

Piano Lauree Scientifiche

Università degli Studi di Napoli Federico II



6-10 settembre 2021



Piano Lauree Scientifiche Università degli Studi di Napoli Federico II

PLS Virtual Summer School for Students - PVS3

Seconda edizione

6-10 settembre 2021

Atti della Scuola

A cura di:

Maria Rosaria Iesce - *Dipartimento di Scienze Chimiche, Università Federico II di Napoli*

Marianna Crispino – *Dipartimento di Biologia, Università Federico II di Napoli*

Silvia Galano - *Dipartimento di Fisica “E. Pancini”, Università Federico II di Napoli*

Organizzazione della Scuola PVS3

Ugo Caruso (PLS-Scienza dei Materiali)- *Dipartimento di Scienze Chimiche, Università Federico II di Napoli*

Marianna Crispino (PLS-Biologia/Biotecnologie)- *Dipartimento di Biologia, Università Federico II di Napoli*

Alessandro Iannace (PLS-Geologia) – *Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e delle Risorse, Università Federico II di Napoli*

Maria Rosaria Iesce (PLS-Chimica - *Dipartimento di Scienze Chimiche, Università Federico II di Napoli*

Marco Lapegna (PLS-Matematica) - *Dipartimento di Matematica e Applicazioni "R. Caccioppoli", Università Federico II di Napoli*

Giancarlo Ragozini (PLS-Statistica) - *Dipartimento di Scienza Politiche, Università Federico II di Napoli*

Daniel Riccio (PLS-Informatica) - *Dipartimento di Ingegneria Elettrica e delle Tecnologie dell'Informazione, Università Federico II di Napoli*

Italo Testa (PLS-Fisica) – *Dipartimento di Fisica "E. Pancini", Università Federico II di Napoli*

Silvia Galano - *Dipartimento di Fisica "E. Pancini", Università Federico II di Napoli*

Università degli Studi di Napoli Federico II
Scuola Politecnica e delle Scienze di Base
Scuola delle Scienze Umane e Sociali

Dipartimenti

Dipartimento di Biologia, Università Federico II di Napoli

Dipartimento di Fisica "E. Pancini", Università Federico II di Napoli

Dipartimento di Ingegneria Elettrica e delle Tecnologie dell'Informazione (DIETI), Università Federico II di Napoli

Dipartimento di Matematica e Applicazioni "R. Caccioppoli", Università Federico II di Napoli

Dipartimento di Scienze Chimiche, Università Federico II di Napoli

Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e delle Risorse (DISTAR), Università Federico II di Napoli

Dipartimento di Scienze Politiche, Università Federico II di Napoli



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II - DIPARTIMENTO DI
SCIENZE CHIMICHE

**Dipartimento di Matematica e Applicazioni
"Renato Caccioppoli"**

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II - DIPARTIMENTO DI
FISICA "ETTORE PANCINI"

Dipartimento di Scienze Politiche

**DIE
TI**



La scuola PVS3

La **PLS Virtual Summer School for Students (PVS3)** è organizzata congiuntamente dai referenti dei Progetti Piano Lauree Scientifiche (PLS) dell'Università degli Studi di Napoli Federico II, proff. Ugo Caruso (Scienza dei Materiali), Marianna Crispino (Biologia/Biotecnologie), Alessandro Iannace (Geologia), Maria Rosaria Iesce (Chimica), Marco Lapegna (Matematica), Giancarlo Ragozini (Statistica), Danile Riccio (Informatica) e Italo Testa (Fisica).

La **Scuola PVS3** è nata nel 2020, in un momento in cui le difficoltà e le incertezze legate alla diffusione del COVID-19 hanno imposto di rivedere le modalità di orientamento universitario per gli studenti delle scuole secondarie ed è stata la prima iniziativa di questo genere ad essere organizzata in modalità interamente on-line sulla piattaforma Teams del nostro Ateneo. La Scuola è caratterizzata da una forte connotazione interdisciplinare.

La Scuola PVS3 si rivolge principalmente agli studenti dell'ultimo anno delle scuole secondarie di secondo grado allo scopo di approfondire le conoscenze delle materie di area scientifica, oltre gli aspetti solitamente trattati nel corso delle attività scolastiche.

In continuità con l'edizione 2020, a settembre 2021 si è svolta in modalità virtuale la **seconda edizione della Scuola PVS3 che ha mantenuto** la natura fortemente interdisciplinare, con attività che hanno coperto tutte le discipline scientifiche afferenti ai vari PLS, e non solo.

Il programma ha previsto **seminari** monotematici ed integrati e attività laboratoriali e ha riguardato sia tematiche legate ad alcuni degli ultimi risultati emersi nei settori di punta della ricerca scientifica, sia tematiche di base necessarie ad affrontare i percorsi universitari di area scientifica.

In particolare, i temi affrontati nei seminari spaziano dal micro- al macro-cosmo, evidenziando il ruolo centrale delle discipline scientifiche nella comprensione del rapporto tra Uomo, Società, Pianeta Terra e Universo. Le **attività laboratoriali** sono state incentrate su tematiche di biologia, chimica, fisica e matematica e sono state precedute da seminari introduttivi.

I referenti PLS ringraziano tutti i relatori che hanno collaborato alla realizzazione della Scuola PVS3 e in particolare: Carmen Arena, Giuseppina Balassone, Annamaria Barbagallo, Maria Rosaria Celentani, Giovanni Covone, Rosanna del Gaudio, Roberta De Luca, Roberto Di Capua, Rossella Di Giaimo, Lorenzo Manti, Ester Piegari, Cristina Puzzarini, Francesca Scamardella, Umberto Scotti di Uccio, Oreste Tarallo, Marco Trifuoggi, Mimmo Turano, Domenico Vistocco, Nicola Zambrano. Un ringraziamento speciale alla Dr.ssa Silvia Galano che, con il Comitato Organizzatore, ha svolto una insostituibile attività di coordinamento relativa a tutti gli aspetti della Scuola PVS3.

E soprattutto grazie a tutti gli studenti che hanno partecipato alla Scuola PVS3 e ai loro insegnanti che li indirizzano sempre con grande attenzione verso le iniziative PLS della Federico II.

I referenti dei progetti PLS dell'Università degli Studi di Napoli Federico II

Ugo Caruso - Scienza dei Materiali

Marianna Crispino - Biologia/Biotecnologie

Alessandro Iannace - Geologia

Maria Rosaria Iesce - Chimica

Marco Lapegna - Matematica

Giancarlo Ragozini - Statistica

Danile Riccio - Informatica

Italo Testa - Fisica

PROGRAMMA

Lunedì 6 settembre 2021	
9.00-9.15	Saluti e apertura della Scuola
Seminari introduttivi alle esperienze di laboratorio	
9.15-10.00	Geni ed espressione genica Rossella Di Giaimo
10.15 – 11.00	Un elettrone e un protone Umberto Scotti di Uccio
11.15 – 12.00	Struttura atomica e configurazione elettronica Oreste Tarallo
14.30 – 15.15	Esplorando il nostro pianeta con le onde. Ester Piegari e Giuseppina Balassone
15.30 – 16.15	Modelli matematici con applicazioni in economia ed epidemiologia Annamaria Barbagallo e Roberta De Luca
Martedì 7 settembre 2021	
Interazione luce materia	
9.15-10.00	Convivere con le radiazioni ionizzanti: più rischi o benefici? Lorenzo Manti
10.15 – 11.00	Impariamo dalla natura: il mistero e la magia dei colori iridescenti Ugo Caruso
11.15 – 12.00	Tavolozze biologiche: la proteina fluorescente GFP e i suoi usi nella ricerca biomedica Nicola Zambrano
14.30-16.30	Laboratorio di Biologia (gruppo A) Rosanna del Gaudio Laboratorio Matematica (gruppo B) Annamaria Barbagallo e Roberta De Luca Laboratorio Fisica e Chimica (gruppo C) Roberto Di Capua
Mercoledì 8 settembre 2021	
Oltre la Terra	
9.15-10.00	Il mistero della chimica dell'universo Cristina Puzzarini
10.15 – 11.00	Alla ricerca di un'altra Terra Giovanni Covone
11.15 – 12.00	Il “verde” oltre la Terra: sfide ed opportunità Carmen Arena
14.30-16.30	Laboratorio di Biologia (gruppo C) Rosanna del Gaudio Laboratorio Matematica (gruppo A) Annamaria Barbagallo e Roberta De Luca Laboratorio Fisica e Chimica (gruppo B) Roberto Di Capua
Giovedì 9 settembre 2021	
Crittografia e Sharing	
9.15-10.00	Crittografia Maria Rosaria Celentani
10.15 – 11.00	Crittografia e applicazioni Daniel Riccio
11.15 – 12.00	La certezza assoluta ed altre finzioni. Leggerezza, inganni ed estetica del caso Domenico Vistocco

14.30-16.30	Laboratorio di Biologia (gruppo B) <i>Rosanna del Gaudio</i> Laboratorio Matematica (gruppo C) <i>Annamaria Barbagallo</i> e <i>Roberta De Luca</i> Laboratorio Fisica e chimica (gruppo A) <i>Roberto Di Capua</i>
<i>Venerdì 10 settembre 2021</i>	
Tra Scienza e Diritto	
9.15-10.00	La chimica alleata della legge contro il crimine <i>Marco Trifuoggi</i>
10.15 – 11.00	I diritti al tempo della pandemia: un difficile bilanciamento tra evidenze scientifiche ed istanze sociali <i>Francesca Scamardella</i>
11.15 – 12.00	Le impronte genetiche: un testimone silenzioso contro l'assassino <i>Mimmo Turano</i>
12.00 – 12.15	Chiusura della Scuola

Abstracts dei seminari

GENI ED ESPRESSIONE GENICA

Rossella Di Giaimo

Dipartimento di Biologia, Università degli Studi di Napoli Federico II

Il dogma della biologia molecolare riguarda il fluire dell'informazione genetica dal DNA alle proteine. La scoperta della struttura del DNA scaturita dagli esperimenti di Watson e Crick, due scienziati cui è stato assegnato il premio Nobel in Fisiologia e Medicina nel 1962, e dagli studi di un'altra importante ricercatrice, la cristallografa Rosalind Franklin, che hanno aperto la strada agli studi sulla funzione del DNA. Il DNA è un polimero i cui monomeri sono i nucleotidi costituiti da tre componenti: lo zucchero, un gruppo fosfato e una base azotata. DNA è un acronimo che sta per "acido desossiribonucleico" perché lo zucchero del nucleotide del DNA si chiama desossiribosio. Le basi azotate del DNA sono quattro: Adenina, Citosina, Guanina e Timina. Poiché i vari nucleotidi differiscono l'uno dall'altro per la base azotata che li compone, i vari nucleotidi si indicano con l'iniziale della base azotata. ACGT sono le lettere della vita, le lettere del DNA. Grazie alle scoperte di Watson e Crick sappiamo che il DNA è costituito da 2 filamenti di nucleotidi e che la struttura tridimensionale del DNA è una elica destrorsa dove le coppie di basi sui due filamenti appaiati, si susseguono come gli scalini in una scala a pioli.

L'espressione dei geni, che contengono l'informazione per produrre una proteina, prevede come primo passaggio, la trascrizione da DNA a RNA e un secondo passaggio la traduzione da RNA a proteina. L'espressione genica può essere paragonata a quando mandiamo in stampa un documento: quando noi scriviamo un documento al computer, il computer rappresenta il magazzino delle informazioni quindi il computer si può paragonare al DNA che è il depositario dell'informazione genetica; quando mandiamo in stampa il nostro documento, l'impulso di stampa passa dal computer alla stampante ma il formato in cui le informazioni passano attraverso il cavo è sempre lo stesso formato cioè informazione di tipo digitale. Possiamo considerare il cavo come l'RNA. Allora il passaggio da DNA a RNA si chiama trascrizione proprio perché il linguaggio continua a essere uguale tra le due molecole, entrambe formate da nucleotidi. Ma quando deve essere stampata la pagina, allora il messaggio digitale arriva alla stampante e la pagina stampata rappresenta la proteina. Il linguaggio con cui viene stampata questa pagina, cioè il linguaggio dell'inchiostro, è ben diverso dal linguaggio digitale; infatti le proteine hanno un linguaggio diverso dagli acidi nucleici perché sono costituite da amminoacidi. La stampante rappresenta il ribosoma all'interno del quale avviene la sintesi proteica. Il passaggio delle informazioni da RNA a proteina viene detto traduzione proprio perché si passa dal linguaggio degli acidi nucleici al linguaggio delle proteine.

Quale è la dimensione del genoma umano? La lunghezza del DNA si misura in numero di coppie di basi che si susseguono e nell'uomo il DNA è costituito da tre miliardi di coppie di basi per una lunghezza lineare di 2 metri. Come entrano questi 2m di DNA all'interno del nucleo di una cellula eucariotica che è una dimensione di 10 micron (10^{-6} m)? Immaginiamo il DNA come il filo di un telefono che normalmente è avvolto ad elica ma è molto più lungo se lo tendete. Il DNA sfrutta lo stesso principio, si avvolge su sé stesso e si superavvolge per entrare nel nucleo. Il superavvolgimento è possibile grazie alla presenza di alcune proteine specializzate nella compattazione del DNA che sono le proteine istoniche. Istoni e DNA si attraggono e si associano e il DNA si avvolge intorno alle proteine istoniche formando una struttura che si chiama nucleosoma che è il primo livello di compattazione del DNA nel nucleo. Immaginate una lunga fila di nucleosomi sul DNA che si possono osservare anche al microscopio e somigliano ad una collana di perle cioè con tante palline che sono i nucleosomi collegate da filamenti di DNA. Il DNA è poi ulteriormente compattato grazie ad altre proteine in una struttura che si chiama cromatina a formare i cromosomi.

Il progetto genoma umano è stato volto allo studio e l'analisi della sequenza del DNA e dell'informazione genetica che sta nelle nostre cellule. Sequenza del DNA che non vuol dire altro che una lunga stringa di lettere costituita da quattro lettere: ACGT. Il progetto genoma è stato un grosso progetto che è iniziato nel 2003 e che è durato ben vent'anni con il contributo di scienziati da tutto il mondo. Capire come funziona il DNA e dove sono i geni in questa lunga stringa di 3 miliardi di lettere formata un alternarsi di sole quattro lettere, senza punteggiatura, non è semplice. Stime recenti indicano che i geni per proteine nell'uomo sono circa 22.000, un numero piuttosto piccolo se consideriamo per esempio anche nel genoma dell'uva ci sono più geni, circa 30.000. Una cosa importante che bisogna considerare è che 22.000 sono il numero di geni che codificano per proteine, ma bisogna ricordare che l'RNA messaggero maturo si forma con processi complessi di taglia e cucì per eliminare alcune parti, gli introni, e ricucire le rimanenti, gli esoni. Diversi RNA maturi si possono formare con diversi procedimenti di "taglia e cucì" a partire da uno stesso gene. Ne deriva che il numero di RNA messaggeri che si possono originare da questi 22000 geni è notevolmente più alto del numero di geni che alla fine diventano centinaia di migliaia di proteine. Inoltre, va considerato che i geni non sono solamente quelli che codificano per proteine. In effetti la frazione del nostro DNA che diventerà proteine è solo circa l'1,5% del totale. Ci sono molti altri geni che codificano per RNA funzionali, un esempio tra tutti è il tRNA o RNA traduttore che partecipa alla sintesi delle proteine. Da questo deriva la definizione di gene come una sequenza di DNA che codifica per una funzione, quindi che trascrive per un RNA funzionale o per una proteina. La parte del DNA che verrà tradotto in proteine è una minima parte di tutto il genoma ma basta una variazione di un singolo nucleotide per produrre delle differenze nel fenotipo come la nostra altezza, il colore degli occhi, le lentiggini, il gusto, il colore dei capelli, colore della pelle e così via. Vi siete mai chiesti se individui diversi della stessa specie hanno lo stesso DNA? Il genoma umano tra individui diversi è identico al 99 %. Quando parliamo del 99% di identità tra genomi di individui umani diversi, abbiamo lo 0,1% di differenza che comunque consiste in tre milioni di nucleotidi diversi che comporta una differenza sostanziale tra individui della stessa specie. Esistono moltissimi livelli di regolazione espressione genica negli eucarioti, tra cui l'uomo, che partono dalla struttura del DNA fino arrivare alla proteina nella sua forma attiva; tutti questi passaggi sono regolati. Il primo livello di controllo dell'espressione di un gene è la struttura del DNA. A questo proposito vi cito un esempio: l'uomo e lo scimpanzé, pur essendo molto diversi tra loro, condividono il 98,77% del genoma che è identico tra scimpanzé e uomo ma c'è una differenza strutturale importante, infatti il cromosoma due nell'uomo non corrisponde a quello dello scimpanzé perché il cromosoma due umano è il prodotto di fusione dei cromosomi 12 e 13 dello scimpanzé. Ecco che una variazione nella struttura e nell'organizzazione del DNA provoca una variazione di espressione genica tale per cui il risultato è ben diverso tra lo scimpanzé e l'uomo.

Tutte le cellule di un organismo multicellulare eucariotico hanno lo stesso DNA genomico? La risposta è: sì, tipi diversi di cellule che appartengono allo stesso organismo come cellule dei nostri muscoli, delle cellule nervose, del sangue e così via, hanno lo stesso DNA. Allora cos'è che definisce il tipo cellulare a livello biomolecolare? Le proteine che le cellule esprimono; tipi cellulari diversi esprimono diverse proteine e questo dipende dalla regolazione della espressione genica cioè dai geni che vengono che vengono espressi che cambiano nei diversi tipi cellulari. E qui entriamo nella sfera della Epigenetica. Epigenetica riguarda ciò che sta al di sopra delle informazioni genetiche c'è del susseguirsi delle quattro lettere ACGT nella stringa del DNA ma che ne influenza l'espressione. Questo concetto fu introdotto per la prima volta nel 1957 da uno scienziato, Conrad Waddington. In pratica le cellule originariamente hanno tutte la stessa sequenza di DNA ma subiscono modificazioni per cui solo alcuni geni possono essere espressi che permettono alle diverse cellule di prendere percorsi diversi e diventare tipi cellulari differenti. L'epigenetica rappresenta una sorta di scambio sui binari sui quali viaggiano le cellule, portando l'espressione genica da una parte all'altra. La epigenetica è importante durante lo sviluppo, infatti gli embrioni si originano da cellule che condividono tutte lo

stesso DNA e poi durante lo sviluppo esprimono geni diversi e si differenziano nei 200 tipi cellulari diversi che costituiscono il nostro organismo. L'epigenetica dipende anche molto dall' ambiente e questo spiega come mai gemelli che condividono lo stesso DNA.

È possibile interferire artificialmente col programma di espressione genica di una cellula attraverso il così detto “reprogramming” o riprogrammazione di cellule somatiche in cellule staminali. Riprogrammare una cellula differenziata per farla tornare ad essere una cellula pluripotente in grado di diventare diversi tipi cellulari, è oggi possibile grazie agli studi di Shinya Yamanaka e di John B. Gurdon che hanno portato nel 2012 al premio Nobel per la Fisiologia e Medicina. Gli studi di Yamanaka hanno riguardato cellule della pelle del topo, fibroblasti, in cui sono state inserite quattro molecole, in particolare quattro proteine che sono in grado di riaccendere il programma di espressione genica delle staminali e spegnere quello dei fibroblasti. In questo modo le cellule sono in grado di tornare indietro nel loro programma di differenziamento e diventano “pluripotenti”. La tecnologia delle cellule pluripotenti riprogrammate (iPSC) negli ultimi anni sta prendendo molto piede perché a partire dalle iPSC si possono creare in laboratorio degli organoidi che assomigliano alle strutture o agli organi umani, come ad esempio organoidi di cervello. Nel mio lavoro di ricerca, mi occupo di un'epilessia umana e per far questo costruisco strutture cellulari in 3D, che parzialmente somigliano a mini-cervelli, a partire da cellule di pazienti affetti da questa patologia e cerco di studiare il meccanismo che provoca la epilessia per cercare delle possibili cure (Di Matteo et al, 2020).

Un altro sistema per riprogrammare una cellula e fare variare l'espressione genica è il sistema di editing o modificazione del genoma con la tecnologia CRISPR-CAS. Il sistema CRISPR-CAS è costituito da una proteina che si chiama CAS che funziona come forbice molecolare. Per essere indirizzata sul giusto punto del DNA, questa si associa a una molecola di RNA guida che guida la forbice molecolare sul DNA in una regione precisa. A seguito della rottura sul DNA, la cellula cerca di correggere l'errore con dei meccanismi di controllo e introduce però spesso degli errori. Nella maggioranza dei casi, il gene a valle del punto in cui è avvenuto il taglio viene inattivato. Questo sistema estremamente potente è stato scoperto da due ricercatrici, Emmanuelle Charpentier e Jennifer Doudna, che hanno studiato questo meccanismo usato come difesa immunitaria dai batteri contro infezioni del batteriofago, che sono i virus dei batteri, meritando il Nobel per la Chimica nel 2020. Un'altra potenzialità di questa tecnica è quella di sostituire una copia di DNA con errori, che per esempio provocano una patologia, con la copia di DNA corretta e non patologica. Le potenzialità enormi di questa tecnica sono attualmente in studio in tutto il mondo con l'obiettivo di cercare di essere d'aiuto nel controllo, nella diagnosi e nella cura di patologie genetiche.

BIBLIOGRAFIA

Di Matteo F, Picicelli F, Kyrousi C, Tovecci I, Penna E, Crispino M, Chambery A, Russo R, Ayo-Martin AC, Giordano M, Hoffmann A, Ciusani E, Canafoglia L, Götz M, Cappello S, Di Giaimo R Cystatin B is essential for proliferation and interneuron migration in individuals with EPM1 epilepsy. *EMBO Mol Med.* **2020**, *12*, e11419. <https://doi.org/10.15252/emmm.201911419>

UN ELETTRONE E UN PROTONE

Umberto Scotti di Uccio

Dipartimento di Fisica "E. Pancini", Università degli Studi di Napoli Federico II

L'atomo di Idrogeno è uno dei sistemi quantistici più semplici: contiene un solo elettrone legato a un protone. È del tutto naturale partire da qui per approfondire lo studio della struttura elettronica degli atomi.

In questo breve intervento didattico l'attenzione è stata centrata sulla questione dell'energia meccanica dell'elettrone, dando significato ai grafici di energia del tipo in Figura 1.

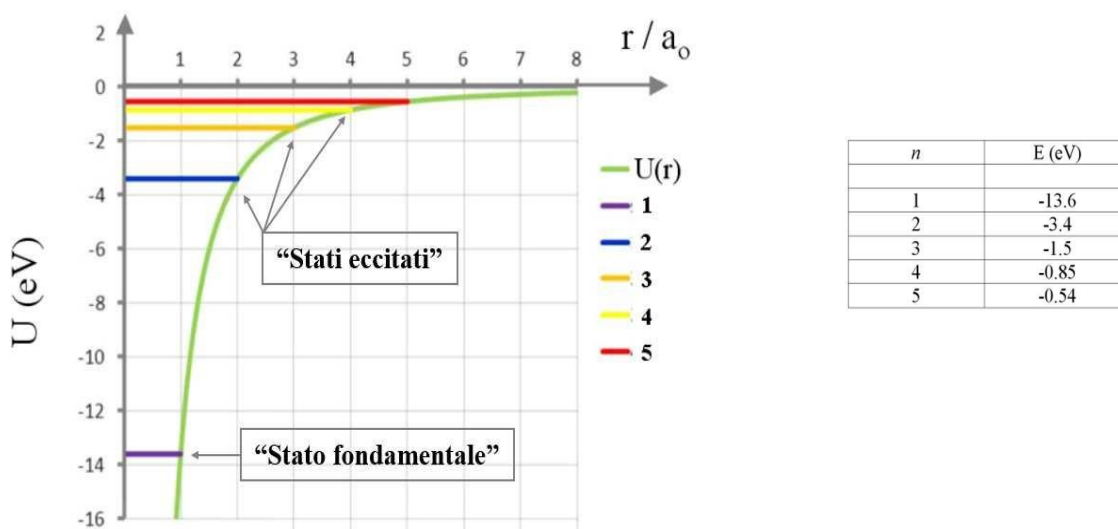


Figura 1. Grafico dell'energia potenziale elettrostatica dell'elettrone nell'atomo di Idrogeno e rappresentazione di alcuni possibili valori di energia meccanica

La figura può essere interpretata ragionando in questo modo:

1. La curva verde è il grafico della funzione

$$U(r) = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r}$$

cioè dell'energia potenziale elettrostatica dell'elettrone (di carica $-e$) posto a distanza r dal protone (carica e). Notiamo che l'asse orizzontale è misurato in unità di a_0 . Questo simbolo identifica il raggio di Bohr, cioè la lunghezza caratteristica del mondo degli atomi: $a_0 = 0.05 \text{ nm}$.

2. I tratti orizzontali colorati rappresentano possibili valori di energia meccanica $E = K + U$.

Per fissare le idee, immaginiamo ora che l'energia meccanica abbia un valore E_1 , cioè quello rappresentato dal trattino viola e indicato come "stato fondamentale". Dalla tabella vediamo che $E_1 = -13.6 \text{ eV}$. Tenendo presente che $1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$, troviamo $E_1 = -22 \times 10^{-19} \text{ J}$.

Consideriamo prima di tutto il punto di vista della **meccanica classica**.

Poiché l'energia meccanica "si conserva", E ha un valore costante durante il moto, cioè $E = E_1$ per qualunque valore di r . Per questo motivo, il grafico che rappresenta l'energia meccanica E in funzione di r è quello di una funzione costante, cioè un trattino viola orizzontale. Notiamo ora che i grafici delle funzioni $U = U(r)$ e $E = E(r)$ si intersecano in un punto che ha ascissa 1 in unità di a_0 . Se dunque $r < a_0$, abbiamo $E > U$ e questo risultato ci va bene, perché l'energia cinetica deve essere sempre positiva e in effetti troviamo $K = E - U > 0$. Ma se per assurdo avessimo invece $r > a_0$, troveremmo $E < U$, che è impossibile perché l'energia cinetica diventerebbe negativa!

Concludiamo dunque affermando che "se valgono le leggi della **meccanica classica**, allora un elettrone con energia E_1 non può mai allontanarsi dal protone più di a_0 ".

Questo ragionamento classico è interessante, ma per l'elettrone in un atomo ci porta a un risultato **completamente sbagliato**! Sperimentalmente si osserva infatti che un elettrone di energia E_1 , pur rimanendo legato al protone, non è vincolato a muoversi all'interno di una sfera di raggio a_0 ma può allontanarsi molto più di tanto. Dobbiamo quindi utilizzare la **meccanica quantistica** per capire come stanno le cose.

La **meccanica quantistica** spiega le osservazioni in questo modo:

1. Non è possibile individuare le traiettorie dell'elettrone, né tanto meno la sua legge oraria. In realtà non è nemmeno possibile conoscere nello stesso istante la sua posizione e la sua velocità
2. Stando così le cose, non siamo in grado di conoscere separatamente sia l'energia cinetica che l'energia potenziale: infatti, per conoscere l'energia cinetica dovremmo conoscere la velocità, per l'energia potenziale la posizione. Tutto ciò che possiamo conoscere è la somma dell'energia cinetica più l'energia potenziale, cioè l'energia meccanica E .
3. Ma allora, non ha più senso la costruzione della meccanica classica che abbiamo fatto per trovare la regione permessa al moto! È sbagliata e, infatti, non corrisponde agli esperimenti.

In conclusione, la **meccanica quantistica** dice questo dell'elettrone nell'atomo di Idrogeno:

1. Possiamo conoscere la sua energia meccanica E ; ma attenzione, sono permessi solo alcuni particolari valori (E_1, E_2, E_3, \dots). Il valore più basso è indicato come "stato fondamentale, gli altri come "stati eccitati". I primi valori possibili sono riportati nella tabella in figura 1);
2. Fissato il valore dell'energia, la meccanica quantistica non permette di stabilire esattamente come si muove l'elettrone;
3. Possiamo però conoscere in quali regioni di spazio è più probabile trovare l'elettrone. Un "orbitale" è esattamente questo: la rappresentazione della probabilità di trovare l'elettrone al variare della posizione intorno al nucleo;
4. Infine, per ciò che abbiamo discusso, segue che c'è sempre una piccola probabilità di trovare l'elettrone anche abbastanza lontano dal nucleo. L'elettrone può fare qualche scappatella, ma tornerà comunque indietro e resterà legato al protone!

STRUTTURA ATOMICA E CONFIGURAZIONE ELETTRONICA

Oreste Tarallo

Dipartimento di Scienze Chimiche, Università degli Studi di Napoli Federico II

Il modello atomico attuale descrive l'**atomo** come costituito da un nucleo centrale e da elettroni che occupano la regione di spazio a questo circostante.

Nel **nucleo**, formato da neutroni (particelle elettricamente neutre), e protoni (particelle dotate di carica elettrica pari a 1.6022×10^{-19} C), si concentra quasi tutta la massa dell'atomo. Il nucleo è molto piccolo, avendo un diametro dell'ordine dei centesimi di picometro. Gli **elettroni** sono invece "distribuiti" intorno al nucleo, in un volume proporzionalmente molto maggiore (essi si muovono infatti nello spazio che circonda il nucleo occupando un volume che è circa 10^{15} volte maggiore di quello del nucleo stesso). Possiedono una massa molto piccola (9.1094×10^{-31} kg, pari a circa 1/1836 della massa del protone) e una carica negativa pari a -1.6022×10^{-19} C (che corrisponde ad un'unità di carica elettrica).

Tra le diverse particelle che costituiscono l'atomo, gli elettroni, trovandosi nella zona più esterna, sono quelli che maggiormente ne influenzano la **reattività**.

Il loro comportamento, come quello di tutte le particelle subatomiche, è però piuttosto difficile da descrivere in quanto regolato da leggi che *sfuggono al nostro intuito*, che si basa invece su esperienze fatte con oggetti di dimensioni molto maggiori.

L'elettrone, infatti, a seconda del tipo di esperimento che si conduce, si comporterà a volte come una minuscola particella di materia, altre volte come un'onda. Come se non bastasse, non è neppure possibile dire che, in un certo istante, l'elettrone *stia* in un qualche posto con la stessa certezza con cui diciamo, per esempio, che una pallina *si trova* in una borsa. Tutto quello che possiamo affermare è che esiste una certa **probabilità** di trovare l'elettrone in una certa regione dello spazio che si trova attorno al nucleo, non in un punto preciso.

- **Orbitali atomici**

Le caratteristiche ondulatorie e corpuscolari degli elettroni cui prima accennavamo (il cosiddetto **dualismo onda-particella**) e il moto degli elettroni nell'atomo possono essere descritti mediante un'equazione che prende il nome di **equazione d'onda**. Le soluzioni dell'equazione definiscono le funzioni d'onda, o **orbitali**. Gli orbitali consentono di descrivere il comportamento dell'elettrone come un'onda stazionaria, rappresentandone la distribuzione nello spazio intorno al nucleo.

Si può dimostrare che queste soluzioni esistono solo per alcune ben precise energie degli elettroni: l'energia dell'elettrone risulta **quantizzata**. Risolvendo l'equazione d'onda si trova che, per specificare ciascuna funzione d'onda (quindi per descrivere ciascun orbitale), sono necessari tre **numeri quantici**: n , ℓ , e m_ℓ . Tali numeri solo correlati fra loro, nel senso che possono assumere solo certe combinazioni di valori (Tabella 1).

Tabella 1.

Numero quantico	Simbolo	Valori possibili
Principale	N	$1, 2, 3, \dots, \infty$
Secondario (o azimutale, o del momento angolare)	ℓ	$0 \leq \ell \leq n - 1$
Magnetico	m_ℓ	$-\ell \leq m \leq +\ell$

Il **numero quantico principale**, n , è il numero quantico più importante in quanto il suo valore è un fattore fondamentale nel determinare l'energia di un elettrone in un atomo. Più elevato è il valore di n , maggiore sarà il livello energetico e quindi l'energia dell'elettrone e maggiore sarà la distanza media

dell'elettrone dal nucleo. Tutti gli orbitali con lo stesso valore di n costituiscono un **livello** (o guscio, in inglese “*shell*”) dell'atomo.

Nel caso dell'idrogeno, ma non negli atomi polielettronici (ovvero con più di un elettrone), tutti gli orbitali con lo stesso valore di n (quindi tutti gli orbitali di un dato livello) possiedono la stessa energia (si dice perciò che sono **degeneri**).

Il **numero quantico secondario**, ℓ , può assumere invece n valori interi, che vanno da 0 a $n-1$. Esso fornisce importanti informazioni circa la forma dell'orbitale e definisce il **sottolivello** (o sottoguscio) a cui appartiene un orbitale.

Un sottolivello di un determinato livello è costituito da tutti gli orbitali con il medesimo valore di ℓ : ad esempio, il livello con $n=1$ contiene un solo sottolivello (quello con $\ell=0$), il livello con $n=2$ contiene due sottolivelli ($\ell=0$ e $\ell=1$), il livello con $n=3$ contiene tre sottolivelli ($\ell=0$, $\ell=1$ e $\ell=2$) e così via. Comunemente, invece di indicare i sottolivelli mediante numeri si usano lettere, secondo la seguente corrispondenza:

Valore di ℓ	
0	S
1	P
2	D
3	F

Possiamo quindi dire, ad esempio, che il livello con $n=3$ comprenderà tre sottolivelli: 3s, 3p e 3d (rispettivamente caratterizzati da $\ell=0$, $\ell=1$ e $\ell=2$).

Infine, ciascun sottolivello è formato da $2\ell + 1$ orbitali, identificabili in base al **numero quantico magnetico**, m_ℓ . Per un dato valore del numero quantico secondario ℓ , il numero quantico m_ℓ può infatti assumere i valori interi da $+\ell$ a $-\ell$, zero incluso, per un totale di $2\ell+1$ valori. Per esempio, nel sottolivello p ($\ell=1$) di un qualsiasi livello n , possono esistere tre orbitali, definiti dai numeri quantici magnetici $+1$, 0 e -1 . Questi orbitali vengono comunemente indicati come p_x , p_y e p_z in quanto il numero quantico magnetico fornisce informazioni circa l'orientazione degli orbitali rispetto ad un asse prefissato.

- *Come si possono rappresentare gli orbitali?*

Per i motivi prima esposti, una maniera conveniente per rappresentare graficamente un orbitale è quella riportata in Figura 1, utilizzando cioè una rappresentazione a *nuvola elettronica*: la densità dei puntini sarà maggiore dove è più facile trovare l'elettrone, mentre sarà minore dove la probabilità diminuisce.

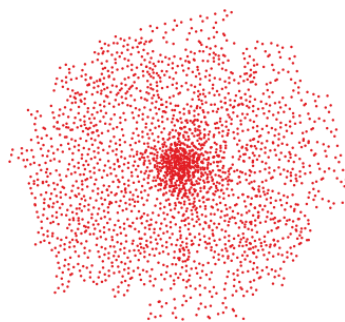


Figura 1

Per questo motivo è bene provare a immaginare l'elettrone che si trova in un atomo come una sorta di *nuvola dai contorni sfumati* (e non come una pallina che ruota attorno al nucleo). Le rappresentazioni degli orbitali che vediamo sui libri vanno a indicare il volume all'interno del quale si ha una probabilità definita (ad esempio $>90\%$) di trovare l'elettrone (Figura 2). A questo proposito vale la pena osservare che la superficie che delimita queste rappresentazioni non è reale: come prima evidenziato, è sempre utile tenere a mente che il nucleo dell'atomo è circondato da una “nuvola elettronica” e non da tanti “sacchetti” dalle forme più o meno esotiche che “contengono” l'elettrone. Quando comunemente diciamo che “un elettrone *si trova* in un determinato orbitale” oppure “*occupa* un certo orbitale”, intendiamo infatti dire che la distribuzione della densità elettronica (o la probabilità

di localizzare l'elettrone nello spazio) è descritta dal quadrato della funzione d'onda associata a quell'orbitale.

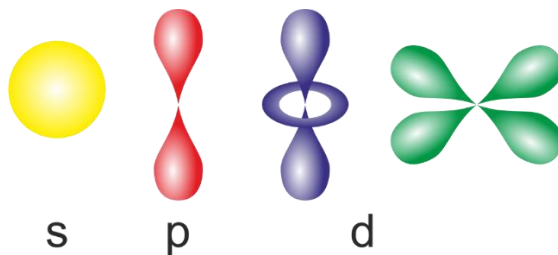


Figura 2

Non tutte le proprietà dell'elettrone possono essere descritte dai tre numeri quantici visti finora. Alcuni dettagli degli spettri atomici si spiegano ammettendo che l'elettrone si comporti come una piccola sfera che ruota su sé stessa (in inglese: *to spin*), attorno a un proprio asse, secondo due versi opposti. A questa rotazione, che genera un piccolo campo magnetico, è associato un quarto numero quantico (anch'esso quantizzato, essendo possibili solo due stati): il **numero quantico magnetico di spin**, m_s . Esso può assumere solo due valori, pari a $+1/2$ e $-1/2$, che vengono simbolicamente rappresentati con una freccia verso l'alto (\uparrow) ed una verso il basso (\downarrow).

- **Configurazione elettronica**

Come precedentemente accennato, gli orbitali si distinguono per l'energia che compete loro e sono raggruppabili in livelli e sottolivelli energetici. Essi possono corrispondere ciascuno a un solo elettrone oppure a due elettroni (diremo quindi che possono essere *occupati* da uno o due elettroni). È escluso che uno stesso orbitale possa essere occupato da più di due elettroni.

È quindi di grande interesse andare a stabilire quale sia la *distribuzione* degli elettroni tra i vari livelli e sottolivelli, ovvero la **configurazione elettronica** di un atomo: da essa, infatti, deriveranno le proprietà chimiche dell'atomo in esame.

Tale distribuzione degli elettroni negli orbitali (operazione nota anche con il termine di *aufbau*) va effettuata sistemando gli elettroni in orbitali di energia via via crescente, a partire da quello a più bassa energia (ovvero l'orbitale 1s). Non è possibile però sistemare tutti gli elettroni dell'atomo in questo orbitale. Il **principio di esclusione di Pauli** stabilisce infatti che due elettroni in un atomo non possono avere tutti e quattro i numeri quantici uguali. Nel processo di riempimento di un sottolivello, cioè di orbitali degeneri, gli elettroni occuperanno prima il numero massimo di orbitali disponibili nel sottolivello, sistemandosi tutti con spin paralleli. Solo dopo, quando non ci saranno più orbitali degeneri vuoti disponibili, verranno appaiati in quelli semipieni. Questa regola, che prende il nome di **principio della massima molteplicità** (o regola di Hund).

Una maniera graficamente accattivante di presentare le configurazioni elettroniche degli atomi è mediante l'uso dei **diagrammi a caselle**: secondo questa simbologia gli orbitali sono rappresentati da quadrati e gli elettroni da frecce il cui verso indica lo spin. Per esempio, quando l'atomo di idrogeno si troverà nel suo stato a minore energia, lo stato fondamentale, il suo unico elettrone occuperà un orbitale del livello energetico più basso disponibile, cioè del livello con $n=1$. D'altra parte, il livello con $n=1$ contiene un solo orbitale, di forma sferica, indicato come orbitale 1s (dove 1 indica il livello n , ed s indica $\ell=0$). Ne discende che l'elettrone che occupa un orbitale 1s è definito dai quattro numeri quantici $n=1$, $\ell=0$, $m_\ell=0$ e $m_s=+1/2$ o $-1/2$. Possiamo allora dire che la configurazione elettronica dell'idrogeno nel suo stato fondamentale, cioè la distribuzione degli elettroni tra i vari livelli, sarà $1s^1$ (si legge "uno esse uno"). Vale la pena osservare infine che, quando si tratta di scrivere la configurazione elettronica di atomi con molti elettroni è particolarmente comodo usare la seguente simbologia (qui riportata per semplicità nel caso dell'atomo di sodio): $[\text{Ne}] 3s^1$

Questa simbologia ci spinge ad osservare che la configurazione dell'atomo di sodio (così come quella di un qualsiasi altro atomo) è descrivibile come costituita da un nocciolo interno completo detto *core* (in questo caso i livelli $n=1$ e $n=2$), ed elettroni attribuibili a un livello energetico "esterno", incompleto, detto *guscio di valenza* (in questo caso $n=3$). Il guscio di valenza è di particolare interesse in quanto è quello che rende conto delle proprietà chimiche dell'elemento.

ESPLORANDO IL NOSTRO PIANETA CON LE ONDE

Ester Piegari e Giuseppina Balassone

*Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e delle Risorse
Università degli Studi di Napoli Federico II,*

Moltissimi sono i fenomeni naturali che avvengono sul nostro pianeta e che possono essere descritti in termini di onde. Le onde sono perturbazioni che si propagano nello spazio e nel tempo e, trasportando energia, ci consentono di ottenere informazioni preziose sulle caratteristiche delle sorgenti che le generano e le proprietà dei mezzi attraverso cui si propagano. Se durante il loro viaggio a oscillare sono le particelle del mezzo in cui avviene la propagazione, le onde sono dette *meccaniche*; se, invece, a propagarsi sono le variazioni di intensità del campo elettrico e magnetico, le onde sono dette *elettromagnetiche*. Entrambi i tipi di onde, meccaniche ed elettromagnetiche, sono utilizzati dai geologi per esplorare il nostro pianeta e ottenere informazioni necessarie non solo allo studio della sua composizione e struttura interna, sia superficiale che profonda, ma anche delle sue risorse e del suo stato di salute.

Le onde meccaniche, dette anche elastiche o sismiche, sono perturbazioni dovute a una deformazione locale del mezzo e poiché esistono diversi modi per deformare un corpo (compressione, flessione, trazione, torsione,...), di conseguenza, esistono diversi tipi di onde sismiche. Viaggiando verso l'interno della Terra, le onde sismiche cambiano velocità e direzione ogni volta che attraversano mezzi con proprietà elastiche differenti. Dagli inizi del secolo scorso, lo studio delle riflessioni e delle rifrazioni dei diversi tipi di onde sismiche ha permesso di scoprire la struttura a strati della Terra, permettendone un'esplorazione indiretta fino al suo nucleo interno, ed è oggi strumento di indagine basilare sia per lo studio della complessa dinamica interna del nostro pianeta in continua evoluzione, sia per la ricerca di risorse naturali quali gas e idrocarburi. La determinazione delle velocità delle onde di compressione (P) e delle onde di taglio (S) permette un'accurata caratterizzazione di rocce e suoli e, in particolare, la stima della velocità media delle onde S nei primi 30 metri dal piano campagna è considerata dalla normativa vigente un parametro indispensabile per gli studi di microzonazione sismica necessari per la valutazione della pericolosità sismica e obbligatori per l'approvazione di strumenti di pianificazione urbanistica.

Le onde elettromagnetiche, diversamente dalle onde meccaniche, permettono un'esplorazione indiretta del nostro pianeta che può raggiungere al più profondità dell'ordine del centinaio di chilometri. Nondimeno, le informazioni che le onde elettromagnetiche ci forniscono sono di grande importanza in un numero crescente di campi di indagine. Le onde elettromagnetiche che permettono le maggiori profondità di investigazione sono le onde a più bassa frequenza che si generano nella ionosfera per effetto della complessa interazione tra il vento solare e la magnetosfera terrestre. Dalla loro propagazione è possibile ottenere informazioni sui contrasti di conducibilità elettrica che, per esempio, ben evidenziano i fenomeni che avvengono in prossimità di una zona di subduzione. Dalle figure di interferenza delle microonde registrate dai satelliti in una stessa area ad istanti diversi è possibile ottenere informazioni sulle deformazioni del suolo e, per esempio, visualizzare le zone di faglia sorgenti di terremoti. Le onde elettromagnetiche emesse nella banda dell'infrarosso per irraggiamento termico consentono di monitorare aree soggette a diversi tipi di rischio, quali ad esempio quelli legati alla fratturazione delle rocce, alla degassazione o alla circolazione di fluidi.

Nelle Scienze della Terra gli studi sui minerali e le rocce, o più in generale sui geomateriali, sono imprescindibili per qualsiasi tipo di indagine, sia di base che di dettaglio. Molto spesso, in considerazione delle dimensioni molto piccole degli elementi costituenti dei geomateriali (minerali, sostanze amorfe, etc.) e dei caratteri anche molto simili osservati alla mesoscala (ad occhio nudo o con una lente di ingrandimento), si rende necessario utilizzare strumentazioni che forniscano informazioni dalla microscala fino alla nanoscala (Mercurio et al., 2019).

Fra le numerose tecniche analitiche utilizzate nel campo della Mineralogia e Petrografia per “decodificare” i geomateriali, la ricerca geologica si avvale primariamente di strumenti che impiegano la radiazione elettromagnetica con lunghezze d’onda nel campo dello spettro visibile, quali i microscopi ottici a luce polarizzata. Accanto a questi, sono diventati indispensabili strumentazioni molto più sofisticate, che impiegano metodi spettroscopici con lunghezze d’onda fuori dal campo dello spettro visibile (come ad esempio i raggi X) e che permettono una maggiore rapidità e precisione nella definizione della natura e della composizione chimica di minerali, vetri e rocce. Ad esempio, ulteriori sviluppi scientifici e tecnologici hanno messo a disposizione degli scienziati che studiano la Terra e i pianeti del Sistema Solare, metodologie e strumentazioni che permettono l’analisi chimica di “ultratracce” contenute in minerali e rocce, anche su microscopiche quantità di campione, fino all’analisi della composizione isotopica dei geomateriali.

In geologia, i campi di applicazione concernenti le interazioni tra geomateriali e radiazione elettromagnetica sono dunque molteplici. Come accennato sopra, un metodo di base per lo studio di minerali e rocce è senza dubbio la microscopia ottica a luce polarizzata, grazie alla quale vengono studiati gli effetti tra i minerali (ed eventuali amorfi) contenuti nelle rocce e la luce visibile (in questo caso, la luce può essere considerata come un fenomeno puramente ondulatorio, rispondendo ai principi dell’ottica geometrica). Pertanto, è possibile caratterizzare i vari costituenti delle rocce, valutando le sostanze otticamente isotrope da quelle anisotrope e studiando i diversi comportamenti ottici legati direttamente alla loro simmetria cristallina. Lo studio al microscopio ottico avviene normalmente mediante le cosiddette “sezioni sottili”, ossia fettine di roccia dello spessore medio di 30 μm e dunque in grado di permettere il passaggio delle onde luminose e l’interazione tra queste ed i materiali solidi (Fig. 1a).

Un altro metodo di indagine dei geomateriali mediante la radiazione elettromagnetica riguarda l’impiego dei raggi X. Essi sono caratterizzati da una lunghezza λ d’onda particolarmente corta, dello stesso ordine di grandezza delle distanze tra atomi disposti in modo ordinato e simmetrico all’interno di un reticolo cristallino. I raggi X sono quindi particolarmente adatti allo studio a scala atomica dei minerali delle rocce ed in particolare si utilizzano i principi della “diffrazione dei raggi X” da parte della materia cristallina; ogni elettrone degli atomi di una determinata sostanza cristallina, per diffusione elastica, diventa centro diffusore secondario di raggi X della stessa λ del fascio che incide sul campione. Tale interferenza risulta essere costruttiva solo in quelle direzioni in cui le onde diffuse da tutti gli atomi sono in coincidenza di fase; i raggi che si vengono così a creare sono i veri e propri raggi diffratti e il sistema di atomi prende il nome di reticolo di diffrazione (nel caso dei minerali, si parla di reticoli tridimensionali). I dati raccolti da questo tipo di analisi possono essere visualizzati, ad esempio, sotto forma di diagrammi di diffrazione o diffrattogrammi, ottenibili anche analizzando pochi mg di materiale; i diffrattogrammi sono vere e proprie “impronte digitali” dei minerali, di conseguenza permettono l’identificazione univoca della sostanza in esame (Fig. 1b).

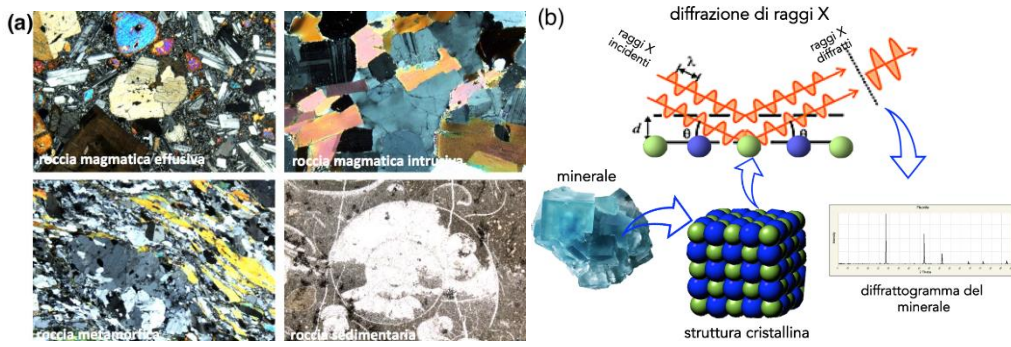


Fig. 1: (a) Immagini di rocce osservate al microscopio ottico polarizzatore in sezione sottile (da <https://www.alexstrekeisen.it/>). (b) Diffrazione di raggi X nei minerali.

BIBLIOGRAFIA

M. Mercurio, A. Langella, R.M. Di Maggio, P. Cappelletti. *Analisi mineralogiche in ambito forense*. Aracne editrice: Canterano (RM), **2019**.

MODELLI MATEMATICI CON APPLICAZIONI IN ECONOMIA ED EPIDEMIOLOGIA

Annamaria Barbagallo e Roberta De Luca

*Dipartimento di Matematica e Applicazioni "Renato Caccioppoli"
Università degli Studi di Napoli Federico II*

Il corso di "Modelli Matematici con applicazioni in economia ed epidemiologia" ha lo scopo di presentare, dopo una breve introduzione ai modelli matematici e al vantaggio di usarli nella predizione di fenomeni naturali, la teoria dei giochi fondamentale per lo studio di problemi di equilibrio di mercati economici e la teoria dell'epidemiologia con particolare riguardo alla pandemia da COVID-19.

La teoria dei giochi studia il comportamento individuale in ambienti sociali in cui le azioni di ciascun individuo influenzano gli altri. Questo strumento di analisi può essere usato per studiare non solo il sistema economico, ma anche altri ambienti sociali, ad esempio la famiglia, la scuola, le relazioni internazionali tra gli Stati.

È possibile definire un gioco come uno scambio sociale con regole prestabilite. Tre sono gli elementi essenziali che costituiscono un gioco:

1. giocatori: agenti razionali;
2. strategie: scelte dei giocatori;
3. pay-off: utilità dei giocatori.

Si definisce **pay-off** di ogni giocatore una funzione che associa a ciascun profilo strategico un numero reale: $U_i: X \rightarrow \mathbb{R}$, dove X è l'insieme di tutte le possibili combinazioni di strategie di tutti i giocatori.

I pay-off (o funzioni di utilità) di ciascun giocatore dipendono dalle strategie scelte da tutti gli altri giocatori e rappresentano le preferenze del giocatore. Formalmente si scrive:

$$U_i(\mathbf{x}) > U_i(\mathbf{x}')$$

quando il risultato che deriva dal profilo di strategie \mathbf{x} è preferito al risultato derivante dal profilo \mathbf{x}' .

Si parlerà di gioco con strategie finite nel caso in cui ogni giocatore ha un numero finito di strategie tra cui scegliere, ovvero X ha un numero finito di elementi. In generale, i pay-off di ciascun giocatore

dipendono dalle scelte di tutti gli altri giocatori. Tuttavia, in alcune circostanze, il giocatore i -esimo

può essere in condizione di fare il seguente ragionamento: «Qualunque cosa scelgano gli altri giocatori, la strategia x_i è strettamente preferibile a qualunque altra strategia x_i' a me disponibile.»

Una strategia $x_i \in X_i$ è detta **strategia dominante forte** se $\forall x_i' \neq x_i$ e $\forall x_{-i} \in X_{-i}$ vale la seguente

disuguaglianza: $U_i(x_i, x_{-i}) > U_i(x_i', x_{-i})$. Se ciascun giocatore ha una strategia dominante forte, la

combinazione di queste strategie è chiamata **soluzione del gioco con strategie dominanti forti**.

Ci sono situazioni in cui un giocatore **non** ha una strategia che gli garantisce un pay-off **strettamente maggiore** rispetto a quello prodotto da tutte le altre strategie, a prescindere dalle scelte degli altri giocatori. Tuttavia, è ancora possibile individuare una strategia disponibile al giocatore che produca un pay-off **maggiore o uguale** a quello prodotto da ogni altra. Questa strategia è detta **dominante debole**.

Formalmente diremo che $x_i \in X_i$, $i \in I$, è una strategia dominante debole se, per ogni $x'_i \neq x_i \in X_i$ e per ogni $j \neq i$, risulta:

$$U_i(x_i, x_{-i}) \geq U_i(x'_i, x_{-i}) \text{ ed esiste } \hat{x}_{-i} \in X_{-i}, \text{ per ogni } j \neq i, \text{ tale che } U_i(x_i, \hat{x}_{-i}) > U_i(x'_i, \hat{x}_{-i}).$$

Se ciascun giocatore ha una strategia dominante debole, il profilo di strategie composto dalle strategie dominanti deboli di tutti i giocatori è la soluzione del gioco. Tale soluzione è chiamata **soluzione in strategie dominanti deboli**.

Si indica con $x_{-i} = (x_1, \dots, x_{i-1}, x_{i+1}, \dots, x_n)$ un profilo di strategie di tutti i giocatori diversi dall' i -esimo e con $x_i^* \in X_i$ una strategia disponibile al giocatore i -esimo. La strategia x_i^* si dice **miglior risposta dato x_{-i}** se non esiste una strategia $x_i \in X_i$ che dà al giocatore i -esimo un pay-off più alto:

$$U_i(x_i^*, x_{-i}) \geq U_i(x_i, x_{-i}), \quad \forall x_i \in X_i.$$

Il profilo di strategie $x^* = (x_1^*, \dots, x_i^*, \dots, x_n^*)$ si definisce **equilibrio di Nash** se per ogni giocatore $i \in I$ la strategia x_i^* è una miglior risposta al profilo di strategia x_{-i}^* di tutti gli altri giocatori. In altre parole, x_i^* è la miglior risposta alle migliori risposte di tutti gli altri giocatori.

In modo formale, il profilo di strategie x^* è un equilibrio di Nash se

$$\text{per ogni } i \in I, U_i(x_i^*, x_{-i}^*) \geq U_i(x_i, x_{-i}^*), \quad \text{per ogni } x_i \in X_i.$$

Si può dire che un profilo di strategie è un equilibrio di Nash se nessun giocatore ha interesse a deviare unilateralmente, ovvero nessun giocatore può aumentare il proprio pay-off scegliendo una strategia diversa da x_i^* quando tutti gli altri scelgono il profilo di strategie x_{-i}^* .

Si osserva che il concetto di equilibrio di Nash è più ampio e richiede meno assunzioni rispetto alle soluzioni che abbiamo studiato in precedenza. Infatti, con vari esempi, si nota che sia le soluzioni in strategie dominanti forti sia le soluzioni in strategie deboli sono equilibri di Nash.

I modelli epidemiologici hanno lo scopo di descrivere la diffusione di un'epidemia in una popolazione, al fine di prevederne l'evoluzione e di attuare strategie di contenimento. In genere vengono utilizzati **modelli compartimentali** in cui la popolazione è divisa in classi disgiunte (compartimenti). I compartimenti maggiormente utilizzati sono indicati con: S, cui appartengono i *suscettibili*, ovvero gli individui sani che possono contrarre l'infezione; E, gli *esposti*, ovvero coloro i quali hanno contratto l'infezione e si trovano nel periodo di incubazione; I, cui appartengono gli *infettivi*, ovvero coloro i quali hanno contratto l'infezione e possono trasmetterla ed R, cui appartengono i *rimossi*, ovvero coloro che sono guariti, deceduti o messi in quarantena. Quanti e quali compartimenti utilizzare nel modello matematico e il meccanismo attraverso il quale gli individui passano dalla classe dei suscettibili a quella degli infettivi, dipende dalla malattia in esame. Ad esempio, se per una malattia il tempo di incubazione è trascurabile, si utilizzerà un modello SIR se l'immunità acquisita è permanente, SIRS se invece l'immunità acquisita è temporanea. Per quanto riguarda il meccanismo di trasmissione delle infezioni, il più semplice dal punto di vista matematico, è la *mass action*, dove si assume che ogni individuo abbia la stessa probabilità di contattare qualunque altro individuo nella popolazione, indipendentemente dai contatti passati. Per poter fornire dei risultati utili ai fini delle applicazioni, si introducono dei parametri adimensionali come il **numero basico riproduttivo** (R_0), definito come il numero di casi infettivi secondari che si sviluppano da un individuo infetto durante il suo periodo di infettività, in una popolazione interamente suscettibile all'*inizio* di una epidemia. Un altro parametro, influenzato da azioni di profilassi e contenimento dell'epidemia (come la vaccinazione) è il **numero di riproduzione effettivo** R_t definito come il numero di casi generati nello stato *attuale* di una popolazione e che dipende dalla frazione (V) di popolazione non suscettibile

(immune all'infezione). Uno dei primi modelli SIR risale al 1927 e fu introdotto da Kermack e McKendrick. In questo modello, la popolazione è divisa in tre classi disgiunte: S, I, R; il periodo di incubazione è trascurabile; l'immunità acquisita è permanente. Si assume che: 1) la popolazione rimane costante durante il periodo in esame: $S + I + R = N$; 2) la probabilità di contrarre il virus è uguale per tutti i suscettibili e rimane costante durante il periodo in esame; 3) il contagio avviene mediante contatto diretto fra un suscettibile e un infetto; 4) il numero di contagi è direttamente proporzionale al numero di incontri tra suscettibili e infettivi; 5) il numero di rimossi è direttamente proporzionale al numero di infetti. In questo modello, R_0 è dato dal prodotto tra la popolazione totale (N) per il tasso di contagio (a) diviso il tasso di guarigione (b). Si dimostra che se $R_0 < 1$ allora l'epidemia verrà eradicata altrimenti essa persisterà nella popolazione. Essendo R_0 direttamente proporzionale ad a ed inversamente proporzionale a b , per impedire il diffondersi di un'epidemia facendo sì che R_0 sia minore di 1, occorre adottare misure di igiene pubblica che riducono la probabilità di contagio (a diminuisce), e mettere in isolamento (quarantena) gli infettivi in zone rosse o in ospedali (b aumenta). Una modifica al modello classico SIR di Kermack e McKendrick, si può ottenere ipotizzando che, all'inizio dell'epidemia, ci sia una porzione di individui vaccinata V (quindi immune all'infezione). In questo caso, il numero basico riproduttivo è dato dal numero basico riproduttivo calcolato in assenza di vaccinazione (R_0) moltiplicato per $(1-V)$. Richiedendo che $R_0(1-V) < 1$, si può calcolare quanti individui occorre vaccinare per scongiurare la persistenza dell'epidemia nella popolazione. Si ottiene che occorre vaccinare almeno $1-1/R_0$ individui. Tale soglia rappresenta **l'immunità di gregge**.

CONVIVERE CON LE RADIAZIONI IONIZZANTI: PIÙ RISCHI O BENEFICI?

Lorenzo Manti

*Laboratorio di Biofisica delle Radiazioni, Dipartimento di Fisica "E. Pancini"
Università degli Studi di Napoli Federico II*

Le radiazioni ionizzanti (RI) sono peculiari in quanto sono capaci di causare effetti deleteri per la salute umana, tra i quali il più temuto e studiato è senza dubbio il cancro, ma, al contempo, rappresentano un prezioso alleato proprio contro i tumori, sia nella diagnostica precoce che nel loro trattamento terapeutico. A questo si aggiunge il fatto che l'esposizione umana alle RI è di fatto ubiquitaria a causa del fondo naturale di radioattività. Molte delle proprietà radiobiologiche delle RI sono fortemente dipendenti dai processi fisici alla base della loro interazione con la materia, ed in particolare con quella biologica. La grandezza fisica che quantifica la quantità di radiazione assorbita in una massa di materiale (biologico) è la dose, definita come l'energia di 1J per 1 kg di materia e ciò rappresenta 1 Gray (Gy); tuttavia, a parità di energia assorbita, ciò che determina la gravità del danno radioindotto a carico della biomacromolecola bersaglio per eccezione, il DNA, è il LET, o Linear Energy Transfer, che riflette la densità di eventi di cessione di energia rilevanti biologicamente (ionizzazioni) per unità di percorso degli elettroni messi in moto dall'assorbimento dei fotoni (tipicamente per effetto fotoelettrico o scattering Compton) o lungo la traccia di particelle cariche pesanti. Dati gli ordini di grandezza in gioco (nucleo cellulare e sue sub-strutture), il LET è tipicamente misurato in keV/ μm . Gli eventi di deposizione di energia associati all'attenuazione dei fotoni, di fatto, sono a basso LET e danneggiano il DNA prevalentemente per azione indiretta, come conseguenza della radiolisi dell'acqua intracellulare, attraverso la generazione di radicali liberi; ioni (ma anche neutroni, a seguito delle reazioni di frammentazione cui danno origine) depositano la loro energia in maniera densamente ionizzante (alto LET) e, quindi, presentano una maggior probabilità di causare, se la loro traccia intercetta il doppio filamento del DNA, cosiddetti *cluster* di danni, ossia alterazioni biochimiche fortemente ravvicinate spazio-temporalmente. Le cellule hanno, nel corso dell'evoluzione, sviluppato efficienti meccanismi di riparazione di danni sia endogeni che esogeni alla cellula. Mentre danni isolati, quali quelli dei fotoni (basso LET) sono di solito facilmente riparabili, i suddetti cluster hanno conseguenze più gravi in termini della compromissione dell'integrità strutturale e funzionale del DNA. Compito della biofisica delle radiazioni, è quindi quello di quantificare tali danni in funzione di parametri fisici (dose, rateo di dose, LET, etc) e biomolecolari quali specifici *pathway* innescati dal complesso meccanismo della *DNA Damage Response*, di elaborare modelli atti a comprendere i meccanismi alla base dell'azione biologica delle RI, e formulare stime di rischio (se in ambito radioprotezionistico) o protocolli ottimali per esposizioni mirate e controllate (se in ambito radioterapico). Il fine ultimo è valutare, nei vari scenari possibili, il giusto compromesso fra rischi e benefici che derivano dalla convivenza con le RI.

IMPARIAMO DALLA NATURA: IL MISTERO E LA MAGIA DEI COLORI IRIDESCENTI

Ugo Caruso

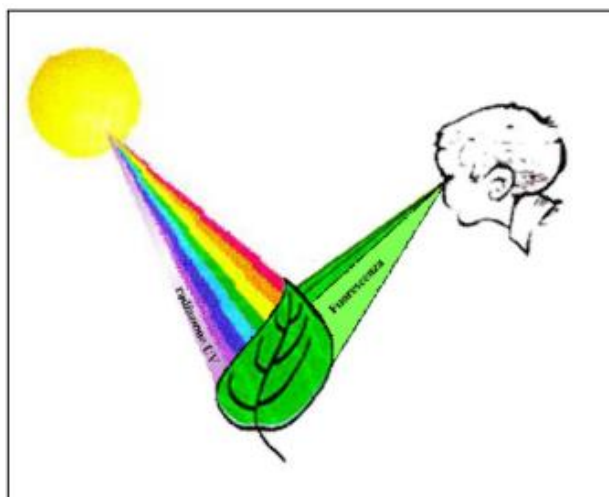
Dipartimento di Scienze Chimiche, Università degli Studi di Napoli Federico II

L'interazione energia-materia, concetto che si è chiaramente sviluppato dagli inizi del '900, è da sempre noto all'uomo, anche se in maniera intuitiva. Il calore del sole che ci avvolge, il nostro medico che ci dice che le lunghe passeggiate al sole favoriscono la sintesi della vitamina D (...e non serve il medico, il cane sonnecchia al sole per lo stesso motivo). Tutte queste conoscenze sono, da sempre, il nostro corredo tradizionale. In effetti, c'è un sottilissimo gioco di equilibri in natura ed in questo equilibrio entrano, a pieno titolo, i colori. In un prato verde, il colore della clorofilla, pigmento essenziale nell'assorbire la luce del sole e trasformarla in bio-energia per la vita della pianta, spiccano fiori dalle tinte vivaci e luminose che servono ad attrarre gli insetti, che posandosi su di essi li fecondano. La luce è energia, e la natura lo sa, e fa di tutto per far apparire i colori appieno nella loro brillantezza. Ne è un esempio il tulipano nero noto come "Regina della notte". In questo il colore iridescente del fiore non è legato solo alla presenza di sostanze coloranti ma anche alle microscopiche 'rughe' che costellano la superficie dei petali e che scompongono la luce come in un prisma riflettendola, poi, sugli stami e sul pistillo [1]. (Questo sistema non vi ricorda l'avveniristico progetto dei pannelli solari a concentrazione?)

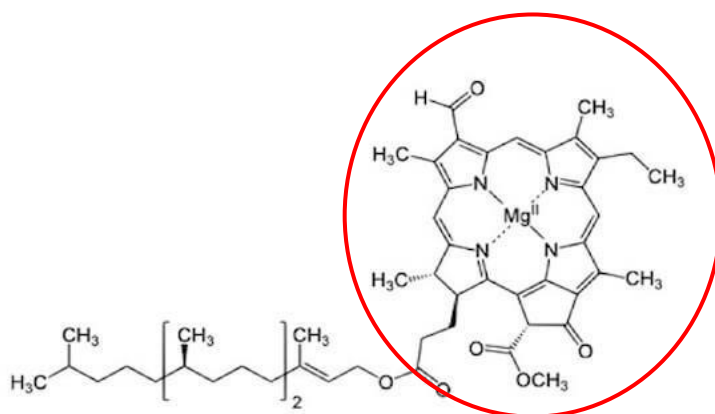
I colori sono la sintesi della funzionalità e del sobrio e gioioso equilibrio della natura. Attirano l'attenzione degli esseri viventi e, allo stesso tempo, assorbono l'energia necessaria ai processi chimici negli organismi viventi.

La domanda classica è perché il mondo che ci circonda appare colorato? Un oggetto appare colorato perché, irradiato dalla luce solare, il cui spettro è un coacervo di vari colori, assorbe quasi tutti i colori restituendo, o più correttamente riflettendo, solo il colore che noi percepiamo. Andando più avanti con gli studi abbiamo imparato che la luce del sole, che ci appare bianca, è formata da un coacervo di radiazioni elettromagnetiche comprese tra i 380 nm e i 780 nm (ovvero tra i 428 THz e i 749 THz, esprimendola in frequenze; 1 Terahertz [THz] = $1,0 \times 10^{12}$ Hertz [Hz]).

Lo spettrofotometro di cui tutti siamo corredati, il nostro occhio, è costruito per percepire solo questa finestra, di quella ben più ampia di radiazioni elettromagnetiche, individuando i vari tipi di onde elettromagnetiche come colori. Quindi un oggetto ci appare colorato di giallo perché assorbe tutte le onde elettromagnetiche ad eccezione di quelle con frequenza compresa in un intervallo tra i 508-526 THz (565-590 nm).



E poi, un altro dubbio: quali sono le sostanze in grado di “catturare la luce del sole ed apparire colorate, o più correttamente di entrare in risonanza con un’onda elettromagnetica di opportuna energia? A questo quesito ha risposto la natura, nel suo immenso laboratorio, sintetizzando delle sostanze che i chimici chiamano composti aromatici altamente coniugati. L’esempio classico è quello della clorofilla, che è alla base del processo metabolico ciclico (noto come ciclo di Calvin-Benson o fotosintesi clorofilliana) che avviene nello stroma del cloroplasto e che utilizza ATP (adenosin trifosfato) e NADPH (Nicotinammide adenina dinucleotide fosfato) provenienti dalla fase luce-dipendente per sintetizzare glucosio. Nella clorofilla, la presenza di quei doppi legami alternati in uno scheletro di anelli aromatici condensati, insieme alla presenza di un atomo di magnesio coordinato, facilita la cattura dell’energia riflette la luce verde (tra 500 e 600 nm) e assorbe principalmente nella parte rossa (430 nm) e blu (662 nm) dello spettro solare e riflette la luce verde (tra 500 e 600 nm); energia che poi sarà usata nei processi di “fotosintesi”.



clorofilla

La diretta conseguenza di quanto affermato è che, fatta eccezione per il bianco perfetto, tutte le sostanze colorate appaiono meno luminose della luce che le investe, ovvero una parte della radiazione luminosa è stata assorbita dal nostro corpo. Ma il gioco dei colori è ancora più sottile. Alcuni oggetti appaiono di un colore più intenso della luce che li ha investiti. Sono quelli che noi chiamiamo colori fluorescenti. Questi sembrano brillare di luce propria, quasi volessero contraddire tutte le nostre conoscenze. E, invece, per spiegare questo fenomeno dobbiamo ancora appellarci alle cognizioni di elettromagnetismo che abbiamo. Dobbiamo ricordare che la radiazione solare che ci investe è composta non solo dalla “luce visibile” ovvero quella compresa tra i 668-789 THz (violetto) e i 400-484 THz (rosso) ma è composta da uno spettro molto più ampio che, fortunatamente, è per gran parte fermato dalla nostra atmosfera. Quel che accompagna la radiazione visibile (380-740 nm), almeno qui sulla Terra, sono i raggi UVA (315-400 nm) e una piccola parte di quelli UVB (280-315 nm), più energetici della radiazione visibile, oltre ad un po’ di raggi IR, meno energetici della radiazione visibile, ma ancora abbastanza energetici per procurarci le scottature per prolungata esposizione al sole. Il fenomeno della fluorescenza è legato a tale comportamento. Proviamo ad immaginare, come detto per gli oggetti colorati, che la nostra sostanza assorba una radiazione a noi invisibile, per esempio quella UV. Dopo aver dissipato una parte dell’energia, riemette una radiazione con energia inferiore. Se l’energia di riemissione è tale da trovarsi nella banda del visibile, allora ci apparirà colorata. Se, invece, dovesse capitare nella regione IR, allora continueremmo a non vederla. Nel caso fortunato in cui il nostro oggetto assorba radiazioni nell’ultravioletto e le emetta nel visibile saremo in presenza del fenomeno della fluorescenza. In tal caso l’oggetto non si limiterà a riflettere la normale quantità di luce colorata, ma emetterà addirittura un po’ di luce dello stesso colore (quella derivante dall’assorbimento UV), apparendo così molto più luminoso (fino a quattro volte) rispetto alla luce incidente.

Le sostanze responsabili di questo gioco di colori e di extra-luminosità, che noi chiamiamo comunemente pigmenti o più aulicamente cromofori, sono sempre quei composti aromatici altamente coniugati, di cui abbiamo parlato prima.

Logicamente, l'intraprendenza e la goliardia del ricercatore sta nell'apprendere il fenomeno e utilizzarlo per ulteriori proficue applicazioni. In particolare, tale tipo di approccio illustra chiaramente il campo delle Applicazioni e degli Studi delle Scienze dei Materiali. Nella lezione sono state illustrate due recenti applicazioni del fenomeno della fluorescenza, e più in generale dell'impiego di sostanze cromofore, è l'uso come sonde ambientali. In due recenti studi [2,3], sviluppati presso l'Ateneo Fridericiano, anche nell'ambito del Piano Lauree Scientifiche, sono stati studiati composti eterociclici il cui percorso di coniugazione, e quindi la comparsa della fluorescenza, è favorito dalla presenza di metalli di transizione. Ed in effetti, tali composti vengono utilizzati come sonde ambientali per determinare la presenza di metalli pesanti nelle acque o sonde di pH in situ.

BIBLIOGRAFIA

1. Rofouie, P., Pasini, D., Rey, A.D., Tunable nano-wrinkling of chiral surfaces: Structure and diffraction optics, *Journal of Chemical Physics*, **2015**, *143*, 114701. <https://doi.org/10.1063/1.4929337>
2. Diana R., Caruso U., Concilio S., Piotto S., Tuzi A., Panunzi B. A real-time tripodal colorimetric/fluorescence sensor for multiple target metal ions. *Dyes and Pigments*, **2018**, *155*, 249-257. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2018.03.055>
3. Diana R, Panunzi B, Tuzi A, Piotto S, Concilio S, Caruso U. An Amphiphilic Pyridinoyl- hydrazone Probe for Colorimetric and Fluorescence pH Sensing. *Molecules*, **2019**, *24*, 3833. <https://doi.org/10.3390/molecules24213833>

TAVOLOZZE BIOLOGICHE: LA PROTEINA FLUORESCENTE GFP E I SUOI USI NELLA RICERCA BIOMEDICA

Nicola Zambrano e Mariangela Succoio

Dipartimento di Medicina Molecolare e Biotecnologie Mediche, Università degli Studi di Napoli Federico II; CEINGE Biotecnologie Avanzate S.C.aR.L., Napoli

Il biochimico giapponese Osamu Shimomura per primo si occupò di studiare dal punto di vista chimico e biochimico gli organismi bioluminescenti acquatici e terrestri; dapprima egli studiò la bioluminescenza prodotta da due organismi: la *Cypridina hilgedorfii*, una specie di crostaceo chiamata anche “luciolina marina” e la comune luciola *Luciola lusitanica*. Il meccanismo di luminescenza di questi organismi si basa su una reazione di ossidazione del substrato fotogeno luciferina ad ossiluciferina, in presenza di ossigeno ad opera dell'enzima luciferasi. Nel 1960 Shimomura dal Giappone si recò a lavorare negli Stati Uniti a Princeton per approfondire e studiare il meccanismo di bioluminescenza riscontrato nella medusa caratteristica dell'oceano Pacifico nord-orientale, dal nome *Aequorea victoria*, così denominata perché raccolta nella baia dell'isola Victoria in Canada. Il meccanismo in questione era completamente diverso rispetto a quello degli organismi animali precedentemente studiati, in quanto non dipendeva da una reazione chimica (fenomeno definito chemiluminescenza) ma da “trasferimenti di energia” tra proteine. Il modello di studio di Shimomura era quello della medusa *Aequorea victoria*, che emette un segnale luminoso utilizzato come richiamo, o per intimidire eventuali predatori; tale segnale è generato grazie a centinaia di piccoli organi, situati sul bordo del suo ombrello ed all'azione di due proteine: una proteina legante il calcio ed un'altra proteina a quel tempo sconosciuta.

Gli studi di Shimomura, protrattisi per circa due decenni, portarono alla purificazione e caratterizzazione delle due proteine, chiarendone il meccanismo nel fenomeno della bioluminescenza (Shimomura *et al.*, 1962, Morise *et al.*, 1974). La prima proteina, chiamata aequorina (dal nome della medusa), emette luce blu quando si lega al calcio, la seconda proteina assorbe la luce emessa dall'aequorina ($\lambda_{\max} = 470 \text{ nm}$) e a sua volta emette una luce verde ($\lambda_{\max} = 509 \text{ nm}$) proprio per questo fu chiamata “proteina verde fluorescente” in inglese Green Fluorescent Protein (GFP). Egli infine riuscì, attraverso tecniche di spettroscopia e di sintesi, a descrivere la struttura chimica del fluoroforo della proteina GFP, cioè quel gruppo di atomi in grado di assorbire la luce blu, ed emettere fluorescenza a seguito di una transizione elettronica (Shimomura *et al.*, 1979). Di certo, Shimomura non poteva immaginare la notevole risonanza e le possibili applicazioni che la sua scoperta avrebbe avuto in futuro.

Un decisivo passo in avanti negli sviluppi delle ricerche di Shimomura fu ottenuto grazie all'utilizzo delle moderne tecniche di clonaggio molecolare, che permisero la produzione di grosse quantità di proteina GFP in laboratorio. Nel 1987 Douglas Prasher, un biologo molecolare dell'Ohio State University, fu il primo ad intuire che le caratteristiche possedute dalla proteina GFP, quali le piccole dimensioni, la fluorescenza e il non necessitare di substrato per la fluorescenza, potessero essere utilizzati per ideare uno dei più straordinari metodi di “cell tracking”. Questa sua intuizione aprì la strada alla straordinaria rivoluzione che ha portato poi la GFP a meritare il premio Nobel. Prasher isolò da *Aequorea victoria* la sequenza di cDNA di GFP (Prasher *et al.*, 1992; Cody *et al.*, 1993) con l'intento poi di fondere, attraverso le metodologie del DNA ricombinante, la GFP a una determinata proteina da studiare e quindi, attraverso tecniche di *imaging*, poterne tracciare l'espressione e il traffico subcellulare. In effetti Prasher incontrò non poche difficoltà, in quanto il vettore esprime la proteina GFP da lui clonato non esprimeva fluorescenza. Nel 1991 non riuscì ad ottenere ulteriori finanziamenti per la ricerca e alla fine, dovette abbandonare la scienza e il mondo accademico trovando lavoro come autista! Il suo lavoro pionieristico fornì spunti a Martin Chalfie e Roger Y. Tsien, che avrebbero poi condiviso con Shimomura il Premio Nobel per la Chimica del 2008, per il lavoro che essi hanno pubblicamente riconosciuto essere sostanzialmente basato sul lavoro di Douglas Prasher.

“Decisi di vedere chi era il “tonto” che aveva vinto il premio Nobel quest'anno.... così aprii il mio portatile e scoprii che quel tonto ero io”. Con queste parole Marty Chalfie, docente alla Columbia University, descrisse come venne a sapere della sua assegnazione del Premio Nobel per la Chimica del 2008 “for the

discovery and development of the green fluorescent protein, GFP”, condiviso con Roger Tsien, e Osamu Shimomura.

In quel tempo Chalfie studiava la funzione di alcuni recettori mecano-sensori nell'organismo modello *C. elegans*, un piccolo verme cilindrico appartenente al *Phylum* dei Nematodi, molto utilizzato per gli studi in campo biologico. Chalfie pensò che *C. elegans*, in quanto trasparente, sarebbe stato un sistema modello utilissimo per poter visualizzare proteine ricombinanti rese fluorescenti con GFP, e studiarne così la sintesi e il destino cellulare. Nel 1994, una studentessa del suo gruppo, Ghia Euskirchen, isolò tramite PCR il mini-gene GFP dal vettore che Chalfie aveva ottenuto da Prasher e, modificandolo opportunamente, lo esprime dapprima in cellule batteriche di *E. coli* (Chalfie *et al.*, 1994). Il laboratorio di Chalfie fu presto in grado di utilizzare promotori noti per esprimere GFP nei neuroni tattili di *C. elegans* e a produrre la prima proteina di fusione con GFP, dimostrando che avrebbe potuto sostituire funzionalmente la proteina originale, e mostrare così il suo destino in una cellula (Wang *et al.*, 1994). Uno dei più fenomenali metodi di “*cell tracking*” era stato inventato.

Ma il maggior contributo alla comprensione del funzionamento della GFP venne da Roger Tsien, professore presso l'Università di San Diego, California. La proteina GFP mostrava alcuni svantaggi, in particolare presentava un doppio picco di eccitazione attribuibile alle proprietà chimiche del cromoforo. Gli studi di Tsien condussero alla realizzazione di una proteina mutante, la GFP S65T, in cui la sostituzione della serina in posizione 65 con una treonina era responsabile di una proteina GFP con un solo picco di eccitazione e una luminosità sei volte più intensa. Questa proteina mutante rappresenta, a tutt'oggi, la proteina fluorescente più comunemente utilizzata nei laboratori di ricerca, nota con il nome di proteina fluorescente verde o EGFP, dove E sta per “*enhanced*”. Nel 1996 Tsien e colleghi descrissero la struttura cristallina della proteina GFP; essa è costituita da 238 amminoacidi, ha un PM di 27.000 Dalton ed è costituita da 11 foglietti beta disposti in circolo a formare una struttura denominata barile- β (*β -barrel* o *β -can*). Inoltre, sono presenti due segmenti ad alfa elica, uno alla base del barile, l'altro lungo il suo asse centrale che contiene il fluoroforo. (Ormo *et al.* 1996). Tsien, inoltre, mise a punto nuove tecniche, produsse molte proteine mutanti, che emettono fluorescenza più rapidamente, con maggiore intensità e anche di diversi colori (Tsien *et al.*, 1998).

Un ulteriore passo avanti fu fatto da un altro scienziato, Sergey Lukyanov, un ricercatore russo che identificò alcune proteine simili alla GFP nei coralli, dotate di una fluorescenza rossa (RFP) (Lukyanov *et al.*, 2000). Un'ampia gamma di colori divenne pertanto disponibile, grazie alle due proteine fluorescenti.

Il premio Nobel per la chimica 2008 ha come protagonista una proteina fluorescente, la GFP, che ha trovato diverse applicazioni in molti settori della Biologia moderna. Le proteine fluorescenti permettono di marcare proteine cellulari, e di studiarne il traffico intracellulare, grazie a tecniche di microscopia che, negli anni, sono diventate sempre più sofisticate e diffuse nei laboratori di ricerca di tutto il mondo. Queste proteine, basate sia su GFP e RFP, permettono anche di identificare, in tessuti, organi e addirittura in organismi, le popolazioni cellulari di interesse, e comprenderne localizzazioni e funzioni. Ad esempio, mai prima della disponibilità della GFP e delle sue varianti furono ottenute immagini di cervello così belle ed informative attraverso tecniche di neuroimaging, come quelle riportate da Livet e colleghi nel 2007 sulla prestigiosissima rivista *Nature*. In tale immagine, i neuroni sembrano un'opera d'arte, un quadro di Pollock! Tramite strategie genetiche sono state generate cellule nervose di cervello di topo che sono in grado di esprimere diverse tonalità di fluorescenza e visualizzare in modo univoco fino ad un centinaio di cellule diverse.

Nei topi “*Brainbow*” (parola che deriva dall'unione di *brain* (=cervello) e *rainbow* (=arcobaleno)), i ricercatori di Harvard attraverso l'utilizzo di diversi vettori di espressione e una strategia basata sul processo di ricombinazione genica sono riusciti a far esprimere, da un singolo promotore, una delle tre proteine fluorescenti GFP-simili (rosso, blu, verde) in numero diverso e in maniera del tutto casuale. Si ottiene una mescolanza di colori ed una tavolozza di 90 colori distinti, un risultato sicuramente straordinario rispetto alle poche tonalità possibili con le tecniche tradizionali. Tale tecnica di neuro-imaging ha permesso ai ricercatori di studiare la morfologia neurale e seguire facilmente il percorso di un neurone, capire da dove parte e dove arriva e con quali altri neuroni viene a contatto. Sarà infatti probabile che neuroni vicini tra di loro abbiano diverso colore, rendendo così più “semplice” la mappatura dei circuiti neurali del cervello.

Il Premio Nobel per la Chimica 2008 ha premiato sia la ricerca di base che le sue potenzialità applicative, dimostrando quanto sia importante un equilibrio tra entrambe. Mentre l'interesse principale di Shimomura era esclusivamente lo studio chimico della proteina GFP e il suo ruolo nel fenomeno di bioluminescenza in

Aequorea victoria, Chalfie e Tsien erano interessati alle applicazioni pratiche che potessero avvalersi dell'utilizzo della GFP e delle sue varianti. Quindi, i loro interessi furono, rispettivamente, quelli di far esprimere in organismi viventi proteine di fusione fluorescenti per studiarne localizzazione e funzioni, e di mettere a punto versioni più luminose, più fotostabili, con un ampio spettro di colori. L'assegnazione di questo premio Nobel evidenzia, come in tanti altri casi, quanto sia importante la ricerca di base; essa può aprire le porte a diverse applicazioni biotecnologiche, e condurre spesso a scoperte inattese.

BIBLIOGRAFIA

1. O. Shimomura, F. H. Johnson and Y. Saiga. Extraction, Purification and Properties of Aequorin, a Bioluminescent Protein from the Luminous Hydromedusan, *Aequorea*. *J. Cell. Comp. Physiol.*, **1962**, *59*, 223–229. <https://doi.org/10.1002/jcp.1030590302>.
2. H. Morise, O. Shimomura, F. H. Johnson and J. Winant, Intermolecular energy transfer in the bioluminescent system of *Aequorea*, *Biochemistry* **1974**, *13*, 2656–2662. <https://doi.org/10.1021/bi00709a028>.
3. Shimomura, O. Structure of the chromophore of *Aequorea* green fluorescent protein. *FEBS Lett.* **1979**, *104*, 220–222. [https://doi.org/10.1016/0014-5793\(79\)80818-2](https://doi.org/10.1016/0014-5793(79)80818-2)
4. Prasher, D. C., V. K. Eckenrode, W. W. Ward, F. G. Prendergast M. J. Cormier. Primary structure of the *Aequorea victoria* green-fluorescent protein. *Gene* **1992**, *111*, 229–233. [https://doi.org/10.1016/0378-1119\(92\)90691-H](https://doi.org/10.1016/0378-1119(92)90691-H)
5. Cody, C. W., D. C. Prasher, W. M. Westler, F. G. Prendergast W. W. Ward. Chemical structure of the hexapeptide chromophore of the *Aequorea* green-fluorescent protein. *Biochemistry* **1993**, *32*, 1212–1218. <https://doi.org/10.1021/bi00056a003>
6. Lukyanov, K. A., A. F. Fradkov, N. G. Gurskaya, M. V. Matz, Y. A. Labas, A. P. Savitsky, M. L. Markelov, A. G. Zaraisky, X. Zhao, Y. Fang, W. Tan S. A. Lukyanov. Natural animal coloration can be determined by a nonfluorescent green fluorescent protein homolog. *J. Biol. Chem.* **2000**, *275*, 25879–25882. <https://doi.org/10.1074/jbc.C000338200>
7. M. Chalfie, Y. Tu, G. Euskirchen, W. W. Ward and D. C. Prasher. Green Fluorescent Protein as a Marker for Gene Expression. *Science*, **1994**, *263*, 802–805. <https://doi.org/10.1126/science.8303295>
8. S. X. Wang and T. Hazelrigg. Soluble, highly fluorescent variants of green fluorescent protein. *Nature*, **1994**, *369*, 400–403. <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1005991617182>
9. Tsien, R. Y. The green fluorescent protein. *Annu. Rev. Biochem.* **1998**, *67*, 509–544. <https://doi.org/10.1146/annurev.biochem.67.1.509>
10. M. Ormo, A. B. Cubitt, K. Kallio, L. A. Gross, R. Y. Tsien and S. J. Remington. Crystal structure of the *Aequorea victoria* green fluorescent protein. *Science*, **1996**, *273*, 1392–1395. DOI: 10.1126/science.273.5280.1392
11. Livet J., et al. Transgenic strategies for combinatorial expression of fluorescent proteins in the nervous system. *Nature* **2007**, *450*, 56–62. <https://www.nature.com/articles/nature06293>
12. Soňa Legartová, Jana Suchánková, Jana Krejčí, Alena Kovaříková, Eva Bártová. Advanced Confocal Microscopy Techniques to Study Protein-protein Interactions and Kinetics at DNA Lesions. *Biology*, **2017** <https://www.jove.com/v/55999/advanced-confocal-microscopy-techniques-to-study-protein-protein>
13. Marc Zimmer. GFP: from jellyfish to the Nobel prize and beyond. *Chem. Soc. Rev.* **2009**, 2813–2968. <https://doi.org/10.1039/B904023D>.
14. Sasso E, Vitale M, Monteleone F, Boffo FL, Santoriello M, Sarnataro D, Garbi C, Sabatella M, Crifò B, Paoletta LA, Minopoli G, Winum JY, Zambrano N. . Binding of carbonic anhydrase IX to 45S rDNA genes is prevented by exportin-1 in hypoxic cells. *Biomed Res Int.* **2015** <https://doi.org/10.1155/2015/674920>.

IL MISTERO DELLA CHIMICA DELL'UNIVERSO

Cristina Puzzarini

Dipartimento di Chimica "Giacomo Ciamician" Università di Bologna

La scoperta delle molecole

Il mondo che conosciamo e che tocchiamo con mano ogni giorno è interamente costituito da molecole: l'aria che respiriamo, il cibo che mangiamo, gli oggetti che maneggiamo. E lo spazio? Più del 90% dell'universo è costituito da energia e materia oscura, atomi e molecole ne costituiscono solo circa il 4%. La maggior parte di questa materia atomico/molecolare è costituita da idrogeno (H) ed elio (He), gli atomi più leggeri, mentre il contributo di elementi più pesanti, come carbonio (C), azoto (N) e ossigeno (O), ammonta solo al 2%. Nonostante ciò, la loro presenza rende possibile una vastità di composti chimici, rende pertanto possibile una chimica ricca, simile a quella che conosciamo, a quella che ha luogo sul nostro pianeta. Gli atomi più leggeri, idrogeno, deuterio (D, isotopo dell'idrogeno) ed elio, insieme a piccole quantità di litio (Li) sono stati prodotti nel corso del Big Bang. Gli elementi più pesanti sono stati prodotti poco a poco nelle stelle nel corso della lunga storia dell'universo e distribuiti nel mezzo interstellare dalle esplosioni delle supernove e dai processi di perdita di massa delle stelle. Se di notte, lontano dalle luci della città, guardiamo il cielo, lo vediamo ricco di stelle e sembra che non ci sia nulla tra una stella e l'altra: il cielo ci appare come un grande spazio vuoto. In prima approssimazione quest'idea non è del tutto errata, ma come spesso accade, la piccola quantità fa una grandissima differenza. Possiamo infatti definire come mezzo interstellare (spesso abbreviato in ISM, dall'inglese InterStellar Medium) il materiale rarefatto costituito da gas (atomi e molecole) e polvere che si trova tra le stelle all'interno di una galassia.

L'idea dello spazio interstellare come spazio vuoto non è in realtà stata scardinata da molto tempo. Fu nel 1904 che l'astronomo tedesco Johannes Hartmann scoprì il gas interstellare. La scoperta si verificò mentre stava osservando la stella "Delta Orionis" (si tratta della stella più a destra della cintura d'Orione ed è nota ufficialmente come "Delta Orionis", ma anche come "Mintaka") per determinarne la velocità radiale. Quello che Hartmann notò è che lo spettro di questa stella conteneva righe di assorbimento intense del calcio ionizzato (Ca^+) che chiamò "righe stazionarie" e che interpretò affermando che la nube dovesse essere costituita da "vapori di calcio". Ventisei anni più tardi, nel 1930, lo svizzero Robert Trumpler scoprì la polvere interstellare. Nel corso dei suoi studi sugli ammassi globulari (un insieme sferoidale di stelle che orbita come un satellite intorno al centro di una galassia) notò che la loro luminosità era più bassa di quanto ci si aspettasse e come le loro stelle apparissero rosse. Questo fenomeno fu spiegato con la presenza di polveri interstellari all'interno del disco galattico, che assorbivano alcune bande spettrali (in maniera più semplice: assorbivano della luce) riducendone così la luminosità. Dopo queste prime scoperte, si arrivò a capire che il mezzo interstellare consiste di una miscela piuttosto rarefatta di ioni, atomi, molecole e grani di polvere. Il 99% della materia (in termini di massa) è costituito dai gas, mentre il restante 1% dalle polveri. Il gas è composto mediamente per il 90% da idrogeno e per il 10% da elio, con tracce di elementi più pesanti, molecole inorganiche e organiche.

Uno degli aspetti più interessanti ed importanti dell'evoluzione della materia nell'universo è l'evoluzione molecolare. La prima evidenza sperimentale di molecole presenti nel mezzo interstellare risale a poco più di 75 anni fa. Utilizzando il telescopio Hooker di Mount Wilson, lo stesso con cui Edwin Hubble scoprì l'espansione dell'universo, nel 1940 l'astronomo Andrew McKellar identificò righe spettrali attribuibili ai radicali cianogeno (CN) e metilidinio (CH). L'anno successivo (1941) il

futuro premio Nobel per la chimica (1971) Gerhard Herzberg dimostrò che l'osservazione di specifiche emissioni nel mezzo interstellare dovesse essere attribuita al catione metilidinio (CH^+). Circa 10 anni più tardi, nel corso del quarto simposio dell'Unione Astronomica Internazionale tenutosi a Manchester nel 1955, il futuro premio Nobel (1964) Charles Hard Townes suggerì per la prima volta la possibilità che le transizioni rotazionali potessero essere utilizzate come “impronte digitali” per lo studio e l'identificazione delle molecole nell'universo. Sorprendentemente tale suggerimento non ricevette molta attenzione da parte del mondo dell'astronomia. D'altronde, in quegli anni era ancora largamente diffusa l'idea che il mezzo interstellare fosse un ambiente estremamente ostile alla formazione di molecole. In effetti, rispetto alle condizioni fisiche tipiche della Terra, quelle delle nubi interstellari sono estreme in termini sia di temperatura (10-100 K; da -263°C a -173°C) che di densità ($1\text{-}10^7$ particelle per cm^3). Nonostante lo scetticismo iniziale, la radioastronomia prese piede e portò rapidamente all'identificazione delle prime molecole poliatomiche: l'ammoniaca (NH_3) nel 1968, l'acqua (H_2O) e la prima molecola organica (formaldeide, H_2CO) nel 1969, l'acido cianidrico (HCN), il monossido di carbonio (CO) e il metanolo (CH_3OH) nel 1970, l'acido formico (HCOOH) e la formamide (H_2NCHO) nel 1971. Queste scoperte furono chiaramente accompagnate da vivida sorpresa e grande eccitazione in quanto portarono a scardinare la convinzione che il mezzo interstellare fosse un luogo ricco di atomi, ma troppo ostile per le molecole.

Dopo queste prime identificazioni, fu presto chiaro come in realtà il mezzo interstellare fosse la “casa” di uno svariatissimo e diversissimo numero di molecole. La scoperta di nuove molecole è proseguita a grandi passi nei decenni successivi fino ad arrivare ai giorni nostri all'identificazione di circa 250 molecole interstellari e circumstellari. Circa cento di queste specie molecolari contengono 6 o più atomi. Per tale motivo sono definite come complesse dagli astronomi, anche se dal punto di vista chimico la loro complessità è decisamente limitata, e poiché contengono almeno un atomo di carbonio, sono anche molecole organiche. Si tratta quindi delle cosiddette molecole organiche complesse, spesso “amichevole” definite come “COMs”, acronimo della loro definizione in lingua Inglese: complex organic molecules. L'aggettivo “organico” ha origini storiche in quanto anticamente si pensava che le sostanze provenienti da organismi viventi (e per questo contenenti carbonio), indifferentemente vegetali o animali, possedessero proprietà particolari derivanti proprio dalla loro origine “vivente”. Il solo fatto che nello spazio, in un ambiente così inospitale non solo per le bassissime temperature e densità, ma anche per la presenza di radiazioni ionizzanti (raggi cosmici e radiazioni UV), possa trovarsi una tale varietà di molecole organiche suggerisce scenari inaspettati sulla possibilità che possa svilupparsi la vita al di fuori della Terra. Tra le osservazioni più recenti di molecole organiche, particolarmente intrigante è la scoperta nel 2016 della prima molecola chirale (cioè non sovrapponibile alla propria immagine speculare) negli spazi interstellari, il metilossirano (anche chiamato ossido di propilene, $c\text{-CH}_3\text{CHCH}_2\text{O}$). L'interesse è dettato dal fatto che l'affermarsi della vita, almeno per come la conosciamo noi, non solo ha come condizione necessaria proprio la rottura della simmetria nelle molecole biologiche e pre-biologiche, ma soprattutto si basa su quella che viene chiamata “omochiralità”, cioè solo una delle due possibili immagini speculari è presente nel mondo vivente. In questa direzione lo spazio ha riservato sorprese anche maggiori. Nel 1969, nei pressi del villaggio rurale di Murchison (nella parte settentrionale dello stato australiano Victoria) cadde una meteorite di tipo carbonaceo, quella che poi è diventata nota come meteorite di Murchison, una delle meteoriti più famose e studiate fino a giorni nostri. La sua fama è legata alla presenza in essa di oltre 80 diversi amminoacidi, composti organici che sono alla base della biochimica, cioè della chimica della vita. Più recentemente, nel 2016, ROSINA (lo spettrometro di massa a bordo della sonda spaziale Rosetta) ha permesso l'identificazione nella “chioma” della cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko della glicina, il più piccolo amminoacido, e del fosforo (P), un altro elemento chimico fondamentale per l'origine della vita.

La nascita delle molecole

La scoperta di molecole nel vasto e complesso universo ha portato quindi alla nascita di questa nuova disciplina scientifica che è l'astrochimica, di cui tale scoperta è solo il punto di partenza. Abbiamo visto come la sinergia tra radioastronomia e spettroscopia molecolare sia l'artefice delle fondamenta da cui l'astrochimica prende vita, ma ancora non abbiamo affrontato il mistero alla base della formazione di molecole, anche piuttosto complesse, in un ambiente che sembra tanto refrattario ad ogni tipo di reattività, e anzi – tutt'al più – presenta un carattere “distruttivo”. Lo scenario che le cosiddette nubi molecolari e quelle diffuse presentano nel mezzo interstellare è quello che sulla Terra definiremmo un “gelido vuoto”. Le temperature sono bassissime: vanno dai 10 ai 100 K, temperature che, tradotte nella scala di gradi centigradi (molto più consona alla vita di tutti i giorni di quella dei gradi Kelvin, K), vanno dai -263 °C ai -173 °C. Temperature spaventosamente basse se pensiamo che la temperatura del Polo Sud (il posto più freddo sulla Terra) oscilla tra una temperatura minima media di -66 °C (nell'inverno polare) ad una temperatura massima di -25 °C (nel corso dell'estate polare). La densità di queste nubi è estremamente bassa: varia da 1 a 10^7 (da 1 a dieci milioni) di particelle per cm^3 , da confrontarsi con una densità di circa 10^{19} (dieci miliardi di miliardi) molecole per cm^3 dell'aria sulla Terra a livello del mare e di 10^{10} (dieci miliardi) molecole per cm^3 propria di una camera ad alto vuoto in un laboratorio di spettroscopia. Eppure, in queste condizioni così estreme si formano molecole che a loro volta reagiscono tra loro per formare molecole di maggiori dimensioni. Ma com'è possibile? Come può verificarsi ciò?

Fin dall'inizio degli anni settanta, dopo la scoperta delle prime molecole, è emerso il desiderio di capire come tali molecole si fossero prodotte in condizioni tanto estreme. Le condizioni fisiche precedentemente descritte pongono dei severi vincoli a ciò che può di fatto avvenire in quello che abbiamo definito come “gelido vuoto”. È ad esempio impensabile, a causa delle bassissime densità, che possano incontrarsi più di due specie, siano esse atomiche o molecolari. Quindi si può esclusivamente pensare a schemi di formazione delle molecole a partire dall'incontro di due reagenti: due “palline” che scontrandosi non rimbalzano via come se fossero due biglie inerti. Inoltre, l'energia a disposizione delle reazioni chimiche è notevolmente limitata. La temperatura, che è un'importante fonte di energia (la cosiddetta energia termica), è estremamente bassa e quindi le specie chimiche per poter reagire si devono esclusivamente affidare all'energia che posseggono, senza “aiuti” esterni. Il punto di partenza fu quindi la presenza di radiazioni ionizzanti in grado di produrre atomi ionizzati (con un grado di ionizzazione che varia da 10^{-4} (0,0001) a 10^{-8} (0,00000001)), cioè carichi positivamente, ed elettroni, che a loro volta potessero reagire con atomi neutri. I primi modelli di reattività chimica sviluppati si basarono infatti esclusivamente su reazioni tra ioni e molecole e furono in effetti in grado di razionalizzare le abbondanze molecolari derivate dalle osservazioni astronomiche. Ma, a mano a mano che nuove molecole venivano scoperte, emerse l'importanza del ruolo ricoperto da reazioni tra molecole neutre, in particolare quelle in cui almeno uno dei due reagenti fosse una specie radicalica, cioè una specie molecolare (o atomica) altamente reattiva. Il quadro delle reazioni in fase gassosa venne completato dalle cosiddette reazioni di ricombinazione dissociativa in cui un catione molecolare (cioè una molecola con una carica positiva) reagisce con un elettrone per dare una molecola neutra instabile che, a sua volta, si dissocia (cioè si rompe) per dare due molecole.

Ben presto però emerse l'incapacità dei modelli di reattività in fase gassosa di spiegare correttamente sia il tipo di molecole scoperte in particolari regioni del mezzo interstellare sia l'abbondanza di tali molecole. Si rese pertanto necessario trovare altri percorsi di reazione. Per poterli discutere è però indispensabile aprire una parentesi sulla struttura chimica del mezzo interstellare. Fino ad ora abbiamo parlato di atomi e molecole, ma la materia interstellare è composta (come precedentemente accennato) oltre che da gas atomico e molecolare, anche da grani di polvere. Il cuore di questi grani è costituito per la maggior parte da silicati non volatili (come, ad esempio, le olivine) e da composti carboniosi; mediamente il loro raggio è di $0.1 \mu\text{m}$ ($0,000001 \text{ m}$; $0,0001 \text{ cm}$). Nelle nubi molecolari questo cuore

centrale è ricoperto da un mantello che consiste quasi esclusivamente di ghiaccio “contenente” varie molecole, cioè quest’ultime sono adsorbite sullo strato di ghiaccio. Il ruolo di questi grani è molto importante perché le molecole adsorbite su di essi sono protette dalla dissociazione o ionizzazione causate dalla radiazione UV in quanto quest’ultima viene riflessa o assorbita dal grano stesso. Tuttavia, il ruolo dei grani non si limita alla protezione delle molecole, ma riveste un ruolo attivo nella loro produzione: i grani adsorbono atomi e molecole sulla loro superficie, fornendo così loro l’opportunità di dare vita a reazioni chimiche. Oltre alle interazioni su grano, si possono avere quelle che vengono definite reazioni grano-gas, in cui l’interazione avviene tra un atomo/molecola adsorbita sul grano e una molecola presente nella fase gassosa. Quindi diverse sono le possibili “strade” sintetiche che possono portare alla formazione di molecole complesse. C’è un meccanismo più importante di un altro? Possiamo fornire una “ricetta” per dire quando una molecola si forma in seguito ad una reattività che ha luogo completamente in fase gassosa e quando invece si produce solo su grano? Sappiamo spiegare come si sono formate tutte le molecole scoperte nello spazio? A queste domande manca ancora una risposta e lo sforzo per capire la chimica interstellare è storia dei nostri giorni.

Le origini della vita

Una delle prime teorie sull’origine della vita sulla Terra risale al 1924 e fu avanzata da Alexander Oparin, che postulò la presenza di primitive vescicole auto-replicantesi, antecedenti all’evoluzione della struttura del DNA. Indipendentemente da quale sia il modello corretto, ci deve essere stata alla base di tutto la disponibilità di molecole prebiotiche ed è su di esse che vogliamo concentrare la nostra attenzione. Si sono prodotte sulla Terra o sono venute da lontano?

Le teorie più accreditate per la presenza di molecole prebiotiche sulla Terra primordiale sono due: quella della *sintesi endogena* e quella dell’*origine esogena*. La prima teoria fonda le sue basi sull’esperimento di Miller-Urey, che prende il nome dagli scienziati che lo condussero: Stanley Miller e il suo docente, il premio Nobel per la chimica Harold Urey. Questo esperimento permise di dimostrare come molecole organiche prebiotiche e pre-biologiche potessero essere generate per mezzo di processi chimici abbastanza semplici a partire da sostanze inorganiche. L’idea alla base è la convinzione che l’atmosfera della Terra primordiale fosse ricca di ammoniaca, metano e idrogeno. Miller dimostrò che tali composti, se sottoposti ad una sorgente di energia come, ad esempio, una scarica elettrica, possono reagire con l’acqua e portare alla produzione di amminoacidi e delle basi azotate presenti negli acidi nucleici. L’esperimento fornì quindi un supporto alle teorie di Aleksandr Oparin e John Burdon Sanderson Haldane che ipotizzavano appunto che le condizioni della Terra primordiale fossero tali da permettere la formazione abiotica di molecole organiche. In conclusione, la sintesi endogena afferma che le molecole prebiotiche necessarie per lo sviluppo della vita si siano originate direttamente sulla Terra. Completamente differente è la teoria esogena che afferma che le molecole organiche non si siano formate sul nostro pianeta, ma bensì vi siano arrivate dallo spazio. Alla base di questo convincimento ci sono da un lato le molecole prebiotiche scoperte nel mezzo interstellare e dall’altro i “mattoni” pre-biologici trovati nelle meteoriti. Particolarmente importante in questo contesto è la meteorite di Murchison che, come puntualizzato in precedenza, è stato scoperto contenere un elevatissimo numero di amminoacidi. Le prime analisi della composizione di questa meteorite misero in evidenza che gli aminoacidi erano presenti in miscela racemica, cioè contenevano in parti uguali sia la forma destrogira che quella levogira. Questo punto è particolarmente importante perché la maggior parte degli aminoacidi è chirale e quindi esiste in due forme: una l’immagine speculare dell’altra, la forma levogira e destrogira appunto. Il fatto importante è che sulla Terra le forme viventi producono solo una delle due forme speculari (dette, in gergo tecnico, enantiomeri), esiste quindi un’asimmetria, detta omochiralità. La presenza invece di una miscela racemica è da considerarsi la dimostrazione dell’origine extraterrestre del materiale. Tuttavia, successive analisi più accurate hanno messo in evidenza un eccesso enantiomerico per alcuni di questi amminoacidi. Questo risultato però non ha messo in discussione la sorgente extraterrestre di tali aminoacidi in quanto

presentano una composizione isotopica differente da quella terrestre. Le molecole organiche della meteorite di Murchison sono quindi un tassello a sostegno dell'ipotesi secondo cui esse, o addirittura la vita stessa, siano arrivate sul nostro pianeta dall'esterno.

BIBLIOGRAFIA

1. COSMO di Carl Sagan, Mondadori, **2009**
2. Astrobiologia: le frontiere della vita di Giuseppe Galletta e Valentina Sergi, Hoepli, **2005**
3. Introduction to Astrochemistry di Satoshi Yamamoto, Springer, **2018**
4. Astrochemistry: from Astronomy to Astrobiology di Andrew M. Shaw, Wiley, **2006**

5. ALLA RICERCA DI UN'ALTRA TERRA

Giovanni Covone, Francesco Gallo, Riccardo Maria Ienco

Dipartimento di Fisica "E. Pancini", Università degli Studi di Napoli Federico II

Siamo soli nell'Universo? La Terra è l'unico pianeta ospitale per la vita? Queste domande sono state oggetto di speculazione filosofica da oltre duemila anni. Il dibattito ha visto il confronto tra i pluralisti (come Democrito, Keplero e Bruno) che hanno argomentato l'esistenza di innumerevoli altri mondi abitati, ed i sostenitori dell'unicità della Terra (come Aristotele). L'argomento principale dei pluralisti era basato sulla infinitezza del cosmo e sull'esistenza della stessa materia, soggetta alle stesse leggi. Nel 1584, scriveva nel "De l'infinito Universo et Mondi": *"Uno lo spacio immenso in cui sono innumerabili ed infiniti globi, come vi è questo in cui viviamo e vegetamo noi. In esso sono infiniti mondi simili a questo, e non differenti in genere da questo."*

Noi siamo fortunati a vivere nella prima epoca storica in cui è possibile cercare di dare una risposta su basi scientifiche a queste domande. Il primo pianeta extrasolare (Pegasi 51b) è stato scoperto nel 1995, ma si tratta di un pianeta molto diverso da quelli noti nel Sistema Solare. Pegasi 51b è un pianeta gassoso gigante così vicino alla sua stella da compiere un'orbita in solo quattro giorni (Mercurio, il pianeta più vicino al Sole impiega 88 giorni). Ad oggi, sono stati scoperti quasi cinquemila pianeti, e sappiamo che probabilmente tutte le stelle si formano insieme ad un sistema di pianeti. Tuttavia, non abbiamo ancora scoperto un pianeta che possa essere definito simile alla Terra o abitabile. Se osserviamo il Sistema Solare, comprendiamo immediatamente che il cosmo non è in generale un luogo ospitale per la vita, così come la conosciamo sulla Terra. La Luna, il corpo celeste a noi più vicino, è completamente desolata. Venere, il pianeta più simile alla Terra come dimensione e struttura, è coperto da una spessa atmosfera di anidride carbonica con temperatura di quasi 500 gradi centigradi sulla superficie. Marte forse ha offerto per un breve periodo condizioni più favorevoli alla vita: era coperto da laghi e fiumi. Ma inesorabilmente, a causa dell'assenza di un forte campo gravitazionale e di un campo magnetico, ha perso quasi completamente la sua atmosfera, ed ora è un pianeta deserto senza acqua liquida in superficie. Per cercare un pianeta abitabile, dobbiamo cercare intorno ad altre stelle.

L'osservazione diretta di un pianeta come la Terra è ancora ben al di là delle presenti capacità tecnologiche. Per cercare pianeti extrasolari di piccole dimensioni, la tecnica attualmente più efficace è quella dei transiti fotometrici. Gli astronomi osservano simultaneamente un grande numero di stelle, cercando di cogliere piccole e periodiche variazioni di luminosità: quando un pianeta in orbita intorno ad una stella, le transita davanti (dal nostro punto di vista sulla Terra) allora la stella appare diminuire leggermente in luminosità. L'idea è semplice ma la sua realizzazione pratica è stata possibile solo negli ultimi 15 anni per due motivi. Prima di tutto, è necessario monitorare migliaia di stelle contemporaneamente, perché l'osservazione di un transito richiede un allineamento pressoché perfetto di stella-pianeta extrasolare e Terra. Ed inoltre, la diminuzione di luminosità è di circa una parte su mille o una parte su diecimila per un pianeta simile alla Terra.

Il nostro gruppo di ricerca partecipa attivamente alla ricerca di pianeti con il telescopio spaziale Transiting Exoplanet Survey Satellite TESS, costruito dalla NASA ed operativo dall'autunno del 2018. Grazie ad esso abbiamo scoperto a fine 2019 un pianeta ragionevolmente simile alla Terra (Gilbert et al. 2020).



Rappresentazione artistica di TOI 700d, il primo pianeta di dimensioni terrestri e nella fascia abitabile scoperto dal telescopio della NASA, TESS. Credit: NASA.

Si tratta di TOI 700d, distante 101 anni luce, di raggio simile a quello della Terra, e la cui orbita è posta nella cosiddetta “zona abitabile”, ossia quell’intervallo di distanze dalla stella madre in cui in pianeti potrebbe avere acqua liquida sulla sua superficie se il pianeta è dotato di atmosfera. La sfida più avvincente oggi è appunto scoprire se TOI 700d ed altri pianeti simili alla Terra hanno un’atmosfera e se questa contiene tracce di elementi chimici che testimoniano la presenza della vita (Covone et al).

Lo strumento che ci permetterà di affrontare questa sfida è il nuovo telescopio spaziale infrarosso, il James Webb Space Telescope (JWST). Il JWST è il più ambizioso progetto scientifico di questi anni: ha un diametro di circa sei metri ed opera ad una distanza di circa un milione e mezzo di chilometri dalla Terra, orbitando intorno al Sole su un’orbita parallela al nostro pianeta. Sarà operativo dall’estate di quest’anno (2022). Molti astronomi (incluso il nostro piccolo gruppo presso l’Università di Napoli) attendono con ansia l’avvio delle operazioni scientifiche per cercare di osservare spettroscopicamente i pianeti rocciosi più vicini. Anche con un telescopio potente come il JWST, la rivelazione dell’atmosfera di un pianeta di tipo terrestre richiede centinaia di ore di osservazione. L’eventuale scoperta di un’atmosfera di un pianeta di tipo terrestre sarebbe di grande importanza al fine di comprendere quanto siano comuni le Terre nella nostra Galassia. Finora, osservazioni condotte con il telescopio spaziale Hubble non hanno portato a risultati definitivi per quanto riguarda pianeti di tipo terrestre (Damiano et al.).

Il passo successivo sarà la ricerca di tracce di vita nel Sistema Solare (tramite missioni spaziali) o nei lontani esopianeti (per via astronomica). Per via spettroscopica, gli astronomi useranno il JWST per trovare tracce di ossigeno molecolare o altri gas di origine biologica nelle atmosfere di pianeti terrestri nella loro zona abitabile. Nel Sistema Solare, Europa e Ganimede, satelliti di Giove, ospitano oceani di acqua sotto la superficie e potrebbero offrire condizioni adatte alla nascita della vita. Nel 2023 l’Agenzia Spaziale Europea lancerà JUICE (JUperiter ICy moons Explorer), una missione che ha lo scopo di proprio studiare da vicino questi corpi celesti. JUICE raggiungerà i satelliti di Giove nel 2031: probabilmente la prossima generazione di ricercatori (astronomi, biologi, chimici) sarà quella che avrà l’onore di dare una risposta scientifica alla domanda “siamo soli nell’Universo?”.

BIBLIOGRAFIA

1. Gilbert, Emily A., et al. The First Habitable-zone Earth-sized Planet from TESS. I. Validation of the TOI-700 System. *The Astronomical Journal* **2020**, *160*, 116.
2. Covone Giovanni, Ienco Riccardo M., Cacciapuoti Luca & Inno Laura. Efficiency of the oxygenic photosynthesis on Earth-like planets in the habitable zone. *MNRAS* **2021**, *505*, 3329.
3. Damiano Mario, Gallo Francesco, Covone Giovanni, et al. A transmission spectrum of the sub-Earth planet L98-59 b in 1.1 – 1.7 μm . (in pubblicazione)

Pagina Web del gruppo Esopianeti di Napoli: <https://sites.google.com/view/exoplanats/>

IL ‘VERDE’ OLTRE LA TERRA: SFIDE ED OPPORTUNITÀ

Carmen Arena

Dipartimento di Biologia, Università degli Studi di Napoli Federico II

Attualmente, per missioni spaziali di breve durata, le risorse necessarie alle esigenze dell’equipaggio sono trasportate dalla Terra, e per tali motivi non è possibile compiere missioni che superino i 2-3-anni di durata. È stato stimato che per una missione di un anno, un equipaggio di 3 astronauti necessiterebbe di circa 33 tonnellate tra cibo, acqua ed ossigeno. Pertanto, il rifornimento dalla Terra sarebbe estremamente costoso e tecnicamente difficile da effettuare. Di conseguenza, è di fondamentale importanza, per le missioni spaziali future, lo sviluppo di sistemi che consentano il riciclo continuo delle risorse e l’approvvigionamento di cibo direttamente “on board” come i Bioregenerative Life Support System o BLSS, progettati per il supporto alla vita umana nello spazio. Una BLSS può essere considerata a tutti gli effetti un “ecosistema in miniatura” [1] (Fig. 1).

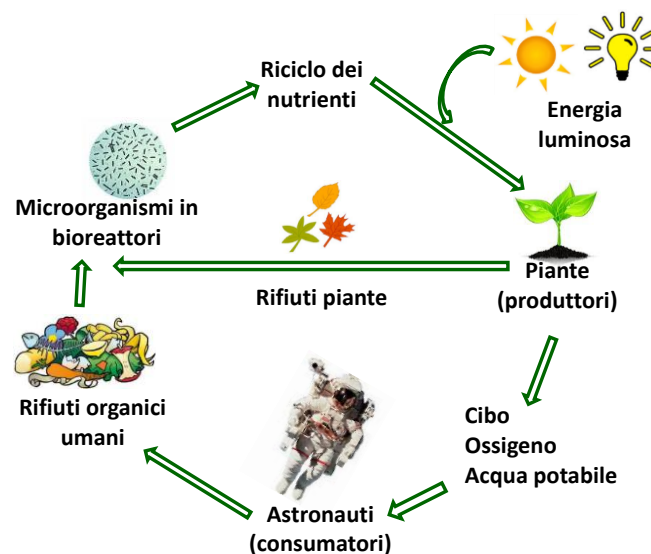


Fig. 1: Rappresentazione schematica di un sistema biorigenerativo per il supporto alla vita nello spazio (BLSS). (Disegno Arena C.)

In questi sistemi, il ruolo svolto dalle piante è cruciale: esse consumando anidride carbonica e rilasciando ossigeno, attraverso il processo fotosintetico, contribuirebbero a rigenerare l’aria e, al contempo, attraverso la traspirazione purificherebbero l’acqua, fornendo all’equipaggio cibo fresco ed un supporto psicologico per superare l’isolamento di un così lungo viaggio. In aggiunta i materiali di scarto dell’equipaggio, come pure le parti incommestibili delle piante verrebbero digerite in bioreattori che a tutti gli effetti mimerebbero la funzione del processo di decomposizione della materia organica, indispensabile a chiudere il ciclo della materia negli ecosistemi naturali.

C’è uno stretto parallelismo tra gli ecosistemi cosiddetti “spaziali” e gli ecosistemi naturali che si basa sulla stretta interdipendenza che ciascuna componente biotica dell’ecosistema ha con l’altra in un equilibrio continuo che si “autosostiene”. Negli ecosistemi terrestri, la maggior parte dell’energia entra nella biosfera attraverso il processo fotosintetico operato dalle piante (produttori) e viene poi trasferita, attraverso vari passaggi lungo la catena trofica, ai consumatori (carnivori e erbivori). Quando produttori e consumatori muoiono, detritivori e decompositori (batteri, funghi) degradano le sostanze organiche in elementi e composti inorganici che entreranno di nuovo nel ciclo come nutrienti disponibili per le piante [1]. Nell’ottica delle missioni spaziali a lungo termine, assume quindi una grande importanza valutare il potenziale di sopravvivenza e di riproduzione degli organismi autotrofi in un ambiente ostile come quello extraterrestre.

Lo sviluppo degli organismi vegetali nello spazio è influenzato non solo dagli stessi fattori ambientali che agiscono sulla terra (temperatura, umidità, luce e pressione), ma anche dall'azione di nuovi fattori, quali microgravità e radiazioni, tipici degli ambienti extraterrestri.

L'effetto della gravità alterata e delle radiazioni ionizzanti sulle piante è diventato oggetto di grande interesse. La gravità alterata agisce modificando l'anatomia dei tessuti vegetali e la sintesi di metaboliti secondari, comportando alterazioni nella fisiologia vegetale con ripercussioni sulla fotosintesi [2]. Per quanto concerne le radiazioni ionizzanti, attualmente gran parte delle informazioni ci giunge da ricerche in campo radioecologico a seguito dei disastri nucleari di Chernobyl in Ucraina e Fukushima in Giappone. Molti esperimenti condotti in loco con piante esposte a radiazioni acute e croniche hanno mostrato che gli effetti a livello di singolo individuo possono avere ripercussioni sulla popolazione delle diverse specie vegetali e sull'intera fitocenosi. Generalmente le piante mostrano una maggiore radioresistenza rispetto agli animali, principalmente a causa della struttura della cellula vegetale e per caratteristiche intrinseche di alcune specie come ad esempio la poliploidia [3]. Insieme con gli studi radioecologia, esperimenti *space-oriented* hanno dato un importante contributo alla conoscenza sui meccanismi di risposta alle radiazioni nelle piante. Anche se i dati sono spesso in conflitto e non facilmente confrontabili, sembra che ci sia un accordo generale che le radiazioni ionizzanti ha effetti diversi a seconda della quantità di radiazione (dose), qualità di radiazione (basso o alto trasferimento lineare di energia o LET), tipo di pianta ed età di organo o tessuto [4]. L'esposizione delle piante alle radiazioni ionizzanti può indurre radioresistenza. Fenomeni di radioresistenza sono stati osservati nelle zone di Chernobyl e nelle regioni limitrofe, dove, dopo il disastro nucleare, le piante hanno sperimentato dosi acute e croniche di radiazioni ionizzanti [5]. Recenti esperimenti "space-oriented" hanno dimostrato che l'esposizione ad alte dosi di raggi X e gamma (50 e 100 Gy) comporta l'aumento di alcuni enzimi antiossidanti e di composti fenolici nelle cellule, efficaci nella rimozione dei radicali liberi. È stato anche riportato che alte dosi di radiazioni ionizzanti promuovono l'attività di poli (ADP-ribosio) polimerasi (PARPs), ovvero enzimi in grado di riconoscere il DNA danneggiato e consentirne la sua riparazione [6]. L'attivazione di enzimi antiossidanti e PARPs, e la sovrapproduzione di composti fenolici rappresentano strategie essenziali per contrastare i danni ossidativi, migliorando così la radioresistenza delle piante. Inoltre, in caso di specie eduli coltivate a bordo delle stazioni spaziali, la iperproduzione di molecole antiossidanti costituirebbe anche un pregio dal punto di vista nutrizionale poiché fornirebbe all'equipaggio un supplemento alla dieta utile a contrastare gli effetti dei radicali liberi responsabili di molte malattie degenerative dovute all'esposizione degli astronauti ai fattori spaziali.

BIBLIOGRAFIA

1. Arena C, De Micco V, Virzo De Santo A. Bioregenerative life support systems in the Space (BLSS): effects of radiation on plants. *Annales Kinesiologiae*, **2012**, 3, 87-98. ISSN 2232-2620.
2. Kiss JZ, Wolverton C, Wyatt SE, Hasenstein KH, van Loon JJWA. Comparison of microgravity analogs to spaceflight in studies of plant growth and development. *Frontiers in Plant Science*, **2019**. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01577>
3. Arena C, De Micco V, Macaeva E, Quintens R. Space radiation effects on plant and mammalian cells. *Acta Astronautica*, **2014**, 104, 419-431. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2014.05.005>.
4. De Micco V, Arena C, Pignalosa D, Durante M. Effects of sparsely and densely ionizing radiation on plants. *Radiation and Environmental Biophysics*, **2011**, 50, 1-19.
5. Mousseau TA, Møller AP. Plants in the light of ionizing radiation: what have we learned from Chernobyl, Fukushima, and other "hot" places? *Frontiers in Plant Science*, **2020**, <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00552>
6. Arena C, De Micco V, De Maio A. Growth alteration and leaf biochemical responses in *P. vulgaris* plants exposed to different doses of ionizing radiation. *Plant Biology*, **2014**, 16, 194-202. <https://doi.org/10.1111/plb.12076>

UNA BREVE INTRODUZIONE ALLA CRITTOGRAFIA

Maria Rosaria Celentani

Dipartimento di Matematica "R. Caccioppoli", Università degli Studi di Napoli Federico II

L'esigenza di mandare messaggi privati, evitando che estranei possano impadronirsene, è un'esigenza antica quanto la scrittura: le più antiche civiltà hanno lasciato testimonianza di testi volutamente cifrati. Abbiamo testimonianze di messaggi cifrati già dagli antichi Egizi. Plutarco nei suoi scritti parla della scitola lacedemonica, dove la "chiave segreta" era fornita da un bastone, o meglio, dal diametro di tale bastone intorno al quale andava arrotolato il messaggio criptato.

Diversi matematici in diverse epoche si sono cimentati sul versante della crittoanalisi. Al giorno d'oggi la maggior parte delle nostre azioni quotidiane sono protette dalla crittografia. Da qui l'esigenza di illustrare brevemente come muovere i primi passi in questo affascinante mondo e di capire quanta e quale matematica serve per criptare in maniera sicura un messaggio: la scoperta stupefacente è che si possono ottenere risultati importanti anche con strumenti matematici relativamente semplici, utilizzando l'aritmetica modulare.

Il primo importante step consiste ovviamente nel passaggio dal mondo della parola scritta a quello delle sequenze di numeri, utilizzando il codice ASCII: una volta che il messaggio è trasformato in una sequenza di cifre si può pensare a trasmetterlo in maniera cifrata.

I principali schemi di trasmissione criptata di messaggi sono quelli **a chiave privata** (o simmetrica, crittografia classica), **a chiave pubblica** (o asimmetrica: nella pratica vengono quasi sempre usati metodi ibridi combinando tali schemi di trasmissione) o anche **senza scambio di chiavi**.

Quando si utilizza la crittografia a chiave privata, simmetrica, lo schema utilizzato è quello che più facilmente ci viene in mente: se **A** vuole spedire un messaggio segreto a **B** innanzi tutto rende **B** partecipe del modo in cui decriptare il messaggio criptato. Il primo importante problema che si deve affrontare è quello dello "scambio protetto" della chiave, bisogna assicurarsi che nello scambio di tale chiave sia "difficile" appropriarsi di tale chiave. È altresì importante assicurarsi che la "serratura" utilizzata sia complessa da aprire. Poiché, lo abbiamo detto, ogni messaggio viene in maniera naturale sostituito da una stringa di numeri, per criptarlo si utilizzerà una funzione (biunivoca e dunque invertibile) che trasforma la stringa numerica in maniera opportuna; viceversa, per decriptarlo occorrerà utilizzare la funzione inversa, così da ottenere il messaggio originario. Allora la "chiave" da scambiare eventualmente non è tanto la funzione con cui si cripta, bensì la "chiave" per aprire, ossia la funzione inversa che permette di decriptare. Inoltre la sicurezza della serratura, vale a dire la difficoltà a decriptare il messaggio a meno che non se ne posseda la chiave, è assicurata se è "difficile" (matematicamente parlando) calcolare la funzione inversa.

Sulla difficoltà della determinazione della funzione inversa è basata la crittografia asimmetrica, a chiave pubblica: lo schema è sostanzialmente diverso. Mentre nella crittografia simmetrica **A** e **B** utilizzano una stessa chiave segreta che deve essere trasmessa ed utilizzata da entrambi, nella crittografia asimmetrica la chiave per criptare è pubblica, nota a tutti. La sicurezza del metodo qui si basa sulla difficoltà a determinare la funzione inversa (la chiave per decriptare il messaggio) anche essendo nota la funzione con cui il messaggio è stato criptato. Nella crittografia asimmetrica ogni utente del sistema crittografico ha una personale coppia di chiavi, di cui una comune a tutti (pubblica) ed una segreta (privata). Un mittente **A** che voglia inviare un messaggio riservato a **B** provvederà innanzitutto a cifrarlo, utilizzando a questo scopo la chiave pubblica, nota anche a **B**, il quale **B** potrà poi usare la sua chiave segreta per decifrarlo. Affinché il sistema possa funzionare, è necessario che

chiunque sia in grado di effettuare la cifratura, ma che la decifrazione sia praticamente impossibile («difficile») da eseguirsi a meno di non conoscere la chiave segreta di B . Per realizzare un sistema del genere bisogna trovare una funzione (biunivoca e dunque invertibile) $f = C_B$ da usare per la cifratura tale che, per un qualunque messaggio m , sia semplice il calcolo di $m' = f(m)$ (il messaggio cifrato) ma, viceversa, qualunque algoritmo che permetta di ricavare m da m' senza disporre di una informazione extra (la chiave segreta, $f^{-1} = D_B$) richieda troppe risorse e troppo tempo di esecuzione per essere effettivamente utilizzabile. Questo è lo schema su cui è fondato il crittosistema RSA che viene, nella presentazione, brevemente illustrato.

Ovviamente per poter utilizzare tale schema occorre avere nozioni matematiche più “raffinate”.

Interessante è anche lo schema adottato quando il messaggio viene criptato e decriptato senza un effettivo scambio di chiave. In questo caso sia A che B posseggono una chiave per criptare e decriptare, ognuno la propria e non si arrischiano minimamente a scambiarla, evitando così il pericolo che nel passaggio qualcuno possa appropriarsene e quindi poi decifrare il messaggio. Questo metodo per criptare i messaggi si può paragonare al chiudere il messaggio segreto in un baule non dotato di serratura ma che abbia la possibilità di inserire dei lucchetti esterni: supponiamo che A voglia inviare un messaggio segreto a B e che il messaggio sia spedito in un cofanetto cui sia possibile applicare dei lucchetti. Sia A che B posseggono un proprio lucchetto (ciascuno il suo) e la relativa chiave: una volta scritto il messaggio A lo mette nel cofanetto, chiude il cofanetto con il proprio lucchetto e spedisce il cofanetto a B . Quando B riceve il messaggio cifrato (il cofanetto chiuso) invece di cercare di forzare il lucchetto applica al cofanetto il suo lucchetto e rispedisce il tutto ad A ; a questo punto A toglie il primo lucchetto e rispedisce a B il cofanetto, chiuso a questo punto solo dal lucchetto di B : quando B riceve il cofanetto chiuso solo dal lucchetto di cui possiede la chiave, può aprirlo e finalmente leggere il messaggi. Durante tutti i percorsi il cofanetto ha viaggiato protetto, chiuso da almeno un lucchetto. A e B sono riusciti a comunicare tra loro senza scambiare la chiave ma utilizzando ciascuno una sua chiave personale. Ovviamente anche in questo caso è importantissimo che i “lucchetti” con cui viene chiuso il cofanetto siano sicuri, difficili da forzare.

Da tutte queste considerazioni segue l'esigenza di capire qual è l'ambito matematico in cui è opportuno muoversi in maniera tale da poter avere “lucchetti sicuri”. Gli ambiti possibili sono diversi (e non facili); nell'ambito di questo laboratorio si è scelto di illustrare il crittosistema RSA che si basa sull'aritmetica modulare: occorre dunque introdurre le basi dell'aritmetica modulo n .

Lo scopo di questa breve introduzione è quello di proporre a chi legge un piccolo assaggio di come la crittografia sia un mondo articolato e di quanta matematica occorra anche per comprare un libro o spedire un semplice messaggio online. Spero di aver solleticato l'interesse di chi ha seguito questo seminario: avvicinarsi alla crittografia vuol dire scoprire un meraviglioso mondo!

BIBLIOGRAFIA

1. M.R. Celentani – G. Cutolo. Un'introduzione all'aritmetica modulare, Incontri matematici del terzo tipo, pp. 121-141, Liguori Editore **2019**
2. M.R. Celentani – A. Leone. Aritmetica modulare: approfondimenti, applicazioni e... un po' di mistero, Incontri matematici del terzo tipo pp. 142-163, Liguori Editore **2019**
3. G. Cutolo. <http://www.dma.unina.it/cutolo/didattica/varia/coinor-cutolo.pdf>
4. S. Singh. Codici & Segreti, BUR **1999**

CRITTOGRAFIA E APPLICAZIONI

Daniel Riccio

Dipartimento di Ingegneria elettrica e delle Tecnologie dell'Informazione, Università degli Studi di Napoli Federico II

In molti sistemi di messaggistica, tra cui la posta elettronica e molte altre chat, i messaggi passano attraverso intermediari e vengono archiviati da terze parti, da cui vengono recuperati dal destinatario, come mostrato in Figura 1. In genere, i messaggi vengono crittografati solo "in transito" e vengono archiviati "in chiaro" da terze parti per consentire operazioni, quali la ricerca di messaggi, la cronologia e la verifica di contenuti illegali e inaccettabili. Tuttavia, un simile protocollo di comunicazione espone a potenziali rischi gli utenti, soprattutto quando si tratta di persone che vivono sotto governi repressivi o di informatori, oltre a permettere operazioni generalmente considerate inaccettabili, quali la sorveglianza di massa, l'hacking mirato o la violazione della privacy e la divulgazione di informazioni sui minori.

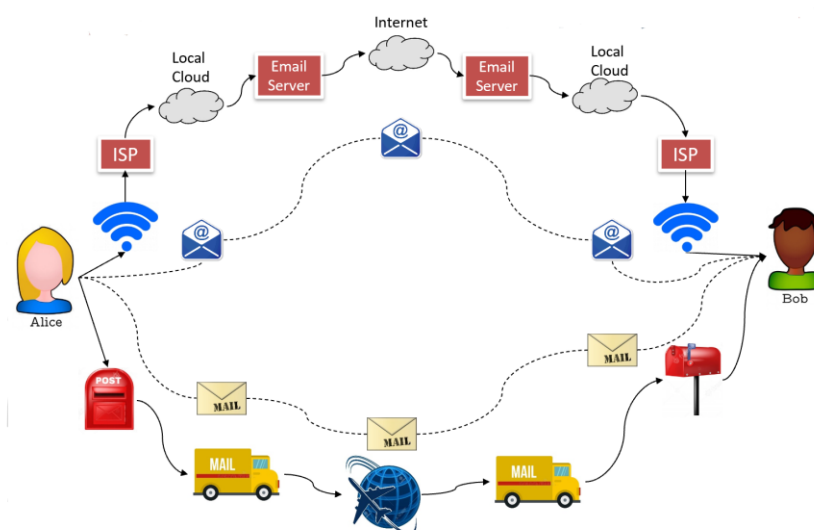


Figura 1. Parallelo fra il processo di spedizione/ricezione di una cartolina e quello di una e-mail.

La crittografia end-to-end (E2E) ha lo scopo di impedire la lettura o la modifica segreta dei dati, ad eccezione del vero mittente e dei destinatari [1]. I messaggi vengono cifrati dal mittente, ma la terza parte non ha un mezzo per decifrarli e li memorizza in forma cifrata. Il destinatario recupera i dati cifrati e li decodifica da sé. In altri termini, nessuna terza parte è in grado di decifrare i dati comunicati o archiviati, per esempio, le aziende che usano la crittografia end-to-end non sono in grado di rilasciare alle autorità i testi decifrati delle comunicazioni che avvengono tra i loro utenti.

Le principali forme di crittografia sono quella simmetrica e asimmetrica. La prima è un tipo di crittografia, in cui una sola chiave (segreta) è usata sia per cifrare, che per decifrare informazioni elettroniche, mentre per la seconda una coppia di chiavi (pubblica/privata) è usata per criptare e decrittare i messaggi (la crittografia end-to-end è un'istanza di crittografia asimmetrica). In particolare, le chiavi pubbliche sono disponibili per entrambe le parti e per chiunque altro, mentre la chiave privata è disponibile solo per il destinatario e per nessun altro. Nella crittografia E2E, il mittente cifra il messaggio utilizzando la chiave pubblica del destinatario e invia il messaggio cifrato al destinatario, il quale recupera il messaggio cifrato e usa la propria chiave privata per decifrarlo.

L'algoritmo più comunemente usato per la cifratura/decifratura dei messaggi è stato presentato dai tre ricercatori Rivest, Shamir e Adleman e prende il nome di *RSA* dalle iniziali dei loro nomi. Attualmente sono molte le applicazioni di messaggistica, che adottano la crittografia E2E per garantire una maggiore privacy ai propri utenti. Fra queste si annoverano app per dispositivi mobile con una ampia platea di utenti, quali Whatsapp, Telegram, Signal, FaceTime, etc. Inoltre, questo protocollo di comunicazione sicura è sempre più spesso adottato anche per garantire la privacy delle comunicazioni vocali nelle applicazioni voice over ip (voip), in cui la crittografia E2E è applicata al segnale vocale mono-dimensionale.

La crittografia asimmetrica come meccanismo di cifratura/decifratura, la cui applicazione non si limita solo al trasferimento sicuro di dati e informazioni, ma trova ampia applicazione anche in altri processi per il trattamento dei dati, fra cui la firma digitale di un documento. In generale, il processo di firma in presenza di un documento avviene al cospetto di un ufficiale, il quale rappresenta una autorità che verifica e certifica l'identità del firmatario. Numerosi studi hanno dimostrato come un protocollo fisico, che richiede necessariamente la presenza in uno stesso luogo dell'ufficiale e del firmatario, comporti un elevatissimo spreco di risorse in termini di tempo e materiali, con un conseguente ritardo nei processi burocratici. Al contrario, la dematerializzazione del processo di firma oltre a risolvere tali problemi, introduce l'ulteriore vantaggio di rendere il processo di firma semplice e del tutto asincrono. Allo stato attuale è sufficiente un dispositivo mobile per poter apporre inequivocabilmente la propria firma, in modo del tutto sicuro, su un qualunque documento. In particolare, la firma digitale ha fra i suoi scopi quelli di garantire:

- che il destinatario possa verificare l'identità del mittente (autenticazione);
- che il mittente non possa disconoscere un documento da lui firmato (non ripudio);
- che il destinatario non possa inventarsi o modificare un documento firmato da qualcun altro (integrità).

Grazie alla proprietà delle due chiavi un sistema di crittografia asimmetrica di questo tipo è adatto anche per ottenere dei documenti firmati, ma in modalità inversa rispetto a quella adottata per cifrare e decifrare i dati. Se un utente vuole creare una firma per un documento, procede nel modo seguente: con l'ausilio di una funzione di hash (pubblica) ricava l'*impronta digitale* del documento, detta anche *message digest*, un file di dimensioni relativamente piccole (128, 160 o più bit) che contiene una sorta di codice di controllo relativo al documento stesso, dopodiché utilizza la propria chiave privata per cifrare l'impronta digitale: il risultato di questa codifica è la firma. La funzione hash è fatta in modo da rendere minima la probabilità che da testi diversi si possa ottenere il medesimo valore dell'impronta, inoltre, è *one-way*, a senso unico, questo significa che dall'impronta è impossibile ottenere nuovamente il testo originario ovvero essa è non invertibile. La firma prodotta dipende dall'impronta digitale del documento e, quindi, dal documento stesso, oltre che dalla chiave privata dell'utente. A questo punto la firma viene allegata al documento insieme alla chiave pubblica.

Chiunque può verificare l'autenticità di un documento: per farlo, decifra la firma del documento con la *chiave pubblica del mittente*, ottenendo l'impronta digitale del documento, e quindi confronta quest'ultima con quella che si ottiene applicando la funzione hash al documento ricevuto; se le due impronte sono uguali, l'autenticità e l'integrità del documento sono garantite. Le operazioni di firma e di verifica possono essere demandate ad appositi programmi forniti, in caso di firme elettroniche avanzate o qualificate, dall'ente certificatore oppure dal proprio provider di posta elettronica, che, con una semplice configurazione, le effettuerà automaticamente.

Attraverso la crittografia E2E è, quindi, possibile garantire la sicurezza della comunicazione fra due utenti a distanza, così come la validità di una firma su un documento. Tuttavia, rimane come unico nodo da sciogliere, la necessità di garantire che l'identità digitale corrisponda effettivamente all'identità fisica di un utente. I sistemi tradizionali generalmente adottati a validare questa

associazione sono basati su conoscenza o possesso, ovvero l'identità di un utente è verificata sulla base del possesso di un oggetto come un badge o della conoscenza di una informazione riservata come una password. Questi metodi non sono però in grado di escludere completamente il rischio dell'impersonificazione, ovvero l'assunzione dell'identità digitale di un utente da parte di un utente fisico differente o non autorizzato. I sistemi moderni affrontano questo problema ricorrendo a nuove tecniche per l'autenticazione di un utente, ovvero i sistemi biometrici.

Benché apparentemente molto recenti, i sistemi biometrici hanno una storia molto lunga. Fin dall'antichità gli esseri umani hanno utilizzato caratteristiche fisiche e caratteriali per distinguersi gli uni dagli altri, ma solo verso la metà dell'800, A. Bertillon, capo della sezione identificazione criminali di Parigi, propose di utilizzare alcune caratteristiche del corpo per identificare i responsabili dei crimini. Quest'idea si sviluppò ulteriormente nel XIX secolo quando, grazie agli studi di Galton ed Henry fu scoperto il carattere distintivo delle impronte digitali. Oggi, in piena era digitale, l'utilizzo di tecniche di riconoscimento biometrico abbraccia un numero molto più esteso di applicazioni, come quelle militari e civili. Si definisce biometria lo studio dei metodi automatici per l'identificazione o l'autorizzazione di persone mediante l'utilizzo di caratteristiche fisiologiche o comportamentali.

Applicazioni più recenti mirano a combinare biometria e crittografia al fine di evitare che un utente debba conservare le proprie chiavi di cifratura/decifratura su un qualsivoglia dispositivo. In altri termini, la chiave di cifratura/decifratura è l'utente stesso. Tuttavia, il collegamento fra chiave biometrica e chiave crittografica non è semplice e immediato. Infatti, un algoritmo biometrico estrae un vettore di numeri (caratteristiche) a partire da un tratto (biometrico) considerato distintivo per gli esseri umani. Inoltre, molteplici acquisizioni della stessa caratteristica biometrica dallo stesso soggetto producono chiavi biometriche vicine in termini di distanza di bit, ma non identiche, mentre è chiaro che una chiave crittografica deve essere unica ed immutabile per poter garantire il processo di cifratura/decifratura. A tale scopo sono stati introdotti i BioCryptoSystems (BCS) (vedi Figura 2) [2]. La sfida principale per i BCS è implementare un processo di associazione del bitstream di un template biometrico con una chiave crittografica, che sia stabile nonostante la variabilità intrinseca intra-classe dei modelli biometrici appartenenti allo stesso utente. Inoltre, una chiave biometrica rappresenta di per sé un dato estremamente sensibile e necessità di essere gestito in modo sicuro al fine di proteggere gli utenti dal furto di identità. Le chiavi biometriche cancellabili hanno la stessa funzione di una chiave biometrica, con il vantaggio ulteriore di poter essere rigenerate qualora siano state compromesse. Lo stesso tipo di vulnerabilità, ovvero la replica o il furto, appartiene anche alle chiavi crittografiche, che per via della loro lunghezza e della loro complessità necessitano di essere memorizzate in aree sicure e protette di un dispositivo. Uno schema BCS raggiunge il duplice obiettivo di poter generare chiavi biometriche cancellabili basate sulle caratteristiche biometriche e di poterne effettuare il binding con chiavi crittografiche. Esistono tre diversi schemi, con cui un BCS può collegare una chiave biometrica ad una chiave crittografica:

- **BioKey stabilization:** consiste nella definizione di una funzione di mappatura per la stabilizzazione biometrica della chiave;
- **Error-tolerant cryptosystems:** implementano un algoritmo crittografico, che è tollerante ai piccoli cambiamenti della chiave;
- **key-binding systems:** calcolano degli helper data come combinazione del modello biometrico e della chiave crittografica.

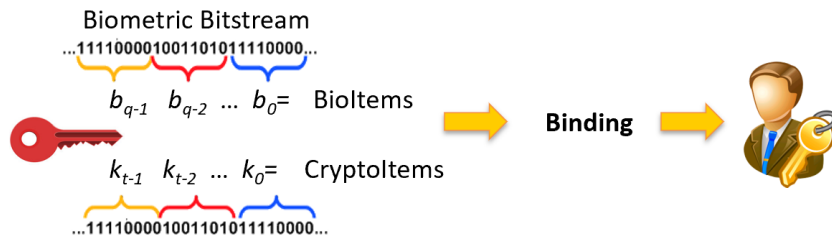


Figura 2. Esempio di un processo di binding fra una chiave biometrica ed una chiave crittografica.

BIBLIOGRAFIA

1. Nabeel, M. The Many Faces of End-to-End Encryption and Their Security Analysis. In 2017 IEEE International Conference on Edge Computing (EDGE) (pp. 252-259). IEEE. **2017**
2. Riccio, D., Galdi, C., & Manzo, R. Biometric/cryptographic keys binding based on function minimization. In 2016 12th International Conference on Signal-Image Technology & Internet-Based Systems (SITIS) (pp. 144-150). IEEE. **2016**

LA CERTEZZA ASSOLUTA ED ALTRE FINZIONI. LEGGEREZZA, INGANNI ED ESTETICA DEL CASO

Domenico Vistocco

Dipartimento di Scienze Politiche, Università degli Studi di Napoli Federico II

La fallacia dello scommettitore è spesso legata ad un'idea che tutti noi abbiamo della casualità e che si basa su una serie di regole estetiche che secondo noi il caso dovrebbe rispettare per potersi definire tali. Un esempio emblematico al riguardo è la funzione “shuffle” (riproduzione casuali dei brani) che le prime versioni degli iPod di Apple introdussero sul mercato. Quando si selezionava questa opzione, poteva accadere (e spesso accadeva) che venissero riprodotte l'una dopo l'altra più canzoni dello stesso artista e/o album. La reazione dell'utente di fronte a questa ripetizione dipendeva dal particolare brano che veniva ripetuto. In alcuni casi, infatti, quando il brano risultava gradito, si tendeva ad attribuire una sorta di intelligenza al dispositivo, ipotizzando che lo stesso fosse in grado di “imparare” il gusto musicale del proprietario. Nei casi in cui invece il brano selezionato per la ripetizione non era tra quelli preferiti, non mancavano le critiche rivolte al costruttore. Proprio in seguito a tali critiche, la Apple modificò l'iniziale estrattore casuale dei brani sostituendolo con un estrattore “quasi casuale”, che selezionava casualmente ogni canzone ma solo tra quelle di un differente autore e album rispetto a quella ascoltata precedentemente. La frase di Steve Jobs al riguardo è emblematica: “«We're making it (the shuffle) less random to make it feel more random», perchè ci permette di intuire che spesso è più facile adattare il caso alle nostre regole estetiche che convincerci di come funziona veramente.

Lo stesso avviene per molti meccanismi distorsivi (bias cognitivi) legati al ragionamento umano in condizioni di incertezza, molti dei quali sono alla base delle false convinzioni legate al gioco d'azzardo da parte degli scommettitori. Alcuni di questi meccanismi sono stati studiati e descritti da Amos Tversky e Daniel Kahneman nel filone della letteratura nota come economia comportamentale. Analoghi studi, con particolari applicazioni in campi assicurativo, furono sviluppati da Bruno de Finetti nel 1940, con la formalizzazione del teorema della rovina del giocatore.

BIBLIOGRAFIA

1. Chiara Andrà, Nicola Parolini, Marco Verani. *BetOnMath. Azzardo e matematica a scuola*. Springer Verlag, **2016**.
2. Paolo Canova, Diego Rizzuto. *Fate il nostro gioco. Gratta e vinci, azzardo e matematica*. ADD Editore **2016**.
3. Domenico Costantini. *Regole matematiche del gioco d'azzardo. Perché il banco non perde mai?* GEM Edizioni, **2009**.
4. Bruno de Finetti, *Come, perché, e in che senso la “ROVINA dei GIOCATORI È CERTA”*. <http://www.brunodefinetti.it/Opere/giocatori.pdf>.
5. Daniel Kahneman. *Pensieri lenti e veloci*. Mondadori, **2020**.
6. Paola Monari. *Giochi d'azzardo e probabilità*. Editori Riuniti Univ. Press **2012**.
7. Edward Packel, G. Anichini. *Matematica dei giochi e dell'azzardo*. Zanichelli, **1988**.

LA CHIMICA CONTRO IL CRIMINE AL SERVIZIO DELLA LEGGE

Marco Trifuoggi,

Dipartimento di Scienze Chimiche, Università degli Studi di Napoli Federico II

La **Chimica Analitica Forense** (per gli inglesi semplicemente *Forensic Chemistry*) si occupa di aiutare i tutori della legge nella risoluzione di casi complessi, ... ma come?

Forense.

La parola forense deriva dall'aggettivo latino *forensis* (derivato di *fōrum*, foro), che significa “del foro” o “prima del foro”, quindi con l'aggettivo **forense** si indica l'attività concernente il foro, ossia la piazza che era il cuore dell'attività politica, amministrativa ed economica romana (come l'agorà lo era per i Greci). Il posto, cioè, nell'antica Roma, dove l'autorità giudiziaria esercitava le sue funzioni e che costituiva il centro della vita civile, economica e sociale della città. *Forense*, quindi, indica tutto ciò che riguarda l'attività giudiziaria.

Il «mestiere» del chimico.

Non è facile raccontare cosa “fa” un chimico, e poco si sa, a parte le immagini folkloristiche che lo ritraggono nei film e nei *media* come distratto e preso tra fumi e provette. Primo Levi, forse il chimico italiano più noto anche in forza di suoi scritti che descrivono la prigionia e la deportazione nei campi di concentramento di Auschwitz, immaginando di parlare con un operaio metalmeccanico, racconta forse nella maniera migliore il lavoro del chimico:

“Il mio mestiere vero, quello che ho studiato a scuola e che mi ha dato da vivere fino ad oggi ... assomiglia un poco al Suo: solo che noi smontiamo e montiamo delle costruzioni molto piccole. (Noi chimici) ci dividiamo in due rami principali, quelli che montano e quelli che smontano, e gli uni e gli altri siamo come dei ciechi con le dita sensibili... e allora abbiamo inventato dei trucchi per riconoscere le molecole senza vederle...”

Quindi un **chimico analitico forense** cerca di smontare e rimontare i pezzi di una scena del crimine attraverso strumenti scientifici che gli permettono di “vedere” cose che quasi sempre non sono visibili ad occhio nudo.



Qui sopra, Primo Levi (1919-1987) tra alcune delle innumerevoli edizioni dei più noti tra i suoi libri tradotti in tutte le lingue (a sinistra) e Edmond Locard (1877-1966) (a destra).

Principio di scambio di Locard

Tra le pietre miliari che hanno segnato la nascita della scienza forense moderna troviamo una sua prima definizione nell'assunto:

“Ogni contatto lascia una traccia”

Con questa breve frase il criminologo francese Edmond Locard (1877-1966) stabilì il principio cardine della scienza forense, ovvero che *“ogniqualevolta un criminale viene in contatto con una persona o con un oggetto c'è un trasferimento incrociato di prove, in cui l'autore lascia dietro di sé le prove e toglie anche le prove dalla scena del crimine, e ne rimane contaminato”*.

Questo comporta che il criminale lascia delle tracce dietro di sé e porta tracce via con sé, e che, più a lungo si aspetta a raccogliere evidenze, meno si troverà. Come conseguenza, ogni persona sulla scena del crimine – inclusa la polizia – può contaminarla.

Quindi compito precipuo della scienza forense è la ricerca di quelle tracce che il reo ha lasciato sulla scena del crimine, o che la scena del crimine ha lasciato sul reo.

Il chimico forense in genere lavora per un laboratorio pubblico, della polizia o per un'agenzia governativa o privata; più raramente è un professionista che lavora in proprio, identificando e analizzando le *prove* raccolte dalle scene del crimine. Talvolta il chimico forense non partecipa all'effettiva raccolta di *prove*, anche se recita una parte importante in tutto il processo investigativo criminale; la moderna chimica analitica, tuttavia, sottolinea che il campionamento è una parte fondamentale di tutto il processo analitico e che cattivi prelievi non portano mai a risultati attendibili.

La chimica forense è una disciplina che richiede una vasta gamma di conoscenze, quindi un chimico può scegliere di specializzarsi in varie categorie.

Un esempio può essere costituito dalle varie tecniche di datazione utilizzate per cercare di capire da quanto tempo una persona è deceduta o in quale anno un edificio è stato costruito o un testamento è stato redatto.

Da sempre la ricerca delle droghe costituisce un altro caposaldo della chimica forense: un tipico esame al controllo in aeroporto cerca di individuare soggetti che nascondono stupefacenti all'interno dei bagagli, degli indumenti, o addirittura in ovuli all'interno proprio corpo.

Un altro campo assai importante è costituito dall'individuazione dei casi di *doping*, attraverso le moderne tecniche di spettrometria di massa abbinata alla cromatografia liquida o gassosa (LC-MS e GC-MS), in quanto questa pratica anti-sportiva è così importante e pesantemente condizionante in maniera negativa su tutto lo sport, soprattutto a livello agonistico.

La chimica della combustione e gli incendi dolosi: a volte pensiamo che tale fenomeno sia legato alle nostre organizzazioni camorristiche, ma anche oltre oceano gli incendi provocati in maniera volontaria sono così frequenti che gli inglesi hanno coniato il vocabolo *arson* per definirne il fenomeno, e tale parola non ha analoghi nella lingua italiana. Compito della scienza forense è ricercare sulla scena del crimine tramite la tecnica GC-MS la presenza di tracce residue di acceleranti (benzina, alcool, etc.) che sono serviti ad appiccare l'incendio.

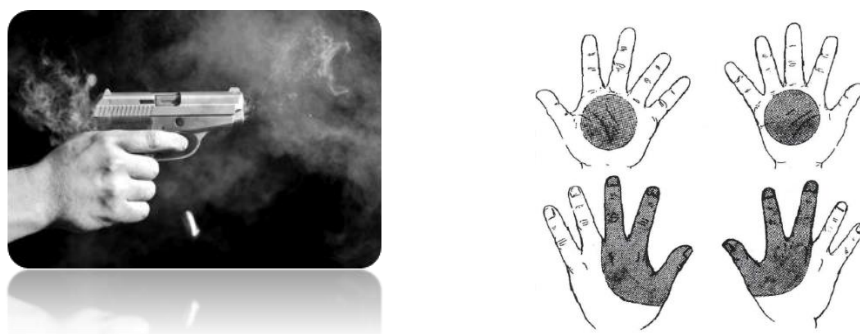
La balistica e gli esplosivi costituiscono un capitolo assai importante della scienza forense. Si pensi al rinvenimento degli IED (*Improvised Explosive Devices*, cioè ordigni esplosivi improvvisati) ovvero quegli ordigni esplosivi che spesso vengono lasciati nei posti affollati; dalle analisi dei residui anche se con estrema difficoltà, si riesce a compilare il *profilo* del probabile reo. Uno degli esempi recenti è costituito dall'operato di Theodore John Kaczynski, detto Ted, noto con il soprannome di *Unabomber*. Matematico, criminale, terrorista ed ex professore universitario statunitense, venne condannato per aver inviato pacchi postali esplosivi a numerose persone, provocando 3 morti e 23 feriti, durante un periodo di quasi diciotto anni che furono necessari all'FBI per la sua identificazione.

Altro campo assai affine è la ricerca dei GSR - *gun shot residues*, cioè residui dello sparo: in questo caso la microscopia elettronica con analisi elementare fornisce informazioni probanti che possono far dire se una persona ha utilizzato di recente un'arma da fuoco.

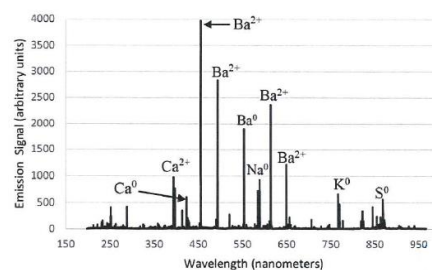
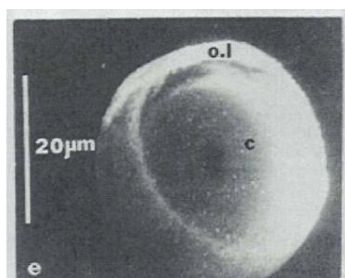
Il vecchio metodo del “guanto di paraffina” venne introdotto nel 1914 e si basava su una reazione colorimetrica con difenilammina sulle tracce recuperate dalla pelle del presunto reo; in caso di presenza di nitriti e nitrati, spesso presenti nelle miscele esplosive, si otteneva una intensa colorazione blu. Il metodo, tuttavia, forniva falsi positivi e quindi venne progressivamente abbandonato a partire dal 1940, anche se in Italia il suo uso è resistito fino a tutti gli anni '80.

Il metodo è stato sostituito dallo *stub*, una sorta di tampone in alluminio, che viene passato sulla pelle del soggetto o sui siti dove si cercano tracce di esplosivo; successivamente, l'analisi in microscopia elettronica permette di identificare le particelle residue lasciate dallo sparo e effettuare l'analisi chimica e morfologica. Questa analisi richiede una strumentazione sofisticata e presente solo in pochi laboratori: la strumentazione è costituita da un microscopio elettronico a scansione (SEM) equipaggiato con microsonda a dispersione di energia (EDS, o EDX) per l'analisi chimica elementare. Tale tecnica riveste un'importanza fondamentale, se si pensa che le principali cause di morte nel mondo da omicidio intenzionale nel 2012 potevano essere così suddivise:

24% da arma bianca; **35%** veleni o droghe; **41%** armi da fuoco.



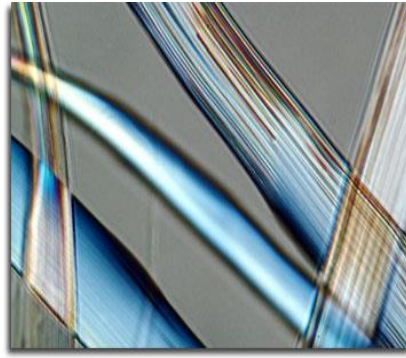
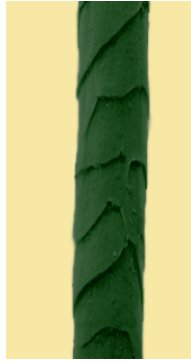
Durante l'esplosione di un colpo di pistola si generano GSR, i residui dello sparo (a sinistra), che si possono ritrovare sulla mano (a destra).



“Guanto di paraffina” (a sinistra), immagine al microscopio elettronico di una particella di GSR (al centro), analisi chimica elementare in EDS della stessa particella (a destra).

La chimica del colore, dei coloranti, delle vernici ed inchiostri, risulta indispensabile, per esempio quando, dopo un incidente, si voglia verificare se il residuo di vernice su una lamiera proviene o meno dal veicolo “incriminato”.

Il chimico forense è anche interessato ai materiali, in particolare ai polimeri naturali e sintetici, a legno, carta, fibre e tessuti. Si pensi a due semplici esempi: lana e seta; la prima formata da fibre corte con una cuticola rugosa, la seconda costituita da una fibra continua perfettamente liscia.



Fibra di lana con in evidenza la cuticola rugosa (a sinistra), fibra continua di seta (a destra).

A questo punto sorge spontanea la domanda:

“Come vestirsi per un possibile crimine?”



“Felpa di lana... o ...tuta di seta ... ?”

Anche senza pensare a Diabolik e a Eva Kant e alle loro tute, la risposta è immediata, sulla base del principio di scambio di Locard; molti casi, infatti, sono stati risolti solo grazie al rinvenimento di fibre provenienti dagli abiti del reo sulla scena del crimine, e la seta non lascia tracce!

Altro campo assai importante, ai confini tra chimica, biologia e medicina è costituito dall'analisi delle tracce biologiche sulla scena del crimine. Lo studio scientifico della tipizzazione del sangue e dei fluidi corporei utilizza test enzimatici su campioni di sperma, sangue, saliva, capelli o altri fluidi corporei rinvenuti. Poiché i composti enzimatici presenti nei campioni fluidi sono quasi sempre unici per un individuo specifico, il chimico può utilizzare i risultati dell'enzima per determinare un profilo DNA unico. Gli investigatori possono utilizzare quel profilo per trovare un sospetto in un database del DNA o per confrontarlo con possibili sospetti.

I campioni di prova possono essere difficili da identificare poiché possono essere miscelati con altre sostanze, quindi un chimico forense specializzato nell'identificazione chimica potrebbe dover utilizzare tecniche analitiche per separare i composti chimici di un campione.

Sebbene il chimico forense sia spesso identificato con un chimico analitico, in quanto si serve degli strumenti dell'analisi chimica, le sue competenze devono tuttavia spaziare nei campi più disparati che vanno dalla biologia, alla scienza dei materiali.

La difficoltà maggiore che incontra il chimico forense è che nei normali laboratori di analisi, in genere è conosciuta la natura del campione e sono bene definite le analisi da effettuare: ad esempio quando si analizza un'acqua potabile o acqua minerale, un suolo, etc., la matrice è ben definita, sono ben definite le molecole da ricercare e spesso i metodi analitici sono definiti con rigore da leggi e norme tecniche (come le norme ISO, UNI, EN, etc.), quindi, in sintesi, è ben definito e chiaro il percorso analitico. Nel laboratorio forense invece il più delle volte è sconosciuta la matrice – non si sa che materiale si

abbia davanti agli occhi - e non si sa quali sostanze ricercare, ad esempio quale veleno, quale esplosivo, quale sostanza incendiaria, etc.

In questo senso il laboratorio forense deve potersi avvalere delle competenze le più varie e delle apparecchiature le più complesse, ma anche le più semplici. Giusto a titolo di esempio, quando si rinvencono dei frammenti di materiale trasparente, per capire se si tratta di vetro, plastica o altro, l'impiego di attrezzature scientifiche complesse e costose non fornisce grandi informazioni, ma la natura del campione può essere desunta da semplici analisi di laboratorio effettuate con vetreria e reattivi di base, o con un semplice microscopio.

In questo senso, quindi grande deve essere la competenza del chimico forense, che deve conoscere la chimica, la biologia, la scienza dei materiali, etc., per individuare il percorso metodologico da seguire nelle indagini; egli può avvalersi della competenza di altri (biologi, medici, etc.) ma deve essere lui solo a tracciare il percorso da seguire e deve saper scegliere le indagini analitiche da effettuare, senza dimenticare che spesso il campione è costituito da pochi granelli, gocce di sangue, capelli, etc., e soprattutto è **unico**, per cui molte indagini sono **irripetibili**.

In generale, confronterà le prove con i casi precedenti al fine di fornire un parere *esperto* su come tali prove coinvolgono specificamente un sospettato, e deve fornire risultati imparziali e puramente scientifici, indipendentemente dal fatto che la sua testimonianza possa incriminare o scagionare un reo presunto.

Infine, deve saper *uscire* dal laboratorio e, forte della sua formazione professionale, deve saper testimoniare in casi criminali come testimone esperto e presentare le proprie conclusioni sulle prove in tribunale alla giuria.

BIBLIOGRAFIA – Letture consigliate

1. R. C. Briner. Forensic Chemistry. *Journal of Chemical Education*, **1982**, 5, 1, 41. <https://doi.org/10.1021/ed059p41>
2. Suzanne Bell. Forensic Chemistry. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, **2006**.
3. Peter C. White. Crime Scene to Court. The Essential of Forensic Science. RSC Publishing, Cambridge, **2016**.
4. JaVed I. Khan. Basic Principles of Forensic Chemistry. Springer, USA, **2012**.
5. Mat H. Ho, Ed. Analytical Methods in Forensic Chemistry. Ellis Horwood Series in Analytical Chemistry, New York, **1990**.
6. W. Bertsch. Chemical Analysis for the Arson Investigator and Attorney. Huthig, Heidelberg, **1993**.

I DIRITTI AL TEMPO DELLA PANDEMIA: UN DIFFICILE BILANCIAMENTO TRA EVIDENZE SCIENTIFICHE ED ISTANZE SOCIALI

Francesca Scamardella

Dipartimento di Giurisprudenza, Università degli Studi di Napoli Federico II

Il rapporto tra “scienza” e “diritto” si è spesso collocato su un terreno scivoloso, soprattutto a partire dal Novecento, allorquando, le scoperte scientifiche hanno inciso notevolmente sulla configurazione (e riconfigurazione) dei diritti fondamentali e dell’identità delle persone (si veda, ad esempio, l’esperimento della pecora Dolly sulla clonazione o le possibilità di manipolazione genetica in eugenetica o, ancora, la fecondazione artificiale). La relazione è divenuta ancora più complessa nell’ultimo anno, allorquando l’emergenza sanitaria da Covid-19 ha reso necessaria l’adozione di provvedimenti legislativi ed amministrativi di carattere eccezionale, quali la sospensione delle attività scolastiche in presenza e l’erogazione delle stesse in modalità telematica mediante la c.d. DAD. I predetti provvedimenti, così come le decisioni giudiziali che sono scaturite dall’impugnazione di tali atti, sono stati fondati e giustificati sul ricorso all’argomento scientifico (indice RT, sovraffollamento ospedaliero, numero di decessi, ecc.), determinando, in alcuni casi, un evidente conflitto tra diritti fondamentali (il diritto alla salute vs. il diritto all’istruzione, ad esempio). Obiettivo di questa relazione è proporre una riflessione sul bilanciamento tra diritti fondamentali, garantiti dalla nostra Costituzione, a partire dall’analisi e dalla valutazione dell’uso delle evidenze scientifiche in alcuni provvedimenti normativi e giudiziari (sentenze), intervenuti durante la pandemia da Covid-19.

LE IMPRONTE GENETICHE: UN TESTIMONE SILENZIOSO CONTRO L'ASSASSINO

Mimmo Turano

Dipartimento di Biologia, Università degli Studi di Napoli Federico II

La principale attività del genetista forense è quella di analizzare particolari regioni del DNA di un dato campione biologico per ottenere un profilo genetico individuale o genotipo. Una sorta di codice a barre individuale che consente di discriminare una persona da qualunque altra. Il profilo genetico individuale può essere utilizzato dall'autorità giudiziaria per risolvere controversie sia di natura civile, come attribuzioni od esclusioni di paternità, che di natura penale; in quest'ultimo caso si può confrontare il profilo genetico di tracce biologiche lasciate sulla scena di un crimine con il profilo genetico di una persona sospettata di aver commesso il crimine o con i profili contenuti in una banca dati, per cercare di identificare la persona a cui appartiene la traccia biologica. Siamo in grado di realizzare un profilo genetico individuale grazie alla variabilità genetica che esiste tra le persone. Sappiamo che la maggior parte del genoma di due individui coincide, non varia, solo una piccolissima quota, circa lo 0,3-0,5%, è variabile. Una importante fonte delle differenze riscontrabili nel genoma di due individui è la mutazione cioè un qualsiasi cambiamento nella sequenza del DNA che talvolta può essere indotta dall'esposizione a sostanze chimiche o radiazioni, ma è soprattutto un fenomeno spontaneo dovuto a degli errori che si possono verificare quando il DNA si duplica durante il processo della formazione dei gameti. Esistono delle regioni nel nostro genoma, chiamate microsatelliti o STR (short tandem repeat), costituite da circa 2-6 nucleotidi, che si ripetono numerose volte. A causa della loro struttura ripetitiva la frequenza di mutazione in queste regioni è più alta che nelle altre regioni del DNA. Le mutazioni in tali loci consistono nell'aggiunta o sottrazione di una o più unità di ripetizione e ciò è dovuto ad un meccanismo di "slippage", di scivolamento della polimerasi, l'enzima responsabile della duplicazione del DNA. Questo meccanismo, quindi, ha determinato nel corso dei secoli la generazione di molti alleli in una data popolazione, caratterizzati da un diverso numero di ripetizioni, e quindi molti genotipi (il genotipo di un individuo in un dato locus STR è dato dal numero di ripetizioni della coppia allele paterno e materno). Il profilo genetico individuale si realizza amplificando diverse regioni STR (all'incirca da un minimo di 10 ad un massimo di 24) del DNA estratto da un individuo o da una traccia biologica, mediante una metodica chiamata Reazione a Catena della Polimerasi o PCR. La probabilità che un altro individuo non imparentato, preso a caso nella popolazione, abbia lo stesso profilo genetico è bassissima, quasi nulla, per cui possiamo affermare, con ragionevole sicurezza, che quel profilo lo possiede solo la persona analizzata.

BIBLIOGRAFIA

1. A. Tagliabracci, F. Alessandrini, L. Mazzarini, V. Onofri, C. Turchi. Introduzione alla genetica forense, Springer, **2010**.
2. U. Ricci, C. Previderè, P. Fattorini, F. Corradi. La prova del DNA per la ricerca della verità. Giuffrè Editore, **2006**.

I laboratori

RADIAZIONE ELETTROMAGNETICA E SPETTROSCOPIA: UNO STRUMENTO PER LO STUDIO DELLA MATERIA

Roberto Di Capua

Dipartimento di Fisica "E. Pancini", Università degli Studi di Napoli Federico II

Nonostante il termine possa essere riferito a svariati ambiti di indagine e tecniche sperimentali, la Spettroscopia per eccellenza è una disciplina basata sullo studio della radiazione elettromagnetica, e in particolare sulla dipendenza delle sue caratteristiche in funzione della lunghezza d'onda o della frequenza. Per capire, anche per sommi capi, l'importanza di questa disciplina nell'ambito dello studio delle proprietà della materia, anche e soprattutto da un punto di vista prettamente sperimentale, è necessario comprenderne due aspetti fondamentali: il significato delle grandezze fisiche denominate "frequenza" e "lunghezza d'onda" per la radiazione elettromagnetica, e come le caratteristiche della radiazione elettromagnetica possono dipendere dalla materia con cui essa interagisce o da cui viene prodotta.

La radiazione elettromagnetica si presenta alla nostra osservazione in svariate forme, che noi classifichiamo, a seconda dei casi, come: onde radio, microonde, radiazione infrarossa, luce visibile, luce ultravioletta, raggi X, raggi gamma. Tutti questi termini indicano differenti tipi di radiazione elettromagnetica: differenti per cosa? Esclusivamente per la frequenza, o per la lunghezza d'onda (le due grandezze non sono indipendenti). Il significato di questi due termini non è difficile da capire, intuitivamente, per le cosiddette onde meccaniche. Un minimo più ostico può apparirne la comprensione nel caso della radiazione elettromagnetica. Procediamo per gradi.

Se immaginiamo di far ondeggiare verticalmente l'estremità di una corda tesa il cui capo opposto sia stato fissato "molto lontano", la corda stessa trasmette questo moto oscillatorio con una propagazione che noi chiamiamo *ondosa*. Immaginiamo di realizzare una fotografia della corda ad un certo istante: se l'oscillazione che stiamo imprimendo ha determinate caratteristiche (il cui dettaglio è totalmente inessenziale discutere in questa sede), il profilo della corda apparirà avere una forma chiamata sinusoidale. È lecito attendersi che il lettore sia a conoscenza di cosa sia una curva sinusoidale: in ogni caso, quello che realmente importa è che si tratta di una curva con massimi e minimi che si alternano in maniera "simmetrica" e soprattutto periodica: la distanza tra due massimi consecutivi, o tra due minimi consecutivi, definisce la *lunghezza d'onda*. Supponiamo ora di realizzare un'operazione "complementare" a quella dello scatto della fotografia: invece di guardare tutto il profilo spaziale fissando l'istante di tempo, immaginiamo cosa vedremmo osservando un singolo punto della corda al trascorrere del tempo. La risposta è molto intuitiva: quel punto andrà su e giù in maniera "regolare", periodica. L'intervallo di tempo che il punto impiega per passare dal suo punto più alto a quello più in basso e ritorno (per compiere, cioè, un'oscillazione completa) è detto *periodo* dell'onda, e il suo inverso è chiamato *frequenza*. La frequenza misura quante oscillazioni avvengono in una determinata unità di tempo: se ad esempio la si esprime nell'unità di misura chiamata *Hertz*, *Hz*, il suo valore numerico indica il numero di oscillazioni al secondo.

La radiazione elettromagnetica ha mostrato in diversi esperimenti la sua natura ondosa. L'onda elettromagnetica non è costituita dall'oscillazione di una corda o di una massa d'acqua come le onde marine. È più difficile da visualizzare che per una corda, ma il concetto è lo stesso: l'onda elettromagnetica è costituita da campi elettromagnetici oscillanti e viaggianti, e per essa si possono definire allo stesso modo che per la corda (certo, magari non con una fotografia...) la lunghezza d'onda e la frequenza. Due importanti ulteriori dettagli sono: 1) per la radiazione elettromagnetica, a differenza che per le onde meccaniche, non è necessario un mezzo di propagazione (come la corda), e

la propagazione può avvenire anche nel vuoto; 2) il prodotto della lunghezza d'onda e della frequenza è uguale alla velocità di propagazione dell'onda, e per le onde elettromagnetiche in vuoto questa è la stessa per tutte le frequenze, indicata con c (pari a circa $3 \cdot 10^8$ m/s), cosicché è indifferente “ragionare” per frequenza o per lunghezza d'onda (sono legate da questa relazione!).

Un dubbio è legittimo. Che accade se l'estremo della corda non oscilla con particolare “regolarità”? Come cambia la nostra descrizione se il profilo della corda non ha la comoda forma sinusoidale? È ovvio che si possono avere propagazioni lungo la corda tutt'altro che sinusoidali! A cosa corrisponde questo in termini di onde elettromagnetiche? Abbiamo radiazioni “non sinusoidali”? La risposta è sì (campi oscillanti in maniera generica, così come può essere generico il profilo della corda nella fotografia), e questo sembra apparentemente metterci in difficoltà per la definizione di frequenza e lunghezza d'onda. In questo ci viene in aiuto un fondamentale risultato matematico: per dirla in maniera alquanto banalizzante e poco rigorosa, ogni forma di oscillazione, anche non periodica, può essere ottenuta mediante una ben definita sovrapposizione di oscillazioni sinusoidali (eventualmente in numero infinito), di diverse frequenze (eventualmente un continuo di frequenze) e diverse ampiezze di oscillazione (il matematico ci insegnerebbe che in realtà andrebbero verificate alcune ipotesi, ma qui possiamo tranquillamente assumere che le oscillazioni in natura siano sufficientemente “oneste” da soddisfare tutte le ipotesi necessarie affinché questo risultato sia vero).

Come la radiazione elettromagnetica, e in particolare il suo studio in funzione di frequenza o lunghezza d'onda, può essere utile per investigare le caratteristiche della materia? Il punto di partenza concettuale è la quantizzazione dei livelli energetici elettronici negli atomi: in un atomo, un elettrone non può avere energie qualunque; esso, invece, può assumere solo ben determinati valori di energia. Un'importante conseguenza di questa caratteristica è quanto segue: per passare da uno stato energetico ad uno più “alto”, un elettrone deve acquisire *esattamente* l'energia che li separa, pari alla differenza tra le energie corrispondenti ai due valori ben definiti di quegli stati. In generale, considerando i diversi valori discreti di energia possibili per un elettrone in un atomo, solo alcuni valori di energia saranno “fortunati” al punto tale da corrispondere a una differenza tra una coppia di essi. Questo implica che solo determinati valori di energia potranno essere *assorbiti* da un elettrone in un atomo. Allo stesso modo, solo questi stessi “fortunati” valori di energia potranno essere *emessi* dall'atomo in conseguenza del fatto che un elettrone passi da un determinato stato ad un altro ad energia minore (rilasciando così un'energia pari alla differenza tra i due).

Orbene, un modo di cedere energia all'elettrone può essere tramite assorbimento di radiazione elettromagnetica; altresì, nel caso di emissione di energia da parte di un atomo, questa può essere emessa come radiazione elettromagnetica. E a questo punto, interviene un'altra importante circostanza del mondo microscopico e quantistico: una radiazione elettromagnetica di determinata frequenza f può scambiare solo energie multiple di un *quanto*, un mattoncino di energia, proporzionale alla frequenza, $h \cdot f$, dove h è una costante universale, la costante di Planck (questo quanto di energie è detto *fotone*, e un tale comportamento non ammette descrizione con l'elettrodinamica classica!). Possiamo allora “tradurre” quanto detto sopra sulle energie “fortunate”, o *risonanti* come si dice più propriamente, che possono essere assorbite o emesse: solo determinate frequenze di radiazione elettromagnetica potranno essere assorbite o emesse dagli atomi. L'insieme delle specifiche frequenze (o lunghezze d'onda) assorbite o emesse da un materiale, con la loro intensità (cioè contando “quanti fotoni” sono assorbiti o emessi in uno specifico esperimento per ogni frequenza) costituisce quello che si chiama lo *spettro di assorbimento o di emissione*; nel caso di un insieme discreto di frequenze, come per gli atomi, si parla di *spettri a righe*. Ogni atomo avrà caratteristiche energetiche differenti, e il suo spettro di emissione o di assorbimento ne costituisce una sorta di “impronta digitale”: queste sono le basi della spettroscopia!

Dal punto di vista sperimentale, una prima importante osservazione riguarda l'ordine di grandezza delle energie coinvolte: non abbiamo ancora specificato niente, in tal senso, per le energie su scala atomica. Un'unità di misura particolarmente utile è quella chiamata *elettronvolt*, eV : le energie coinvolte in processi elettronici negli atomi e nella materia in generale vanno da piccole frazioni di eV a migliaia di eV . Per avere un'idea di quanto “valga” un eV , si tenga presente che per sollevare di un

metro un peso di 100 g spendiamo un'energia pari a più di un miliardo di miliardi di eV: l'eV è un'energia estremamente piccola sulla nostra scala, certamente non misurabile meccanicamente! Tuttavia, “traducendo” le energie in frequenze per il tramite della costante di Planck, si vede che fotoni di energia di alcuni eV corrispondono a frequenze di radiazione dell'ordine del milione di miliardi di Hz. Il problema sembra rovesciarsi: non si tratta di un numero troppo alto di oscillazioni al secondo per essere misurato? Meccanicamente sì, ma senza andare oltre nel dettaglio, ci limitiamo a dire che abbiamo imparato a misurare con estrema accuratezza frequenze di radiazione elettromagnetica di questo ordine di grandezza (e non solo!), per cui la chiave della misura di energia con metodi spettroscopici è proprio questa: misuriamo le piccolissime energie della scala atomica tramite misure di frequenze (o lunghezze d'onda) che sappiamo fare molto bene!

Sicuramente, una perplessità sorge spontanea da quanto scritto sopra: assodato che una radiazione elettromagnetica generica “contiene” varie frequenze, come facciamo a “isolare” le varie frequenze, sia per inviarle su un atomo (per misure di assorbimento) sia per distinguere quelle che l'atomo emette? Anche questo si riesce a fare, e anche su questo non c'è bisogno di scendere nel dettaglio dei fenomeni fisici coinvolti per capirlo. In effetti, questa “separazione delle frequenze” è un problema non banale dal punto di vista matematico, ma è esattamente quello che fa un prisma di vetro su cui incida luce naturale, o anche l'aria umida quando si forma un arcobaleno: per la luce visibile le diverse frequenze sono tradotte in diversi colori dal nostro apparato visivo, e quando vediamo un arcobaleno (in aria o “su banco” con un prisma) stiamo assistendo proprio alla scomposizione di una radiazione elettromagnetica nelle sue diverse frequenze! Posto che quindi è possibile realizzare questa scomposizione, basti dire che sappiamo fare ancora meglio (in termini di separazione di frequenze molto prossime) con degli oggetti chiamati “reticoli di diffrazione”, il cui principio di funzionamento pure è al di là degli scopi di queste pagine. Insomma: la separazione delle diverse frequenze o lunghezze d'onda di una radiazione è un aspetto sperimentale che controlliamo benissimo, sia come produzione e “indirizzamento” che come “raccolta” e misura.

Concludiamo con due osservazioni.

La prima riguarda una stima puramente numerica. Un esperimento comune in alcuni corsi didattici di laboratorio riguarda la misura della lunghezza d'onda (o frequenza) corrispondente al colore giallo di alcune particolari sorgenti dette “lampade spettrali al sodio”. Si tratta di luce visibile con fotone di energia pari a un paio di eV. Ebbene, con la “povera” strumentazione di un laboratorio didattico si riesce a vedere che questa emissione gialla è in realtà costituita da due “emissioni gialle” (“vedere” letteralmente: si vedono, su uno schermo o con un mirino ottico, due righe luminose gialle!), le cui lunghezze d'onda, o anche le cui frequenze differiscono di circa l'uno per mille! Significa che anche le due energie coinvolte differiscono per l'uno per mille: altro che eV, con semplice strumentazione da laboratorio didattico siamo in grado di misurare energie dell'ordine del millesimo di eV (semplicemente misurando la posizione delle suddette linee gialle!).

La seconda osservazione riguarda il fatto che ci siamo sempre riferiti ad atomi in quanto sopra, perché ragionare con livelli discreti di energia aiuta la comprensione elementare. Ebbene, in aggregati più complessi di atomi e molecole, quali solidi e liquidi, la situazione è più complessa sia per la vastità di combinazioni sia, soprattutto, per la differente fenomenologia che non si limita a livelli discreti di energia. Questo vuol dire che non sempre una misura spettroscopica su materia aggregata è di ovvia interpretazione, non vale più il discorso dell’“impronta digitale”. Non vuol dire però che la spettroscopia sia meno utile in questi casi, anzi! La Fisica coinvolta sarà più complicata che per i singoli atomi o i gas, e anche la strumentazione è ben oltre un prisma o un reticolo di diffrazione da laboratorio didattico: tuttavia, quanto illustrato aiuta bene a comprendere, al di là dei dettagli, i principi che sottostanno alle misure spettroscopiche con radiazione elettromagnetica, e come le tecniche spettroscopiche costituiscano un importante strumento per lo studio della materia.

LABORATORIO VIRTUALE DI BIOLOGIA E ATTIVITA' DI GAMIFICATION

Rosanna del Gaudio

Dipartimento di Biologia, Università degli Studi di Napoli Federico II,
Campus di Monte S. Angelo, Via Cinthia 24, 80126 Napoli

L'attività laboratoriale di Biologia svolta da remoto è articolata in due fasi: durante la prima fase gli studenti saranno coinvolti in prima persona in attività pratiche di *virtual lab* (Labster.com) una nuova "possibilità tecnologica" che fornisce agli studenti una alternativa alle attività di laboratorio "faccia a faccia" che, negli ultimi cinque anni, ho sperimentato con successo in presenza nelle aule informatizzate per i percorsi di Alternanza Scuola Lavoro in convenzione col Dipartimento di Biologia [1] e lo scorso anno, durante il *lockdown*, anche da remoto per i percorsi PCTO.

In particolare, per consentire a un maggior numero di studenti di partecipare in contemporanea, anche se da remoto, ad attività laboratoriali conducendo esperimenti in prima persona senza vincoli fisici, ho scelto **due simulazioni virtuali** fra quelle disponibili in lingua italiana, la cui licenza d'uso mi è stata offerta gratuitamente negli ultimi sei mesi. Gli studenti svolgeranno la prima simulazione (**Lab safety**) durante il collegamento previsto in TEAMS e la seconda (**Cell membrane and transport: learn how transporters keep cells healthy Virtual Lab**) sulla membrana cellulare, trasporto e utilità dei trasportatori nella salute delle cellule, su base volontaria, in autonomia durante il giorno successivo comunicando lo *score* ottenuto come immagine in TEAMS.

Il numero di "report" ottenuti sarà un utile parametro di valutazione del gradimento e del coinvolgimento nelle attività di simulazione virtuale anche da parte di questi giovani studenti.



Membrana cellulare e trasporto: l'utilità dei trasportatori nella salute delle cellule

Sezione: Biologia Tipo di simulazione: Basata sui concetti

Obiettivi formativi

- Descrivere la struttura della membrana plasmatica attraverso il modello a mosaico fluido
- Riconoscere la permeabilità relativa dei bistrati lipidici per differenziare le classi di molecole
- Confrontare il trasporto attivo e passivo delle molecole
- Identificare le tre modalità di trasporto attivo e le diverse classi di canale ionico e di molecole trasportatrici
- Mettere in relazione l'espressione di specifiche proteine di trasporto con il ruolo della cellula

Tecniche

- Progettazione degli esperimenti
- Preparazione di un campione per la microscopia
- Microscopia a fluorescenza
- Interpretazione dei dati



Con *Labster.com*, in un ambiente di apprendimento simulato privo di rischi, gli studenti della PVS3 potranno eseguire esperimenti interagendo con le apparecchiature di laboratorio e potranno ripetere le attività anche più volte per migliorare il proprio apprendimento.

In particolare, dopo un breve *training*, in cui spiegherò come affrontare le simulazioni virtuali, ciascuno studente PVS3, in autonomia, utilizzando da remoto il proprio computer in avrà la possibilità di fare il debutto nel laboratorio virtuale della simulazione intitolata "**Lab safety**"



Sicurezza di laboratorio

Sezione: Scienze Tipo di simulazione: Basata sulle tecniche

Obiettivi formativi

- Utilizzare indumenti adeguati al lavoro in laboratorio
- Descrivere cosa fare e cosa non fare in un laboratorio
- Utilizzare correttamente i dispositivi di sicurezza del laboratorio
- Reagire a una situazione di emergenza

Sopravvivere al primo giorno in laboratorio
Identificando i diversi pericoli dovuti al non rispetto delle norme di sicurezza

Sicurezza di laboratorio



imparando come:

- Utilizzare le attrezzature di sicurezza del laboratorio;
- Reagire in caso di emergenza;
- Rilevare ed eliminare le fonti di pericolo
- Trasmettere le conoscenze acquisite sulla sicurezza del laboratorio agli amici.

In particolare, durante la simulazione ciascuno studente della PVS3, **identificando** ed **eliminando i pericoli** in laboratorio, dovrà creare un ambiente di lavoro ordinato e sicuro. Verranno introdotte le regole di sicurezza del laboratorio, le attrezzature di sicurezza e i simboli di rischio di base utilizzati per classificare i materiali e/o le sostanze pericolose che lo aiuteranno in futuro se qualcosa dovesse andare “storto” in un vero laboratorio; imparando ad esempio come trattare con sostanze chimiche non etichettate e potenzialmente pericolose, come utilizzare il lavaocchi ricevendo anche un'introduzione a vari altri dispositivi di sicurezza del laboratorio.

In questa simulazione ciascuno studente incontrerà anche una amica virtuale (Lucy) -che non ha mai lavorato in un laboratorio prima- a cui dovrà trasmettere le proprie conoscenze sulla sicurezza del laboratorio; padroneggiando le diverse situazioni gli studenti non dovranno preoccuparsi di essere esposti a nessun pericolo reale.

Durante le attività del laboratorio di Biologia proporrò anche filmati, racconti e articoli dalla letteratura scientifica più o meno recente anche in lingua inglese per l'interdisciplinarietà e un *training* sull'utilizzo di un *tool* di bioinformatica (*in silico lab*) per implementare la seconda fase e tipologia di attività laboratoriale intitolata “**Dal DNA alle proteine: seguiamo il flusso e l'espressione dell'informazione genetica!**” utile per implementare la didattica della biologia nell'era della biologia sintetica.

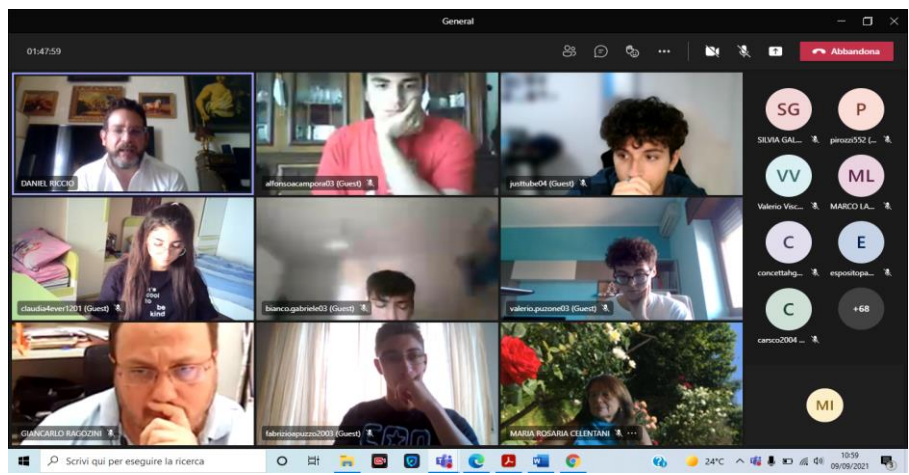
Infatti, l'obiettivo della seconda fase dell'attività laboratoriale di Biologia della seconda edizione della PVS3 sarà la scoperta del codice genetico, mediante il quale le informazioni scritte nel DNA dei geni vengono utilizzate per la sintesi delle molecole proteiche. In particolare, sarà proposto agli studenti di fare ipotesi sul codice genetico, arrivando a “costruire” la sua chiave di lettura.

In conclusione, sebbene sia difficile sostituire l'esperienza "pratica" di un vero ambiente di laboratorio, l'esperienza *in silico* molto positiva in presenza con gli studenti ASL 2016, 2017, 2018 e PCTO 2019, 2020 sarà adattata all'edizione PVS3 2021 (www.pls.unina.it) e le simulazioni virtuali sincrone potranno costituire una buona base per nuove attività creative che gli studenti potranno svolgere in futuro con maggiore e sicurezza in un vero e proprio laboratorio con i propri docenti nei laboratori di Scienze a Scuola [2].

BIBLIOGRAFIA

1. Rosanna del Gaudio. Reinventing molecular Biology labs during COVID-19 pandemic and applying lessons learned to Italian PLS virtual Summer School for High School Students. ICERI 2021 *Proceedings* **2021**, (*accepted*)
2. Rosanna del Gaudio, Adriana Rambaldi. Gases in action and Biomolecules in running: during a pandemic period and/or in the modern teaching innovation process, the activity of a scientific laboratory within home walls plays an important role. *INTED2021 Proceedings* **2021**, 5617. <http://dx.doi.org/10.21125/inted.2021.1132>

Alcune immagini



LA STAZIONE SPAZIALE INTERNAZIONALE – ISS – 20.11.1998

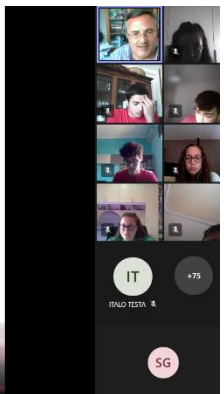
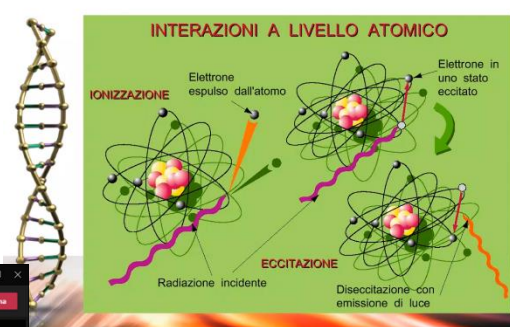
Altezza orbitale 408 km
Velocità in orbita: 7,66 km/s

Il primo equipaggio arriva sulla ISS nel Novembre del 2000

CARMEN ARENA DIPARTIMENTO DI BIOLOGIA – UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II



Ionizzazioni ed eccitazioni



La certezza assoluta ed altre finzioni. Leggerezza, ingenuità ed estetica del caso

47:40

Richiedi controllo

Sequenze "probatorie"... il dilemma

C	C	C	C	C
T	C	C	C	C
C	C	T	C	C
C	C	C	C	T
Y	T	C	C	C
T	C	Y	C	C
T	C	C	C	Y
C	T	T	C	C
C	T	C	Y	C
C	C	T	C	Y
C	C	C	Y	T

DOMENICO 18/09/2021

Scritta qui per eseguire la ricerca

25°C

11:55

Zoom meeting grid with 5 participants and a list of names: L, +73, MI.



Quali sono le applicazioni?

PLS Virtual Summer School (PVSS)

From DNA to protein - 3D

base

Guarda su YouTube

Presenza di acqua liquida

OWANNI COVONE

Grid of video call participants:

- MARIANNA CRISPINO
- GIANCARLO RAGOZINI
- SILVIA GALANO
- UGO CARUSO
- MARIA ROSARIA IESCI
- espositopaola2003
- Bombarolo 88
- PIERO SALATINO
- amatoannachiara2003
- ROBERTO DI CARPIA
- ITALO TESTA
- alfonsoempegnati
- ALESSANDRO IANNACE
- ALESSIO PARLATI
- valerio.guzzone03
- MARCO LAPICINA

Grid of video call participants:

- alfonsoempegnati
- pirozzi52
- valeria.puzzone03
- Valerio Vizzovo
- goldrakealtarus
- amatoannachiara2003
- espositopaola2003
- Bombarolo 88
- haskagntony.2003
- claudia.everi201
- francesca.03.criella
- giusexpo28
- giovalie181905
- fabrizioapuzzo2003
- napolitanovincenzo2003
- alfansantropinto2003
- justtub04
- ANNAMARIA BARBAGALLO
- chiarcoti
- giuseppe2021traino

Il Piano Lauree Scientifiche è oggi il principale strumento di orientamento universitario operante in Italia per le discipline scientifiche ed è comunemente riconosciuto come un esempio di *best practice*, al punto da divenire un modello per programmi simili in altri ambiti disciplinari.

Le attività di orientamento per gli studenti ruotano attorno ai Laboratori PLS e alle Scuole Estive, in cui gli studenti si confrontano con tematiche e metodologie proprie delle discipline scientifiche.

Dal 2005, anno della sua istituzione, all'Università degli Studi di Napoli Federico II i vari dipartimenti di riferimento per le aree disciplinari si sono progressivamente aggregati al progetto, accogliendo ogni anno migliaia di studenti delle scuole superiori di Napoli e provincia. In aggiunta alle azioni disciplinari, l'attiva collaborazione tra i referenti di ateneo ha consentito di sviluppare un numero sempre crescente di attività comuni interdisciplinari sui temi dell'orientamento, dell'autovalutazione, della formazione dei tutor, scuole estive e concorsi, caratterizzati da una forte interdisciplinarietà e che hanno riscosso grande successo tra gli studenti e i docenti.

In questo volume sono raccolte le sintesi delle lezioni e delle attività laboratoriali presentati agli incontri della Scuola Estiva per Studenti del 2021.