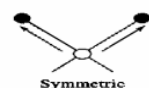
nell'equazione sotto riportata). Ogni oscillazione (i) è comunque caratterizzata da una frequenza ed un'energia proprie, che dipendono dalle masse coinvolte ($\mu=m_1 \cdot m_2 / (m_1+m_2)$), dalla forza dei legami (k), e dal fatto che il sistema sia nello stato fondamentale ($n=0$) o sia in uno stato eccitato ($n>0$).

$$E_{n,i} = (n + 1/2) h \nu_i \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad \nu_i = (1/2\pi) (k_i / \mu_i)^{1/2}$$

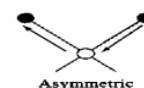
Quando il sistema è investito da una radiazione infrarossa, può accadere che la frequenza del campo elettrico oscillante sia capace di attivare una determinata vibrazione molecolare ad energia più elevata, in quanto stimola l'oscillazione delle cariche che costituiscono il dipolo. In questo caso, per quella specifica frequenza infrarossa, la molecola sarà in grado di assorbire l'energia della radiazione elettromagnetica ed attivare lo stato eccitato. In seguito, il sistema può tornare allo stato fondamentale irradiando l'energia in eccesso, oppure dissipandola. Perché sia possibile l'assorbimento occorre che l'energia della radiazione ($E=h\nu$) corrisponda esattamente al salto di energia richiesto dalla molecola per passare nello stato vibrazionale eccitato Schema 1.

Types of Vibrations

- **Stretching**



Symmetric

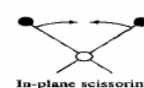


Asymmetric

- **Bending**



In-plane rocking



In-plane scissoring



Out-of-plane wagging

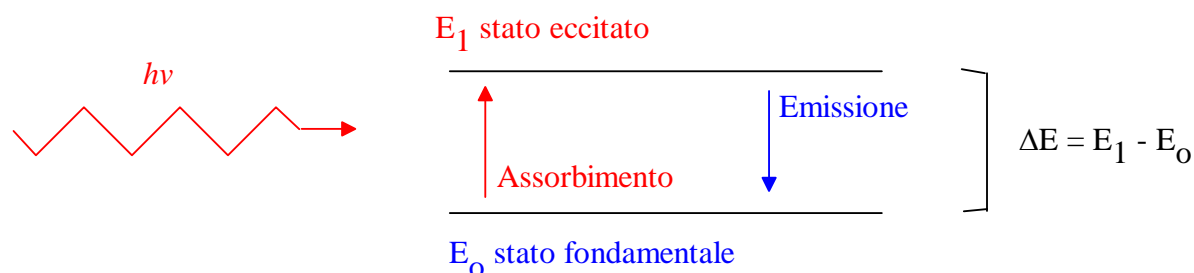


Out-of-plane twisting

Chapter 16

3

Assorbimento di una Radiazione Elettromagnetica da parte delle Molecole



Per l'assorbimento di energia trasportata dalla radiazione elettromagnetica:

l'energia della radiazione ($h\nu$) deve essere uguale alla differenza di energia (ΔE) tra gli stati energetici della molecola,

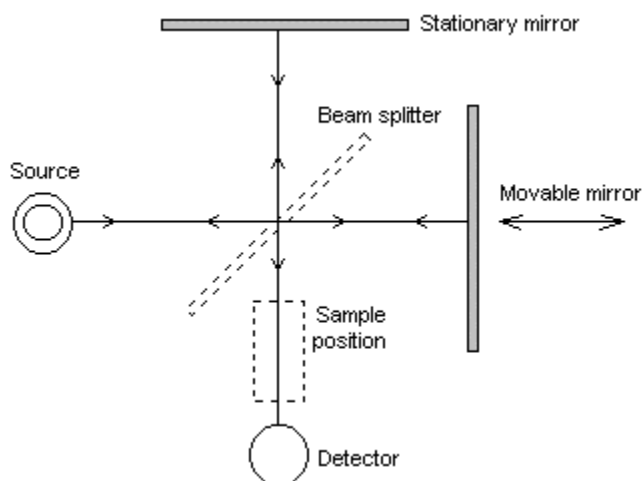
$$h\nu = \Delta E$$

Schema 1

Le frequenze di assorbimento della radiazione infrarossa di una molecola dipendono strettamente dalla geometria molecolare e dalla forza dei legami tra gli atomi. Studiando tutte le frequenze infrarosse assorbite da una sostanza si può così acquisire un'informazione sulla sua struttura molecolare. Spesso lo spettro di assorbimento infrarosso costituisce una specie di 'impronta digitale' che permette di identificare una sostanza. Le frequenze delle bande di assorbimento si riportano di solito come *numeri d'onda*, corrispondenti a $1/\lambda$, e si esprimono in cm^{-1} .

3.4 Spettrofotometro FT-IR (a trasformata di Fourier)

Lo spettrometro FT-IR è costituito da un banco ottico interfacciato ad un computer. Tutte le operazioni vengono comandate dall'operatore tramite il computer. Le principali componenti del **banco ottico** sono: la **sorgente** (Source), un complesso sistema di **lenti**, l'**interferometro** (costituito da: Stationary mirror, Beam Splitter e Movable mirror), un **laser monocromatico**, il **portacampione** (Sample Position) ed il **rivelatore** (Detector). Questi diversi componenti sono combinati tra loro in base al seguente schema semplificato:



Componenti principali di uno spettrometro FT-IR

La radiazione infrarossa (contenente tutte le frequenze dell'intervallo IR) viene emessa dalla sorgente ed indirizzata, tramite una opportuna lente (non indicata nello schema), all'interferometro (costituito dal *divisore del raggio*, dallo *specchio fisso A* e dallo *specchio mobile B*); la radiazione IR viene divisa in due raggi dal divisore del raggio; uno percorre una distanza fissa (quello diretto allo specchio A) l'altro percorre una distanza variabile, in base alla posizione dello specchio mobile B (ad ogni corsa dello specchio corrisponde una *scansione* delle frequenze IR; il numero delle scansioni è impostabile dall'operatore). I due raggi riflessi dagli specchi A e B vengono ricombinati dallo specchio divisore ed inviati sul campione. Le diverse lunghezze dei due percorsi portano ad una sequenza di interferenze costruttive e distruttive e conseguentemente a variazioni nella intensità della radiazione incidente sul campione: si ottiene il cosiddetto **interferogramma**. Questo segnale viene ulteriormente elaborato mediante una complessa funzione matematica (**trasformata di Fourier**) che consente di ottenere lo spettro finale. La funzione del laser monocromatico (non riportato nello schema) è quella di riferimento interno per la lettura delle diverse frequenze contenute nella radiazione.

3.5 Registrazione di uno spettro IR

- *Registrazione del background o fondo*

Nel banco ottico è facilmente individuabile la cella portacampione dove viene alloggiato il campione da analizzare. Prima di registrare lo spettro del campione è necessario registrare il cosiddetto **background** (o fondo), cioè lo spettro infrarosso della cella portacampione vuota. Lo spettro risultante contiene i segnali derivanti dalla anidride carbonica e dall'acqua contenute nell'aria. Il background quindi descrive, da un punto di vista IR, l'"atmosfera" nella quale verrà successivamente posto il campione. Affinché i segnali della CO₂ e dell' H₂O non vadano a "sporcare" lo spettro del campione, è molto importante che queste siano praticamente assenti nella

camera portacampione; a tale scopo la camera viene costantemente spurgata da un flusso di azoto anidro (trasparente all'IR).

- *Preparazione del campione*

Gli spettri IR possono essere ottenuti da composti allo stato gassoso, liquido o solido. Gli spettri dei gas possono essere ottenuti facendo espandere il gas all'interno di una cella sotto vuoto.

I liquidi possono essere analizzati puri o in soluzione. I liquidi puri vengono solitamente posti tra due pastiglie di cloruro di sodio (NaCl) che è trasparente alla radiazione IR. Le soluzioni sono invece solitamente introdotte in opportune celle di NaCl dello spessore di 0.1-1.00 mm. Naturalmente il solvente deve essere trasparente nell'intervallo di frequenze prescelto. Data la solubilità dell'NaCl in acqua, è necessario utilizzare solventi anidri. Se il solvente è l'acqua bisogna allora utilizzare celle costituite da materiale insolubile in acqua, come il cloruro di argento (AgCl) o il fluoruro di bario (BaF₂).

I solidi sono generalmente analizzati come dispersione in olio (mull), come pastiglia pressata o come film trasparente depositato. L'esperienza in svolgimento prevede l'utilizzo di campioni solidi sottoforma di *pastiglie* pressate. Tale tecnica si basa sul fatto che il bromuro di potassio anidro (KBr) in polvere può essere compresso per formare dei dischi trasparenti alla radiazione IR. Il campione (0.5-1.0 mg) viene intimamente mescolato con circa 100 mg di KBr. La miscelazione può essere fatta attraverso un'accurata macinazione in un mortaio di agata levigato. La miscela viene quindi posta nel *pastigliatore* e compressa da un'opportuna pressa (si applica un peso di circa 5-10 tonnellate). La qualità dello spettro dipende dalla finezza di miscelazione: le particelle solide devono essere ridotte a pochi micron (μ) di spessore nel modo più omogeneo possibile. Con la tecnica della pastiglia è praticamente impossibile evitare la presenza dei segnali relativi allo stiramento dei legami H-O dell'acqua, data la elevata igroscopicità del KBr. Questi generano bande a circa 3400-3500 cm^{-1} e 1600-1650 cm^{-1} . La pastiglia deve quindi essere introdotta nella cella il più velocemente possibile.

- *Registrazione dello spettro del campione*

La pastiglia ottenuta viene posta nel *portapastiglia* ed introdotta nella camera portacampione e si comincia la registrazione dello spettro. Il numero delle scansioni impostate deve essere uguale a quello impostato per la registrazione del background. Maggiore è il numero delle scansioni migliore è il rapporto segnale/rumore (il rumore è un segnale random dovuto ad effetti strumentali) e migliore risulta quindi essere la risoluzione finale dello spettro. Automaticamente il background viene sottratto dallo spettro del campione e sullo schermo del computer appare lo spettro finale.

4 APPLICAZIONI

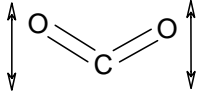
4.1 Lo spettro IR dell'anidride carbonica

La molecola dell'anidride carbonica (CO_2) ha una geometria lineare, con distanza di equilibrio $\text{C-O}=1.162\text{\AA}$ ($\text{\AA}=\text{angstrom}=10^{-8}\text{ cm}$).

Data la massa degli atomi coinvolti e la forza dei legami C-O, le vibrazioni possibili per questa molecola sono:

stiramento simmetrico $\leftarrow \text{O}=\text{C}=\text{O} \rightarrow$ $\nu_1 = 1340\text{ cm}^{-1}$ (oscillazione non eccitabile dalla radiazione)

stiramento antisimmetrico $\rightarrow \text{O}=\text{C}=\text{O} \rightarrow$ $\nu_2 = 2349\text{ cm}^{-1}$

piegamento  $\nu_3 = 667\text{ cm}^{-1}$

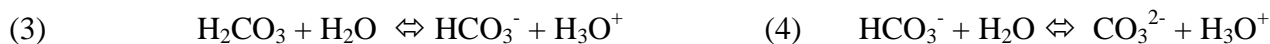
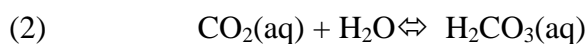
Lo spettro di assorbimento nell'infrarosso della CO_2 risulta composto da due bande, relative all'eccitazione dei modi di vibrazione ν_2 e ν_3 .

L'assorbimento efficace della radiazione infrarossa da parte della CO_2 è uno dei fattori che determinano l'effetto serra come visto nel capitolo 2. La Terra infatti emette radiazione termica (infrarosso) verso lo spazio; la CO_2 e il vapore acqueo presenti naturalmente nell'atmosfera assorbono parte di questa radiazione, la bloccano, e la riemettono verso la superficie terrestre, che quindi si riscalda. L'effetto serra è un fenomeno naturale, senza il quale la temperatura alla superficie terrestre sarebbe 0°C . Tuttavia l'aumento di CO_2 provocato dalle attività umane può incrementare la portata della irradiazione 'di ritorno' del calore verso la superficie terrestre, provocando un globale surriscaldamento del pianeta. Nel valutare l'impatto sull'ambiente dell'aumento di quantità di CO_2 atmosferica occorre però tenere conto che gli oceani sono in grado di ammortizzare l'effetto totale, in quanto possono disciogliere la CO_2 nell'acqua.

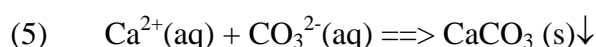
4.2 Trasformazione di CO_2 in carbonato

Oltre ad essere presente nell'atmosfera, l'anidride carbonica è in grado di sciogliersi in acqua, dando origine ad una chimica importante in campo ambientale, geologico e anche biologico. Si calcola che l'atmosfera della Terra contenga 700 miliardi di tonnellate di carbonio sotto forma di anidride carbonica, e si è stimato che gli oceani contengano circa 60 volte la quantità di CO_2 che si trova nell'atmosfera.

A causa delle sue proprietà chimiche, la dissoluzione della CO_2 in acqua (1) è accompagnata dalla idratazione con parziale formazione di acido carbonico (2); questo si dissocia parzialmente (3, 4), impartendo, in assenza di altri effetti, un carattere acido alla soluzione.

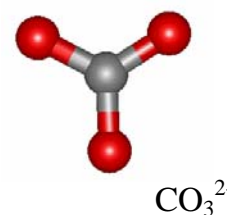


Gli anioni carbonato liberati nel processo (4) formano sali insolubili con cationi molto diffusi, come ad esempio i cationi calcio Ca^{2+} (5) e magnesio Mg^{2+} .



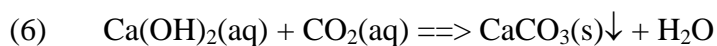
Il carbonato di calcio si trova in natura nelle pietre calcaree e come minerale principalmente in due forme: calcite e aragonite. Anche il marmo è una forma di carbonato di calcio, mentre la dolomite contiene anche carbonato di magnesio. CaCO_3 è il componente principale dei gusci delle conchiglie e dei coralli.

L'anione carbonato è planare, con distanze tutte uguali: $\text{C-O}=1.29\text{\AA}$, e possiede 6 modi di vibrazione indipendenti ($3 \times 4 - 6$), ognuno caratterizzato da una specifica frequenza di assorbimento nell'infrarosso.

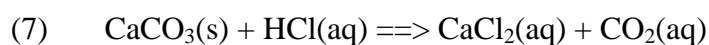


In questa esperienza vedremo:

- a) la precipitazione del carbonato di calcio, CaCO_3 , facendo gorgogliare la CO_2 sviluppata da un'acqua minerale gasata in una soluzione di idrossido di calcio.



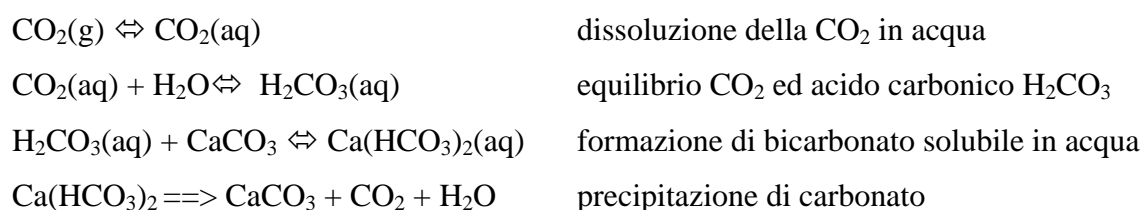
- b) lo sviluppo di CO_2 per dissoluzione dei carbonati contenuti in minerali/conchiglie/gusci d'uovo mediante acido cloridrico.



Registeremo lo spettro Infra-Rosso(IR) del carbonato di calcio e lo confronteremo con lo spettro IR della CO_2 .

4.3 Stalattiti e Salagmiti

L'anidride carbonica contenuta nelle acque intacca il carbonato di calcio formando bicarbonato solubile, che, trasportato dalle acque stesse, si rideposita sotto forma di incrostazioni, Schema 2. Le forme più caratteristiche di sedimentazione sono stalattiti, stalagmiti e cortine che ornano le grotte sotterranee, Fig.7. Il paesaggio carsico è privo di rete idrografica superficiale: presenta invece ovunque campi solcati, inghiottitoi, buche circolari chiamate doline che immettono nell'interno di grotte, voragini, abissi. Nel sottosuolo le acque di penetrazione formano veri e propri fiumi sotterranei



Schema 2.

L'acqua corrente nel sottosuolo può scavare immense grotte, dove le infiltrazioni creano magici merletti calcarei. I sali sciolti nelle gocce d'acqua che cadono dal soffitto della grotta restano in parte sul soffitto, in parte si depositano a terra, nel luogo dell'impatto. Si formano così le stalattiti, che pendono dall'alto, le stalagmiti, che s'innalzano verso l'alto, le colonne prodotte dalla fusione di una stalattite con una stalagmite, e numerose altre forme dai colori sfumati.



Fig. 7

Per Stalattiti e Stalagmiti vedi:

<http://www.geocities.com/Athens/Ithaca/2788/grotta.htm>.